



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Sistema Híbrido de Suministro de Energía basado en Energía
Renovable para Aplicación en un Laboratorio Móvil.”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica y
Automatización Industrial**

Presentado por:

Fricia Pamela Castelo Barba
Dennis Andrés Vinueza Fajardo

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2015

AGRADECIMIENTO

Dios, por ser quien bendice nuestras vidas, es nuestra fuente de amor, paz, esperanza y sabiduría.

A mis padres Humberto Castelo y Balbina Barba por su ejemplo, consejos y apoyo incondicional que nos han brindado para para alcanzar este logro.

Al Ph.D. Wilton Agila por compartir su conocimiento y profesionalismo durante el desarrollo de este proyecto.

Pamela Castelo

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecirme con dos madres Carmen y Teresa Vinueza que siguiendo el ejemplo y enseñanzas de sus padres Francisco Vinueza y Adela Fajardo por el camino de Dios supieron guiarme con el apoyo necesario para ser un profesional aprendiendo a ser responsable, respetuoso constante, sabio, seguro en las metas personales a corto y largo plazo sin desesperar. Las amo

A mi futura esposa por ser apoyo en mi vida con la bendición de Dios estamos llegando lejos, te amo Pamela.

Al Ph.D. Wilton Agila por brindarnos la oportunidad de extender nuestros conocimientos con este proyecto.

Andrés Vinueza

DEDICATORIA

A nuestros padres
forman partes
fundamental de nuestras
vidas durante todo este
aprendizaje y formación
profesional

A nuestros familiares y
amigos que nos han
brindado el apoyo y sus
palabras de aliento para
lograr alcanzar nuestras
metas

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**PH. D. WILTON AGILA
PROFESOR DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

**ING. LUIS VÁSQUEZ
PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Dennis Andrés Vinueza Fajardo

Fricia Pamela Castelo Barba

RESUMEN

La situación energética actual y futura está condicionada por las limitadas reservas de combustibles fósiles. Esta situación energética afecta a los puntos de investigación que se encuentran alejadas de una red eléctrica pública y se ven obligados al uso de generadores de energía por combustible derivados del petróleo. Este hecho junto a la creciente preocupación por el medio ambiente, impulsan la investigación, desarrollo y aplicación de otras fuentes de energías más eficientes y amigables con el medio ambiente.

En este contexto, el presente proyecto se enfoca en la investigación y análisis de un sistema híbrido de suministro de energía basado en energías limpias, para hacer implementado en un laboratorio móvil de las Fuerzas Armadas del Ecuador, FAE. El sistema de energía propuesto consta de Paneles Solares Fotovoltaicos, Pila de Combustible de Hidrógeno y Baterías de plomo ácido.

Las simulaciones realizadas en el Software MATLAB, permiten estudiar diferentes configuraciones y estratégicas que nos ayuda a determinar la mejor solución híbrida para el suministro de energía al laboratorio móvil tipo remolque, objetivo principal del presente trabajo.

Se realiza la parametrización y simulación de los diferentes generadores de energías limpias que conforman el sistema propuesto. Considerando que la ubicación del Ecuador es favorable para uso de paneles solares, la principal fuente de energía corresponde a la energía solar fotovoltaica que alimenta directamente a la carga y además en momentos de máxima radiación solar recargar las baterías, caso contrario las baterías suministrarán la energía a la carga. Si llegase a descargarse las baterías y no exista radiación solar, o es baja operará la pila de combustible de hidrógeno, es decir, la celda de combustible entra en funcionamiento como suministro de energía principal del sistema híbrido sólo en extremas condiciones ambientales.

Las estrategias para la selección dentro del sistema híbrido de energía de uno u otro tipo de generadores se han implementado en el controlador de operación cuyo objetivo principal es mantener estable en todo momento la energía solicitada por la carga.

Finalmente, el análisis económico indica la factibilidad de implementar este sistema híbrido para aplicaciones de laboratorios móviles, reemplazando generadores de combustible convencionales por generadores de energías alternativas o renovables.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI
SIMBOLOGÍA.....	XXII
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2 MARCO TEORICO.....	7
2.1 GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES.....	7
2.1.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	9

2.1.2	PILA DE COMBUSTIBLE	16
2.2	BATERIA	22
2.2.1	FUNCIONAMIENTO DE LA BATERIA	23
2.3	INVERSOR DC/AC	28
2.4	CONVERTIDORES DC/DC	30
2.5	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CON ENERGÍA RENOVABLE	31
2.6	SOFTWARE DE SIMULACION MATLAB-SIMULINK	33
2.6.1	DESCRIPCION DE BLOQUES UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO	33
CAPÍTULO 3		44
3	DESCRIPCION DEL ESCENARIO	44
3.1	DESCRIPCION DEL LABORATORIO MOVIL	44
3.2	DESCRIPCION DE LOS INSTRUMENTOS DEL LABORATORIO	46
3.2.1	HERRAMIENTAS MANUALES	47
3.2.2	HERRAMIENTAS ELECTRICAS Y ELECTRONICAS	49
3.3	POTENCIAS DE LOS GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLES	

3.4 ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE MANTA- ECUADOR.....	52
3.5 UBICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGICA DE LOS GENERADORES DE ENERGIAS RENOVABLES	57
3.5.1 INSTALACION DE PANELES SOLARES	59
3.5.1.1 ORIENTACION DE PANELES SOLARES.....	60
3.5.1.2 ESTRUCTURA DE SOPORTE	61
3.5.2 INSTALACION DE PILA DE COMBUSTIBLE (PEM).....	64
3.5.3 INSTALACIÓN DE BANCO DE BATERIAS	66
3.5.4 INSTALACION DEL CONTROLADOR E INVERSOR.....	66
3.6 ANÁLISIS ECONÓMICO	68
3.6.1 COSTO POR GENERADOR DE COMBUSTIBLE	68
3.6.2 COSTO DE EQUIPOS DE SISTEMA HIBRIDO DE GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLE.....	69
3.6.3 COSTOS DE INSTALACION DE SISTEMA HIBRIDO DE GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLE.....	70
3.6.4 COSTO TOTAL DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS ..	70

3.6.5 AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	71
CAPÍTULO 4.....	73
4 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO PV + PEM + BATERÍAS, CONVERTIDORES JUNTO A SU CONTROLADOR E INVERSOR.....	73
4.1 PROGRAMACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	73
4.2 PROGRAMACIÓN DE PEM.....	78
4.3 PROGRAMACIÓN DE BATERÍA.....	80
4.4 SIMULACIÓN DE CONVERTIDORES.....	82
4.5 PROGRAMACIÓN DE CONTROLADOR.....	83
4.6 PROGRAMACIÓN DEL INVERSOR.....	86
CAPÍTULO 5.....	90
5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	90
5.1 ANÁLISIS EN DC.....	92
5.1.1 POTENCIA DE CARGA FIJA.....	93
5.1.2 POTENCIA DE CARGA VARIABLE.....	97
5.2 ANÁLISIS EN AC.....	104

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
ANEXOS	109
BIBLIOGRAFIA	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Promedio de Energía que Ingresa a la Tierra - Atlas Solar del Ecuador CONELEC	8
Figura 2.2 Fotovoltaico - www.textoscientificos.com/energias/celulas	10
Figura 2.3 Panel Cristalino - www.archiexpo.es/paneles solares	12
Figura 2.4 Panel Policristalino - www.hoormigasolar.com/celdaspolicristalina ..	12
Figura 2.5 Panel de Película Delgada - jardín-solar.blogspot.com/2013/08/panelsolar	13
Figura 2.6 Estructura de una pila de combustible - Barbir, Frano. PEM Fuel Cells, Theory and Practice. Elsevier Academic Press	18
Figura 2.7 Funcionamiento de Pila de Combustible - www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas	21
Figura 2.8 Curva Característica de Bateria - National Semiconductor, Characteristics of Rechargeable Batteries.....	24
Figura 2.9 Tipos de carga de una Batería - Tesis Master Modelado y Simulación HIL de un sistema pila de combustible y batería.....	27
Figura 2.10 Esquema Eléctrico del Sistema Integrador - Elaboración Propia....	32
Figura 2.11 Celda Solar – MATLAB.....	33
Figura 2.12 Pila de Combustible - MATLAB	34

Figura 2.13 Batería – Matlab.....	35
Figura 2.14 Convertidor DC/DC Boost - MATLAB	35
Figura 2.15 Convevor S->PS – Matlab	36
Figura 2.16 Convertidor PS->S -MATLAB	37
Figura 2.17 Sensor de Corriente - MATLAB	37
Figura 2.18 Sensor de Voltaje - MATLALB	38
Figura 2.19 Configuración Solver – MATLAB	39
Figura 2.20 Interface Simscape Voltaje-Corriente - MATLAB.....	40
Figura 2.21 Bloque From Workspace – Matlab.....	41
Figura 2.22 Bloque To Workspace – Matlab	41
Figura 2.23 Bloque de Puente Universal – Matlab.....	42
Figura 2.24 Bloque Gennerador de Pulsos - Matlab	43
Figura 3.1 Laboratorio Móvil del Radar AN TSP 70 - FAE	45
Figura 3.2 Modo de Transportación del Laboratorio Móvil - Manual Radar AN TSP 70.....	45
Figura 3.3 Herramientas manuales que posee el laboratorio móvil - FAE	48
Figura 3.4 Datos a ingresar para obtener la Radiación Solar sobre plano Inclinado - NASA.....	54
Figura 3.5 Obtención de datos de irradiación dividiendo al Ecuador en celdas de 40Km x 40Km – Atlas Solar del CONELEC	55

Figura 3.6 Irradiación Solar en plano horizontal – Elaboración Propia	56
Figura 3.7 Diseño Externo del Laboratorio Móvil con el Sistema Híbrido de Energías Limpias - Elaboración Propia.....	58
Figura 3.8 Medidas externas del Laboratorio Móvil - Elaboración Propia	59
Figura 3.9 Contenedor con paneles solares en su cubierta y en las paredes - http://www.solarenergos.cl/media/k2/galleries	62
Figura 3.10 Contenedor con paneles solares extendidos en su cubierta - http://www.trunzwatersystems.com/es/tratamiento-de-agua/productos/container/	62
Figura 3.11 Contenedor con paneles solares en su cubierta y en una pared - http://www.sdmo.com/ES/telecomunicaciones-solution-4.html	62
Figura 3.12 Contenedor con paneles solo en la cubierta – Elaboración Propia.	63
Figura 3.13 Pila de Combustible - Manual Fuel Cell Satck 2000W	65
Figura 3.14 Vista Interna del Laboratorio para Tableros del Controlador e Inversor- FAE.....	67
Figura 3.15 Costo Total Del Sistema Híbrido Pv+Pem+Baterias – Elaboración Propia	71
Figura 4.1 Simulación de Paneles Solares - Elaboración Propia.....	74
Figura 4.2 Configuración de Características Paneles Solares 1 - Elaboración Propia	75

Figura 4.3 Configuración de Características Paneles Solares 2 - Elaboración Propia	75
Figura 4.4 Configuración de Características Paneles Solares 3 - Elaboración Propia	76
Figura 4.5 Curva de Irradiación - Elaboración Propia	77
Figura 4.6 Simulación de Paneles Solares - Elaboración Propia	78
Figura 4.7 Pila de Hidrógeno – Simulink-Matlab	79
Figura 4.8 Parametrización de la PEM - Elaboración Propia	80
Figura 4.9 Simulación de Baterías - Elaboración Propia	81
Figura 4.10 Configuración de Parámetros de Baterías - Elaboración Propia	82
Figura 4.11 Convertidor Boost DC-DC	83
Figura 4.12 Lógica de Operación de Batería - Elaboración Propia	85
Figura 4.13 Lógica de Operación de PEM - Elaboración Propia	85
Figura 4.14 Lógica de Operación para Recargar Baterías - Elaboración Propia	86
Figura 4.15 Controlador del Sistema Híbrido PV+PEM+Batería - Elaboración Propia	86
Figura 4.16 Bloques del Inversor AC - Elaboración Propia	87
Figura 4.17 Parametrización del Puente Universal del Inversor - Elaboración Propia	88

Figura 4.18 Parametrización del Generador de Pulsos del Inversor - Elaboración Propia	89
Figura 5.1 Simulación de la Pila de Combustible - Elaboración Propia	91
Figura 5.2 Radiación Solar en la Ciudad de Manta-Ecuador - Elaboración Propia	92
Figura 5.3 Sistema de Energías Renovables con Carga Fija - Elaboración Propia	94
Figura 5.4 Flancos de Operación ON-OFF de los Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga fija - Elaboración Propia.....	95
Figura 5.5 Graficas de Operación de Generadores Energías Renovables y Baterías para carga fija - Elaboración Propia	96
Figura 5.6 Comportamiento de la alimentación a la carga fija - Elaboración Personal.....	97
Figura 5.7 Controlador lógico para Carga Variable - Elaboración Propia	98
Figura 5.8 Flancos ON - OFF de Operación del controlador lógico para Carga Variable - Elaboración Propia	99
Figura 5.9 Sistema de Energías Renovables con Carga Variable - Elaboración Propia	100
Figura 5.10 Flancos de Operación ON-OFF de los Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga variable - Elaboración Propia.....	101

Figura 5.11 Graficas de Operación de Generadores Energías Renovables y Baterías para carga variable - Elaboración Propia.....	102
Figura 5.12 Comportamiento de la alimentación a la carga variable - Elaboración Personal.....	103
Figura 5.13 Inversor AC - Elaboración Propia.....	104
Figura 5.14 Voltaje de la carga Invertido de DC a AC -Elaboración Propia	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Producción Eléctrica de Celdas Planas Cristalinas - Elaboración Propia	16
Tabla 3.1 Potencias de Cargas de Alimentación AC - Elaboración Propia	50
Tabla 3.2 Resumen de Datos de Irradiación Solar sobre superficie inclinada con diferentes Fuentes - Elaboración Propia.....	56
Tabla 3.3 Costo De Equipos Del Sistema Hibrido PV + PEM + Baterías – Elaboración Propia.....	69
Tabla 3.4 Costo De Instalación Del Sistema Hibrido Pv+Pem+Baterias – Elaboración Propia.....	70
Tabla 3.5 Gastos Anuales de Generación de Energía por Combustible - Elaboración Propia.....	71
Tabla 3.6 Inversión en Generación de Energías Renovables - Elaboración Propia	71
Tabla 3.7 Amortización de Inversión - Elaboración Propia	72
Tabla 3.8 Ahorro por uso de Generadores de Energías Renovables -Elaboración Propia	72
Tabla 4.1 Lógica de Operación de Baterías - Elaboración Propia	84
Tabla 4.2 Lógica de Operación de PEM - Elaboración Propia	85
Tabla 4.3 Lógica de Operación para Recargar Baterías - Elaboración Propia .	85

SIMBOLOGÍA

- P_m = Potencia máxima [W].
- E = Radiación Solar [W/m^2] bajo condiciones estándar (STC).
- A_c = Área Superficial del panel [m^2].
- STC = Condiciones de pruebas estándar (Standard Test Condition).
- PEM: Pila de Combustible.
- PV: Panel Fotovoltaico.
- V_{oc} = Voltaje de Circuito Abierto [V].
- I_{sc} = Corriente de Corto Circuito [A].
- KW: Unidad de Potencia Real, Kilo Vatios.
- KW/m^2 : Kilo Vatios por metros cuadrado.
- $KW/m^2/H$: Kilo Vatios por metros cuadrado por hora.
- KWH: Unidad de Energía, Kilo Vatios Horas.
- CO2: Nomenclatura del Dióxido de Carbono.
- IP: Estándar Internacional IEC60529 que hace referencia a los grados de protección de los equipos eléctricos o electrónicos.
- G: GIGA 1×10^9 .
- m/s: Unidad de velocidad metros por segundo.

- AC: Corriente Alterna.
- DC: Corriente Continua.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la situación energética mundial está basada por el consumo de reservas carburantes fósiles, la concienciación medioambiental y la situación geopolítica, ésta última porque los países de Medio Oriente son quienes tienen las reservas más grandes de petróleo, pero su política es inestable, lo que crea incertidumbre en el suministro y precio a nivel mundial.

Cabe indicar que a pesar de la existencia de varios tipos de tecnología, su desarrollo ha sido impedido en lugares privados de energía eléctrica.

En este contexto, se ha visto las dificultades que tienen los laboratorios móviles que están alejados de puntos de conexión a red eléctrica con sistemas de respaldo de energía deficiente.

La falta de independencia energética en un laboratorio móvil tiene baja confiabilidad en los trabajos que allí se desarrolla.

Este proyecto está enfocado en laboratorios móviles, que dependen de energía por combustión de derivados del petróleo, realizando el cambio de la generación de energías no renovables por energías amigables con el medio ambiente.

El laboratorio que se estudiará presenta el desarrollo de tareas como como mantenimiento preventivo, correctivo y de equipos eléctricos-electrónicos de un radar móvil de la FAE dedicado a la investigación, razón por la cual el laboratorio debe contar con su propio sistema de suministro de energía estable frente a cualquier imprevisto y medio ambientalmente amigables.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La independencia energética en los laboratorios móviles privados de una red eléctrica, asegura confiabilidad en los trabajos que se desarrollen dentro de este.

El laboratorio móvil a estudiar, por ser parte del radar móvil diseñado para la investigación se ubica en lugares de difícil acceso, como bosques, desiertos o montañas.

El laboratorio móvil fue elaborado a partir de un contenedor, por lo cual se ha decidido realizar el sistema híbrido de suministro de energía entre las energías renovables fotovoltaicas, pila de combustible y con el respaldo de energía en baterías por las siguientes razones:

El uso de energía fotovoltaica es ideal por la ubicación cerca de la línea ecuatorial, donde la oscilación polar del planeta tiene poco efecto sobre el clima y la luz solar llega a la superficie con alta eficiencia durante todo el año. Por lo tanto el uso de paneles solares permite absorber la radiación solar que brinda nuestra principal fuente de energía, el Sol.

La pila de combustible, por su capacidad de convertir energía química en energía eléctrica, donde su combustible es el hidrógeno, capaz de

proporcionar más energía por unidad de masas que cualquier otro combustible conocido: 33.3kWh por Kg, frente a los 13.9kWh del gas natural o los 12.4kWh del petróleo [8]. Se trata de un combustible limpio que al producirse la reacción electroquímica, lo único que produce es energía y agua, librando de emisiones de dióxido de carbono, CO₂.

El banco de baterías corresponde al sistema de respaldo en ausencia de energía solar y el contenedor de hidrógeno, que asegura energía al laboratorio móvil en las peores condiciones del medio ambiente.

1.3 OBJETIVOS

- Investigar mediante simulación diferentes configuraciones y estrategias que permitan determinar la mejor solución híbrida para el suministro de energía a un laboratorio móvil tipo remolque.
- Análisis técnico del sistema híbrido entre paneles solares, pila de combustible y banco de baterías, para la carga de alimentación de corriente alterna del laboratorio móvil.

- Diseñar la estructura y la instalación del sistema híbrido en el laboratorio móvil para la ciudad de Manta-Ecuador
- Obtener un informe económico que demuestre la factibilidad de la implementación del proyecto en un laboratorio móvil.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS.

- Determinar la carga eléctrica del laboratorio móvil.
- Realizar la simulación en Simulink-MATLAB de un panel solar comercial con sus datos técnicos, de acuerdo a la intensidad solar de un día.
- Realizar la simulación en Simulink-MATLAB de una pila de hidrógeno comercial de acuerdo a los datos técnicos.
- Desarrollar el controlador que permita la selección de las fuentes de energía del panel solar, pila de hidrógeno y baterías, mediante la simulación en Simulink-MATLAB, para las cargas de corriente alterna que contienen el laboratorio móvil.

- Diseño de la estructura de soporte e instalación de los equipos del sistema híbrido de energías renovables.
- Informe económico – técnico del sistema de suministro de energía.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEORICO

2.1 GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES

Se conoce como energía renovable a la energía que se puede obtener de fuentes naturales virtualmente inagotables, esto puede ser por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

En el planeta la mayor cantidad de energía disponible tiene tres fuentes fundamentales:

- El Sol en forma directa o indirecta: combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares.
- El proceso de formación cósmica que precedió para la formación del sistema solar actual: Energía Nuclear y Geotérmica
- Movimientos Lunares: energía de las mareas, mareomotriz y undimotriz.

La obtención de energía debido a la energía potencial y cinética de las masas de los ríos provenientes de la lluvia y el deshielo es conocida como energía hidráulica, las regiones con estas características y con desniveles geológicos y orografía favorable para la construcción de represas son indispensables para su generación.

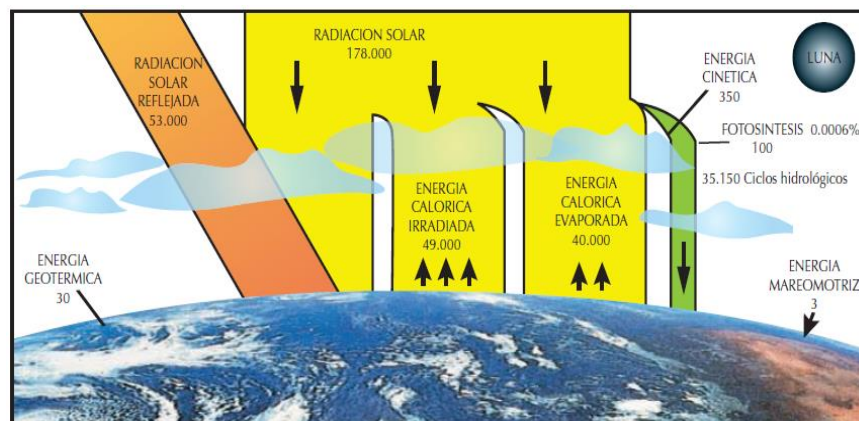


Figura 2.1 Promedio de Energía que Ingresa a la Tierra - Atlas Solar del Ecuador CONELEC

La mayoría de tipos de energías son aplicables a centrales eléctricas estacionarias independiente de su tipo de generación, ya sea por medio del viento, agua, sol o geotérmicas.

En la actualidad se realizan varias aplicaciones estacionarias y móviles, nuestro estudio para suministrar energía al laboratorio móvil lo basaremos en la energía fotovoltaica y pila de combustible, en el caso de energía solar fotovoltaica por ser una de las más accesibles, su generación es por medio de paneles que pueden ser transportados sin mayor complejidad, y pila de combustible por su alto rendimiento, su proceso de conversión de energía química a energía eléctrica es silencioso y sus emisiones del proceso es agua, es decir la energía de la pila de combustible es limpia libre de contaminantes.

2.1.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Energía Solar Fotovoltaica es la obtención de energía eléctrica a por medio de paneles fotovoltaicos que realizan el proceso de convertir la luz solar en electricidad.

2.1.1.1 PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos son conocidos también como módulos o colectores fotovoltaicos y están constituidos por dispositivos semiconductores tipo diodo que al recibir radiación solar se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos.

Lo paneles fotovoltaicos están formados por células elaboradas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos produciendo una generación de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48V.

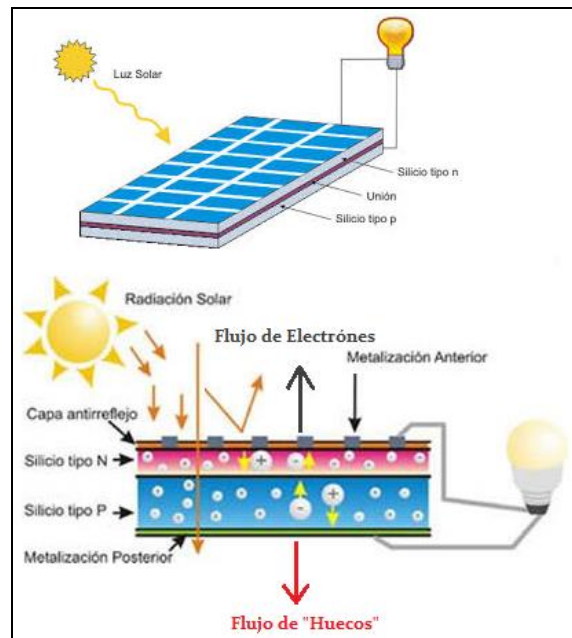


Figura 2.2 Fotovoltaico -www.textoscientificos.com/energias/celulas

La potencia eléctrica de un panel fotovoltaico es expresada en la unidad de Vatio Pico (Wp), esta medida nos indica que para un día despejado y soleado, al mediodía (12:00) un panel de 50 Wp produce 50W a luz solar plena, no importa el lugar donde sea instalado, estas medidas dependen del fabricante y deben de garantizarse ese valor.

2.1.1.2 CLASIFICACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Por los distintos tipos de células los paneles FV se dividen en:

SILICIO CRISTALINO:

- Los Monocristalino se componen de secciones de un único cristal de silicio donde todos los átomos están perfectamente ordenados, presentan un color azulado oscuro, con un cierto brillo metálico y una forma circular u octogonal en los 4 lados cortos.

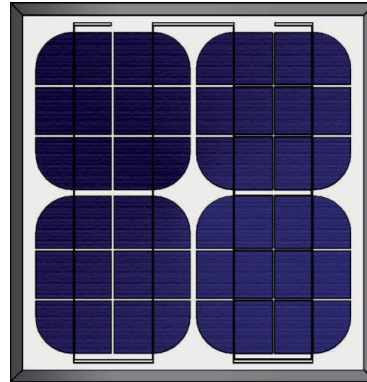


Figura 2.3 Panel Cristalino - [www.archiexpo.es/paneles solares](http://www.archiexpo.es/paneles%20solares)

- Los Policristalino están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición.

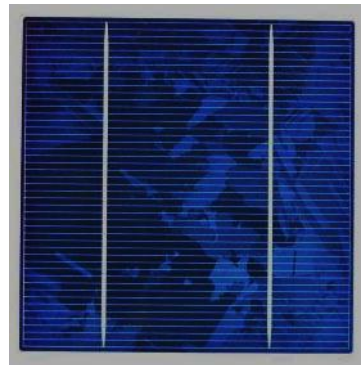


Figura 2.4 Panel Policristalino - www.hoormigasolar.com/celdaspolicristalina

PELÍCULA DELGADA:

- Los de Silicio Amorfo donde el silicio no se ha cristalizado y se ha depositado sobre un soporte transparente como una capa fina. No existe estructura cristalina ordenada, presentan un color marrón y gris oscuro.

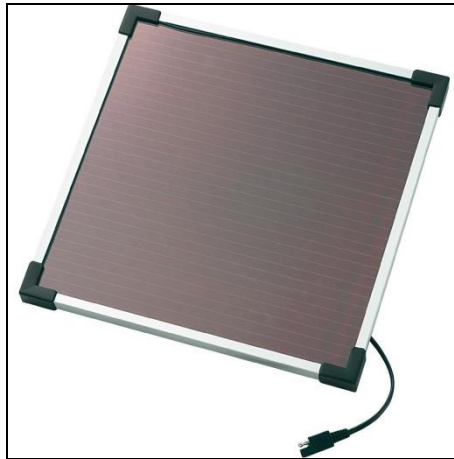


Figura 2.5 Panel de Película Delgada - jardin-solar.blogspot.com/2013/08/panelsolar

2.1.1.3 RENDIMIENTO DE PANALES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos pueden estar diseñados para operar en un amplio rango de voltajes y corrientes, ya sea variando la resistencia de la carga en el circuito eléctrico ó variando la impedancia del panel desde el valor en cortocircuito (valor cero)

a valores con circuito abierto (valores muy altos) y poder determinar el punto de potencia máxima teórica para un determinado nivel de radiación. Hay que tener en cuenta que el punto de potencia máxima varía con la iluminación.

La eficiencia de los paneles solares η "eta", es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por el panel, mientras esté conectada a un circuito eléctrico.

Con la relación del punto de potencia máxima y la radiación que llega al panel y el área superficial del panel solar podemos calcular este valor.

$$\eta = \frac{P_m}{E * A_c}$$

La STC especifica una temperatura de 25°C con una radiación de 1KW/m² con una masa de aire espectral de 1,5(AM 1,5). Esto corresponde a un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal.

Se puede definir otro término aparte de la eficiencia como es el factor de llenado (FF) que es la relación entre el punto de potencia máxima y el voltaje en circuito abierto y la corriente en cortocircuito encontramos.

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{\eta * A_c * E}{V_{oc} * I_{sc}}$$

La temperatura de Operación Nominal de los paneles es la temperatura del módulo a una radiación de 800 W/m^2 con distribución espectral AM 1,5 G, la temperatura ambiente es de 20°C y con una velocidad del viento de 1m/s .

2.1.1.4 COMPARACION ENTRE LOS TIPOS DE PANELES FOTVOLTAICOS

Las diferencias entre los tipos paneles fotovoltaicos cristalinos ya sean monocristalinos, policristalinos y los de película delgada es el tipo de silicio utilizado para la fabricación de las celdas, como consecuencia de esta diferencia es que los primeros sean ligeramente más eficiente y a la vez más caros, Tabla 2.1.

	CELDAS PLANAS CRISTALINAS		
	SILICIO MONOCRISALINAS	SILICIO POLICRISTALINAS	PELICULA DELGADA
Producción Eléctrica	***	**	*
Vida Útil	De 8 a 20 años de acuerdo al fabricante		

Tabla 2.1 Producción Eléctrica de Celdas Planas Cristalinas - Elaboración Propia

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos se encuentra en la hoja técnica de los equipos, si tratamos de encontrar la mejor eficiencia deberíamos elegir celdas monocristalinas pero no solo este parámetro debemos tomar en cuenta sino el grado de protección IP de acuerdo a las condiciones ambientales para que el tiempo de vida útil sea el indicado por el fabricante.

Para nuestro proyecto hemos elegido el Panel Fotovoltaico Policristalino BJC-210GOA con potencia de salida 210W, con grado de protección IP 65, y vida útil 25 años, Anexo A.

2.1.2 PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible fue inventada por William Grove en 1839, cuando intentó obtener electricidad a partir del hidrogeno y oxigeno,

pero no fue Grove quien las denominó Pilas de Combustible, sino que lo hicieron los químicos Mons y Langer en 1889. Francis Bacon hizo mejoras y consiguió un ejemplar que funcionara en 1959, un año después la NASA demostró interés después de desechar las baterías por su excesivo peso. Durante los años 70 se desarrolló tecnología de pilas de combustibles para aplicaciones terrestres y en el año 1980 en aplicaciones vehiculares. En 1993 fue propulsado el primer vehículo por pilas de combustibles.

2.1.2.1 DEFINICION

La pila de combustible es un intermediario energético llamado también vector energético por su capacidad de transformar energía química en energía eléctrica y viceversa, convirtiendo al hidrógeno en complemento ideal de energías renovables, como la eólica y solar que son energías renovables intermitentes pues depende de un factor que no siempre está presente.

La pila de combustible es capaz de suministrar la energía eléctrica de forma continua mientras tenga su combustible, hidrógeno. Para que la pila de combustible además del hidrógeno necesite un oxidante, oxígeno, que hace de

catalizador encontrándose este en el aire. Su estructura se la muestra en la Fig. 2.6

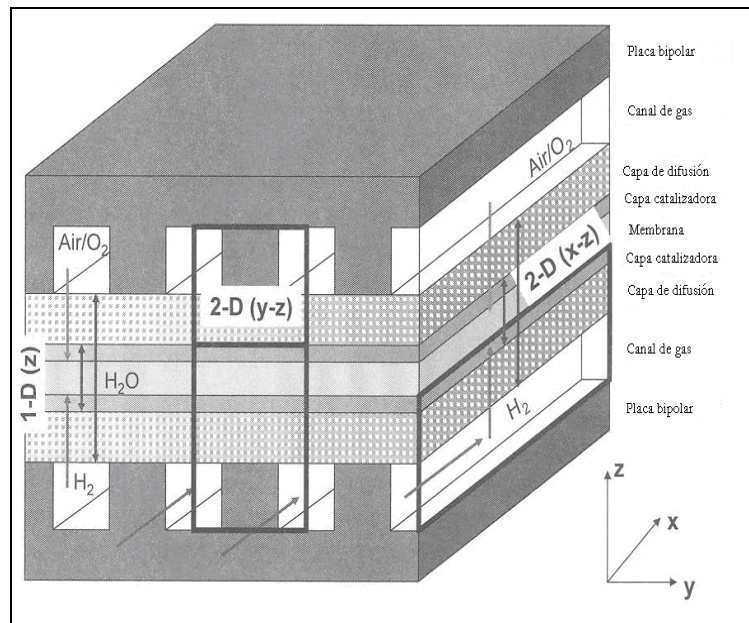


Figura 2.6 Estructura de una pila de combustible - Barbir, Frano. PEM Fuel Cells, Theory and Practice. Elsevier Academic Press

La tensión de las celdas es baja, 0.7V es recomendado asociarlas en serie para esto se usan placas bipolares que tienen en un lado la placa el ánodo y en otro lado cátodo, consiguiendo una estructura compacta, rígida, con mejor contacto eléctrico, buena disipación térmica y resistencia mecánica. Estas láminas deben ser impermeables a gases pues separan los gases de las celdas adyacentes.

Los canales de gas del lado del ánodo transportan hidrógeno, mientras que del lado del cátodo distribuye oxígeno, en teoría en estos canales hay gases pero hay presencia de agua, es por esto que el canal debe ser rectangular para evitar la formación de películas de agua.

El catalizador situado entre los electrodos y membranas es una lámina delgada de níquel, platino o perovskita dependiendo del tipo de pila de combustible, que es necesaria para producir las reacciones electroquímicas.

La capa de difusión del gas está situada entre la capa de gas y el catalizador, tiene la función de difundir uniformemente el gas de forma que acceda a toda la superficie del catalizador-

La función de la membrana es ser medio de transporte de los protones, su composición varía de acuerdo al tipo de celda de combustión. Por ejemplo la Pila de Combustible PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) su membrana es Nafion.

2.1.2.2 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible es un conjunto de celdas de combustible. Una celda de combustible está formada por dos electrodos, ánodo (-) y cátodo (+) separados por un electrolito.

En el ánodo se produce la reacción del hidrógeno separando dos protones (+) y dos electrones (-), los protones de hidrógeno circulan a través del electrolito hasta llegar al cátodo, mientras tanto los electrones del hidrógeno que no pueden atravesar el electrolito circulan a través de un circuito eléctrico que conecta los electrodos, el flujo de electrones que atraviesan la carga produce corriente eléctrica, una vez cruzado el circuito se combina con los protones y el oxígeno formando agua.

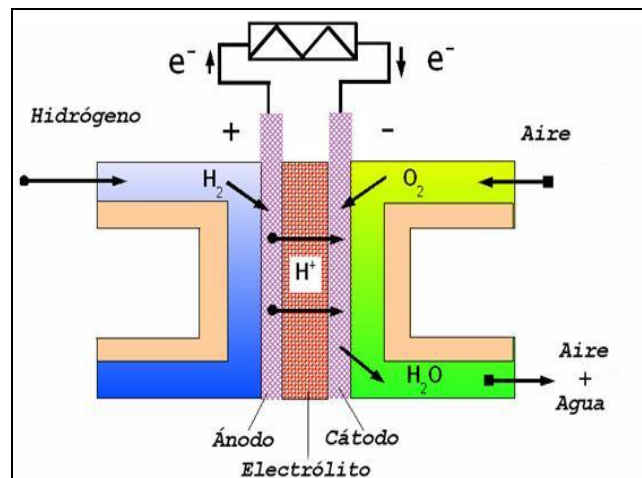
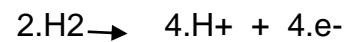


Figura 2.7 Funcionamiento de Pila de Combustible - www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas

Las reacciones que tienen lugar en ánodo y cátodo son:



A diferencia de la batería, la pila no necesita ser recargada, sino que esta trabaja de forma continua mientras en sus electrodos se suministre hidrogeno y aire.

Durante el funcionamiento de la pila de combustible la tensión no es constante, sino que varía de forma no lineal, es por esto que se debe utilizar un convertidor DC que estabilice el voltaje deseado.

Para nuestro proyecto hemos elegido la Pila de Combustible FCS-C2000 con potencia de salida 2000W, que trabaja con reactivos de hidrógeno y aire, y opera a temperaturas máximas de 65°C, Anexo B.

2.2 BATERIA

Las baterías fueron descubiertas por Luigi Galvani en 1780, apartir del experimento de una rana y dos metales, notó que circulaba corriente por la rana, que cumplía la función de electrolito. En 1800 Alessandro Volta, colocó las baterías en serie para tener mayor tensión, obteniendo las baterías como se las conoce en la actualidad.

Las Baterías son conjunto de celdas electroquímicas capaces de convertir energía química en energía eléctrica y además puedan recargarse.

Las baterías están compuestas de un electrodo negativo llamado cátodo, electrodo positivo llamado ánodo y electrolito que permite el movimiento de los iones, produciendo que la corriente eléctrica salga de la batería.

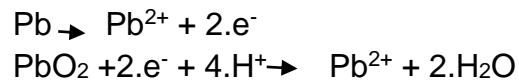
Las baterías tienen fácil adaptación de producir de energía de acuerdo a la demanda, almacenando la energía en momentos donde la producción es mayor a la demanda y cediendo energía cuando la demanda es mayor a la producción.

2.2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA BATERIA

El funcionamiento de la batería durante en proceso de descarga, donde el transporte de cationes es de de ánodo a cátodo, el transporte de aniones de cátodo a ánodo y la circulación de electrones es de ánodo. En el proceso de carga es el proceso inverso es decir: los cationes van de cátodo a ánodo, los aniones de ánodo a cátodo y los electrones de cátodo a ánodo.

Si durante el funcionamiento de una batería, la descarga es completa, la batería agota las especies necesarias para su funcionamiento. En ese momento es necesario proceder a la carga de la batería invirtiendo las reacciones.

Las reacciones que tienen lugar en ánodo y cátodo de una batería de plomo-ácido son:



Al igual que en pila de combustible, la tensión no es lineal, consta de zonas lineales y no lineales. La caída de tensión inicial, zona no lineal, es debida a las pérdidas por activación, mientras que la región lineal de la curva representa las pérdidas debido a conducción iónica y se denomina zona óhmica.

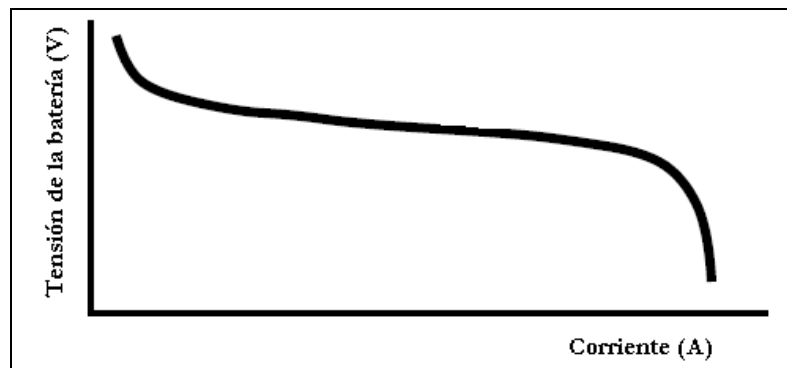


Figura 2.8 Curva Característica de Batería - National Semiconductor, Characteristics of Rechargeable Batteries

La batería de sus propios parámetros, que se describen a continuación:

Tensión a Circuito Abierto: para realizar esta medición la batería debe estar en absoluto reposo, es decir que se haya homogeneización el electrolito y además estar en circuito abierto, este dato nos informa el estado de carga de la batería.

Capacidad [C]: este parámetro nos informa la cantidad de corriente que una batería puede suministrar en una descarga en un tiempo determinado. Sus unidades son [Ah] Amperios-Hora.

Estado de Carga [SoC]: es la relación entre la energía que la batería es capaz de aceptar y la capacidad disponible en todo momento, el SoC disminuye con el envejecimiento, ritmo de descarga y temperatura. Cuando el $SoC=1$ significa que la batería ya no puede aceptar más energía pues su capacidad disponible está completamente llena y cuando $SoC=0$ significa y que la batería ya no tiene energía en su interior para dar al sistema.

Corriente Máxima de Descarga: como su nombre lo indica es la corriente máxima en que se descargará la batería, esta corriente es la mínima de entre las corrientes máximas de descarga de una de las celdas, ya que no se debe superar ninguna de los límites de corriente en ninguna celda. Este valor se puede calcular en función de la capacidad, es decir si una batería tiene $C=30Ah$, a un ritmo de de 1C la batería de descarga con una corriente de 30A en una hora.

Estado de Salud [SoH]: es la capacidad de almacenar energía, almacenar la carga durante largos periodos de tiempo, esto relativo a su capacidad nominal y entregar y suministrar elevadas corrientes. El SoH tiende a disminuir con el tiempo de vida de la batería pues suelen sufrir daños físicos o químicos irreversibles. Este parámetro nos indica el funcionamiento futuro de la batería, así conocer el tiempo que resta para cambiar por una nueva batería.

Estado de funcionamiento [SoF]: es la capacidad de llevar a cabo ciertas partes del ciclo de trabajo de la batería.

Profundidad de descarga [DoD]: es la capacidad de energía que se puede extraer de un batería, conocido también como el porcentaje de la capacidad total de la batería.

Uno de los fenómenos que perjudican al funcionamiento de la batería es la sobrecarga, conocido como la corriente que no se utiliza para transformar activos, se produce cuando la capacidad de la batería alcanza el 90% Amperios Hora, y a partir de ese momento se prolongue la carga. Los daños que pueden producir son daño a los electrodos, generación de gas que daña el electrolito y aumenta la

temperatura que reduce la resistencia interna, que aumenta la corriente.

Otro de los fenómenos que causan daño a la batería es la autodescarga, que es causado cuando la batería están en circuito abierto por un largo periodo, afectan a la batería en el diseño de las celdas, sistema electroquímico, temperatura, tiempo de almacenamiento y las impurezas.

Las baterías pueden realizar su carga de diferentes formas: a tensión constante, corriente constante o con un sistema de regulación de corriente y voltaje.

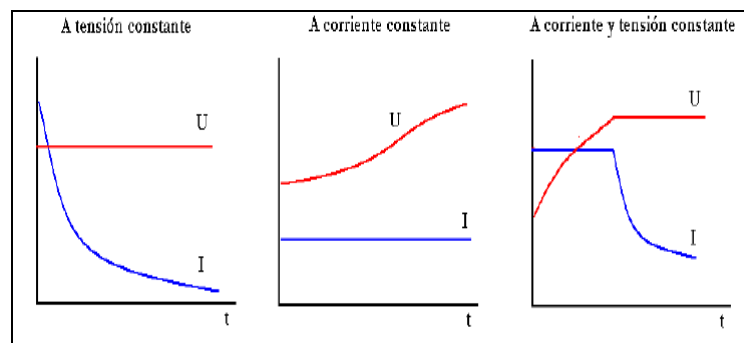


Figura 2.9 Tipos de carga de una Batería - Tesis Master Modelado y Simulación HIL de un sistema pila de combustible y batería

Cargar a tensión constante una batería hace que la corriente disminuya a medida que alcanza el nivel máximo de carga; si la

tensión es alta, la corriente también lo será, aumentando las pérdidas de Joule y reduciendo la vida útil de la batería. Así también está la carga con corriente constante haciendo que el voltaje disminuye a lo largo de la carga, también hay la combinación de las anteriores métodos donde la carga de la corriente es constante hasta alcanzar la tensión de gasificación, a partir de ese momento la carga a tensión constante.

Para nuestro proyecto hemos elegido las baterías HRG12V100 de 100 A/H, y temperatura de operación entre -44°C a 55°C , Anexo C.

2.3 INVERSOR DC/AC

El inversor permite el flujo de corriente de una red continua a una red alterna, la corriente alterna puede ser convertida en cualquier voltaje y frecuencia con el uso de transformadores, control y conmutación de circuitos.

Los inversores consta de un oscilador que controla unos transistores los cuales switchean la corriente proveniente de una fuente de voltaje

continua, generando una onda cuadrada que alimenta a un transformador que eleva el voltaje y suaviza la forma de onda, para que sea más senoidal, pero esto no basta pues para que una onda cuadrada simule una señal senoidal, se requiere de varias componentes electrónicas que de acuerdo a sus configuraciones hacen que la señal sea más parecida a la senoidal.

Para determinar un inversor se debe tener en cuenta 5 puntos importantes como: los generadores, las leyes de control, la conservación de la energía, el cálculo de eficiencia del equipo y las protecciones ante situaciones de riesgo.

La aplicación de los inversores es grande, va desde UPS para respaldo de energía hasta aplicaciones industriales, pero la más importante para nosotros es su aplicación para convertir la corriente continua generada por fuentes de energías renovables a corriente alterna, para luego ser utilizada en partes rurales que carezcan de servicio de la red pública.

Para nuestro proyecto hemos elegido el inversor 2000W PS W7-S-20—48NCOO, con voltaje de entrada 48 VDC y voltaje de salida 110VAC, Anexo D.

2.4 CONVERTIDORES DC/DC

Los convertidores DC/DC tienen como función principal convertir una potencia de entrada en una potencia de salida con el mayor rendimiento posible, teniendo en su salida una tensión regulada y en ciertas aplicaciones limita la corriente.

El uso de los convertidores DC-DC facilitan la alimentación de un sistema, pues solo se genera tensión donde se necesitan, de esta forma se reduce la cantidad de líneas de potencia de esta forma se controla la potencia, tensiones de entrada, aumento de armónicas y aumento en la seguridad

Los convertidores DC-DC suelen utilizar altas frecuencias para simplificar el filtrado, de esta forma el ruido producido en las líneas de entrada no llegará todo el sistema.

Hasta ahora hemos planteado que las fuentes de energías renovables están conectadas directamente a las baterías. El uso de un regulador de baterías solo es válido en la desconexión de las fuentes de energías renovables, no el control de su trabajo cuando están alimentando al sistema, es por esto que es necesario el uso de un convertidor DC/DC entre las fuentes de energías renovables y la batería para mejorar el

rendimiento del sistema , es decir las fuentes de energías renovables pueden aportar la máxima energía o bien la energía optima para su funcionamiento, asegurando que la carga de la batería sea eficiente.

Existen tres tipos de convertidores DC/DC elevadores, reductores y elevadores/reductores de voltaje. Para nuestro sistema híbrido de energías renovables la salida de cada fuente es de una tención aproximadamente de 12 VDC, razón por la cual utilizaremos un convertidor de entrada 12DC y salida: 48DC, es decir un elevador de voltaje, que luego su voltaje DC se convertirá en AC por el inverso.

2.5 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CON ENERGÍA RENOVABLE

Para nuestro estudio la integración de nuestro sistema constara de dos fuentes de energías renovables: paneles solares y pila de hidrogeno, que se incorporan a una batería, como sistema de alimentación de emergencia y las cargas, las cuales hemos tomado a un laboratorio eléctrico-electrónico móvil que no puede conectarse a un red eléctrica por motivos de ubicación.

El integrador del sistema, es un conmutador que permite conectar y desconectar paneles, baterías y cargas.

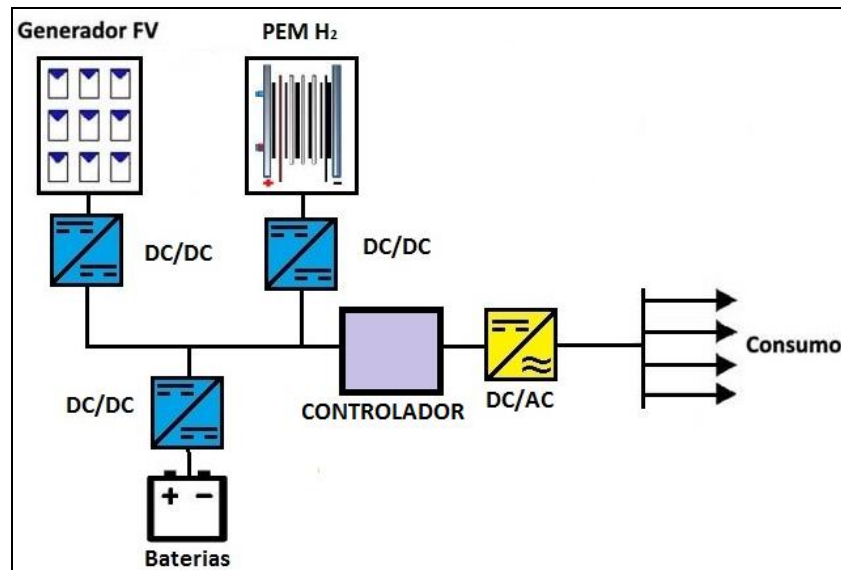


Figura 2.10 Esquema Eléctrico del Sistema Integrador - Elaboración Propia

Partiendo del modelo general de la Figura 2.10, aparece un detalle importante a tener en cuenta, como lo es determinar las variables de control. El integrador debe gestionar la interconexión de hasta 4 dispositivos: paneles solares, pila de hidrógeno, baterías y carga. Además controlar el funcionamiento del inversor. En el caso de la baterías, tienen dos alternativas utilizar su tensión en bornes o bien el nivel de energía, para mantenerla en una zona optima de funcionamiento. En el caso de los paneles solares, pila de hidrógeno y las cargas se encuentra en la potencia que genera o consume, cabe indicar que los paneles solares, pila de hidrógeno y baterías usarán un convertidor elevador DC/DC de tensión.

2.6 SOFTWARE DE SIMULACION MATLAB-SIMULINK

Para las simulaciones de los generadores de energías renovables, batería, controlador, inversor y la carga se ha utilizado el software matemático Matlab, dentro de esta herramienta está SIMULINK quien permite programación visual en simulación de modelos o sistemas, cada uno de sus bloques contiene previa programación, para nuestro proyecto describiremos los bloques del panel solar, pila de combustible, batería, convertidor e inversor.

2.6.1 DESCRIPCION DE BLOQUES UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO

En la simulación además de los generadores de energías, convertidores e inversores, son necesarios el uso de otros bloques que iremos describiremos a continuación:

- Panel Solar

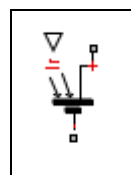


Figura 2.11 Celda Solar – MATLAB

Este bloque representa una fuente de corriente de la célula solar, la entrada de este bloque es la irradiación solar con unidad W/m^2 .

Con este bloque se puede configurar un conjunto de celdas dando como resultado un o varios paneles solares.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>SimElectronics>>Sources>>Solar Cell

- Pila de Combustible

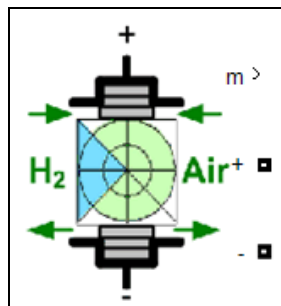


Figura 2.12 Pila de Combustible - MATLAB

Este bloque implementa un modelo genérico parametrizado para representar tipos más populares de pilas de combustible alimentadas con hidrógeno y aire.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>SimPowerSystems>>SpecializedTechnology>>Application Libraries>>ElectricalDrives library>>Extra Sources.

- Batería

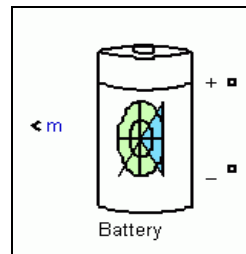


Figura 2.13 Batería – Matlab

Este bloque implementa un modelo dinámico parametrizado para representar los tipos más populares de baterías recargables como: Ácido-Plomo, Ion de Litio, Niquel-Cadmio y Niquel metal hidruro.

La ubicación de este bloque en la librería es: Simscape>>SimPowerSystems>>SpecializedTechnology>>Control and Measurements Library>>ElectricalSources>>Battery.

- Convertidor DC/DC Elevador

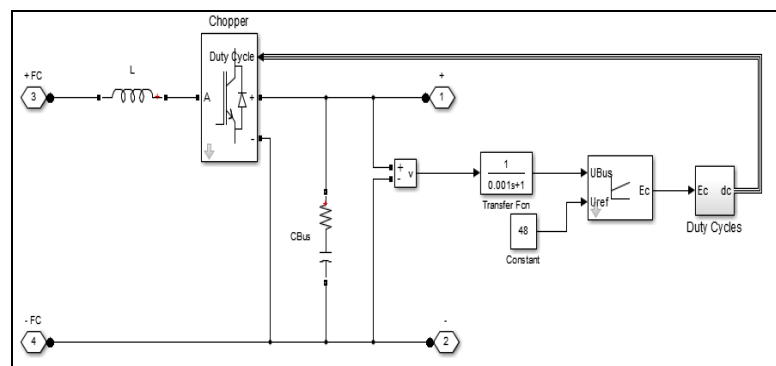


Figura 2.14 Convertidor DC/DC Boost - MATLAB

Este bloque implementa un modelo genérico parametrizado para representar un convertidor DC-DC tipo boost para elevar y mantener un voltaje continuo.

Este bloque se lo encuentra en el convertidor DC-DC de la pila de Hidrógeno proporcionado por MatLab como ejemplo, y lo utilizaremos como los convertidores elevadores DC/DC del panel solar y las baterías.

- Convertidor de Señal Simulink a Señal Física

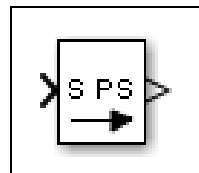


Figura 2.15 Convector S->PS – Matlab

Este bloque es usado para convertir una señal de entrada de Simulink en una señal física. Con este bloque se conectan fuentes de Simulink u otros bloques de Simulink a las entradas de un diagrama de red física, en este caso Simscape.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>Utilities>>PS-SimulinkConverter

- Convertidor de Señal Física a Señal Simulink

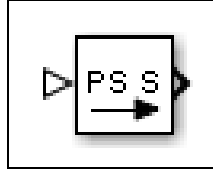


Figura 2.16 Convertidor PS->S -MATLAB

Este bloque es usado para convertir una señal física en una señal de salida de Simulink, se conectaran las salidas de un diagrama de red física a bloques de Simulink.

La ubicación de este bloque en la librería es: Simscape>>Utilities>>PS-SimulinkConverter.

- Sensor de Corriente

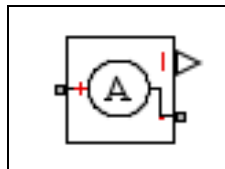


Figura 2.17 Sensor de Corriente - MATLAB

Este bloque representa un sensor ideal de corriente es decir que convierte la corriente medida en cualquier rama eléctrica en una señal física proporcional de corriente.

Las conexiones + y – son los puertos en los que se inserta el sensor en un circuito eléctrico, mientras que la conexión I es el puerto donde se obtiene el valor de la medición.

La ubicación de este bloque en la librería es: Simscape>>Foundation Library>>Electrical>>ElectricalSensors>>Current Sensor.

- Sensor de Voltaje

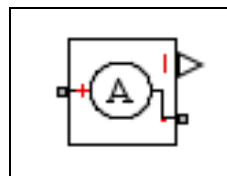


Figura 2.18 Sensor de Voltaje - MATLAB

Este bloque representa un sensor ideal de voltaje es decir que convierte el voltaje medido entre dos puntos de un circuito eléctrico en una señal física proporcional de voltaje.

Las conexiones + y – son los puertos en los que se inserta el sensor en un circuito eléctrico, mientras que la conexión V es el puerto donde se obtiene el valor de la medición.

La ubicación de este bloque en la librería es: Simscape>>Foundation Library>>Electrical>>ElectricalSensors>>Current Sensor.

- Configuración Solver

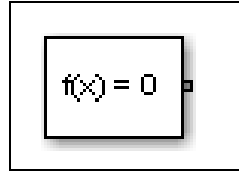


Figura 2.19 Configuración Solver – MATLAB

Este bloque es usado para la simulación de cada red física representada por un diagrama de bloques conectados en Simscape. Es necesario conectar un SolverConfiguration para cada circuito de Simscape diferente.

El bloque tiene un puerto de conservación, puede agregar este bloque en cualquier parte de un circuito físico de red mediante la creación de un punto de bifurcación y de conectarlo al único puerto del SolverConfiguration.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>Utilities>>SolverConfiguration.

- Interface Simscape Voltege-Corriente

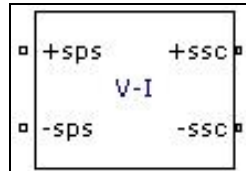


Figura 2.20 Interface Simscape Voltaje-Corriente - MATLAB

Este bloque es usado para conectar circuitos de SimPowerSystems con elementos eléctricos de la biblioteca de Simscape. Este bloque conserva la corriente y el voltaje.

En el lado de SimPowerSystems, los puertos +sps y -sps actúan como una fuente de voltaje controlada.

En el lado de Simscape los puertos, la alimentación de tensión de Simscape+ssc y -ssc actúan como una fuente de corriente controlada.

La ubicación de este bloque en la librería es: Simscape>>Foundation Library>>Electrical>>ElectricalSensors>>Current Sensor.

- From Workspace



Figura 2.21 Bloque From Workspace – Matlab

Este bloque permite leer datos de una workspace (modelo de simulink) para enviar los datos como una señal.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simulink>>Sources>>FromWorkspace.

- To Workspace

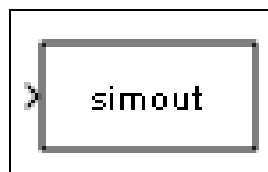


Figura 2.22 Bloque To Workspace – Matlab

Este bloque permite introducir una señal y escribe los datos de la señal para el workspace (modelo de simulink) para enviar los datos como una señal.

La ubicación de este bloque en la librería es:

Simulink>>Sources>>FromWorkspace.

- Puente IGBT

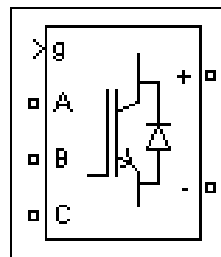


Figura 2.23 Bloque de Puente Universal – Matlab

Este bloque implementa un convertidor de potencia de tres fases, tipo puente permite la simulación de convertidores conmutados que puede ser configurado en este caso para un sistema monofásico y seleccionando como elementos IGBT con Diodos que es un dispositivo de conmutación forzada.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>SimPowerSystems>>SpecializedTechnology>>Power
Electronics.

- PWM

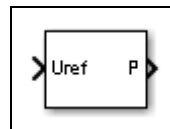


Figura 2.24 Bloque Gennerador de Pulsos - Matlab

Este bloque genera impulsos a la modulación de ancho de pulsos basadas en la portadora (carrier) PWM utilizando convertidores de topología de dos niveles. Se lo puede configurar para generar y comparar con la señal triangular externamente y de manera interna.

La ubicación de este bloque en la librería es:
Simscape>>SimPowerSystems>>SpecializedTechnology>>Control
and Measurement>> Pulse &Generators.

CAPÍTULO 3

3 DESCRIPCION DEL ESCENARIO

3.1 DESCRIPCION DEL LABORATORIO MOVIL

El laboratorio móvil forma parte de un radar móvil, tiene como función principal realizar mantenimiento a la instrumentación del radar, el espacio del laboratorio está construido en base de contenedor.



Figura 3.1 Laboratorio Móvil del Radar AN TSP 70 - FAE

El uso de contenedores para esta aplicación es común, por su fácil transportación y puede ser ubicado en lugares de difícil acceso donde no existen infraestructura física como departamentos, edificaciones o casas donde se pueda habitar.

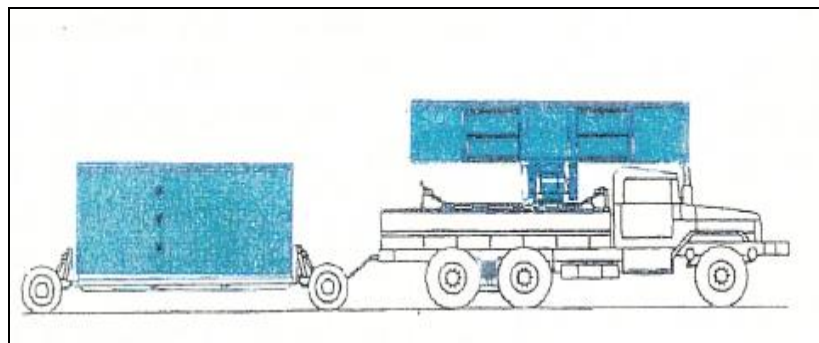


Figura 3.2 Modo de Transportación del Laboratorio Móvil - Manual Radar AN TSP 70

En el interior del contenedor están instalados varios equipos eléctricos, electrónicos y herramientas varias que forman parte de los instrumentos con los que se dan mantenimiento.

Por los ambientes aislados donde se ubica el radar móvil, se considera necesario que operen al menos dos técnicos que son los responsables del laboratorio de mantenimiento encargados de planificación, mantenimiento, reparaciones y verificaciones de equipos.

3.2 DESCRIPCION DE LOS INSTRUMENTOS DEL LABORATORIO

Al tratarse de un laboratorio móvil con funciones de mantenimiento, sus herramientas pueden dividirse en dos tipos: herramientas manuales y herramientas eléctricas-electrónicas, estas últimas son las de mayor importancia para el desarrollo del proyecto porque determina el dimensionamiento de las generadores de energías renovables y su sistema de respaldo.

3.2.1 HERRAMIENTAS MANUALES

Se llaman herramientas manuales a los utensilios que son utilizadas para realizar tareas de reparación o constructivas de forma sencilla y menos energía.

Las herramientas que se usan en el laboratorio móvil son las siguientes:

- Desarmadores
- Alicates
- Alicates de corte al ras
- Pinzas de fuerza
- Pinzas de punta
- Pinzas brujas
- Llaves Allen, Torx y Hexagonales.
- Playos
- Sierra
- Flexómetro
- Nivel
- Martillo
- Crimper

- Limas y entre otros.

En la Fig. 3. 3 se muestran algunas herramientas manuales dentro del laboratorio móvil.



Figura 3.3 Herramientas manuales que posee el laboratorio móvil - FAE

Las herramientas antes mencionadas junto a materiales como anticorrosivos, lubricantes, siliconas, aislantes, limpiador de contactos y estaño son utilizados para realizar mantenimiento a los equipos.

3.2.2 HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS

Para realizar verificaciones y ajustes a la instrumentación que posee el radar móvil, es necesario equipos de medición de parámetros eléctricos y mecánicos, para esto debemos separar en cargas de alimentación de corriente directa donde su fuente de alimentación proviene de baterías recargables, que utilizan un cargador para volver a cargar su voltaje nominal, equipos que usan este tipo de fuente son:

- Multímetro analógico
- Multímetro Digital
- Fuentes de corriente 4 a 20mA.
- Lámparas portátiles.

Las cargas de alimentación de corriente alterna en la cual basamos nuestro estudio, es de gran importancia por ser quienes determinan la capacidad de generación de nuestras fuentes de energías renovables, la siguiente tabla donde hemos descrito las cargas especificando cuantas unidades existen en el laboratorio y determinamos la potencia real promedio por cada carga.

Carga	Unidad	Potencia Unitaria	Potencia Subtotal
Talador Inalámbrico	1	250 W	250 W
Blower	1	100 W	100 W
Estación para soldar	1	80 W	80 W
Fuentes de voltaje variables	1	300 W	300 W
Cargador de baterías	1	100 W	100 W
Generador de Señales	1	45 W	45 W
Lámpara lupa 5 dioptrias	1	24 W	24 W
Iluminación led del Laboratorio	2	11 W	22 W
Ventilación	2	80 W	160 W
Computadora	1	300 W	300 W
Impresora	1	5 W	5 W
Potencia Total			1386 W

Tabla 3.1 Potencias de Cargas de Alimentación AC - Elaboración Propia

La potencia total de las cargas de corriente alterna es de 1386 Vatios, esta potencia se da en caso de que todas las cargas estén siendo utilizadas al mismo tiempo, este será nuestro peor escenario. Además de la potencia de consumo del laboratorio existe el sistema de respaldo basado en un conjunto de baterías que deben ser recargadas cuando su voltaje sea menor al nominal, es decir la potencia que debe alimentar las fuentes de energías renovables debe ser mayor a 1386W, hemos decidido que la potencia sea 1500 Vatios, asegurando que las cargas sean alimentadas y a la vez las baterías sean recargadas.

3.3 POTENCIAS DE LOS GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLES

A partir del cálculo de la carga AC podemos determinar la potencia de los generadores de energías renovables.

La carga AC es de 1386W, pero se considera una potencia mayor de 1500W asegurando que exista la potencia necesaria para alimentar a las cargas AC y recargar las baterías.

Además de las consideraciones antes mencionadas, hemos considerado la posibilidad de incremento de cargas AC en 500W, si llegara a suceder los generador seguirían alimentando hasta 2000W.

Para una carga de 2000W se puede alimentar con:

- 10 Paneles Solares BJC-210GOA de 210W (ANEXO A)
- Pila de Combustible FCS-C2000 DE 2000W (ANEXO B)
- 6 Baterías de 12V, 100A/H (ANEXO C)

El banco de baterías son 6 baterías en conectados en paralelo, este banco cuenta con una capacidad de 600A/H, para una carga de 1500W a 110VAC su corriente de consumo es 13.6A, por la tanto el banco

podrá alimentar 44 Horas continuas a la carga en ausencia de radiación solar.

$$\text{Corriente de consumo} = \frac{\text{Potencia de carga}}{\text{Voltaje}}$$

$$\text{Corriente de consumo} = \frac{1500W}{110V} = 13.6A$$

$$\text{Horas de trabajo de baterias} = \frac{\text{Capacidad de baterias}}{\text{Corriente de consumo}}$$

$$\text{Horas de trabajo de baterias} = \frac{600A/H}{13.6 A} = 44.1 \text{ Horas}$$

3.4 ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE MANTA-ECUADOR

Debido a las funciones de monitoreo que desempeña el radar, uno de los lugar donde se lo instalará es la ciudad de Manta, razón por la cual analizaremos la radiación solar es esta ciudad.

La ciudad de Manta-Ecuador se encuentra localizada a $0^{\circ} 57' 35''$ de latitud Sur y $80^{\circ} 43' 02''$ de longitud Oeste a una altura de 6 metros a nivel del mar.

Los datos de Irradiación Solar sobre el plano horizontal, se ha tomado de dos fuentes como lo es la NASA y CONELEC, para obtener la radiación promedio anual de la ubicación antes mencionada.

A continuación se describe las fuentes donde se obtuvieron los datos.

- **NASA**

La NASA (National Aeronautics and Space Administration) usa una aplicación web, donde los datos que proporciona dependen de la ubicación, razón por la cual se debe ingresar la ubicación exacta dada en latitud y longitud, la cual da mayor precisión de los valores obtenidos.

Una vez ingresado los datos requeridos por la aplicación web como se observa en la Fig. 3.4, este nos proporciona datos de radiación solar sobre el plano horizontal, temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y temperatura de la tierra como podemos ver en el ANEXO E.

Para la ubicación de la ciudad de Manta se ingresan los valores de latitud de -0.95 y longitud de -80.73333

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy

NASA

To access data for RETScreen:

Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude? South: -90 to 0 North: 0 to 90

Longitude? West: -180 to 0 East: 0 to 180

This form is "Reset" if the input is out of range.

Figura 3.4 Datos a ingresar para obtener la Radiación Solar sobre plano Inclinado - NASA

- **ATLAS SOLAR DEL CONECEL**

El Atlas Solar del país viene dado por mapas mensuales de insolación directa, difusa y global, estos datos han sido recopilados desde Enero de 1985 hasta Diciembre de 1991, para ser publicados en Julio de 2006, cada uno de los mapas vienen expresados en $\text{WHm}^2/\text{día}$.

Para la obtención de datos, el territorio ecuatoriano se dividió en celdas de $40\text{Km} \times 40\text{Km}$, dando una cobertura de 472 puntos como se observa en la Fig. 3.5. Una vez obtenido los datos se utilizó un método de interpolación para asemejar al fenómeno analizad con una resolución de 1Km^2 .

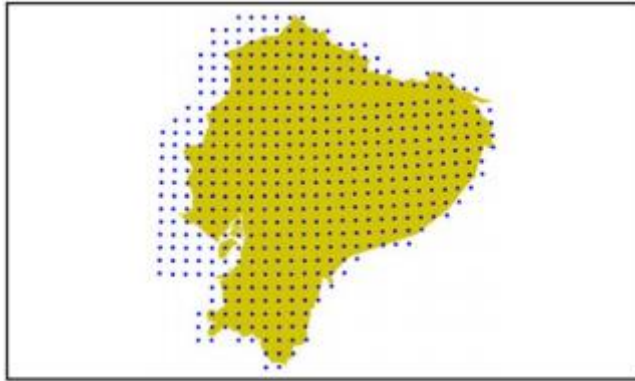


Figura 3.5 Obtención de datos de irradiación dividiendo al Ecuador en celdas de 40Km x 40Km
– Atlas Solar del CONELEC

Como resultado se obtuvieron 36 mapas mensuales más 3 mapas correspondientes a los promedios mensuales, dando un resultado de 39 mapas que se encuentran en la página de CONECEL.

Como resultado de la irradiación global sobre la superficie horizontal, tenemos los datos mes a mes en la Tabla 3.2, donde los meses con menor radiación se encuentra de color amarillo y el máximo de color rosado, así también el valor de la media de cada fuente de las que se recopilaban los datos.

RADICIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE HORIZONTAL			
MESES	NASA DATA (KW/m ² x dia)	CONELEC DATA (KW/m ² x dia)	PROMEDIO MENSUAL (KW/m ² x dia)
ENERO	5,30	4,20	4,75
FEBRERO	5,24	4,50	4,87
MARZO	5,92	4,95	5,44
ABRIL	5,81	4,80	5,31
MAYO	5,26	4,55	4,91
JUNIO	4,08	4,20	4,14
JULIO	4,00	4,50	4,25
AGOSTO	4,23	4,80	4,52
SEPTIEMBRE	4,49	5,10	4,80
OCTUBRE	4,54	4,80	4,67
NOVIEMBRE	4,63	5,10	4,87
DICIEMBRE	5,05	4,80	4,93
MEDIA ANUAL	4,88	4,69	4,79

Tabla 3.2 Resumen de Datos de Irradiación Solar sobre superficie inclinada con diferentes Fuentes - Elaboración Propia

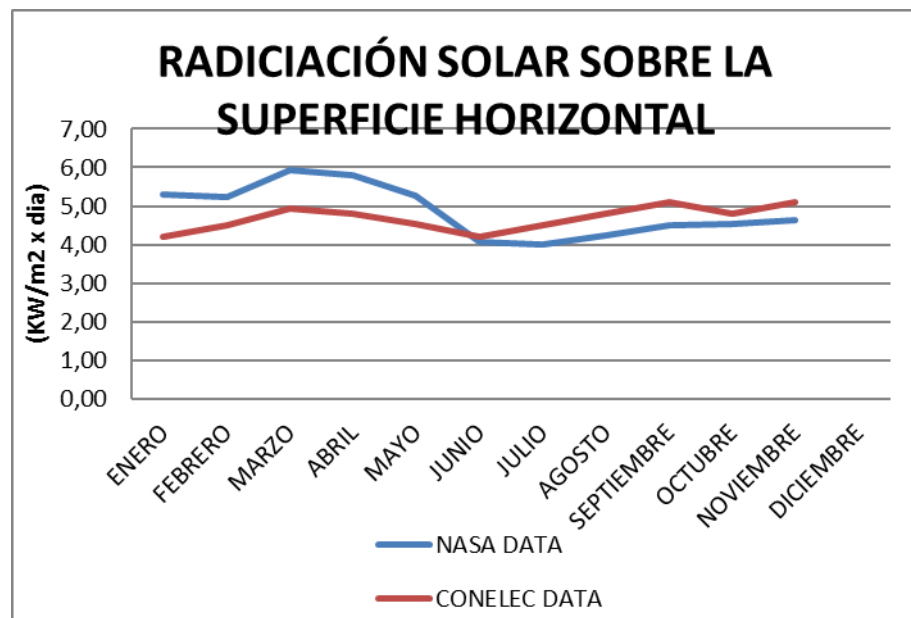


Figura 3.6 Irradiación Solar en plano horizontal – Elaboración Propia

En la Fig. 3.6 se tiene como resultado la irradiación solar sobre la superficie horizontal, el cual tiene un rango de variación el cual cuenta como un máximo de 5,92 KW/m²/día y un mínimo de 4,00 KW/m²/día, las dos fuentes tiene similitud en el comportamiento anual de la radiación solar.

Una vez terminado el análisis de irradiación solar sobre la superficie horizontal, hemos obtenido la los valores medios de cada una de las fuentes, se procede a sacar promedio del valor medio anual de cada una de las fuentes, con este cálculo hemos obtenido la radiación media anual para la ciudad de Manta-Ecuador es de 4,79 KW/m²/día. A su vez la radiación media mensual para la ciudad de Manta-Ecuador se la puede observar en la Tabla 3.2.

3.5 UBICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGICA DE LOS GENERADORES DE ENERGIAS RENOVABLES

Para nuestro sistema hemos diseñado una instalación que cumpla características de confiabilidad, seguridad, movilidad y fácil instalación, que permitan al usuario armar el sistema hibrido de energías limpias en cualquier ambiente de trabajo para el laboratorio móvil.

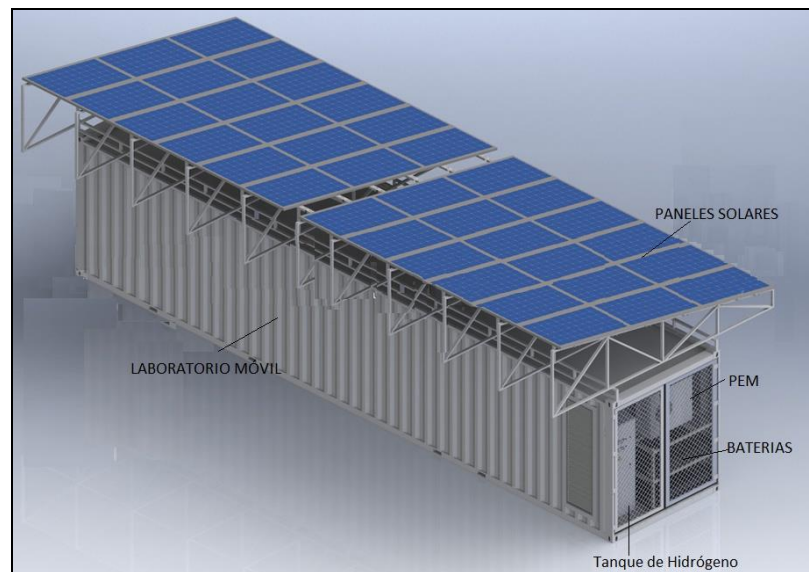


Figura 3.7 Diseño Externo del Laboratorio Móvil con el Sistema Híbrido de Energías Limpias - Elaboración Propia

Como podemos observar en el Fig. 3.7 las instalaciones externas de los paneles solares se adaptan fácilmente al medio que se encuentre, la ubicación de la PEM, tanque de hidrógeno y el banco de baterías han sido ubicadas en el exterior por motivos que se detallará más adelante.

En las instalaciones internas ira el tablero del controlador y el inversor, estos serán ubicados en la pared interna del contenedor opuesta a la PEM y baterías, con el fin de concentrar los generadores de energía limpia lo más cerca posible y además de no interfiera con las actividades que se desarrollen dentro del laboratorio.

3.5.1 INSTALACION DE PANELES SOLARES

Los paneles solares se pueden instalar en la cubierta y paredes laterales del contenedor, de esta manera se tiene más paneles solares por ende la potencia de entrega al sistema de energía será mayor.

La dimensión del laboratorio son las de un contenedor de 12.03x2.34mx2.73m correspondientes al largo, ancho y alto como se ve en la Fig. 3.8, y las dimensiones de un panel solar son 1.65mx0.99mx0.04m correspondientes al largo, ancho y alto, en la parte superior tenemos 28,15 m² de área, espacio suficiente para instalar 10 paneles de 220Vatios cada uno.

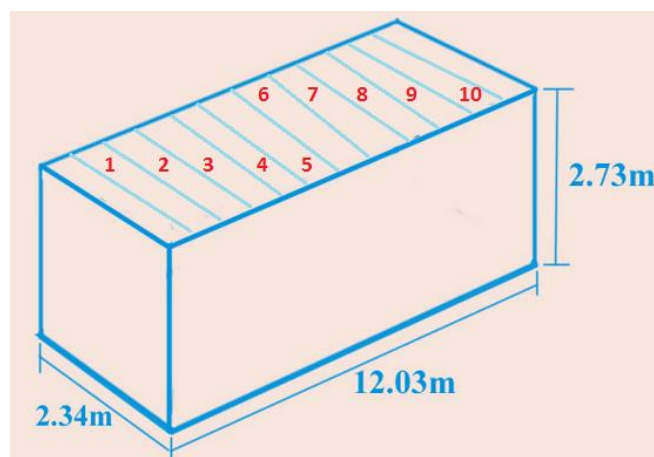


Figura 3.8 Medidas externas del Laboratorio Móvil - Elaboración Propia

3.5.1.1 ORIENTACION DE PANELES SOLARES

La luz solar viaja en línea recta desde el sol hasta la tierra. Al penetrar la atmosfera terrestre, una parte se dispersa y otra cae sobre la superficie en línea recta, finalmente una última parte es absorbida por la atmosfera.

La luz solar que cae sobre la superficie sin dispersarse ni ser absorbida se llama radiación directa que es la más intensa. Una pequeña fracción del total de luz solar alcanza la superficie de la tierra.

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de sol, por ende un sistema solar generará energía aun en días nublados. Sin embargo, las condiciones óptimas de operación implica: la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible al sol, con el fin de aprovechar al máximo la luz solar directa.

En el hemisferio norte, el panel solar deberá colocarse hacia el sur, en el hemisferio sur hacia al norte y cerca del ecuador, el panel deberá colocarse con un aligera inclinación (casi horizontal) hacia el sur para permitir que la lluvia limpie el polvo, con un ángulo no menor de 15° .

En nuestro caso la Ciudad de Manta- Ecuador se encuentra en el hemisferio sur, por lo tanto los paneles solares deberán ser instalados con una ligera inclinación hacia al norte.

Es admisible desviar los paneles solares 20° hacia el Este o el Oeste cuando la existencia de sombras o las condiciones obliguen a ello.

3.5.1.2 ESTRUCTURA DE SOPORTE

La estructura soporte mantiene los paneles en la inclinación y orientación elegida, por lo que tiene que ser lo suficientemente robusta y su diseño deberá ser de forma que no retenga agua de lluvia.

La instalación de los paneles solares en el contenedor pueden ser en el techo y paredes, una ventaja por ensuciarse menos. El soporte deberá ser de un material ligero y capaz de resistir al viento y ambiente húmedos.

Existen los diferentes modelos como lo observamos en las siguientes figuras.



Figura 3.9 Contenedor con paneles solares en su cubierta y en las paredes - <http://www.solarenergos.cl/media/k2/galleries>



Figura 3.10 Contenedor con paneles solares extendidos en su cubierta - <http://www.trunzwatersystems.com/es/tratamiento-de-agua/productos/container/>



Figura 3.11 Contenedor con paneles solares en su cubierta y en una pared - <http://www.sdmo.com/ES/telecomunicaciones-solution-4.html>

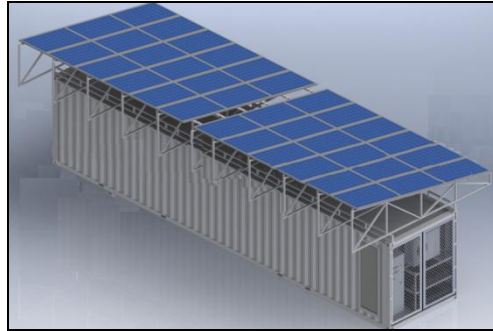


Figura 3.12 Contenedor con paneles solo en la cubierta – Elaboración Propia

En nuestro caso se utilizará el último modelo debido a que el área de la cubierta es suficiente para instalar 10 paneles capaces de generar la potencia necesaria para nuestras cargas, la ubicación del laboratorio dependerá del lugar de monitoreo del radar, es decir la estructura debe ser regulable con pequeños mástiles y transportable, para ser instalado en cualquier ambiente.

Para el anclaje en techos y paredes, se utilizan taladros, tornillos de expansión o tornillos pasantes con tuercas y arandelas

El voltaje de salida de los paneles deberá ser llevado al controlador por cables concéntricos dimensionados para la corriente de salida.

3.5.2 INSTALACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE (PEM)

A diferencia de las aplicaciones existentes como en buses, autos, naves aeroespaciales e industrias; nuestro proyecto diseña la aplicación de instalar pilas de combustibles en laboratorios móviles como generadores de energía limpia en ausencia de radiación solar y baterías descargadas, ventaja que no poseen los actuales contenedores.

Como sabemos la pila de combustible trabaja con dos reactivos el aire y el combustible hidrógeno, el aire lo podemos tomar de cualquier lugar pero el hidrógeno se lo debe extraer de un tanque de almacenamiento.

Para nuestra aplicación caso basaremos la instalación de acuerdo a las características de la pila de combustible que hemos tomado como referencia del manual del Anexo B.

La PEM con dimensiones 30.3cmx35cmx18.3cm correspondiente a alto, largo y ancho, será instalada dentro de un tablero con dimensiones aproximadas de 50cmx40cmx30cm correspondiente a alto, largo y ancho porque junto a la PEM deberá ir las válvulas de

ingreso para el hidrogeno, las de purgas de agua, manómetro y además las conexiones eléctricas tanto de la alimentación externa de 12V como el voltaje de salida que produce la PEM.

El tablero que contenga a la PEM será de material plástico con IP 68 para evitar corrosión, recordemos que la emisión de la PEM es agua y que esta deberá aforar fuera del laboratorio móvil por mangueras de polietileno para ambientes húmedos.

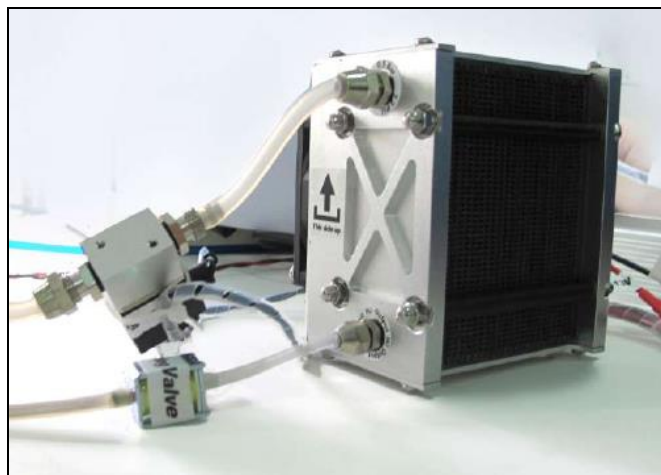


Figura 3.13 Pila de Combustible - Manual Fuel Cell Satck 2000W

La fuente de hidrógeno para nuestra aplicación será un tanque de hidrógeno, para su almacenamiento debe ser instalado en un lugar bien ventilado donde sus ranuras de ventilación no estén obstruidas. El hidrógeno es inflamable sobre concentraciones de 4-75% en volumen en el aire, y es explosiva en concentraciones de 15-59%,

razón por la cual el tanque de hidrógeno será instalado fuera del contenedor, en una estructura metálica que facilite su transportación.

El voltaje de salida de la PEM deberá ser llevado al controlador por cables concéntricos dimensionados para la corriente de salida.

3.5.3 INSTALACIÓN DE BANCO DE BATERIAS

El banco de baterías que de nuestro laboratorio, serán instaladas en los espacios laterales del contenedor, dentro de un tablero de fibra de vidrio que impiden que se descarguen y deteriore su vida.

El banco baterías deberán alimentar a las cargas por 44 horas continuas en caso de que no haber energía solar.

Las conexiones del banco de baterías van conectadas al controlador, que será el encargado de analizar las condiciones para recargar las baterías y alimentar la carga.

3.5.4 INSTALACION DEL CONTROLADOR E INVERSOR

El controlador como el inversor deberá cumplir con las especificaciones del manual de usuario con respecto a las instalaciones de cada equipo.

En nuestro caso la instalación de estos equipos la realizaremos en el interior del laboratorio en tableros de alta protección para evitar factores no deseados interfieran con la operación de los equipos.



Figura 3.14 Vista Interna del Laboratorio para Tableros del Controlador e Inversor- FAE

3.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar el análisis costo-beneficio, debemos estudiar los datos y valores del costo de alimentación energética actual del laboratorio por generador de combustible versus el costo de equipos e instalación de generador de energía limpia.

3.6.1 COSTO POR GENERADOR DE COMBUSTIBLE

Un generador de combustible de 2KW consume alrededor de 1.98 Gal/Hora, mientras que el valor del combustible esta en 1.03 Dólares/Gal en territorio ecuatoriano.

Si realizamos el cálculo de gasto mensuales por 14 horas de uso diario durante un mes, el costo de uso del combustible será de 1101,6 Dólares/Mensuales.

$$1.98 \frac{\text{Galón}}{\text{Hora}} * 1.03 \frac{\text{Dólares}}{\text{Galón}} * 14 \text{ Horas} * 30 \text{ Días} =$$

856,55 Dólares Mensuales

Significa que al año el laboratorio móvil tendrá un gasto de 10278,58 Dólares.

3.6.2 COSTO DE EQUIPOS DE SISTEMA HIBRIDO DE GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLE

Los generadores de energías renovables como paneles solares y pila de hidrogeno, a pesar de tener algunos años en el mercado sus precios aún siguen siendo elevados.

A continuación se presenta en la tabla 3.3 los costos de los equipos para formar el sistema hibrido de energías amigables con el medio ambiente, los costos son en base a las características de los equipos seleccionados.

COSTO DE EQUIPOS DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS			
UNIDADES	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO
10	PANEL SOLAR 210w	\$ 600,08	\$ 6.000,80
1	INVERSOR 48DC_110AC 2000W	\$ 700,00	\$ 700,00
1	PILA DE COMBUSTIBLE DE 2KW	\$ 9.085,00	\$ 9.085,00
1	REGULADOR DE PRESION PARA PEM	\$ 548,15	\$ 548,15
3	CONVERTIDOR DC-DC	\$ 34,79	\$ 104,38
1	CONTROLADOR DE CARGA	\$ 558,85	\$ 558,85
6	BATERIAS 100AH	\$ 140,00	\$ 840,00
1	TANQUE DE HIDROGENO	\$ 580,00	\$ 580,00
1	INVERSOR 48DC_110AC 2000W	\$ 700,00	\$ 700,00
			\$ 19.117,18
		TOTAL	\$ 19.117,18

Tabla 3.3 Costo De Equipos Del Sistema Hibrido PV + PEM + Baterías – Elaboración Propia

3.6.3 COSTOS DE INSTALACION DE SISTEMA HIBRIDO DE GENERADORES DE ENERGIA RENOVABLE

Además del costo del panel solar se debe tomar en cuenta otro costo complementario como son los costos de instalación, los tableros plásticos IP68 y las estructuras soporte de los paneles solares y el tanque de hidrógeno.

COSTO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS			
UNIDADES	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO
1	ESTRUCTURA DE INSTALACION PV	548,15	548,15
1	ESTRUCTURA DE INSTALACION PEM	210	210
3	PANELES PLÁSTICO CON PROTECCION IP68	810	2430
	TOTAL		3188,15

Tabla 3.4 Costo De Instalación Del Sistema Hibrido Pv+Pem+Baterias – Elaboración Propia

3.6.4 COSTO TOTAL DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS

El costo de implementar el sistema hibrido de energías renovables panel solar, pila de combustible y baterías es aproximadamente de \$22305,33, el cual comprende los siguientes rubros.

COSTO TOTAL DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS	
COSTO DE EQUIPOS	19117,18
COSTO DE INSTALACIÓN	3188,15
	22305,33

Figura 3.15 Costo Total Del Sistema Hibrido Pv+Pem+Baterias – Elaboración Propia

3.6.5 AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Para conocer si la implementación de proyecto es viable debemos conocer la amortización y el ahorro que tendremos a partir de la instalación de los equipos de energías renovables, y la eliminación de generación de energía por combustión.

Gasto Anual de Generación de Energía por Combustible	
Combustible	\$ 10.728,58

Tabla 3.5 Gastos Anuales de Generación de Energía por Combustible - Elaboración Propia

Inversión en Generación de Energías Renovables	
Equipos+Instalación	\$ 22.305,33
Mantenimiento	\$ 4.200,00
	\$ 26.505,33

Tabla 3.6 Inversión en Generación de Energías Renovables - Elaboración Propia

Los gastos por generación de energía por combustión, se convertirán en ahorro luego de la instalación de los equipos de generación de energías renovables, por lo tanto la amortización del proyecto será en 2.1 años como lo indica la Tabla 3.18.

Amortización de Inversión	
Amortización Anual	2,5
Amortización Mensual	29,6

Tabla 3.7 Amortización de Inversión - Elaboración Propia

Como la vida útil de los equipos instalados es de 20 años, después de la amortización del proyecto, los años restantes significan ahorro económico, como lo muestra la Tabla 3.19.

Ahorro por uso de Generadores de Energías Renovables	
Años de Ahorro	17,5
Ahorro \$	\$ 188.066,19

Tabla 3.8 Ahorro por uso de Generadores de Energías Renovables -Elaboración Propia

Como podemos observar en la Tabla, el ahorro es significativo comparación a la inversión, por lo tanto el proyecto de instalación de generadores de energía en un laboratorio móvil es viable.

CAPÍTULO 4

4 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO PV + PEM + BATERIAS, CONVERTIDORES JUNTO A SU CONTROLADOR E INVERSOR

4.1 PROGRAMACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Para la potencia requerida por la carga se estableció 2000W, para satisfacer esa potencia hemos simulado 10 paneles solares de 210W en paralelo, como se visualiza en la Fig. 4.1.

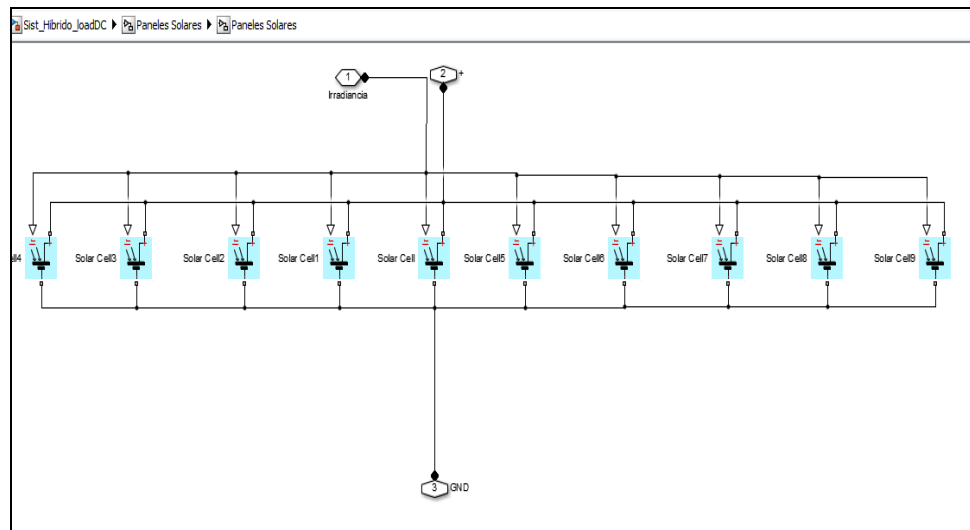


Figura 4.1 Simulación de Paneles Solares - Elaboración Propia

Cada uno de los paneles solares están diseñados basados en una celda solara del software configurados para comportarse con un panel solar según su número de celdas y están parametrizados de acuerdo a las características que muestran las Fig 4.2, Fig 4.3 y Fig 4.4., los PV seleccionados tienen su hoja técnica en el ANEXO A.

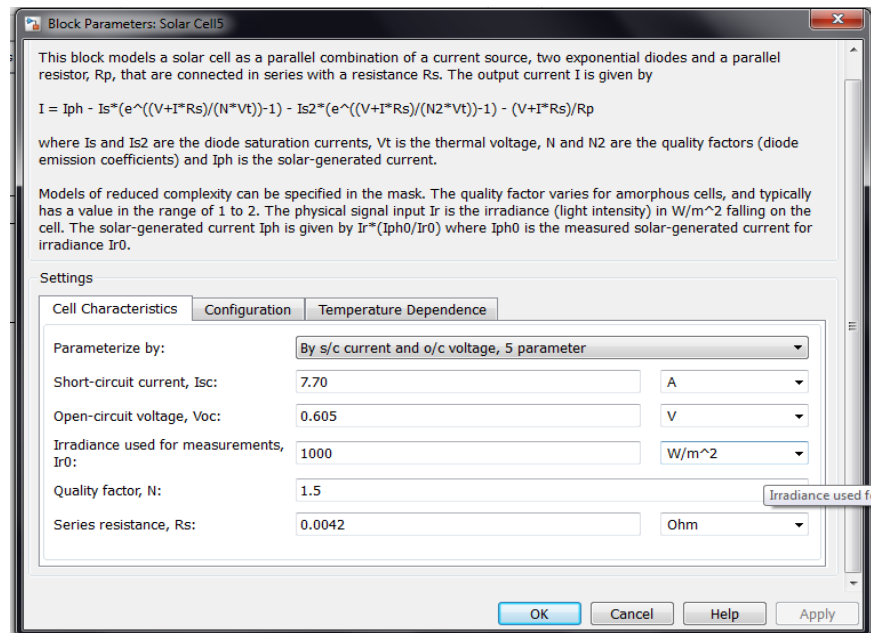


Figura 4.2 Configuración de Características Paneles Solares 1 - Elaboración Propia

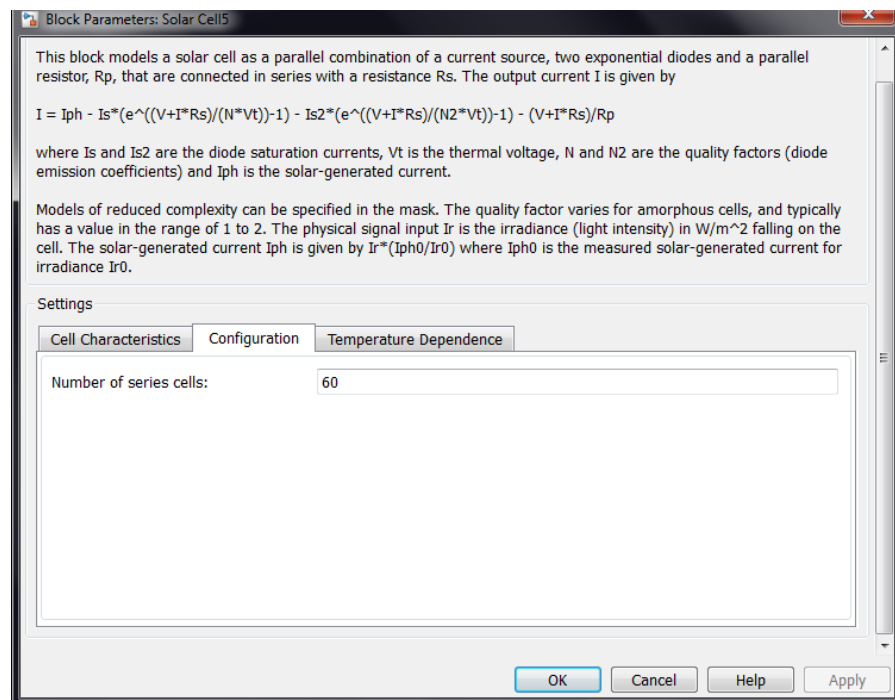


Figura 4.3 Configuración de Características Paneles Solares 2 - Elaboración Propia

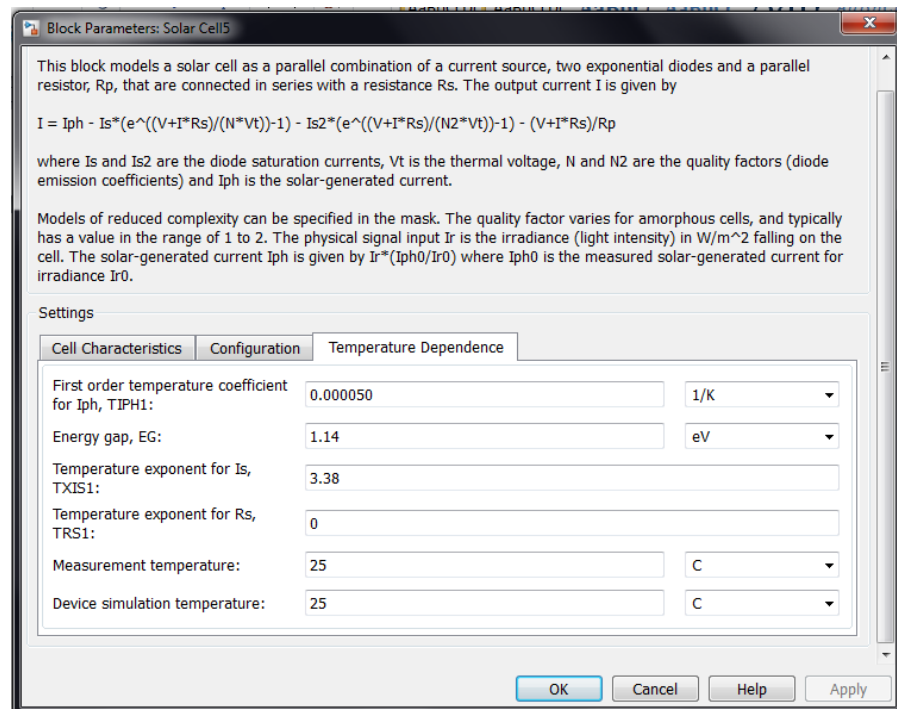


Figura 4.4 Configuración de Características Paneles Solares 3 - Elaboración Propia

Después de realizar la configuración de los paneles solares, se debe establecer una curva de irradiación, los datos de la curva pertenecen a la ciudad Manta-Ecuador donde será instalado el laboratorio móvil. Para la curva de irradiación cada segundo equivale a una hora real, esta equivalencia es debido reducir el tiempo de simulación.

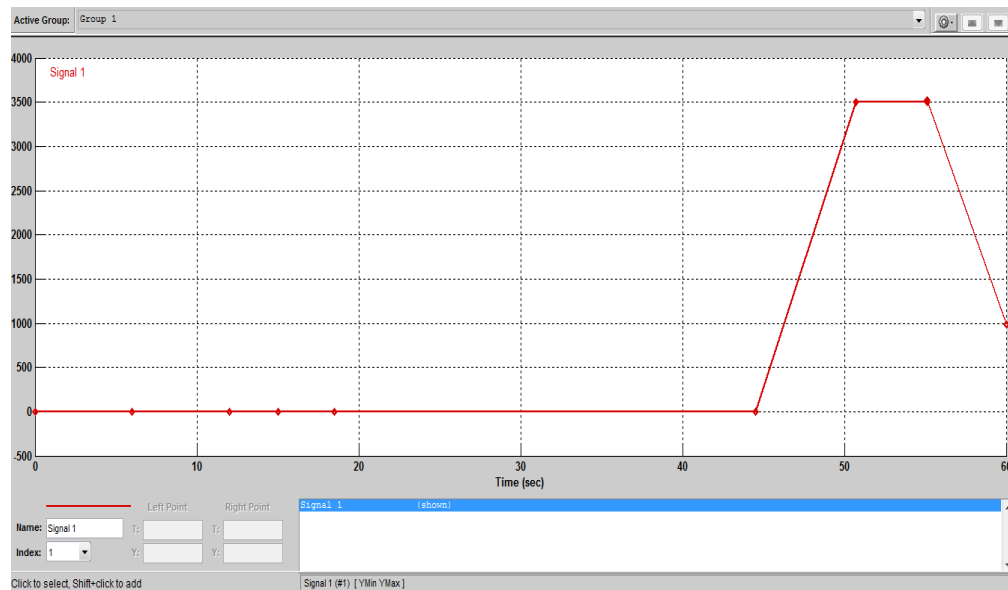


Figura 4.5 Curva de Irradiación - Elaboración Propia

Después de haber parametrizado los paneles solares y haber determinado una curva de irradiación, se conectan la curva de irradiación solar con los paneles fotovoltaicos, para esta conexión se usan los sensores de voltaje, sensores de corriente, interface de voltaje-corriente Simscape, convertidores de Señal Simulink->Señal Física y convertidores de señal Física-> Señal Simulink, como se visualiza en la Fig. 4.6

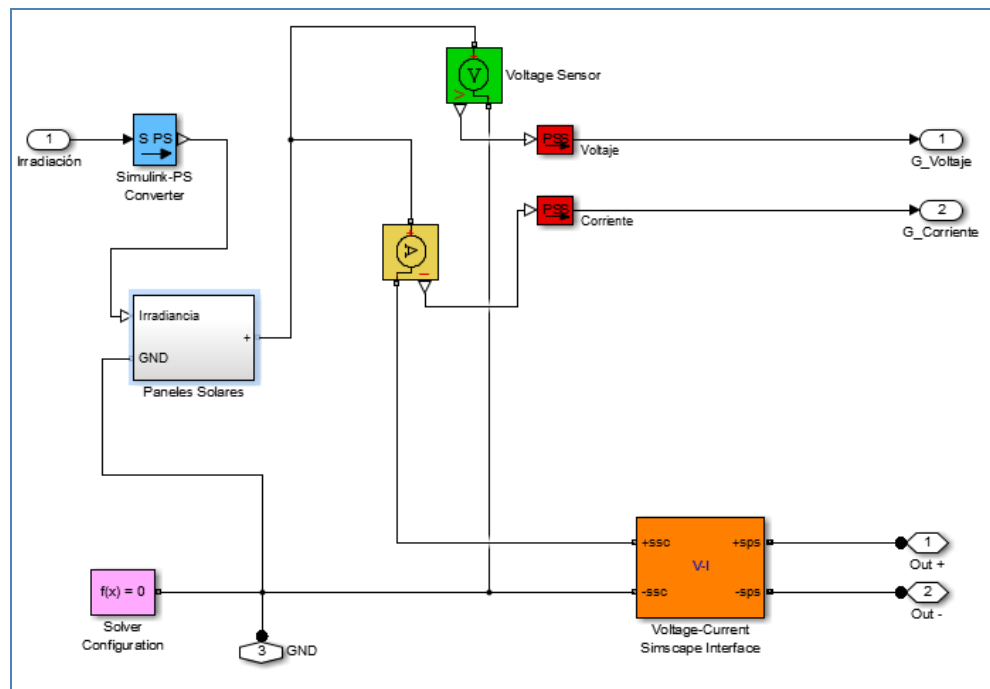


Figura 4.6 Simulación de Paneles Solares - Elaboración Propia

4.2 PROGRAMACIÓN DE PEM

Nuestra carga en casos de emergencia será alimentada por la pila de combustible de 2000W, para la simulación utilizaremos un fuente de hidrógeno ilimitada.

La Fig.4.7 muestra la pila de combustible, la fuente de hidrógeno, osciloscopios y el convertidor Boost DC/DC, este último se describirá más adelante.

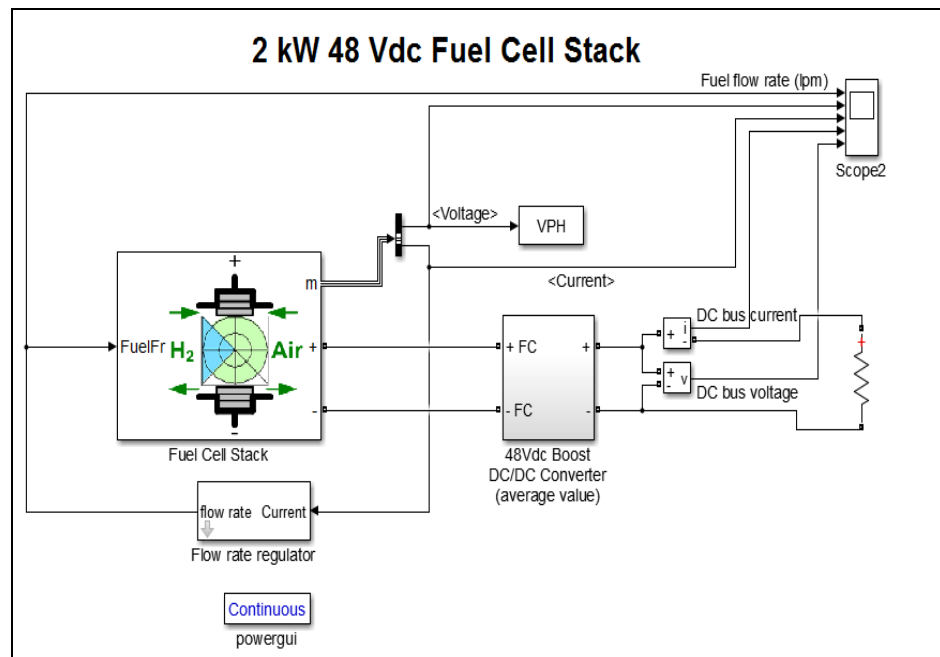


Figura 4.7 Pila de Hidrógeno – Simulink-Matlab

La pila de combustible ha sido configurada de acuerdo a las características seleccionadas de la PEM, como se muestra en la Fig. 4.8, su hoja técnica con las características se puede ver en el ANEXO B.

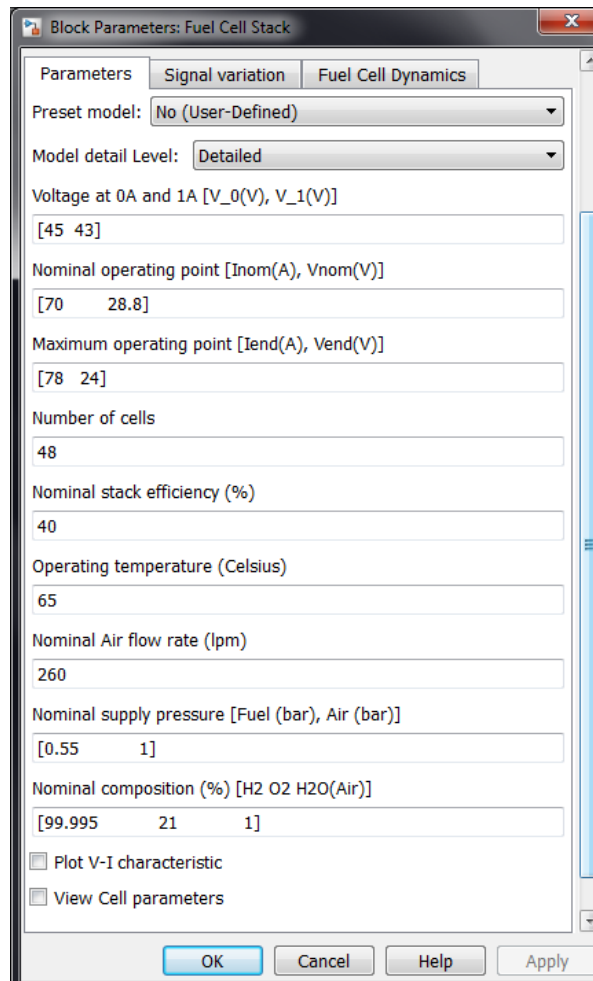


Figura 4.8 Parametrización de la PEM - Elaboración Propia

4.3 PROGRAMACIÓN DE BATERIA

Si la potencia requerida por la carga es de 1500W para un voltaje de 110V, su corriente es de 13.6A, será suficiente conectar en paralelo 6 baterías de 100A/H para un respaldo de 44 horas aproximadamente.

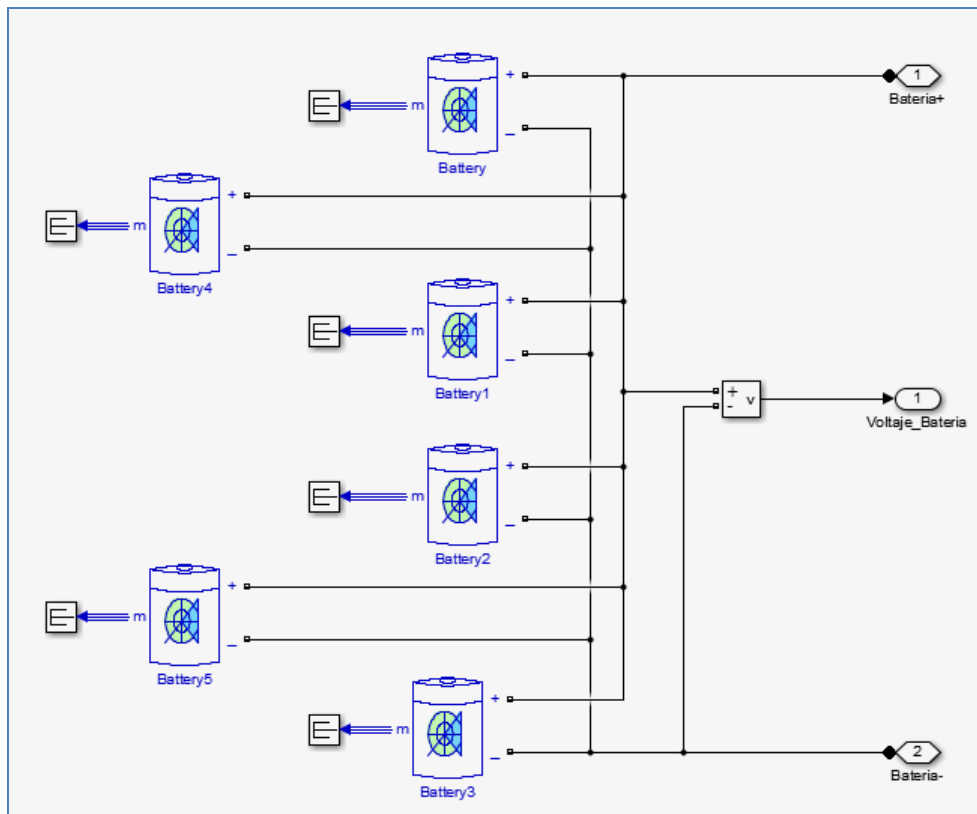


Figura 4.9 Simulación de Baterías - Elaboración Propia

Cada una de las baterías han sido parametrizadas de acuerdo a las especificaciones del modelo de batería como muestra la Fig. 4.8, la hoja técnica donde hace referencia a sus características esta en el ANEXO C.

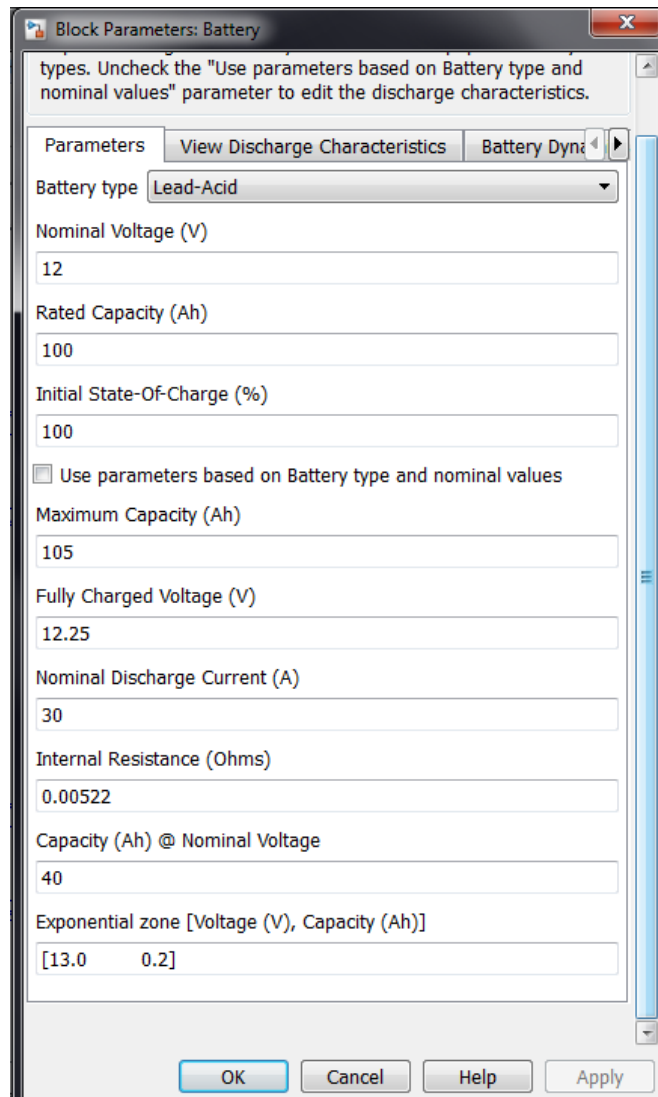


Figura 4.10 Configuración de Parámetros de Baterías - Elaboración Propia

4.4 SIMULACIÓN DEL CONVERTIDORES

Para poder mantener las tensiones en un valor fijo, en nuestro caso 48V, hemos utilizado un convertidor elevador DC/DC la Fig.4.11, este convertidor es usado por los paneles fotovoltaicos, pila de combustible y baterías. Con la finalidad que los convertidores DC/DC se descarguen una vez que su fuente de energía se agote hemos colocado una

resistencia con un diodo en paralelo a la inductancia, en donde se descargara la energía almacenada en el capacitor.

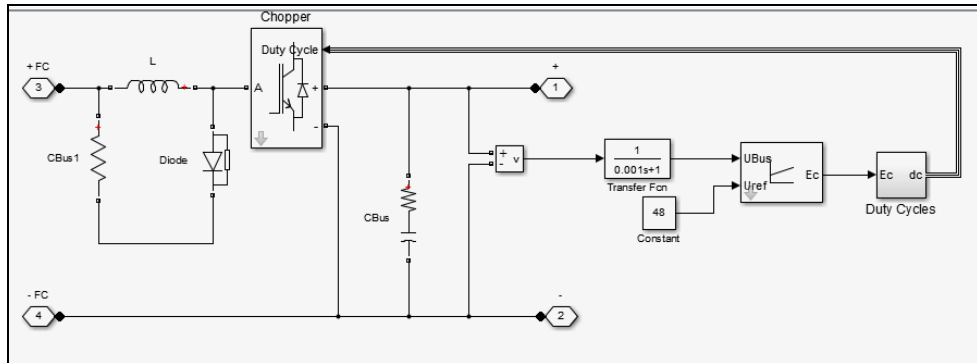


Figura 4.11 Convertidor Boost DC-DC

4.5 PROGRAMACIÓN DE CONTROLADOR

Para controlar la operación de los generadores de energías renovables: paneles solares y pila de combustible, junto a su banco de baterías se diseñó la lógica de control de acuerdo a nuestras condiciones de operación de cada equipo del sistema híbrido.

Los paneles solares operarán cada vez que la irradiación solar sea mayor que $1000\text{WH/m}^2/\text{día}$ y dejará de operar con radiaciones menores $800\text{WH/m}^2/\text{día}$.

Las baterías operarán cuando el voltaje sea mayor a 11VDC y los paneles fotovoltaicos dejen de funcionar, si el voltaje es menor al permitido y los paneles fotovoltaicos tienen irradiación suficiente para

operar, estos últimos alimentan la carga y recargan las baterías hasta llegar a los 13VDC una vez que alcancen este voltaje los PV alimentarían solo a la carga. Pero si el voltaje es menor a 11VDC y los paneles fotovoltaicos no tienen radiación solar suficiente para operar, la pila de combustible alimentará a la carga.

Para los rangos de operación de los paneles solares como de la batería se usan relays con salidas 0=OFF y 1=ON, para operar las baterías, pila de combustible y recargas las baterías debe cumplir varias condiciones por lo cual usaremos puerta lógicas.

Para la lógica de control A= Panel Fotovoltaico, B= Batería, C= Pila de Combustible y F= Salida del controlador, con estas nomenclaturas elaboramos las tablas lógicas para determinar la operación de Batería Tabla 4.1, Pila de Combustible 4.3 y Recargar Baterías 4.2.

A	B	F=Batería
0	0	0
0	1	1
1	1	0
1	1	0

Tabla 4.1 Lógica de Operación de Baterías - Elaboración Propia

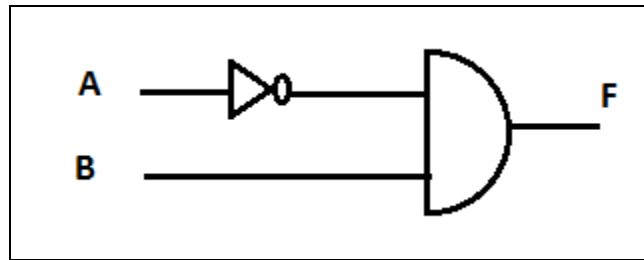


Figura 4.12 Lógica de Operación de Batería - Elaboración Propia

A	B	F=PEM
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Tabla 4.2 Lógica de Operación de PEM - Elaboración Propia

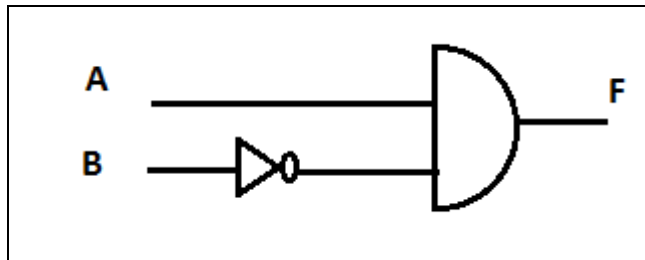


Figura 4.13 Lógica de Operación de PEM - Elaboración Propia

A	B	F=Recargar Baterías
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Tabla 4.3 Lógica de Operación para Recargar Baterías - Elaboración Propia

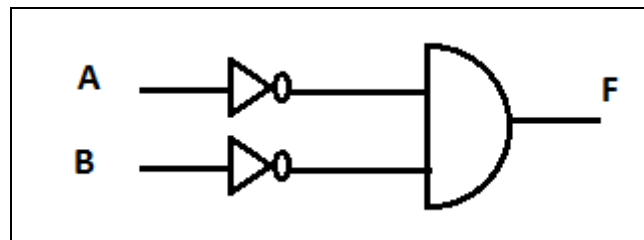


Figura 4.14 Lógica de Operación para Recargar Baterías - Elaboración Propia

Después de establecer la lógica de control, nuestro controlador queda configurado para que los generadores de energías renovables y el banco de batería trabajen uno a la vez como muestra la Fig. 1.15.

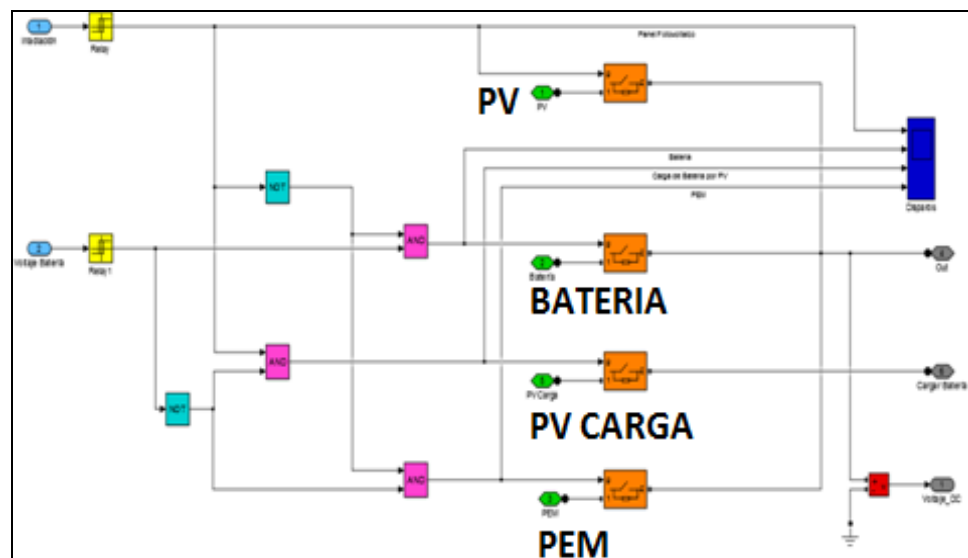


Figura 4.15 Controlador del Sistema Híbrido PV+PEM+Batería - Elaboración Propia

4.6 PROGRAMACIÓN DEL INVERSOR

De manera representativa se programa un modelo de inversor ya existente en Simulink-Matlab para esto utilizaremos la señal de medición de voltaje del workspace del Sistema Híbrido de Energías Renovables como datos para ser convertidos a una señal física de voltajes por medio de una fuente controlada de voltaje, hay que tener en cuenta que el voltaje es de 48VDC por lo que usa un convertidor elevador Boost para elevar el voltaje a 150VDC, Fig. 4.16.

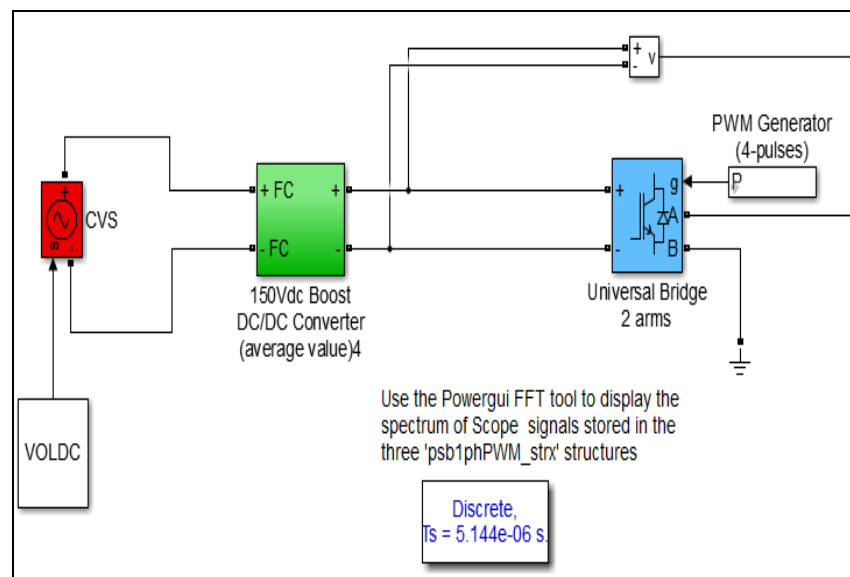


Figura 4.16 Bloques del Inversor AC - Elaboración Propia

Para la parametrización del puente universal, se selecciona salida monofásica y Puente IGBT que se encarga de convertir el voltaje DC en AC mediante los pulsos para accionamiento de funcionamiento, Fig.4.17, en el Gate del puente IGBT se coloca el generador de pulsos

para su parametrización es necesario colocar la frecuencia de la portadora de 1080Hz tomando ejemplos de MatLab, y la frecuencia que deseamos obtener es de 60 Hz (0.01667 mS), Fig4.18.

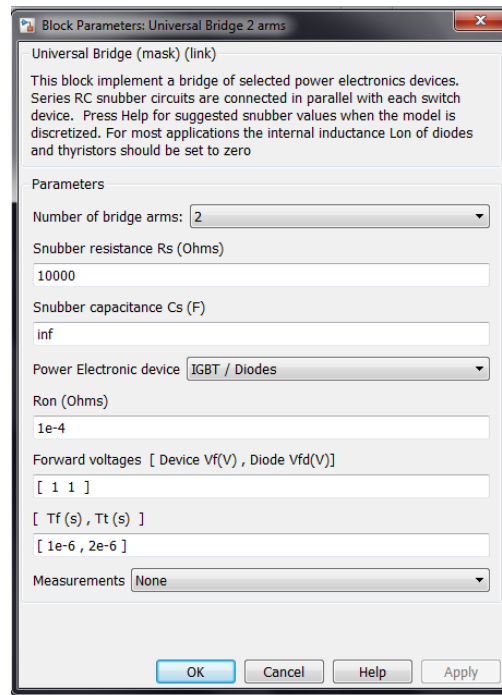


Figura 4.17 Parametrización del Puente Universal del Inversor - Elaboración Propia

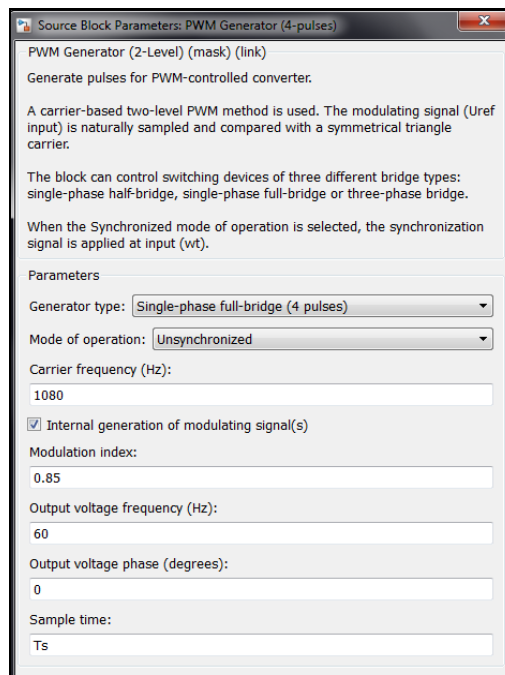


Figura 4.18 Parametrización del Generador de Pulsos del Inversor - Elaboración Propia

CAPÍTULO 5

5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA HIBRIDO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Para la simulación del sistema híbrido de energías renovables, se decidió separar las simulaciones en tres hojas de modelo de Simulink-Matlab: pila de combustible, sistema híbrido de renovables en DC y el inversor AC, debido a la dificultad con los tiempos de simulación. Las tres las hojas de modelo tienen información compartida pero no en línea, esta acción es posible por los bloque FromWorkspace y ToWorkspace.

Para la simulación de la Pila de Combustible se ha tomado el modelo ejemplo de Simulink-Matlab variando las características de la PEM por las características de la hoja técnica de la PEM usada por nosotros y la

obtención de las gráficas necesarias para el análisis, su fuente de hidrógeno es inagotable como muestra la figura Fig. 4.7, durante su simulación las curvas del flujo de hidrógeno es constante, la curva del voltaje de salida del convertido Boost es estable en 48VDC al igual que la corriente de salida se mantiene en un valor fijo de 0.8A.

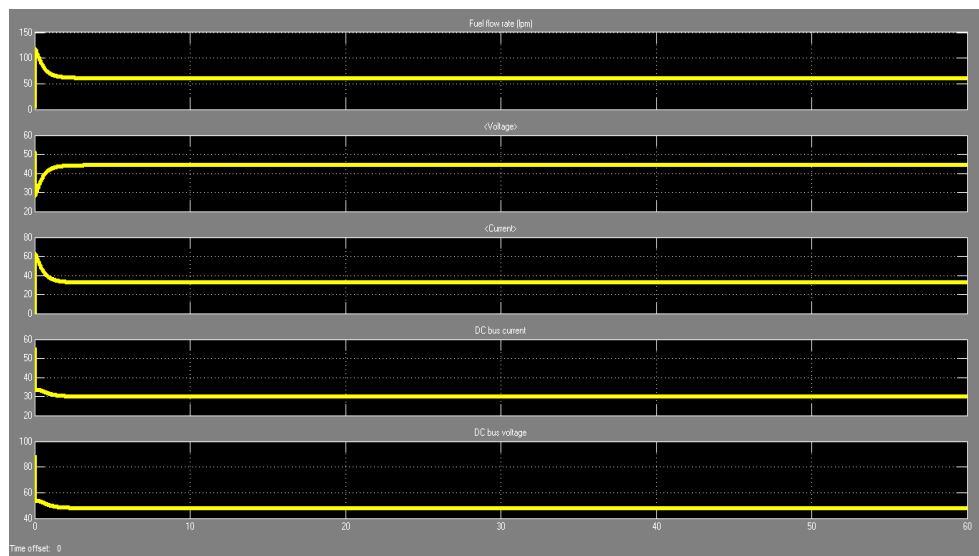


Figura 5.1 Simulación de la Pila de Combustible - Elaboración Propia

La Fig. 5.1 permite visualizar el comportamiento de la PEM con una carga constante y un flujo constante de flujo de hidrogeno, el convertidor DC permite mantener el voltaje estable a la salida de 48VDC.

Para el análisis de las simulaciones del comportamiento de la carga se ha decidido separar el sistema hibrido en corriente continua DC que

corresponde al Sistema Híbrido en DC y corriente alterna AC que corresponde al inversor AC.

5.1 ANÁLISIS EN DC

Para radiaciones en la ciudad de Manta-Ecuador, en los meses de menor irradiación solar sus valores pueden llegar hasta 4-4,2KW/m²/Hora, la Fig. 5.2 muestra la radiación solar a partir de las 00:00 Horas asumiendo que cada segundo de la gráfica corresponde a una hora real.

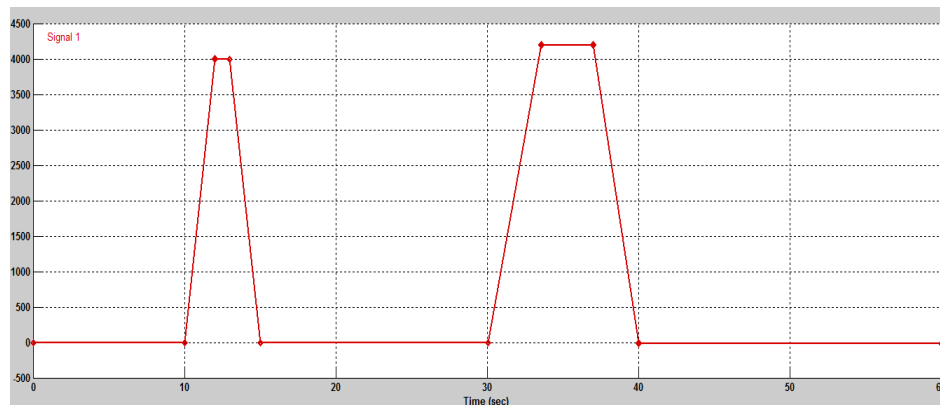


Figura 5.2 Radiación Solar en la Ciudad de Manta-Ecuador - Elaboración Propia

Para nuestro sistema híbrido en DC, el voltaje que se trabaja es 48V, para una potencia de carga de 1500W la corriente de consumo es de

31,25A; es decir en la simulación DC las baterías se descargarán 19,2 Horas de trabajo continuo.

$$\text{Corriente de consumo} = \frac{\text{Potencia de carga}}{\text{Voltaje en DC}}$$

$$\text{Corriente de consumo} = \frac{1500W}{48V} = 31,25A$$

$$\text{Horas de trabajo de baterías en DC} = \frac{\text{Capacidad de baterías}}{\text{Corriente de consumo}}$$

$$\text{Horas de trabajo de baterías en DC} = \frac{600A/H}{31,25 A} = 19.2 \text{ Horas}$$

Para las condiciones dadas simularemos los dos siguientes escenarios:

5.1.1 POTENCIA DE CARGA FIJA

Para simular la potencia de carga fija usaremos la máxima establecida 1500 W, para eso se ha usado una resistencia equivalente para un voltaje de 48VDC.

$$\text{Resistencia de Carga} = \frac{\text{Voltaje}^2}{\text{Potencia de carga}}$$

$$Resistencia\ de\ Carga = \frac{48V^2}{1500w} = 1.53\Omega$$

En el sistema Híbrido de Energías Renovables con carga fija Fig. 5.3, cada generador de energías renovables cuenta con su convertidor DC, donde su salida es llevada al controlador que determinará la operación del sistema de acuerdo a la carga establecida.

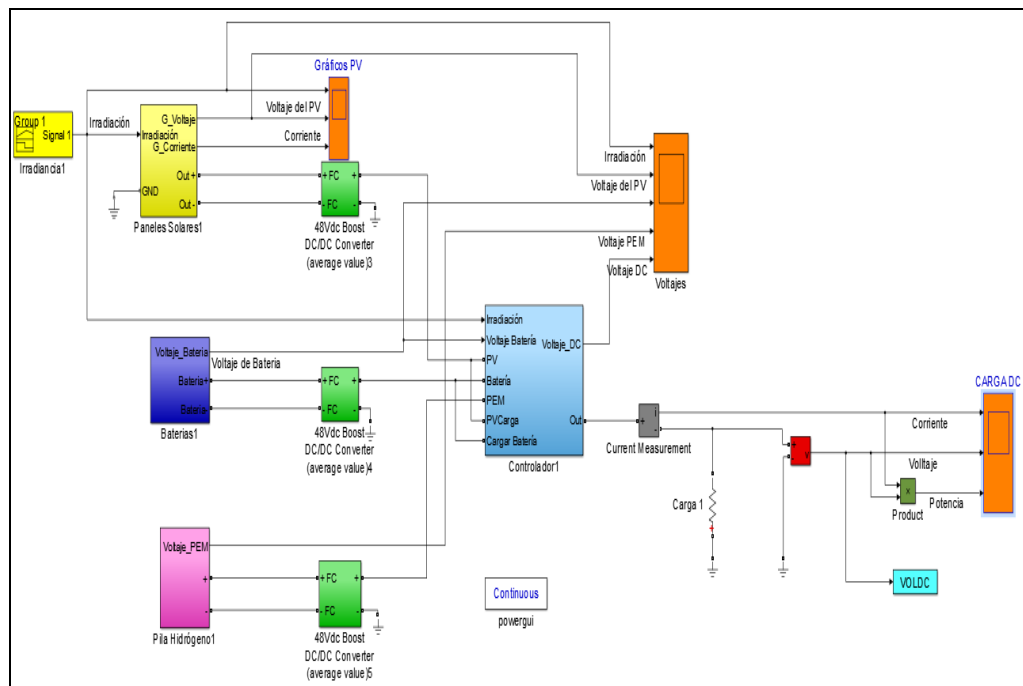


Figura 5.3 Sistema de Energías Renovables con Carga Fija - Elaboración Propia

Los resultados para el controlador lo muestra la Fig. 5.4, operando inicialmente el banco de baterías hasta que se descargan y como no hay irradiación solar la PEM ingresa a alimentar la carga, hasta llegar

que la radiación solar es suficiente para alimentar la carga y recargar la batería; una vez que la irradiación solar sea insuficiente se repite el ciclo.

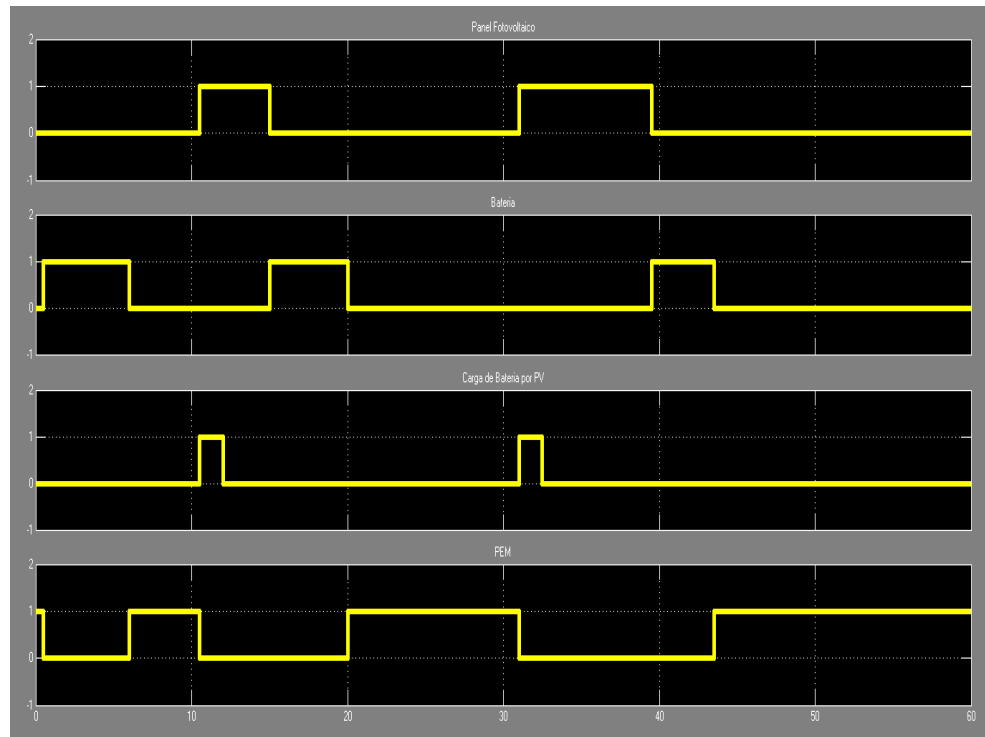


Figura 5.4 Flancos de Operación ON-OFF de los Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga fija - Elaboración Propia

El comportamiento de los generadores de energía renovables lo describe la Fig. 5.5, donde la curva de irradiación solar que se ha considerado es una irradiación solar con menos tiempo y otra de mayor tiempo para condiciones críticas de funcionamiento determina las curvas de voltaje del panel solar y la recarga del banco de baterías cuando el voltaje sea 11VDC aproximadamente. El voltaje de la PEM es

estable y continuo y va a depender del flujo de entrada de hidrógeno, suministrado por unos tanques recargables y portátiles para emergencia críticas.

El voltaje a la salida del controlador se lo visualiza en la parte inferior con Voltaje DC donde el comportamiento es estable durante todo el tiempo asignado.

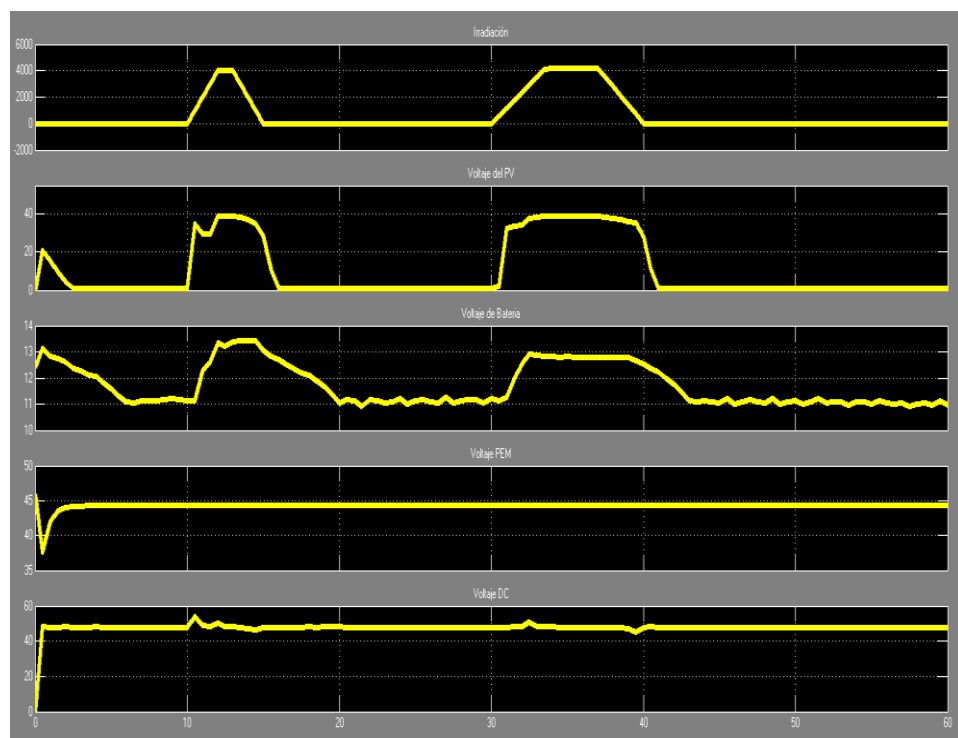


Figura 5.5 Graficas de Operación de Generadores Energías Renovables y Baterías para carga fija - Elaboración Propia

El comportamiento de la carga esta descrito en la Fig. 5.6, la corriente se mantiene constante, el voltaje es estable y la potencia carga indica la máxima 1500 vatios establecida para nuestra carga fija según las condiciones establecidas a través del tiempo.

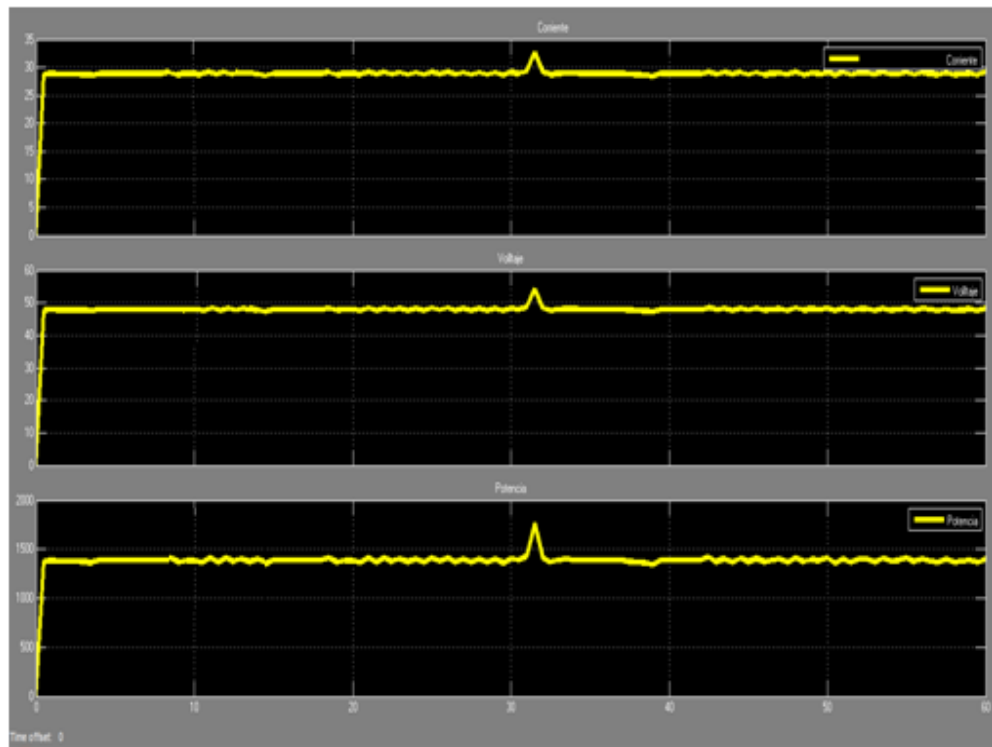


Figura 5.6 Comportamiento de la alimentación a la carga fija - Elaboración Personal

5.1.2 POTENCIA DE CARGA VARIABLE

Para tener una potencia de carga variable, hemos realizado el Bloque Variable de Carga que tiene dos resistencias: Resistencia de Carga 1= $1,6\Omega$ y la resistencia de carga 2= 5Ω y opera comparando el tiempo simulado de la siguiente forma:

- Para tiempos mayores e igual a 5 segundos la resistencia de carga será igual al paralelo de la resistencia de carga 1 con la resistencia de carga 2.

- Para tiempos mayores e igual a 15 segundos la resistencia de carga será igual a la resistencia de carga 1.
- Para tiempos mayores e igual a 30 segundos la resistencia de carga será igual al paralelo de la resistencia de carga 1 con la resistencia de carga 2.
- Para tiempos mayores e igual a 50 segundos la resistencia de carga será igual a la resistencia de carga 2.

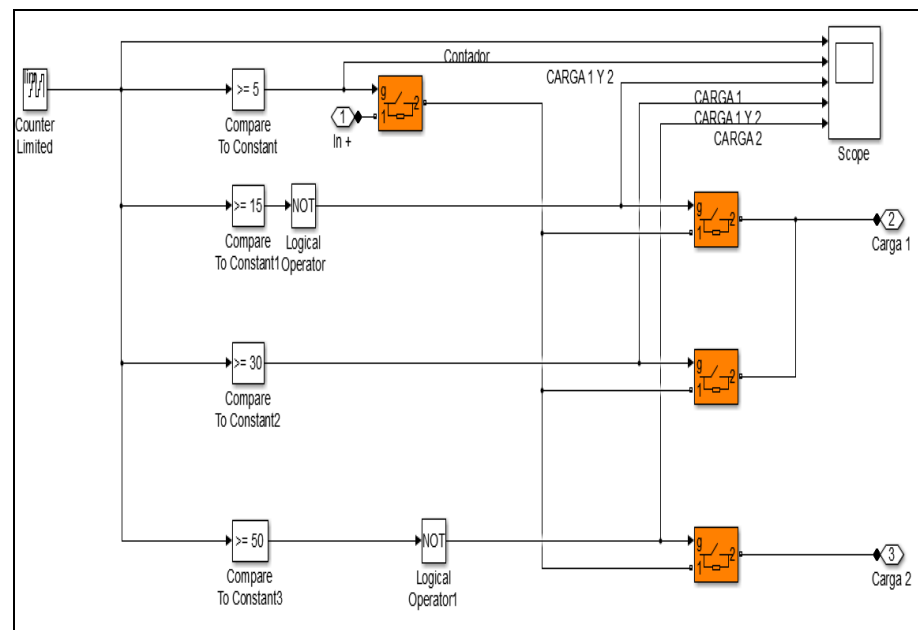


Figura 5.7 Controlador lógico para Carga Variable - Elaboración Propia

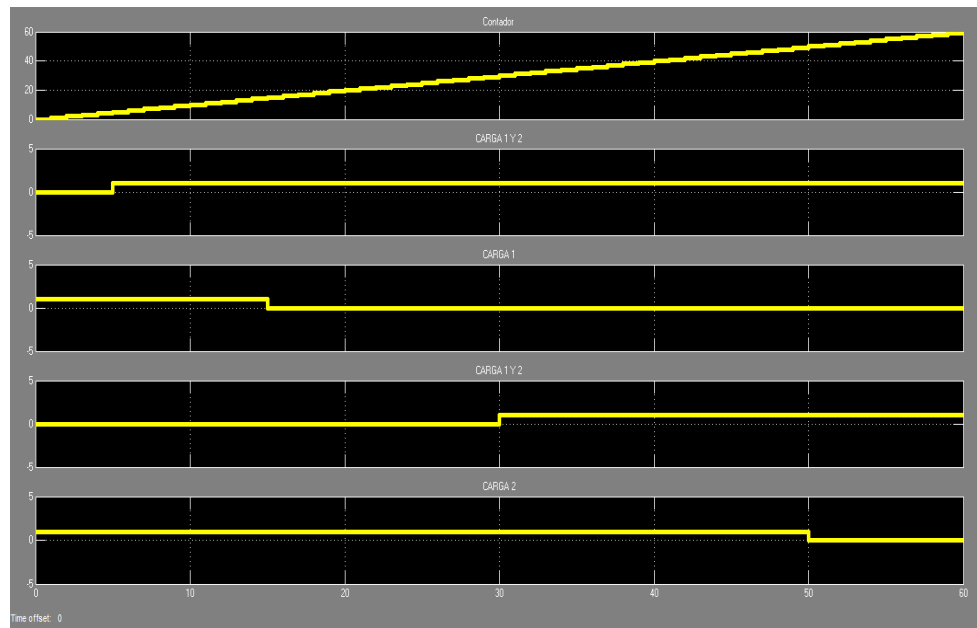


Figura 5.8 Flancos ON - OFF de Operación del controlador lógico para Carga Variable - Elaboración Propia

Para nuestro Sistema Híbrido de Energías Renovables Fig. 5.9, cada generador de energías renovables cuenta con su convertidor DC, donde su salida es llevada al controlador que determinará la operación del sistema de acuerdo a las variación de las cargas.

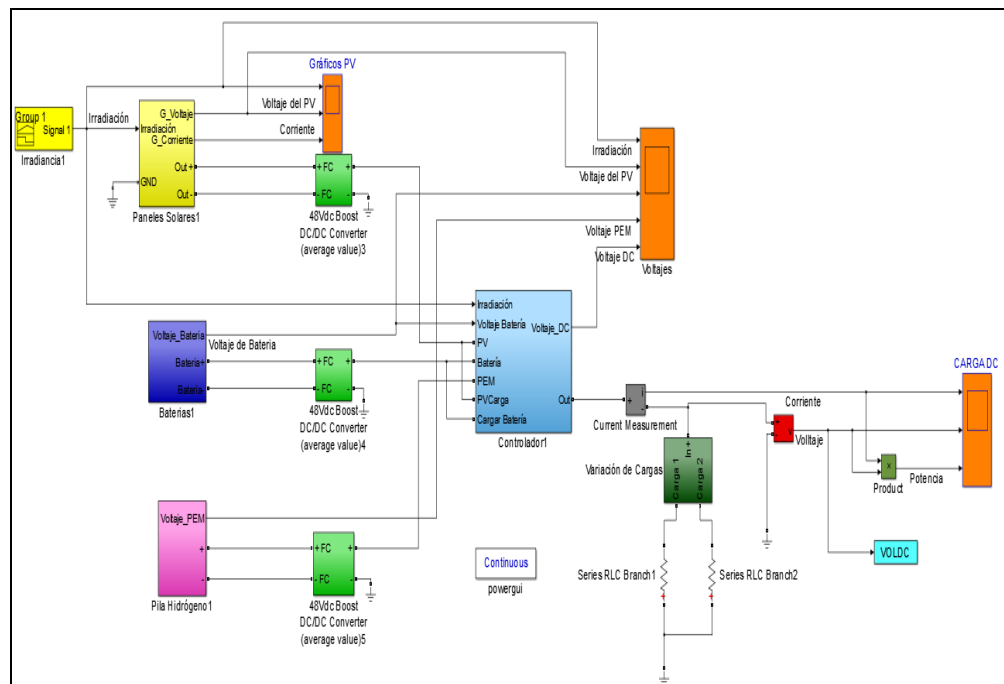


Figura 5.9 Sistema de Energías Renovables con Carga Variable - Elaboración Propia

Los resultados para el controlador lo muestra la Fig. 5.10 operando inicialmente la batería hasta descargarse y al no contar con irradiación solar, la PEM ingresa a operar alimentando la carga hasta tener que haya radiación solar, el panel solar alimenta la carga y recarga las baterías, cuando ya no hay irradiación solar las baterías trabajan, hasta descargarse y luego trabaja la PEM, hasta volver encontrar a que vuelva a salir el sol y repetir el ciclo.

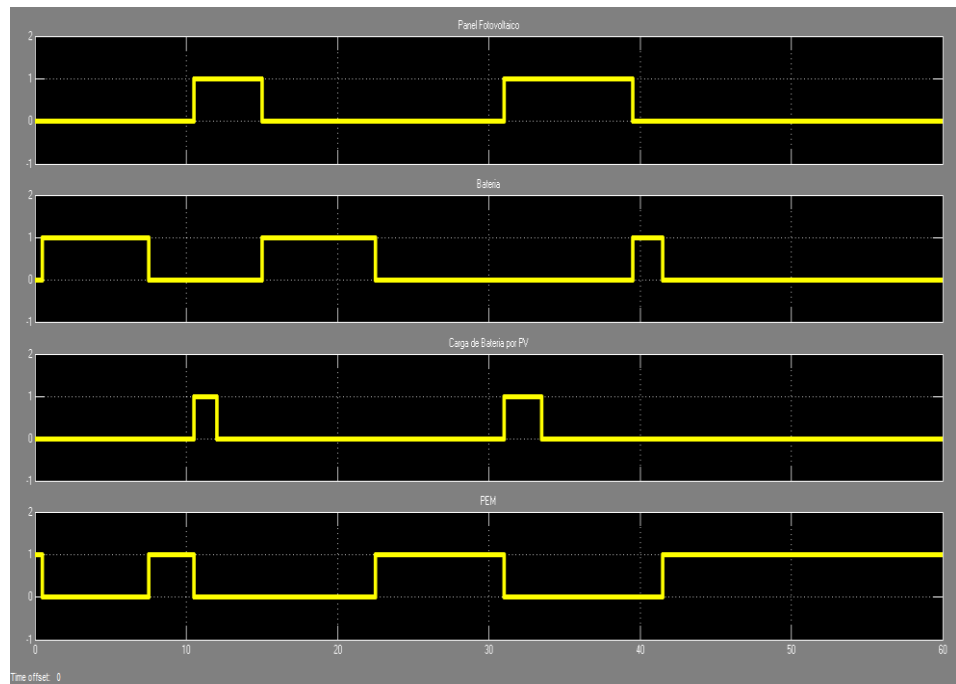


Figura 5.10 Flancos de Operación ON-OFF de los Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga variable - Elaboración Propia

El comportamiento de los generadores de energía renovables lo describe la Fig. 5.10, donde la curva de irradiación solar determina las curvas de voltaje del panel solar, el voltaje de la PEM es estable y continuo.

Se puede visualizar los tiempos de operación de la batería varía dependiendo de la carga demandada.

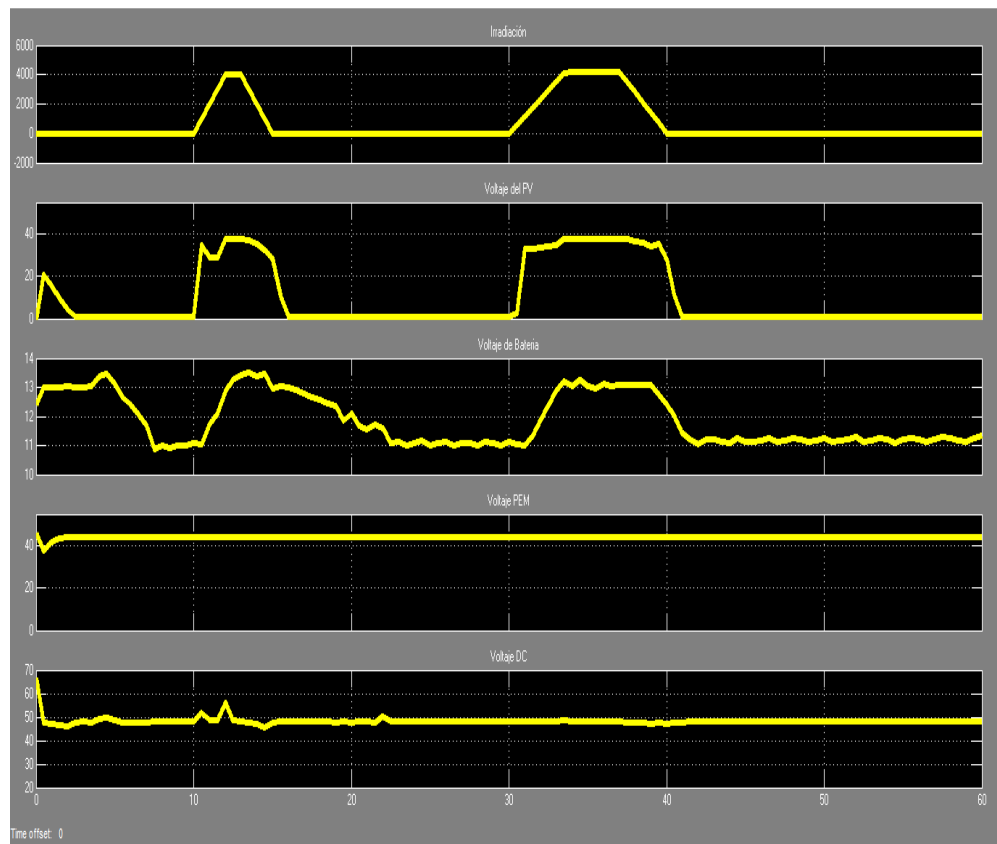


Figura 5.11 Graficas de Operación de Generadores Energías Renovables y Baterías para carga variable - Elaboración Propia

El comportamiento de la carga esta descrito en la Fig. 5.11, la corriente cambia de acuerdo el ingreso de las cargas, el voltaje es estable y la potencia de carga cambia de acuerdo a la variación de las resistencias de carga 1 y 2.

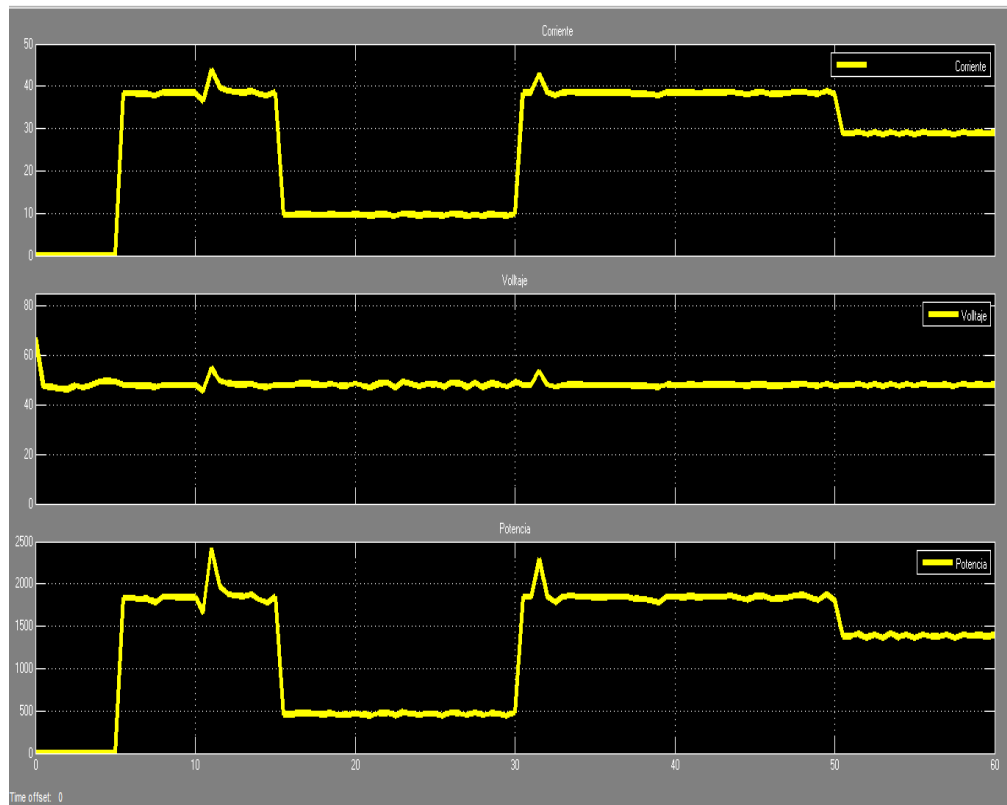


Figura 5.12 Comportamiento de la alimentación a la carga variable - Elaboración Personal

Como hemos visualizado en los resultados de las simulaciones, el controlador funciona correctamente de acuerdo a las condiciones pre-establecidas para operación de los paneles fotovoltaicos, pila de combustible y baterías en variaciones de carga se produce un mayor o menor consumo de corriente quien se ve mas significativamente afectado por el tiempo de funcionamiento es la batería.

El voltaje para las cargas fijas o variables se mantiene estable, permitiendo esta señal de voltaje el análisis en AC.

Donde $\frac{V_{control}}{V_{portadora}} = m$; que es el coeficiente index en la configuración del generador de pulsos y no puede ser mayor a uno.

Para obtener el voltaje V_{rms} se divide para raíz de dos.

$$V_{rms} = \frac{V_{dc}}{\sqrt{2}}$$

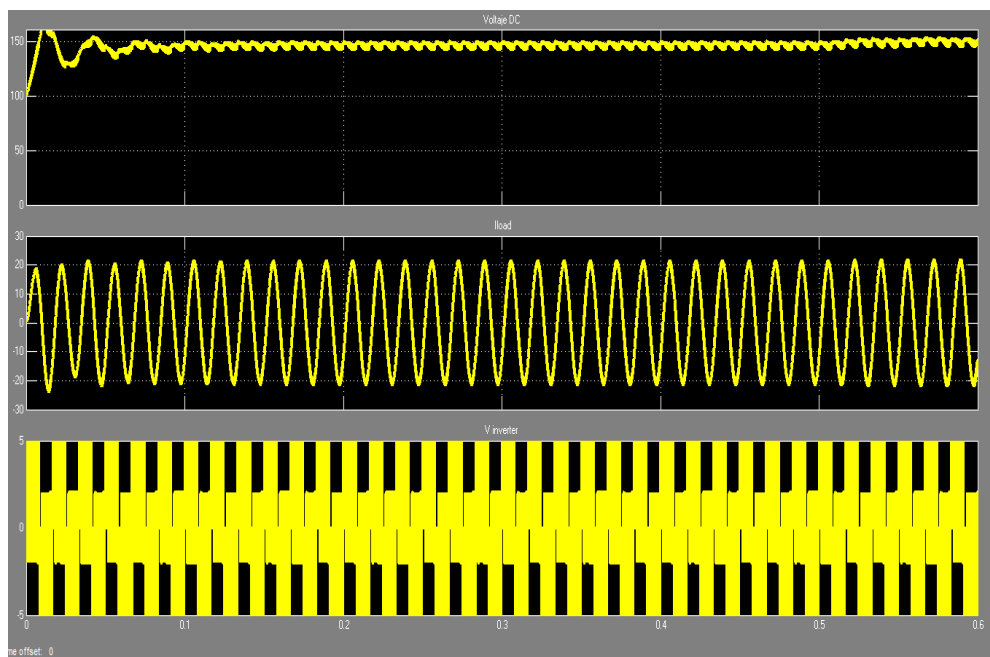


Figura 5.14 Voltaje de la carga Invertido de DC a AC -Elaboración Propia

El voltaje invertido AC, fue transformado en una señal cuadrática con envolvente sinusoidal de acuerdo a las parametrizaciones previamente realizada.

En el resultado de la simulación en la Fig. 5.14 se puede visualizar el comportamiento de la corriente a una frecuencia de 60 Hz en un tiempo limitado de simulación que es suficiente para verificar la frecuencia y el período según las necesidades.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los generadores de energías renovables recomendados para nuestro país Ecuador son los paneles solares fotovoltaicos por la facilidad en instalar.
2. El diseño de un sistema de energías renovables debe considerara el aumento de carga, para nuestro diseño está considerada el aumento de 500 Watts en carga.
3. Se investigó mediante simulaciones que el mejor diseño hibrido de energías renovables es usar PV como generador principal, el banco de batería como su respaldo y en caso de que ninguno de los anteriores pueda alimentar la carga funcionará la PEM.
4. El diseño para la instalación de los equipos en el laboratorio móvil, se eligió estructuras movibles y transportables para realizar la instalación en cualquier medio.
5. Según el informe económico, el proyecto es viable por el ahorro que proyecta de \$ 188066.19, los equipos instalados se pagan por sí mismo en 2.5 años.

RECOMENDACIONES

1. Para contenedores tipos departamento, el enfriamiento interno es esencial por lo cual se puede usar paneles térmicos y un intercambiador de calor.
2. Las Pilas de combustible tiene su debilidad por la fuente hidrógeno, si cambiamos el tanque de almacenamiento de hidrógeno por un generador de hidrógeno, aseguraremos trabajo continuo.
3. Además de la adquisición de los equipos, se debe invertir en la protección para sobre corrientes y sobre voltajes.

ANEXOS

ANEXO A

Physical characteristics		Permissible Operating conditions	
Cells per Module	60Cells(6×10)	Temperature Range	-40 to +90°C
Cell Type	Multi Crystalline	Maximum System Voltage	1000V DC
Module Dimension(W×L×H)	990×1,650×40(mm)	Maximum Surface Load Capacity	2,400Pa
Module Weight	19.5kg	Impact Resistance	Hail 25mm at 23m/s
Frame	Anodized Aluminum		
Front Glass	3.2mm Tempered Glass	Temperature characteristics	
Junction Box	IP65, 4sqm	Temperature coefficient of I_{sc}	0.050%/°C
		Temperature coefficient of V_{oc}	-0.350%/°C
		Temperature coefficient of Power	-0.400%/°C
		NOCT	48 ±2°C
Limited Warranty			
	- 10 years for product warranty		
	- 10 years for warranty of 90% power output		
	- 25 years for warranty of 80% power output		
Physical characteristics			
Item	Unit	BJC-210GOA	BJC-225GRA
Max. Power(P_{max})	W	210.0	225.0
Open Circuit Voltage(V_{oc})	V	36.30	36.784
Short Circuit Current(I_{sc})	A	7.70	8.197
Max. Power Voltage(V_{mp})	V	29.58	29.210
Max. Power Current(I_{mp})	A	7.14	7.719
Module Efficiency(Eff)	%	12.85	13.77

*STC(Standard Test Condition): 1000W/m², AM1.5, 25°C

ANEXO B

Type of fuel cell	PEM
Number of cells	48
Rated Power	2000W
Performance	28.8V @ 70A
H2 Supply valve voltage	12V
Purging valve voltage	12V
Blower voltage	12V
Reactants	Hydrogen and Air
External temperature	5 to 30°C
Max stack temperature	65°C
H2 Pressure	0.45-0.55bar
Hydrogen purity	≅ 99.995 % dry H2
Humidification	self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Weight (with fan & casing)	10Kg (±200grams)
Controller	2.5Kg (±100grams)
Dimension	30.3cm x 35cm x 18.3cm
Flow rate at max output*	26 L/min
Start up time	≅ 30S at ambient temperature
Efficiency of stack	40% @ 28.8V
Low voltage shut down	24V
Over current shut down	90A
Over temperature shut down	65°C
External power supply**	13V(±1V), 5A~8A

* The flow rate may change with the power output

** System electronics need external power supply

*** The Specification is subject to change without notice.

ANEXO C

Battery Model	HRG12V100
Nominal Voltage	12V
Rated Capacity	100Ah (20hour rate) to 1.75V/cell @25°C (°F)
Typical Weight	36.5kg
Internal Resistance	Approx 5.22mΩ
Temperature Ranges	Operation (maximum): -40°C to 55°C (-40°F to 131°F)
	Operation (recommended): 15°C to 25°C (59°F to 77°F)
	Storage: -20°C to 40°C (-4°F to 104°F)
Float Voltage	2.27V/cell@25°C(77°F)
Recommended Maximum Charging Current Limit	30A
Equalize and Cycle Service	2.35V~2.40V@25°C(77°F)
Self Discharge	The residual capacity is above 87% after 90 days storage(25°C/77°F)
Terminal	M8 Female
Terminal Hardware Torque	10 ± 1.0Nm
Container Material	ABS (V0 optional)

ANEXO D

Power star**Sine wave(Utility or Generator)**

120VAC

90v ± 4%

100v ± 4%

140v ± 4%

135v ± 4%

150VAC

230VAC

184v/154v ± 4%

194v/164v ± 4%

253v ± 4%

243v ± 4%

270VAC

50Hz or 60Hz (Auto detect)

47 Hz for 50 Hz, 57Hz for 60 Hz

55 Hz for 50 Hz, 65 Hz for 60 Hz

(Bypass mode) same as input

Circuit breaker

Circuit breaker

30 amp or 40 amp

95%+

10 ms Typical

Yes

30 amp or 40 amp

35 amp or 45 amp: Alarm

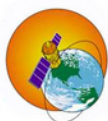
ANEXO E

NASA meteorología de superficie y Energía Solar: [RETScreen Data](#)

Latitud -0,95 / Longitud -80,733 fue elegido.

	Unidad	Ubicación de los datos del clima	
Latitud	N °	-0.95	
Longitud	° E	-80.733	
Elevación	m	247	
Calefacción temperatura de diseño	° C	20.48	
Enfriamiento temperatura de diseño	° C	30.09	
Tierra amplitud térmica	° C	9.3	
Días de heladas en el sitio	día	0	

Mes	La temperatura del aire	Humedad relativa	Diario radiación solar - horizontal	La presión atmosférica	Velocidad del viento	Temperatura de la Tierra	Calefacción grados-día	Enfriamiento grados-día
	° C	%	kWh / m ² / d	kPa	m / s	° C	° Cd	° Cd
Enero	24.9	75,5%	5.30	98.2	2.3	27.4	0	463
Febrero	25.1	78,3%	5.24	98.2	1.9	26.8	0	431
Marzo	25.1	78,5%	5.92	98.2	1.8	26.6	0	472
Abril	25.4	75,1%	5.81	98.2	1.8	27.4	0	468
Mayo	25.7	70,2%	5.26	98.2	2.0	28.0	0	493
Junio	25.6	65,0%	4.08	98.3	2.5	28.2	0	474
Julio	25.5	60,7%	4.00	98.3	2.7	28.6	0	489
Agosto	25.6	58,5%	4.23	98.3	2.8	29.6	0	491
Septiembre	25.3	62,2%	4.49	98.3	2.7	29.8	0	468
Octubre	25.0	65,7%	4.54	98.3	2.7	29.6	0	473
Noviembre	24.4	68,0%	4.63	98.3	2.7	28.8	0	439
Diciembre	24.7	71,4%	5.05	98.3	2.6	28.3	0	462
Anual	25.2	69,1%	4.88	98.3	2.4	28.3	0	5623
Medido a (m)					10.0	0.0		



[Volver a la SSE Data Set Home Page](#)

Responsable Datos: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.
 Funcionarios Archivo: John M. Kustener
 Administración del sitio / Ayuda: NASA Langley [usuario](#)
 Servicios [\[Contactenos\]](#)
[\[Política de Privacidad y Avisos importantes \]](#)
 Documento generado en Lun 26 de enero 2015 08:35:19 EST

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Atlas Solar Del Ecuador (2008), CONECEL.
- [2] Juan X. Andrade G & Pedro L. Ochoa Guillen (2013). *Reducción del consumo de energía eléctrica residencial, mediante la aplicación de sistemas termo-solares para el calentamiento de agua sanitaria en viviendas domiciliarias en el cantón Cuenca*. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca
- [3] Domitio Martínez H (2006). *Control digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar*. Choluca-México: Universidad de las Américas Puebla
- [5] Daniel Guasch M. (2003). *Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos*. Barcelona – España: Universidad Politécnica de Catalunya
- [6] Lucía Gauchia B. (2008). *Modelado y simulado HIL de un sistema pila de combustible – Bateria*. Madrid-España: Universidad Carlos III de Madrid
- [7] Mathworks (2014). *Documentación de los bloques de la librería Simulink*. Estados Unidos: Corporación Headquarters
- [8] Energías Renovables Para Todos (2008). *Hidrógeno y Pila de Combustible*. Madrid - España: Paloma Asencio.