



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TEMA:

Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica.

Caso Islas Galápagos

AUTOR:

Gualoto Iza, Milton Roberto

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

TUTOR:

ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica**

TUTOR

ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI. MGS

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, MGS.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Gualoto Iza, Milton Roberto**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020

El Autor

Gualoto Iza, Milton Roberto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Gualoto Iza, Milton Roberto**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación, **Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020

El Autor

Gualoto Iza, Milton Roberto

REPORTE URKUND

Documento: [TESIS MILTON GUALOTO-FIN-Seo.docx](#) (D78519994)

Presentado: 2020-09-02 18:02 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: TESIS FIN-GUALOTO [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 36 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://docplayer.es/16316444-Titulo-diseno-de-un-sistema-hibrido-con-diesel-de-gr...
	https://erc.undp.org/evaluation/documents/download/8624
	ENERGIAS RENOVABLES JULIO 31 2020 revyifin.doc
	Tesis_VF_RV2.docx

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA: Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos

AUTOR: Gualoto Iza, Milton Roberto Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

TUTOR: ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.

Guayaquil, Ecuador

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por, como requerimiento para la obtención de Título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica

TUTOR

_____ ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI. MGS.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería en Eléctrico-Mecánica titulado: **“Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos”** del estudiante **Gualoto Iza, Milton Roberto** el análisis de coincidencia indica el 1 % de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco Asqui. M. Sc.

Revisor

AGRADECIMIENTO

A DIOS todo poderoso que con su infinita bendición me ha permitido llegar hasta este día, sin el nada es posible. Ya que ha puesto en mi camino a personas valiosas en el momento exacto.

A la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

A mis Padres Cesar Gualoto y María Iza que con esfuerzo me han dado su apoyo, cariño y ejemplo para superarme, a mi esposa y compañera de vida Virginia Gomez y a mis Príncipes Roberto e Izam mi inspiración y fortaleza, que me han apoyado en este reto el cual lo hemos ganado juntos.

A mi tutor Ing. Orlando Philco A. que ha sabido guiarme, gracias a sus consejos y acertadas opiniones he logrado culminar el presente trabajo de titulación.

El Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS por haberme dado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para llegar hasta alcanzar esta meta trazada desde muchos años atrás y que hoy estoy cumpliendo.

A mis padres que con su ferviente amor han sabido guiarme y darme la oportunidad de cumplir este reto ustedes son los mejores.

El autor



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

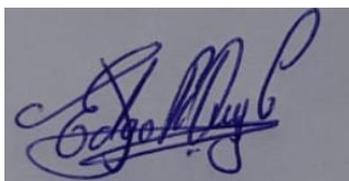
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO**

f. 

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA**



**M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL
OPONENTE**

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4. Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos	3
1.5 Metodología.....	3
CAPÍTULO 2: ENERGÍA EÓLICA Y FOTOVOLTAICA	5
2.1 Energía Eólica en el Ecuador	5
2.2 Equipos para Generar Electricidad	7
2.2.1. Aerogeneradores.....	7
2.2.1.1 Eje horizontal:	8
2.2.1.2 Eje vertical:	9
2.2.1.3 Concentradores de flujo eólico:	10
2.2.2 Tipos de Aerogeneradores Verticales.....	11
2.2.2.1 Tipo Savonius:	11
2.2.2.2 Tipo Darrieus	12
2.2.2.3 Tipo Giromill	13
2.2.3. Otros Equipos	14
2.2.4 Estudio de Viento	15

2.2.5 Tipos de Parques Eólicos	16
2.2.5.1 Terrestres (Onshore)	16
2.2.5.2 Marinos (Offshore).....	17
2.3 Medición de Viento.....	18
2.3.1 Parque Eólico Villonaco	19
2.3.2 Recurso Solar	19
2.3.3 Relación con las Energías Renovables	20
2.3.4 Equipo de medición	20
2.4 Energía Solar Fotovoltaica	22
2.4.1 Clasificación de los Sistemas Fotovoltaicos	22
2.5 Proyectos FV de conexión a red	26
2.6 Biomasa como Energía Renovable.....	26
2.6.2 Ventajas e Inconvenientes de la utilización de la Biomasa	28
2.6.2.1 Ventajas ambientales:	28
2.6.2.2 Ventajas socioeconómicas:	28
2.6.3 Aplicaciones.....	29
2.6.3.1 Producción de energía térmica.....	29
2.6.3.2 Producción de energía eléctrica	30
2.6.3.3 Producción de gases combustibles	30
2.6.3.4 Producción de biocombustibles	30
2.6.4. Biocombustible	31
2.6.5 Clasificación de biocombustibles.....	31

2.6.5.1 El bioetanol	31
2.6.5.2 El biodiesel.....	31
2.6.5.3 Biogás	32
2.7 Emisiones de CO ₂	32
CAPÍTULO 3: ENERGÍA RENOVABLE EN LAS ISLAS GALÁPAGOS ...	34
3.1 Proyecto eólicos San Cristóbal	35
3.1 Proyecto eólico en isla Baltra	36
3.2 Proyecto Eólico de Baltra.....	37
3.3 Proyecto Parque Fotovoltaico Puerto Ayora (isla Santa Cruz).....	38
3.4 Proyecto Sistema de Transmisión Baltra-Santa Cruz.....	39
3.6.1 Sistema Eléctrico.....	40
3.7 Perfil de consumo de la isla	43
3.7.1 Consumo Mensual	43
3.7.2 Consumo Horario	45
3.7.3 Instalación fotovoltaica.....	49
3.7.3.1 Módulos fotovoltaicos	50
3.8 Sistema de generación por grupos electrógenos.....	51
3.8.1 Biocombustible de aceite de piñón.....	52
3.8.2 Características de generadores a diésel	53
3.8.3 información general del motor a diésel	54
3.8.4 Generadores diésel velocidad alta/velocidad media	55
3.8.5 Estándares Internacionales:	55

3.8.5.1 Clasificación de generadores diésel.....	56
3.8.5.2 Modo de operación	56
3.8.5.3 Arranque del generador diésel	56
3.8.6 Combustible y consumo.....	57
3.8.7 Generador diésel en un contenedor	57
3.8.8 Sistemas de Control	60
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE SISTEMA HÍBRIDO	61
4.1 Análisis de instalación fotovoltaica y diésel	61
4.1.1 Análisis Técnico.....	61
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS 1: PLANOS ELÉCTRICOS.....	74
ANEXO 2: MOTOR, CONSUMO Y MANTENIMIENTO	77

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2:

Figura 2. 1 Estudios de Recursos Eólicos.	7
Figura 2. 2 Curvas aerogeneradores.	8
Figura 2. 3 Aerogeneradores en eje horizontal	9
Figura 2. 4 Aerogenerador en eje vertical	10
Figura 2. 5 Concentrador básico de flujo eólico	11
Figura 2. 6 Aerogenerador Savonius	12
Figura 2. 7 Aerogenerador Darrieus	13
Figura 2. 8 Aerogenerador Darrieus más grande del mundo.	13
Figura 2. 9 Aerogenerador de tipo Giromill	14
Figura 2. 10 Aerogenerador terrestre-Onshore.	17
Figura 2. 11 Aerogenerador marino-Offshore.	18
Figura 2. 12 Parque eólico Villonaco.	19
Figura 2. 13 Equipos de medición	21
Figura 2. 14 Elementos de medida de radiación solar	22
Figura 2. 16 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	23
Figura 2. 20 Autoconsumo instantáneo con inyección cero.	23
Figura 2. 21 Autoconsumo instantáneo o diferido con inyección cero.	24
Figura 2. 22 Autoconsumo diferido aislado de red.....	25
Figura 2. 23 Autoconsumo diferido con acumulación y acoplamiento AC	25
Figura 2. 25 Recursos de Biomasa	27
Figura 2. 26 Biocombustibles	32

CAPÍTULO 3:

Figura 3. 1 Matriz de generación de energía eléctrica 2018	34
--	----

Figura 3. 2 Potencia instalada en Galápagos.....	34
Figura 3. 3 Potencia instalada por proyecto en las Islas Galápagos.	35
Figura 3. 4 Parque eólico, San Cristóbal	36
Figura 3. 5 Parque eólico Baltra.	36
Figura 3. 6 Proyecto eólico Baltra con sus tres fases	37
Figura 3. 7 Ubicación de generación térmica y ubicación de aerogeneradores.....	38
Figura 3. 8 Parque fotovoltaico en puerto Ayora.	39
Figura 3. 9 Sistema de Transmisión Baltra-Santa Cruz.....	39
Figura 3. 10 planta fotovoltaica de la isla Isabela	40
Figura 3. 11 Unifilar de conexión grupos electrógenos Caterpillar	41
Figura 3. 12 Unifilar de conexión grupo electrógeno Cummins	42
Figura 3. 13 Unifilar grupos de generación y embarrado en 13,2 kV.....	42
Figura 3. 14 Unifilar distribución puntos de consumo	43
Figura 3. 15 Variación estacional del consumo en % sobre el promedio anual.....	45
Figura 3. 16 Perfil de consumo tipo de un transformador de 50 kVA en la isla Isabela	46
Figura 3. 17 Consumo diario tipo extrapolado a toda la isla en 2010	47
Figura 3. 18 Consumo diario tipo extrapolado a toda la isla en 2016.....	48
Figura 3. 19 Máximos, mínimos y consumos medios en base a la variabilidad estacional Fuente. El autor	48
Figura 3. 20 Diseño del proyecto híbrido de generación eléctrica	50
Figura 3. 21 Paneles fotovoltaicos modelo TSM-PC05A serie Honey.....	51
Figura 3. 22 Proyectos de biocombustible de aceite de piñón	53

Figura 3. 23 Generador a diésel del proyecto híbrido Isabela	54
Figura 3. 24 Información general del motor a diésel	55
Figura 3. 25 Generador diésel en un contenedor	57
Figura 3. 26 Generador diésel en contenedor para una instalación exterior	58
Figura 3. 27 Generadores diésel –contenedor Cummins 1600 kVA – 2500 kVA 50Hz	58
Figura 3. 28 Contenedor de Associated Trade & Consult GmbH (ATC) de 2800 kVA.....	59
Figura 3. 29 diésel de emergencia - Perkins 1700 kVA.....	59

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2:

Tabla 2. 1 Proyectos Eólicos en el Ecuador5

Tabla 2. 2 Unidades del Sistema Internacional.20

Tabla 2. 3 Proyectos fotovoltaicos en Ecuador26

CAPÍTULO 3:

Tabla 3. 1 Generadores eléctricos instalados en la Isla Isabela41

Tabla 3. 2 Datos de consumos para el año 2010 Isla Isabela44

Tabla 3. 3 Consumo mensual estimado para el año 201644

Tabla 3. 4 Valores Máximos, mínimos y medios de consumos horarios en base a la variabilidad estacional49

Tabla 3. 5 Servicio y mantenimiento de generadores diésel de alta y media velocidad60

CAPÍTULO 4:

Tabla 4. 1 Resumen de generación fotovoltaica, *HOMER Energy*63

Tabla 4. 2 Resumen de generación grupo diesel caterpillar 1, *HOMER Energy*64

Tabla 4. 3 Resumen de generación grupo diesel caterpillar 2, *HOMER Energy*64

Tabla 4. 4 Resumen de generación grupo diesel cummins, *HOMER Energy*64

Tabla 4. 5 Resumen de generación de una instalación híbrida, *HOMER Energy*64

Tabla 4. 6 Horas de funcionamiento de generadores en proyecto híbrido. .65

RESUMEN

Se presenta un trabajo de titulación con el tema de energía renovable, en el archipiélago de Galápagos, caso puntual de la isla Isabela. Las islas Galápagos son, por la inmensa riqueza de la diversidad de especies biológicas, un santuario natural. Por aquello la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), las declaró en 1978 como Patrimonio de la Humanidad. Sin embargo, hace algunos años el consumo de diésel en generadores de electricidad ocasionaba problemas potenciales, por lo que se desarrollaron proyectos energéticos para reducir su consumo, empleando energía renovable, disminuyendo así la dependencia del suministro del combustible, para así minimizar las emisiones de CO₂.

La metodología a emplearse es de tipo documental, por cuanto se describe el uso de energía renovable para la generación de electricidad en las islas Galápagos. Así también se investigan cifras estadísticas de los proyectos ejecutados. Además, se emplea el método de analítico para evaluar datos de la reducción de CO₂, por parte de proyectos eléctricos con sistemas fotovoltaicos y de bicomcombustible en la isla Isabela.

PALABRAS CLAVES: Energía eléctrica, Fotovoltaica, Eólica, Isla Isabela. Biocombustible.

ABSTRACT

A degree work is presented on the subject of renewable energy, in the Galapagos archipelago a specific case of Isabela Island. The Galapagos Islands are a natural sanctuary due to the immense richness of the diversity of biological species, which is why the United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO) declared them in 1978 as a World Heritage Site. A few years ago, the consumption of diesel in electricity generators caused potential problems, so energy projects were developed to reduce its consumption by using renewable energy, thus reducing dependence on fuel supply, in order to minimize CO₂ emissions. The methodology to be used is documentary in that it describes the use of renewable energy to generate electricity in the Galapagos Islands. Likewise, statistical figures of the executed projects are also investigated. The analytical method is used to evaluate data on CO₂ reduction by electricity projects with photovoltaic and bi-fuel systems on Isabela Island.

KEY WORDS: Electricity, Photovoltaic, Wind, Isabela Island. Biofuel.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción

Los sistemas híbridos de generación de energía eléctrica forman parte del modelo de generación distribuida, una modelo que es base para las redes eléctricas con eficiencia energética (supervisión, control, gestión). El caso Islas Galápagos involucra algunos proyectos energéticos que además garantizan la sostenibilidad para estos proyectos de electrificación rural mediante el desarrollo de modelos de gestión, adaptados a cada una de las particularidades de las zonas a instalarse.

Con el objeto de apoyar en el cuidado de los ecosistemas y el desarrollo de las Islas Galápagos, se ha evidenciado la necesidad de incorporación de criterios de sostenibilidad en la planificación del Sistema Eléctrico de cada una de las islas; conformadas espacialmente por sus áreas protegidas (7.731 km²) y áreas pobladas (264 km²). El Plan de expansión del sistema eléctrico para la Provincia de Galápagos se sustenta en las políticas y objetivos de: La Constitución de la República del Ecuador, Plan Nacional de Desarrollo, Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) y Ley de Régimen Especial de la Provincia de Galápagos. (Plan Maestro de Electricidad, 2019).

En cumplimiento al programa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos, a partir del año 2007, se han implementado varios proyectos de energía renovable en las diferentes Islas del Archipiélago de Galápagos, lo que ha permitido evitar la combustión de aproximadamente 4'500,000 de galones de diésel y evitar que 40,000 toneladas de CO₂ contaminen la atmósfera, coadyuvando de esta forma a preservar el ecosistema de las islas.

1.2 Justificación

Con la finalidad de analizar la generación de electricidad en la isla Isabella en cuanto a reducción por uso de los combustibles fósiles que generan emisión de gases invernadero. La electrificación sobre la base de energías renovables puede ser una solución clave de descarbonización de bajo costo en apoyo de los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París.

(IRENA, 2019). Hace casi 20 años atrás, el buque cisterna Jessica encalló y derramó 160.000 galones de diésel y 80 mil galones de bunker, combustible que contaminó las islas Floreana, Isabela, Santa Fe, Santa Cruz, San Cristóbal y sitios tan remotos como la isla Fernandina. Como consecuencia de este derrame de combustible existió una grave afectación a 379 animales de distintas especies.

1.3 Planteamiento del problema

No existe un estudio actualizado de las fuentes renovables en las islas Galápagos, anteriormente el diésel se empleaba en generadores de electricidad y esto ocasiona problemas potenciales, el suministro, involucra riesgos de derrames por parte de barcos cisternas, en un percance de la cisterna los efectos negativos en la fauna y flora de las islas. El uso del combustible produce las emisiones de CO₂, las emisiones son cada vez mayores y, por ello, la eficiencia energética es una forma de cuidar el medioambiente en las islas.

1.4. Objetivo General

Analizar el estado actual de reducción de combustibles fósiles por la generación híbrida de energía eléctrica en la isla Isabela del archipiélago de Galápagos

1.5 Objetivos Específicos

- Describir las características de la generación eólica y fotovoltaica
- Identificar proyectos energéticos de energía renovable a través de bicomcombustible en islas Galápagos.
- Analizar el uso de la energía renovable por generación híbrida en la isla Isabela.

1.5 Metodología

La metodología a emplearse es de tipo documental, el cual consiste en revisar la situación de los últimos años en cuanto al uso de energía renovable para la generación de electricidad en las islas Galápagos. Así también se investigan cifras estadísticas de los proyectos ejecutados en las islas Galápagos desde el 2007. Asimismo, se emplea el método analítico para

identificar datos de la reducción de CO₂ por parte de proyectos eléctricos con sistemas fotovoltaicos y de bicomcombustible en la isla Isabela.

CAPÍTULO 2: ENERGÍA EÓLICA Y FOTOVOLTAICA

A continuación, se describen brevemente sobre las energías renovables; eólica, fotovoltaica y de biomasa.

2.1 Energía Eólica en el Ecuador

Ecuador, a partir del 2007 su matriz energética experimentó un giro hacia la hidroelectricidad, así la capacidad instalada representaba el 46% del total del sector tecnológico, mientras que, en 2017 aquella proporción llegó al 56% en esta fuente renovable.

Actualmente, Ecuador produce la mayoría de su electricidad haciendo uso de sus recursos hídricos. Adicionalmente, existen nuevos proyectos de electrificación que maneja el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

La reducción de combustibles fósiles, aprovecha las fuentes renovables como la proveniente de la fuerza del viento, para así atender la demanda de energía. (Arboleda, 2013).

Los proyectos eólicos en el Ecuador, se muestran en la tabla 2.1

Tabla 2. 1 Proyectos Eólicos en el Ecuador

Proyecto Eólico	Potencia (MW)
San Cristóbal	2,4
Villonaco	25
Membrillo	45
Minas de Huascachaca	30

Fuente. (OLADE, 2019)

Es importante reiterar, que la energía eólica produce electricidad, mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra estiman una fuente de energía más barata y competitiva.

Potencial factible a corto plazo:

- Continental: 24244 MW
- Insular: 7 MW

Potencia en operación: 21,15 MW (Continental 16,5 MW; Insular 4,65 MW)

Proyectos estudios: 155 MW (Continental)

Velocidades medias anuales $\geq 7\text{m/s}$ bajo 3.000 msnm, y distancia menor a 10km a redes de transmisión y carreteras, son considerados técnicamente aprovechables.

De acuerdo con el MEER, la energía eólica en el Ecuador, está siendo aprovechada en la Isla San Cristóbal con una capacidad de 2,4 MW.

Asimismo, en la provincia de Loja, en el cerro Villonaco, con una potencia instalada de 16,5 MW. Además del proyecto recientemente inaugurado en la Isla Baltra con una capacidad de 2,25 MW

Desde el 2017, hasta la actualidad se han desarrollado:

- Estudios de prefactibilidad y factibilidad del proyecto eólico García Moreno en la provincia de Carchi. Potencia estimada 22-33 MW.
- Campaña de medición de viento de los proyectos eólicos Membrillo y Chinchas (Huacacocha) en la provincia de Loja. Potencia estimada 42-424 MW.
- Campaña de medición de viento en el sector de el arenal en la provincia de Bolívar. Potencia estimada: 57 MW.

Para realizar una estimación de recurso de un sitio, son necesarios los datos de viento generados por una estación meteorológica, preferentemente de un periodo largo. Estos datos incluyen por lo menos, dirección y velocidad del viento. Existen muchas formas de resumir los datos para llevar a cabo una evaluación de recurso de un sitio en particular, estas técnicas incluyen métodos estadísticos y directos (Arciniegas, Flórez, & Serano, 2018).

Para pronosticar la variación de la velocidad media del viento para un largo tiempo, se utiliza la función de distribución acumulada o curva de duración del viento. Véase la figura 2.1.

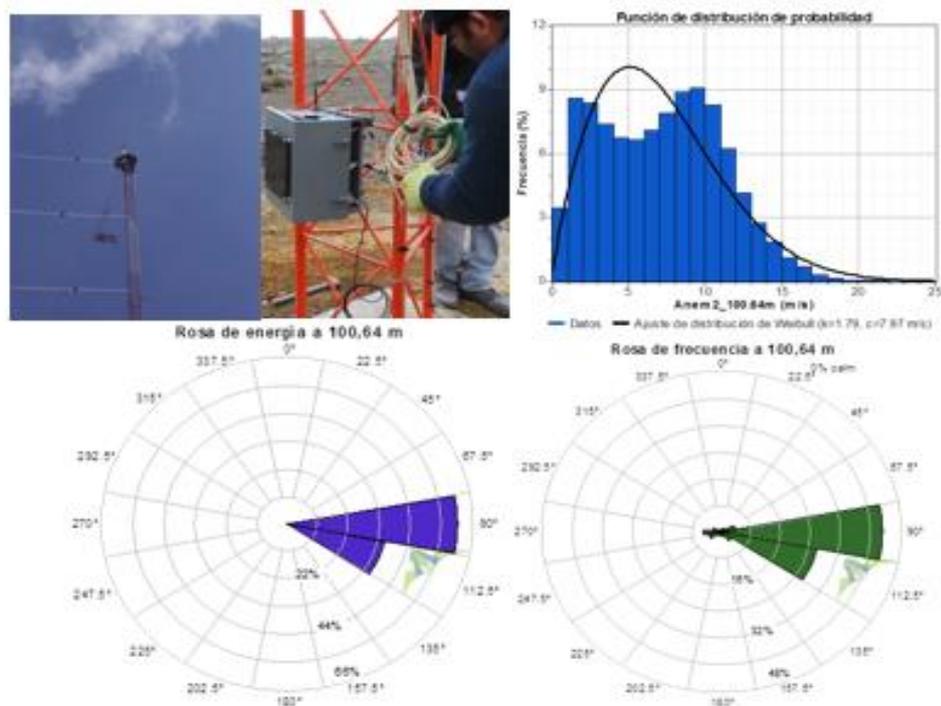


Figura 2. 1 Estudios de Recursos Eólicos.

Fuente: (CESLA, 2019)

2.2 Equipos para Generar Electricidad

2.2.1. Aerogeneradores

Según (Maldonado & De Jerónimo, 2008), un aerogenerador, llamado también turbina de viento, es una máquina capaz de transformar la energía cinética del viento en electricidad. Dicha máquina se coloca en un lugar donde las condiciones climáticas favorecen los vientos. En concomitancia, la explotación de la energía eólica se lleva a cabo, poniendo un conjunto de aerogeneradores en una instalación industrial, llamada parque eólico. Esta energía satisface una parte de la demanda total de electricidad de la población mundial.

El funcionamiento de esta máquina se basa en el movimiento de su hélice, la cual aprovecha la energía eólica proveniente del aire y mientras más pesado se encuentra el aire, más fuerza podrá entregar el aerogenerador (Sánchez 109, 2004)

La curva de potencia del generador describe la relación entre la variable de entrada de la velocidad del viento en m/s y la variable de salida de la potencia eléctrica en Watts o vatios. La figura 2.2 muestra al respecto.

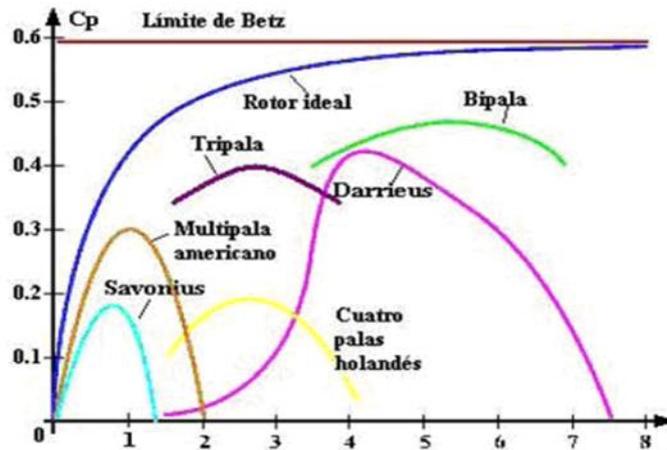


Figura 2. 2 Curvas aerogeneradores.

Fuente. (Párraga, Intriago, Velasco, Cedeño, & Murillo, 2018)

No obstante, existen tres tipos de aerogeneradores, los cuales se detallan a continuación:

- Eje horizontal
- Eje vertical
- Concentradores de flujo eólico

2.2.1.1 Eje horizontal:

Un aerogenerador de eje horizontal, son los más utilizados y se puede encontrar en grandes parques eólicos; pues, donde se usa este tipo de aerogeneradores puede llegar por encima de 1 MW de potencia.

Ventajas:

- ✓ Los extremos de pala variable, lo que permite un ángulo de ataque óptimo. Permite que el ángulo de ataque sea vagamente ajustado, lo que proporciona un gran control de modo que se puede aprovechar la máxima cantidad de energía eólica en cada momento.
- ✓ Las torres altas permiten acceder a vientos de mayor velocidad.

Desventajas:

- ✓ Los aerogeneradores horizontales presentan problemas de funcionamiento a alturas reducidas próximas al suelo, como consecuencia de las turbulencias.

- ✓ Las torres altas y las palas largas son difíciles de transportar. Encarece entorno a un 20% el costo del equipamiento.
- ✓ Necesitan de una maquinaria específica y de gran envergadura, para su instalación.
- ✓ Se instalan a gran altura podría afectar a los radares de los aeropuertos.
- ✓ Presentan impacto visual en el entorno. Las legislaciones nacionales, prohíben emplear los aerogeneradores como reclamos publicitarios.
- ✓ Precisan de un control minucioso, al ser propensos a fatiga de material y daños estructurales.
- ✓ Precisan de orientación al viento. En la figura 2.3 se puede apreciar un aerogenerador en eje horizontal.



Figura 2. 3 Aerogeneradores en eje horizontal

Fuente: (OLADE, 2019)

2.2.1.2 Eje vertical:

Los aerogeneradores de ejes verticales son más usuales, similares a los molinos de viento tradicionales, mueven sus aspas con respecto a un eje horizontal. La misma, no necesitan de un mecanismo de orientación y respecto al generador eléctrico, se puede encontrar situado en el suelo. Su producción energética es menor y tiene algunos pequeños hándicaps, como que necesita ser motorizado para que se le pueda poner en marcha.

Ventajas:

- ✓ No se necesita de una torre.
- ✓ Al ser vertical no necesita de una orientación y funciona con cambios rápidos de la dirección del viento.
- ✓ Se pueden ubicar cerca del suelo, facilitando así su mantenimiento.
- ✓ Pueden tomar ventaja de las irregularidades del terreno, lo cual incrementan la velocidad del viento.
- ✓ Tiene menor velocidad de arranque.
- ✓ Tiene menos probabilidad de rotura con vientos fuertes.

Desventajas:

- ✓ En la mayoría de los casos, su rendimiento es un 50% inferior a un aerogenerador de eje horizontal.
- ✓ No toman ventaja de los vientos fuertes a mayor altura. Véase la figura 2.4.



Figura 2. 4 Aerogenerador en eje vertical

Fuente. (Renovables Verdes, 2018)

2.2.1.3 Concentradores de flujo eólico:

Según (Arciniegas, Flórez, & Serano, 2018), el concentrador de flujo eólico fundamenta su diseño en un túnel cónico, con dos secciones circulares abiertas y transversales a la dirección del viento, en el cual se aplica el efecto Venturi, de tal forma, que el aerogenerador se ubica en la sección menor del túnel donde se ve aumentada la velocidad del viento, por el principio de continuidad. Véase la figura 2.5.

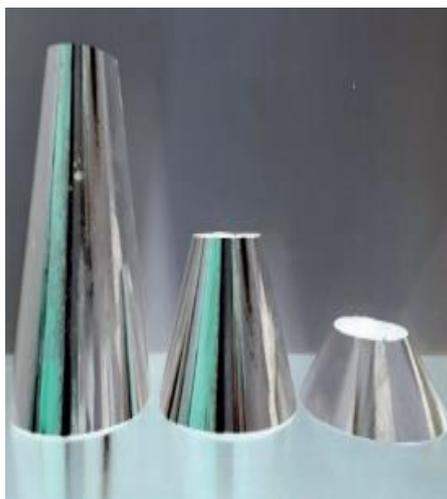


Figura 2. 5 Concentrador básico de flujo eólico

Fuente. (Arciniegas, Flórez, & Serano, 2018)

2.2.2 Tipos de Aerogeneradores Verticales

Dentro de los aerogeneradores de eje vertical se subdividen en dos categorías, cuales son:

Aerogeneradores accionados por resistencia

- Savonius simples, 2 palas.
- Savonius multipala, 4 palas.
- Tipo pantalla.
- Tipo cazoleta.

Aerogeneradores accionados por sustentación

- Darrieus, tipo batidora de huevos.
- D-Darrieus.
- Giromill
- Basados en turbinas

2.2.2.1 Tipo Savonius:

Los aerogeneradores Savonius fueron creados por el Ingeniero Finlandés Sigurd J. Savonius, en el año 1922. Por tanto, éste se caracteriza por estar formado por dos semicírculos desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire, por lo que desarrolla poca potencia.

La figura 2.6 muestra un aerogenerador Savonius. (Galián Sánchez, 2016)

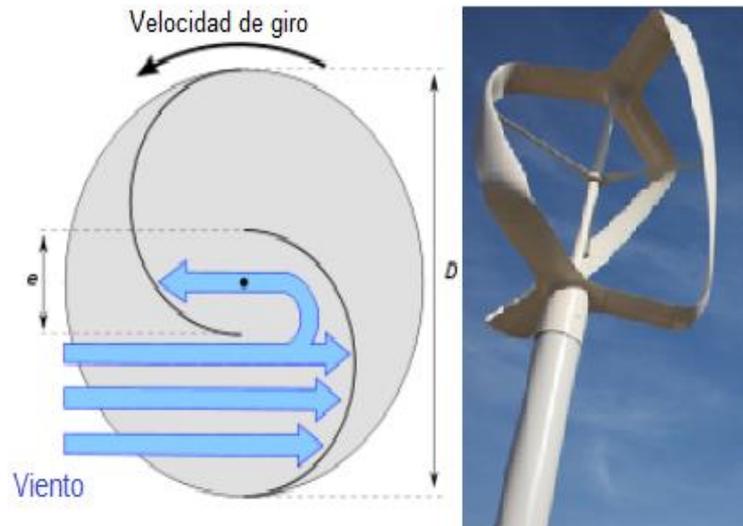


Figura 2. 6 Aerogenerador Savonius

Fuente: (OLADE, 2019)

Cabe destacar que este tipo de dispositivo tiene gran capacidad de arrancar con escaso viento, pero al poseer una baja velocidad de giro, tiene un bajo rendimiento; por tal motivo tiene un costo muy económico. Además, los aerogeneradores Savonius son utilizados para generar electricidad en boyas de alta mar, ya que necesitan poco mantenimiento. (Galián Sánchez, 2016)

2.2.2.2 Tipo Darrieus

Está formado por dos o tres palas biconvexas unidas al eje vertical por la parte inferior y superior, permite aprovechar el viento dentro de una banda ancha de velocidades. El inconveniente que posee es que no se encienden por sí solos y necesitan un rotor Savonius (Arciniegas, Flórez, & Serano, 2018)..

Asimismo, se construye con dos o tres palas y no requiere la construcción de una torre. Trabaja con vientos mínimos de 4 a 5 m/s. En la figura 2.7 se puede apreciar un aerogenerador Darrieus.

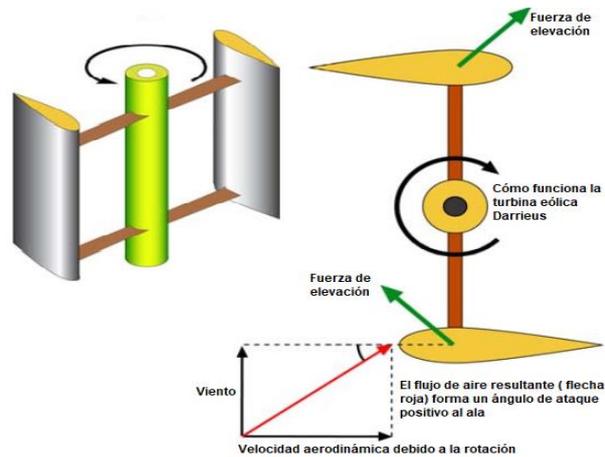


Figura 2. 7 Aerogenerador Darrieus

Fuente: (OLADE, 2019)

No obstante, se puede decir que el aerogenerador Darrieus más grande del mundo se encuentra en Cap-Chat en Canadá, con una altura de 110 metros y una potencia de 4 MW. Estuvo en funcionamiento hasta el año 1992, en el cual un fuerte temporal lo desestabilizó; actualmente es un monumento a la investigación. Véase la figura 2.8.

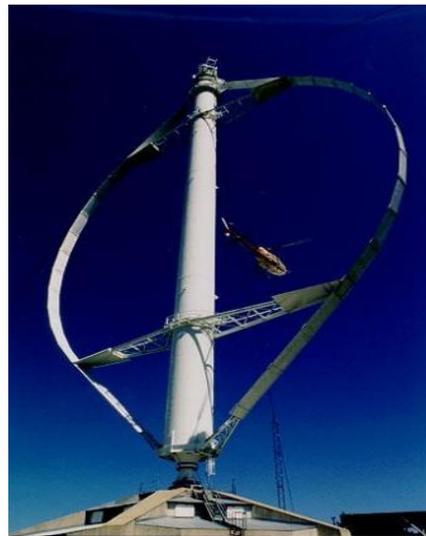


Figura 2. 8 Aerogenerador Darrieus más grande del mundo.

Fuente: (OLADE, 2019)

2.2.2.3 Tipo Giromill

El aerogenerador de tipo Giromill es un rotor mucho más eficiente que el anterior y produce cargas más estables, fue creado por G.J.M Darrieus y su fabricación consiste en 3 palas verticales que se encuentran unidas al eje por

brazos horizontales, esto pueden salir por los extremos o la parte central del aspa y generar una velocidad mecánica considerable, capaz de convertir energía eléctrica en poco tiempo.

Las palas pueden cambiar su orientación cuando el rotor va girando. Esto implica un mayor aprovechamiento del viento y ofrece un rango de suministro energético de 10 a 20 Kw. La figura 2.9 muestra un aerogenerador de tipo Giromill.



Figura 2. 9 Aerogenerador de tipo Giromill

Fuente. (Renovables Verdes, 2018)

2.2.3. Otros Equipos

Para generar energía en un parque eólico, se describe a continuación una lista de componentes que complementan el funcionamiento de los aerogeneradores (Maldonado & De Jerónimo, 2008):

- **Cables:** transmiten la electricidad desde el aerogenerador.
- **Baterías:** almacenan la electricidad producida para usarla cuando sea necesario, independientemente de la existencia de viento. La función prioritaria de las baterías en un sistema híbrido, es la de acumular la energía producida por los sistemas renovables para ser utilizada durante periodos de déficit.
- **Regulador de carga:** preserva a las baterías de sobrecargas de energía, detectando el estado de la carga de la batería en cada momento y regulando el paso de la energía.
- **Inversor:** transforma la electricidad continua en trifásica alterna.

- **Convertidor:** El convertidor es utilizado para transformar la corriente continua en alterna, en un proceso denominado inversión y a su vez, la corriente alterna en continua en un proceso llamado rectificación.
- **Edificio de control:** tiene los siguientes componentes para regular el funcionamiento de los aerogeneradores y controlar la energía generada:
 - * Interruptor trifásico; crea un cortocircuito en el alternador del aerogenerador actuando de modo de freno.
 - * Piloto; indica que el aerogenerador está produciendo electricidad.
 - * Detector de fallo de red; verifica que el circuito está cerrado.
 - * Sensor de tensión del aerogenerador; cierra el circuito al producirse corriente.
 - * Amperímetro; da lectura de la corriente producida.
 - * Transformador; convierte la electricidad alterna producida.
 - * Rectificador; pasa a continua la electricidad alterna producida.
 - * Inversor; organiza el paso de corriente y transforma en trifásica alterna la electricidad continua rectificada.
 - * Contador; registra la potencia producida por el sistema.
- **Línea eléctrica:** Efectúa la conexión desde el edificio de control del parque a la red eléctrica que, a su vez, distribuye la energía a sus clientes.

2.2.4 Estudio de Viento

Para el desarrollo de proyectos eólicos, es importante establecer un estudio de vientos, en donde se investigue los siguientes aspectos (Escudero 81, 2004) & (Maldonado & De Jerónimo, 2008):

- Velocidad media del viento.
- Distribución de frecuencias en las diferentes direcciones.
- Variación del viento con respecto a la altura y posición
- Estadística de ráfagas.
- Velocidad máxima
- Distribución del día típico medio (diurno y nocturno)

En este estudio, se miden las velocidades de los vientos utilizando un anemómetro. Este es un equipo que tiene tres brazos, separados por ángulos de 120° y se mueven alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad (Sánchez 115, 2004). Por su parte, se determinan las direcciones de los vientos utilizando una veleta, la cual marca la dirección resultante en grados en una rosa de vientos.

Por otro lado, el estudio de vientos se realiza a través de un proceso largo y costoso. Antes de invertir en un sistema eólico, se efectúa una campaña de registro de datos eólicos, en la cual se investigan aquellos parámetros básicos para el desempeño del parque eólico. Por este motivo, la campaña se extiende al menos durante un año de forma ininterrumpida (Escudero 222, 2004).

Al concluir este estudio, se determinan las características del viento y se analizan sus condiciones por medio de un análisis estadístico de los datos obtenidos en la campaña. Con este análisis, se asegura que el lugar escogido para la construcción del parque eólico tiene condiciones adecuadas respecto a sus recursos eólicos. (Maldonado & De Jerónimo, 2008)

2.2.5 Tipos de Parques Eólicos

2.2.5.1 Terrestres (Onshore)

Para una utilización eficiente de estas instalaciones, es necesario explotar correctamente el espacio disponible en el parque. Los aerogeneradores deben estar separados entre sí a unas distancias (de 3 a 5 diámetros), que impidan la influencia que provocan ellos mismos (sombras eólicas) o las turbulencias que pueden producir (efecto estela). Además, es importante que puedan estar lo más juntos que puedan en la medida de lo posible, para aprovechar la superficie de la que disponen y rebajar los costos internos de la red del parque y su pérdida de energía. Los dispositivos eólicos son instalados en varias filas, en disposición tresbolillo, tal como se puede apreciar en la figura 2.10. (Galián Sánchez, 2016)



Figura 2. 10 Aerogenerador terrestre-Onshore.

Fuente: (LBA Industrial, 2019)

2.2.5.2 Marinos (Offshore)

La energía eólica marina actualmente puede presentar mayores ventajas que la terrestre:

- Mayor velocidad del viento; la velocidad del viento es superior en la superficie marina que en la terrestre. Es sabido que la energía del viento depende del cubo de la velocidad y es probable que se genere un 50% más de energía que en la superficie terrestre.
- Existe una mayor estabilidad del viento; en el mar los periodos de calma son escasos.
- Los impactos visuales y sonoros son mínimos.
- Disminuye la rugosidad superficial.
- Se dan menos turbulencias: La diferencia de temperaturas entre la masa de aire y la masa marina, es menor que en las superficies terrestres. Esto implica una menor turbulencia y debido a ello, una mayor vida útil del dispositivo eólico.

Los parques eólicos marinos también presentan algunos inconvenientes, tales como:

- Los costos de inversión son 2 veces más altos que los terrestres.
- Mayores costos de anclaje del dispositivo o cimentación.
- Mayores costos de conexión a la red general.

- Mayores costos de mantenimiento.
- Se necesitan profundidades menores a 25 metros para su instalación. (Galián Sánchez, 2016). Véase en la figura 2.11.



Figura 2. 11 Aerogenerador marino-Offshore.

Fuente: (OLADE, 2019)

Sobre la potencia de una turbina existen tres factores que determinan la distribución del viento, donde la turbina sea instalada. Por tanto, se debe elegir un sitio con un buen potencial de energía eólica, ya que la velocidad del viento varía, incluso de segundo a segundo, se utiliza una función de distribución de probabilidades de *Weibull*, el cual define la velocidad del viento más adecuada.

- La altura de la turbina; existen muchas relaciones que se utilizan para encontrar la variación del viento a una altura determinada, ya que son muy complejas; se utilizan expresiones mucho más simples, que, aunque no son exactas, sus aproximaciones son satisfactorias.
- La curva de potencia eléctrica de salida; esta información la genera y proporciona el fabricante, ya que cada generador cuenta con diferente diseño y clasificación.

2.3 Medición de Viento

La normativa de medición del viento, según las normas internacionales para efectuar las mediciones, se deben realizar:

- A una altura de 10 metros.
- Con una frecuencia de 5 minutos.

Para términos de aprovechamiento de energía eólica, estos valores no son de mucha utilidad en las grandes potencias, aunque sí es más habitual en las pequeñas.

2.3.1 Parque Eólico Villonaco

La Central Eólica Villonaco de 16.5 MW de potencia inició su construcción en agosto de 2011. Cuenta con 11 aerogeneradores de 1.5 MW cada uno, del tipo GW70/1500. Tuvo una inversión: USD 424,35 millones de dólares.

Es el primer proyecto eólico en Ecuador continental, además de ser el primero en el mundo con una velocidad promedio anual de 12.7 m/s a una altitud de 2700 msnm.

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Loja, cantón Loja. Inicio de operación: desde el 2 de enero de 2013. La energía producida desde su puesta en marcha hasta agosto de 2016: 273,25 GWh.

Emisiones reducidas de CO₂: 32.000 T/año. La figura 2.12 muestra el parque eólico Villonaco.



Figura 2. 12 Parque eólico Villonaco.

Fuente: (IRENA, 2019)

2.3.2 Recurso Solar

Se entiende por recurso solar, toda la energía recibida diariamente, por unidad de área, en una determinada ubicación. Las unidades para expresar

este concepto en el Sistema Internacional (SI), es el J/m^2 ; aunque generalmente se expresa en las siguientes unidades. Véase la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Unidades del Sistema Internacional.

Unidad	Equivalencia (SI)
MJ/m^2	$1 \times 10^6 J/m^2$
kWh/m^2	$3,6 \times 10^6 J/m^2$
Btu/ft^2	$11,356 \times 10^3 J/m^2$
Langley = $1 cal/cm^2$	$2,4 \times 10^{-5} J/m^2$

Fuente: El autor

Efectivamente, agosto, es el mes donde es necesario el trabajo para producir un watt de potencia durante 1 segundo. Es decir, un vatio-segundo ($W \cdot s$).

De la misma manera, agosto, es el trabajo necesario para mover una carga eléctrica de 1 Culombio, a través de una diferencia de potencial de 1 Voltio, es decir, un Voltio-Culombio ($V \cdot C$).

Por otro lado, el sol es la fuente de las principales energías renovables.

2.3.3 Relación con las Energías Renovables

La energía eólica al ser una energía renovable, ayuda a compensar los efectos medioambientales negativos que el ser humano ha originado, como es el caso actual del cambio climático por el incremento del efecto invernadero.

- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía Eólica. El sol produce el calentamiento de la masa de aire de manera indirecta a través del calentamiento de la superficie del planeta. Se generan corrientes de convección, masa de aire caliente asciende, se enfría y desciende.
- Biomasa, fotosíntesis.
- Hidráulica. Ciclo hidrológico o ciclo del agua.

2.3.4 Equipo de medición

Para los equipos de medición se necesita de instrumentos para medir, tanto la radiación difusa como la directa. Pues, encontrar la radiación solar en un

momento determinado puede ayudar a conocer mejor cómo funcionaría el sistema. Sin embargo, es muy importante conocer la radiación durante un periodo de mayor duración, ya que puede proporcionar una visión a largo plazo sobre cómo funcionará el sistema durante todo el año, o durante varios meses.

La figura 2.13 muestra algunos instrumentos de medición de radiación solar, los cuales se detallan a continuación.

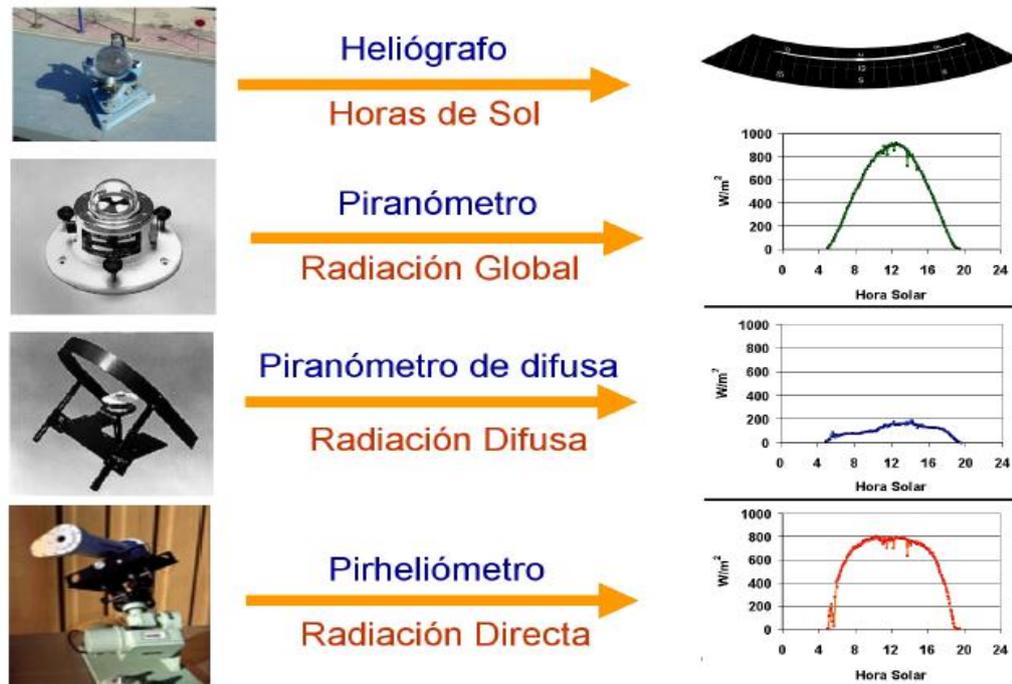


Figura 2. 13 Equipos de medición

Fuente: (Revista RD Energía, 2019)

- Heliógrafo; es un instrumento que mide la insolación, que son las horas de sol brillante que tiene el día.
- Actinómetro o pirheliómetro; es un instrumento para medir la radiación directa.
- Solarímetro o piranómetro; es un instrumento para la medición de la radiación global: directa+difusa+reflejada.

Además, el piranómetro posee una termocupla, el cual, al incidir los rayos del sol, facilita el aumento de temperatura para poder medir.

En la figura 2.14 muestra algunos piranómetros.



Figura 2. 14 Elementos de medida de radiación solar

Fuente: (Revista RD Energía, 2019)

2.4 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, llamada también energía fotovoltaica o energía fotoeléctrica, transforma la radiación solar en electricidad. Dicha transformación se realiza en los paneles solares. Cabe mencionar que la energía solar se aprovecha de la radiación de las partículas de luz del sol para producir energía. Se trata de una fuente de energía totalmente limpia, que no necesita utilizar las reacciones químicas, tampoco provoca ningún tipo de residuos.

2.4.1 Clasificación de los Sistemas Fotovoltaicos

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de la mismas; las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; esta última, de gran superficie e instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad. Véase la figura 2.16.



Figura 2. 15 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

Fuente: (Circuitor, 2015)

En las instalaciones conectadas a la red, la red pública actúa como un disipador de energía infinita y acepta toda la energía disponible del sistema fotovoltaico, tanto de centrales fotovoltaicas como de los instalados en viviendas y edificios. Este sistema requiere de condiciones de funcionamiento diferentes a la solución aislada, no necesita de subsistema de almacenamiento, y el sistema de regulación cumple la función de indicar al inversor de energía la disponibilidad en cada momento en los paneles (el punto de máxima potencia); este sistema conlleva, también un beneficio económico: "huertos solares", tal como puede ver en la figura 2.20 (Revista Urbanismo-U. Chile, 2005).

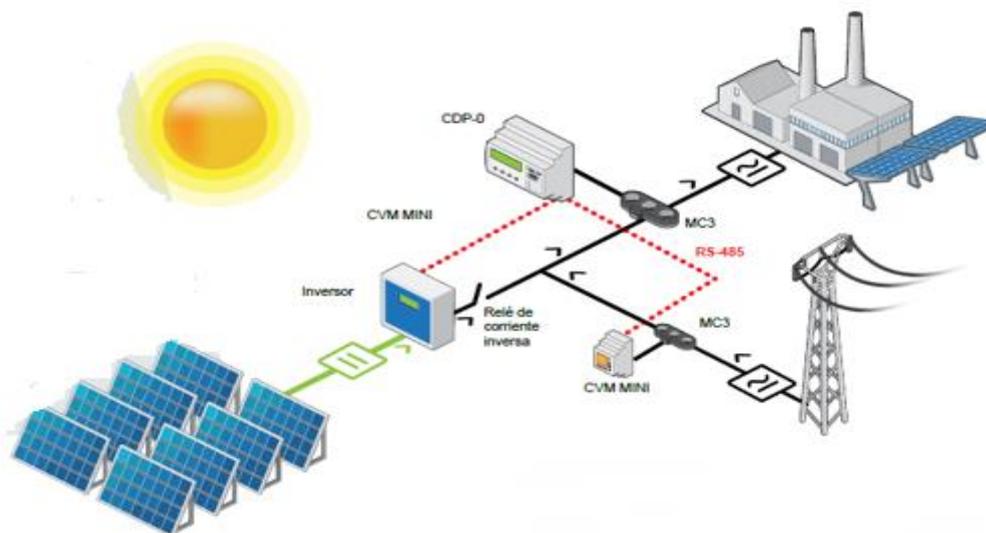


Figura 2. 16 Autoconsumo instantáneo con inyección cero.

Fuente: (Circuitor, 2015)

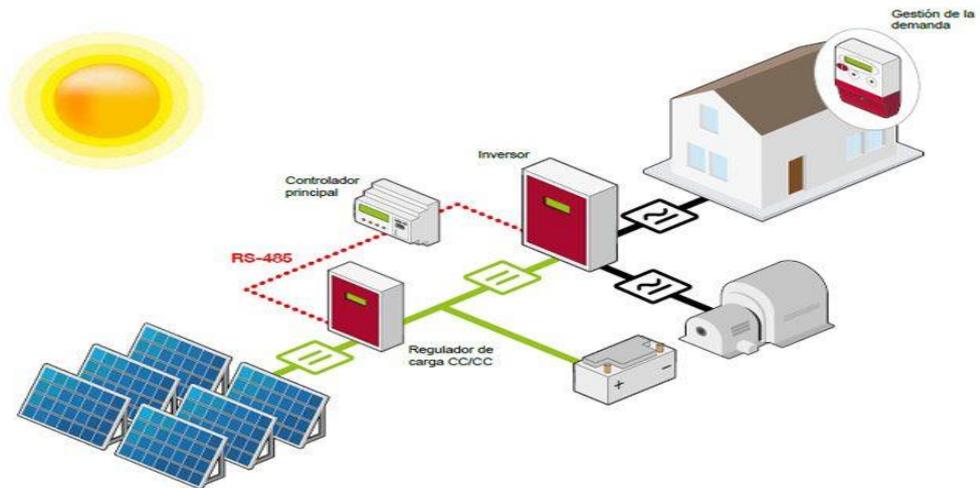


Figura 2. 18 Autoconsumo diferido aislado de red.

Fuente: (Asociación de Empresas de Energías Renovables, 2018)

Sin embargo, la figura 2.23 muestra el autoconsumo diferido con acumulación y acoplamiento AC; esta solución está fundamentalmente indicada para aquellos edificios, que ya disponen de una instalación fotovoltaica conectada a red para venta de energía, en la que se desea desviar parte de la producción para ser consumida cuando decrezca la radiación solar.

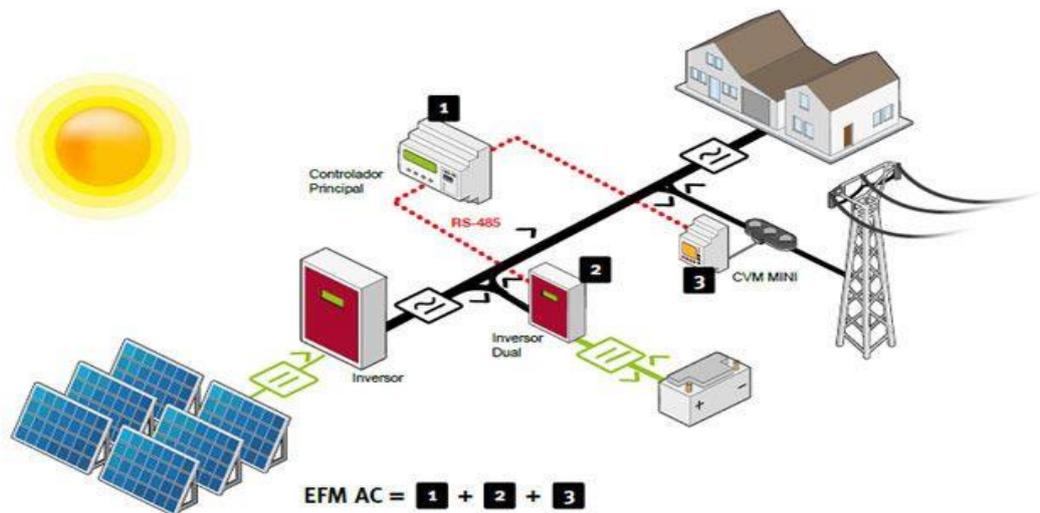


Figura 2. 19 Autoconsumo diferido con acumulación y acoplamiento AC

Fuente: (Circuitor, 2015)

En estos sistemas, el supervisor modula al inversor-cargador, con el objetivo de conseguir reducir al máximo el intercambio de energía con la red. Se carga la batería en función del excedente en horas diurnas y descarga la batería en función del consumo en horas de baja o nula insolación.

Elementos internos:

- Ondulador bidireccional
- Control y supervisión de baterías
- Conexión a red a través de relé de transferencia
- Monitorización y registro de datos vía Internet

2.5 Proyectos FV de conexión a red

En la tabla 2.3 puede observar los datos de empresas de generación fotovoltaica y su potencia instalada en Ecuador.

Tabla 2. 3 Proyectos fotovoltaicos en Ecuador

Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	POTENCIA
1	ALTGENOTEC	ALFVG	0,990
2	BRINEFORCORP	BRFVG	1,000
3	ELECTRISOL	ELFVG	1,000
4	ENERSOL	ENFVG	0,490
5	EMPRESA PUBLICA FV	EPFVG	2,000
6	GENRENOTEC	GEFVG	0,990
7	GRANSOLAR	GSFVG	3,000
24	GONZAENERGY	GZFVG	1,000
9	LOJAENERGY	LOFVG	1,000
10	RENOVALOJA	RLFVG	1,000
11	SANSAU	SAFVG	1,000
12	SABIANGOSOLAR	SBFVG	1,000
13	SOLCHACRAS	SCFVG	1,000
14	SOLHUAQUILLAS	SHFVG	1,000
15	SOLSANTROS	SLFVG	1,000
16	SANERSOL	SNFVG	1,000
17	SOLSANTONIO	SOFVG	1,000
124	SAN PEDRO SOLAR	SPFVG	1,000
19	SURENERGY	SRFVG	1,000
20	SARACAYSOL	SYFVG	1,000
21	VALSOLAR	VAFVG	1,000
22	WILDTECSA	WIFVG	1,000
	TOTAL		24,470

Fuente: El autor a partir MEER .2018

2.6 Biomasa como Energía Renovable

Esta es la fuente de energía renovable más antigua pero los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios

para la conversión de biomasa en energía: métodos termoquímicos y bioquímicos.

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, capaz de ser aprovechada energéticamente. Sin embargo, en la actualidad, se considera biomasa a un grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica. (RENOVETEC, 2013)

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas, ya que en ellos se producen residuos (rastros), que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. Por tanto, en la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla apropiadamente. (BUN-CA, 2002). Véase la figura 2.25.

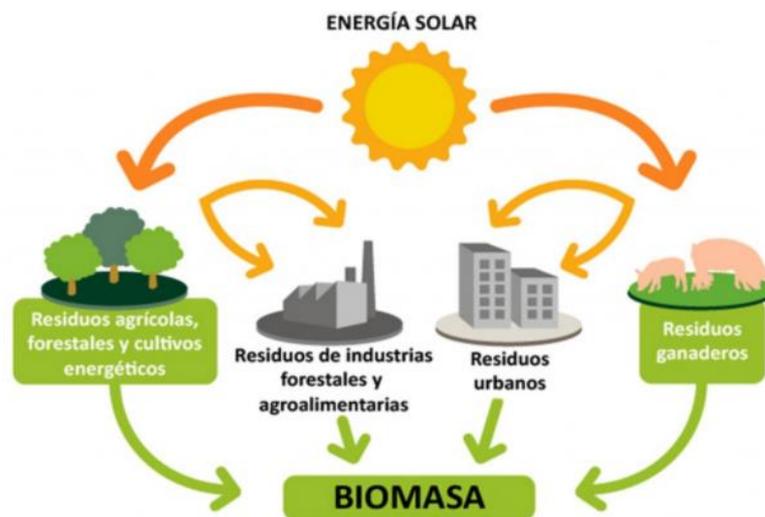


Figura 2. 20 Recursos de Biomasa

Fuente. (EBA SL, 2019)

2.6.2 Ventajas e Inconvenientes de la utilización de la Biomasa

La utilización de la biomasa con fines energéticos tiene muchas ventajas, no solo para el propietario de la instalación, sino también para la sociedad. Dichas ventajas se agrupan en:

2.6.2.1 Ventajas ambientales:

- ❖ **Disminución de las emisiones de CO₂ respecto a otros combustibles fósiles:** Ya que, para realizar el aprovechamiento energético de esta fuente renovable se tenga que proceder a una combustión (que dará como resultado H₂O y CO₂), la cantidad de dióxido de carbono emitida, causante del efecto invernadero, se considera que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Por tanto, esta combustión no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- ❖ **No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados (causantes de la lluvia ácida), ni apenas partículas sólidas:** Conjuntamente, el uso de biocombustibles en motores de combustión interna, prevé una reducción de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas, SO₂ y CO).
- ❖ **Disminución de residuos:** Mediante el reciclaje de la biomasa producido de los residuos de otras actividades. Por ejemplo, el empleo del proceso de digestión anaerobia para tratar las biomásas residuales húmedas, aparte de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los fangos resultantes del proceso de digestión anaerobia (residuos), pueden utilizarse como fertilizantes en la agricultura.
- ❖ **Evita la erosión y la degradación del suelo:** A través de la implantación de cultivos energéticos en tierras abandonadas, sobre todo si se realiza con especies perennes (de Lucas Herguedas & del Peso Taranco, 2012).

2.6.2.2 Ventajas socioeconómicas:

- ❖ **Diversificación energética:** El aprovechamiento de la biomasa favorece a este objetivo marcado por los planes energéticos nacionales y europeos.
- ❖ Reduce la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

- ❖ **Nuevas oportunidades para el sector agrícola:** ya que los cultivos energéticos sustituyen a los cultivos excedentarios en el mercado de alimentos.
- ❖ **Puede contribuir a un aumento económico en el medio rural:** con el aprovechamiento de algunos tipos de biomasa, principalmente la forestal y los cultivos energéticos.

Sin embargo, no hay que olvidar algunos pequeños inconvenientes derivados de las características que presenta la biomasa:

- ❖ Tienen menores rendimientos energéticos que los combustibles derivados de los combustibles fósiles.
- ❖ Poseen mayores costos de producción, frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- ❖ La biomasa tiene una baja densidad energética, es decir, que para conseguir la misma cantidad de energía se necesita utilizar más cantidad de materia prima. Esto hace que surjan algunos problemas de transporte y almacenamiento.
- ❖ Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.
(de Lucas Herguedas & del Peso Taranco, 2012)

2.6.3 Aplicaciones

La gran variedad de biomásas que existen, más el desarrollo e incremento de distintas tecnologías de transformación de ésta en energía (combustión directa, pirólisis, gasificación, fermentación, digestión anaeróbica, etc.) permiten plantear una gran cantidad de aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad, biocombustibles y gases combustibles. A continuación, se describe cada uno de ellos:

2.6.3.1 Producción de energía térmica

El aprovechamiento convencional de la biomasa sólida (natural y residual), aunque también es posible quemar el biogás producida de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis, generado en la gasificación de uno sólido. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor o calentar agua. La producción térmica sigue una escala de usos que comienza en las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares para calentar estancias y/u otros sistemas

con producción de agua caliente sanitaria. En un segundo nivel se sitúan las calderas diseñadas para proveer de calor y agua caliente a bloques de edificios o viviendas.

2.6.3.2 Producción de energía eléctrica

Obtenida minoritariamente a partir de biomasa residual (restos de cosecha y poda, orujillo y el alperujo) y principalmente a partir de cultivos energéticos leñosos, de crecimiento rápido y herbáceos. También se utiliza el biogás resultante de la fermentación de ciertos residuos (lodos de depuradora, RSU) para generar electricidad. La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles. Para ello se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran un combustible convencional, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. En función del tipo y de la cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin.

2.6.3.3 Producción de gases combustibles

Es una aplicación poco utilizada actualmente que consiste en la descomposición de la biomasa en un digestor para obtener un gas, cuyo compuesto combustible es básicamente metano, pero también contienen nitrógeno, vapor de agua y compuestos orgánicos. El proceso es adecuado para tratar biomasa de elevado contenido en humedad y poco interesante en otras aplicaciones, bien por su calidad o por la poca cantidad disponible.

2.6.3.4 Producción de biocombustibles

En este punto se distingue entre la producción de biocarburantes destinados a su utilización en vehículos con motor diésel y los destinados a los vehículos con motor de encendido provocado. Los primeros se obtienen de cultivos o especies vegetales oleaginosas (ej. girasol, colza, cacahuete) y sustituyen al diésel tradicional, y los segundos se obtienen de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares (remolacha, patata, caña de azúcar, maíz, trigo, etc) y sustituyen a las gasolinas o aditivos de las gasolinas sin plomo.

2.6.4. Biocombustible

La producción de biocombustibles como el “etanol y el biodiesel” tiene la capacidad para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte. El uso extensivo de etanol en Brasil ha demostrado, durante más de 20 años, que los biocombustibles son técnicamente factibles a gran escala. En los Estados Unidos y Europa su producción está incrementándose y se están comercializando mezclados con derivados del petróleo. Por ejemplo, la mezcla denominada E20, constituida 20% de etanol y 80% de petróleo, resulta aplicable en la mayoría de motores de ignición. Actualmente, este tipo de combustible es subsidiado por los gobiernos, pero, en el futuro, con el incremento en los cultivos energéticos y las economías de escala, la reducción de costos puede hacer competitiva su producción.

2.6.5 Clasificación de biocombustibles

2.6.5.1 El bioetanol

Es un alcohol producido principalmente a partir de caña de azúcar o maíz (el maíz es mezclado con un poco de cebada o trigo en algunos casos), cuyos hidratos de carbono son fermentados a etanol por las levaduras de género *Saccharomyces*.

La producción puede llevarse a cabo tanto a partir de residuos agrícolas, forestales, industriales o urbanos. Los desechos agrícolas y forestales, materias primas ricas en celulosa, son las que más abundan y cuya utilización tiene menor costo. A pesar de esto, no resulta rentable en la actualidad la obtención de etanol a partir de estos residuos, debido que la conversión de la celulosa de azúcares fermentables es un proceso complejo y costoso.

2.6.5.2 El biodiesel

Se produce a partir de diversos tipos de grasa o aceite, que pueden ser tanto de origen vegetal, como los aceites de soja, colza o girasol, como de origen animal. Su elaboración está basada en la llamada transesterificación de los glicéridos, mediante la utilización de catalizadores. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol. En la

reacción de transesterificación, una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de alcohol o etanol para dar tres moléculas de mono ésteres y una de glicerol. Estos ésteres metílicos o etílicos (biodiesel) se mezclan con el combustible diésel convencional en cualquier proporción o se utilizan como combustible puro (biodiesel 100%) en cualquier otro diésel. Glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción.

2.6.5.3 Biogás

Se llama biogás a aquel gas creado mediante la fermentación bacteriana de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno. Puede realizarse tanto en medios naturales como en dispositivos específicos para la creación del gas. El producto obtenido se encuentra conformado principalmente por metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono, aunque también se encuentran otros gases de menor proporción.

Para su obtención, se pueden utilizar como materia prima la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábrica de levadura, la pulpa y cascara de café, así como la materia seca vegetal. Véase la figura 2.26.

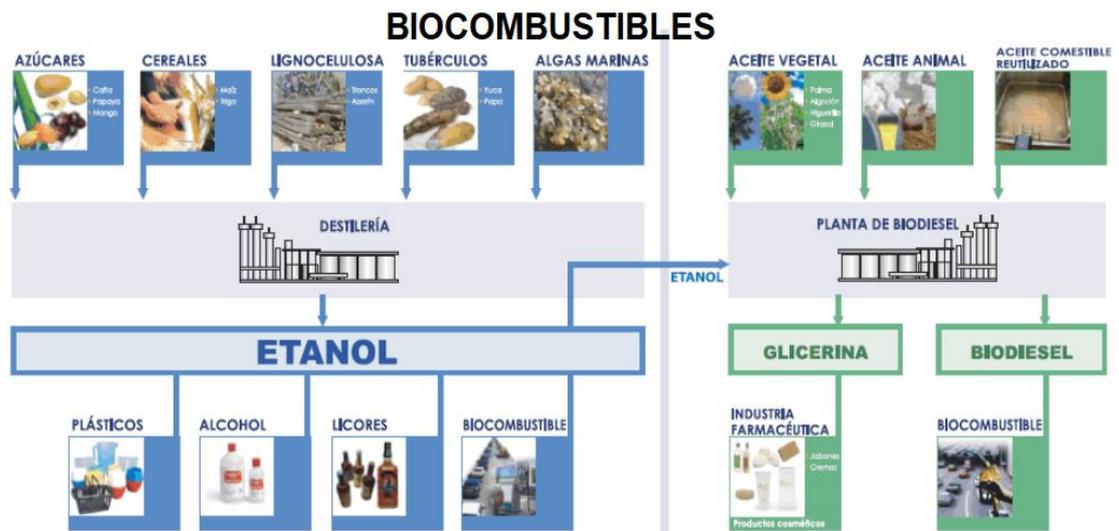


Figura 2. 21 Biocombustibles

Fuente. (EBA SL, 2019)

2.7 Emisiones de CO₂

El dióxido de carbono (CO₂), conectado al vapor de agua y otros gases, es uno de los denominados gases de efecto invernadero (G.E.I.). Pues, a pesar

de que tiene diferentes funciones en el planeta, que hacen posible la vida en la Tierra, las emisiones de CO₂ en exceso pueden ocasionar grandes daños sobre los ecosistemas y la biodiversidad.

No obstante, los gases ayudan a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para el desarrollo de la vida. Sin CO₂ ni vapor de agua, la temperatura media de la Tierra sería de unos -33°C, del orden de 18°C bajo cero, lo que haría inviable la vida.

Sin embargo, el exceso de emisiones de CO₂ incrementa el efecto invernadero, el cual reduce la dispersión de calor acumulado por la radiación solar en la superficie del planeta hacia el espacio y provoca un mayor calentamiento de la Tierra.

CAPÍTULO 3: ENERGÍA RENOVABLE EN LAS ISLAS GALÁPAGOS

A continuación, se describe los porcentajes de generación eléctrica por proyectos fotovoltaicos, eólicos en el archipiélago de las Galápagos. En la figura 3.1 se muestra la matriz de generación de energía eléctrica 2018:

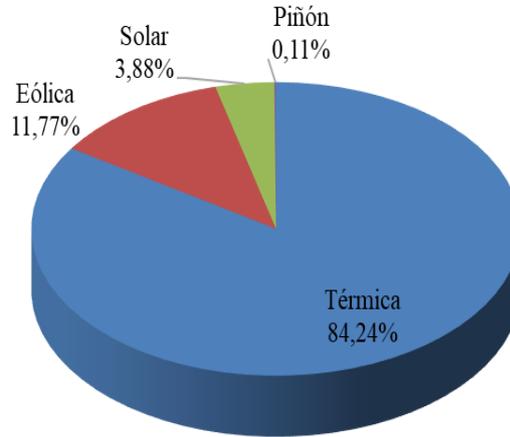


Figura 3. 1 Matriz de generación de energía eléctrica 2018

Fuente: (ELECGALAPAGOS-MEER, 2018)

En las figuras 3.2 se muestran la potencia instalada en algunas islas del archipiélago de Galápagos.



Figura 3. 2 Potencia instalada en Galápagos.

Fuente: ELECGALAPAGOS-MEER, 2018

La figura 3.3 se muestra los proyectos energéticos a partir de fuente renovables de algunas Islas y sus potencias instaladas.



Figura 3. 3 Potencia instalada por proyecto en las Islas Galápagos.

Fuente: (ELECGALAPAGOS-MEER, 2018)

3.1 Proyecto eólicos San Cristóbal

Las principales características del parque eólico de San Cristóbal son:

- Ubicado en la Isla de San Cristóbal. Cerro Tropezón.
- Potencia instalada: 2,4 MW (3 x 2400 kW).
- Energía año promedio: 3.600 MWh.
- Cobertura: aproximadamente el 32 % de la demanda de la isla. Con picos del 90%.
- Reducción de emisiones de CO₂: 2.2400 T/ año (aprox.)
- Inicio de operación: octubre 2007.

Véase en la figura 3.4. los aerogeneradores del proyecto eólico que opera en una de las islas del archipiélago de Galápagos.



Figura 3. 4 Parque eólico, San Cristóbal

Fuente: (IRENA, 2019)

3.1 Proyecto eólico en isla Baltra

Las principales características del parque eólico Baltra de San Cristóbal son:

- Parque Eólico: Cerro Tropezón.
- Ubicado en la Isla de Baltra.
- Potencia instalada: 2,25 MW (3 x 750 kW).
- Energía año promedio: 6.000 MWh.
- Reducción de emisiones de CO₂: 3.600 T/ año (aprox.).
- Reducción diésel: 550.000 gal/año.
- Inicio de operación: 22 de diciembre de 2014. En la figura 3.5 muestra el parque eólico Baltra.



Figura 3. 5 Parque eólico Baltra.

Fuente: (IRENA, 2019)

por el Ecuador y un 30% por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

En la figura 3.7 se puede observar la ubicación de generación térmica a combustibles fósiles y la ubicación de aerogeneradores.



Figura 3. 7 Ubicación de generación térmica y ubicación de aerogeneradores.

Fuente. Google Earth 2020, editado por autor

3.3 Proyecto Parque Fotovoltaico Puerto Ayora (isla Santa Cruz)

Este proyecto energético aprovecha la energía solar a través del uso de 6000 paneles solares. El proyecto generará 2.43GWh al año y ahorrará al Ecuador aproximadamente unos 470.000USD. De la misma manera, no se utilizará alrededor de 118.000 galones de diésel, que equivale a la no emisión de 1.475 toneladas de CO₂ en el mismo período. (IRENA, 2019)

La figura 3.8 muestra la ubicación del parque fotovoltaico de puerto Ayora en la isla Santa Cruz.

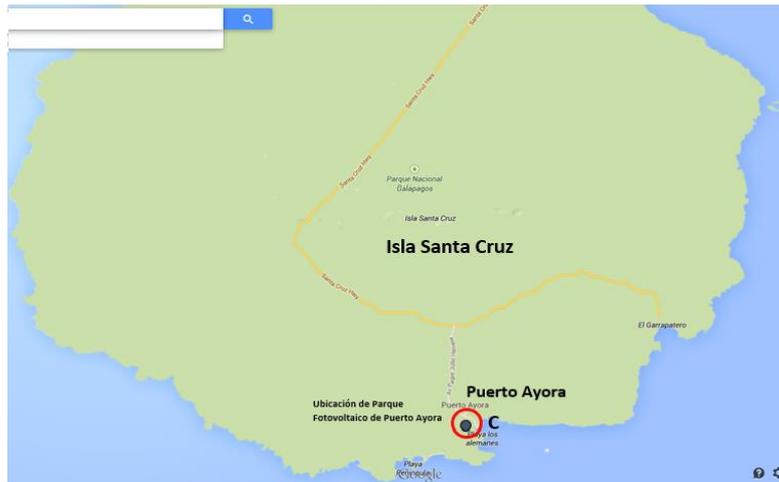


Figura 3. 8 Parque fotovoltaico en puerto Ayora.

Fuente. Google Earth 2020, editado por autor

3.4 Proyecto Sistema de Transmisión Baltra-Santa Cruz

Este proyecto tiene una inversión aproximada de 14 millones de dólares y evacuará la energía producida en las obras antes mencionadas a través de líneas de transmisión eléctricas aéreas, subterráneas y submarinas, en beneficio de los residentes insulares. El proyecto interconectará las islas de Baltra y Santa Cruz, conectando el parque eólico de Baltra con la subestación eléctrica existente en Puerto Ayora. Tendrá un recorrido aproximado de 50km y tendrá una tensión alterna de 34.5kV. Véase la figura 3.9.



Figura 3. 9 Sistema de Transmisión Baltra-Santa Cruz

Fuente. Google Earth 2020, editado por autor

Tabla 3. 1 Generadores eléctricos instalados en la Isla Isabela

Modelo	MARCA		Voltaje Nominal (V)	POTENCIA		Año
	Motor	Generador		Nominal (kW)	Efectiva (kW)	
3412	Caterpillar	Caterpillar	240	455,0	386,8	1999
3408	Caterpillar	Caterpillar	240	310,0	248,0	1996
350CA2	Cummins	Dow Warner	127-220	315,0	252,0	1993
Total				1.080,0	886,8	

Fuente. El autor

Los dos grupos de Caterpillar están conectados en paralelo a una barra de 240V en corriente trifásica a 60Hz, ésta a su vez se conecta a un transformador triangulo - estrella de 500 kVA para elevar la tensión desde 240 V hasta los 13,2 kV de distribución de la red. Véase la figura 3.11.

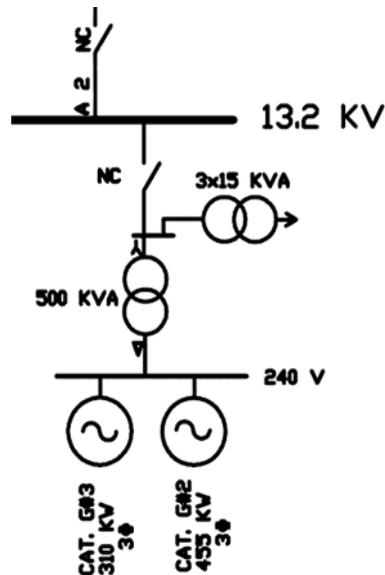


Figura 3. 11 Unifilar de conexión grupos electrógenos Caterpillar

Fuente: (Calvo García, 2015)

El grupo Cummins se conecta a otra barra independiente de 240 V en corriente trifásica a 60Hz, ésta a su vez se conecta a un transformador triangulo-estrella de 400 kVA para elevar la tensión desde 240 V hasta los 13,2 kV de distribución de la red.

Véase en la figura 3.12. el diagrama unifilar de conexión de los generadores Cummins

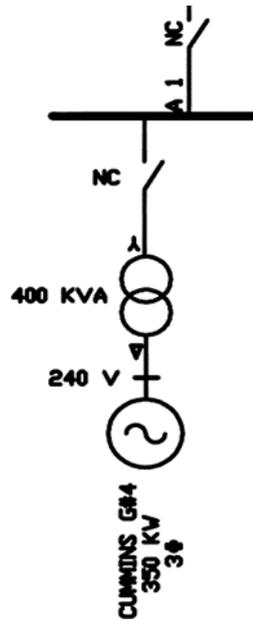


Figura 3. 12 Unifilar de conexión grupo electrógeno Cummins

Fuente: (Calvo García, 2015)

Todos los grupos comparten un mismo embarrado en 13,2 kV hacia la red de distribución de la isla. Véase la figura 3.13.

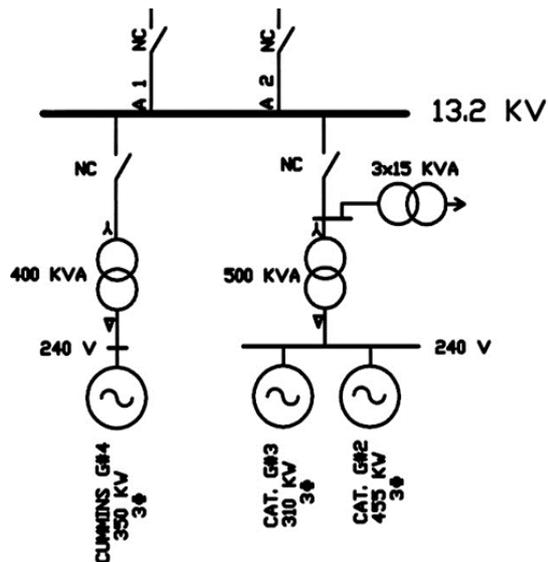


Figura 3. 13 Unifilar de grupos de generación y embarrado en 13,2 kV

Fuente. (Calvo García, 2015)

No obstante, la red de distribución está compuesta por pequeños puntos de consumos con sus respectivos transformadores MT/BT, los cuales se encuentran en los rangos de potencias desde 5 kVA has 45 kVA. En la figura

3.14 se muestra el diagrama unifilar de distribución, el plano completo se adjunta en el anexo 1:

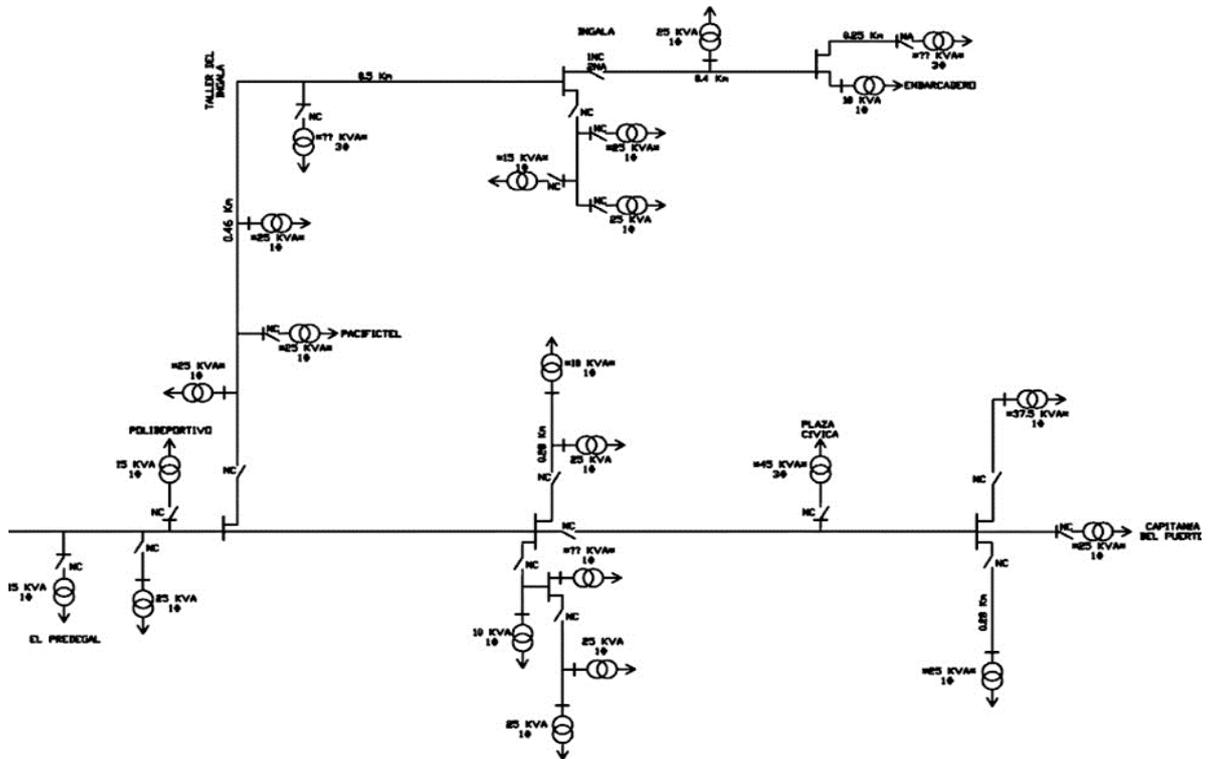


Figura 3. 14 Unifilar distribución puntos de consumo

Fuente. El autor

3.7 Perfil de consumo de la isla

3.7.1 Consumo Mensual

El perfil de consumos de Isla Isabela se obtiene a partir de datos publicados por la *Empresa Eléctrica Provincial Galápagos* (Elecgalapagos) y CONELEC (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador, así como de informes y estudios realizados por la empresa consultora Lahmeyer Internacional.

En lo referente a consumos mensuales, solo se han obtenidos datos del año de 2010 de un informe de consumos de la isla Isabela realizado por Lahmeyer International en base al Catastro de Elecgalapagos 2010, los datos obtenidos estiman un consumo anual de 2.475 MWh/año, tal como se muestra en la siguiente tabla 3.2:

Tabla 3. 2 Datos de consumos para el año 2010 Isla Isabela

Mes	Consumo facturado	Residencia I	Alumbrado público	Comercial	Hoteles	Entidades públicas	Inrial
		46%	7%	12%	15%	19%	1%
Enero	221.551	101.493	16.528	26.697	32.634	42.493	1.706
Febrero	196.217	89.887	14.638	23.644	28.903	37.634	1.511
Marzo	252.074	115.475	18.805	30.375	37.131	48.348	1.941
Abril	250.847	114.913	18.713	30.227	36.950	48.112	1.932
Mayo	246.928	113.118	18.421	29.755	36.372	47.361	1.901
Junio	197.834	90.628	14.758	23.839	29.141	37.945	1.523
Julio	188.842	86.509	14.088	22.755	27.816	36.220	1.454
Agosto	179.210	82.096	13.369	21.595	26.398	34.372	1.380
Septiembre	183.331	83.984	13.676	22.091	27.005	35.163	1.412
Octubre	177.149	81.152	13.215	21.346	26.094	33.977	1.364
Noviembre	175.522	80.407	13.094	21.150	25.854	33.665	1.352
Diciembre	206.319	94.515	15.391	24.861	30.391	39.572	1.589
Total	2.475.824	1.134.175	184.696	298.337	364.689	474.863	19.064

Fuente: Catastro Elecgalápagos 2010

No obstante, en el informe de Lahmeyer International y en base a los datos proporcionados por Elecgalapagos se observó un crecimiento promedio en el consumo de la isla desde 2008 a 2010 de un 7,5% anual.

En base a estos datos se calcula el consumo estimado para el año previsto de puesta en marcha de la instalación, que en nuestro caso consideraremos el 2016. Por lo tanto, se aplicará un 7,5% de crecimiento anual de consumo con cierta variación al alza anualmente de un 0,4-0,6, (véase la tabla 3.3).

Tabla 3. 3 Consumo mensual estimado para el año 2016

Incremento Anual	7,50%	7,55%	7,59%	7,64%	7,68%	7,72%	-
kWh/mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	221.551	238.167	256.149	275.591	296.646	319.428	344.088
Febrero	196.217	210.933	226.859	244.077	262.725	282.902	304.742
Marzo	252.074	270.980	291.439	313.559	337.515	363.436	391.493
Abril	250.847	269.661	290.020	312.032	335.872	361.667	389.587
Mayo	246.928	265.448	285.489	307.158	330.624	356.016	383.501
Junio	197.834	212.672	228.728	246.089	264.890	285.233	307.253
Julio	188.842	203.005	218.332	234.903	252.850	272.269	293.288
Agosto	179.210	192.651	207.196	222.922	239.953	258.382	278.329
Septiembre	183.331	197.081	211.960	228.048	245.471	264.323	284.729
Octubre	177.149	190.435	204.813	220.358	237.194	255.410	275.128
Noviembre	175.522	188.686	202.932	218.334	235.015	253.064	272.601
Diciembre	206.319	221.793	238.538	256.643	276.251	297.467	320.431
ANUAL (kWh/año)	2.475.824	2.661.511	2.862.455	3.079.715	3.315.005	3.569.598	3.845.171
kWh/día	6.783	7.292	7.842	8.438	9.082	9.780	10.535

Fuente. El autor

De la tabla 3.3 se obtuvo la variabilidad de consumo mensual expresado en porcentual, respecto al promedio anual (siendo el promedio de 206.319 kWh/mes), quedando de la siguiente forma (véase la figura 3.15).

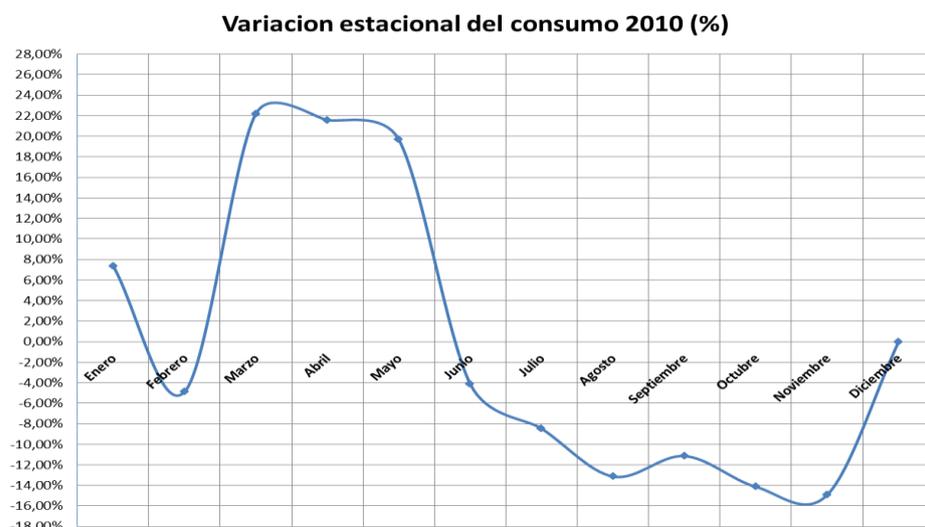


Figura 3. 15 Variación estacional del consumo en % sobre el promedio anual

Fuente. El autor

Esta variación se asume como constante, por lo que se aplica para el año base (2010) y será igualmente aplicable para el año de estudio (2016). Posteriormente, en las simulaciones realizadas por software se aplicó un factor variabilidad diaria y horaria a los consumos.

Además, se puede observar que los meses de máximo consumo se sitúan entre marzo, abril y mayo, mientras que los de menor consumo se sitúan en agosto, septiembre, octubre y noviembre.

3.7.2 Consumo Horario

De ElecGalapagos se pudo obtener un único perfil detallado del consumo horario de uno de los transformadores de 50 kVA de la Isla Isabela para el día 18 de marzo de 2013, si bien es un único día, este se puede considerar representativo para la curva de consumo horaria de la isla. Por lo tanto, este día se emplea como base y representa desde ahora en adelante una curva tipo de consumo de la Isla Isabela extrapolable para la realización de los cálculos y simulaciones.

La curva horaria correspondiente al transformador de 50kVA que opera en la Isla Isabela, es la que se muestra en la figura 3.16.

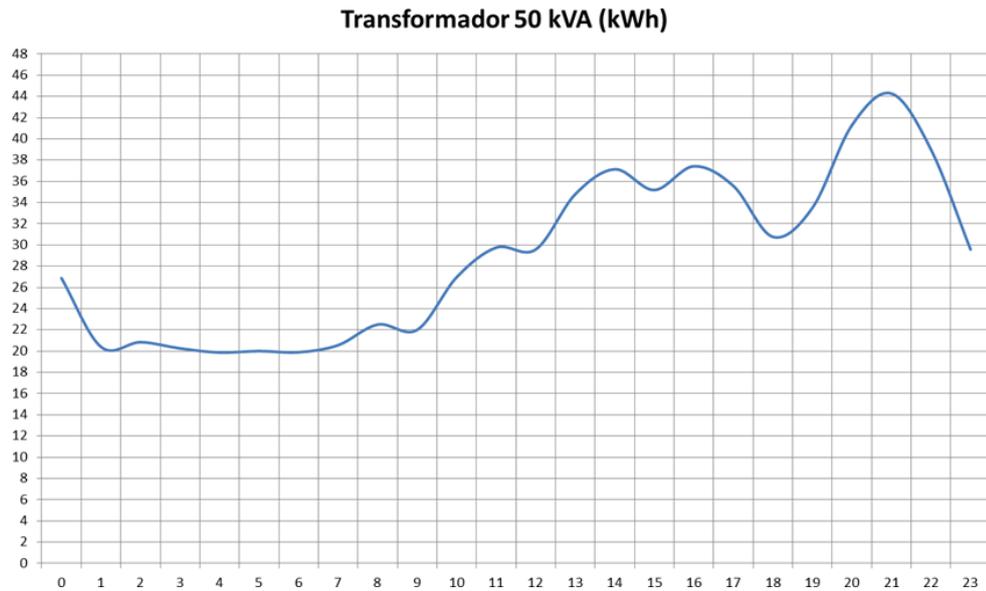


Figura 3. 16 Perfil de consumo tipo de un transformador de 50 kVA en la isla Isabela

Fuente. El autor

Como se puede observar, los picos de consumo se obtienen entre las 13:30 y las 16:30, y otro, entre las 20:00 y las 22:00. Sin embargo, durante la madrugada desde la 1:00 hasta las 7:00 se observa el consumo mínimo.

La suma total de energía consumida para este día y junto con el transformador de 50kVA, es de 698 kWh. Pues, partiré de la premisa de un consumo idéntico para los 31 días de marzo (posteriormente se incluirá variabilidad diaria y horaria sobre dicho consumo en las simulaciones por software). Por tanto, la energía total consumida por dicho transformador de 50kVA para el mes de marzo del que se dispone de datos es:

$$E_{\text{trafo 50 kVA Marzo}} = n^{\circ}_{\text{días Marzo}} \cdot E_{\text{diaria Trafo 50kVA}} = 31 \text{ días} \cdot 698 \text{ kWh} \\ = 21.638 \text{ kWh}$$

A continuación, se extrapola el perfil de consumo diario del transformador de 50kVA a una magnitud más acorde con el consumo total de la isla, de este modo se obtendrá un perfil de consumo general para Isla Isabela en base a datos reales. Como se dispone de un valor de consumo mensual para marzo de 2016 de 252.074 kWh, obtenido del informe de Lahmeyer International y el de un transformador de 50kVA de 21.638kWh que opera en Isla Isabela para otro mes de marzo, se procede a calcular el factor de extrapolación que se ha

aplicado a la curva del transformador de 50kVA para adaptar la potencia al consumo de toda la isla Isabela, por lo tanto:

$$F_{ext.potencia} = \frac{E_{Total\ Marzo}}{E_{trafo\ 50\ kVA\ Marzo}} = \frac{252.074\ kWh}{21.638kWh} = 11,65$$

Como se observa, se obtiene un factor de 11,65 que se aplicó para ajustar la curva de la potencia del transformador de 50 kVA a la potencia total de la isla Isabela. Por lo tanto, se obtiene la siguiente curva (véase la figura 3.17) de consumo diario a partir de los datos obtenidos de uno de los transformadores de 50kVA.

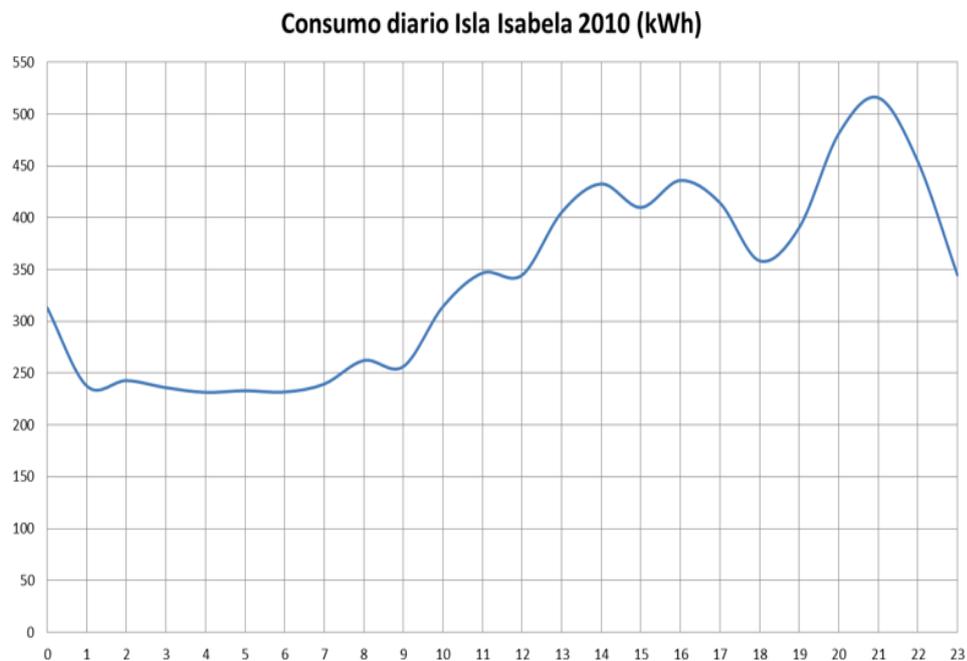


Figura 3. 17 Consumo diario tipo extrapolado a toda la isla en 2016

Fuente. El autor

Una vez obtenida la curva diaria del mes de marzo para el año 2016, se procede a extrapolarla para el año 2016, el cual es objeto del estudio.

Esta extrapolación se realiza a partir de las estimaciones de crecimiento anual calculadas en la tabla 3.2, quedando de la siguiente forma; como puede apreciarse en la figura 3.18)

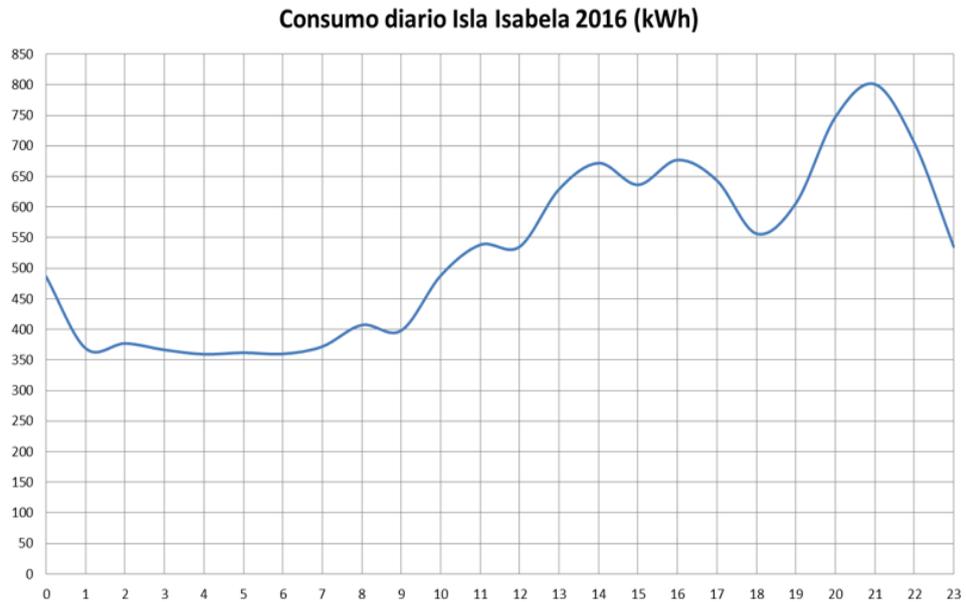


Figura 3. 18 Consumo diario tipo extrapolado a toda la isla en 2016

Fuente. El autor

Por consiguiente, a partir de la variabilidad calculada en la tabla 3.2, se obtiene el perfil de los meses de consumo máximo, mínimo y medio para el año 2016. Véase la figura 3.19.

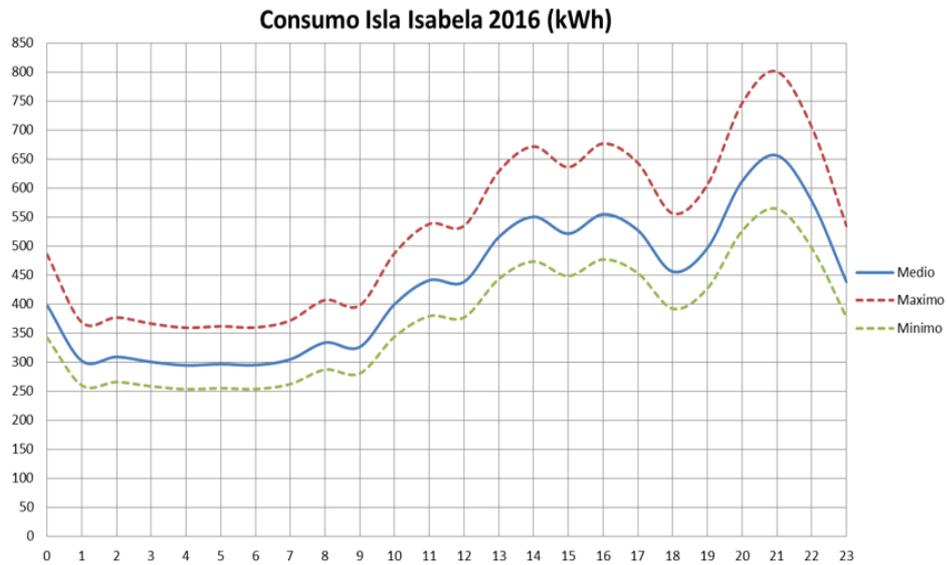


Figura 3. 19 Máximos, mínimos y consumos medios en base a la variabilidad estacional

Fuente. El autor

A continuación, en la tabla 3.4 se puede observar los valores máximos, mínimos y medios de consumos horarios en base a la variabilidad estacional.

Tabla 3. 4 Valores máximos, mínimos y medios de consumos horarios en base a la variabilidad estacional

	Consumo (kWh)		
	Medio	Max	Min
0	397,973	486,232	342,257
1	302,067	369,057	259,778
2	308,661	377,113	265,449
3	299,951	366,471	257,958
4	294,211	359,458	253,022
5	296,258	361,959	254,782
6	294,626	359,965	253,378
7	304,459	371,979	261,835
8	333,315	407,235	286,651
9	325,875	398,144	280,252
10	399,404	487,980	343,488
11	440,647	538,369	378,956
12	438,080	535,233	376,749
13	515,114	629,350	442,998
14	549,946	671,908	472,954
15	520,995	636,537	448,056
16	554,145	677,037	476,564
17	526,621	643,409	452,894
18	455,585	556,620	391,803
19	496,180	606,218	426,715
20	611,403	746,994	525,807
21	655,591	800,982	563,808
22	577,298	705,326	496,477
23	438,060	535,209	376,732

Fuente. El autor

El mes de máximo consumo corresponde a marzo, el de mínimo consumo a noviembre y el de consumo medio a diciembre.

A partir de estos datos, se tiene un perfil de carga para poder elaborar un balance energético.

3.7.3 Instalación fotovoltaica

La instalación fotovoltaica tiene una potencia pico instalada de 1.150 kWp, en cuanto a la potencia nominal de inversores, se ha optado por inversores centrales de tamaño medio (200kW), de los cuales se agrupan 5 de ellos, hasta alcanzar una potencia de 1000kW.

La potencia de los módulos fotovoltaicos será de 250 Wp, ya que es una potencia estándar en el mercado y numerosos fabricantes pueden ofertar el producto, así como permitirnos ajustarnos al máximo a la potencia demandada requerida (Calvo García, 2015).

En la figura 3.20 se aprecia el sistema fotovoltaico, incluido el sistema de generación eléctrica a través de motores de combustión que, a su vez, se alimentarán con aceite de piñón.

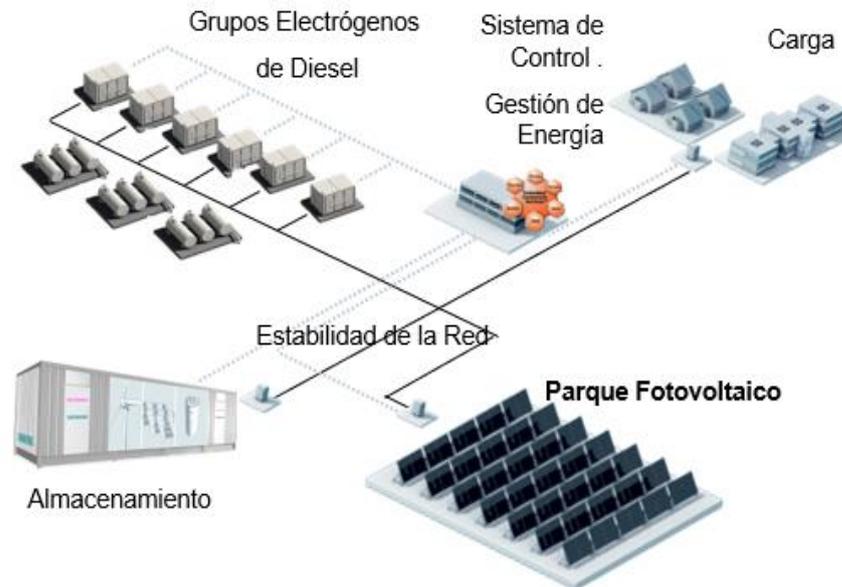


Figura 3. 20 Diseño del proyecto híbrido de generación eléctrica

Fuente. El autor

La figura 3.20 muestra el diseño del proyecto híbrido de generación eléctrica de fuente renovable en la isla Isabela.

La relación entre la potencia pico en el generador fotovoltaico y la potencia nominal del inversor sería aproximadamente:

$$Ratio_{DC/AC} = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{1.150}{1.000} = 1,15$$

3.7.3.1 Módulos fotovoltaicos

El número de módulos a instalar para alcanzar los 1.150 kWp de potencia de generación son, como una primera aproximación los siguientes:

$$N = \text{int} \left[\frac{P_{GFV,M,STC}}{P_{MOD,M,STC}} \right] = \text{int} \left[\frac{1.150.000 \text{ Wp}}{250 \text{ Wp}} \right] = 4.600 \text{ modulos}$$

Por lo tanto, el generador fotovoltaico estará compuesto por 4.600 módulos de 250 Wp, que hacen un total de 1.150 kWp.

El módulo utilizado es de la marca Trina Solar del modelo TSM-PC05A de 250 vatios de 60 células de su serie Honey (véase la figura 3.21) y recientemente ha participado en el suministro de módulos fotovoltaicos en

proyectos en Sudamérica y en concreto en Ecuador, por lo que disponen de capacidad de suministro en la zona.



Figura 3. 21 Paneles fotovoltaicos modelo TSM-PC05A serie Honey
(Trina Solar, 2019)

3.8 Sistema de generación por grupos electrógenos

Los grupos electrógenos son parte del diseño del sistema híbrido que Siemens propuso para la Isla Isabela una tecnología innovadora que incluye un sistema híbrido con el fin de preservar un ecosistema único, pero que fuera sostenible para la empresa. El proyecto 100% renovable combina la intermitencia de la energía solar con otra fuente de combustible renovable: el aceite de piñón. Con tan sólo 1,8 megavatios de capacidad máxima, el sistema híbrido consta de tres componentes principales: un parque de energía solar de 952 kW compuesto por unos 3.024 paneles fotovoltaicos, un sistema de generación de biodiésel de 1.625 kW compuesto por cinco grupos de generación de 325 kW y un sistema de almacenamiento de baterías que puede inyectar otros 660 kW de forma instantánea cuando sea necesario. Este proyecto incluye un software que gestiona, entre otras funciones, los flujos de energía hacia y desde las baterías.

El sistema está en pleno funcionamiento desde octubre, después de un extenso período de pruebas en proyectos piloto, tanto en Ecuador como en Alemania. La instalación de este proyecto de gran envergadura, con sus 600 toneladas de maquinaria y material de construcción, ha sido especialmente complicada, al no existir muelles ni embarcaderos en la isla Isabela a los que amarrar los buques.

Desde su puesta en marcha, la nueva central eléctrica híbrida ha aportado importantes beneficios medioambientales: evitó la quema de hasta 33.000 litros de diésel que alimentaban la vieja planta cada mes, ahorrando así la emisión de 88 toneladas de CO₂. Además, la nueva planta ha estado operando al 99% de su capacidad y es mucho menos ruidosa que la anterior.

Con esta nueva infraestructura energética, Galápagos reemplaza el diésel por aceite vegetal de piñón para generar electricidad. El uso de *Jatropha curcas*, también conocido como piñón de tempate o *Jatropha*, como fuente de aceite para producir biodiésel es especialmente innovador. Este peculiar piñón que crece en zonas tropicales de varios países de América del Sur, entre ellos Ecuador, está compuesto por un 40% de aceite que puede ser procesado en biodiésel de alta calidad. Todo el sistema se sometió a una prueba de seis semanas cerca de Hamburgo para demostrar el funcionamiento exitoso de la planta, incluso antes de ser enviada a su destino final. (Calvo García, 2015)

La puesta en marcha se llevó a cabo sin problemas y, gracias al amplio trabajo de I+D invertido en el desarrollo de la solución y una basta cantidad de pruebas muy exigentes, Siemens pudo garantizar el rendimiento de la central eléctrica híbrida. Una monitorización remota de la planta desde Austin, en Texas, y Múnich, en Alemania, pone a disposición de los operadores locales de la planta toda la experiencia de Siemens en generación de energía.

La materia prima se logra a través del desarrollo agroindustrial del piñón, que se cultiva en la costa continental de Ecuador, específicamente en la provincia de Manabí, donde una cooperativa local elabora el aceite vegetal que se usa en la Isla Isabela como fuente limpia de energía. En el caso en que se produjera un derrame durante el transporte en barco, el aceite de este piñón se podría disolver con relativa rapidez y sin apenas impacto medioambiental.

3.8.1 Biocombustible de aceite de piñón

El proyecto piñón utiliza materia prima que se cultiva en la costa continental de Ecuador, específicamente en la provincia de Manabí, donde se hace el aceite vegetal que se usa como fuente limpia y sustentable de energía; el cual reduce la emisión de gases de efecto invernadero.

No obstante, el proyecto prevé contribuir a reducir el consumo de diésel para la generación de electricidad en las islas Galápagos y a la vez, para mejorar el desempeño económico de la cadena de proveedores (pequeños productores/recolectores) de materia prima para la producción de biocombustible. (EFE, 2018). Véase la figura 3.22.



Figura 3. 22 Proyectos de biocombustible de aceite de piñón

Fuente: ELECGALAPAGOS-MEER, 20124

El rendimiento energético al utilizar el biodiesel, para generación de energía eléctrica disminuyó de 12,4 a 11,1, el cual corresponde a un descenso del 1,2% con relación al del diésel.

En cambio, el consumo específico del biodiesel se incrementó de 0,0241 a 0,090, esto es debido al menor poder calórico del biodiesel con relación al del diésel. El biodiesel tiene un 12% más bajo su poder calórico.

3.8.2 Características de generadores a diésel

Son máquinas que puede generar electricidad y utilizan motores que funcionan con diésel y aceite de piñón como combustible. La instalación sirve para la generación de energía eléctrica con los valores y las tolerancias indicados en los datos técnicos utilizando el combustible previsto.

Dentro del concepto Siemens-Híbrido, los generadores diesel son una parte principal del suministro de energía.

En la figura 3.23 se muestra el generador a diésel del proyecto híbrido de la isla Isabela.



Figura 3. 23 Generador a diésel del proyecto híbrido Isabela

Fuente. El autor

Función:

- Fuente de alimentación durante la noche o durante tiempo sin FV- o energía- eólica
- Estabilización la red

Características del diseño:

- Instalado en contenedor o central eléctrica
- Inyección directa de combustible
- Encendido por un arrancador eléctrico por baterías
- Refrigeración por circuito cerrado de agua con ventilador de radiador
- Capacidad del tanque de combustible: 24 horas + tanques principales
- Se mantiene constantemente en stand-by mediante el precalentamiento del agua de refrigeración del motor Diesel.
- La carga de operación completa, después del máx. 15 seg. n+1 o n+2

3.8.3 información general del motor a diésel

El principio funcional de los motores se puede observar en la figura 3.24.



1. Inducción y mezclando
2. Compresión
3. Encendido y expansión
4. Escape

Figura 3. 24 Información general del motor a diésel

Fuente. El autor

El Motor de 4 Tiempos:

- Funciona con el ciclo de los motores de automoción Otto/Diesel.
- Combustión cíclica.
- Energía de varios cilindros conectados al cigüeñal.

3.8.4 Generadores diésel velocidad alta/velocidad media

Motores de velocidad alta (1500RPM o 1800 RPM):

- Generadores diésel estándares
- Combustible: Diesel Estándar/EN 590 o Diesel B5/B10
- Reemplazo del Lubricante: cada 500h aprox.

Motores de velocidad media (1000 RPM o menos):

- Para funcionamiento continuo de plazo largo
- Costos altos (¡factor 2!)
- Rango de potencia > 500 kVA
- Ciclo de Vida: aprox. 100 000 h - 150 000 h (¡Factor 3!)
- Combustible: Diesel Estándar, HFO, Bio Combustible
- Reemplazo del Lubricante: cada 3500h

3.8.5 Estándares Internacionales:

El grupo electrógeno ha sido diseñado según la norma ISO 3046. Si en el lugar de colocación reinan condiciones diferentes, la potencia del grupo electrógeno debe ser ajustada a las condiciones de instalación.

Los estándares internacionales para los generadores diésel son:

ISO 8528 Parte 1–13

ISO 3046 (Combustión/Rendimiento)

3.8.5.1 Clasificación de generadores diésel

Las regulaciones de acuerdo con ISO 8528:

- PRP (Potencia prima):

Para funcionamiento continuo con carga variable. Factor de carga medio máximo del 70% de la potencia nominal durante 24 h de funcionamiento. 1 hora cada 12 horas de sobrecarga al 110%.

- COP (Operación continuo):

Para una operación continua a una carga constante de 80% de PRP nominal, para un número ilimitado de horas por año. (O COP individual para 100% de carga)

- ESP (Potencia máxima de espera):

Para funcionamiento bajo carga variable normal durante un corte de energía. Factor de carga medio del 70% durante 24 horas. No más de 200h al año.

3.8.5.2 Modo de operación

El modo de funcionamiento para alcanzar el tiempo de vida útil máximo, son los siguientes:

- El mejor modo de funcionamiento con el menor consumo de combustible, es a aprox. 85% de la carga nominal.
- ¡No opere el motor con menos del 45% de la carga nominal!
- ¡Mantenga el motor siempre en caliente (precalentamiento del agua y del aceite)
- ¡Después de operar el motor en condiciones "no optimas", el motor debe funcionar durante aproximadamente 12 horas con aprox. 85% de la carga de "quemado libre" (limpieza)!
- ¡No más de 6 arranques al día!
- ¡Mínimo tiempo de funcionamiento aprox. 1 hora!

3.8.5.3 Arranque del generador diésel

- **Condición previa:** motor precalentado (!)
- **Tiempo de inicio:** aprox. 2–3 seg.

- **Primer paso de carga:** aprox. después 4 seg. (aprox. 60 % de máx. carga)
- **Segundo paso de carga:** aprox. después 8 seg. (100 % carga)

Según la ISO:

Máx. carga más reciente después 15 seg.

3.8.6 Combustible y consumo

Especificación: EN 590 ASTM D-975

Consumo de combustible:

aprox. 230 g/kWh (velocidad alta)

aprox. 210 g / kWh (velocidad media)

(+ ~ 5 g a carga máxima o carga mínima) (generador incluido)

230 g /kWh: $0,83 = 0,28$ l/kWh

Ejemplo: Grupo electrógeno 1250 kVA a 100% de carga:

$1250 \text{ kVA} \times 0,8 = 1000 \text{ kW} = 280 \text{ l/h}$

3.8.7 Generador diésel en un contenedor

En la figura 3.25 muestra un generador diésel en un contenedor.

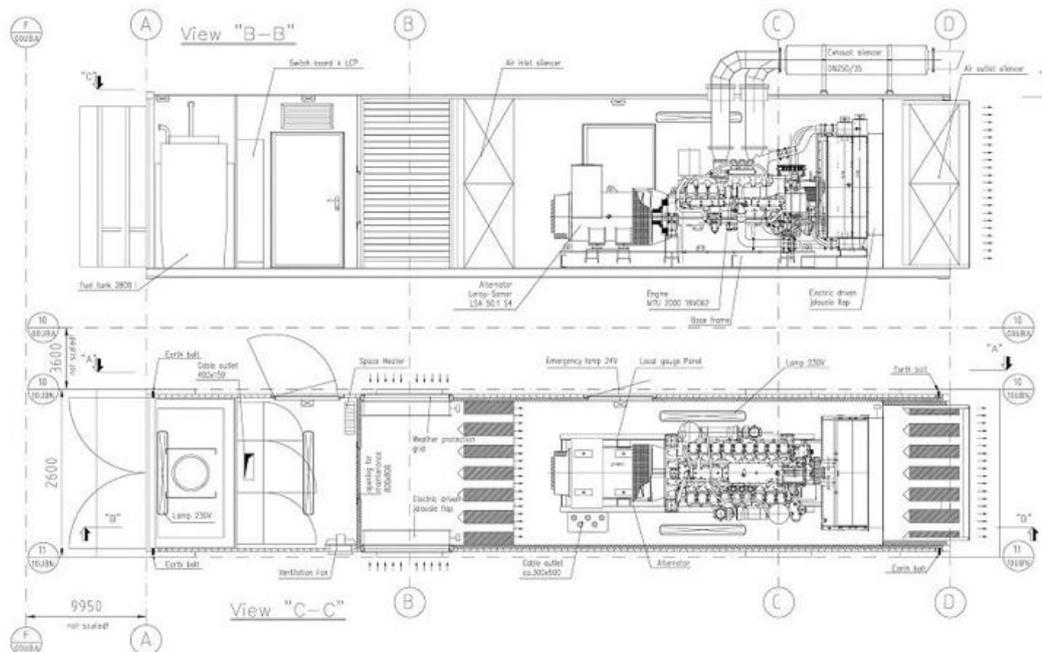


Figura 3. 25 Generador diésel en un contenedor

Fuente. (SIEMENS, 2017)

Luego, a continuación, se puede ver en la figura 3.26 ejemplo de un contenedor para una instalación exterior.



Figura 3. 26 Generador diésel en contenedor para una instalación exterior

Fuente. (SIEMENS, 2017)

Seguidamente, en la figura 3.27 puede apreciarse un generadores diésel – contenedor Cummins 1600 kVA – 2500 kVA 50Hz.

Emergencia/inicio en frio

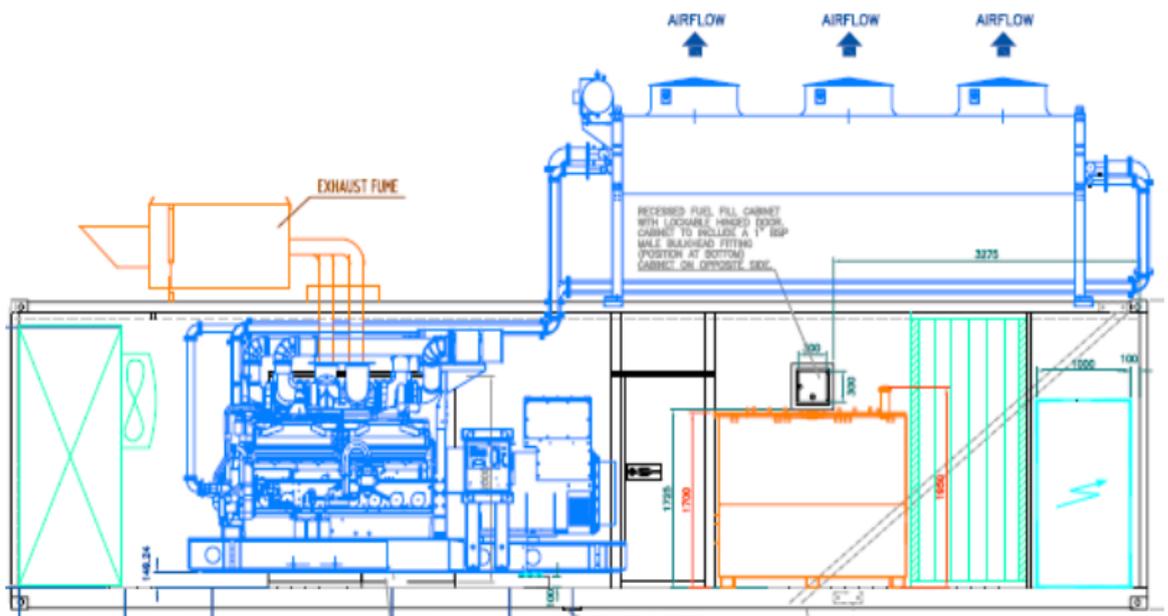


Figura 3. 27 Generadores diésel –contenedor Cummins 1600 kVA – 2500 kVA 50Hz

Fuente. (SIEMENS, 2017)

La figura 3.28 muestra un contenedor de *Associated Trade & Consult GmbH* (ATC) 2800 kVA.

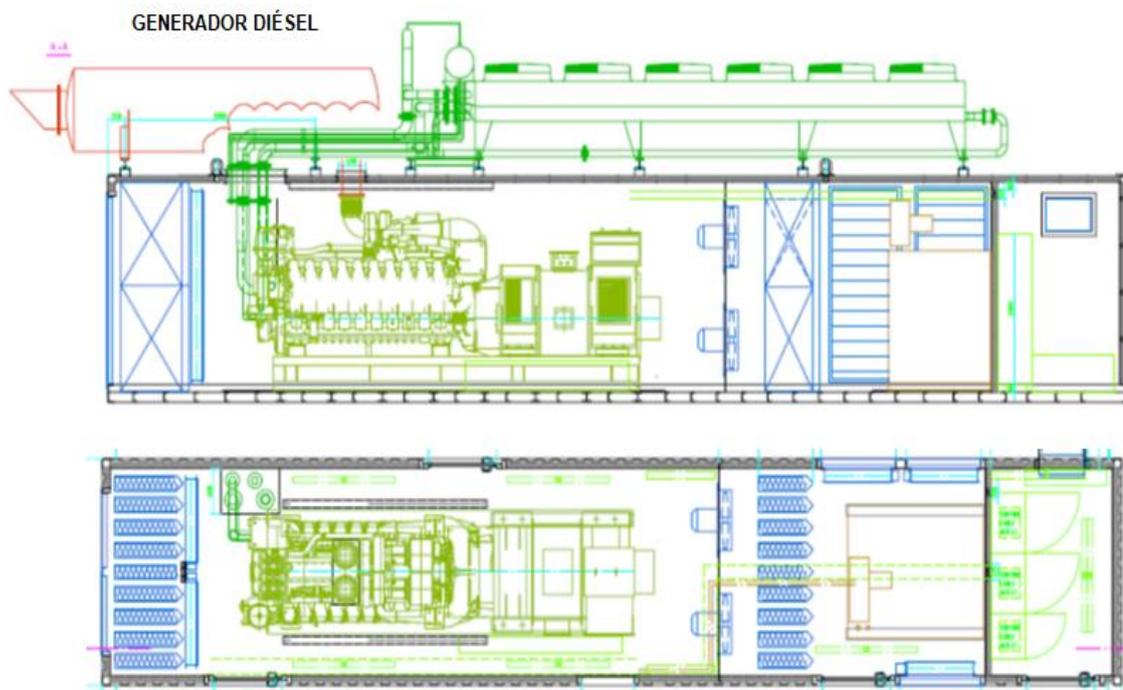


Figura 3. 28 Contenedor de Associated Trade & Consult GmbH (ATC) de 2800 kVA

Fuente. (SIEMENS, 2017)

La figura 3.29 muestra el generador diésel de emergencia, marca Perkins 1700 kVA.



Figura 3. 29 Generador diésel de emergencia - Perkins 1700 kVA

Fuente. (SIEMENS, 2017)

3.8.8 Sistemas de Control

Dentro del sistema de control incluyen protección, medición y sincronización:

- ComAp (comunicación con Siemens T3000)
- EasyGen
- APM 802
- E60 Aggretech
- Guascor

Servicio y mantenimiento de generador diésel:

En la tabla 3.5 se detalla criterios de revisiones por mantenimiento para generadores diesel operando a alta o media velocidad.

Tabla 3. 5 Servicio y mantenimiento de generadores diésel de alta y media velocidad

Generadores diésel de alta velocidad:	
Reemplazo de aceite lubricante:	Aprox. 500 (con combustible Bio: 250 h)
Primera revisión:	7 500hh
Revisión Principal:	15 000 h
Generadores diésel de media velocidad:	
Reemplazo de aceite lubricante:	3 500 h
Primera revisión:	30 000 h
Revisión Principal:	60 000 h

Fuente. El autor

Punto de operación deseado: 80% - 95% de carga

0 - 40% de carga: no permitido

40 - 60% de carga: máx. 30 minutos

0 - 100% de carga: funcionamiento continuo

110% de carga: máx. 1 h en 12 horas (¡solo CoP!)

Enfriar la máquina (sin carga) después de funcionar a plena potencia.

Liberar la máquina (funcionando con aproximadamente 90%) después de funcionar con poca carga.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE SISTEMA HÍBRIDO

4.1 Análisis de instalación fotovoltaica y diésel

Se analiza el comportamiento y la operación de la instalación con los grupos generadores existentes, hibridación con energía fotovoltaica y su almacenamiento en baterías.

Se emplea el Software HOMER para evaluar el desempeño de:

- 3 generadores diésel existentes
- Instalación fotovoltaica de 1.150 kWp
- Baterías de almacenamiento con capacidad de 3,3MWh
- Cargas de consumo de la isla Isabela

Software HOMER

La utilización de programas informáticos especializados para la modelación de sistemas energéticos, proporciona una gran ventaja en cuanto al tiempo se refiere. Para la modelización de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica para el abastecimiento de energía fotovoltaica en la Isla Isabela, se ha seleccionado el software especializado HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*). Este es uno de los modelos de optimización para sistemas híbridos eléctricos, con base en energías renovables desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL).

El software HOMER es una útil herramienta capaz de modelar y comparar un sinnúmero de opciones de diseño de sistemas energéticos renovables, basándose en sus cualidades técnico-económicas. De la misma manera, en él se puede evaluar el impacto de cambios en las variables de entrada y proporcionar resultados en forma de tablas y gráficos. (Avila, Alesanco, & Veliz, 2011)

4.1.1 Análisis Técnico

Tras realizar la simulación en *HOMER Energy*, se obtiene los siguientes parámetros de funcionamiento. Véase la figura 4.1.

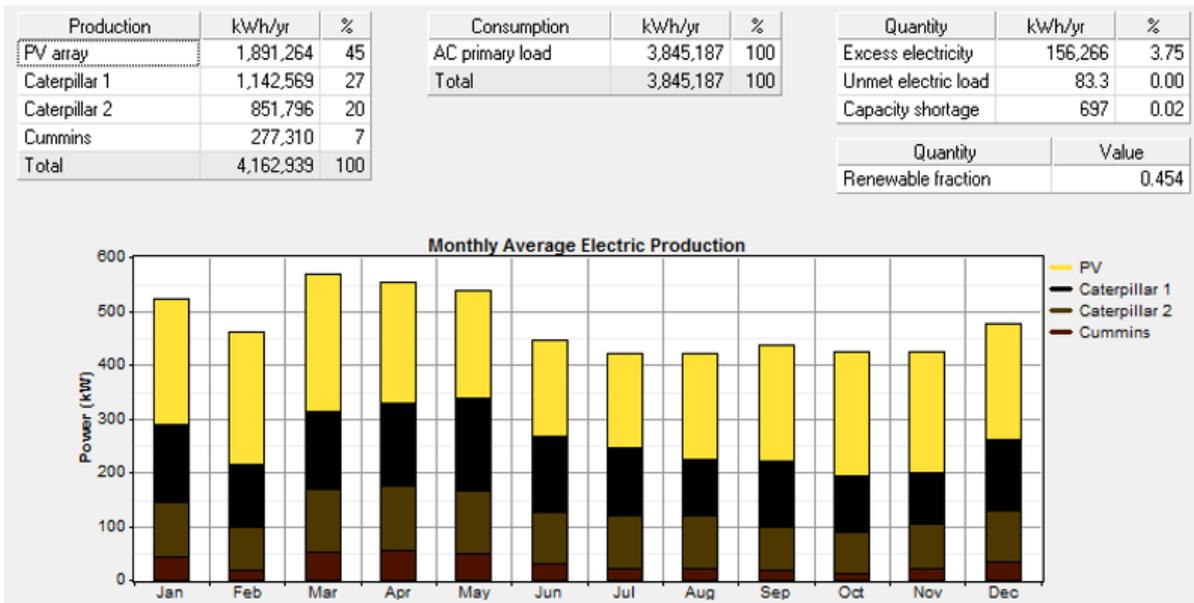


Figura 4. 1 Análisis técnico de la simulación en *HOMER Energy*

Fuente. El autor

Según los datos obtenidos, se puede observar la fuerte penetración de la fotovoltaica en el aporte de energía a la Isla Isabela, siendo este aporte de un 45,4% de la energía total consumida, reduciendo así la producción de energía por fuentes de energía convencionales al 54,6% de la energía consumida de la isla. Por tanto, esto tiene un enorme impacto en la reducción del consumo de combustible y en las emisiones contaminantes.

Lo primero en destacar, respecto a los datos obtenidos de los resultados es lo excedente de energía, en concreto un 3,75% de la energía total generada, esto se debe a que la alta generación fotovoltaica es capaz de cubrir la totalidad de la demanda energética de la isla durante ciertos periodos.

En estas situaciones, la energía que se extrajo de la instalación fotovoltaica es mayor que la demandada por la carga de consumo de la isla (o de las baterías en el proceso de carga), por lo que hay excedente energético; en términos prácticos el inversor regula su tensión de funcionamiento (desplazándose del MPPT) dejando de trabajar en el punto óptimo para ajustar la generación a la demanda.

Este excedente de energía puntual se podría emplear, por ejemplo, el bombeo de agua a depósitos, de este modo no se desaprovecharía dicha energía y se

podría almacenar agua para utilizarla posteriormente en regadío, consumo o incluso como fuente de energía partir de su energía potencial.

En la figura 4.2 se puede observar el perfil de excedente de energía que provoca esta situación de exceso de generación, frente a la demanda total de consumo.

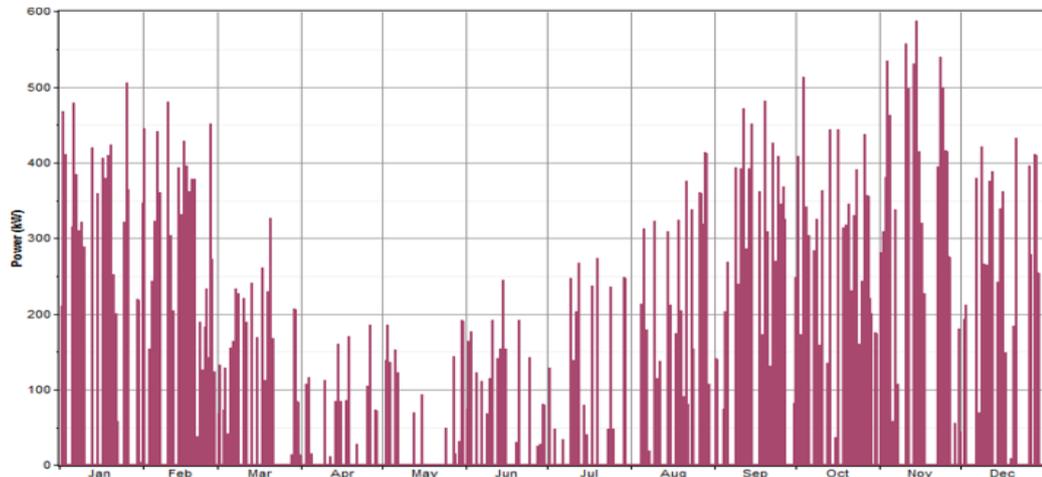


Figura 4. 2 Excedente de energía horaria, HOMER Energy

Fuente. El autor

En base a los datos obtenidos, se puede concluir que la solución adoptada es viable ya que cumple completamente con las solicitudes de consumo energético de la Isla Isabela, si bien habría que ajustar con mayor precisión la filosofía de control de carga y descarga de las baterías o arranques de los grupos, para evitar esos momentos puntuales donde no se es capaz de suministrar toda la potencia requerida.

A modo de resumen, a continuación, en las tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan los datos generales de energía aportados por las diferentes fuentes de generación:

Tabla 4. 1 Resumen de generación fotovoltaica, HOMER Energy

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated capacity	1,150	kW	Minimum output	0	kW
Mean output	216	kW	Maximum output	1,095	kW
Mean output	5,182	kWh/d	PV penetration	49.2	%
Capacity factor	18.8	%	Hours of operation	4,380	hr/yr
Total production	1,891,264	kWh/yr	Levelized cost	0.0701	\$/kWh

Fuente. El autor

Tabla 4. 2 Resumen de generación grupo diesel caterpillar 1, *HOMER Energy*

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of operation	2,961	hr/yr	Electrical production	1,142,569	kWh/yr	Fuel consumption	377,198	L/yr
Number of starts	835	starts/yr	Mean electrical output	386	kW	Specific fuel consumption	0.330	L/kWh
Operational life	5.07	yr	Min. electrical output	200	kW	Fuel energy input	3,711,626	kWh/yr
Capacity factor	33.7	%	Max. electrical output	387	kW	Mean electrical efficiency	30.8	%
Fixed generation cost	91.5	\$/hr						
Marginal generation cost	0.375	\$/kWh						

Fuente. El autor

Tabla 4. 3 Resumen de generación grupo diesel caterpillar 2, *HOMER Energy*

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of operation	3,647	hr/yr	Electrical production	851,796	kWh/yr	Fuel consumption	285,315	L/yr
Number of starts	872	starts/yr	Mean electrical output	234	kW	Specific fuel consumption	0.335	L/kWh
Operational life	4.11	yr	Min. electrical output	0.130	kW	Fuel energy input	2,807,502	kWh/yr
Capacity factor	39.2	%	Max. electrical output	248	kW	Mean electrical efficiency	30.3	%
Fixed generation cost	58.7	\$/hr						
Marginal generation cost	0.375	\$/kWh						

Fuente. El autor

Tabla 4. 4 Resumen de generación grupo diesel cummins, *HOMER Energy*

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Hours of operation	1,112	hr/yr	Electrical production	277,310	kWh/yr	Fuel consumption	91,744	L/yr
Number of starts	626	starts/yr	Mean electrical output	249	kW	Specific fuel consumption	0.331	L/kWh
Operational life	13.5	yr	Min. electrical output	16.0	kW	Fuel energy input	902,763	kWh/yr
Capacity factor	12.6	%	Max. electrical output	252	kW	Mean electrical efficiency	30.7	%
Fixed generation cost	59.2	\$/hr						
Marginal generation cost	0.375	\$/kWh						

Fuente. El autor

Finalmente, el resumen de generación de la instalación híbrida se puede observar en tabla 4.5:

Tabla 4. 5 Resumen de generación de una instalación híbrida, *HOMER Energy*

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	1,891,264	45	AC primary load	3,845,187	100	Excess electricity	156,266	3.75
Caterpillar 1	1,142,569	27	Total	3,845,187	100	Unmet electric load	83.3	0.00
Caterpillar 2	851,796	20				Capacity shortage	697	0.02
Cummins	277,310	7						
Total	4,162,939	100						
						Quantity	Value	
						Renewable fraction	0.454	

Fuente. El autor

Con la solución híbrida, la principal ventaja es la menor dependencia de generación diésel, así como disponer del respaldo de una fuente de energía gestionable, como es el almacenamiento en baterías y de otra, no gestionable como es la generación fotovoltaica.

Esta diversidad de fuentes energéticas tiene un impacto claro en el número de horas de funcionamiento de los equipos diésel, reduciéndolo considerablemente, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla 4.6:

Tabla 4. 6 Horas de funcionamiento de generadores en proyecto híbrido.

	Proyecto Híbrido	
	Horas func. Año	Nº Arranques año
Caterpillar 3412	2.961	835
Caterpillar 3408	3.647	872
Cummins 350CA2	1.112	626

Fuente. El autor

CONCLUSIONES

Tras comprobar que la opción de hibridación de la instalación existente con Fotovoltaica y almacenamiento en Baterías es técnicamente viable, se comprueba que las ventajas que ofrece este sistema respecto al sistema convencional, son solo grupos diésel que puedan operar con biocombustible (aceite de piñón).

Con la solución híbrida la principal ventaja es la menor dependencia de generación diésel, así como disponer del respaldo de una fuente de energía gestionable como es el almacenamiento en baterías y de otra no gestionable como es la generación fotovoltaica.

De igual forma, se puede observar como con el sistema híbrido el número de horas de funcionamiento de los grupos diesel, se reduce considerablemente, alargando la vida de los equipos y reduciendo los costos de O&M, así como de consumo de combustible.

El disponer de baterías proporciona la capacidad adicional de regulación de red, aportando por ejemplo energía reactiva para la estabilidad de la red o proporcionando un respaldo energético ante una falla o parada de emergencia de un grupo electrógeno, de modo que el suministro no sea interrumpido instantáneamente, pudiendo desconectar equipos bajo situaciones controladas.

La generación fotovoltaica también aporta capacidad de regulación a la red, ya que los inversores tienen curvas de regulación de energía reactiva-capacitiva según las necesidades de la red, aportando estabilidad al conjunto.

Por lo tanto, se concluye que la solución híbrida es capaz de aportar la potencia y energía necesaria para la isla, y además incluye otras ventajas como puede ser la reducción de las horas de funcionamiento de los generadores, el consumo y mejora la estabilidad de la red, siendo por lo tanto una solución óptima.

RECOMENDACIONES

- La instalación eléctrica debe ser realizada solamente por técnicos especializados o bajo la supervisión directa de técnicos especializados.
- Todas las líneas se deben colocar de modo que no pueda originarse ninguna carga mecánica en los bornes de conexión.
- Las entradas y los pasos de línea se deben hermetizar, de tal modo, que no se reduzca el tipo de protección previsto para la instalación.
- El dimensionado de los cables de energía eléctrica debe ajustarse a la corriente nominal de la instalación y a la caída de tensión permitida.
- La puesta en marcha se debe realizar bajo la dirección de un técnico experto en grupos electrógenos.
- Además, se recomienda llenar con aceite lubricante hasta la marca "máx." de la varilla indicadora del nivel de aceite, preparar un 10-20% más del volumen de llenado, que deberá rellenarse posteriormente.
- Llenar el turbo sobre alimentador, el regulador de revoluciones y la bomba de inyección con aceite.
- Llenar el filtro de aire en baño de aceite para filtros o aceite para motores.
- Humectar el filtro húmedo de aire.
- Utilizar un cartucho de filtro de aire seco.
- Comprobar la estanqueidad de todas las tuberías y los conductos flexibles.
- Preparar el agua refrigerante fuera del motor y, en caso necesario, descalcificarla.
- Mezclar el agua con anticongelante o aceite anticorrosivo (no los dos a la vez) fuera del motor; luego, rellenar y purgar el motor.
- No llenar con demasiada rapidez, para que el aire pueda escaparse de todas las cámaras del sistema. Las partes de la instalación que no se desairean por sí solas, deben purgarse abriendo las válvulas.

BIBLIOGRAFÍA

- AFEC. (2016). *Qué es la Bomba de Calor*. Retrieved from <https://www.bombadecolor.org/>
- Arboleda, D. (2013). *Diseño de sistema para la gestión de mantenimiento de subestaciones para la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.* Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4333/1/UPS-CT002624.pdf>
- Arciniegas, E., Flórez, E., & Serano, J. (2018). Diseño y simulación de un concentrador de flujo para aumentar la potencia eólica disponible en un aerogenerador de baja potencia. *Scielo*. Vol.9 N°2, 1- 40.
- Asamblea Nacional. (2019). *PLENO DE LA LEGISLATURA CONTRIBUYE AL DESARROLLO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ECUADOR*. Retrieved from <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/noticia/60462-pleno-de-la-legislatura-contribuye-al-desarrollo-de-la>
- Asociación de Empresas de Energías Renovables. (2018). *Qué es la energía renovable*. Retrieved from <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- Avila, D., Alesanco, R., & Veliz, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Scielo*.
- Banco Mundial. (2018). *Panorama general*. Retrieved from <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

- Banco Mundial. (2019). *Según un nuevo estudio del Banco Mundial, las minirredes podrían abastecer de electricidad a 500 millones de personas.* Retrieved from <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/06/25/mini-grids-have-potential-to-bring-electricity-to-half-a-billion-people>
- BUN-CA. (2002). *BIOMASA. Manual sobre energía renovable.* Costa Rica: BUN-CA.
- Calvo García, R. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO CON DIÉSEL DE GRAN.* Retrieved from file:///C:/Users/Hp/Downloads/0662_Calvo.pdf
- CENACE. (2019). *Informe anual 2018.* Retrieved from http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=6:phocatinfanauales&download=1196:informe-anual-2018&Itemid=1
- CESLA. (2019). *La meta en Ecuador para depender menos del petróleo aún no se alcanza.* Retrieved from <https://www.cesla.com/detalle-noticias-de-ecuador.php?Id=8641>
- Circuitor. (2015). *Soluciones.* Retrieved from <http://circuitor.es/es/formacion/energias-renovables-autoconsumo/autoconsumo-diferido-con-acumulacion-acoplamiento-dc>
- de Lucas Herguedas, A., & del Peso Taranco, C. (2012). *BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD.* España: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT.

- EBA SL. (2019). *La biomasa: producir energía con un sistema ecológico*. Retrieved from <https://ebasl.es/producir-energia-con-la-biomasa/>
- EFE. (2018). *Islas Galápagos prueba aceite de piñón para reemplazar al diesel*. Retrieved from <https://www.efeverde.com/noticias/islas-galapagos-aceite-pinon-diesel/>
- ELECGALAPAGOS-MEER. (2018). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos (ELECGALAPAGOS)*. Retrieved from <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/isabela-renovable/>
- Electro Ecuatoriana. (2016). *Parque Solar Cerecita*. Retrieved from <http://www.electroecuatoriana.com/novedades2.htm>
- Galián Sánchez, A. (2016). *Evolución de las instalaciones de energía eólica en España*. Retrieved from http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/4641/1/TFG_Gali%C3%A1n_S%C3%A1nchez_Antonio.pdf
- Gas Natural FENOSA. (2012). *Subestaciones eléctricas*. Retrieved from https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/pluginfile.php/5724/mod_resource/content/0/Curso_Subestaciones._Univ_Laboral_Haciadama_Parte1.pdf
- Google Earth. (2020).
- Interconexiones. (2020). *PROGRAMA DIESEL OFF CENTRAL HÍBRIDA ISABELA*. Retrieved from Revista Interconexiones. V.93: https://ecuacier.org.ec/nuevositio/wp-content/uploads/2020/01/Ecuacier_Revista93.pdf

- IRENA. (2019). *La caída de los costos de energía renovable abre la puerta a una mayor ambición climática*. Retrieved from <https://www.bnamericas.com/es/noticias/irena-la-caida-de-los-costos-de-energia-renovable-abre-la-puerta-a-una-mayor-ambicion-climatica>
- IRENA. (2019). *Renewable capacity highlights*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F
- LBA Industrial. (2019). *Tipos de Aerogeneradores Verticales y sus aplicaciones*. Retrieved from <https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/>
- Maldonado, D., & De Jerónimo, D. (2008). *Ubicación de un Parque de Energía Eólica en la Costa Ecuatoriana*. Retrieved from Universidad San Francisco de Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía práctica para el ahorro y uso eficiente de energía*. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/GUIA-PRACTICA-PARA-EL-AHORRO-Y-USO-EFICIENTE-DE-ENERGIA-22NovBAJAa.pdf>
- Naturgy. (2019). *¿Sabes lo que es una bomba de calor?* Retrieved from <https://www.empresaeficiente.com/blog/sabes-lo-que-es-una-bomba-de-calor/>
- OLADE. (2019). *Asamblea Nacional del Ecuador aprueba Ley de Eficiencia Energética proyecto de Ley que contó con el apoyo técnico de Olade*.

Retrieved from <http://www.olade.org/noticias/asamblea-nacional-del-ecuador-aprueba-ley-eficiencia-energetica-proyecto-ley-conto-apoyo-tecnico-olade/>

Párraga, A., Intriago, S., Velasco, E., Cedeño, V., & Murillo, N. (2018).

Producción de energía eólica en Ecuador. Retrieved from revista ciencia Digital Vol. 3, N°3, p. 22-32: DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.610>

Plan Maestro de Electricidad. (2019). *Expansión de la Generación*. Retrieved from <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/4.-EXPANSION-DE-LA-GENERACION.pdf>

Registro Oficial. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*. Retrieved from <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00714.pdf>

Renovables Verdes. (2018). *Aerogeneradores Verticales*. Retrieved from <https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>

RENOVETEC. (2013). *QUÉ ES LA BIOMASA*. Retrieved from <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>

Revista RD Energía. (2019). *La energía renovable ahora representa un tercio de la capacidad de energía global*. Retrieved from <https://revistardenergia.com/la-energia-renovable-ahora-representa-un-tercio-de-la-capacidad-de-energia-global/>

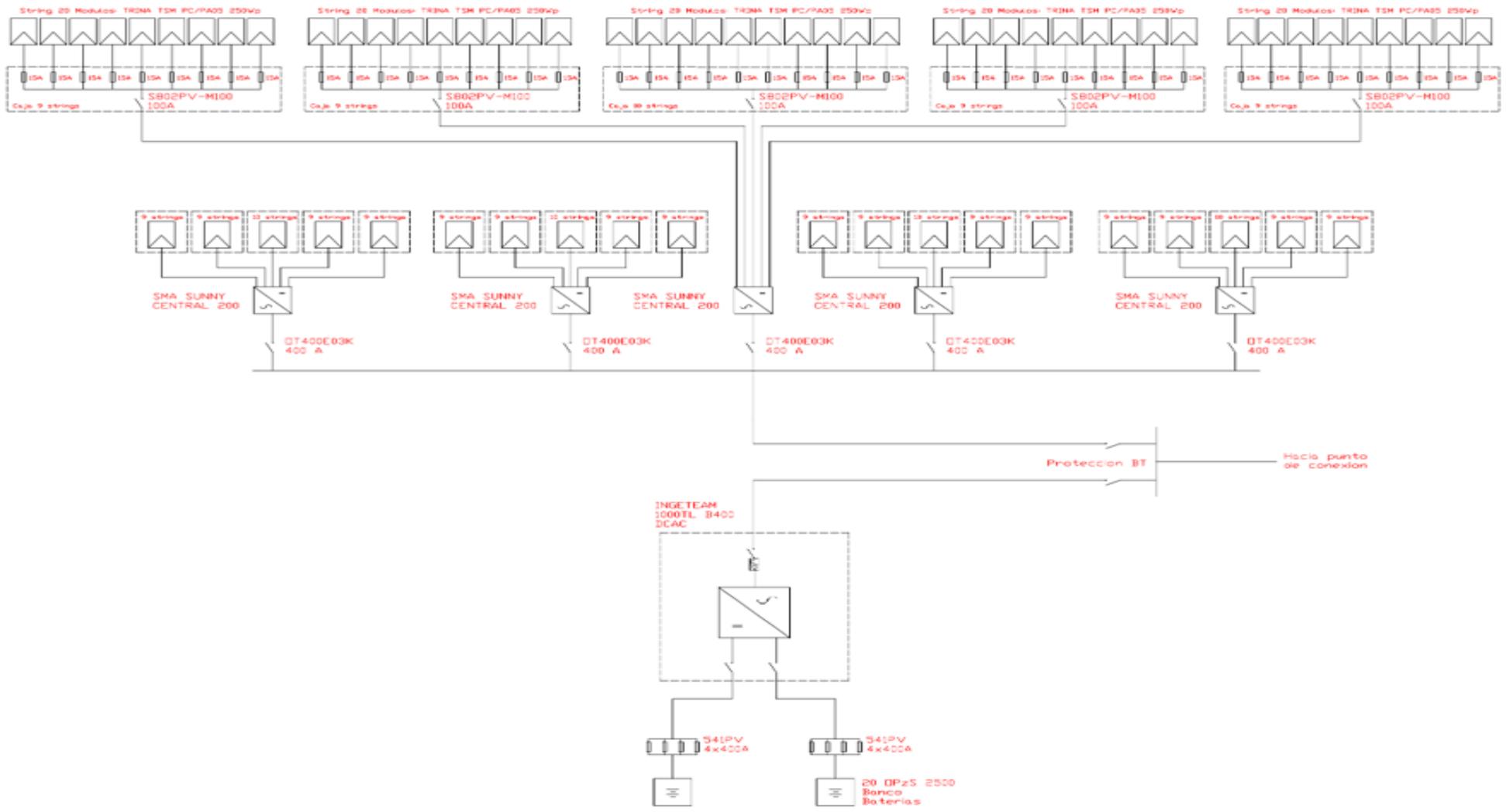
Revista Urbanismo-U. Chile. (2005). *Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo*. Retrieved from ISSN 0717-5051: https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D14982%2526ISID%253D530%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D14974,00.html

- SIEMENS. (2017). *Generadores*. Retrieved from <https://new.siemens.com/es/es/productos/energia/power-generation/generadores.html>
- Siemens. (2019). *Ciudades del Futuro: Los 4 ejes para la transición energética para este 2019*. Retrieved from <https://ciudadesdelfuturo.es/los-4-ejes-de-la-transicion-energetica-para-este-2019.php>
- Solución de energía renovables. (2015). *Piscinas climatizadas con energía* . Retrieved from <http://cf.cdn.unwto.org/sites/all/files/docpdf/15-solucionesdeenergiarenovable.pdf>
- Tendenzias Media SI. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica. Qué es, cómo se genera y usos*. Retrieved from <https://erenovable.com/energia-solar-fotovoltaica/>
- Trina Solar. (2019). *Módulo fotovoltaico policristalino HONEY SERIES : PC05A*. Retrieved from <https://www.archiexpo.es/prod/trina-solar-energy/product-62627-1067217.html>

ANEXOS 1: PLANOS ELÉCTRICOS

Plano unifilar con instalación de hibridación propuesta.

Plano unifilar con conexión a instalación existente.



ANEXO 2: MOTOR, CONSUMO Y MANTENIMIENTO

Se muestra detalles del procedimiento y equipos de biocombustible para los motores.

Consumo de combustible.

	Descripción garantizada	combustible	Carga	Unidad	Valor*	Resultado
1	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	100%	g/kWh	311	1. 250,85
						2. 249,85
						3. 250,72
2	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	75%	g/kWh	306	1. 250,24
						2. 250,22
						3. 249,77
3	Consumo específico del grupo de generador	Diesel	100%	g/kWh	270	1. 221,42
						2. 220,50
						3. 221,09

Unit 1

	Descripción garantizada	combustible	Carga	Unidad	Valor*	Resultado
1	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	100%	g/kWh	311	1. 252,70
						2. 252,14
						3. 252,67
2	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	75%	g/kWh	306	1. 266,28
						2. 266,90
						3. 266,68
3	Consumo específico del grupo de generador	Diesel	100%	g/kWh	270	1. 221,55
						2. 221,97
						3. 220,50

Unit 2

	Descripción garantizada	combustible	Carga	Unidad	Valor*	Resultado
1	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	100%	g/kWh	311	1. 255,53
						2. 254,16
						3. 251,14
2	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	75%	g/kWh	306	1. 251,18
						2. 250,10
						3. 249,56
3	Consumo específico del grupo de generador	Diesel	100%	g/kWh	270	1. 218,98
						2. 221,18
						3. 221,46

Unit 3

	Descripción garantizada	combustible	Carga	Unidad	Valor*	Resultado
1	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	100%	g/kWh	311	1. 252,72
						2. 251,68
						3. 252,02
2	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	75%	g/kWh	306	1. 265,65
						2. 258,95
						3. 260,75
3	Consumo específico del grupo de generador	Diesel	100%	g/kWh	270	1. 221,42
						2. 221,80
						3. 221,06

Unit 4

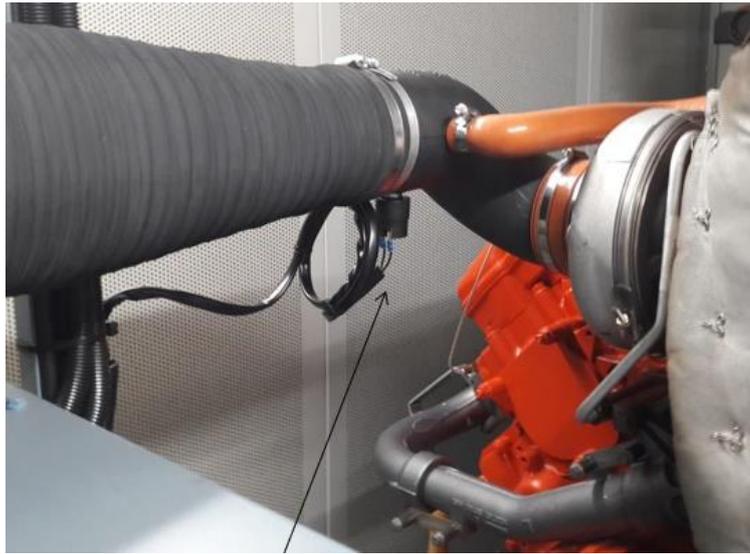
	Descripción garantizada	combustible	Carga	Unidad	Valor*	Resultado
1	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	100%	g/kWh	311	1. 251,76
						2. 252,44
						3. 252,20
2	Consumo específico del grupo de generador	Jatropha	75%	g/kWh	306	1. 265,80
						2. 265,51
						3. 265,49
3	Consumo específico del grupo de generador	Diesel	100%	g/kWh	270	1. 221,28
						2. 219,89
						3. 219,53

Unit 5

Control del cigüeñal



Control de filtro de aire



Cambio de filtro de aire



Llenado/control de aceite



Sistema de lubricación:

Grado del aceite

El aceite del motor debe cumplir por lo menos una de las siguientes normas:

❖ ACEA E3, E4 o E5

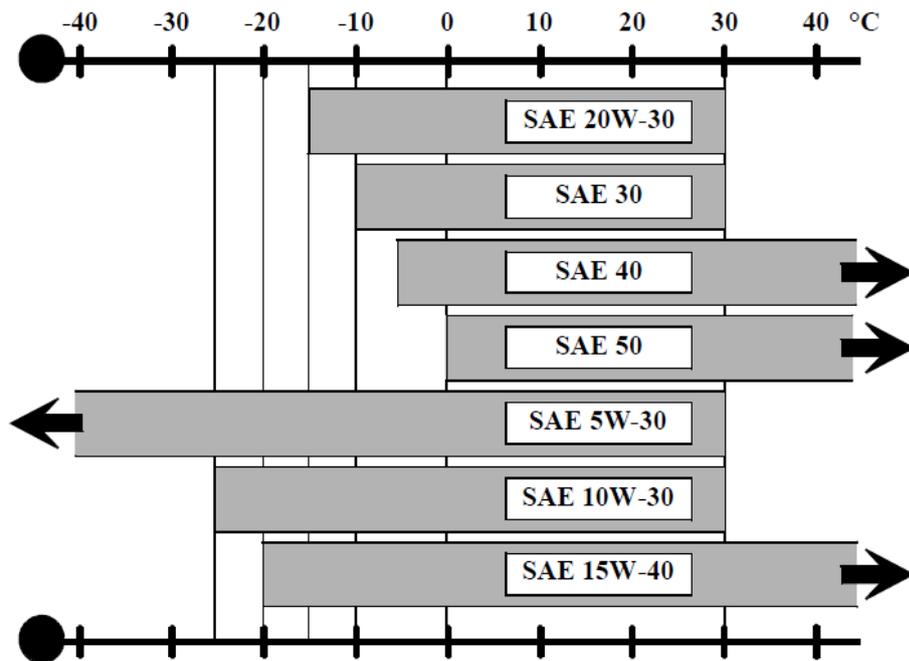
- El número básico total (TBN) debe ser como mínimo 12-13 (ASTM 2896).
- Verifique con su distribuidor de aceite que el aceite cumpla estos requisitos.
- Los intervalos de cambio de aceite son válidos siempre que el contenido de azufre del combustible no supere el 0,3%. Si el contenido de azufre es superior a 0,3% pero sin superar un máximo de 1,0%, los cambios de aceite se deben reducir a la mitad (200 h).
- Los índices de viscosidad se muestran en la figura siguiente.
- Temperatura ambiente extremadamente baja: Consulte a su distribuidor Scania más cercano sobre cómo evitar dificultades de arranque.

Análisis del aceite:

Algunas compañías de aceite ofrecen un servicio de análisis en laboratorio del aceite del motor. En estos análisis se mide el TBN (número base total), TAN (número ácido total), disolución del combustible, contenido de agua, viscosidad y la cantidad de partículas de fricción y carbonilla en el aceite. El resultado de una serie de análisis se utiliza como base para determinar el intervalo de cambio de aceite recomendado.

Si se alteran las condiciones de uso, se debe repetir el programa de análisis

del aceite para establecer un nuevo intervalo de cambios.



Limpieza del purificador de aceite:

Cada 400 hrs./cada 200 hrs. con (Jatropha), limpieza del purificador de aceite (junto con el cambio de aceite)

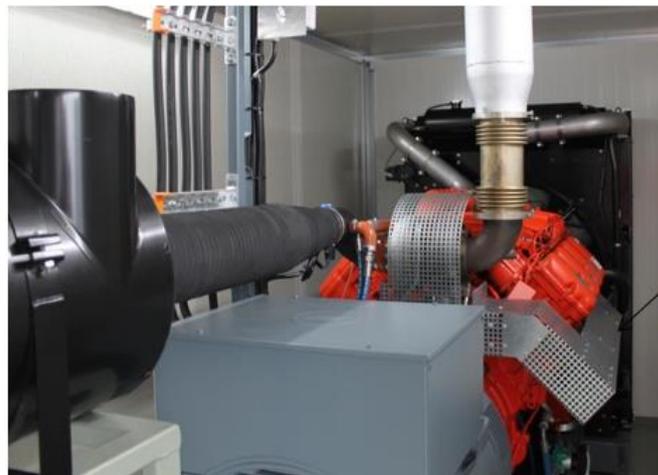
Filtro separador de agua:

Sustitución del filtro separador de agua: cada 1200h/400h (con Jatropha) horas.

- Cierre la llave delante del filtro.
- Desenrosque el recipiente y la válvula de vaciado.
- Desenrosque el filtro y cámbielo. Lubrique la junta antes de apretar a mano el filtro nuevo.
- Enrosque el recipiente y la válvula de vaciado.
- Abra la llave.
- Purgue el sistema de combustible después de cambiar los dos filtros. Véase la siguiente imagen.



Rejilla protectora:



Compruebe cada semana, el ajuste de los tornillos de la rejilla protectora.

Purga del grupo electrógeno:

1. Abra la válvula principal en el tanque.
2. Abra en la válvula de regulación del combustible (VWP-Patente) en el motor.



3. Abra el grifo en el filtro de combustible.

4. Abra la llave en la tubería de retorno de combustible/al final del cilindro.

5. Utilice siempre la bomba manual en el motor, durante la apertura de cada punto.



3.



4.



5.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Gualoto Iza, Milton Roberto** con C.C: 0930234224 autor del Trabajo de Titulación: **Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos**, previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico-Mecánica 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, 17 de septiembre del 2020

Gualoto Iza, Milton Roberto

C.C: 0930234224

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica. Caso Islas Galápagos		
AUTOR(ES)	Gualoto Iza, Milton Roberto		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Orlando Philco Asqui		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	99
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía Renovables, Mediciones eléctricas Distribución eléctrica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía eléctrica, Fotovoltaica, Eólica, Isla Isabela. Biocombustible.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Se presenta un trabajo de titulación con el tema de energía renovable, en el archipiélago de Galápagos, caso puntual de la isla Isabela. Las islas Galápagos son, por la inmensa riqueza de la diversidad de especies biológicas, un santuario natural. Por aquello la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), las declaró en 1978 como Patrimonio de la Humanidad. Sin embargo, hace algunos años el consumo de diésel en generadores de electricidad ocasionaba problemas potenciales, por lo que se desarrollaron proyectos energéticos para reducir su consumo, empleando energía renovable, disminuyendo así la dependencia del suministro del combustible, para así minimizar las emisiones de CO₂. La metodología a emplearse es de tipo documental, por cuanto se describe el uso de energía renovable para la generación de electricidad en las islas Galápagos. Así también se investigan cifras estadísticas de los proyectos ejecutados. Además, se emplea el método de analítico para evaluar datos de la reducción de CO₂, por parte de proyectos eléctricos con sistemas fotovoltaicos y de bicombustible en la isla Isabela.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 0988670033	E-mail: roberth_1225@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCION PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCION URL (tesis en la web):			