

Suministro Híbrido de Energía (Pv-Fc-H2) de Baja Potencia para Aplicación en Hogares Sin Conexión a Red

Arturo Oswaldo Lupera Alvario ⁽¹⁾
Ronald Leonel Campoverde Hidalgo ⁽²⁾
Ph.D. Wilton Edixon Agila Galvez ⁽³⁾

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

artolupe@espol.edu.ec ⁽¹⁾

lcampove@espol.edu.ec ⁽²⁾

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Ph.D. en Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Automática, Profesor de Materia de Graduación ⁽³⁾

wagila@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo consiste en diseño de un sistema híbrido para una vivienda de un sector que no existe conexión a la red eléctrica también se estudia las partes y funcionamiento del panel solar, celda de hidrógeno y el tipo de batería más adecuado para la aplicación en la vivienda. El dimensionamiento de los componentes que integran el sistema híbrido de suministro de energía y su respectiva simulación permite analizar diferentes configuraciones y estrategias de activación de uno u otro elemento generador, representa uno de los objetivos de este trabajo. Las simulaciones realizadas en MatLab facilitan el análisis de independencia de la red eléctrica convencional del sistema de suministro híbrido de energía, por medio de la radiación solar que reciben los paneles solares y la energía eléctrica generada por este será controlada por el controlador para proteger la batería de sobrecargas y suministrar la suficiente energía a la vivienda. también en este trabajo esta la lista de precios de los elementos usados.

Palabras Claves: *Aplicación de un Sistema de Suministro Híbrido para una vivienda sin conexión a la red convencional.*

Abstract

This work consists of designing a hybrid system for a housing sector that there is no connection to the mains parts and operation of solar panel, hydrogen fuel cell and battery type best suited for the application is also discussed in the housing. The dimensioning of the components in the hybrid power supply system and their respective simulation to analyze different configurations and activation strategies of either generating element, is one of the objectives of this work. Simulations in MatLab facilitate the analysis of independence from the conventional power grid system hybrid energy supply by means of solar radiation received by solar panels and electricity generated by this will be controlled by the controller to protect battery overload and provide power to the vivienda. también in this work is the comparison of the elements used.

Keywords: *Implementation of a Hybrid Delivery System for a house without connection to the conventional network.*

1. Introducción

1.1 Planteamiento Del Problema

El problema de la red convencional es la caída de voltaje que existe en las horas pico, porque esta es distribuida para varios sectores, generando a su vez inconformidad por parte de los usuarios ya que se ven afectados por la deficiencia del servicio eléctrico, lo que conlleva a daños de electrodomésticos, incluso afectando a los negocios que producen ingresos por medio del uso de la electricidad.

Sin dejar atrás algo muy importante que es el tema ambiental, debido a que el consumo de energía cada día va en constante aumento y por ende los recursos naturales que son empleados para la generación de energía van disminuyendo notablemente.

Con este Suministro Híbrido de Energía nos ayuda notablemente a mejorar en el aspecto económico llamado también como sistema de autoconsumo sistema que nos ayuda para generar electricidad para la demanda de una vivienda sin utilizar la red eléctrica.

1.2 Descripción Del Problema

La energía eléctrica es indispensable en un hogar para que sus habitantes puedan tener todas las comodidades existentes en la actualidad, ya sea para la iluminación, comunicación, seguridad, etc. Y, esta energía se obtiene ya sea mediante la red eléctrica convencional o fuentes alternativas de energía, preferentemente las energías renovables que al combinarlas se obtiene la energía híbrida (eólica, solar, hidrogeno, etc.) que es más limpia que las convencionales y ayudan a la conservación del ambiente porque estas no emanan gases contaminantes como las energías convencionales (petróleo, gas, carbono etc.) Sin embargo, en Ecuador no se da la respectiva importancia debido al desconocimiento del uso de estos elementos o por miedo al riesgo a la innovación en estas fuentes alternativas.

La energía híbrida es una combinación de dos o más fuentes diferentes para suministrar potencia eléctrica estable a una determinada carga que se encuentra sin conexión a la red ya sea porque esta se encuentra lejos del alcance o porque el usuario busca independencia de la Empresa Eléctrica.

En este contexto, el presente proyecto emplea las siguientes fuentes de generación de energía eléctrica: panel fotovoltaico, celda de combustible que mediante la utilización de estos y la ayuda de un banco de baterías se pueda dotar de energía eléctrica a una vivienda sin conexión a la red eléctrica, durante el día con el panel fotovoltaico y en la noche o cuando haya ausencia de luz solar con pila de combustible y/o el banco de baterías.

1.3 Justificación

Las energía renovables son obtenidas de los recursos naturales que se consideran inagotables tales como son el

sol, el viento, el agua, recursos que son obtenidos del planeta y disponibles para ser utilizados de manera apropiada, siendo estas unas de las alternativas para obtener energía eléctrica, muy al contrario de los recursos no renovables que aparte de no ser reutilizable atentan considerablemente contra la naturaleza. Es por ello que se ha decidido desarrollar este proyecto, como punto de partida para demostrar las bondades que presenta la utilización de energías híbridas como recurso para dotar de energía a una vivienda y como una de las mejores opciones para no contaminar al ambiente.

1.4 Objetivos

Objetivo general

- Analizar mediante simulación diferentes configuraciones y estrategias de activación que permitan determinar la mejor solución híbrida para el suministro de energía a una pequeña vivienda sin conexión a red.

Objetivo específicos

- Suministrar energía, a una vivienda donde la red eléctrica convencional no llega.
- Analizar la evolución temporal de la respuesta eléctrica del sistema híbrido de energía suministrando la potencia demandada por la carga (vivienda).
- Dimensionado de los elementos.
- Diseño del controlador.
- Informe económico del sistema híbrido.

1.5 Resultados Esperados

Informe económico – técnico del sistema de suministro.

Informe en detalle para la adquisición de los dispositivos necesarios.

Diseño funcional y sencillo del sistema híbrido de suministro de energía que permita energizar una carga variable durante las 24 horas del día o el tiempo necesario que ésta lo requiera.

Análisis mediante simulaciones utilizando características de elementos reales para así evaluar su costo al adquirir este sistema en la realidad.

2. Marco teorico

En este capítulo se muestran conceptos teóricos, tales como: sistema fotovoltaico, celda de combustible, banco de baterías, temas primordiales que sirven para dar justificación y afianzar los criterios del proyecto sobre el sistema híbrido de suministro de energía propuesto para suministrar de potencia eléctrica a una vivienda sin conexión a red.

2.1 Sistema Foltovoltaico

El sistema fotovoltaico es la unión de componentes que generaran energía a través de la luz solar, la misma que se la acondiciona y almacena para ser distribuida a sus puntos [1].

El tiempo que se toma en proporcionar la energía dependerá de la radiación solar, la inclinación u orientación de los paneles o la cantidad de paneles solares utilizados. Si deja de iluminar se pierde la energía. Por tanto, un sistema fotovoltaico, en la mayoría de las aplicaciones, debe de incluir un subsistema de acondicionamiento eléctrico y almacenamiento de energía. [1], como se puede apreciar en la FIG.1.



Fig.1 Sistema Fotovoltaico Con Acumuladores (Baterías).
<http://energia.fi-b.unam.mx:8090/proyecto16/proyecto.pdf>

Sin embargo, hay métodos de almacenamiento de energía más ecológico como lo es la producción de hidrógeno a partir de agua por medio de electrólisis como se muestra en la Fig.2.

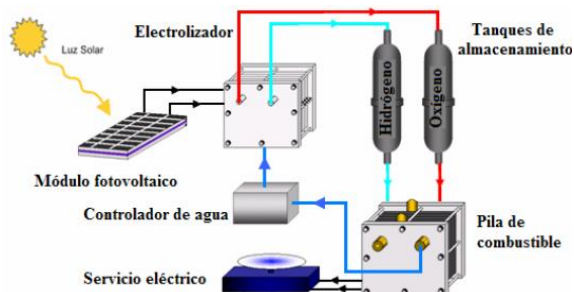


Fig. 5 Sistema Fotovoltaico Con Acumuladores Mediante hidrógeno.

www.relaq.mx/rlq/tutoriales/e-bookcyt2.pdf

De esta manera la conversión del hidrógeno almacenado a energía eléctrica se realiza mediante el uso de las celdas de combustible. La energía generada por la celda es en corriente continua, por lo que es necesario un inversor para transformar la corriente continua a corriente alterna a 60 Hz, para ser compatible con los dispositivos de uso final, que son conectados a la red eléctrica[1].

2.2 Panel Fotovoltaico (Panel Solar)

Un módulo fotovoltaico o panel solar (FV) es un grupo de celdas solares independientes conectadas eléctricamente entre sí, que proporciona en su salida de conexión un voltaje continuo (VDC) [3].

El ciclo de vida del panel solar puede variar entre 25 y 30 años, dependiendo del tipo del panel Fotovoltaico [4].

2.3 Tipos De Paneles Solares

Los tipos de paneles solares varían dependiendo la tecnología que los caractericen: silicio cristalino (monocristalinos, policristalinos) y amorfo.

Si se habla de eficiencia en lo que respecta a paneles solares, el monocristalino tiene una ventaja mayor porque tiene un porcentaje de entre el 12% al 15% de eficiencia. Mientras que el policristalino mantiene una eficiencia del 11% a 14%, en tanto el amorfo siendo el más económico lleva un porcentaje de eficiencia del 6% al 7%.

2.4 Funcionamiento De Un Módulo Fotovoltaico

Los módulos o paneles fotovoltaicos basan su funcionamiento en un principio fotoeléctrico parecido al que usan las plantas en el proceso de la fotosíntesis. Las plantas son capaces de generar sustancias orgánicas a partir de la luz solar que incide sobre ellas, de la misma manera funcionan los módulo fotovoltaicos, solo que en vez de producir sustancias orgánicas estos generan electricidad, por eso este proceso es conocido como proceso fotoeléctrico[8].

2.5 Batería

Una batería es esencialmente un recipiente lleno de químicos que producen electrones. Las reacciones químicas son capaces de producir electrones y este fenómeno es llamado reacción electroquímica. En los llamados sistemas solares autónomos o sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD), las baterías almacenan electricidad que será utilizada durante la noche. Así mismo, suministran electricidad durante periodos de escasez o ausencia de luz solar, necesaria para que el panel solar produzca energía [4].

La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento. Las baterías están disponibles en diversas formas y tamaños. Las de 12V son las más utilizadas. Si las baterías son nuevas y son del mismo tipo y tamaño, pueden ser conectadas para incrementar la capacidad del almacenamiento de batería [4].

2.6 Funcionamiento

Si se examina una batería, esta tiene dos terminales. Una terminal está marcada (+) positivo mientras la otra está marcada (-) negativo [4].

Los electrones se agrupan en la terminal negativa de la batería. Si se conecta un cable entre las terminales

positivas y negativas, los electrones pasarán de la terminal negativa a la positiva tan rápido como puedan (y descargarán a la batería muy rápido esto también tiende a ser peligroso, especialmente con baterías grandes, así que no es algo que debería hacer) [4].

A continuación se muestra en la fig 3 una curva característica Voltaje vs Capacidad.

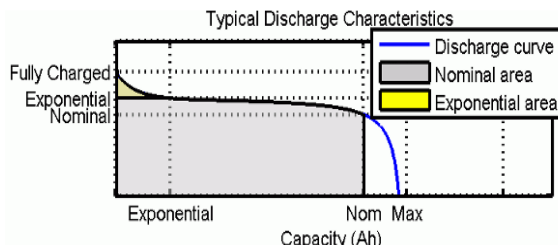


Fig. 3 Curva Característica Voltaje Vs Capacidad.
www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html

- Sección 1 de la figura 3
Caída exponencial de voltaje cuando se carga la batería.
 - Sección 2 de la figura 3
Representa la potencia que se puede extraer de la batería hasta que el voltaje llegue a su valor nominal.
 - Sección 3 de la figura 3
Representa la descarga total de la batería cuando su voltaje cae rápidamente.
- El lazo de histéresis de carga y descarga se puede observar a continuación en la fig 4:

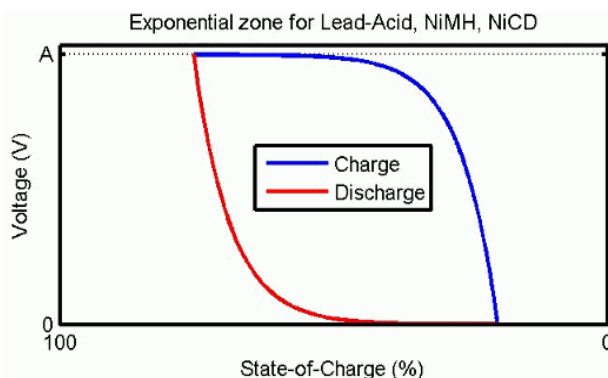


Fig. 4 Curvas De Carga Y Descarga Voltaje Vs Soc.
www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html

2.7 El Hidrógeno Como Combustible

El hidrógeno es una energía renovable y sustentable, que puede obtenerse a partir de fuentes de energías fósiles o renovables y destinarse a la generación de electricidad, al transporte vehicular, a otros usos industriales y domésticos. El hidrógeno es sin duda el combustible del futuro; produce una contaminación mínima o nula, dependiendo del proceso por el cual se obtiene y genera más trabajo por unidad de masa que cualquier otro combustible, incluyendo al gas natural. Puede además

emplearse en celdas de combustible que generan electricidad y calor mediante una reacción de oxidación sin combustión cuyo producto es el agua [1].

El hidrogeno está siempre de forma enlazada en el ambiente en compuestos orgánicos y el agua. Se puede producir hidrogeno de varias fuentes entre ellas están el carbón, gas natural, gas licuado del petróleo, propano, metano, gasolina, diesel ligero, residuo pesado, biomasa seca, biomasa derivada de combustibles líquidos tales como (metanol, etanol, biodiesel), nuclear, así como del agua [2].

2.8 Pila De Combustible.

Una pila de combustible, como también llamada celda de combustible puede producir por medio del hidrogeno y del oxígeno, la electricidad en una forma corriente continua o calor. Este es un proceso adicional que servirá en este proyecto para la suministración de energía a la vivienda [12].

La pila de combustible consta de diversas partes entre ellas están:

- Electrodo (ánodo, donde se reduce el H_2 y cátodo, donde reacciona H^+ y O_2).
- Electrolito (separa los gases, permite el paso de iones H^+ al cátodo y separa los e^-).
- Placas bipolares (que separan las celdas, "conducen" los gases y evacúan H_2O).

Una pila de combustible es una asociación de celdas de combustible.

En la ubicación del ánodo, el hidrógeno que llega se descompone en protones y electrones. Los protones son enviados por medio de la membrana al cátodo, de esta manera los electrones van hacia un circuito externo produciendo energía. En el lado del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones y protones para formar el agua [12].

2.9 Electrólisis Del Agua

Por medio de la energía suministrada por el panel solar el agua (H_2O) se puede dissociar en moléculas diatómicas de Hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2), la electrólisis de un mol de agua se produce un mol de gas hidrógeno y medio mol de gas oxígeno.

Un detallado análisis del proceso, muestra el uso de los potenciales termodinámicos, la cual este lleva a 298°K y una atmosfera de presión.

2.10 Convertidor DC/DC

El convertidor DC-DC tiene como función suministrar un voltaje de salida regulado desde un voltaje de entrada no regulado, la cual este voltaje

de salida de estos convertidores es controlado mediante la conmutación de los interruptores de potencia [15].

2.11 Convertidor bidireccional DC-DC DAB

Estos convertidor es permiten un flujo de potencia bidireccional entre dos fuentes de voltajes DC, enlaces DC de alta y de baja, de diferentes niveles de voltaje [16]. El DAB (por sus siglas en ingles Dual Active Bridge), son: dos fuentes de voltaje DC, dos capacitores, dos convertidores PWM de puente completo conformados por IGBT's, los cuales permiten el flujo bidireccional.

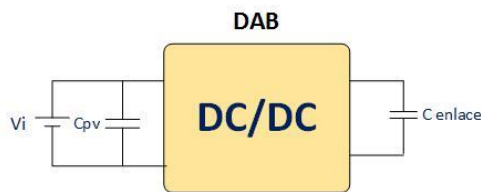


Fig. 52 Bloque DAB.

El Convertidor DAB tiene dos modos de operación:

- Modo de operación hacia adelante, en el cual la potencia se transfiere desde la fuente de alto voltaje DC hacia el lado de la fuente de bajo voltaje DC, en este modo de operación uno de los convertidores activos de puente completo del DAB opera como inversor mientras que el otro convertidor opera como rectificador, en este modo de operación, el transformador de alta frecuencia convierte una onda cuadrada de voltaje aplicada en el devanado primario por el inversor.
- Modo de operación hacia atrás, en el cual la potencia se transfiere desde la fuente de bajo voltaje DC hacia la fuente de alto voltaje DC, durante este modo de operación los convertidores activos de puente completo invierten su funcionalidad [17].

2.12 Convertidor DC/AC (Inversor)

La función del convertidor dc-ac, conocido también como inversor, es convertir un voltaje DC a un voltaje AC con magnitud y frecuencia variable[18].

Se muestra en la fig 6 el esquemático del Convertidor DC/AC:

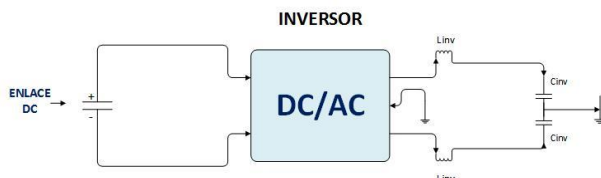


Fig. 6 Diagrama De Bloques Del Convertidor DC/AC. En el inversor la forma de onda del voltaje de salida no tiene forma sinusoidal, pues contiene un número de armónicos que dependen de la técnica usada para la conmutación de los semiconductores de potencia (técnica de modulación). Esta distorsión de la forma de onda del voltaje de salida se puede mejorar limpiando los armónicos utilizando filtros LC.

2.13 Filtro LC

El Filtro LC es un filtro de Segundo orden la cual nos ayuda a mejorar la onda resultante de la salida del Inversor eliminando las distorsiones del ruido y tener como resultando una onda limpia para poder observar más clara la onda resultante, filtro de Segundo orden es mucho más efectivo que la del primer orden porque para la misma atenuación de las componentes pueden ser menores.

Se muestra el esquemático del Filtro LC:

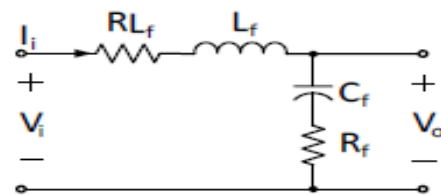


Fig.7 Circuito Filtro LC.

3. Descripción Del Escenario

En este capítulo se describe las características de los elementos que se aplica en el Suministro Híbrido de Energía (PV-FC-H2) para una vivienda con pequeñas cargas como se detalla en la siguiente tabla. 4, y esta vivienda se encuentran en el sector rural de Babahoyo, La Unión de Clementina. Las fuentes se dimensionan con valores reales para el panel fotovoltaico, la celda de hidrógeno y el banco de baterías, para estos elementos se deben calcular la cantidad y la configuración de cada uno para realizar un buen sistema híbrido.

CARGAS	CANTIDAD	POTENCIA [W]	POTENCIA	HORAS DE USO	CONUMO DIARIO
			TOTAL [W]		
Licudadora	1	350	350	0,25	87,5
Foco ahorrador	8	15	120	3,75	450
Refrigerador	1	188	188	8	1504
Television	2	150	300	3	900
Computador	1	350	350	1	350
Ventilador	1	100	100	2	200
Equipo de sonido	1	75	75	2	150
Plancha	1	1200	1200	0,25	300
Dvd	2	25	50	2	100
Celular	3	3	9	2	18
TOTAL					4059,5

Tabla. 1 Consumo En [Wh/Día] De Las Cargas En La Vivienda.

3.1 Modulo Fotovoltaico (Panel Solar)

Para el dimensionamiento de este módulo lo principal es saber la demanda total de la vivienda, donde será implementado el sistema fotovoltaico para suministrar la potencia requerida. Para dicha vivienda el total de su consumo diario total es 4059.5 [Wh/día] como se muestra en la tabla 1.

3.2 Radiacion Solar Global

Para mostrar la insolación directa de Los Ríos se ha elaborado una tabla 2 con la información [10] donde

se presencia los valores mensuales de la radiación solar global.

MES	KWh/m2/día
ENERO	4,35
FEBRERO	4,5
MARZO	4,8
ABRIL	4,5
MAYO	4,35
JUNIO	3,9
JULIO	3,9
AGOSTO	4,05
SEPTIEMBRE	4,2
OCTUBRE	4,05
NOVIEMBRE	4,35
DICIEMBRE	4,5

Tabla. 2 Radiacion Solar Global Provincia De Los Rios.

Teniendo en cuenta que para los meses problemas como Junio y Julio se debe dejar una reserva de suministro de energía.

3.3 Dimensionamiento del panel fotovoltaico

Los paneles que van hacer utilizados para suministrar energía a la vivienda son los paneles monocristalinos con las características de la tabla.3.

MARCA	SIMAX
POTENCIA	120 [W]
VOLTAJE NOMINAL	21.7[V]
CORRIENTE MAXIMA	7.57[A]

Tabla. 3 Características De Modulo Fotovoltaico.

www.provientocom.ec



Fig. 8 Panel Fotovoltaico A Usarse En El Proyecto.

www.provientocom.ec

Para saber el número total de módulos fotovoltaicos se hace la siguiente relación entre la carga crítica ya encontrada anteriormente y la potencia pico del módulo (PMPP) en producto con la horas de sol del mes tomado a partir de la tabla de radiaciones crítico (HPS_{cr}) y el PR el factor global de funcionamiento que varía su valor de 0.65 y 0.9 [9].

Ahora para calcular la cantidad de módulos en serie se elabora la división entre la tensión total que se da al DAB (V_{tp}) y tensión nominal del módulo (V_{np}) que se va utilizar [9].

$$N_s = \frac{V_{tp}}{V_{np}} = \frac{60}{21.7} = 2.7649 \approx 3 \quad (\text{Ec.1})$$

En el caso de la cantidad de módulos en paralelo se realiza la división entre cantidad total de paneles (N_T) y la cantidad de paneles en serie (N_S) [9].

$$N_p = \frac{N_T}{N_S} = \frac{15}{3} = 5 \quad (\text{Ec.2})$$

Teniendo los resultados calculados sabemos la siguiente información: tendremos un total de 15 módulos fotovoltaicos los cuales estarán 5 en configuración paralelo con 3 módulos en configuración serie en cada ramal del paralelo.

3.4 Banco De Baterías

Las baterías que van hacer utilizadas son baterías secas de gel de ciclo profundo con las siguientes características mostrada en la Tabla. 4 para poder almacenar energía en caso de que el sector deje de estar soleado y a la vez le suministre la potencia requerida en la vivienda, siempre y cuando ésta este cargada.

Marca	ULTRACELL
Voltaje Nominal	12 [VDC]
Capacidad Nominal (10hr)	150[Ah]
Profundidad De Descarga	30%

Tabla. 4 Características de la batería usada.

www.provientocom.ec



Fig. 9 Batería A Usarse En El Proyecto.

www.provientocom.ec

Para obtener la carga total de las baterías que se va requerir para el suministro realizar una relación entre potencia requerida (Q_{crT}) y la tensión del sistema 90 V [9].

$$Q_{TB} = \frac{Q_{crT}}{V_{NS}} = \frac{5500Wh/d}{90V} = \frac{61Ah}{d} \quad (\text{Ec.3})$$

Ahora para obtener la cantidad de baterías en paralelo se divide la carga total de las baterías para la capacidad nominal de la batería que se va utilizar en este proyecto.

La cantidad de baterías en serie se divide el voltaje total del sistema y el voltaje nominal de la batería a usarse.

$$B_s = \frac{V_{nS}}{V_{nB}} = \frac{90V}{12V} = 7.5 \approx 8 \quad (\text{Ec.4}).$$

Para este sistema la vivienda usara un ramal de 8 baterías en serie.

3.5 Celda De Hidrogeno

En el proyecto la celda de combustible que será utilizado es de la marca HorizonH-1000 PEM FUEL CELL 1000W FCS-C1000 con las siguientes características tabla 10. En este proyecto se usara una celda de 1000W porque resulta más factible a la hora de proporcionar energía, ya que con esta potencia nos va a generar la energía necesaria en casos de emergencias sea esta solo cuando la vivienda este con ausencia de la luz solar sea porque el día está nublado o este de noche, y el banco de baterías este descargado si y solo si el sistema esté en estas condiciones entra a funcionar la celda de combustible.

Marca	HORIZON
Voltaje nominal	12V
Potencia	1000W
Numero de celdas	48
Reactantes	Hidrogeno y Aire
Proteccion de corriente	42A

Tabla. 51 Características De La Celda De Combustible A Usarse.

<http://www.horizonfuelcell.com/#!/h-series-stacks/c52t>



Fig. 10 Celda De Combustible A Usarse En El Proyecto.
<http://www.horizonfuelcell.com/#!/h-series-stacks/c52t>

3.6 Análisis Económico

Para realizar el siguiente análisis económico se tuvo que hacer varias cotizaciones en diferentes lugares como PROVIENTOS que es una empresa que se dedica a comercializar aquí en el Ecuador todo lo que tenga que ver con productos de energías renovables excepto la celda de combustible que eso se lo hizo mediante HORIZON que se dedica distribuir a esta.

COSTO DE EQUIPOS DEL SISTEMA HIBRIDO(PV-FC-H2)			
UNIDADES	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO
15	PANEL FOTOVOLTAICO DE 120W	190	2850
1	INVERSOR	3980	3980
3	CONVERTIDORES DC-DC	58	174
8	BATERIAS 150 Ah	560	4480
4	CONTROLADORES	543	2172
1	FILTRO	75	75
1	TANQUE DE HIDROGENO	550	550
1	CELDA DE COMBUSTIBLE 5Kw	15750	15750
TOTAL			30031

Tabla. 62 Costo De Equipos Del Sistema Hibrido (Pv-Fc-H2).

4. Elementos De La Topologia

En este proyecto se realiza el dimensionamiento de los elementos del Suministro Híbrido de Energía (PV-FC-H2) en la que se muestra en la fig.4.1, la cual se dimensiona con valores reales para calcular el valor de la fuente (panel), la celda de hidrógeno y la batería, estos elementos funcionan como fuentes para suministrar corriente a una carga que en este caso sería una casa en los sectores rurales, la cual esta no tiene mayor demanda y este suministro se podría utilizar normalmente para ahorrar energía y tener mínimo impacto ambiental.

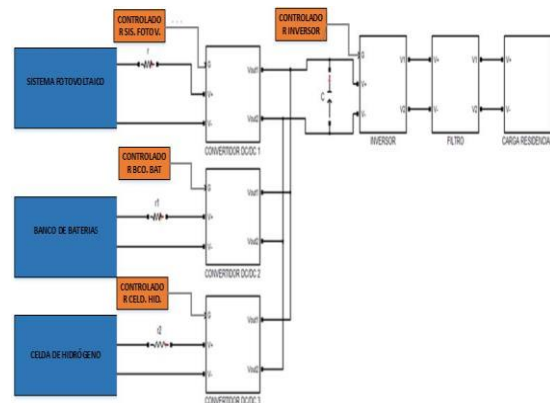


Fig. 11 Sistema Hibrido De Energía (Pv-Fc-H2).

5. Pruebas y evaluación

En este capítulo se realiza la prueba del sistema, simulando los diferentes casos los cuales son:

- Carga variable
- Carga fija
- Batería cargada
- Batería descargada

Lo importante es que a la vivienda nunca le falte la potencia demandada sin importar la variación de los diferentes casos mencionados, en otras palabras el voltaje de salida hacia la carga no debe de verse afectado.

5.1 Primer Caso: Carga Variable

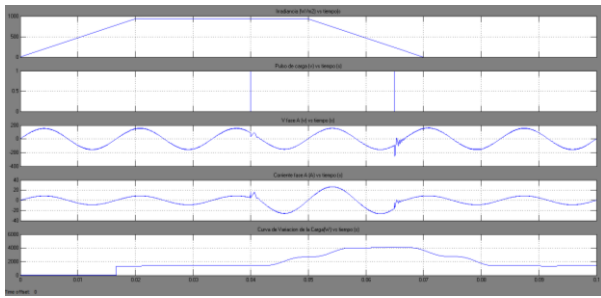


Fig. 11 Graficas Con La Carga Variable.

En este caso se muestra en la figura 12, la primera grafica representa la irradiación solar que hay en ese día, en la siguiente se muestra el tiempo en el que entran las cargas de la vivienda, este caso se simulo mediante pulso ya que fue la mejor manera de hacer que se conecten dos resistencias en paralelo, las mismas que estaban anteriormente en un tiempo determinado para después ser desconectadas nuevamente, luego la tercera grafica muestra el voltaje de una de las fases de la salida que va hacia la carga de la vivienda como se puede ver con facilidad que hay unas pequeñas interferencias en el momento que se conectan y desconectan las cargas adicionales en el tiempo de 0.4 y 0.67, en la cuarta grafica se aprecia la corriente que entra hacia la vivienda, al igual que en el caso anterior se nota que hay unos pequeños transitorios en el momento que se conecta y desconecta las cargas adicionales, como se puede visualizar en esta gráfica la demanda de potencia es mayor en otras palabras la corriente incrementa. Finalmente en la última grafica está la potencia que se consume en la vivienda en lo largo del día, es evidente que la potencia máxima es 4150 [W].

5.2 Segundo Caso: Carga Fija

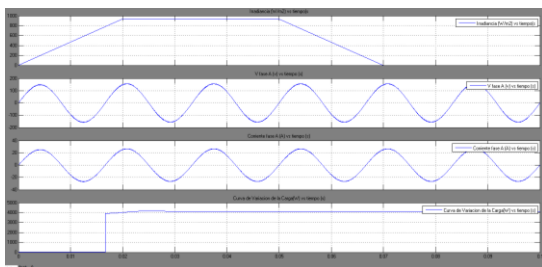


Fig. 13 Graficas Del Caso De La Carga Fija.

En este caso se puede visualizar la figura 13, en la primera grafica se observa la magnitud de la irradiación solar [w/m²] que hay en ese día como en el caso anterior de la carga variable, la siguiente grafica muestra el voltaje de una de las fases de la salida que va hacia la carga de la vivienda, como no hay variaciones de carga no se observa transitorios. En la tercera grafica está la corriente que se suministra a la vivienda a sí mismo es una señal libre de transitorios debido a que la vivienda maneja una carga fija,

en la última grafica está la potencia que se consume en la vivienda en lo largo del día, se nota que la potencia máxima es de 4150 [W] pero a diferencia de la figura 12 ésta tiene una potencia constante.

5.3 Tercer Caso: Batería Al 100%

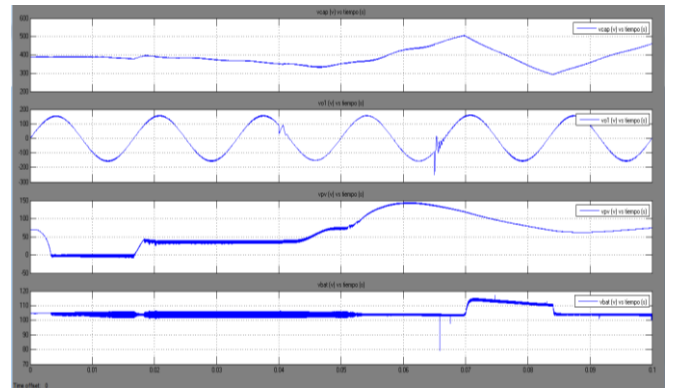


Fig. 14 Graficas De Los Voltajes [V] Vs El Tiempo [Seg] Con La Batería Al 100%.

En esta grafica de la figura 14 se muestra los siguientes voltajes [V] vs el tiempo [seg]:

v_{cap} = voltaje del súper capacitor de alta frecuencia, el cual mediante el controlador de voltaje se encarga de tener siempre energizada la barra sin importar los cambios que se tenga en la carga de la vivienda, en otras palabras no va dejar que caiga el voltaje para el inversor sin importar la potencia que demande la carga para mantenerla a esta siempre alimentada como se puede ver en la siguiente grafica del V_{o1} que no cae su voltaje.

V_{o1} = voltaje de salida de una de las fases, la otra fase de salida es similar, como se puede dar cuenta se tiene una señal de salida AC sinusoidal con un rango de ± 120 [Vrms], esto se debe a que en el sistema está incorporado un inversor.

V_{pv} = este es el voltaje del sistema fotovoltaico, tal como se aprecia en la gráfica el voltaje máximo es 150 [V] lo cual ocurre cuando la irradiación solar se mantiene constante todo este tiempo, hasta que la irradiación baja y el voltaje de salida del panel empieza a bajar su magnitud.

V_{bat} = magnitud del voltaje de la batería cuando se encuentra cargada al 100% lo que pasara es que esta no necesitara cargar porque ya está en el máximo hasta que sea necesario usarla.

5.4 Cuarto Caso: Batería 0%

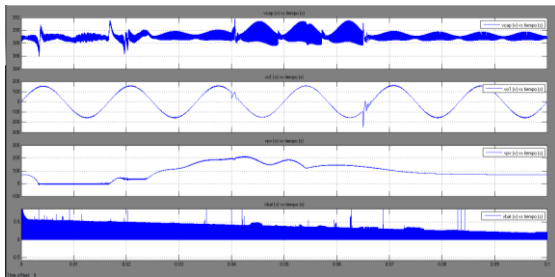


Fig. 15 Graficas De Los Voltajes [V] Vs El Tiempo [Seg] Con La Batería Al 0%.

En la figura 15 se muestran las gráficas de los voltajes vs tiempo cuando la batería se encuentra totalmente descargado 0%, en la segunda grafica se visualiza que a pesar de tener descargada la batería el voltaje de una de las fases de salida se mantiene con unos pequeños transitorios pero eso se debe a que la carga de la vivienda está aumentando o disminuyendo bruscamente.

En la figura 5.8 se observa que las dos primeras graficas son; el voltaje de la fase a y el voltaje de la fase b, en las cuales se nota una pequeña distorsión eso se debe al cambio brusco de la carga que demanda más corriente, este transitorio que no tarda mucho también se ve reflejada en las gráficas de la corriente de la fase a y la corriente de la fase b. En la última grafica se ve la potencia de la carga con la variación en el tiempo que aumenta o disminuye la carga de la vivienda.

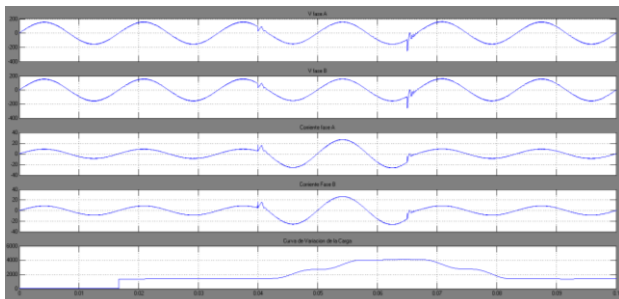


Fig. 16 Estado De La Carga Voltaje - Corriente - Potencia.

5.5 Carga Utilizada En El Sistema Híbrido

Saliendo del filtro se encuentra la carga de tipo variable como se puede visualizar en la figura 5.9, también se nota que es un sistema de 110 voltios AC / 220 voltios AC depende del uso que se le quiera dar al sistema híbrido, con la ayuda de un generador de pulsos como se muestra en la figura 48 se realiza que la vivienda simule una variación de la carga en el momento que el pulso sea alto se conecten las cargas en paralelo y cuando sea bajo el pulso se desconecten las cargas mencionadas anteriormente, y esto se hace para simular el encendido de los diferentes electrodomésticos a lo largo del día para obtener una potencia como la mostrada en la figura 19

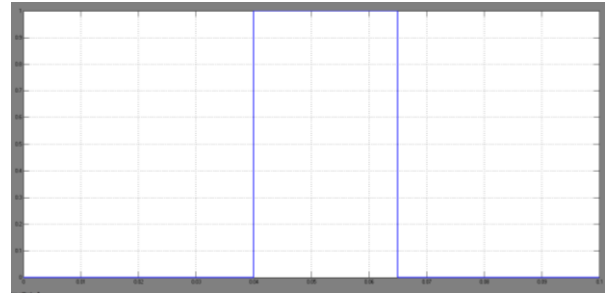


Fig. 17 Pulso Hecho Mediante El Generador E Pulso Para Variar La Carga.

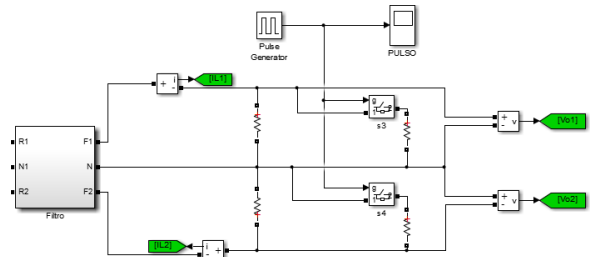


Fig. 18 Circuito De La Carga Variable De La Vivienda.

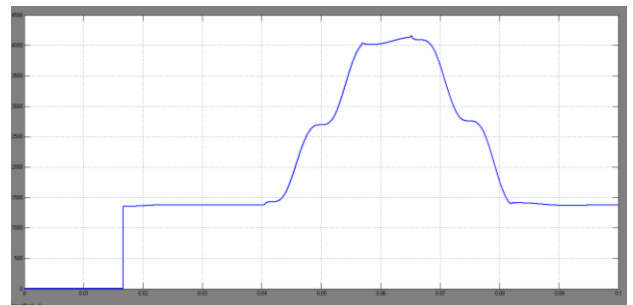


Fig. 19 Potencia De Salida.

6. Conclusiones

1. Se El Suministro Híbrido de Energía propuesta proporciona potencia suficiente para la demanda eléctrica de una carga (vivienda) durante las 24 horas del día en ausencia de la RED eléctrica.
2. El voltaje de salida que se obtiene para la carga es una señal sinusoidal sin transitorios esto se debe a que en el circuito se incorporó un filtro pasa bajo.
3. El análisis de las simulaciones demuestra que la potencia generada por las fuentes de energía renovable (panel solar, batería y celda solar) garantizan la estabilidad de la potencia entregada a la carga con un correcto funcionamiento de cada una de ellas.

4. El Sistema de Suministro de Energía Híbrido propuesto alarga la vida útil de los electrodomésticos de la vivienda, porque si ocurre un corte de fluido eléctrico permite seguir suministrando energía a la carga además de mejorar la calidad de energía que llega a los electrométricos ya que incorpora filtros.

7. Recomendaciones

1. Se recomienda que la instalación del Sistema Híbrido sea en un lugar adecuado para facilitar la instalación, el mantenimiento y a su vez sea seguro que no cualquiera tenga acceso a este sitio solo personas autorizadas, para evitar accidentes o daños a los dispositivos del sistema híbrido.

2. Se recomienda usar súper capacitores y súper inductores a la hora de implementar este sistema, porque se está usando alta frecuencia y los voltajes también son grandes, al igual que la corriente que pasan por estos elementos.

3. Se recomienda usar un filtro pasa bajo en el momento de la implementación para obtener una señal limpia libre de transitorios.

8. Referencias

[1] Dr. Pathiyamattom Sebastián, “DESARROLLO DE UN SISTEMA HIBRIDO SUSTENTABLE DE FOTOVOLTAICA-HIDROGENO-CELDA DE COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA”, <http://energia.fi-b.unam.mx:8090/proyecto16/proyecto.pdf> (fecha de consulta OCTUBRE/2014)

[2] Libro de Ciencia y Tecnología N°2, “Tecnologías solar-eólica-hidrógeno-pilas de combustible como fuentes de energía”, <http://www.relaq.mx/RLO/tutoriales/e-bookCyT2.pdf> (fecha de consulta OCTUBRE/2014)

[3] JESUS OBRERO, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica”, McGraw-Hill, <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf> (fecha de consulta OCTUBRE/2014)

[4] Henríquez Prevoo Christian Paúl, “REGULADOR DE PANEL SOLAR - BATERÍA - CARGA CON MICROCONTROLADOR PIC”, http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1383/IME_076.pdf?sequence=1 (fecha de consulta OCTUBRE/2014)

[5] MathWorks, SimPowerSystem, “Battery”, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html> (fecha de consulta NOVIEMBRE/2014)

[6] MathWorks, SimPowerSystem, “Solar cell”, <http://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ref/solarcell.html> (fecha de consulta NOVIEMBRE/2014)

[7] MathWorks, SimPowerSystem, “Full cell stack”, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/fuelcellstack.html> (fecha de consulta NOVIEMBRE/2014)

[8] Tostado Marcos, “Energía solar fotovoltaica”, www.lossabios.com/Documentos.../Energia-solar-fotovoltaica.doc (fecha de consulta NOVIEMBRE/2014)

[9] CODESO, “Cálculos para la electrificación solar”, <http://www.codeso.com/Calculo03.html> (fecha de consulta ENERO/2015)

[10] CONELEC, “Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica”, 2008, http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf (fecha de consulta ENERO/2015)

[11] PROVIENTO, “DATA SHEET PANEL FOTOVOLTAICO SIMAX”, <http://www.proviento.com.ec/> (fecha de consulta ENERO/2015)

[12] CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO, “PILAS DE COMBUSTIBLE”, <http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible/> (fecha de consulta ENERO/2015)

[13] PROVIENTO, “DATA SHEET BATERIA ULTRACELL”, <http://www.proviento.com.ec/> (fecha de consulta ENERO/2015)

[14] HORIZON FUEL CELL TECHNOLOGIES, “DATA SHEET H-1000 PEM FUEL CELL 1000W FCS-C1000”, <http://www.horizonfuelcell.com/#!h-series-stacks/c52t> (fecha de consulta ENERO/2015)

[15] Mohan N., Undeland T., Robbins W.; “Power Electronics Converters, Applications and Design”; John Wiley & Sons, Inc; New York 1995 (fecha de consulta MARZO/2015).

[16] Beldjajev Viktor; RoastoIndrek; “Dual Active Bridge Based Isolation Stage for Power Electronic Transformer” (fecha de consulta MARZO/2015).

[17] Krismer Florian, "Modeling and Optimization of Bidirectional Dual Active Bridge DC-DC converter topologies" (fecha de consulta MARZO/2015).

[18] Rashid Muhammad, "Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones", Pearson Education 3era Ed., México 2004 (fecha de consulta MARZO/2015).

[19] M Olmo R Nave, "Electrólisis del Agua" <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/electrol.html> (fecha de consulta MARZO/2015).