

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN AUTÓNOMO EÓLICO PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN EN ZONAS RURALES DEL CALLEJÓN INTERANDINO DEL ECUADOR

Escobar Cando Esteban Rafael, Ing. Acosta Freddy, Ing. Alvarez Jorge

*Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército  
Quito, Ecuador*

estebanescobar701@hotmail.com

**Resumen—** Este artículo describe el estudio de factibilidad de un sistema de electrificación autónomo eólico para sistemas de telecomunicación en zonas rurales del callejón interandino del Ecuador. En el análisis se han considerado aspectos de tecnología, cobertura, servicios e infraestructura. Estos datos servirán como base para el diseño de sistemas eólicos. El diseño piloto será el modelo para la réplica en las demás zonas rurales del callejón interandino.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el suministro de electricidad y de telecomunicaciones carece de acceso para varios números de personas. La mayoría de estas personas se centra en las zonas rurales aisladas, en las cuales no se han desarrollado proyectos viables para la electrificación de estas áreas, uno de los principales factores que inciden en esto, es la dispersión geográfica, el acceso y la escasez de recursos económicos.

En este contexto, el objetivo de esta tesis es analizar las variables, medios y procedimientos necesarios para hacer posible la ejecución e incluso la planificación de un sistema de electrificación autónomo eólico en las zonas rurales del callejón interandino. El cual se realizará por medio de un software llamado HOMER, al ser este el que nos permite obtener las mejores opciones que se van a utilizar en la ejecución del sistema. Finalmente, dicho software nos entregará resultados tanto económicos como de rendimiento del sistema eólico a implementarse.

## II. MODELAMIENTO DEL SISTEMA

El problema detectado en las zonas rurales, pertenecientes al callejón interandino, es que al ser sectores de bajos recursos no poseen servicios básicos, incluyendo las telecomunicaciones. Entre los principales problemas detectados, se puede mencionar que el escaso desarrollo y ejecución de proyectos direccionados a estas zonas, no ha dado una solución factible para contrarrestar la falta de electricidad, y además a esto, poder brindarles a los sectores rurales los servicios básicos y de telecomunicación que necesitan para mejorar su estilo de vida, por lo cual una de las mejores opciones es hacer un proyecto con energía eólica para aprovechar este medio que se encuentra en dicha zona como es el viento

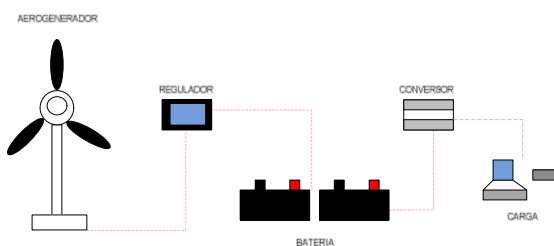


Fig. 1 Sistema Eólico

### A. Componentes

Un sistema eólico está formado por un aerogenerador el cual convierte al viento en energía eléctrica por medio de un convertidor, además que tiene un regulador y un banco de baterías.

### B. Sistema de Telecomunicaciones

Los Sistemas de Telecomunicaciones se refiere a la forma de conexión y flujo de datos conectados a un enlace. Existen sistemas de telecomunicaciones como Wifi, Wimax y CDMA450.



Fig. 2 Sistema de Telecomunicaciones

### C. Principales Estaciones Meteorológicas

Los principales estaciones meteorológicas son las cuales nos van a indicar en donde podemos realizar estudios de factibilidad para la realización de proyectos eólicos.

TABLA 1  
Estaciones Meteorológicas

Provincia	Número de Estaciones	Nombre de la Estación	Velocidad del Viento (m/s)
Canchi	3	Tulcán	2,70
		El Ángel	6,50
		San Gabriel	2,86
Imbabura	4	Atuntaqui	2,90
		Lita	2,88
		Inguincho	2,90
		Otavalo	2,56
Pichincha	6	Olmedo	5,03
		Tabacundo	4,06
		San Antonio	3,30
		Conocoto	3,86
		Palo Quemado	2,90
		Machachi	4,56
Cotopaxi	1	Cotopaxi	8,10
Tungurahua	1	Patate	3,76
Chimborazo	3	Guamote	4,20
		Pachama	3,50
		Tixán	
		Chunchi	3,43
Cañar	1	Cañar	4,53
Azuay	2	El Labrador	3,00
		Minas de Huascachaca	3,70
Loja	5	Saraguro	4,60
		La Toma	3,70
		Cotacocha	3,30
		Gonzanamá	3,00
		Cariamanga	2,53

### III. ANALISIS ECONOMICO

Dentro del análisis económico constan los costos de todos los equipos a utilizar en los radioenlaces, así como también el costo adicional que implica montar cada radioenlace. En la Tabla. 1 se indica el presupuesto total del proyecto.

TABLA 2  
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO

Descripción	Precio
Equipos	\$ 1360

Infraestructura	\$ 760
Transporte e Instalación	\$ 650
<b>Total</b>	<b>\$ 2790</b>

Los costos de equipos corresponden a los equipos de radio y de red de la solución radio con antena integrada, ya que esta es la más rentable según análisis costo/beneficio.

Los costos de infraestructura se refieren a la torre de 12 metros que deben ser instalados en la zona rural para la ubicación del aerogenerador.

Finalmente los costos de transporte e instalación para la realización del sistema.

### IV. DISEÑO DEL REGULADOR

En electrónica, un regulador de tensión o regulador de voltaje es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de voltaje constante.

Los reguladores electrónicos de tensión se encuentran en dispositivos como las fuentes de alimentación de los computadores, donde estabilizan los voltajes DC usados por el procesador y otros elementos. En los alternadores de los automóviles y en las plantas generadoras, los reguladores de voltaje controlan la salida de la planta. En un sistema de distribución de energía eléctrica, los reguladores de voltaje pueden instalarse en una subestación o junto con las líneas de distribución de forma que todos los consumidores reciban un voltaje constante independientemente de que tanta potencia exista en la línea.

#### A. Regulador Lineal

Un regulador lineal es un componente utilizado para mantener una tensión constante. La resistencia del regulador varía de acuerdo con la carga resultante en un voltaje de salida constante.

En contraste, el regulador de conmutación es nada más que un simple interruptor. Este interruptor enciende y se apaga a una tasa fija por lo general entre 50 kHz y 100 kHz según lo establecido por el circuito. El dispositivo de regulación se hace actuar como una resistencia variable, ajustando continuamente un divisor de tensión de red para mantener una tensión de salida constante. La ventaja principal de un regulador de conmutación sobre regulador lineal es su alta eficiencia, disipación de calor mucho menor y un tamaño más pequeño.

#### B. Regulador Conmutado

Los reguladores conmutados poseen propiedades que los hacen muy populares. Como el elemento de control, ya sea al corte o a la saturación, muy poca potencia es disipada en el mismo, aún cuando la diferencia de tensión entre la

entrada y la salida sea muy grande. Los reguladores conmutados operan a niveles de eficiencia mucho mayores que los lineales, generalmente en el orden del 80%.

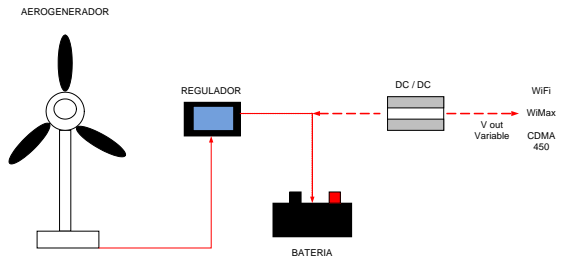


Fig. 3 Diseño del Regulador

## V. DISEÑO DEL SISTEMA

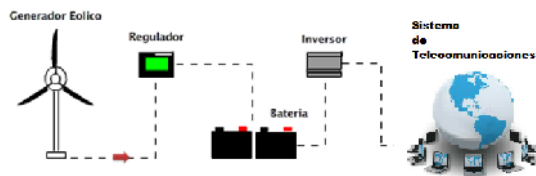


Fig. 4 Diseño del Sistema

La energía producida por el generador eólico se almacena en el banco de baterías. El generador eólico transforma la energía del viento en corriente directa a 12 o 24 voltios DC y se conecta directamente al banco de baterías. Posee un sofisticado regulador electrónico de voltaje que vigila permanentemente el estado de carga de las baterías, mantiene un riguroso control sobre su velocidad de giro y compensa las pérdidas de tensión en la línea de conducción.

Por lo cual se procedió a optar por los siguientes equipos, debido a sus características técnicas y económicas.

- Aerogenerador Zonhan ZH500W
- Batería sellada de Ciclo Profundo de 100Ah/12V MILLENIUM
- Regulador de carga Eólico 24V 700W Air-Dump CON DISIPADOR

## VI. DESARROLLO DEL SOFTWARE HOMER ENERGY Y DIMENSIONADO

- A. El Software se nos presenta como se indica en la Figura. 5

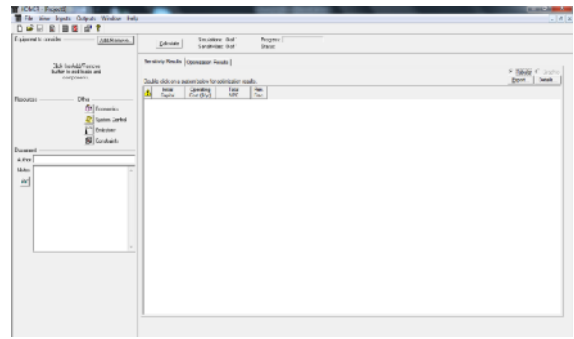


Fig. 5 Inicio del Software

- B. Procedemos a elegir los elementos con los cuales vamos a hacer nuestra simulación de un Sistema Eólico con el botón Add/Remove que se encuentra en la lado superior derecho como se indica en la Figura. 6.

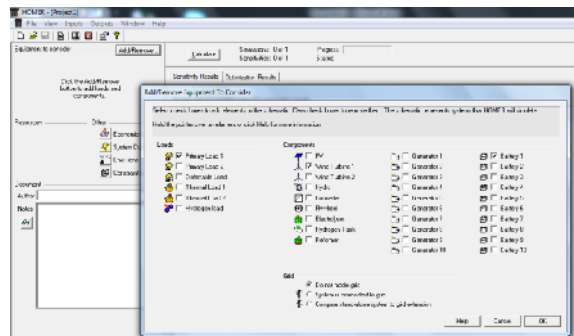


Fig. 6 Selección de Elementos

- C. Procedemos a la Configuración de cada elemento de nuestro sistema. Cabe recalcar que el software nos permite el ingreso de nuevos elementos como se muestra a continuación en la Figura. 7 y 8.

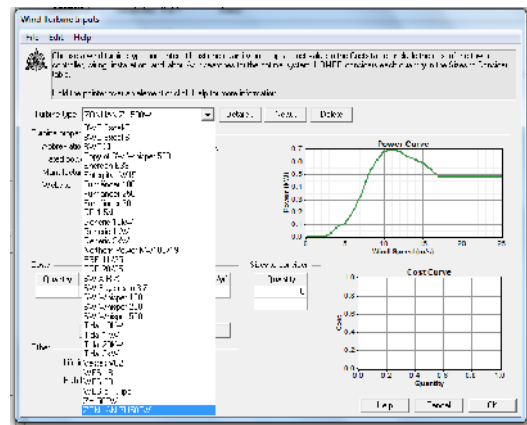


Fig. 7 Ingreso de Aerogenerador

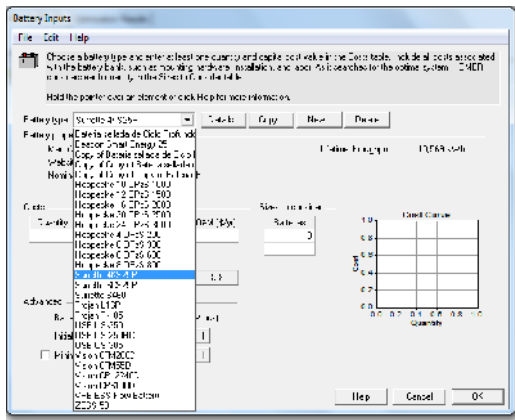


Fig. 8 Ingreso de Batería.

D. Al configurar la Carga Eléctrica debemos exponer cuanto consumo tendremos en un día aproximadamente y eso debe ser en KiloWattios (KW) como se indica en la Figura. 9.

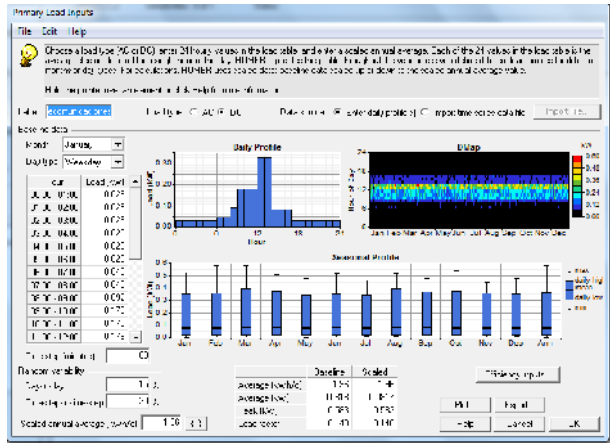


Fig. 9 Ingreso de Carga Eléctrica.

E. Procedemos a configurar la velocidad promedio del viento de la zona de interés es de 4,56 m/s, el cual se encuentra en la parte de los Resources, con la altura al nivel del mar como se indica en la Figura. 10, estos datos nos brinda el INAMHI con sus estaciones meteorológicas

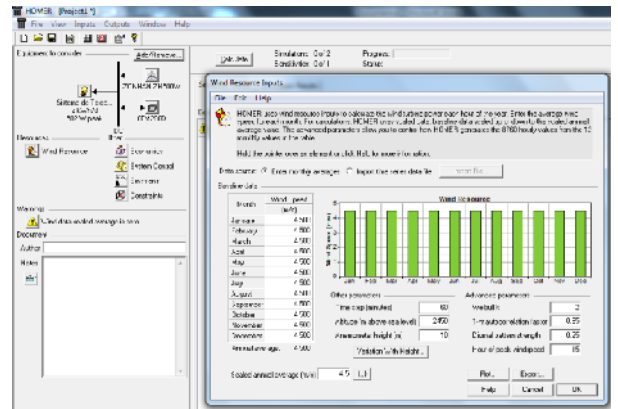


Fig. 10 Ingreso Recurso Eólico.

F. Al terminar de configurar tendremos ya nuestro sistema completo y listo para la simulación y cálculo de valores como se muestra a continuación en la Figura. 11.

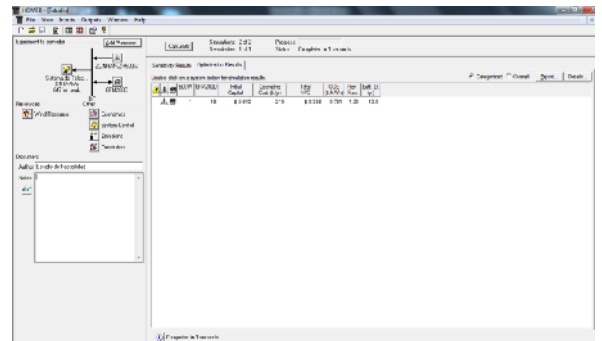


Fig. 11 Resultado del Software.

G. Al habilitar el botón calcular el simulador realiza todos los cálculos y necesidades de nuestro sistema. El primer resultado que nos muestra es el costo total de inversión que necesitará nuestro sistema para la realización e implementación del ser el caso como se indica en la Figura. 12. La columna verde es el valor comercial del aerogenerador y la azul el valor total del banco de batería

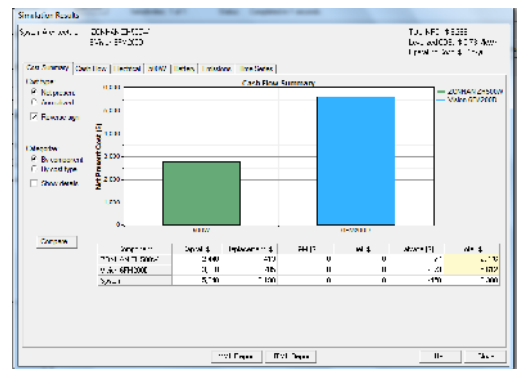


Fig. 12 Resultados de Costo.

H. En la Figura. 13 podemos observar como es el desarrollo de nuestro sistema en los años posteriores a la implementación, cada columna significa la inversión de capital que debe tener el sistema. La primera columna es el capital de inversión, la segunda columna representa el cambio de equipos a los 10 años, la tercera es el cambio del banco de batería a los 5 años posteriores, la cuarta es el cambio del todos los equipos al terminar su año de vida funcional y la última columna nos señala la recuperación de nuestro capital.

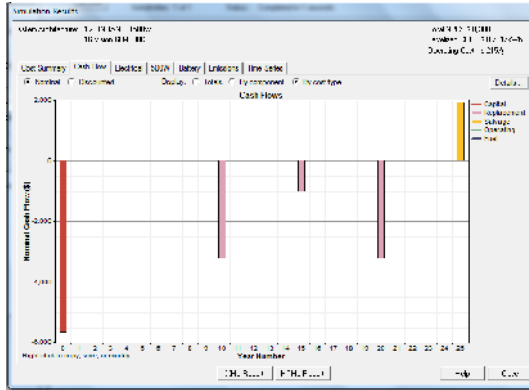


Fig. 13 Resultados Económico.

I. La Figura. 14 nos muestra el valor eléctrico y el desempeño de nuestro aerogenerador seleccionado al igual que el exceso de energía que tendríamos.

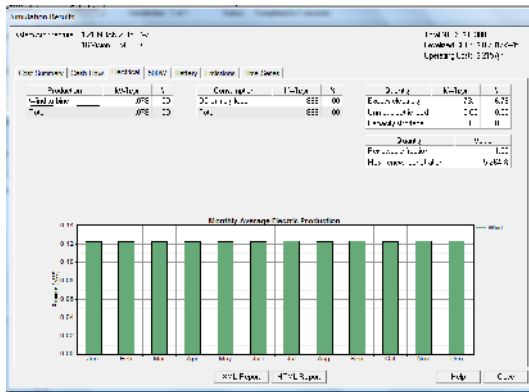


Fig. 14 Resultados de Exceso de Energía.

J. Por último tenemos el desempeño de las baterías que poseemos en nuestro sistema eólico como se muestra en la Figura. 15, la cual nos indica el tiempo de descarga y carga del banco de baterías, la cual podemos ver de mejor manera con la grafica de colores que nos indica teniendo el color rojo como la carga de la batería al 100% y el de color celeste como la carga al 60%.

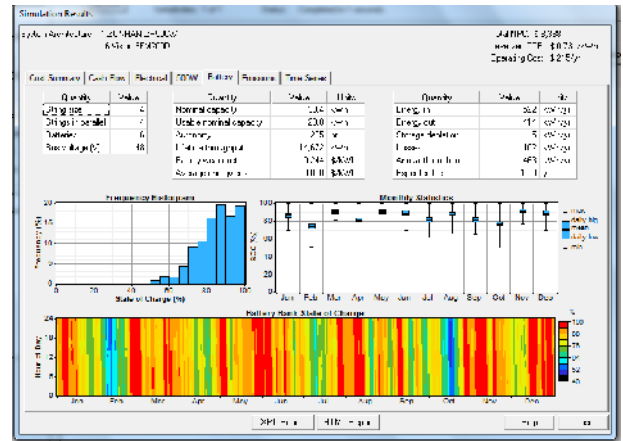


Fig. 15 Desempeño de la Batería.

## Análisis de Resultado

### Estudio Económico

A continuación hacemos un cálculo del costo de la inversión inicial como se indica en la Tabla. 3

Tabla. 3. Costo Inicial.

Para poder calpara poder calcular cuánto cuesta en

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
ZONHAN ZH500W	1	\$1700	\$1700
REGULADOR	1	\$690	\$690
BATERIAS	4	\$200	\$800
OTROS (Trasporte e instalación)		\$650	\$650
<b>Total</b>			<b>\$ 3840</b>

realidad operar un sistema debemos calcular la duración de cada equipo y el reemplazo quedando el costo anual como se indica a continuación en la Tabla. 4.

Tabla. 4. Costo Anual.

Equipos	Cantidad	Costo Unitario	Vida útil (años)	Subtotal	Costo anual
ZONHAN ZH500W	1	\$1700	15	\$1700	\$113
REGULADOR	1	\$690	5	\$690	\$138
BATERIAS	4	\$200	5	\$800	\$160
<b>Total</b>					<b>\$411</b>

El costo anual es el estimado del capital anual necesario para reemplazar los componentes del sistema una vez que estos agotan su vida útil.

#### **Exceso de Energía:**

El exceso de energía se puede observar en la Figura 14 y es 5.01W (6,68%) por lo cual el proyecto es eficiente, ya que no hay desperdicio de la energía generada, tomando en cuenta que es un sistema que no está conectado a la red.

#### **Batería:**

Se puede observar en la Figura 15 que el banco de batería está trabajando en un estado de carga entre el 100 y 60% teniendo en cuenta que su vida útil se ve afectada por motivo de encontrarse solo en estado de carga.

## VI. CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio de factibilidad, en el cual se pudo comprobar que en las zonas rurales del callejón interandino, es posible implantar un sistema de electrificación autónomo eólico por la velocidad favorable del viento, temperatura y altura.
- En el país, el campo de los sistemas eólicos no ha sido muy explotado, por lo tanto, a través del presente estudio de factibilidad se puede plantear, que en un futuro, se creen más proyectos de este tipo, al ser rentables y por el bajo costo de adquisición de equipos.
- Fue primordial el uso del software HOMER para el diseño del sistema y dimensionamiento del mismo, debido a que por el fácil manejo de sus herramientas nos permite sacar los resultados.
- La utilización del HOMER nos da como resultado un estudio económico más real y objetivo para la implementación de este sistema.
- Relacionando el regulador lineal con el regulador conmutado, se puede considerar que este último posee mejores características, al tener fuentes más livianas, de menor tamaño, alta eficiencia, alto rango de tensiones de entrada y menor costo en altas potencias.

## REFERENCIAS

- [1] Energía eólica en Ecuador, "CONTEXTO ENERGÉTICO ECUATORIANO", [http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos\\_La\\_Energia\\_Eolica\\_en\\_Ecuador\\_fa0ef98a.pdf](http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La_Energia_Eolica_en_Ecuador_fa0ef98a.pdf) , 7 de Julio del 2011.
- [2] La Electrificación rural en el Ecuador, [http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos\\_La](http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La)

[Electrificacion Rural en Ecuador\\_d6701fbc.pdf](#), 9 de Julio del 2011.

[3] Sistemas Eólicos para Generación de Electricidad, [http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small\\_wind/small\\_wind\\_guide\\_spanish.pdf](http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf), 14 de Julio del 2011.

[4]HOMER, <http://www.homerenergy.com/>, 18 de Julio del 2012.

## BIOGRAFÍA



#### **Escobar Cando Esteban Rafael**

Nació en el año 1986 en Quito Ecuador hijo de Esteban Escobar y Enma Cando, comenzó sus estudios en el jardín de infantes Marieta de

Ventimilla ubicado en Sangolquí en el Cantón Pichincha 1991. Al año siguiente comienza sus estudios primarios en la Escuela Giovanni Antonio Farina localizada en San Rafael en la cual realiza sus estudios entre los años de 1991 al 1997 en ese mismo año ingresa en el Colegio "COTAC" de la ciudad de Quito para cursar el bachillerato y obtener el Título de Físico Matemático.

Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE, en la facultad de Eléctrica y Electrónica especialidad Telecomunicaciones.