



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“Dimensionamiento Optimo para Pequeños Sistemas Híbridos Aislados Aplicado en las Islas Galapagos”

AUTOR

Jhon Paúl Macancela Cabrera

DIRECTOR: MSc. Juan Carlos Lata García

GUAYAQUIL

2018

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **JHON PAUL MACANCELA CABRERA** autorizo a la **UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de
titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del
presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 20 de febrero del 2018

f) _____

Autor: _____

Cédula: _____

**CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **JHON PAUL MACANCELA CABRERA**, con documento de identificación N° **1206140525**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**DIMENSIONAMIENTO OPTIMO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS HÍBRIDOS AISLADOS APLICADO EN LAS ISLAS GALAPAGOS**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de febrero del 2018

f) _____

Autor: _____

Cédula: _____

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **JUAN CARLOS LATA GARCÍA**, director del proyecto de Titulación denominado “**DIMENSIONAMIENTO OPTIMO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS HÍBRIDOS AISLADOS APLICADO EN LAS ISLAS GALAPAGOS**” realizado por el estudiante, **JHON PAUL MACANCELA CABRERA**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 20 de febrero del 2018

f).....

Nombre del tutor

MSc. Juan Carlos Lata García

DEDICATORIA

Jhon Paul Macancela Cabrera

El presente trabajo es dedicado a mis padres, a mis hermanos y a quienes han sido parte fundamental para elaborar este proyecto, ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este capítulo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo queda dirigido con una gran muestra de agradecimiento nuevamente a mis padres y hermanos por toda la ayuda y atención que necesitaba en esos momentos difíciles que pude atravesar gracias a ustedes

También quiero agradecer a todos mis amigos y profesores que estuvieron siempre brindándome excelentes consejos y experiencias en esta etapa de etapa de estudiante universitario.

RESUMEN

La Electrificación en las Islas Galápagos es uno de los objetivos primordiales de las empresas suministradoras y los gobiernos en general, el cambio climático incentivan a utilizar fuentes disponibles localmente de energía renovables, evitando el uso de generadores a diésel. En este contexto esta investigación procura un diseño óptimo de pequeñas unidades (paneles fotovoltaicos y turbinas de viento), lo cual es técnicamente factible y económicamente óptimo, para el análisis se usan datos publicados por el correspondiente ente gubernamental.

Para dimensionar un sistema híbrido basado en paneles fotovoltaicos y turbinas de viento con almacenamiento por medio de baterías, es necesaria la identificación de todas las combinaciones existentes posibles que ofrecen un determinado nivel de fiabilidad y eficacia, la óptima opción se adquiere al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

Para la determinación de la demanda se considera el equipamiento de una vivienda en las islas Galápagos, para realizar el análisis económico, basado en el costo de la energía (\$/kWh) se establece para estimar el consumo del servicio eléctrico en las Islas Galápagos.

El consumo anual per cápita de los habitantes de las islas Galápagos es 1628 kWh/hab. Se ejecutó la simulación y optimización de un sistema híbrido mediante el software HOMER, para determinar la configuración para el sistema híbrido. El modelo ha sido simulado para un año, se realiza el análisis de sensibilidad para comprender el efecto de diversas incertidumbres sobre el costo actual neto.

Las conclusiones indican la viabilidad del sistema híbrido óptimo, desde un criterio técnico-económico para el suministro de energía

Palabras clave: HOMER, fiabilidad, Electrificación.

ABSTRACT

Electrification in the Galapagos Islands is one of the main objectives of the supplying companies and governments in general, climate change, encourage the use of locally available sources of renewable energy, avoiding the use of diesel generators. In this context, this research seeks an optimal design of small units (photovoltaic panels and wind turbines), which is technically feasible and economically optimal, for the analysis data published by the corresponding government body are used.

To dimension a hybrid system based on photovoltaic panels and wind turbines with storage by means of batteries, it is necessary to identify all the possible combinations that offer a certain level of reliability and efficiency, the best option is acquired when valuing the economic cost of each of the possibilities for the same level of reliability.

For the determination of the demand, the equipment of a house in the Galapagos Islands is considered, to perform the economic analysis, based on the cost of energy (\$ / kWh) is established to estimate the consumption of the electric service in the Galapagos Islands.

The annual per capita consumption of the inhabitants of the Galapagos Islands is 1628 kWh / inhabitant. Simulation and optimization of a hybrid system using the HOMER software was executed to determine the configuration for the hybrid system. The model has been simulated for one year; sensitivity analysis is performed to understand the effect of various uncertainties on the net present cost.

The conclusions indicate the viability of the optimal hybrid system, from a technical-economic criterion for the supply of energy.

Keywords: HOMER, reliability, electrification.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
IV CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA SOCIEDAD (CITIS 2017).....	xiv
ABREVIATURAS	xv
SIMBOLOGÍA.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. EL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del Problema	2
1.2. Importancia y Alcances	2
1.3. Delimitación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.5.2. Objetivo Especifico	3
1.5. Marco Metodológico	3
CAPÍTULO II	5

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Estado del Arte.	5
2.1.1. Energía solar fotovoltaica	5
2.1.2. El efecto fotovoltaico.	7
2.1.3. Tipos de paneles fotovoltaicos	9
2.1.4. Diseño Básico de un Sistema Fotovoltaico	10
2.1.5. Baterías	10
Banco de Baterías.....	13
2.1.6. Regulador de carga.....	13
2.1.7. Inversor	14
2.1.8. Disponibilidad de las fuentes de energía renovable.	16
2.1.9. Energía Eólica	16
2.1.10. Características del Recurso eólico	17
2.1.11. Tipos de aerogeneradores	17
2.1.12. Elementos de un aerogenerador	18
2.1.13. Disponibilidad del Viento	19
2.1.14. Turbina de viento	19
2.1.15. Perfil de la carga.....	20
2.1.16. Configuración del Sistema	20
CAPÍTULO III.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
CAPÍTULO IV.....	21
4. ANALISIS DE RESULTADOS	21
CONCLUSIONES	23
RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual de una instalación solar fotovoltaica.....	6
Figura 2. Efecto fotovoltaico.....	7
Figura 3. Regulador de carga	14
Figura 4. Circuito eléctrico equivalente del regulador de carga en serie.	14
Figura 5. Inversor DC/AC.....	15
Figura 6. Radiación solar diaria	16
Figura 7. Velocidad del viento	19
Figura 8. Perfil diario anual.....	20
Figura 9. Modelo del sistema propuesto	20
Figura 10. Estado de carga de las baterías de plomo ácido de 1kWh	23
Figura 11. Potencia de salida fotovoltaica.....	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de Optimización.....	22
Tabla 2. Generación total de energía eléctrica por cada fuente a) producción y consumo	22
Tabla 3. Generación total de energía eléctrica por cada fuente b) cuantificación.....	22

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	7
Ecuación 2.....	8
Ecuación 3.....	8
Ecuación 4.....	8
Ecuación 5.....	13
Ecuación 6.....	19

ÍNDICE DE ANEXOS

V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN EN INGENIERÍAS

Dimensionamiento óptimo para pequeños sistemas híbridos aislados aplicado en las islas Galapagos. Galápagos - Agosto 2017 ISBN 978-9942-759-18-4

IV CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA SOCIEDAD (CITIS 2017)

Diferentes configuraciones de sistemas aislados de energía renovable, aplicado en zonas andinas rurales

ABREVIATURAS

P_E	Demanda máxima de energía.
R_S	Irradiación solar por unidad de superficie bajo la ubicación.
A_{PV}	Área de cada matriz de PV.
$E_{S,\gamma}^{SW}$	Flujo de radiación incidente.
A_C	Área de colector.
P_{max}	Potencia máxima de salida.
BB	Banco de baterías.
WT	Turbina de viento.
PV	Panel fotovoltaico.
DC	(Direct current) corriente directa.
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio.
NREL	Laboratorio de Energía Renovable.
kWh	Kilo Vatio hora.
Max	Máximo.

SIMBOLOGÍA

#	Numero.
-	Signo menos.
+	Signo más.
“	Comillas de apertura.
”	Comillas de cierre.
%	Porcentaje.

INTRODUCCIÓN

Existen muchas zonas rurales especialmente en los países en desarrollo que no tiene acceso a la red de energía convencional este problema se agrava más en el caso de las islas. Hoy en día un gran porcentaje de islas en el mundo la electricidad es suministrado por generadores de combustión interna consumiendo los recursos de combustibles fósiles y los costos asociados a la contaminación ambiental.(Kumar, Pukale, Kumabhar, & Patil, 2016)

En los últimos años se ha incrementado vertiginosamente la utilización de recursos energéticos renovables, actualmente, las fuentes de generación distribuida facilitan alternativas de energización razonables y beneficiosas. Estas energías renovables cada vez son más importantes y necesarias ya que se hace notable la carencia de los combustibles fósiles y la huella de carbono asociada, las fuentes de generación distribuidas es el recurso energético que ayudaría a combatir este gran problema.

La energía renovable es la energía que se deriva de recursos naturales tales como la radiación solar, el viento, la lluvia, las mareas, las olas y el calor geotérmico. Estos recursos al integrarse logran sustituir a la generación mediante combustibles comunes. Un sistema híbrido de energía suele agrupar dos o más fuentes de energía renovables siendo más eficientes que un solo tipo de generación, estas fuentes empleadas junto con los recursos convencionales proveen de mayor eficiencia al sistema y mayor equilibrio entre la demanda y la carga.

Por tal razón varios investigadores han buscados nuevas alternativas energéticas con diferentes configuraciones de sistemas híbridos de energía, sin embargo, al dimensionar un sistema se encuentran con dificultades en el diseño por poca predictibilidad del clima.

En el proceso de optimización se utiliza HOMER simula que emplea todas las configuraciones del sistema en busca de la que mejor satisface las necesidades técnicas al menor costo económico posible. El objetivo del proceso de optimización es determinar el valor óptimo de cada variable de decisión que interesa al modelador del sistema.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

La problemática es la carencia de energía eléctrica en muchas zonas rurales, especialmente en los países en desarrollo que no tienen acceso a la red de energía convencional esta situación se acrecienta en las islas. En la actualidad en un gran porcentaje de islas en el mundo, la electricidad es suministrada por generadores de combustión interna, consumiendo los recursos de combustibles fósiles y los costos asociados a la contaminación ambiental. (Kumar et al., 2016) Por tal razón varios investigadores han buscados nuevas alternativas energéticas con diferentes configuraciones de sistemas híbridos de energía, sin embargo, al dimensionar un sistema se encuentran con dificultades en el diseño por poca predictibilidad del clima

1.2. Importancia y Alcances

Lo destacado de esta investigación, es contribuir mediante el diseño óptimo de pequeñas unidades (paneles fotovoltaicos y turbinas de viento) en las islas Galápagos y así reducir la problemática de la carencia de energía, lo cual es técnicamente y en lo económico factible, para el análisis se usan datos publicados por el correspondiente ente gubernamental. De esta forma se podrá simular los datos del consumo anual per cápita de los habitantes de las islas Galápagos es 1628 kWh/hab.

La principal ventaja del sistema híbrido es la posibilidad del aprovechamiento conjunto y optimizado de los recursos que se dispongan, para poder garantizar altos niveles de calidad, confiabilidad y rendimiento y una rebaja en los costos de instalación y operación del sistema.

1.3. Delimitación

La investigación tiene como finalidad estudiar y simular, el proyecto en las Islas Galápagos, para lo que se realizará el diseño de simulación de pequeñas

unidades (paneles fotovoltaicos y turbinas de viento), lo cual es técnica y económicamente factible, para el análisis se usan datos publicados por el correspondiente ente gubernamental. Para el sistema de potencia se modelara y se estimara la configuración óptima del sistema, con la ayuda de HOMER.

El tiempo previsto para la ejecución de esta investigación se encuentra desglosado desde el mes de agosto del 2017 hasta febrero del 2018. Se procederá al análisis del sistema híbrido propuesto el que está conformado por paneles fotovoltaicos (PV), turbina de viento (WT), y un banco de baterías(BB), todos los elementos se conectan a un bus común en DC

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Simular pequeñas unidades (paneles fotovoltaicos y turbinas de viento), mediante un sistema híbrido usando la configuración del modelo HOMER.

1.5.2. Objetivo Especifico

- Satisfacer la demanda energética de una familia promedio de las islas Galápagos mediante simulación en HOMER.
- Buscar el numero óptimo de componentes para el sistema híbrido propuesto.
- Conocer la producción energética de los generadores del sistema.
- Publicar dicho artículo en una revista científica.

1.5. Marco Metodológico

Herramientas tecnológicas como el software de micro redes para el diseño de sistemas híbridos optimizados(HOMER) ha sido utilizado por investigadores, este software es una poderosa herramienta para resolver problemas de dimensionamiento, utilizando datos ambientales por hora y de la carga, logrando minimizar óptimamente el costo del sistema de valor presente neto (“HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software,” n.d.)

Mediante un modelo de simulación HOMER configuraremos un sistema viable para todas las combinaciones de los sistemas de generación distribuidos, que brindara una simulación óptima para las fuentes de energía renovable (Kumar et al., 2016)

Para poder realizar este método se clasifica los sistemas de acuerdo con la variable de optimización de elección para garantizar la máxima eficiencia. Además simplificaremos un algoritmo que optimiza nuestro proceso de diseño que permitirá identificar opciones de menor costo para un sistema de generación eléctrica.

Mediante el análisis que HOMER genera podemos controlar todos los aspectos de nuestro sistema y nos permite establecer el grado de importancia de cada variable escogida comparando los resultados obtenidos de las configuraciones de nuestro proceso y además de una clasificación ante ciertas posibilidades de escoger nuestra variable de control (Bahramara, Moghaddam, & Haghifam, 2016)

Al momento de desarrollar un sistema energía híbrido para el caso de una isla, se necesita tener un conocimiento fundamental sobre esta tecnología.

El propósito de este trabajo es obtener el diseño óptimo de un sistema híbrido aislado de manera técnica y económica para satisfacer la demanda de una vivienda promedio en la isla santa Cruz del archipiélago de Galapagos, para lo cual como entradas del sistema se utiliza las variables meteorológicas obtenidas de la administración nacional de aeronáutica y el espacio (NASA) de Estados Unidos y del laboratorio de energía renovable (NREL), la disponibilidad de los recursos de energía primaria otorga el éxito o fracaso del sistema.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte.

2.1.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

La corriente eléctrica generada a partir de la energía solar fotovoltaica tiene actualmente distintas aplicaciones. Por un lado, se encuentran las aplicaciones más tradicionales, cuyo objetivo es proporcionar energía eléctrica a zonas aisladas con deficiencias en el abastecimiento eléctrico convencional (electrificación de viviendas generalmente aisladas, bombeos, sistemas de señalización vial, sistemas de comunicaciones, sistemas agros ganaderos, etc.)

Desde el punto de vista de su capacidad para conducir la electricidad los materiales se clasifican en conductores y en aislantes. En los materiales denominados conductores sus átomos disponen de electrones en su capa más externa (electrones de valencia), que no están muy ligados al núcleo y, por tanto, se pueden desplazar fácilmente de un átomo a otro; basta que exista una pequeña diferencia de potencial.

En los materiales aislantes los electrones de valencia están fuertemente atados al núcleo, por tanto, para poder desplazarse requieren de grandes diferencias de potencial.

Entre estas dos clases de materiales se encuentran los denominados semiconductores. Los electrones de valencia de los materiales semiconductores de una célula solar fotovoltaica presentan una cierta ligazón con el núcleo, pero son arrancados por la energía de los fotones de la radiación solar que incide sobre ellos. Este fenómeno se denomina efecto fotovoltaico. (Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009)

De forma general, pueden señalarse los siguientes subsistemas componentes empleados en esta tecnología (Fig. 1):

- Subsistema de captación.
- Subsistema de almacenamiento.
- Subsistema de regulación.
- Subsistema convertidor de corriente.

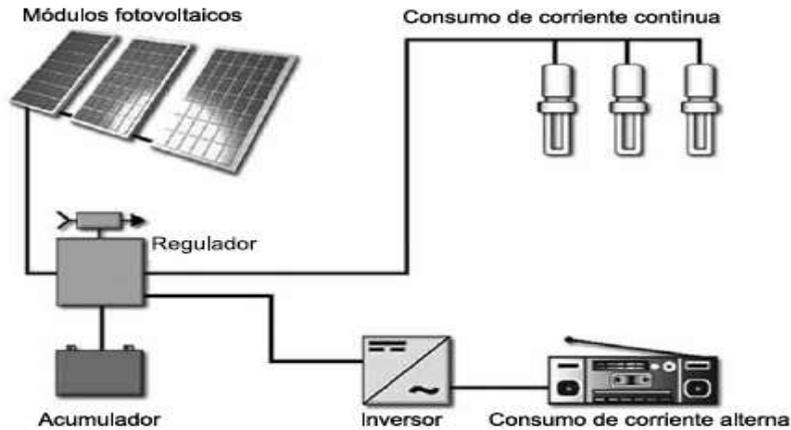


Figura 1. Esquema conceptual de una instalación solar fotovoltaica.

Fuente: (Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009)

La energía fotovoltaica no es la única manera de obtener energía eléctrica del sol. Quizás no seamos conscientes de que buena parte de nuestras fuentes de energía eléctrica actuales, aparentemente sin relación con el sol, también obtienen su energía a partir de los fotones que nos llegan de éste, así por ejemplo:

Hace millones de años, las plantas, mediante fotosíntesis, atraparon la energía solar en forma de moléculas orgánicas que nos han llegado hasta hoy en sus cuerpos fosilizados en forma de petróleo, carbón, etc.; es la energía fósil.

En el contexto de la energía eólica, el viento mueve unas aspas acopladas a un generador eléctrico. Esta energía también procede, en último término del sol, ya que el viento se debe a la diferencia de presión que se producen por el hecho de que unas regiones hayan sido calentadas por el sol más que otras.

Mediante la energía hidráulica se aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua almacenada a alturas superiores a la del nivel del mar para mover también los generadores, y es de nuevo el sol el que, al evaporar el agua de los mares, aumenta la energía potencial del agua.

Sin embargo, todas las fuentes de energía mencionadas producen energía eléctrica de forma indirecta a partir de los fotones del Sol. Por el contrario, la energía solar fotovoltaica produce la electricidad directamente.

Una tecnología solar emergente, es decir, la tecnología fotovoltaica concentrada (CPV), utiliza concentradores de plástico barato como el lente Fresnel o espejo parabólico para concentrar la radiación solar de haz en una célula solar muy pequeña de alta eficiencia. De este modo, el concentrador debe seguir el movimiento del sol durante el día. El uso de la tecnología de CPV se limita a las partes más ricas en sol del mundo, especialmente a las zonas desérticas cálidas.

Panel Solar

2.1.2. El efecto fotovoltaico.

En estas condiciones, si incide luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor (Fig. 2), algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial, siendo expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior: se produce una corriente eléctrica. Los electrones, tras recorrer el circuito externo vuelven a entrar en el semiconductor por la cara opuesta.

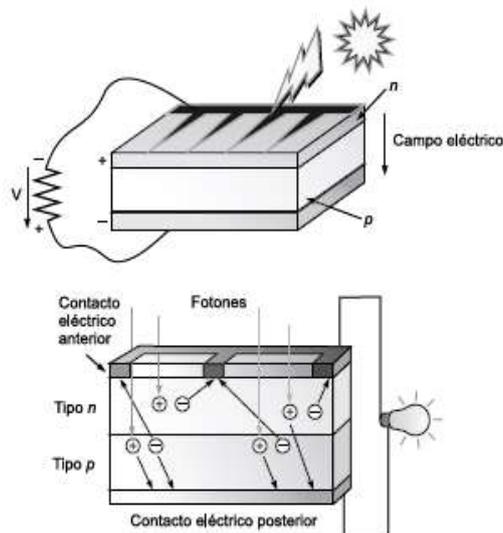


Figura 2. Efecto fotovoltaico.

Fuente: (Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009)

Cálculo del número de módulos o paneles.

Ecuación 1

$$N_{PV} = P_E / (R_S \times A_{PV})$$

P_E = Demanda máxima de energía (kW)

R_S = Irradiación solar por unidad de superficie bajo la ubicación en cuestión (kW/m²)

A_{PV} = Área de cada matriz de PV (m²).

Cálculo del número de módulos o paneles solares considerando su eficiencia:

Ecuación 2

$$N_{PV} = (P_E \times S_F) / (R_S \times A_{PV} \times E_{PV})$$

S_F = Factor de seguridad general del diseño (1.1–1.2)

E_{PV} = Eficiencia de las células fotovoltaicas para convertir la radiación solar en electricidad (35–42%)

Eficiencia Máxima

Ecuación 3

$$\eta_{max} = P_{max} / (E_{S,Y}^{SW} \times A_C)$$

$E_{S,Y}^{SW}$ = flujo de radiación incidente

A_C = Área de colector

P_{max} = potencia máxima de salida

El panel solar que se incluye en la simulación es del fabricante canadians solar, la potencia de salida (PPV) es dada en función de la radiación global (G) medida en kW, y el factor de escala (d_r) tiende en la reducción de potencia para condiciones normales, la ecuación 1 modela matemáticamente el PPV.

Ecuación 4

$$P_{PV} = P_{PV, RATED} \cdot d_r \cdot G$$

2.1.3. Tipos de paneles fotovoltaicos

Las células solares están hechas de semiconductores que forman uniones p-n. Las células solares pueden clasificarse como células solares de primera generación, segunda generación y tercera generación. A la primera generación pertenecen monocristalinos y policristalinos o policristalinos células solares de silicio (c-Si y mc-Si). Las células solares de segunda generación incluyen película delgada de bajo costo hecha de silicio amorfo (a-Si) o telururo de cadmio (CdTe) Los sistemas fotovoltaicos de tercera generación incluyen células solares hechas de telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre e indio-galio (CIGS), cobre-indio sulfuro de galio (CIS) y arseniuro de galio (GaAs). También hay una función múltiple células, células de colorantes orgánicos, células de puntos cuánticos y células de nanocristales Actualmente, los tipos de células solares más utilizados están hechos de silicio.

Hay tres tipos básicos de células solares de silicio usadas comercialmente:

- Células de silicio monocristalino (c-Si).
- Células de silicio policristalinas o multicristalinas (mc-Si).
- Células de silicio amorfo (a-Si).

Las células solares de silicio cristalino son el tipo de célula solar más ampliamente utilizado en los módulos fotovoltaicos (paneles).

Las células de silicio monocristalino (c-Si) poseen la mayor eficiencia, hasta 24%, entre todas las células solares que no se concentran y se usan en plantas de energía fotovoltaica de mediana y gran escala en células solares de Si policristalinas o múltiples, el silicio forma muchos cristales de diferentes tamaño y orientación. Las células solares de silicio multicristalino (mc-Si) pueden alcanzar una máxima eficiencia de hasta 20%.

Para fabricar células solares de c-Si, un monocristal de hasta 2 m longitud y 10-15 cm de diámetro se extrae de silicio fundido. El cristal se corta en obleas finas, 0.3-0.5 mm de espesor. Para producir una unión p-n en una célula solar, la parte superior la capa de la célula solar está dopada con fósforo hasta una profundidad de 3-4 μm y esta capa es n-conductor; la capa inferior de la célula solar está dopada con boro y esta capa es p-conducción.

Las células solares mc-Si son más baratas que células c-Si, pero son menos eficientes.

La eficiencia de las células solares a-Si a granel es bastante baja del 13%, además de que estas células se degradan fácilmente bajo la influencia de la radiación solar. Sin

embargo, silicio amorfo de película delgada (a-Si) las células solares han superado este problema, pero las capas delgadas de silicio absorben energía solar radiación de manera menos eficiente

2.1.4. Diseño Básico de un Sistema Fotovoltaico

La principal característica que cumple el sistema fotovoltaico que lo diferencia de otras fuentes de energía renovable es que únicamente producen electricidad cuando reciben la irradiación proveniente del sol, y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre su superficie.

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos son aquellos que se encuentran aislados de la red eléctrica.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aquellos que se encuentran directamente conectados a la red eléctrica. Cualquiera que sea su aplicación es necesario contar con los componentes y accesorios necesarios para almacenar y distribuir la energía eléctrica, además de mantener una energía constante al consumidor. Para ello el sistema de generación fotovoltaica se encuentra compuesto de:
 - Generador fotovoltaico.
 - Batería de acumulación.
 - Regulador de carga.
 - Inversor.
 - El consumo.
 - Accesorios

2.1.5. Baterías

Las baterías para plantas fotovoltaicas deben tener la siguiente vida útil: 3-7 años o 500 ciclos para baterías para plantas fotovoltaicas de pequeña escala, 7-15 años o 1500 ciclos para baterías para plantas fotovoltaicas a gran escala. Las baterías para almacenar grandes cantidades de energía deben cumplir con siguientes requisitos: potencia específica de aproximadamente 50 W / kg y densidad de energía de alrededor de 200

Wh / kg. Las baterías de níquel-cadmio tienen una vida útil mucho más larga, que es, 15-25 años o 2800 ciclos. Las baterías de plomo tienen una densidad de energía relativamente baja (alrededor de 80 Wh / kg), baja potencia específica (33 W / kg) y una vida útil corta (300 ciclos). Las baterías de níquel-cadmio tienen una potencia específica y densidad de energía más bajas, pero una vida útil más larga que las baterías de plomo-ácido. Baterías de óxido de plata y cadmio lograr una densidad de energía de aproximadamente 140 V / h por kg.

En general, una batería de automóvil de plomo-ácido se utiliza para el almacenamiento de energía eléctrica generado a partir de una matriz FV. Otras baterías adecuadas utilizadas en un sistema FV para energía el almacenamiento son baterías alcalinas, baterías de níquel-cadmio y baterías selladas.

Para evitar accidentes, se instala una batería solar para aplicaciones fotovoltaicas en un lugar separado habitación con ventilación adecuada y un rango de temperatura moderado como lo sugiere el fabricante. Las baterías selladas se pueden colocar en lugares de trabajo habituales con ventilación. Los fabricantes y proveedores de baterías proporcionan pautas específicas para apilando baterías y diseñando salas para la instalación de la batería. Estas pautas varían según el tipo de batería y la construcción. En general, las baterías están diseñadas para piso colocación sobre una plataforma de madera o plástico. En algunos casos específicos, pueden ser instalado en soportes de acero o hierro ranurado. Para una vida larga y un mejor rendimiento, estas baterías se cargan usando un controlador de carga.

Entre los tipos de baterías que se utilizan en un sistema fotovoltaico se encuentran:

- Batería de Plomo Ácido (Pb-a)

En los últimos cien años, la tecnología de baterías de plomo-ácido ha sido la más ampliamente utilizado de cualquier medio de almacenamiento electroquímico. Baterías de plomo que almacenan y liberar electricidad mediante una conversión electroquímica reversible. Está hecho de células apiladas, sumergidas en una solución diluida de ácido sulfúrico (H₂SO₄) como un electrolito. El electrodo positivo (cátodo) de cada celda se compone de dióxido de plomo (PbO₂), mientras el electrodo negativo (ánodo) es el cable de esponja (Pb). Al descargar, ambos electrodos se convierten en sulfato de plomo (PbSO₄). Durante la carga, ambos electrodos vuelven a su estado inicial. Estas baterías se han aplicado a casi todas las áreas de la industria, y sus ventas constituyen el 40-45% de todas las ventas de baterías en el mundo. Desde su disponibilidad, baterías de plomo-ácido han sido probadas para aplicaciones de utilidad, especialmente para calidad de

energía, control de confiabilidad y regulación de potencia. Hay dos tipos principales de baterías de plomo-ácido: baterías inundadas, que es la topología más común, y baterías reguladas por válvula, que son objeto de una amplia investigación y desarrollo. La batería de plomo tiene un bajo costo y una alta confiabilidad con una eficiencia de ida y vuelta de 70-90%. Es una opción de almacenamiento popular para el suministro de energía ininterrumpido (UPS), calidad de energía y algunas aplicaciones de reserva giratorias. Sin embargo, baterías de plomo-ácido tiene un ciclo de vida corta de 500 - 1000 ciclos y baja densidad de energía (30-50 Wh / kg), que limita su aplicación para la gestión energética. Las baterías de plomo también tienen un pobre rendimiento a baja temperatura. En realidad, la temperatura de operación alta (hasta 45 ° C) puede mejorar el rendimiento de la batería en términos de mayor capacidad, pero reducir la vida del sistema

- Batería de Níquel-Cadmio (Ni- Cd)

Batería de níquel-cadmio Se ha llevado a cabo el desarrollo de baterías recargables de níquel-cadmio (Ni-Cd) desde 1950. Los principales componentes de las baterías de Ni-Cd son el hidróxido de níquel (electrodo positivo), hidróxido de cadmio (electrodo negativo), un separador y un electrolito alcalino (KOH). Durante el alta, Ni (OH) 2 es el material activo del electrodo positivo, y Cd (OH) 2 es el material activo del electrodo negativo. Durante el ciclo de carga, el oxihidróxido de níquel (NiO (OH)) es el material activo de electrodo positivo y Cd metálico es el material activo del electrodo negativo. Este tipo de batería se puede encontrar en dos formas diferentes, dependiendo de la aplicación: (i) forma sellada en equipo portátil y (ii) forma inundada en general aplicaciones industriales. Las baterías de Ni-Cd tienen una mayor densidad de energía (50-75 Wh / kg) y confiabilidad robusta. Tienen una vida útil más larga (más de 3500 ciclos) que las baterías de plomo-ácido combinadas con requisitos de mantenimiento muy bajos. Estas ventajas sobre las baterías de plomo-ácido las hacen favorables para la emergencia iluminación, UPS, herramientas eléctricas, arranque de generador y telecomunicaciones. Los principales inconvenientes de las baterías de Ni-Cd son su toxicidad y el hecho de que sufren de la "memoria efecto". El cadmio es un metal pesado tóxico que puede causar riesgos de salud para los humanos.

- Batería de iones de litio

Las baterías de iones de litio almacenan energía eléctrica en electrodos hechos de intercalación de litio (o inserción) compuestos. Los compuestos de intercalación de litio

se usan como materiales de electrodo positivo y negativo en baterías de iones de litio [34]. En un típico la célula de iones de litio, el grafito y el óxido de metal de litio (LiCoO₂) se utilizan como negativos electrodo (ánodo) y un electrodo positivo (cátodo), respectivamente. Una no acuosa Li + medio conductor se utiliza como electrolito. Los electrodos positivo y negativo están separados por una membrana de polímero poroso lleno de electrolitos que permite transferencia de iones de litio pero evita que el electrolito entre en contacto directo. Los iones de litio se transportan entre dos electrodos host (ánodo y cátodo) durante la carga- proceso de descarga Cuando la batería se está descargando, los iones Li + se desintercalan de la ánodo, pasar a través del electrolito e intercalar en el cátodo. Mientras tanto, el los electrones pasan a través del circuito externo del electrodo negativo al positivo electrodo. Al cargar, el proceso se invierte cuando se aplica un voltaje externo aplicado a la batería. Durante el proceso de carga y descarga, los iones de Li se mueven entre Electrodo negativo y positivo, potenciando la conversión de energía química en energía eléctrica y almacenamiento de energía electroquímica dentro de la batería. El mundo del mercado de baterías de iones de litio está valorado en 10 mil millones de dólares estadounidenses por año. Las baterías de iones de litio están siendo intensamente perseguidas próximamente a gran escala aplicaciones de transporte, incluidos vehículos eléctricos híbridos (HEV), vehículos eléctricos (EV). También son considerados para el almacenamiento y la utilización eficiente de energías renovables como las solares y eólicas.

Banco de Baterías.

El propósito del banco de baterías es almacenar la energía producida en exceso, y verter energía en caso que requiera la carga, esencialmente cuando ninguno de los generadores produzca por la falta de radiación o viento, el estado de carga batería se puede calcular con la siguiente ecuación 5, en este caso se utiliza baterías de plomo acido de 1kWh.

Ecuación 5

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + \frac{E_{bat}(t) \cdot \eta_{cbat}}{P_{bat}} \cdot 100$$

2.1.6. Regulador de carga

Es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería. Controla el proceso de carga evitando que, con la batería a plena capacidad, los módulos

fotovoltaicos sigan inyectando carga a la misma. Se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico. Controla el proceso de descarga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo cuando está consumiendo la energía almacenada. Esto se lleva a cabo desconectando la batería de los circuitos de consumo.



Figura 3. Regulador de carga

Fuente: Victron Energy

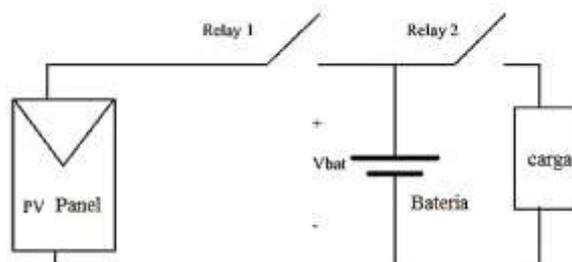


Figura 4. Circuito eléctrico equivalente del regulador de carga en serie.

Fuente: S. S. Castanet Luis, Modeling Photovoltaic Systems Using PSipice. Barcelona: John Wiley & Sons, Inc., 2002, p. 358

2.1.7. Inversor

El inversor es el dispositivo utilizado para convertir la corriente continua suministrada por un generador solar en corriente alterna potencia con las características requeridas y la calidad exigida por la red eléctrica. Lograr esto, el inversor debe realizar dos funciones principales: conmutación y filtrado. Por medio del Conmutación, la señal de CC se convierte en una señal de CA cuadrada. Estos circuitos también se llaman

sintetizadores. La segunda etapa es el filtrado en el que se obtiene una onda sinusoidal. Para hacer el Filtros, filtros de potencia compuestos por inductores y condensadores. Como se comentó anteriormente, un inversor es un dispositivo para convertir la alimentación de CC en corriente alterna, pero también realiza una serie de tareas adicionales. En resumen, un inversor para un sistema fotovoltaico conectado a la grilla debe realizar las siguientes funciones:

- Convertir la energía de CC en energía de CA;
- Obtener la máxima potencia del generador FV cada instante;
- Monitorear las variables de operación del generador y la red eléctrica;
- Garantizar el funcionamiento correcto del sistema, evitar problemas en la red eléctrica o causar
- Problemas de seguridad para los usuarios.

Para una operación adecuada, el inversor debe tener las siguientes características operativas:

- Alta eficiencia
- Bajo consumo de energía
- Seguimiento del punto de máxima potencia
- Protección
- Aislamiento
- Conexión / desconexión automática
- Baja distorsión armónica total (THD)
- Operación confiable por largos períodos de tiempo (20 años).



Figura 5. Inversor DC/AC

Fuente: Victron Energy

2.1.8. Disponibilidad de las fuentes de energía renovable.

Los valores promedio de radiación solar global se muestran en la (fig. 6). Donde para los cálculos de dimensionamiento se utiliza la radiación del peor mes, julio con 5.500 kWh/m²/día.

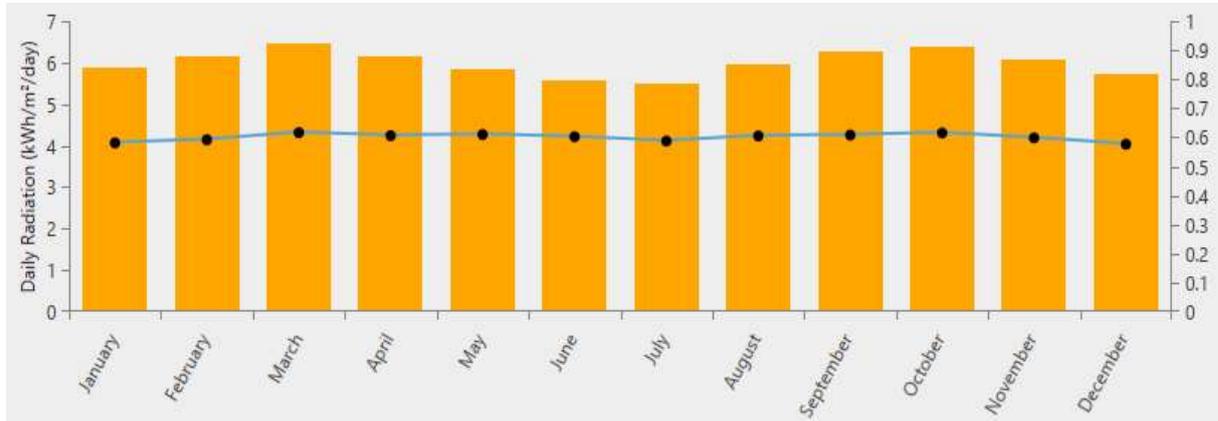


Figura 6. Radiación solar diaria

Fuente: El autor, HOMER

2.1.9. Energía Eólica

La energía del viento ha sido explotada por miles de años. El más antiguo las aplicaciones de la energía eólica incluyen la extracción de agua de pozos, hacer infusiones de granos y otras aplicaciones agrícolas. En reciente veces, el uso de la energía eólica ha evolucionado para, principalmente, la generación de electricidad. El campo de la energía eólica floreció en 1970 después de la crisis del petróleo, con una gran inyección de dinero para investigación en los Estados Unidos, Dinamarca, y Alemania para encontrar fuentes alternativas de energía. A principios de la década de 1980, incentivos para fuentes alternativas de energía habían desaparecido en los Estados Unidos y por lo tanto, el campo de la energía eólica se redujo significativamente. Inversiones continuó en Europa y hasta hace poco, Europa lideró en términos de instalaciones de tecnología e instalaciones eólicas.

La producción de energía eólica depende de las condiciones del viento. A diferencia del solar energía, que es ubicua y se puede producir en la mayoría de los lugares, la energía

eólica puede ser producida económicamente solo en áreas que tienen velocidad del viento media anual superior a 6,5 m / s a 50 m de altura.

2.1.10. Características del Recurso eólico

Desde el punto de vista de la energía eólica, la característica más importante de estudio del viento como recurso es su variabilidad. El viento es muy variable, tanto geográfica como temporalmente. Además esta variabilidad persiste en un amplio rango de escalas, tanto espacial y temporal que puede afectar en:

- El Potencial disponible y la estimación la rentabilidad económica de la instalación.
- Producción energética de la explotación eólica.
- Emplazamiento o ubicación más adecuada.
- Vida útil del sistema por el efecto de la turbulencia, ráfagas, tormentas, entre otras

2.1.11. Tipos de aerogeneradores

Los aerogeneradores pueden dividirse en dos grupos:

De eje horizontal

Se realizan convertidores de energía eólica que tienen su eje de rotación en posición horizontal casi exclusivamente sobre la base. Este diseño, que incluye molinos de viento europeos tanto como la turbina de viento estadounidense o moderno turbinas de viento, es el principio de diseño dominante en la tecnología de energía eólica de hoy. La superioridad indiscutible de este diseño hasta la fecha se basa en gran medida en las siguientes características:

- En diseños de hélice, la velocidad del rotor y la salida de potencia se pueden controlar lanzando el las palas del rotor alrededor de su eje longitudinal (control del paso de la cuchilla). Por otra parte, pala de rotor el cabeceo es la protección más eficaz contra la velocidad excesiva y las velocidades extremas del viento, especialmente en grandes aerogeneradores.
- La forma de la pala del rotor se puede optimizar aerodinámicamente y se ha demostrado que alcanzará su mayor eficiencia cuando la elevación aerodinámica se explote al máximo la licenciatura.
- No menos importante, el liderazgo tecnológico en el desarrollo del diseño de la hélice es un factor decisivo factor.

En conjunto, estas ventajas son la razón por la cual casi todos los aerogeneradores hasta la fecha tienen rotores de eje horizontal.

De eje Vertical

Aerogenerador de eje vertical (VAWT)

En los primeros días de la comercialización de turbinas eólicas (1970 y 1980), gran VAWT fueron populares. A medida que la tecnología evolucionó, HAWT se convirtió popular y VAWT fueron eliminados. En los últimos años, no hay grandes VAWT en producción, según el mejor conocimiento del autor. Varias pequeñas turbinas eólicas están disponibles comercialmente en VAWT categoría. Hay tres tipos de turbinas VAWT:

- Savonius VAWT.

Savonius es una máquina basada en arrastre. Con cuchillas tipo copa, el coeficiente de potencia máxima está por debajo de 0.2. Estas turbinas tienen rotores que normalmente están hechos de materiales simples y son, por lo tanto, de bajo costo. Sin embargo, las ineficiencias no justifican su uso.

- Darrieus VAWT.

Las palas de estas turbinas son aerodinámicas y las fuerzas generadas se basan en el levantamiento aerodinámico. De un punto de vista de eficiencia, la eficiencia teórica de Darrieus VAWT es 0.5543 comparado con 0.593 para HAWT. Las cuchillas son típicamente en la forma de una batidora de huevo. Las ventajas son que el generador y otros componentes están en el suelo para un mantenimiento sencillo. Las desventajas son que estas turbinas no se puede instalar a gran altura del suelo, por lo que el viento las velocidades experimentadas por el rotor son mucho más bajas.

- Rotor H o Giromill VAWT.

Esto es similar a Darrieus VAWT, pero las cuchillas son paralelas al eje de rotación. Entre pequeños VAWTs, esto se ha convertido en una configuración popular. Las cuchillas tienen la forma de una superficie aerodinámica. El ángulo de ataque cambia cuando las cuchillas giran alrededor del eje, lo que causa levantar y arrastrar para ser desfavorable en ciertos sectores de rotación.

2.1.12. Elementos de un aerogenerador

Los subsistemas principales de los modernos aerogeneradores para producción de energía eléctrica son:

- Sistema de captación
- Sistemas de transmisión mecánica
- Sistema eléctrico
- Sistema de regulación y control
- Góndola
- Sistema de Orientación
- Torre Soporte
- Sistemas Auxiliares

2.1.13. Disponibilidad del Viento

La velocidad de viento en la isla Santa Cruz se muestra en la (fig. 7). Donde va a ser simulado los aerogeneradores se tiene una velocidad promedio de 4.30 m/s tomado como referencia el anemómetro a 50m de altura.



Figura 7. Velocidad del viento

Fuente: HOMER

2.1.14. Turbina de viento

La potencia de salida de la turbina de viento (WT), está en función de la velocidad del viento y la altura de las palas y es descrita por la ecuación 6.

Ecuación 6

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0, V \leq v_{cut-in} \text{ or } V \geq V_{cut-out} \\ Pr \left(\frac{V^3 - V_{cut-in}^3}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \right), V_{cut-in} < V \leq V_r \\ Pr, V_r < V \leq V_{cut-out} \end{cases}$$

En la relación, V (m/s), V_r , V_{cut-in} , y $V_{cut-out}$ representa, respectivamente, la velocidad del viento en el centro del aerogenerador, velocidad nominal, la velocidad de corte, velocidad de corte de salida. P_r representa la salida de potencia a una velocidad promedio (Nadjemi, Nacer, Hamidat, & Salhi, 2017).

2.1.15. Perfil de la carga

Para realizar la simulación en el programa HOMER se ha tomado en cuenta el consumo anual per cápita de los habitantes de Galápagos 653 kWh/mes (Consumo Anual Per Cápita | Agencia de Regulación y Control de Electricidad), y la curva de demanda residencial de los ecuatorianos como se indica en la (fig. 8).

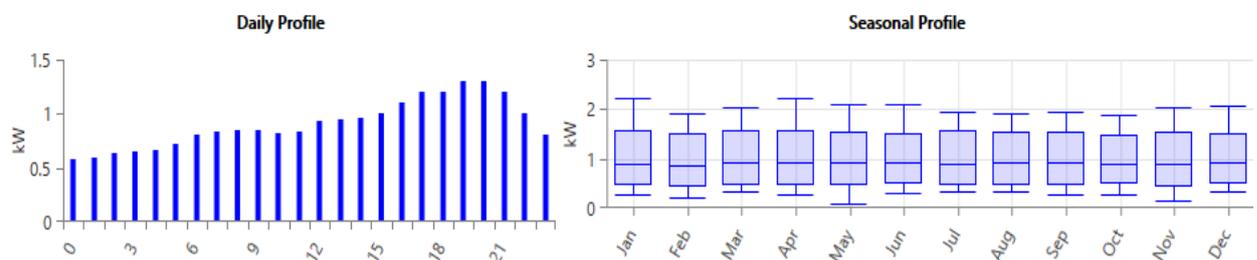


Figura 8. Perfil diario anual

Fuente: ARCONEL

2.1.16. Configuración del Sistema

El dimensionar un sistema híbrido es una tarea compleja por la poca predicción de las variables meteorológica, el sistema híbrido propuesto está conformado por paneles fotovoltaicos (PV), turbina de viento (WT), y un banco de baterías(BB), todos los elementos se conectan a un bus común en DC, en la (fig. 9), se muestra el sistema propuesto.

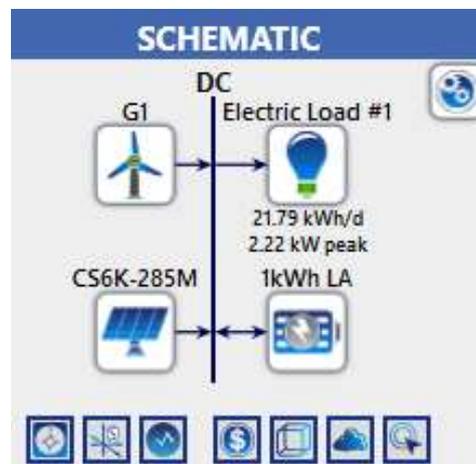


Figura 9. Modelo del sistema propuesto

Fuente: El autor

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente tesis cuenta con varios tipos de investigación y de estudio técnica bajo rigurosas especificaciones técnicas además se profundiza el manejo del software de simulación HOMER para realizar ciertos análisis de criterio de diseño para la población y la muestra se realizó mediante los datos que ofrece en su plataforma digital la agencia de regulación y control de electricidad ARCONEL para corresponder con información real y aportar con el análisis y estudio eficiente.

Para el procedimiento de la Tesis se analizaron varias variables como son el manejo del viento y de la radiación solar además del almacenamiento de los banco de batería existentes en el mercado y del perfil de consumo y de la demanda en consumo por habitante de las islas Galápagos.

HOMER además cuenta con una plataforma a prueba de errores por el diseñador lo que facilita su uso y también por manejar márgenes de errores muy bajos siendo así un software muy confiable.

Para sistemas que incluyen baterías o generadores de combustible, HOMER también decide en cada paso de tiempo así como el modo de operación de los generadores y si cargar o descargar las baterías.

HOMER determina si una configuración es factible y realiza una estimación del costo de instalación y funcionamiento del sistema en el tiempo de vida útil del proyecto. Los cálculos del costo del sistema (hibrido) toman en consideración los costos tales como capital, reemplazo, operación y mantenimiento, combustible e interés.

Los resultados del análisis de sensibilidad HOMER muestran opciones tecnológicas para realizar respectivos informes de planificación y decisiones de política.

CAPÍTULO IV

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de optimización se muestran en la tabla 1, donde el sistema hibrido este compuesto por 10 kW de paneles solares de 285 kW cada unidad, con un aerogenerador de 2 kW y 120 baterías de 1 kWh de lead acid, en la parte de costos el NPC llegan 49723 dólares con un capital inicial de 25000 dólares.

Tabla 1. Resultados de Optimización

Optimization Results															
Architecture				Cost				System	CS6K-285M		G1			1kWh LA	
CS6K-285M (kW)	G1	1kWh LA	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	O&M Cost (\$)	Autonomy (hr)	Annual throughput (kWh)
10		120	LF	0.397 \$	40.844 \$	1.767 \$	18.000 \$	100	0	18,024				79.4	4,662
10	1	120	LF	0.484 \$	49.723 \$	1.912 \$	25.000 \$	100	0	18,024	7,000	449	70.0	79.4	4,474

Los valores en producción y consumo para cada uno de los generadores son presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Generación total de energía eléctrica por cada fuente a) producción y consumo

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%
Canadian Solar Quintech CS6K-285M	18,024	97.6	AC Primary Load	0	0
Generic 1kW	449	2.43	DC Primary Load	7,953	100
Total	18,472	100	Total	7.953	100

Tabla 3. Generación total de energía eléctrica por cada fuente b) cuantificación

Quantify	kWh/yr	%	Quantify	Value
Excess Electricity	9,529	51.6	Renewable Fraction	100
Unmet Electric Load	0	0	Max. Renew. Penetration	2,628
Capacity Shortage	0	0		

En la fig. 10 se muestra el estado de la carga de la batería, durante la mayoría de días del año el porcentaje de carga es superior al 70% con una energía de almacenamiento de 4991 kWh/yr y una salida de energía hacia la carga de 4002 kWh/yr, logrando una autonomía de 79,4 hr con una capacidad nominal de 120 kWh.

En la fig. 11 Se muestra la potencia de salida, tomando en cuenta la abundante radiación solar que posee la isla, con un total de horas de operación 4380 hrs/yr, con lo cual demuestra el número de horas solar día es mayor a 12h, la salida de potencia diaria es 49,4 kWh/d, la total de producción del generador fotovoltaico de 10kW es 18024 kWh/yr.

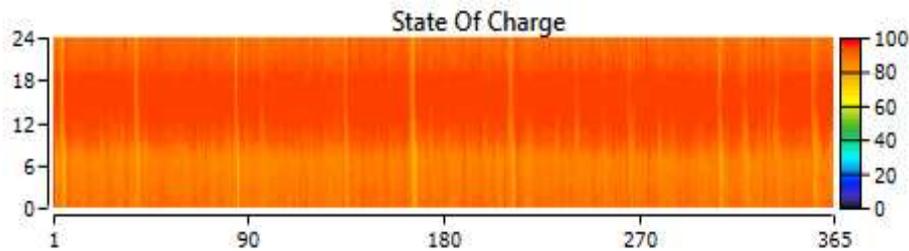


Figura 10. Estado de carga de las baterías de plomo ácido de 1kWh

Fuente: HOMER

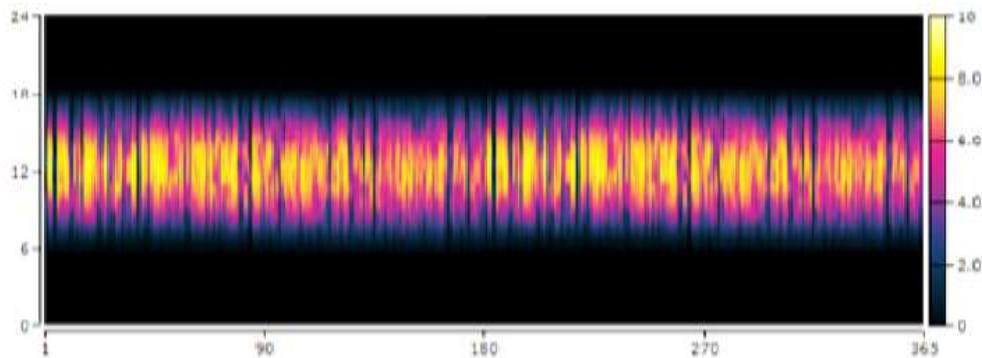


Figura 11. Potencia de salida fotovoltaica

Fuente: HOMER

Los generadores optimizados en el simulador nos dan resultados óptimos para nuestra investigación al satisfacer de forma fiable la carga con un sistema híbrido por lo tanto nuestro diseño es viable.

CONCLUSIONES

El trabajo de simulación permitió desarrollar una metodología para el diseño de un sistema Híbrido de paneles solares y turbinas eólicas con almacenamiento conectado a la red, entregando una guía que permite la elaboración de un sistema de abastecimiento eléctrico que sea capaz de ofrecer autonomía energética a un determinado sector de las islas Galápagos

La energía suministrada se entrega de forma óptima y eficiencia al ser generado mediante paneles solares y turbinas eólicas, además se obtuvo un valor superior al 90% en la potencia generada de origen fotovoltaica.

La presencia del viento debido a su situación geográfica no es recomendable para la implementación de turbinas eólicas según los datos obtenidos en HOMER, sin embargo la poca generación se puede aprovechar en horas de la noche, la radiación solar presenta valores muy altos para la utilización de paneles solares. Debido a los valores de radiación solar es factible y viable su implementación.

El comportamiento de los precios que abarcan los costos de operación del sistema híbrido generado por el simulador HOMER no resultan generales aunque en los resultados de optimización indique lo contrario.

RECOMENDACIONES

Es importante seleccionar los dispositivos y componentes de alto rendimiento en condiciones nominales de operación para que el sistema híbrido opere en cierto tiempo en valores de rendimiento alto, evitando las consecuentes pérdidas de generación que causen los paneles solares y las turbinas de viento y el sistema rectificador.

Un dimensionamiento del sistema híbrido a instalar, junto con análisis de los valores de las variables de radiación solar del sector, permitirá reducir las pérdidas de cada componente, mejorando la eficiencia del sistema híbrido.

Promover el estudio e implementación de las nuevas fuentes de energía alternativas mediante software como HOMER que crea nuevas arquitecturas de las nuevas edificaciones con sistemas híbridos, permitirá hacer una simulación en tiempo real de un sistema aplicado.

Para una mayor precisión de resultados, se prefiere trabajar con datos técnicos extraídos de cada componente a instalar para el respectivo análisis y estudio previo a la simulación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Barriga, A., Delgado, E., Guevara, J., Peralta, J., Naranjo, M., & Villalta, K. (2014). *Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía*. Guayaquil: Proyecto LATIn.
- [2] Carta, j., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables: Generacion electrica con energias renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [3] HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software. (n.d.).
- [4] Kumar, P., Pukale, R., Kumabhar, N., & Patil, U. (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER. *Procedia Technology*, 24, 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.085>
- [5] Nadjemi, O., Nacer, T., Hamidat, A., & Salhi, H. (2017). Optimal hybrid PV/wind energy system sizing: Application of cuckoo search algorithm for Algerian dairy farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1352–1365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.038>
- [6] Zhang, J., Huang, L., Shu, J., Wang, H., & Ding, J. (2017). Energy Management of PV-diesel-battery Hybrid Power System for Island Stand-alone Micro-grid. In *Energy Procedia* (Vol. 105, pp. 2201–2206). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.622>
- [7] Consumo Anual Per Cápita | Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (n.d.). Retrieved July 22, 2017, from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/recaudacion-anual/>
- [8] Cano, A., Jurado, F., Sánchez, H., Fernández, L. M., & Castañeda, M. (2014). Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies. *Journal of the Energy Institute*, 87(4), 330–340. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.03.028>
- [9] Luque, A. L. and Andreev, V. M., eds. 2007. *Concentrator Photovoltaics*, Springer.
- [10] McMordie, R. K. 2012. *Solar Energy Fundamentals*. Fairmont Press.
- [11] Petrova-Koch, V., Hezel, R., and Goetzberger, A., eds. 2009. *High-efficiency Low Cost Photovoltaics*. Berlin: Springer.
- [12] Soitec. Leading the solar energy revolution with Concentrator Photovoltaic (CPV) technology. 2013. <http://www.soitec.com>

