



**ISBN: 978-99961-50-13-5**

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE**

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO DE EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA  
GENERADA EN SISTEMA HIBRIDO  
EÓLICO-FOTOVOLTAICO**

SEDE Y ESCUELA PARTICIPANTE:

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

SEDE CENTRAL

DOCENTE INVESTIGADOR RESPONSABLE:

ING. RIGOBERTO ALFONSO MORALES HERNÁNDEZ

DOCENTE INVESTIGADOR PARTICIPANTE:

ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

SANTA TECLA, ENERO DE 2014





**ISBN: 978-99961-50-13-5**

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE**

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN APLICADA**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO DE EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA  
GENERADA EN SISTEMA HIBRIDO  
EÓLICO-FOTOVOLTAICO**

SEDE Y ESCUELA PARTICIPANTE:

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
SEDE CENTRAL

DOCENTE INVESTIGADOR RESPONSABLE:

ING. RIGOBERTO ALFONSO MORALES HERNÁNDEZ

DOCENTE INVESTIGADOR PARTICIPANTE:

ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

SANTA TECLA, ENERO DE 2014

**Rectora**

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

**Vicerrector Académico**

Ing. José Armando Oliva Muñoz

**Vicerrectora Técnica Administrativa**

Inga. Frineé Violeta Castillo

**Dirección de Investigación y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. David Emmanuel Ágreda

Lic. Ernesto José Andrade

Sra. Edith Cardoza

**Director Coordinar del proyecto**

Ing. Ricardo Salvador Guadrón

**Autores**

Ing. Rigoberto Alfonso Morales Hernández

Ing. Juan José Cáceres Chiquillo

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Elaborado por el Sistema Bibliotecario ITCA - FEPADE

**333.794 15**

**M828e** Morales Hernández, Rigoberto Alfonso

SV Estudio de eficiencia y calidad de la energía generada en sistema híbrido eólico-fotovoltaico / Rigoberto Alfonso Morales Hernández , Juan José Cáceres Chiquillo. - -1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2014.  
20 p. ; 28 cm.

ISBN: 978-99961-50-13-5

1. Energía eólica 2. Recursos energéticos renovables. 3. Energía solar - Investigaciones. I. Cáceres chiquillo, Juan José, coaut.  
II. Título.

El Documento **ESTUDIO DE EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA GENERADA EN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO - FOTOVOLTAICO**, es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA–FEPADE. Este informe de investigación ha sido concebido para difundirlo entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. El contenido de la investigación puede ser reproducida parcial o totalmente, previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE o del autor. Para referirse al contenido, debe citar la fuente de información. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores.

**Sitio web:** [www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)

Correo electrónico: [biblioteca@itca.edu.sv](mailto:biblioteca@itca.edu.sv)

Tiraje: 11 ejemplares

PBX: (503) 2132 – 7400

FAX: (503) 2132 – 7423

ISBN: 978-99961-50-13-5

Año 2013

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
ANTECEDENTES.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	5
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
OBJETIVO GENERAL .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>6</b>
<b>4. MARCO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>5. RESULTADOS:.....</b>	<b>16</b>
<b>6. PRESUPUESTO .....</b>	<b>17</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>9. GLOSARIO.....</b>	<b>19</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>19</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de incursionar en los temas de energías renovables, la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE ha desarrollado el presente proyecto de investigación aplicada para estudiar las condiciones eólicas y solares de nuestro país y obtener un provecho de ellas.

Con el Sistema Fotovoltaico - Eólico instalado en la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, y en funcionamiento; se hace necesario el estudio de la producción de energía eléctrica, así como la eficiencia del sistema con respecto a las variables físicas ambientales. Estas variables cambian de una ciudad a otra, aún dentro del propio territorio nacional.

En este proyecto se relacionan los parámetros eléctricos del sistema con las condiciones atmosféricas específicas del lugar de su ubicación: La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE - Sede Central - Santa Tecla.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Aunque los paneles y equipos de los sistemas fotovoltaicos presentan una tendencia a la reducción de costos y la tecnología de los sistemas fotovoltaicos, éste ya es comercial.

La inversión en estos sistemas es todavía considerable, esto hace necesario estudiar el potencial de producción de energía eléctrica en puntos específicos en nuestro país.

### **ANTECEDENTES**

En nuestro país se han realizado diversos estudios del potencial de la irradiación solar y del potencial eólico. Varias instituciones de educación superior u organizaciones públicas o privadas como la Universidad de El Salvador UES y la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” UCA han recabado y tabulado datos atmosféricos para la determinación de potencial de generación de energía eléctrica.

En el área eólica las contribuciones más importantes se limitan a estudios como el Wind Energy Potential Evaluation, SWERA, realizado en El Salvador con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN y la UCA.

### **JUSTIFICACIÓN**

El estudio de la eficiencia y producción de la energía eléctrica del sistema fotovoltaico y eólico permite una comparación de los costos de energía, en donde se presenta un panorama detallado de la producción con relación a factores ambientales determinantes de la producción energética.

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo General

- Implementar en el Laboratorio de Energías Renovables de ITCA-FEPADE, Santa Tecla un sistema de medición de parámetros; tanto eléctricos como ambientales, para la determinación de la eficiencia del generador fotovoltaico y eólico.

#### Objetivos Específicos

- Medir las variables atmosféricas relevantes en la producción eléctrica fotovoltaica y eólica, tales como irradiación, iluminación, velocidad del viento y temperatura.
- Determinar la energía disponible del arreglo de paneles fotovoltaicos.
- Calcular la eficiencia en la conversión de corriente directa a corriente alterna.
- Determinar la cantidad de energía eléctrica mensual en KW-h producida por el sistema fotovoltaico y eólico.

### 4. HIPÓTESIS

- Para las condiciones de temperatura de nuestro país, el cambio de esta variable no representa cambios significativos en la producción y eficiencia del sistema fotovoltaico y eólico.
- Los niveles de irradiación solar en nuestro país son óptimos.

### 5. MARCO DE LA INVESTIGACIÓN

El sistema fotovoltaico comprende 4 string (un string es un conjunto de paneles en serie) de 2 paneles haciendo un total de 8 paneles de 100 W cada uno. Cada string proporciona una corriente pico máxima de 5 A durante las 6 horas pico (9:30 de la mañana a 3:30 de la tarde) produciendo una capacidad total de  $5 \text{ A} \times 6 \text{ h} \times 0.81 = 24.3 \text{ A-h}$ , donde el valor 0.81 es un factor de pérdidas del panel fotovoltaico.

Ya que se cuenta con cuatro string, se tiene una capacidad diaria de  $4 \times 24.3 \text{ A-h} = 97.2 \text{ A-h}$  diariamente. Si multiplicamos esta capacidad en A-h por el voltaje de trabajo de 24 V obtenemos la energía producida por los paneles en corriente directa:  $24\text{V} \times 97.2 \text{ A-h} = 2332.8 \text{ W-h}$ .



En la conversión a corriente alterna el inversor presenta una pérdida de energía, en este sentido, la eficiencia del inversor DC-AC es de 0.9 lo que nos da una energía neta en AC de  $0.9 \times 2332.8 \text{ W-h} = 2099 \text{ W-h}$ . Aproximando y usando el prefijo kilo tenemos entonces una producción diaria de energía de 2.1 KW-h por día. En un mes se ha producido una energía total de  $2.1 \text{ KW} - \text{h} \times 30 \text{ días} = 63 \text{ KW-h}$ .

### **Variables físicas**

La estación meteorológica instalada en el Laboratorio de Energías Renovables permite la medición de la velocidad del viento, temperatura, iluminación, presión barométrica y acumulación pluvial.



Fig. 1. Estación meteorológica.

## Viento

Mediciones de velocidad del viento en las instalaciones de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FAPADE arrojan promedios de 0.8 m/s lo que se traduce en un bajo potencial eólico, ocasionalmente en los meses de noviembre a enero cuando ocurren frentes fríos o vientos nortes se llegan a velocidades pico de 7 m/s, que si bien es cierto es una cantidad no despreciable, la duración y frecuencia de estos picos es muy pobre, teniendo una duración promedio de 3 a 5 segundos, comparando con la gráfica de potencia vs. viento proporcionada por el fabricante del aerogenerador se observa que la mayor parte del año el aerogenerador no alcanza la velocidad mínima de generación de potencia.

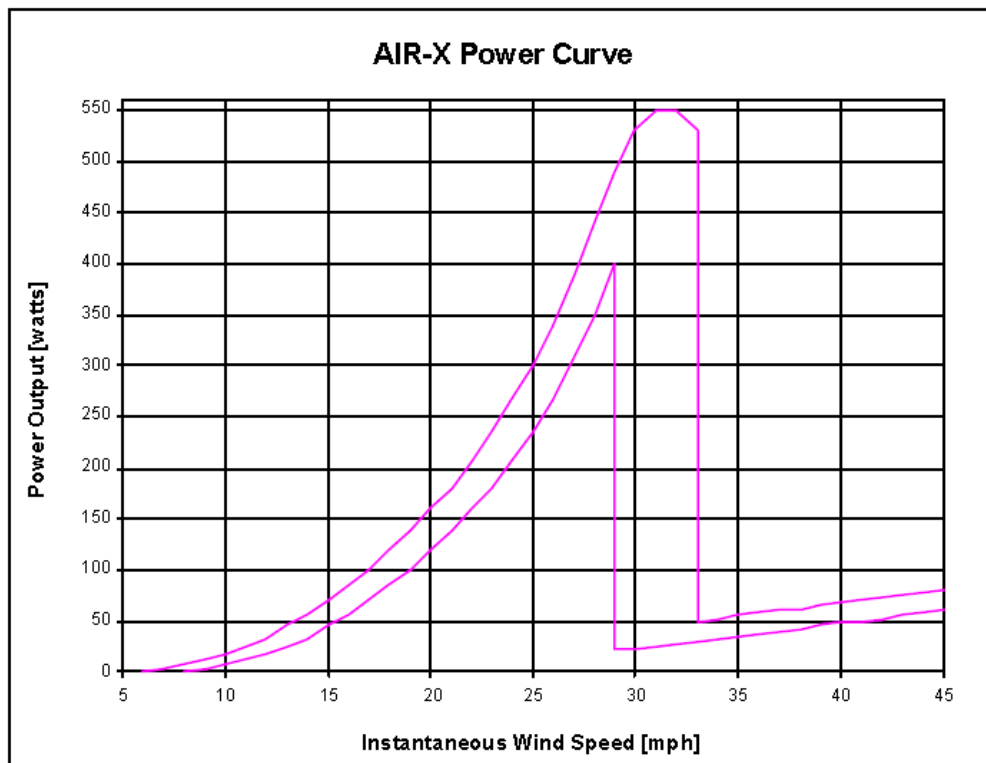


Fig. 2. Curva de Respuesta en Potencia del Aerogenerador instalado.

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Rotor Diameter:	46 inches (1.17 meters)
Weight:	13 lb. (6kg)
Start up wind speed:	7 mph (3.0 m/s)
Rated Power:	400 watts at 28 mph (12.5 m/s)

Regulator Set Range:           12v 13.6V – 17.0V preset to 14.1v  
  24v 27.2V – 34.0V preset to 28.2v

Recommended Fuse Size:       12v - 50 amps slow-blow  
  24v - 30 amps slow-blow

La siguiente gráfica muestra las lecturas de viento en un día con vientos nortes moderados, en donde puede observarse una baja intensidad pero alta frecuencia de las ráfagas de viento.

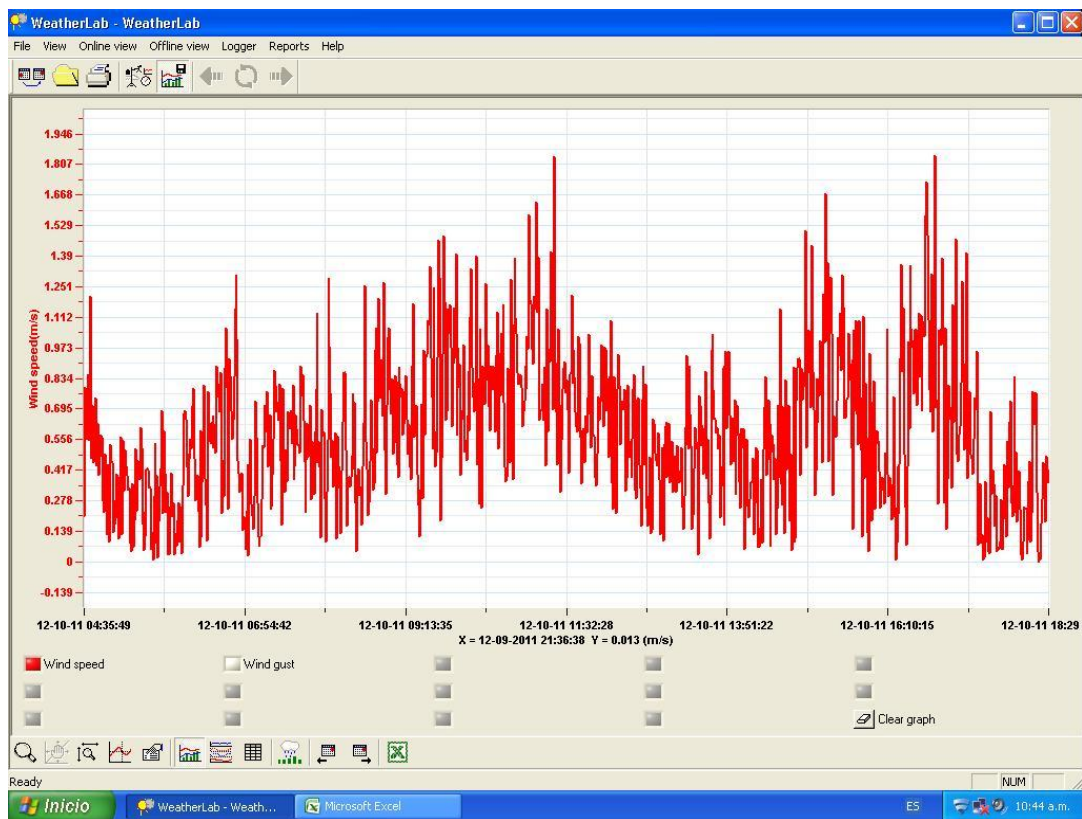


Fig. 3. Lecturas de viento de la estación meteorológica de ITCA-FEPADE.

Según el Consejo Nacional de Energía (CNE), la mayor parte del territorio nacional cuenta con poco potencial eólico con potencias menores a 200 W por metro cuadrado en torres de 30 metros de altura desde el suelo (Documento: The Project for Master Plan for the Development of Renewable Energy in the Republic of El Salvador Final Report, realizado por: JICA en el año 2012).

El Salvador no cuenta con zonas de altas velocidades de viento; las más altas estarían en la parte central norte con velocidades de 5 a 6 m/s. Existen algunos sitios en la zona occidental del país con valores altos de potencia y velocidad, por lo que no se descarta la colocación de aerogeneradores de gran potencia, en alturas superiores a los 50 msns. (Documento: Estimation of the solar and wind energy potentials of El Salvador <<Evaluación del Potencial Eólico y Solar en El Salvador>>, realizado: por UCA, MARN y SNET en el año 2005).

### **Producción solar y eficiencia de los módulos fotovoltaicos**

La energía proveniente del sol que incide sobre la superficie terrestre es de 1000 W por metro cuadrado, pero la eficiencia de los módulos o paneles fotovoltaicos es de aproximadamente un 15%. (Con esta eficiencia, la potencia lograda es de 150 w / m<sup>2</sup>, es decir; que se necesitan aproximadamente 7 metros cuadrados para obtener los 1000 Watts). Contando con un promedio anual de 5.9 horas efectivas de sol diarias tenemos una potencia del sol diaria de 5900 W por metro cuadrado o 5.9 KW por metro cuadrado. Así, las características de la región permiten obtener mucha energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos.

El parámetro estandarizado para clasificar la potencia de los paneles fotovoltaicos se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25°C (no temperatura ambiente).

En El Salvador el promedio anual de radiación solar es de 5 KW – hora / metro cuadrado. Obteniéndose la máxima radiación (5.9 KW-h / metro cuadrado) durante los meses de julio y agosto cuando el sol se encuentra perpendicular a la superficie de nuestro territorio.

Los valores mínimos de radiación se encuentran en los meses de diciembre y enero cuando los días son más cortos y el sol se ubica mayormente hacia el sur.

### **Cálculo de la irradiación solar diaria**

Es posible calcular la irradiación directa para cada día específico según el número del día del año y el ángulo de la posición de latitud del sol. Con las siguientes fórmulas

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365}(n - 81) \right]$$

Inclinación solar

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta$$

Angulo latitud de sol

$$\text{Air mass ratio } m = \frac{1}{\sin \beta}$$

$$A = 1160 + 75 \sin \left[ \frac{360}{365}(n - 275) \right] \quad (\text{W/m}^2)$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[ \frac{360}{365}(n - 100) \right]$$

$$I_B = A e^{-km}$$

Fórmulas tomadas del manual Renewable and Efficient Electric Power Systems Gilbert M. Masters ( John Wiley & Sons.,Publication) 2004 USA.

Donde;

- **L** es la inclinación solar es el ángulo formado entre el plano del ecuador y una línea trazada desde el centro del sol al centro de la tierra.
- **m** es la relación de masa de aire (es una medida de la porción de atmósfera que deben atravesar los rayos solares. Con el sol directamente vertical  $m = 1$  y fuera de la atmósfera  $m = 0$ ).
- El ángulo de latitud del sol  $\beta_N$  es el ángulo entre el sol y la horizontal local directamente bajo el sol a mediodía.
- **k** es la profundidad óptica.
- A** es el flujo aparente extraterrestre.
- **I<sub>B</sub>** es la radiación directa en  $W / m^2$ .

Por ejemplo, para la fecha de 5 de diciembre (día  $n = 339$  del año),  $L = 13.4$  grados en el norte y aplicando estos datos en las fórmulas anteriores obtenemos los siguientes valores:

Inclinación solar  $d = - 10.5^\circ$  (el signo  $-$  significa que el sol se encuentra mayormente en el hemisferio sur).

$$\beta_N = 66.1 \text{ grados}$$

$$m = \frac{1}{\text{sen } 66.1^\circ} = 1.09$$

$$A = 1226.89 \text{ W/m}^2$$

$$K = 0.145$$

$$I_B = 1,047 \text{ W/m}^2$$

Si asumimos 5 horas pico de sol, tenemos entonces un valor de  $5,235 \text{ W/m}^2$

La irradiación solar incidente a un panel fotovoltaico está compuesta de la combinación de los rayos directos, la irradiación difusa debido a las nubes y la irradiación reflejada. El cálculo anterior es solamente para la irradiación directa.

### **Inclinación de Paneles fotovoltaicos**

Por otra parte, éstas ecuaciones facilitan encontrar la inclinación óptima de los paneles en cada día.

Inclinación =  $90 - \beta_N$  que para el día 339 nos da un ángulo de 23.9 grados respecto al plano horizontal local y el panel apuntando hacia el sur.

Una mayor eficiencia de los paneles se logra orientando el panel diariamente siguiendo la posición del sol, pero esto requiere de un sistema complejo que necesita energía (reduciendo la productividad y requiriendo un mantenimiento periódico debido a las partes mecánicas móviles). Así que en promedio, orientando el arreglo de paneles con una inclinación igual a la latitud local, que es de 13.4 grados para El Salvador, se obtiene una valiosa regla para conseguir una buena producción anual de energía.

Nuestro país se encuentra a una latitud y longitud de  $13^\circ 42' \text{ N}$ ,  $89^\circ 11' \text{ W}$  respectivamente (distancia angular de un punto medida desde el Ecuador y meridiano de Greenwich). Lo que representa una posición casi perpendicular con respecto a las diferentes posiciones del sol, aún en las posiciones máximas como en el solsticio de invierno (punto máximo en el sur, 21 de Diciembre) y en el solsticio de verano (punto máximo en el norte, 21 de Junio).

## Irradiación Promedio

Utilizando el Software FV-Expert podemos encontrar la irradiación promedio diaria, en los meses de enero a diciembre con una inclinación de paneles a 14 grados:

MES	Irradiación KW/h
ENERO	5.641
FEBRERO	5.95
MARZO	6.347
ABRIL	5.799
MAYO	5.489
JUNIO	4.831
JULIO	5.912
AGOSTO	5.799
SEPTIEMBRE	5.015
OCTUBRE	5.359
NOVIEMBRE	5.693
DICIEMBRE	5.784

Tabla 1. Irradiación diaria promedio por mes en Santa Tecla con inclinación de 14 grados.

Así, nuestro país goza de una posición privilegiada en el globo terráqueo para el aprovechamiento de la energía solar, y no es necesario construir un sistema automatizado para el movimiento de los paneles en el seguimiento de la posición del sol.



Fig. 4. Lectura de Irradiación solar.

## Temperatura

La temperatura es un factor crítico en la eficiencia de los paneles solares siendo más eficientes cuanto menor sea la temperatura. Los datos o especificaciones técnicas de los paneles se realizan a 25 grados centígrados. En este aspecto el país también presenta una posición privilegiada, ya que según el SNET el promedio de temperatura media es de 23.6 grados centígrados. Mediciones diarias de temperatura en ITCA-FEPADE, Sede Santa Tecla a la sombra muestran una temperatura promedio de 26 grados centígrados al mediodía y permanece casi constante durante todo el año. La colocación de los paneles en la estructura permite el flujo de brisa por debajo de los mismos, propiciando una baja temperatura y una alta eficiencia en la producción fotovoltaica.

## Eficiencia en la conversión DC a AC

Los inversores o convertidores de la tensión DC de las baterías a voltaje AC similar al entregado por las compañías distribuidoras son del tipo de conmutación a alta frecuencia y de alta eficiencia, debido a los modernos componentes de potencia de conmutación electrónica.



El cálculo inicial de los sistemas fotovoltaicos asume una eficiencia conservadora de 0.85 y el diseño del sistema en ITCA-FEPADE partió de ésta suposición.

Se realizaron las siguientes mediciones en el sistema instalado, en uno de los dos inversores de 600 Watts (marca SAMLEX).



Fig. 5. Inversor 24 VDC a 120 VAC onda senoidal pura Samlex de 600 Watts

ENTRADA DC:

Voltaje DC: 27.4 V

Corriente DC : 11.37A (la corriente se obtuvo, midiendo la caída de voltaje de una resistencia de bajo valor.)

Potencia entregada por las baterías  $P_{\text{Bat}} = V \times I = (27.4 \text{ V}) \times (11.37 \text{ A}) = 311.54 \text{ Watts}$

SALIDA AC DEL INVERSOR:

A la salida se toma la lectura de un vatímetro (marca KillaWatt) que indica la potencia real tomando en cuenta internamente los efectos del factor de potencia, indicando una potencia útil de 283.5 Watts, con cargas de luminarias del laboratorio.



Fig. 6. Vatímetro utilizado en las pruebas.

La figura 6 muestra el modelo de vatímetro utilizado para la medición de potencia real, éste es capaz de medir voltaje, corriente, potencia real consumida, factor de potencia y energía consumida durante un período de tiempo.

Así, la eficiencia del inversor será:

$$\text{Eficiencia del Inversor} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia de Entrada}} = \frac{283.50}{311.54} = 0.91$$

$$\text{Eficiencia del Inversor} = 91\%$$

En otras palabras, de 100 W entregados al inversor se pierden en calor en la conversión solamente 9 Watts. Estos cálculos demuestran la gran eficiencia de los inversores DC a onda senoidal pura. Las especificaciones técnicas del manual de este inversor indica una eficiencia del 95%.

## 6. RESULTADOS:

- Estación meteorológica instalada con software Weather Lab, para la medición de variables atmosféricas, en la computadora del Laboratorio de Energías Renovables de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

- Memoria de cálculo de la energía disponible en el sistema de paneles fotovoltaicos y la eficiencia en la conversión de corriente directa a corriente alterna.
- Determinar la cantidad de energía eléctrica mensual en KW/h producida por el sistema fotovoltaico y eólico.

## 7. PRESUPUESTO

<b>Cant.</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio total</b>
3	Unidad	Baterías de 100 AH a 12 V (Ciclo profundo)	135.00	405.00

**SUBTOTAL \$ 405.00**

Ejecutado con estudiantes:

<b>Cant.</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio total</b>
1	Unidad	Batería 12V, para estación meteorológica	20.00	20.00
1	Conjunto	Herrajes para montaje de estación meteorológica	35.00	35.00

**SUBTOTAL \$55.00**

Inversión total del proyecto: **\$ 460.00**

## 8. CONCLUSIONES

- Dada la ubicación geográfica de nuestro país; cercana al Ecuador, el valor de la irradiación solar ronda los parámetros ideales, esto se traduce en un alto potencial de energía fotovoltaica que puede ser ampliamente aprovechada.
- El estudio SWERA realizado por UCA, MARN y SNET, sugiere que en materia de energía eólica para aprovechar el potencial de producción de esta energía, los aerogeneradores deben situarse a más de 50 msns.
- Mediante las pruebas realizadas y la investigación, se calculó la eficiencia en el proceso de conversión de corriente directa a corriente alterna.
- Se logró la medición de variables atmosféricas, relevantes en la producción eléctrica fotovoltaica y eólica, tales como irradiación solar, velocidad del viento y temperatura.
- Se determinó que los cambios de temperatura entre las estaciones de invierno y verano no provocaron cambios apreciables en la generación fotovoltaica, no así en la generación eólica, ya que las bajas temperaturas son producto de los frentes fríos, los cuales se acompañan de vientos que significaron un aumento de la generación de energía eólica.
- Se observó que los niveles de irradiación solar superan en las horas del mediodía los  $1000 \text{ W/m}^2$ , el cuál es el parámetro estándar óptimo para la generación fotovoltaica. La irradiación solar no afectó la generación eólica.
- Exceptuando las temporadas de frentes fríos y/o vientos nortes, los niveles de velocidad del viento se mantuvieron por debajo del mínimo para el arranque del aerogenerador (3 m/s). En las temporadas de vientos, las ráfagas superaron los 7 m/s, haciendo funcionar el aerogenerador, pero su frecuencia y duración no es la suficiente para sustentar la recarga de baterías. Sin embargo, las mediciones y conclusiones de este proyecto efectuadas a 12 msns, no descartan la posibilidad de implementación de parques eólicos de mediana y gran escala, en el orden de 80 msns.
- Se determinó el ángulo óptimo de inclinación para los paneles fotovoltaicos.
- Se determinó la cantidad de energía eléctrica mensual en KW/h producida por el sistema fotovoltaico y eólico.
- A partir de las mediciones realizadas con los módulos fotovoltaicos y las mediciones del aerogenerador, se observa una mayor producción de energía fotovoltaica comparada con la proporcionada por el sistema eólico.

## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el aprovechamiento del nivel de energía disponible en el Laboratorio de Energías Renovables de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, pueda extenderse el sistema de iluminación para la zona externa al laboratorio.

## 10. GLOSARIO

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

msns: metros sobre el nivel del suelo, es la altura medida sobre el nivel del suelo, expresada en metros.

SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

String: Conjunto de paneles fotovoltaicos de las mismas características conectados en serie.

SWERA: Solar and Wind Energy Potential Evaluation: Evaluación del Potencial de Energía Solar y Eólica.

UCA: Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Masters, Gilbert M.

Renewable and Efficient Electric Power Systems.

Editorial John Wiley & Sons Inc.

Estados Unidos, 2004.

[2] Japan International Cooperation Agency (JICA)

Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables en la República de El Salvador.

El Salvador, 2012.

[3] Ayala, Mauricio. Sánchez, Ismael. Escalante, Arturo. Marroquín, William.  
Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador.

UCA

[http://cef.uca.edu.sv/descargables/proyectos/UCASolarAssessment\\_es\\_206.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/proyectos/UCASolarAssessment_es_206.pdf)

El Salvador, 2005.

[4] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Boletín Climatológico Anual.

MARN

<http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/climatico+anual/>

El Salvador, 2012.

# **Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE**

## **VISIÓN**

**Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.**

## **MISIÓN**

**Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial tanto como trabajadores y empresarios.**

## **VALORES**

- Excelencia**
- Espiritualidad**
- Comunicación**
- Integridad**
- Cooperación**

# Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

República de El Salvador en la América Central

## FORMANDO PROFESIONALES PARA EL FUTURO



Nuestro método “APRENDER HACIENDO” es la diferencia

[www.itca.edu.sv](http://www.itca.edu.sv)