

Suministro Híbrido de Energía (PV-FC-H₂) de Baja Potencia Para Aplicaciones en Estación Estacionaria Tipo Isla de Transmisión de Datos

David López Redrobán, Pedro Salcedo Intriago, Ph. D. Wilton Agila Gálvez
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
daviand_red@hotmail.com, pfsalcedoi@hotmail.com, wagila@fiec.espol.edu.ec

Resumen

En el presente trabajo se propone un sistema híbrido de potencia (SHP) conformado por una celda de combustible de hidrógeno, paneles solares fotovoltaicos y baterías como solución para el suministro de energía a un sistema de transmisión de datos de baja potencia que no está conectado a la red eléctrica convencional. Se analiza a través de simulación la respuesta eléctrica del SHP para la carga de baja potencia no conectada a la red eléctrica, mediante la variación de los principales parámetros que influyen en el comportamiento del sistema híbrido.

Se simulan individualmente los principales elementos del SHP para analizar sus características. Luego es simulado el sistema completo del SHP en cuatro escenarios diferentes que cubren un abanico amplio de probabilidades de ocurrencia en funcionamiento real del SHP, el análisis de los resultados de estas simulaciones permite definir la mejor configuración y estrategia de operación (control) del SHP.

La simulación se realizó en el Software Matlab, en el entorno de programación de Simulink haciendo uso de las librerías SimPowerSystems y Simscape, las mismas que presentan los modelados de la celda de combustible de hidrógeno, panel solar y batería, realizándose ciertos ajustes para los componentes seleccionados del mercado actual.

Palabras Claves: Sistema Híbrido de Potencia, Hidrógeno (H₂), Celda de Combustible, Fotovoltaico, Batería.

Abstract

In this paper a hybrid power system (SHP) formed by a hydrogen fuel cell, photovoltaic solar panels and batteries as a solution for supplying power to a data transmission system low power is not connected to proposed the conventional electricity grid. Is analyzed by simulation the electrical response of SHP to low power load not connected to the mains, by variation of the main parameters that influence the behavior of the hybrid system.

The main elements of SHP are individually simulated to analyze their characteristics. It is then simulated the entire system of SHP in four different scenarios covering a wide range of probabilities of occurrence in actual operation of SHP, analysis of the results of these simulations to define the best configuration and operating strategy (control) of SHP.

The simulation was performed in the Matlab Software in Simulink programming environment using the SimPowerSystems and Simscape libraries, they presented the modeling of hydrogen fuel cell, solar panel and battery, performing certain settings for components selected market today.

Keywords: Power Hybrid System (PHS), Hydrogen (H₂), Fuel Cell, Photovoltaics, Battery.

1. Introducción

El ahorro de energía y la eficiencia de los procesos son de vital importancia en la realización de proyectos, en zonas remotas donde el acceso es difícil y por ende el abastecimiento de energía eléctrica también, el uso de los recursos naturales para generar electricidad es una gran opción.

Existen diferentes tipos de generación de energía eléctrica alternativa, como: la fotovoltaica, eólica y solar, entre otros. El uso de estas formas alternativas de generación de energía eléctrica está muchas veces

limitados por las condiciones climáticas de la zona y por el elevado costo de la tecnología a utilizar.

Es por ello, la necesidad de realizar estudios y análisis, en los cuales se tomen en consideraciones todas o la mayor parte de las variables para realizar simulaciones y proyecciones que nos conduzcan a encontrar el sistema híbrido de suministro de energía adecuado y óptimo en función de la aplicación y el costo de implementación del mismo.

2. Marco Teórico

2.1. Celdas de Combustibles de Hidrógeno

Una celda de combustible puede ser definida como un dispositivo electroquímico que convierte de manera directa la energía química almacenada en el combustible (generalmente hidrógeno) en electricidad, más calor potencialmente útil como sistema de cogeneración.

La operación básica de una celda de combustible de hidrógeno es extremadamente simple. En la Figura 2.1a el agua es electrolizada en hidrógeno y oxígeno por el paso de una corriente eléctrica en la misma, en este caso la celda trabaja como electrolizador.

En la Figura 2.1b la fuente de poder ha sido reemplazada con un amperímetro, y una pequeña corriente fluye por este. En este caso, la electrólisis está siendo revertida – el hidrógeno y el oxígeno son recombinados, y una corriente eléctrica es producida. La celda de combustible trabaja como generador. [1]

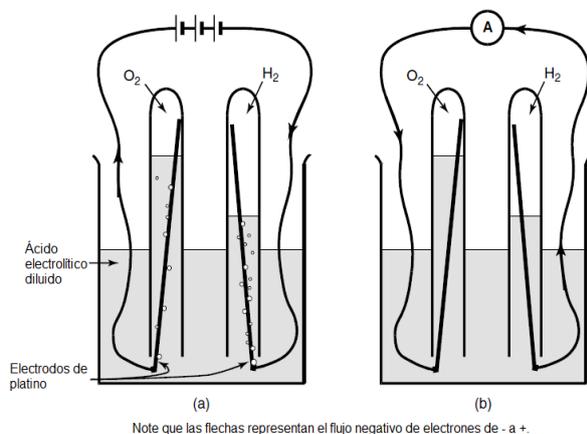


Figura 2.1. Funcionamiento básico de una celda de combustible

2.2. Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico. Algunos materiales exhiben una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico la cual causa que ellos absorban fotones de luz y liberen electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, una corriente eléctrica resulta, la cual puede ser usada como electricidad.

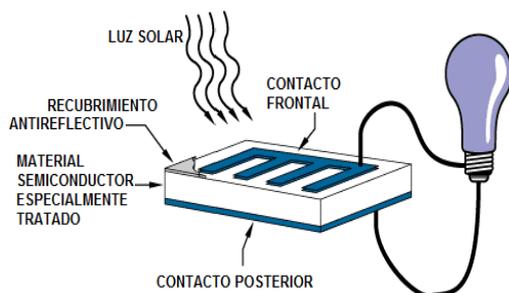


Figura 2.2. Estructura básica de una celda solar

La Figura 2.2. muestra la operación de una celda fotovoltaica básica, también llamada celda solar. Las celdas solares son hechas de materiales semiconductores, como el silicón, usado en la industria de la microelectrónica.

Cuando la energía luminosa golpea la celda solar, los electrones son golpeados y sacados del material semiconductor. Si conductores eléctricos son colocados a los lados positivos y negativos, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de corriente eléctrica. Esta electricidad puede ser usada para alimentar una carga eléctrica. [2]

2.3. Baterías

Dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo, o cátodo y un electrodo negativo, o ánodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función.

El banco de baterías puede ser considerado el punto más crítico de los sistemas tipo isla i.e., sistemas que no son conectados a la red eléctrica. El banco de baterías representa un porcentaje alto de la inversión económica de un sistema PV pero tienen frecuentemente la vida útil más corta de toda la instalación.



Figura 2.3. Batería de Gel

Para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos la batería más usada es la de Plomo ácido principalmente debido a su costo y a la capacidad que tiene de trabajar con descargas profundas. La Figura 2.3 muestra uno de estos tipos de batería de plomo ácido, tipo gel las cuales presentan la ventaja adicional de menor tiempo de mantenimiento ya que no requiere recarga del electrolito debido a fugas. [3]

2.4. Sistemas híbridos de Potencia

En general, un SHP puede definirse como la combinación de múltiples generadores de energía y dispositivos de almacenamiento de energía, los cuales son conectados entre sí y controlados de manera óptima

para suplir una cierta demanda de energía. Los componentes del SHP pueden ser conectados entre sí en dos configuraciones típicas: acoplamiento DC o acoplamiento AC. [4]

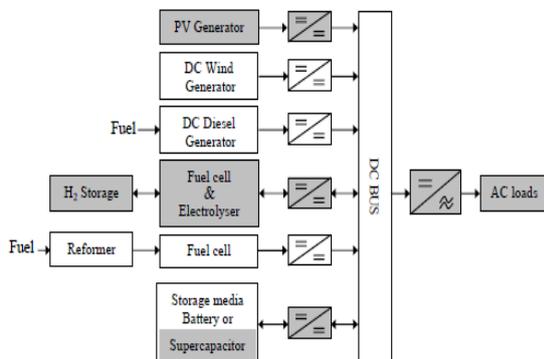


Figura 2.4. SHP con acoplamiento DC

Para este trabajo se utilizó el acoplamiento DC como se muestra en la Figura 2.4 por la facilidad en su implementación y la capacidad de suplir energía estable.

3. Especificación del Sistema

3.1. Ubicación

El SHP a implementar se encuentra ubicado en la Región Costa, zona climática lluviosa y tropical dentro de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas a 655 metros sobre el nivel del mar a una latitud y longitud aproximada de 0°15'S y 79°9'W. [5]

Presenta una radiación solar promedio de 5200 Wh/m² por día y como mínima de 2150 Wh/m². [6]

3.2. Características de la carga

La carga a alimentar corresponde a una estación meteorológica, cuya demanda es 150W como máximo con los siguientes sensores instalados:

- Termómetros, para la medición de la temperatura ambiente y del suelo.
- Higrómetros, para la medición de la humedad relativa del ambiente y del suelo.
- Barómetro, mide la presión atmosférica.
- Anemómetro, mide la velocidad del viento.
- Veleta, determina la dirección del viento.
- Pirómetro, mide la radiación solar.
- Pluviómetro, empleado para calcular las precipitaciones que caen en un cierto lugar durante una determinada cantidad de tiempo.
- Evaporímetro, mide la evaporación potencial, es decir, la cantidad de agua por unidad de área y de tiempo que se evapora a través de una pequeña superficie puesta al aire libre.

3.3. Diseño del SHP

El sistema tiene un acoplamiento DC a 48 V, debido a la naturaleza de la carga eléctrica. Además de esto el sistema fue diseñado para tener una autonomía de dos días sin energía solar, en la cual la carga estará alimentada solo por el banco de baterías.

El tiempo de trabajo de la PEMFC depende de la cantidad de hidrogeno disponible en dos bombonas de combustible de 900 litros cada una, esto quiere decir que la celda de combustible proporcionara energía a la estación meteorológica en caso de que las baterías se encuentren descargadas, lo que daría una autonomía máxima al sistema de 100 horas.

Mientras haya suficiente irradiación, serán los paneles los encargados de alimentar a la estación meteorológica y recargar al banco de baterías si es necesario.

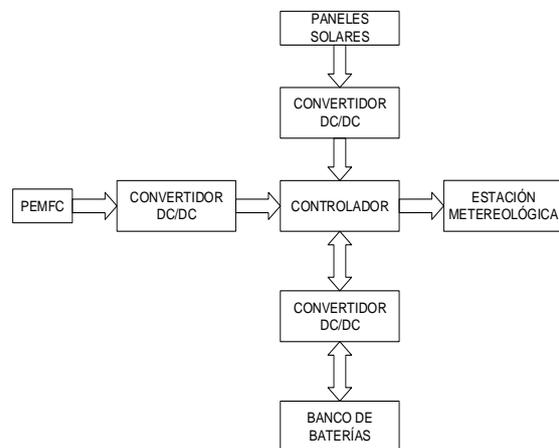


Figura 3.1. Estructura en bloques del SHP

3.4. Escenarios de aplicación del SHP

Se considera dos grandes escenarios posibles: en el primero el SHP alimenta a la estación meteorológica, es decir una carga constante; el segundo escenario el SHP alimenta a un motor DC con torque variable, lo cual simula una carga variable.

En el primer escenario se genera mediante simulación una curva de irradiación, de tal forma que el sistema trabaja con los distintos elementos que lo conforman en algún instante de tiempo, mientras alimentan a la carga constante.

El segundo escenario, se genera adicional a la curva de irradiación, una curva de torque variable y de esta manera se obtiene la respuesta del sistema frente este tipo de carga.

4. Parametrización de Subsistemas en Matlab

Se usa el software de Matlab 2014 con sus librerías especiales de Simpower Systems y Simscape las cuales cuentan con elementos parametrizables como lo son las baterías, las celdas solares y la PEMFC.

Dichos elementos deben ser similares a los modelos comerciales existentes para poder llevar a cabo la simulación por lo cual serán configurados según los parámetros especificados por los diferentes fabricantes.

Otro de los puntos a considerar es la lógica y el diseño del controlador el cual comandará los diferentes elementos del SHP para coordinar la entrada o salida al bus DC y alimentar a la carga, pudiendo observar el comportamiento del sistema bajo distintos escenarios.

4.1. Controlador

La Figura 4.1 muestra la lógica usada para programar el controlador, la misma que gestiona la transferencia de energía hacia la carga que proviene de las distintas fuentes mediante interruptores simples, cuyo estado dependerá de variables como la irradiación y el voltaje del banco de baterías.

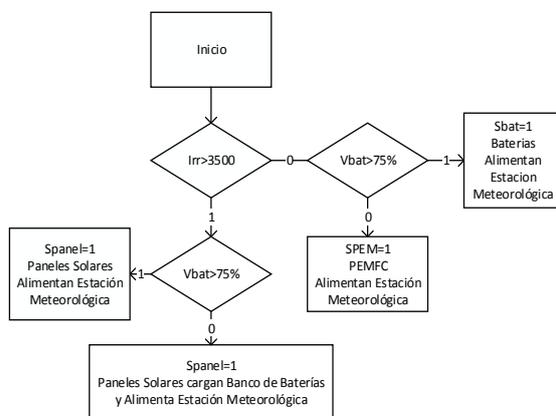


Figura 4.1. Esquema de la Lógica del Controlador

Las variables que controlan el comportamiento del sistema son la irradiación y la carga en el banco de baterías, las cuales comandarán a los interruptores que direccionan el flujo de energía desde las diferentes fuentes hacia la carga.

4.2. Paneles Solares

Para la parametrización del panel fotovoltaico se utiliza el modelo de 5 parámetros, el modelo que permite configurar el panel solar usando datos básicos del fabricante y que son de fácil adquisición para

configurarlos en Matlab puesto que no necesitan de algún tipo de cálculo como los demás modelos.

Los parámetros que se observan en la Tabla 4.1 como: I_{sc} es la corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico, V_{oc} es el cociente entre el voltaje de circuito abierto del módulo (45.42 [V]) y el número de celdas del mismo (72).

Tabla 4.1 Características de la Celda
Característica de la Celda Parámetros

Característica de la Celda	Parámetros
Parametrizado por:	Modelo de 5 Parámetros
Corriente de Cortocircuito, I_{sc}	8.99 A
Voltaje de Circuito Abierto, V_{oc}	0.6308 V
Irradiación usada para medición, I_{r0}	1000 W/m ²
Factor de Calidad, N	1
Resistencia Serie, R_s	0.0068814 Ω
Numero de Celdas en Serie	72

4.3. PEMFC

Nos referimos a la hoja del fabricante para obtener los datos necesarios y poder establecer los parámetros que requiere el modelo matemático.

Se toman dos valores para el análisis de la respuesta de la PEMFC, el primer punto corresponde cuando la PEMFC opera a potencia nominal, i.e. 200W; mientras que el segundo punto de operación corresponde con la PEMFC suministrando la potencia máxima consumida por la carga, esto es, 150 W. Con las simulaciones obtenidas en estos dos puntos de operación de la PEMFC se podrá analizar cómo afecta al comportamiento eléctrico de la PEMFC la variación de la carga.

Finalmente se reemplaza la carga resistiva por una carga variable, en este caso un motor DC en el que predominan cargas inductivas para un análisis más completo del sistema.

4.3.1. Comportamiento de la PEMFC alimentando cargas de 150 y 200W.

La PEMFC debe alimentar a una carga de 150 W que corresponde a la potencia que consume la estación meteorológica, sin embargo la potencia nominal de diseño de la celda de combustible está establecida para cargas de 200 W. Esto se realiza puesto que la PEMFC esta dimensionada a un valor mayor al que necesita nuestra carga y en caso de querer adicionar más equipos, esta respuesta de manera adecuada a la nueva demanda de potencia.

La Tabla 4.2 compara los diversos parámetros característicos de la PEMFC cuando alimenta tanto a la carga de 150W como a la de 200 W.

Tabla 4.2 Comparación entre parámetros de la PEMFC

Parámetros		200 W	150 W
Características de la PEMFC	Flujo de combustible (L/min)	7	4.2
	Porcentaje de Utilización de Oxígeno (%)	68	68
	Hidrógeno (%)	86	83
	Eficiencia (%)	40	46
Señales Eléctricas de la PEMFC	Voltaje (V)	24	26
	Corriente (A)	8.2	5.6
	Potencia (W)	200	150
Señales Eléctricas de la Carga	Voltaje (V)	48	48
	Corriente (A)	4.2	3.1
	Potencia (W)	200	150

Observando la Tabla 4.2 podemos sacar varias conclusiones con respecto a la PEMFC trabajando a potencia nominal (200W) y a la potencia que consume la carga (150W). Entre estas tenemos que:

El consumo de combustible que requiere la PEMFC es directamente proporcional a la potencia que requiera la carga lo que implica que el tiempo de operación de la PEMFC disminuye si los tanques son de la misma capacidad.

Para cualquiera de las potencias de trabajo, el voltaje en el bus DC que alimenta a la carga permanece invariable, puesto que el convertidor DC-DC mantiene esta tensión regulada.

Mientras menor es la carga, menor es la corriente que debe suministrar la PEMFC puesto que el voltaje permanece casi invariable.

El aumento de la eficiencia de la pila de combustible con una carga menor se debe a que la corriente eléctrica con una intensidad más baja ocasiona menos pérdidas en la PEMFC que una corriente más elevada.

Debe recordarse que la carga a alimentar no es de 200 W y que la simulación aquí realizada de la PEMFC es solo para analizar las características de la misma operando a su carga nominal, lo cual difiere cuando se trabaje con el sistema completo alimentando a la carga establecida de 150 W.

4.3.2. Comportamiento de la PEMFC alimentando a una carga inductiva variable.

Se introduce una carga inductiva variable, que será representada por un motor DC, cuyo torque de carga es variado como se observa en la Figura 4.2, para obtener valores de potencia que oscilen dentro del rango de operación normal de la PEM. Logrando con esto apreciar los efectos de la variación de la carga y la adición del componente inductivo para nuestro sistema híbrido de potencia.

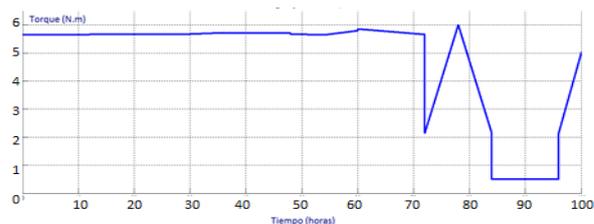


Figura 4.2. Torque aplicado al motor

De esta forma se aprecia claramente la capacidad del sistema híbrido de potencia de alimentar cualquier tipo de carga desde una estación meteorológica con una despreciable carga inductiva hasta un motor DC con una fuerte incidencia debido a sus picos de arranque y su carga inductiva predominante.

A medida que la potencia requerida por la carga en cada instante de tiempo aumenta, también lo hace la corriente entregada por la PEM de forma directamente proporcional. No ocurre lo mismo con la tensión, que muestra un comportamiento inverso.

Este comportamiento del voltaje de la PEMFC se debe, a que la misma modula su voltaje, porque la carga demanda una corriente inferior a la que puede suplir la pila, por ende la PEMFC varía el voltaje hasta un máximo aproximado de 48V i.e. voltaje de circuito abierto de la pila.

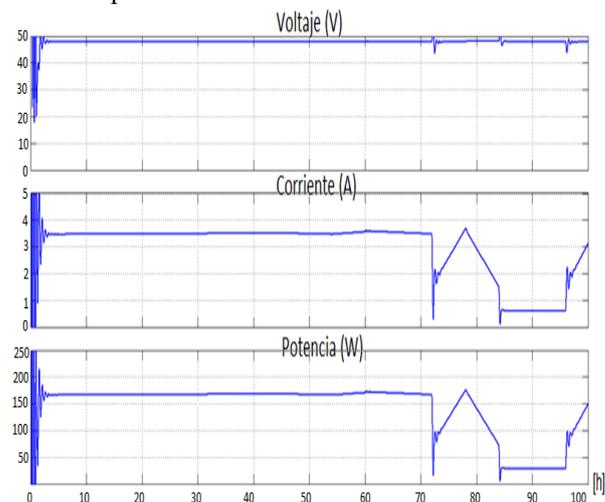


Figura 4.3. Señales de la carga

En la Figura 4.3'' tenemos las señales medidas a la salida del regulador de voltaje, observamos como el voltaje se mantiene constante sin importar las variaciones en el torque, pero no ocurre lo mismo para las señales de corriente y potencia que son proporcionales al torque aplicado al motor DC.

4.4. Banco de Baterías

Los parámetros configurados en el modelo de la batería en Matlab, son presentados en la Tabla 4.3, estos parámetros han sido obtenidos de la hoja de datos del fabricante [7]. El sistema SHP diseñado para la aplicación consta de un banco de baterías compuesto por cuatro baterías similares, por lo que los mismos parámetros fueron editados en las cuatro baterías.

Tabla 4.3 Parámetros configurados en las baterías

Parámetro	Valor
Tipo de batería	LEAD-ACID
Voltaje nominal (V)	12
Capacidad nominal (Ah)	255
Estado inicial de carga (%)	100

5. Simulación y Evaluación del SHP

Para la simulación del sistema SHP se considera un tiempo máximo de alrededor de cuatro días, tiempo suficiente para evaluar el comportamiento del SHP realizando cambios en la irradiación y en la carga a alimentar. El comportamiento eléctrico del SHP en los cuatro días se corresponde a un tiempo de simulación de 100s.

Los valores de irradiación que se usan en todos los escenarios oscilan entre 2000 y 6000 Wh/m² durante las 100 horas de simulación. En el siguiente apartado se describen los distintos escenarios considerados para la evaluación.

5.1. Escenario 1

Para el escenario completo se considera el caso intermedio, esto es, de los cuatro días de autonomía del sistema SHP, los dos primeros días se consideran nublados (ausencia de irradiación solar), esto se puede apreciar claramente en la Figura 5.1.1.

En este caso el banco de baterías entregaría más energía durante ese tiempo hasta que se descargue, y producto de esto la PEMFC se vea obligado a suplir la demanda de energía requerida por la carga.

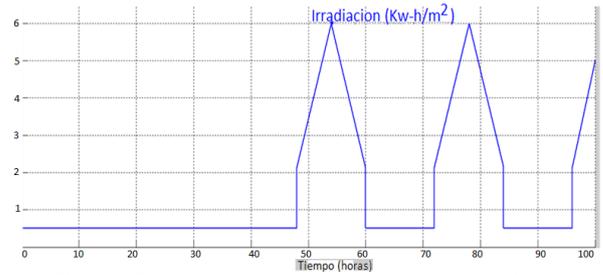


Figura 5.1.1 Escenario Completo: Irradiación aplicada a los paneles solares (KW-h/m²)

La ausencia de irradiación solar durante 48 horas y luego 52 horas con días soleados se aprecia en la Figura 5.1.1, con esta curva de irradiación conseguimos que el banco de baterías se descargue.

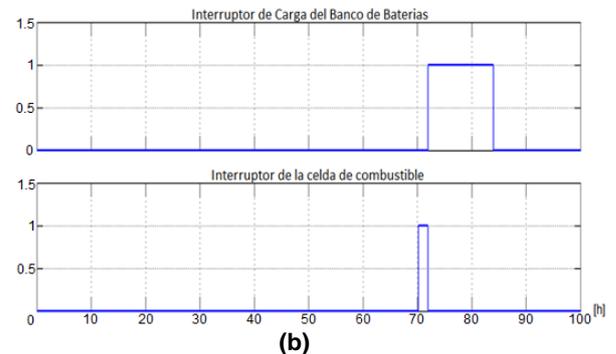
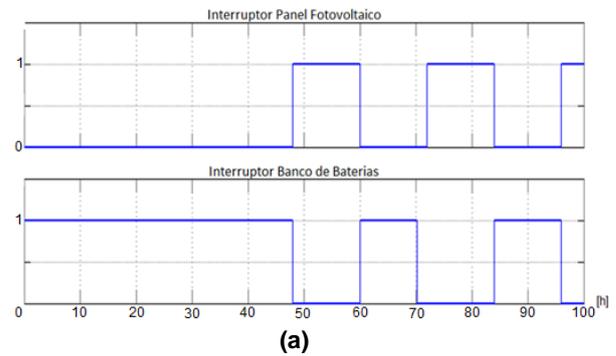


Figura 5.1.2 Disparos en las compuertas de los Interruptores

En este escenario se asegura la descarga del banco de baterías debido a la prolongada ausencia de irradiación solar, y que de esta manera sea la PEMFC la que alimente al bus DC y este a su vez a la estación meteorológica. El instante en el que ocurren estas transiciones se aprecia claramente en la Figura 5.1.2.

El banco de baterías alimenta a la estación meteorológica durante 58 horas, por el valor del disparo en la compuerta del Interruptor del Banco de Baterías, luego de ese tiempo el banco se descarga. En ausencia de luz solar la PEM es conmutada a la barra DC (disparo en la compuerta del Interruptor de la Celda de Combustible PEM).

Al detectar el controlador que existe irradiación suficiente los paneles solares suplen de energía a la estación meteorológica y además cargan las baterías (intervalo entre 72 y 84 horas).

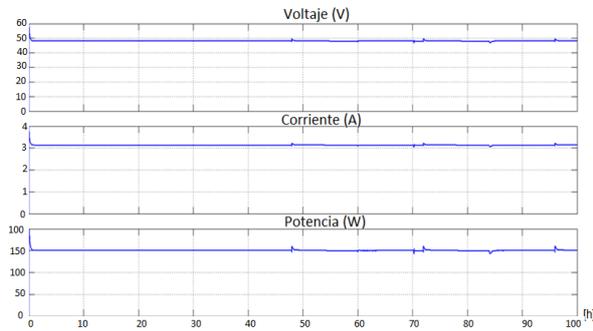
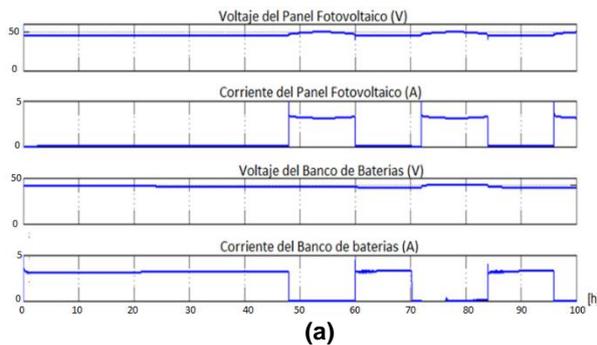


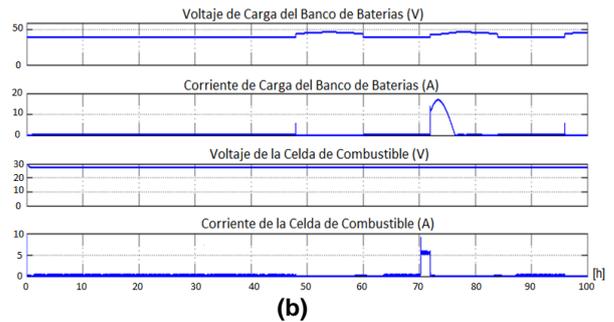
Figura 5.1.3 Señales eléctricas en la carga Voltaje, Corriente y Potencia

Las características eléctricas presentes en la Figura 5.1.3 confirman la función que realiza el controlador al mantener la potencia eléctrica relativamente constante en la carga de no ser por pequeños picos de voltaje y/o corriente que se distinguen en tiempos como 48, 72, 84 y 96 horas. Dichos picos se deben a la conmutación brusca del Interruptor del Banco de Baterías, Interruptor de la Celda de Combustible PEM y el Interruptor del Panel Fotovoltaico (Figura 5.1.2).

En la Figura 5.1.4 se observa que el banco de baterías, los paneles solares y la PEM alimentan a la estación meteorológica en los intervalos de tiempo respectivos, porque en las curvas correspondientes a cada elemento la corriente es de 3.125[A] en dichos intervalos. A excepción de la corriente de carga del banco de baterías, cuya forma obedece a la naturaleza de la corriente de una batería en proceso de carga.



(a)



(b)

Figura 5.1.4 Señales eléctricas en los principales elementos del sistema

5.2. Escenario 2

Simulamos el esquema completo con carga variable (Figura 5.2.1) para analizar el comportamiento del sistema frente a variaciones o perturbaciones en la carga y la respuesta ante una carga inductiva. Para esto se simula el sistema usando un motor DC, así mediante la variación del torque se puede alterar la potencia requerida para operar.

Esto se realiza para determinar la factibilidad de usar este sistema para otro tipo de aplicaciones. Además la simulación de un motor es una buena herramienta de estudio debido a los transientes elevados de tensión que suelen ocurrir al momento del arranque de un motor con lo cual resulta útil al simular un aumento de la demanda por transmisión simultánea de datos en una estación meteorológica.

El bosquejo general y las conexiones del sistema se muestran en la Figura 5.2.1 mientras que la curva de irradiación y torque se representan en la Figura 5.2.2 y 5.2.3 respectivamente.

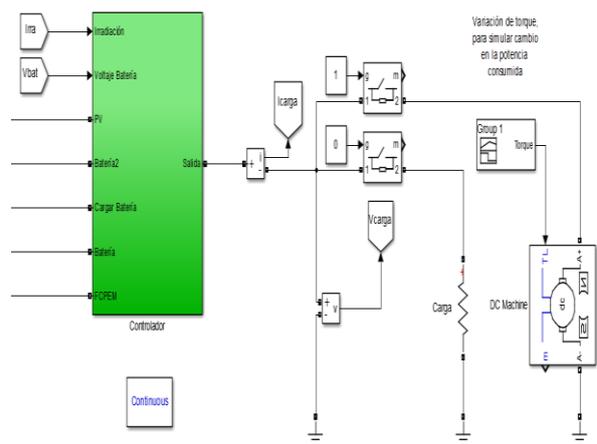


Figura 5.2.1 Diagrama de Conexiones con carga variable

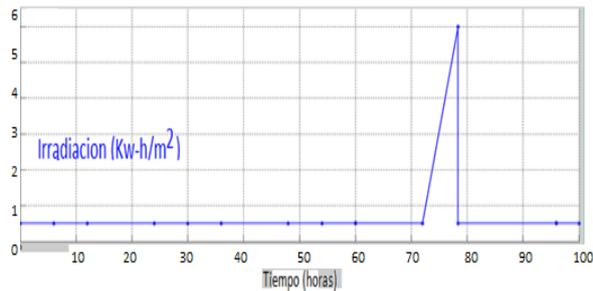


Figura 5.2.2 Señal de irradiación que incide sobre los Paneles Fotovoltaicos

Para este escenario se requiere que todos los elementos del SHP (Paneles Solares, Baterías y PEMFC) operen en algún instante de tiempo dentro de la simulación para que así puedan interactuar con la carga, en este caso el motor DC para lo cual se usó la curva de irradiación representada en la Figura 5.2.2

Se genera durante un largo periodo una irradiación baja para que las baterías puedan alimentar a la carga hasta que se descarguen por completo y posteriormente la PEMFC sea conectada al bus DC. Luego de esto la irradiación aumenta para que los paneles fotovoltaicos ingresen a alimentar a carga.

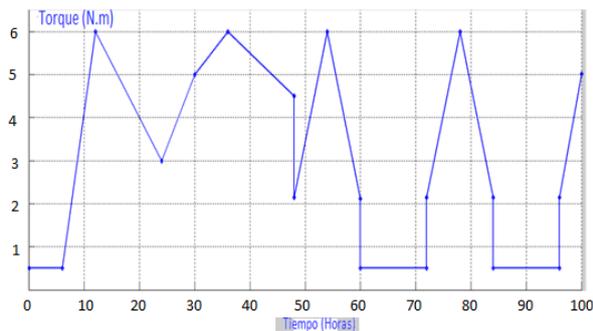


Figura 5.2.3 Curva de torque aplicada al motor DC

En la Figura 5.2.4 se puede apreciar con más detalle el momento en el cual cada elemento del sistema híbrido de potencia es conectado al bus DC dependiendo de la curva de irradiación generada anteriormente de la Figura 5.2.2.

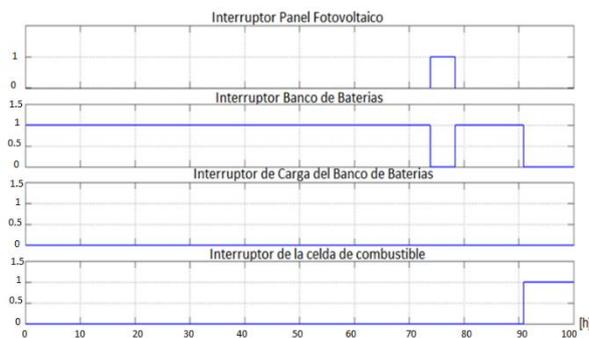


Figura 5.2.4 Señales de disparo de los interruptores

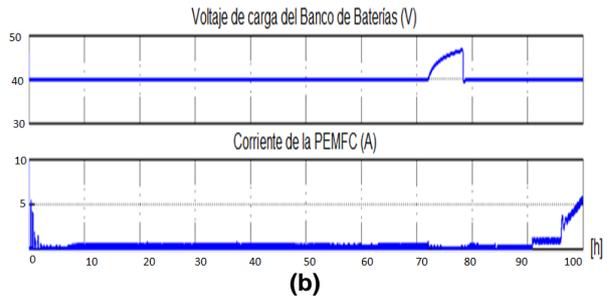
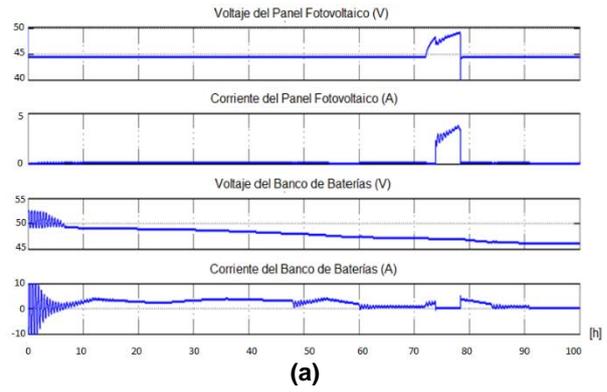


Figura 5.2.5 Señales de voltaje y corriente para los distintos elementos

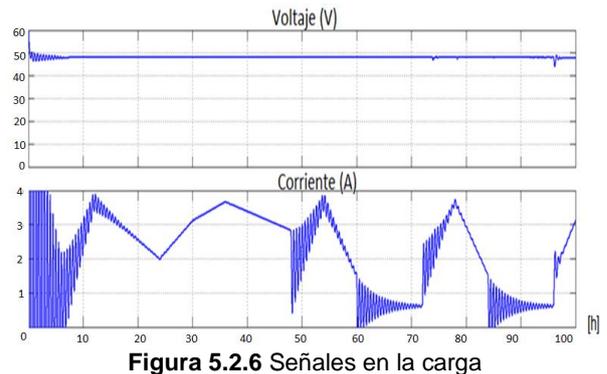


Figura 5.2.6 Señales en la carga

Las oscilaciones observadas en la corriente y por ende en la potencia de la Figura 5.2.6 se deben a la combinación de la variación brusca en las curvas de torque (Figura 5.2.3) e irradiación (Figura 5.2.2) aplicadas a los elementos respectivos del SHP, además del efecto de la inductancia del motor en el sistema.

6. Conclusiones y Recomendaciones

El SHP provee energía a la carga por lo menos 80 horas ininterrumpidas en ausencia de irradiación adecuada, de todo este tiempo, aproximadamente 50 horas son abastecidas por el banco de baterías y 30 horas alimentados por la PEMFC. La producción de energía de la PEMFC depende directamente del depósito de combustible (Hidrogeno) que posea el sistema, mientras mayor sea la capacidad del depósito mayor será el tiempo durante el cual la pila entregue energía.

Las curvas características de los paneles solares, la PEMFC y las baterías resultado de las simulaciones respectivas fueron muy similares a las proporcionadas por los fabricantes. Lo que indica que en una implementación del sistema, el comportamiento del mismo será conocido, por la información obtenida de las simulaciones.

El uso de una PEM en los sistemas híbridos, para el caso específico de una estación meteorológica, tiene un costo muy elevado con respecto al sistema tradicional PV - baterías. Pero dota al sistema de mayor fiabilidad, manteniendo la necesidad de realizar mantenimiento al sistema en un porcentaje bajo, además de seguir produciendo energía limpia sin ningún tipo de emisiones contaminantes.

El sistema híbrido de potencia analizado mediante simulación en este trabajo, tiene la capacidad de alimentar cargas eléctricas resistivas e inductivas, lo cual se corroboró cuando se aplicó al SHP un motor DC como carga. Esto es un indicativo de la fortaleza de la PEMFC en diversas aplicaciones y sistemas, para el caso de este trabajo fue una estación meteorológica, pero se puede extender su aplicación en otras áreas y a cargas que demanden mayor potencia.

El desarrollo de este trabajo deja abierta la posibilidad de implementación del SHP, porque los elementos generados de energía como los paneles solares, las baterías, la PEMFC y las bombonas de almacenamiento de Hidrógeno pueden adquirirse. El controlador que gestione el correcto flujo de energía entre los elementos del sistema, es el que debe ser desarrollado por medio de dispositivos lógicos programables, tomando en consideración todas las señales necesarias para el monitorio del estado de los elementos que conforman el sistema.

Se recomienda usar otro tipo de software más especializado para la simulación del comportamiento de sistemas híbridos, debido a que Matlab presenta dificultades con la simulación en periodos de tiempo extensos, el software TRNSYS sería una opción.

14. Referencias

- [1] J. Larminie y A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Jonh Wiley & Sons, Ltd, 2003.
- [2] «National Aeronautics and Sapce Administration,» [En línea]. Available: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>. [Último acceso: Octubre 2014].
- [3] D. SAC, «DeltaVolt,» 2010. [En línea]. Available: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>. [Último acceso: 26 12 2014].
- [4] A. Aseeri, *Modelling and Simulation of Fuel Cell/Photovoltaic Hybrid Power System*, Cranfield University, 2012.
- [5] «Mapas del Mundo,» [En línea]. Available: <http://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/ecuador/latitud-y-longitud-de-ecuador.html>.
- [6] C. p. I. I. Energetica, «Atlas Solar Ecuador y Diseño Sistemas Fotovoltaicos,» Agosto 2008. [En línea]. Available: www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf.
- [7] batterystuff, «Solar Photovoltaic (PV) Batteries for Solar Off-Grid Home and Backup Systems,» [En línea]. Available: <http://www.batterystuff.com/batteries/rv-marine/agm/111-and-up-amp-hour/gpl-8da.html>.