

TITULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL DIDÁCTICO PARA CONTROLAR ELECTRÓNICAMENTE EL SUMINISTRO EFICIENTE DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA.

AUTORES

Danilo Miguel Molina Villacís¹, Miguel Yapur Auad²

1. Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica 2000
2. Director de Tesis, Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983. Master en Ciencias de la Ingeniería Biomédica, Universidad de Texas en Arlington, 1986. Profesor de la ESPOL desde 1983.

RESUMEN

Se diseñó y construyó un prototipo experimental electrónico que permite trabajar con energías eólica y fotovoltaica simultáneamente para generar electricidad de uso doméstico.

El sistema sensa en todo momento el voltaje que están generando las fuentes fotovoltaicas y eólicas. El momento en que una de las fuentes alcance el voltaje suficiente para cargar las baterías ésta se activará; si las dos fuentes tienen capacidad de hacerlo, ambas se activarán; es decir, si existe suficiente luz solar se activarán los paneles solares; si hay viento lo hará el generador eólico y si se dan las dos condiciones se activarán las dos fuentes. Si ninguna puede hacerlo, en ese momento se activa la red eléctrica o un generador a diesel que se encuentra como fuente auxiliar.

Como parte complementaria de este trabajo se realizó también una recopilación de datos sobre radiación solar y velocidades de los vientos en las centrales del INAMHI (Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología) y en los aeropuertos de la DAC (Dirección de Aviación Civil) para escoger los lugares que presenten las mejores condiciones ambientales para la instalación del sistema.

INTRODUCCIÓN

Ante el encarecimiento de la energía eléctrica, el problema del estiaje, la contaminación proveniente de generadores a combustible y la gran cantidad de regiones rurales que se encuentran privadas de electricidad, se ha pensado en construir un prototipo experimental que permita aprovechar las energías renovables disponibles como son la energía solar y la eólica para generar electricidad para uso doméstico y residencial.

Se desea establecer la conveniencia de utilizar estas energías para conseguir un ahorro en el consumo de energía eléctrica proveniente de la red en lugares donde existen líneas de tendido eléctrico.

Permitirá dotar de energía eléctrica a aquellos lugares apartados que carezcan de líneas de distribución, para utilizarlos en iluminación de escuelas, dispensarios médicos, uso de bombas de agua, etc. Se desea establecer también las condiciones ambientales para que las energías alternativas reemplacen a la energía de la red y los lugares apropiados para instalar este sistema.

CONTENIDO

1. ENERGÍA SOLAR Y PANELES FOTOVOLTÁICOS.

1.1. Irradiación Solar en el Ecuador.

En el Ecuador las horas de máxima irradiación solar, varían de región a región. En la Costa es de 2.3 horas y en la Sierra es de 3 horas, en el Oriente existe mucha nubosidad casi todo el tiempo y no existen datos al respecto ⁽¹⁾.

Sobre la superficie del suelo incide 1 Kilowatio (kw) de energía solar por cada m². Los paneles solares tienen una eficiencia entre el 10% y los más modernos 25%. El panel solar utilizado en esta tesis marca Arco Solar modelo SX 110 tiene una eficiencia del 10%. Esto significa que se puede aprovechar únicamente 100 vatios de energía por m² por hora en 3 horas de máxima irradiación solar para obtener 300 vatios por día. ⁽²⁾

1.2 Costo del kilovatio hora obtenido de la energía solar en el Ecuador

Para poder dimensionar nuestra potencia solar instalada, debemos primero saber cuanta energía nosotros necesitamos y luego hacer los cálculos correspondientes.

La inversión inicial es alta, pero se amortiza con los años de servicio que van a rendir los paneles.

Tomemos un kilovatio- hora (kwh) por ejemplo:

Si tomamos un panel Arco Solar SX110, de 36 vatios y consideramos las 3 horas de máxima irradiación que indica el INE (Instituto Nacional de Energía); obtendremos:

$$\text{Energía} = 36 \text{ vatios} * 3 \text{ horas} = 108 \text{ vatios-hora por día.}$$

Para saber cuántos paneles necesitamos tenemos que dividir 1000 vatios para 108 vatios y obtenemos aproximadamente 10 paneles. Como cada panel vale \$330, la inversión es de \$3300.

Si tenemos 1 kilowatio por día y multiplicamos por 365 día del año tendremos:

$$1 \text{ kwh} * 365 \text{ días} = 365 \text{ kwh por año.}$$

Por 20 años de vida media de un panel solar obtenemos:

$$365\text{kwh /año} * 20 \text{ años} = 7300\text{kwh}$$

Si dividimos \$3299/7300 kwh obtendremos \$0.438/ kwh

Lo que significa \$0.438 por kwh.

2. LA ENERGÍA EÓLICA Y LOS GENERADORES EÓLICOS ELÉCTRICOS.

2.1. Curvas de potencia y ecuaciones de varios modelos de aerogeneradores.

El incremento de la potencia es en forma cuadrática, cuando llega a un máximo y luego empieza a decrecer. En cada curva se observa la velocidad a la cual se espera obtener la potencia nominal. Por debajo de esta velocidad la potencia obtenida será menor.

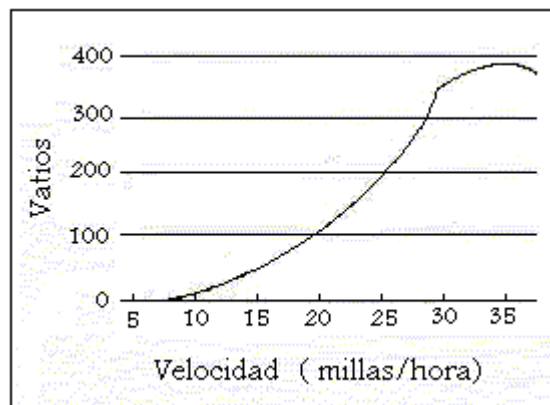


FIGURA 1
CURVA DE POTENCIA DE UN GENERADOR DE 300 VATIOS

La figura 1 corresponde a un modelo de 300 vatios, el cual alcanza su potencia nominal a los 12.5 metros por segundo y empieza a generar a los 3 metros por segundo. Su salida puede ser de 12 o 24 voltios d.c.

La ecuación característica de este generador es:

$$P(w) = (0.68)*(v-4.375)^2$$

Donde v es la velocidad expresada en metros por segundo.

A continuación podemos en la tabla I las ecuaciones para diferentes modelos:

TABLA I

ECUACIONES DE POTENCIA PARA VARIOS AEROGENERADORES.

Generador de 500 W	$(3.6)*(v-1.3)^2$
Generador de 600 W	$(5.4)*(v-1.3)^2$
Generador de 900 W	$(5.5)*(v-1.33)^2$
Generador de 1000 W	$(8.2)*(v-1.265)^2$

2.2. Determinación de las velocidades de vientos para las cuáles el kwh eólico es preferible sobre el fotovoltaico y sobre la red eléctrica.

Para velocidades superiores a los 2.2 m/s los generadores empiezan a funcionar, pero no están funcionando a su capacidad nominal sino a una mucho menor. Es importante conocer la velocidad de viento a la cual el kwh obtenido del generador eólico es más barato que el producido por paneles solares.

Si nos remitimos a la tabla II observamos los distintos tipos de generadores eólicos comerciales y varias velocidades de vientos. Si ubicamos un modelo y cierta velocidad obtenemos la salida en kwh por mes.

Tomamos la salida en kwh por mes y la multiplicamos por 12 meses al año y por 20 años de vida útil de un generador y obtenemos la cantidad total de energía que producirá este generador. La dividimos para el precio del generador y obtenemos el precio del kwh.

Del análisis de esta tabla concluimos que se necesita una velocidad mínima de 3.13 m/s para que el kilovatio hora eólico sea más barato que el solar.

Detallemos el análisis:

Si seleccionamos el modelo Whisper 600 de \$1190 y tomamos 3.13 m/s, en la tabla obtenemos 20 kwh por mes; luego lo multiplicamos por 12 meses y por 20 años.

$$20 \text{ kwh/mes} * 12 \text{ meses/año} * 20 \text{ años} = 4800 \text{ kwh}$$
$$\text{Si dividimos } \$1190 \text{ para } 4800 \text{ kwh tenemos:}$$
$$\$1190 / 4800 \text{ kwh} = \$0.247 / \text{kwh}$$

Como podemos ver el kwh es más barato que el obtenido del panel solar.

Si nos remitimos a la tabla II, buscamos al final cuando la velocidad es 7.15 m/s y analizamos el primer modelo, el Whisper 500, vemos que la energía obtenida es:

$$116 \text{ kwh /mes} * 12 \text{ meses/año} * 20 \text{ años} = 27840 \text{ kwh}$$

Si lo dividimos por \$1390 nos da:

$$\$1390 / 27840 \text{ kwh} = \$ 0.049928/\text{kwh}$$

Si tomamos el Whisper 4500, observamos que tiene 1070 kwh/mes entonces tenemos:

$$1070\text{kwh/mes} * 12 \text{ meses/año} * 20 \text{ años} = 256800 \text{ kwh}$$

Si dividimos \$5790 para 256800 kwh nos da:

$$\$5790 / 256800 \text{ kwh nos da } \$0.022546/\text{kwh}$$

Esto es, 563 sucres.

Para el primer modelo se obtiene este precio, para los modelos más potentes se obtienen precios mejores. Para velocidades mayores el precio disminuye aún más.

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ENERGÍA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA DE USO DOMÉSTICO.

3.1. Diseño del Circuito Seleccionador por jerarquía.

3.1.1. Criterios para determinar el orden de prioridad de las entradas de energía al circuito

El objetivo es controlar cual o cuales de las tres entradas (eólica, solar o eléctrica) es o son las que van a alimentar al banco de baterías. Lo que se persigue es que preferiblemente sean las entradas no convencionales las que carguen a las baterías. Esto es, si existe sol debe cargar el panel solar, si existe viento, debe cargar el generador eólico; si existen ambas deben cargar ambas; y si no existe ninguna de las dos, en ese momento y sólo en ese momento debe activarse la tercera entrada, o sea a la red o el generador a diesel.

Pero, ¿Cómo se consigue esto? Se lo verá a continuación.

3.1.2. Etapa de comparación de los niveles de voltajes de las fuentes eólica y solar.

Se comparan independientemente los voltajes que producen el generador eólico y el panel solar con un voltaje de referencia fijado en 13 voltios, porque es el apropiado para cargar las baterías.

El elemento de comparación usado es un amplificador operacional LM 741.

La salida de este operacional varía entre 0 y 22 voltios.

Cuando la entrada correspondiente a la energía no convencional está por encima de un valor determinado, que es el mínimo para que pueda cargar la batería de 12 voltios, la salida del operacional envía una señal alta de 20 voltios. Si éste se encuentra en algún momento por debajo de otro valor determinado hará que la salida conmute a 0 voltios. Esto se consigue utilizando el concepto de histéresis.

El voltaje de referencia se lo fijó con un diodo zener de 13 voltios y los voltajes de umbral se los fijó con las resistencias de 2k y 27k.

El voltaje de umbral superior se fijó en 14 voltios y el de umbral inferior en 12.6 voltios.

Cuando la fuente no convencional esté por encima de 14 voltios (voltaje de umbral superior), entonces enviará una señal de voltaje alto que irá a polarizar la compuerta G de un mosfet.

Se le ha agregado la histéresis para darle un rango de voltaje para conmutar y evitar que el circuito cambie brusca e innecesariamente su salida.

Como podemos apreciar, la fuente no convencional puede ser el generador eólico o el panel solar y llega al terminal positivo del amplificador operacional a través de la resistencia de 2k, mientras que al terminal negativo llega el voltaje de referencia que lo hemos fijado en 13 voltios.

El sistema está sensando a ambas fuentes en todo momento.

3.1.3. Etapa de selección de las entradas que alimentarán banco de baterías.

Las fuentes no convencionales están conectadas al banco de baterías a través de un transistor de efecto de campo, FET y de un diodo.

El papel del diodo es el de evitar que la corriente vaya de la batería a las fuentes y las pueda dañar.

El transistor FET en cambio funciona como un interruptor que puede estar según sea el caso en estado abierto o cerrado.

Cuando recibe una señal de voltaje alto en la compuerta G el transistor conduce, y cuando recibe una señal de 0 voltios o voltaje bajo no conduce.

Así podemos ver como las salidas de los amplificadores operacionales (opamp) están conectadas a las compuertas de sus respectivos transistores. Por ejemplo: la salida del opamp que sensa el voltaje producido por el generador eólico, está conectada a la compuerta del mosfet que permite que éste envíe corriente a las baterías.

Analicemos ahora lo que ocurre con la tercera entrada correspondiente a la red o a la planta de emergencia.

Debemos habilitar la red únicamente cuando las dos fuentes no convencionales no sean capaces de cargar a las baterías, esto es, cuando ambas salidas de los opamps sean cero. Si alguna de ellas llega a ser alta entonces no debe habilitarse la tercera entrada. Esto se consigue colocando un diodo después de cada opamp, uniéndolos luego y colocando a continuación un resistor a tierra. Cuando una de las dos señales o ambas sean altas, el voltaje en el resistor será alto y únicamente cuando ambas sean cero el voltaje en el resistor será 0.

El voltaje del resistor es el que se envía a la compuerta del mosfet que habilita la tercera entrada, pero hay que notar que este mosfet funciona de manera diferente a los anteriores. Este al recibir una señal baja permite el paso de corriente de la red a las baterías y al recibir una señal alta funciona como un circuito abierto. Este comportamiento es precisamente el que nosotros necesitamos y con esto completamos el sistema de jerarquía.

3.2. Regulación del voltaje para alimentar a la carga.

La regulación del voltaje se obtiene utilizando el banco de baterías ya que éste, aparte de almacenar la energía con una eficiencia del 80% es el mejor que existe y con él se protege el circuito contra posibles fluctuaciones de voltaje provenientes del molino de viento y de los paneles solares, ya que estas magnitudes son cambiantes. La batería que se uso es una de níquel cadmio de 12 voltios y 12 amperios-hora.

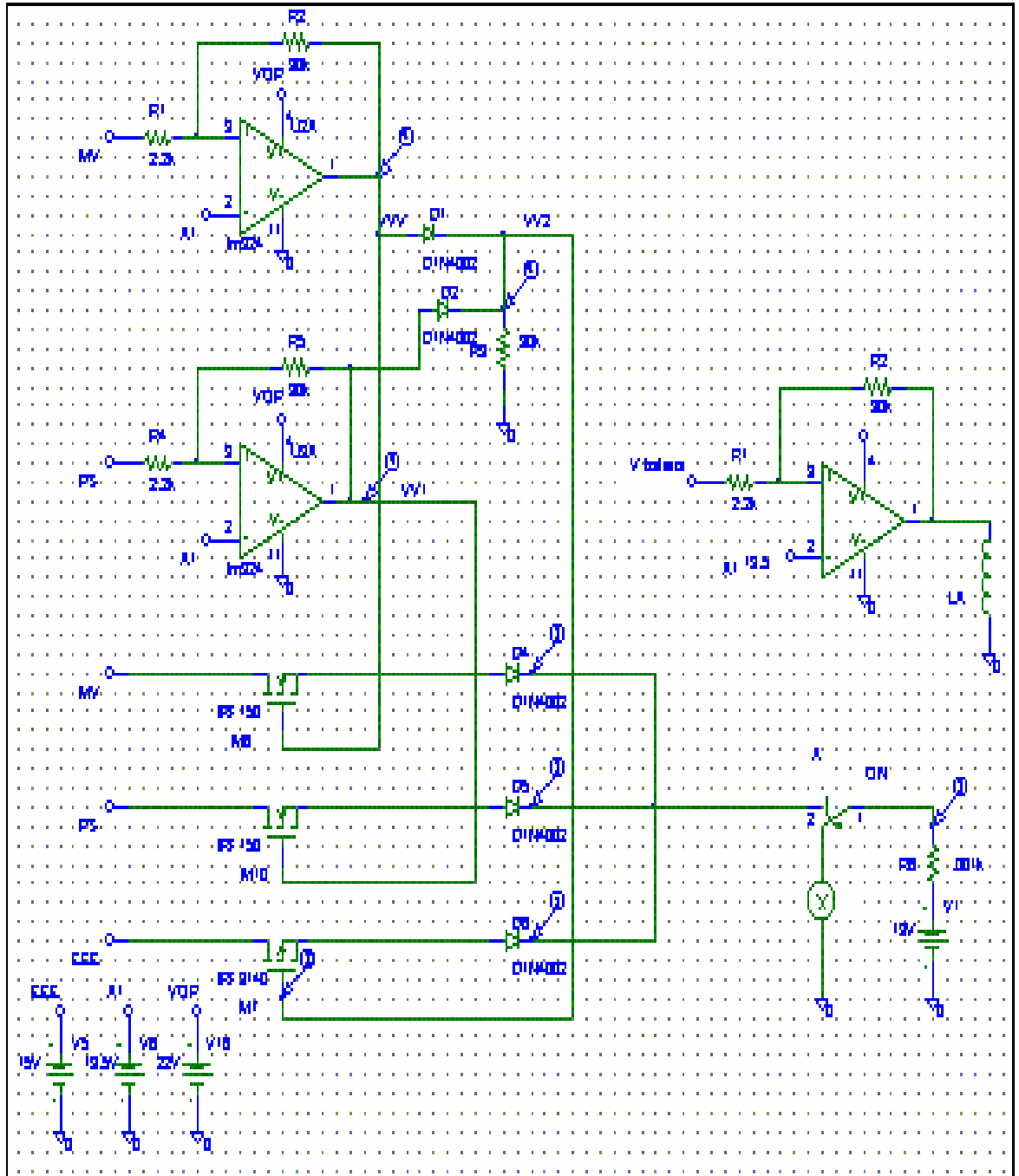


FIGURA 2

CIRCUITO DE SELECCIÓN DE LAS ENTRADAS QUE ALIMENTARAN AL BANCO DE BATERÍAS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Deben realizarse mediciones en el lugar donde se desea instalar el sistema para saber con qué velocidades de viento contamos y cuanta irradiación solar existe para conocer la cantidad de energía que se puede esperar obtener de cada una de las fuentes alternativas en dicho sitio.
2. En Ecuador las horas de irradiación solar máxima son aproximadamente 3 por día. Por este motivo el precio del kwh obtenido de los paneles solares será fijo y calculado a 20 años de vida útil dará \$0.45 el kwh.
3. Los paneles solares deben usarse para cargas pequeñas. El costo de instalación es de \$33 por kwh. En lugares donde el sol irradia más, tal como Sudáfrica el precio es de \$24 por kwh.
4. El precio del kw obtenido de la energía solar nunca podrá competir con el generado por las empresas eléctricas.
5. El precio del kwh obtenido de la energía eólica irá disminuyendo conforme aumenten la velocidad del viento y la potencia instalada.
6. Para lugares donde existen velocidades superiores a 3 m/s es preferible usar generadores eólicos, antes que paneles solares, puesto que el kwh costaría \$0.30, amortizado a 20 años; es decir, un precio mejor que el de los paneles solares. El costo de instalación sería de \$45 el kilovatio-hora.
7. Con velocidades de 4 m/s el costo de instalación sería de \$25 por kwh y amortizado a 20 años sería \$0,22 por kwh.
8. Cuando llegamos a velocidades de 7 m/s, el precio del kw obtenido iguala al generado por la empresa eléctrica y para sitios con velocidades superiores a 7 m/s, el kwh es más barato que el obtenido de la red.
9. Siempre será recomendable preferir la energía eólica sobre la energía solar porque el precio del kwh eólico es de menor precio.
10. En lugares con velocidades inferiores a 3 m/s debe utilizarse la energía solar y la entrada correspondiente a los generadores eólicos debe quedar deshabilitada.
11. Para mejorar el sistema se recomienda diseñar un inversor con un rango de voltajes de entrada entre 12 y 24 voltios para poder aprovechar al máximo la energía proveniente de las fuentes alternativas porque existen pérdidas en el regulador de voltaje utilizado actualmente. Al hacer esto, la energía de las fuentes no convencionales iría directo al inversor.
12. La iluminación debe hacerse directamente de las fuentes alternas o de la batería; es decir, con voltaje d.c. para evitar las pérdidas en el inversor.

REFERENCIAS

1. D. Molina, "Diseño y Construcción de un Prototipo Experimental Didáctico para Controlar el Suministro Eficiente de Electricidad a partir de Sistemas No Convencionales de Energía ." (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000).
2. I.N.E., Primeras Jornadas de Energía Solar del Ecuador, Quito, 1985, 356 p.