

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

Fricia Pamela Castelo Barba ⁽¹⁾, Dennis Andrés Vinueza Fajardo ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación ⁽¹⁾⁽²⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾⁽²⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador ⁽¹⁾⁽²⁾
fcastelo@espol.edu.ec ⁽¹⁾, deanvinu@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El siguiente contexto se enfoca en la investigación y análisis de un sistema híbrido de energía basado en energías limpias aprovechando la energía solar con Paneles Solares Fotovoltaicos y el poder del hidrógeno con una Pila de Combustible de Hidrógeno, para el uso en un laboratorio móvil de las Fuerza Armadas del Ecuador, FAE.

Las simulaciones se realizan en el Software MATLAB que permiten estudiar el comportamiento del sistema híbrido para el suministro de energía al laboratorio móvil tipo remolque para diferentes condiciones climáticas y para variaciones de cargas. El objetivo principal del diseño del sistema es mantener estable a través del tiempo la energía solicitada por las cargas mediante un controlador de operación que depende de las condiciones solares y niveles de voltaje de la batería.

Finalmente se determina la mejor opción de dimensionamiento de los materiales para la implementación del sistema y el costo económico a corto y largo plazo y un estimado del tiempo en que tomaría recuperar dicha inversión por medio de un análisis económico.

Palabras Claves— Energías Limpias, Paneles Solares Fotovoltaicos, Pilas de Combustible de Hidrogeno, Sistema Híbrido.

Abstract

The following context focuses on research and analysis of a hybrid power system based on clean energy using solar energy with solar photovoltaic panels and hydrogen' power with a hydrogen fuel cell stack for use in a mobile laboratory oof the Ecuador Armed Forces, FAE.

The simulations are performed in MATLAB software that allows studying the behavior of the hybrid system to supply power to the mobile laboratory trailer type for different weather conditions and load variations. The main objective of the system design is to maintain stable over time the power drawn by the loads by controller depending on operating condicions and levels solar battery voltage.

Finally determines the best option sizing materials for the implementation of the system and the economic costs in the short and long term and an estimate of the time it would take cover the investment through economic analysis.

Keywords — Clean energy, Photovoltaic Solar Panels, Hydrogen Fuel Cell, Hybrid System.

1. Introducción

1.2 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.

A pesar de la existencia de varios tipos de tecnología no han sido utilizados en lugares privados de energía eléctrica, en especial para los laboratorios móviles que están alejados de puntos de conexión a red eléctrica con sistemas de respaldo de energía eficiente provocando una baja confiabilidad en los trabajos que ahí se desarrollan.

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

El laboratorio que se estudiara realiza todo tipo de trabajos electrónicos para el mantenimiento de un radar móvil de la FAE, por tal razón se contará con un sistema propio de suministro de energía estable.

1.2 Justificación

La ubicación del laboratorio móvil a estudiar son lugares de difícil acceso y en su mayoría carecen de suministro eléctrico, dado que el laboratorio es construido en un contenedor se ha decidido realizar el sistema híbrido de suministro de energía entre las energías renovables fotovoltaicas, pila de combustible de hidrógeno y un respaldo energía con baterías por las siguientes razones:

El uso de energía fotovoltaica es ideal por la ubicación geográfica de Ecuador, donde la oscilación polar del planeta tiene poco efecto sobre el clima y la luz solar que llega a la superficie con alta eficiencia durante todo el año.

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 conocido, 33 kWh por kg.

El banco de baterías se usa como respaldo en ausencia de energía solar y el contenedor de hidrógeno, que asegura energía al laboratorio móvil en las peores condiciones ambientales.

1.3 Objetivos

Investigar mediante simulación diferentes configuraciones y estrategias que permitan determinar la mejor solución híbrida para el suministro de energía 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 de 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.

2. Marco Teórico

2.1 Generación con Energías Renovables

Se conoce como energía renovable a la

energía que se puede obtener de fuentes 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 energía Hidráulica proveniente de las masas de los ríos en regiones de lluvia y deshielo con desniveles geológicos son favorables para la construcción de represas que son indispensables para su generación.

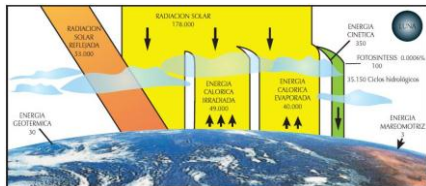


Figura 1. Promedio de Energía que Ingresa a la Tierra – Atlas Solar del Ecuador CONELEC

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

Los Paneles Fotovoltaicos: Son conocidos también como módulos o colectores fotovoltaicos y están constituidos por dispositivos semiconductores que al recibir radiación solar se excitan y generan pequeña diferencia de potencial en sus extremos.

Están formados por células elaborados a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos produciendo una generación de 2 a 4 amperios con un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios.

La potencia eléctrica de un panel fotovoltaico se expresa en Vatio Pico (Wp), estas medidas dependen del fabricante.

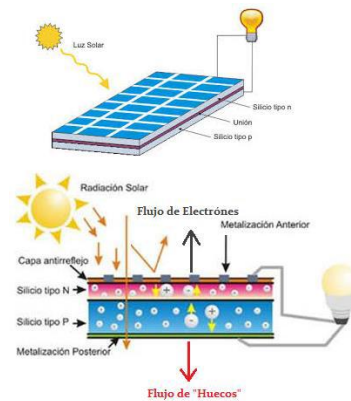


Figura 2. Panel Fotovoltaico – www.textoscientificos.com/energias/celulas

Los paneles solares se clasifican por los distintos tipos de células:

Silicio Cristalino:

Los Monocristalinos se componen de secciones de un único cristal de silicio donde todos los átomos están perfectamente ordenados.

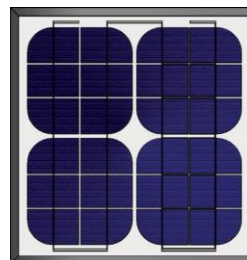


Figura 3. Panel Monocristalino – www.archiexpo.es/paneles_solares

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

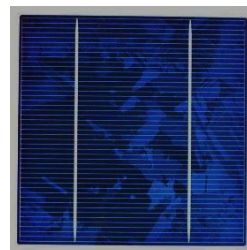


Figura 4. Panel Policristalino – www.hoormigasolar.com/celdapoli_cristalina

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.

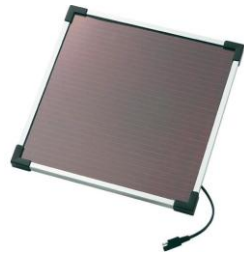


Figura 5. Panel de Película Delgada – jardín-solar.blogspot.com/2013/panelsolar

Los paneles fotovoltaicos pueden ser diseñados para operar en un amplio rango de voltaje y corriente, ya sea variando la resistencia de carga o la impedancia del panel desde el valor en cortocircuito (valor cero) a valores con circuito abierto (valores muy altos) y poder determinar el valor de potencia a un valor determinado de radiación.

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. Para calcular este valor se realiza la relación entre la potencia máxima y la radiación que llega al panel y el área superficial del panel solar.

La diferencia entre los paneles fotovoltaicos cristalinos y los de película delgada es el tipo de silicio utilizado para la fabricación de las celdas.

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

Tabla 1 Producción Eléctrica de Celdas Planas Cristalinas – Elaboración Propia

Para el proyecto se ha elegido el Panel Fotovoltaico Policristalino BJC-210GOA con potencia de salida 210Wp, con un grado de protección IP65, y vida útil 25 años.

La pila de combustible fue inventada por William Grove en 1839, cuando intentó obtener electricidad a partir del hidrógeno y oxígeno, pero fue Grove quien las

denomino Pilas de Combustible, sino que los hicieron los químicos Mons y Langer en 1889. Francis Bacon hizo mejoras y consiguió un ejemplar que funcionará en 1959.

La tensión de las celdas es baja, 0.7V es recomendado asociarlas en serie para esto se usa placas bipolares que tienen en un lado la placa del ánodo y del otro el cátodo.

Funciona con un conjunto de celdas de combustible, que esta formada por un ánodo (+) y cátodo (-) separados por un electrolito. En el ánodo se produce la reacción del hidrógeno separando dos protones y dos electrones, 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.

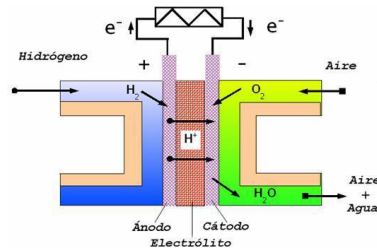


Figura 6. Funcionamiento de Pila de Combustible – www.madrinasd.org/blogs/energíasalternativas

2.2 Batería

Las baterías fueron descubiertas por Luigi Galvani en 1780, son un conjunto de celdas electroquímicas capaces de convertir energía química en energía eléctrica y además puedan recargarse.

Están compuestas de un electrodo negativo llamado cátodo y uno positivo llamado ánodo y el electrolito que permite el movimiento de los iones.

Funcionan en carga y descarga donde en la carga los cationes van de cátodo a ánodo y en la descarga de ánodo a cátodo, la tensión no es lineal, consta de zonas lineales y no lineales. La zona no lineal es debido a las pérdidas por activación mientras que la zona lineal representa las

pérdidas a conducción iónica y se denomina zona óhmica.

2.3 Inversor DC/AC

Permite el Flujo de corriente de una red continua a una red alterna, puede ser convertida en cualquier voltaje y frecuencia con el uso de transformadores, control y conmutación de circuitos.

Los inversores constan de un oscilador que controla unos transistores los cuales conmutan la corriente proveniente de una fuente de voltaje continua generando una onda cuadrada que alimenta a un transformador, es necesario el uso de elementos electrónicos para suavizar la onda cuadrada y generar la onda senoidal.

2.3 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.

Existen varios tipos de convertidores DC/DC elevadores, reductores y elevadores/reductores de voltaje, para este proyecto se usan convertidores elevadores de 48VDC.

2.3 Integración de Sistemas con Energía Renovable

Para el desarrollo del proyecto donde se tienen dos suministros de energías renovables con paneles solares fotovoltaicos y una pila de combustible de hidrógeno con un respaldo de baterías el integrador del sistema es un conmutador que permite conectar y desconectar paneles, baterías y cargas.

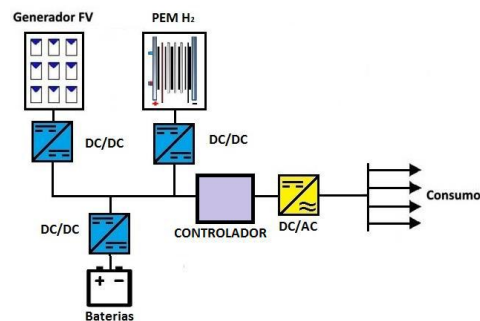


Figura 7. Esquema Eléctrico del Sistema Integrador – Elaboración Propia

2.6 Software de Simulación MATLAB-Simulink

Para las simulaciones de los generadores de energías renovables, batería, controlador, inversor y la carga se ha utilizado la herramienta Simulink del software matemático MATLAB.

Dentro de esta herramienta se encuentran los bloques para la respectiva simulación entre los principales se tiene el panel solar, pila de combustible, batería, convertidores de señal, sensores de corriente y voltaje, configuración Solver, interface Simscape Voltage-Corriente, conectores de y para Workspace, puente IGBT, PWM generator.

3. Descripción del Escenario

3.1 Descripción del Laboratorio Móvil

El laboratorio móvil tiene como función realizar el mantenimiento electrónico del radar, esta ubicado dentro de un contenedor tipo remolque para su transportación. En el interior del contenedor están instalados equipos de eléctricos y electrónicos, herramientas varias que forman parte de los instrumentos con los que se dan mantenimiento.

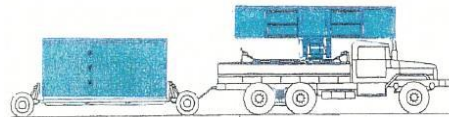


Figura 8. Modo de Transportación del Laboratorio Móvil – Manual Radar AN TSP 70

3.2 Descripción de los Instrumentos de Laboratorio

Las herramientas que se usan en el laboratorio son manuales como desarmadores, alicates, pinzas, llaves, playos, sierras flexómetros, niveles martillos, crimper, limas y entre otros que no consumen carga eléctrica.

Las herramientas de consumo eléctrico que se usan en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

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 dioptrías	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 2. Potencias de Carga de Alimentación AC. Elaboración Propia

3.3 Potencias de los Generadores de Energía Renovables

Por medio del cálculo de la carga AC podemos determinar la potencia de los generadores de energías renovables, donde el consumo es de 1386W, con lo cual se dimensionan los equipos para una potencia de 20000W asegurando la potencia necesaria para alimentar el sistema y cargar las baterías.

Los equipos necesarios para una carga de 2000W pueden ser alimentados 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)

Las baterías estarán conectadas en paralelo para una capacidad de 600 A/H para un respaldo aproximado de 44 horas.

3.4 Análisis de irradiación solar en la ciudad de Manta Ecuador

Uno de los lugares donde el radar será más usado será en la ciudad de Manta que se encuentra localizada a 0° 57' 35" de latitud Sur y 80° 43' 02" de longitud Oeste a una altura de 6 metros a nivel del mar.

Los datos se mostrarán en la siguiente tabla donde se tomó de referencia los datos de la NASA y el Atlas Solar del Conecel.

RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE HORIZONTAL			
MESES	NASA DATA (KW/m2 x día)	CONEEC DATA (KW/m2 x día)	PROMEDIO MENSUAL (KW/m2 x día)
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. Resumen de Irradiación Solar sobre superficie inclinada con diferentes Fuentes – Elaboración Propia

3.5 Ubicación e implementación estratégica de los generadores de energías renovables

Para el sistema se ha diseñado una instalación que cumpla características de confiabilidad, seguridad, movilidad que permitan armar el sistema en cualquier ambiente de trabajo.

Los paneles deben ser adaptados fácilmente en la parte superior del contenedor y en la parte lateral, en la parte superior del contenedor de medidas 12.03x2.34x2.73 m. se pueden instalar hasta 10 paneles de 210W cada uno con medidas 1.65x0.99x0,04 m. y una inclinación con un ángulo no menor de 15° hacia el norte para permitir que la lluvia limpie el polvo, la ubicación de la PEM, tanque de hidrógeno y el banco de baterías han sido ubicados en el exterior. El controlador será colocado en la parte interna en forma de paneles.

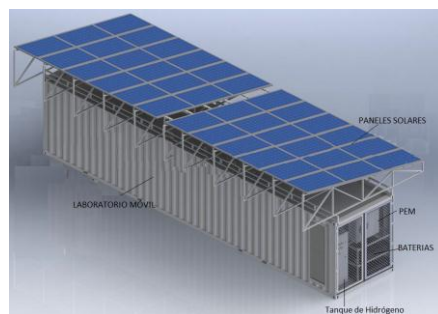


Figura 9. Diseño Externo del Laboratorio Móvil con el Sistema Híbrido de Energías Limpias – Elaboración Propia

3.6 Análisis Económico

Para análisis costo beneficio se deben analizar los datos de costos actuales del laboratorio por la adquisición e instalación de equipos de generador de energía limpia, lo cual se muestra en las siguientes tablas.

COSTO DE EQUIPOS DEL SISTEMA HIBRIDO PV+PEM+BATERIAS			
UNIDADES	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO
10	PANELSOLAR 210w	\$ 600,08	\$ 6.000,80
1	INVERSOR 48DC_110AC 2000W	\$ 1400,00	\$ 1400,00
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
	TOTAL		\$ 19.117,18

Tabla 4. Costo de Equipos del Sistema Híbrido PV + PEM + Batería – Elaboración Propia

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 5. Costo del Sistema Híbrido PV + PEM + Baterías – Elaboración Propia

El costo total del sistema es de \$ 22305.33, teniendo en cuenta que un generador de combustible anualmente gasta hasta \$ 10728.58 la amortización de inversión del proyecto es 2.5 anual, dado que la vida útil de los equipos es de 20 años se tiene un ahorro 17.5, teniendo un ahorro significativo en comparación a la inversión.

4. Programación del Sistema Híbrido PV+ PEM+ Baterías, convertidores junto a su controlador e inversor.

4.1 Programación de Paneles Fotovoltaicos

La potencia requerida es de 2000W para obtener esta potencia se simulan 10 paneles de 210W, antes de eso se configura

la celda solar según los datos de la hoja técnica del panel solar. Se genera una curva de irradiación según las condiciones solares y se colocan los respectivos sensores para corriente y voltaje para un solo bloque donde se encuentran los 10 paneles.

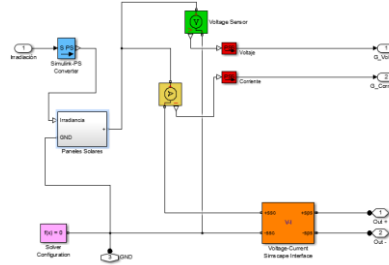


Figura 10. Simulación de Paneles Solares – Elaboración Propia

4.2 Programación de la PEM

La potencia requerida es de 2000W para obtener esta potencia se simulan pila de hidrógeno de 2000W con una fuente de hidrógeno ilimitada para efectos de simulación, se configura la PEM según los datos de la hoja técnica además de configurar el flujo de hidrógeno como alimentación de la PEM. Se coloca un convertidor DC/DC para mantener el voltaje para variaciones de la carga, la simulación de la PEM se la realizó en un workspace diferente por motivos del tiempo de simulación con el programa general.

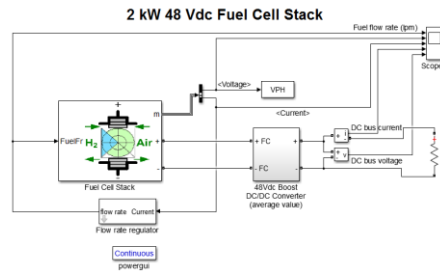


Figura 11. Simulación de Pila de Combustible de Hidrógeno – Simulink - MATLAB

4.3 Programación de Baterías

La potencia requerida por la carga es de 1500W para un voltaje de 110V, la corriente es de 13.6^a, es necesario colocar en paralelo 6 baterías de 100 A/H para un respaldo de 44 horas aproximadamente. El modelo de la batería proporcionado por

simulink viene configurado en horas, pro lo que se realiza una readección al modelo para que sea usado en segundos para beneficios de las simulaciones. Las baterías han sido configuradas de acuerdo a las especificaciones de la hoja técnica.

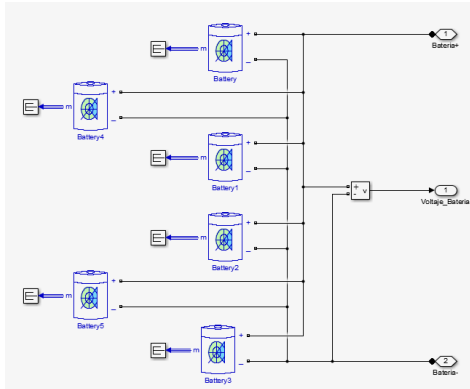


Figura 12. Simulación de Baterías – Elaboración Propia

4.4 Programación de los Convertidores

Para evitar las caídas de voltaje con las variaciones de la carga se colocado un convertidor elevador de 48V, tomando como ejemplo el proporcionado por simulink adicionando una red de descarga con un diodo y una resistencia para el capacitor.

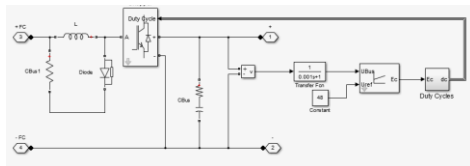


Figura 13. Simulación del Convertidor Boost DC/DC – Simulink - MATLAB

4.5 Programación del Controlador

Para controlar la operación de los generadores de energía renovables se toman en cuenta las siguientes condiciones:

Irradiación Solar con un mínimo de $800\text{WH/m}^2/\text{día}$ y un máximo de $1000800\text{WH/m}^2/\text{día}$.

El voltaje de las baterías con un mínimo de 11VDC para mandar a cargar y un máximo de 13VDC que están listos para entregar energía.

Teniendo en cuenta que la PEM es para casos de emergencias y casos críticos se la tiene de manera inagotable.

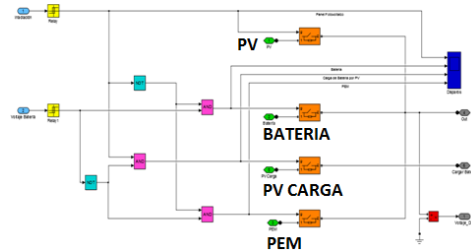


Figura 14. Simulación del Controlador del Sistema Híbrido PV+ PEM+ Bateria – Elaboración propia.

4.5 Programación del Inversor

El inversor se simula en una workspace diferente de manera representativa para observar el comportamiento de la corriente y la frecuencia, en el bloque de IGBT se configura el generador de pulsos PWM para una frecuencia de 60Hz, siendo necesario elevar el voltaje 48VDC a aproximadamente 150VDC y obtener un voltaje de 120VAC 60HZ.

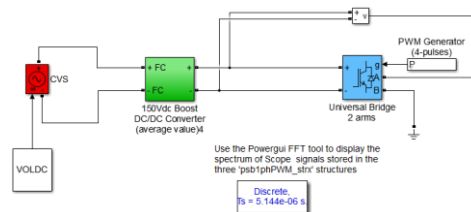


Figura 15. Simulación del Inversor AC del Sistema Híbrido PV+ PEM+ Bateria – Elaboración propia

5. Simulación y Análisis del Sistema Híbrido de Energías Renovables

Para la simulación del sistema de energías renovables, se separó la simulación en tres workspace, uno para la PEM, otro para el Sistema en DC, y el análisis del Inversor AC debido a la dificultad con los tiempos de simulación.

El análisis correspondiente se lo realizará mediante la obtención de las gráficas a través del tiempo del comportamiento del sistema de energías renovables respecto a las cargas, la gráfica de la PEM es una gráfica constante debido a que posee una carga determinada y un suministro de hidrógeno inagotable.

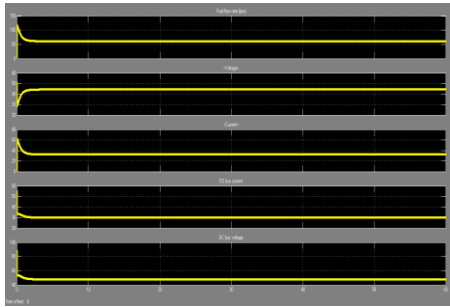


Figura 16. Simulación de la Pila de Combustible – Elaboración Propia

Si la carga no varía a través del tiempo el comportamiento del sistema en análisis DC es constante.

5.1 Análisis DC

Se realiza una curva con los valores de irradiación solar para la ciudad de Manta-Ecuador como valores máximos de $4,3\text{kWh/m}^2$, El voltaje de salida que se obtendrá en los convertidores DC es de 48VDC , para este voltaje con una potencia de 1500W el respaldo de las baterías corresponde a $19,2$ horas aproximadamente.

La simulación a máxima carga en todo el tiempo se obtendrá con un valor de resistencia de 1.53Ω , este análisis es realizado para las peores condiciones se puede observar el comportamiento de los generadores de energía.

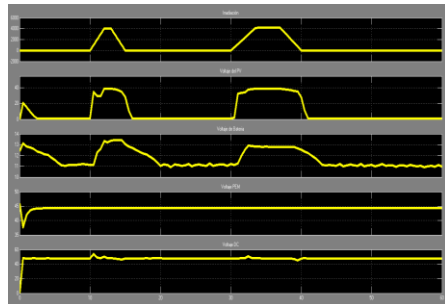


Figura 17. Operación de Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga Fija – Elaboración Propia

El comportamiento de voltaje, corriente y potencia es constante a través del tiempo ya que la carga no varía, en la Figura 18 se pueden observar unos picos de voltaje, estos se dan por la conmutación de los generadores de energía renovable al momento de funcionar.

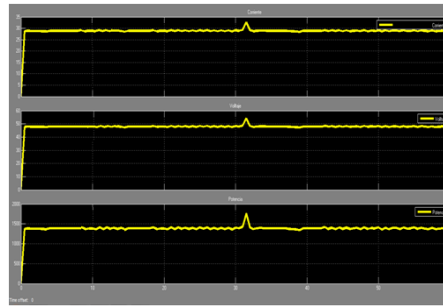


Figura 18. Comportamiento de la carga Fija – Elaboración Propia

En el análisis a carga constante no es suficiente para determinar la efectividad del sistema realizado, se aplican una serie de cargas variables a través de tiempo considerando un máximo y mínimo de carga, para este análisis se consideran resistencias de 1.6Ω y 5Ω , conmutando su conexión al circuito a través del tiempo, ya sea independientemente o en paralelo.

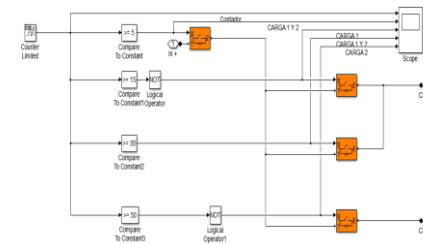


Figura 19. Controlador lógico para carga Variable – Elaboración Propia

El comportamiento de los generadores de energías renovables tienen el mismo comportamiento respecto a las condiciones de irradiación solar para una carga fija, las baterías se verán afectadas ya que el tiempo de respaldo aumentará o disminuirá respecto a la demanda.

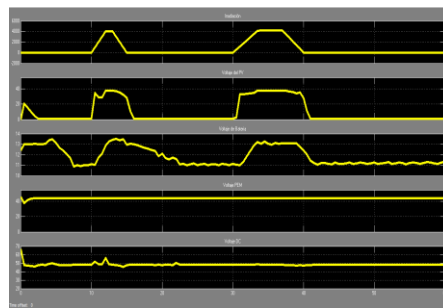


Figura 20. Operación de Generadores de Energías Renovables y Baterías para carga variable – Elaboración Propia

El comportamiento de voltaje es

constante a través del tiempo dando la confiabilidad necesaria brindada por los convertidores DC, la corriente y potencia es variable a través del tiempo ya que la carga varía dependiendo la demanda solicitada.

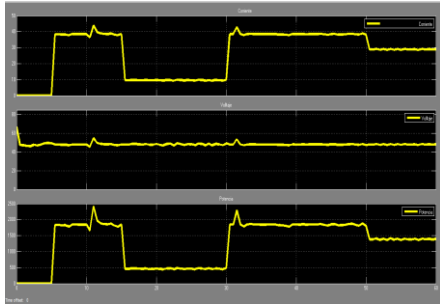


Figura 21. Comportamiento del Sistema a carga variable – Elaboración Propia

5.1 Análisis AC

El inversor es realizado en una workspace nueva, por esta razón la señal de voltaje del sistema híbrido en análisis DC es llamada, convertida en una señal física y por medio de un convertidor de voltaje se obtienen los voltajes fijos y es elevado a 150VDC para obtener un voltaje aproximado invertido de 110VAC.

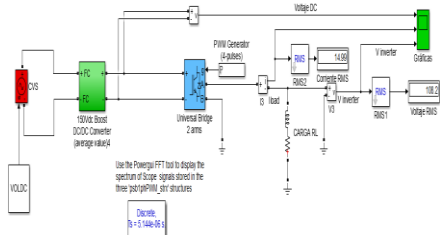


Figura 22. Inversor AC – Elaboración Propia

Las condiciones para el laboratorio móvil es un voltaje de aproximadamente 110VAC \pm 10% y una frecuencia de 60Hz, en la figura 23 se analiza el voltaje y corriente en la carga para un ciclo 16.66 ms, es decir 60 Hz, en el comportamiento de la corriente se observa la onda senoidal, mientras que el voltaje toma la forma de la envolvente cuadrática para la obtención de un voltaje RMS de 110VAC.

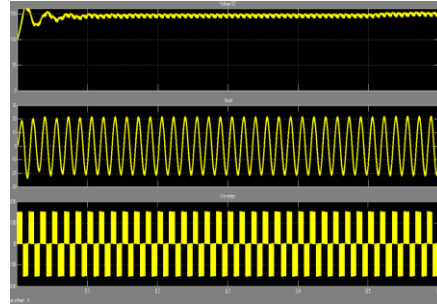


Figura 23. Comportamiento a la Salida del Inversor – Elaboración Propia

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Los generadores de energías renovables recomendados para nuestro país Ecuador son los paneles solares fotovoltaicos por la facilidad en instalar.

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.

Se investigó mediante simulaciones que el mejor diseño híbrido 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.

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.

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.

6.2 Recomendaciones

Para contenedores tipos departamento, el enfriamiento interno es esencial por lo cual se puede usar paneles térmicos y un intercambiador de calor.

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.

Además de la adquisición de los equipos, se debe invertir en la protección para sobre corrientes y sobre voltajes.

7. Referencias

[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*. Cholucaméxico: Universidad de las Américas Puebla

[4].Daniel Guasch M. (2003). *Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos*. Barcelona – España: Universidad Politécnica de Catalunya

[5].Lucía Gauchia B. (2008). *Modelado y simulado HIL de un sistema pila de combustible – Bateria*. Madrid-España: Universidad Carlos III de Madrid

[6].Mathworks (2014). *Documentación de los bloques de la librería Simulink*. Estados Unidos: Corporación Headquarters

[7].Energías Renovables Para Todos (2008). *Hidrógeno y Pila de Combustible*. Madrid - España: Paloma Asencio.