

Mario Santizo, PhD, MEng<sup>1</sup>

## RESUMEN

Guatemala es un país ubicado en la región Centroamericana. A nivel mundial, es considerado un "país en vías de desarrollo". Esto puede ser fácilmente comprensible si se observa que el 10.42% de habitantes en Guatemala no cuentan con acceso a la red eléctrica nacional.

En algunos casos las comunidades son tan pequeñas y están tan lejos de la red eléctrica nacional que es probable que la electrificación no llegue a estos lugares en varios años. En otros casos, las personas son tan pobres que no pueden pagar la conexión a la empresa eléctrica incluso si la misma se encuentra a una distancia relativamente pequeña o bien no pueden pagar la cuota mensual por concepto de electricidad.

Estas comunidades aisladas por lo general están conformadas por un número reducido de familias. Estas familias están localizadas a gran distancia de la red eléctrica nacional. Para las empresas distribuidoras de energía eléctrica les resulta poco rentable construir grandes redes de transmisión eléctrica para atender un mercado reducido de familias.

Por consiguiente, debido a este factor económico, es probable que estas familias pasen muchos años más sin acceso a la red eléctrica nacional.

Por esta razón, se considera la utilización de fuentes alternas de energía como la energía

eólica y solar para proveer de electricidad a estas familias aisladas.

Guatemala tiene condiciones ideales para la utilización de sistemas de generación eléctrica por medio del aprovechamiento de la energía eólica y solar.

Uno de los problemas más grandes que se enfrentan al considerar la energía eólica como fuente de energía es el hecho que en Guatemala no se cuenta con estudios sobre el potencial eólico existente y esto genera incertidumbre con relación a la cantidad de energía que se puede esperar del sistema. Por el contrario, con la energía solar se cuenta con mapas de radiación solar de todo el país. Debido a estas razones se considera para este proyecto la utilización de un sistema híbrido eólico/solar para la generación de energía eléctrica en una comunidad aislada de la red eléctrica nacional.

La investigación se limita a determinar cuáles son las especificaciones que debe de tener un sistema híbrido eólico/solar para brindar electricidad (iluminación y fuerza básica) a una familia de ocho personas ubicada en la Aldea Los Llanos del municipio de Santa Elena Barillas, Guatemala.

**Palabras claves:** energía eólica, energía renovable. Celdas fotovoltaicas, aerogeneradores y viento.

## ABSTRACT

Guatemala is a country located in Central America. Worldwide, Guatemala is still

considered a "developing country". This can be easily understood by noting that the 14 million

---

<sup>1</sup>PhD en Eficiencia Energética, MEng. En Energía Renovable y Eficiencia Energética. Consultor centroamericano en Eficiencia Energética. Ha laborado en Organismos Internacionales; Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial y ha dirigido proyectos de la Comisión Europea. Con Registro Nacional de Investigadores RNI código 472. Ha dictado 32 cursos diferentes en Universidades y 10 seminarios a nivel de centroamérica y Panamá dirigidos a Gerentes de Planta y Producción. email [proenergia.com@gmail.com](mailto:proenergia.com@gmail.com)

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

that Guatemala currently has 2 million inhabitants have no access to the national grid. In some cases, the communities are so small and so far from the national grid electrification is not likely to reach these places in years. In other cases, people are so poor they cannot pay for connection to the utility even if it is within a relatively short distance or cannot afford the monthly payment on account of electricity.

These isolated communities are usually formed by a small number of families. These families are located far away from the national grid. For electricity distribution companies find it unprofitable to build electricity transmission grids to address a small market of families. Therefore, due to this economic factor, it is likely that these families to spend many more years without access to the national grid.

For this reason, we consider the use of alternative energy sources such as wind and solar energy to provide electricity to these isolated families. Guatemala has ideal

conditions for the use of electric power systems using wind and solar energy.

One of the biggest problems faced when considering wind power as energy source is the cause that in Guatemala there are no studies on the existing wind potential, and this leads to uncertainty regarding the amount of energy that can be expected from system. By contrast with solar energy with solar radiation maps from around the country.

For these reasons this project is considered for the use of a hybrid wind / solar power generation in an isolated community of the national grid.

The investigation was limited to determine the specifications that must have a hybrid wind / solar to provide electricity (lighting and basic strength) to a family of 8 persons located in the village of Los Llanos in the municipality of Santa Elena Barillas, Guatemala.

**Keywords:** wind energy, renewable energy. Photovoltaic cells, wind turbines and wind.

## INTRODUCCIÓN

El anteproyecto se llevó a cabo en la Aldea Los Llanos, esta comunidad está ubicada en el municipio de Santa Elena Barillas. A continuación, se presenta una imagen que muestra la ubicación dentro del territorio de la República de Guatemala. Esta localidad fue seleccionada por contar con un potencial eólico conocido.

La Aldea Los Llanos está ubicada en las faldas del Volcán de Pacaya, el coloso se mantiene en constante actividad y se considera que la aldea Los Llanos está ubicada en una zona de alto riesgo volcánico. Por esta razón, no es común que nuevos pobladores lleguen a la zona. Las residencias marcadas en la diapositiva anterior no cuentan con el acceso a la red eléctrica nacional.

Se aplicó la función de probabilidad de Rayleigh para la determinación de la probabilidad de la velocidad para elaboración de las curvas de potencia. Para este cálculo se

utilizó un método novedoso que realizó el autor en hoja Excel se presenta los resultados de la ecuación probabilística (Boxwell, M. 2012):

$$F_{(v)} = \Delta v \frac{\pi}{2} \left( \frac{v}{v_a} \right) \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{v_a} \right)^2 \right]$$

El análisis estadístico de velocidades de viento realizado para la Aldea Los Llanos indica que en esta localidad se cuenta con velocidades de viento adecuadas para el aprovechamiento de energía eólica.

Por medio del análisis de cargas se determinó que una familia de escasos recursos necesita aproximadamente 2.115 KWh por día para cubrir sus necesidades energéticas básicas de iluminación y fuerza.

El análisis de velocidades de viento mensuales indica que un generador eólico de 400 watts puede generar electricidad todo el año. Sin

embargo, existe una variación mensual en la velocidad del viento que afecta la cantidad de energía que puede proveerse. En el mes de septiembre solamente se puede producir 0.48 KWh por día y en el mes de enero 1.74 kWh por día. Un sistema híbrido eólico/solar que provea de energía eléctrica a una familia en esta comunidad debe de contemplar la variación mencionada. Para poder suplir la energía requerida, se debe de utilizar un

sistema solar fotovoltaico que provea la energía requerida en el mes con menor potencial eólico. Es decir, en el mes de septiembre el sistema solar debe de ser capaz de proveer 1.635 KWh por día para que junto a la generación eólica de 0.48 KWh por día entreguen los 2.115 KWh por día que la familia necesita para cubrir sus requerimientos energéticos básicos (Diez, F. 2007).

## **MARCO REFERENCIAL**

### **Localización del proyecto:**

El proyecto se lleva a cabo en la Aldea Los Llanos, esta comunidad está ubicada en el municipio de Santa Elena Barillas. A continuación, se presenta una imagen que muestra la ubicación de la comunidad dentro del territorio de la república de Guatemala. Esta localidad fue seleccionada por contar con un potencial eólico conocido.

La Aldea Los Llanos está ubicada en las faldas del Volcán de Pacaya, este volcán se mantiene en constante actividad y se considera que la aldea Los Llanos está ubicada en una zona de alto riesgo volcánico.

Por esta razón, no es común que nuevos pobladores lleguen a la zona. Las residencias

### **Caracterización de una familia de escasos recursos:**

En la localidad de Los Llanos existen muchas familias de escasos recursos que no cuentan con acceso a la red de electrificación nacional.

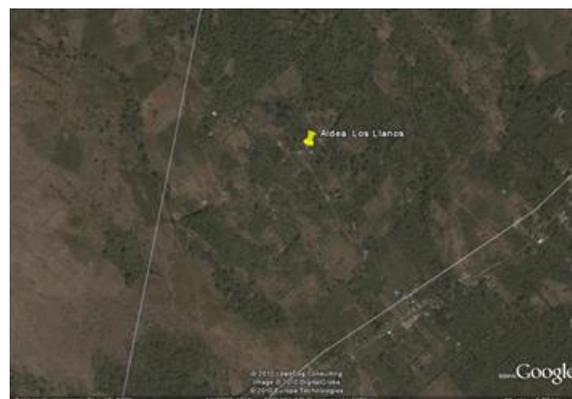
Además de no contar con energía eléctrica estas familias por lo general cuentan con poca

### **Requerimientos eléctricos de una familia en la Aldea Los Llanos:**

Las familias de la Aldea los Llanos que no cuentan con acceso a la red eléctrica utilizan velas para tener iluminación nocturna; no

marcadas en la diapositiva anterior no cuentan con el acceso a la red eléctrica nacional.

### **Figura No. 1** ubicación de la Aldea Los Llanos



Fuente: Google Earth

o ninguna escolaridad y en muchos casos existen graves problemas de salud.

A continuación, se presenta alguna información socioeconómica de Guatemala y se hace una estimación de los requerimientos energéticos de una familia de escasos recursos.

cuentan con un sistema de refrigeración que les permita conservar ningún tipo de alimento.

Se estima que una familia de escasos recursos que actualmente no cuenta con acceso a la red de electrificación requiere por lo menos de la

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

siguiente carga eléctrica para cubrir sus necesidades básicas de iluminación y fuerza.

Estimación de los requerimientos eléctricos de una familia de escasos recursos ubicada en la Aldea Los Llanos:

Para llevar a cabo este cálculo se procedió de la siguiente manera: (Patel, R. 2000)

- 1) Se identificaron los equipos que consumen electricidad que la familia necesita.
- 2) Se asignó un valor a la potencia que cada uno de los equipos utiliza para funcionar.
- 3) Se identificó en número de unidades que habrán de cada uno de los equipos identificados en el punto número dos.
- 4) Se asignó un número de horas de funcionamiento por día de cada uno de los equipos identificados.
- 5) Se calculó la cantidad de watts/hora que cada uno de los equipos utiliza por día.
- 6) Se sumaron los consumos de los equipos individuales y se obtuvo un consumo diario total.

Al consumo diario total se le aumentó un 25% para contar con un porcentaje de holgura

**Tabla No. 1** estimación de requerimientos energéticos básicos de una familia

Equipo	Potencia Watt	Unidades	Número de Horas	Energía Watt/h
Bombilla Ahorradora	20	2	5	200
Refrigerador 9ft	150	1	8	1200
Radio	20	1	7	140
Televisor a color	50	1	3	150
<b>Consumo diario total</b>				<b>1690</b>
<b>Diseño del sistema (consumo diario + 25%)</b>				<b>2115</b>

fuentes: (Santizo, Oven, & Paskevish, 2002)

El consumo mínimo estimado de una familia en el área rural en la Aldea Los Llanos es de aproximadamente 1690 watts/hora por día o bien 50.7 KWh por mes.

A este número le aumentamos un 25% como margen de seguridad para contemplar una posible temporada sin viento suficiente para generar (Harper, G. 2007).

Por lo tanto, para el efecto de esta investigación se asume que una familia de escasos recursos debería de tener por lo menos 2115 watts por día o bien 63.45 KWh por mes.

Además, para efectos de esta investigación se prevé la instalación de un sistema híbrido eólico/solar con un sistema de acumulación de energía que pueda proveer al menos cuatro días de autonomía energética de la familia (Minas, M. d. 2014).

**Indicadores socioeconómicos de Guatemala:**

Según un informe, (OEI, 2002), para toda la República de Guatemala se tienen los siguientes indicadores socioeconómicos.

- El promedio de escolaridad es únicamente de cuatro años.
- Solamente tres de cada diez niños completan la primaria. La tasa neta de inscripción en la primaria aumentó de 72% en 1991 a 85% en 2001 pero más de dos millones de niños no asisten a la escuela – la mayoría de ellos son niñas indígenas del área rural.
- La tasa de mortalidad infantil de 39 por cada 1,000 nacimientos vivos es la más alta de Centro América y la tercera más alta del hemisferio.
- La mitad de las mujeres guatemaltecas tienen hijos antes de los 19 años y 20% tienen dos o más niños al cumplir 18 años. Cuando cumplen 30 años, muchas mujeres han procreado siete u ocho niños.
- La tasa total de fertilidad es de 4.4, la más alta de América Latina.

**Canalización del Conocimiento Científico**

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

- El uso de anticonceptivos entre las mujeres de 15 a 49 en unión es de 43%, la segunda más baja del hemisferio después de Haití.
- La tasa más alta de retardo en talla de las Américas: 49% de los niños guatemaltecos menores de cinco años con desnutrición crónica.
- Una alta tasa de mortalidad materna 153 por cada 100,000 nacimientos vivos.
- Solamente 41% de los nacimientos son atendidos por una enfermera o un doctor – también la más baja del hemisferio.

Según la (Minas, 2014) y (OEI, 2002) Para septiembre del 2010: Guatemala ocupa el primer lugar en desnutrición a nivel de Latino América, a nivel mundial ocupa el cuarto lugar.

Se sabe que la energía eléctrica es un impulsor del desarrollo social, es por esto por lo que se hace mención del tema de salud. Las familias de escasos recursos de la Aldea Los Llanos no cuentan con energía eléctrica y definitivamente tienen problemas de salud.

Se espera que contar con acceso a electricidad ayude a promover el desarrollo social por medio de una mejoría en educación y que esto tenga un impacto en la mejoría del indicador de salud.

Cabe destacar que, el acceso a electricidad es un pilar en el desarrollo socio económico de

Por medio del sistema de SWERA Renewable y Energy Resource Explorer (RREX) se pueden obtener algunos datos de caracterización de velocidades de viento para prácticamente cualquier punto dentro del territorio guatemalteco. Una vez localizado el punto que se quiere conocer, se ubica en el mapa y el sistema despliega información importante. A continuación, se presenta una imagen con la información disponible sobre el potencial eólico de la Aldea Los Llanos.

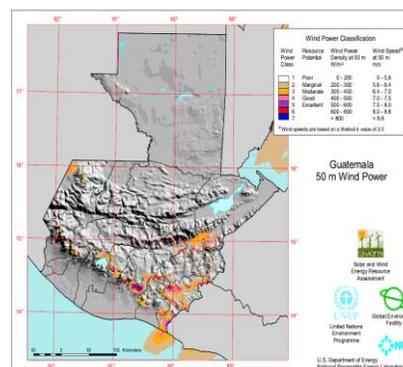
estas familias, la utilización de los recursos renovables de Guatemala genera desarrollo humano.

**Condiciones climáticas de la Zona:**

A continuación, se presenta la información disponible sobre potencial eólico y solar para la zona de estudio seleccionada. (Aldea Los Llanos, Guatemala).

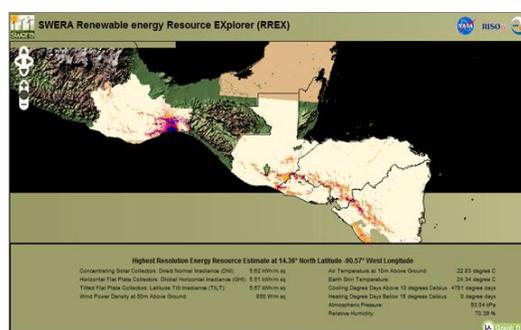
Recurso eólico de la zona: esta información fue generada por National Renewable Energy Laboratory (NREL) como parte de un proyecto de evaluación de energía solar y eólica Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) solicitado por el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente United Nations Environmental Programme (UNEP).

**Figura No. 2** mapa de potencial eólico a 50mt de altura



Fuente: [www.swera.unep.net](http://www.swera.unep.net)

**Figura No. 3** ubicación del Área de estudio



**Canalización del Conocimiento Científico**

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

Fuente: SWERA Renewable energy Resource Explorer [www.swera.unep.net](http://www.swera.unep.net)

Fuente: Mario Santizo<sup>1</sup>

Para la Aldea Los Llanos el sistema RREX ofrece la siguiente gráfica de promedios mensuales de velocidad de viento a 50 metros de altura sobre el nivel del terreno.

Las mediciones promedio de velocidad del viento del cuadro anterior son velocidades promedio, se debe utilizar el modelo probabilístico indicado en el marco teórico (función de probabilidad de Raleigh) para estimar cuales fueron las velocidades probables de viento que dieron origen a estos promedios y así poder estimar la cantidad de potencia que el generador eólico seleccionado puede proveer bajo estas condiciones de velocidad de viento (Karti, M. 2000).

**Figura No. 4** promedios de velocidad de viento para el área de estudio



Fuente: SWERA Renewable energy Resource Explorer [www.swera.unep.net](http://www.swera.unep.net)

Éstos son los datos necesarios para realizar la evaluación del potencial eólico del sitio. A continuación, se presenta un extracto con la información de las velocidades del viento mensuales para la Aldea Los Llanos. Las mismas están dadas en metros/segundo

**Recurso solar de la zona:** Como se indicó anteriormente, se planea realizar un proyecto

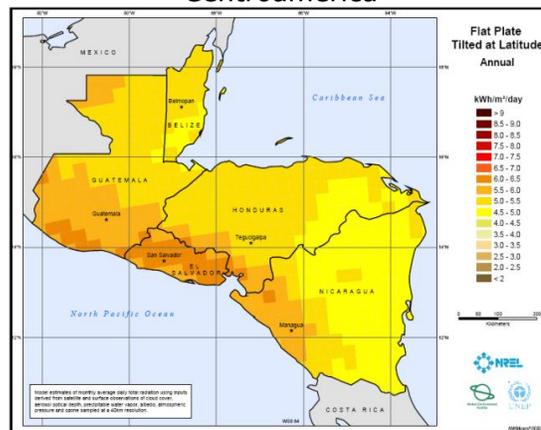
hibrido eólico/solar ya que a pesar de ser un sitio con excelente potencial eólico existen momentos durante el año en los cuales el viento disminuye y la generación eólica se ve afectada. Por tal razón se describe a continuación la caracterización del recurso solar de la Aldea Los Llanos para poder determinar el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico.

Para empezar, se presenta el mapa de radiación solar para la región centroamericana, al igual que para el recurso eólico, los mapas de radiación solar fueron generados por SWERA para el programa de las naciones unidas del medio ambiente UNEP (Vaughn, N. 2009).

**Tabla No. 2** velocidades Promedio de viento para la aldea Los Llanos

Mes	Velocidad del Viento a 50 metros sobre el terreno dadas en metros/segundo
Enero	5.62
Febrero	5.27
Marzo	4.86
Abril	4.49
Mayo	3.94
Junio	3.77
Julio	4.21
Agosto	4.03
Septiembre	3.52
Octubre	4.42
Noviembre	4.82
Diciembre	5.36
Anual	4.52

**Figura No. 5** mapa de Radiación solar para Centroamérica



<sup>1</sup> A partir de mediciones tomadas mensualmente utilizando velometro

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

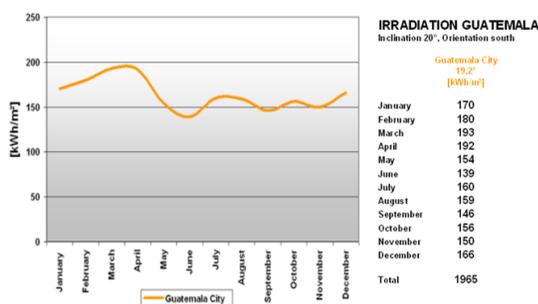
Fecha corregida: 29 septiembre 2021

Fuente: [www.swera.unep.net](http://www.swera.unep.net)

Como se puede observar, la radiación solar es constante a lo largo de grandes regiones por lo

que llevar a cabo la estimación es mucho más sencillo que para el recurso eólico. Para efectos de esta investigación se utilizan los datos registrados en la Ciudad de Guatemala. Se puede observar en el mapa, las condiciones de radiación solar de la Ciudad de Guatemala y las de la Aldea Los Llanos son similares.

**Figura No. 6** distribución mensual de la radiación solar en la Ciudad de Guatemala



Fuente: [www.swera.unep.net](http://www.swera.unep.net)

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la radiación solar presenta variaciones mensuales en intensidad, Los meses de enero, febrero, marzo y abril tienen un nivel mayor de radiación solar y el resto de los meses tienen un valor menor. Para poder dimensionar el sistema solar fotovoltaico se determinará cual es la radiación solar disponible en el mes con menor potencial eólico.

**Selección de generador eólico:**

La selección de generador eólico que pueda brindar muchos años de servicio ininterrumpido es importante. También es importante que el equipo utilizado tenga un precio accesible. Por estas razones se considera la utilización de un generador eólico

marca Southwest Windpower de 400 watts modelo AirX 400 del cual se presenta a continuación las especificaciones:

**Selección de los equipos a utilizar:  
Especificaciones técnicas:**

Marca:	Southwest Wind Power
Modelo:	AirX 400 Land
Voltaje Nominal:	12 VDC
Diámetro del Rotor:	46 pulgadas (1.17 metros)
Área de Barrido del Rotor:	1.075 m <sup>2</sup>
Peso:	13 lb. (6kg)
Velocidad de Arranque:	7 mph (3.0 m/s)
Potencia Nominal:	400 watts a 28 mph (12.5 m/s)
Rango del Regulador:	13.6V – 15.0V preseteado a 14.1v
Tamaño recomendado de fusible:	50 amps slow-blow
Calibre recomendado de cable:	#10 AWG
Dimensiones del mástil:	1½ cedula 40 (diámetro externo 1.875 pulgadas, 48mm).
País de fabricación:	Estados Unidos de Norte América

**Especificaciones de rendimiento:**

Como todo generador eólico, el aerogenerador AirX genera diferentes potencias a diferentes velocidades de viento, a continuación, se presenta una tabla donde se especifica la potencia generada por el aerogenerador a una velocidad dada de viento. Como se podrá observar, la energía producida es exponencial, cada vez que se duplica la velocidad de viento se aumenta en 8 veces la generación de energía. Esto quiere decir que, a mayor velocidad del viento, mucho mayores la producción de energía. Además, hay que notar que a velocidades de viento menores a 3m/s no se genera nada de energía. Por esta razón se considera que 4 m/s es la velocidad de arranque del aerogenerador AirX. También hay que notar que a velocidades de viento mayores a 14 m/s se observa una reducción drástica de generación eléctrica.

Esto es debido a el sistema de frenado automático que el aerogenerador tiene para protegerse de la sobre velocidad. Por consiguiente, podemos decir que el rango de trabajo del aerogenerador es de 4 a 14 m/s.

**Tabla No. 3** curva de generación energética vs. velocidad de viento de un Aerogenerador AirX400

WSPHP	0	0	0	50	10	22	50	120	282	550	300	382	120	220	20	22	80	82	50	52	80	8
WSPHP	1	5	3	1	2	8	3	8	10	11	15	13	14	12	11	13	18	18	10	12	10	5

Fuente: Southwest Windpower

A continuación, se presenta una imagen del Aerogenerador AirX400.

**Figura No. 7** aerogenerador AirX 400



Fuente: Southwest Windpower

El aerogenerador AirX 400 es uno de los más vendidos del mundo, se utiliza para cargar un banco de baterías de ciclo profundo mientras hay viento disponible. La energía almacenada en las baterías puede ser utilizada cuando sea necesario ya sea en forma de corriente directa o bien por medio de un inversor de corriente.

El aerogenerador AirX 400 tiene un controlador de carga interno por lo que no es necesario utilizar uno adicional. Los cables que salen del aerogenerador se conectan directamente al banco de baterías configurado en 12 voltios.

**Precio:**

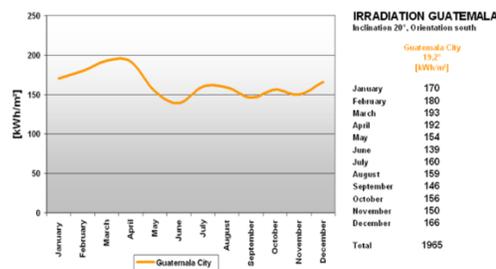
En Guatemala puede conseguirse un aerogenerador AirX 400 de 12 voltios de salida nuevo en aproximadamente US\$ 750.00 a esto hay que agregarle US\$ 100.00 de la torre y accesorios de sujeción.

**Selección del sistema solar a utilizar generación solar fotovoltaica en la Aldea Los Llanos**

Como se puede observar en las siguientes gráficas, se tienen datos de irradiación solar en

la Ciudad de Guatemala. Estos datos serán utilizados para calcular la generación de energía de los paneles solares en la Aldea Los Llanos. Como se puede observar, la radiación solar varía durante el año.

**Figura No. 8** distribución mensual de la radiación solar en la Ciudad de Guatemala



Fuente: www.swera.unep.net

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

En promedio anual, se tienen 5.38 kWh/m<sup>2</sup> para la Ciudad de Guatemala, pero según sea el mes se tiene un valor mayor o menor. Por

ejemplo, en el mes de septiembre (cuando hay menos potencial eólico) se tiene una radiación diaria disponible de 4.86 kWh/día x m<sup>2</sup>

**Tabla No. 4** radiación solar diaria promedio disponible

MES	kWh/mes x m <sup>2</sup>	Número de Días	kWh/día x m <sup>2</sup>
<b>Enero</b>	170	31	5.48
<b>Febrero</b>	180	28	6.42
<b>Marzo</b>	193	31	6.22
<b>Abril</b>	192	30	6.4
<b>Mayo</b>	154	31	4.96
<b>Junio</b>	139	30	4.63
<b>Julio</b>	160	31	5.16
<b>Agosto</b>	159	31	5.12
<b>Septiembre</b>	146	30	<b>4.86</b>
<b>Octubre</b>	156	31	5.03
<b>Noviembre</b>	150	30	5.00
<b>Diciembre</b>	166	31	5.35
<b>TOTAL</b>	<b>1965</b>	<b>365</b>	<b>5.38</b>

Fuente: Mario Santizo<sup>2</sup>

El sistema solar que se pretende utilizar es un sistema de paneles fotovoltaicos marca Kyocera de 85 watts conectados a un controlador de carga MPPT (máximo power point tracking) que es una nueva tecnología en la que se utilizan paneles solares fotovoltaicos conectados en serie para producir un voltaje resultante elevado que puede alcanzar valores de hasta 100VDC, los paneles solares se conectan por lo general en serie o en paralelo según sea el voltaje nominal del panel solar que se está utilizando.

En cualquier caso, el voltaje producido se debe de mantener a un nivel inferior a los 140VDC. EL amperaje de este tipo de sistema por consiguiente es muy reducido y esto permite

tener grandes ahorros en cuanto al cableado. El controlador de carga MPPT se encarga de recibir un voltaje elevado proveniente de los paneles solares y lo transforma en un voltaje de corriente continua para recarga de baterías que puede seleccionarse en valores de 12, 24, 36, 48 y 60 VDC para cargar bancos de baterías en diferentes combinaciones.

La tecnología MPPT tiene una gran ventaja y es que incluso en condiciones de poca luz o extrema nubosidad el sistema sigue produciendo energía aprovechable. Este tipo de sistema es fácilmente expandible y es totalmente compatible para trabajar en paralelo con un sistema eólico. La razón por la cual este tipo.

Especificaciones técnicas de los colectores Fotovoltaicos marca Kyocera:

Marca:	Kyocera
Modelo:	KC85T
Número de Parte:	703004
Potencia Nominal:	87 watts
Corriente a potencia nominal:	5.02 amps
Voltaje a potencia nominal:	17.4 VDC
Largo:	1 metro
Ancho:	0.65 metro
Área:	0.65 m <sup>2</sup>
Eficiencia Media:	18.5%
País de Fabricación:	Estados Unidos de Norte América

<sup>2</sup> Medidas experimentales tomadas en Los Llanos.

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

### Dimensionamiento del sistema fotovoltaico:

Para dimensionar el sistema solar fotovoltaico se utiliza la radiación solar promedio del mes de septiembre (obtenida en la sección II.2.5.1) ya que en este mes se presenta la menor cantidad de viento disponible para aprovechar energía eólica. En el mes de septiembre se cuenta con 146 KWh/metro cuadrado y tomando en cuenta que septiembre tiene 30 días se tiene un promedio diario de 4.86 KWh x m<sup>2</sup>/día.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para calcular el número de paneles solares necesarios para producir la energía requerida.

- 1) Se determinó el requerimiento diario de energía que se debe producir con energía solar (ver sección III.1.5)
- 2) Se determinó cual es la radiación solar disponible para el mes de menor radiación solar disponible (septiembre)
- 3) Se determinó la eficiencia de conversión del panel solar Kyocera de 85 watts.
- 4) Se determinó la producción por metro cuadrado de un panel solar Kyocera multiplicando la radiación solar promedio del mes de septiembre por el factor de eficiencia de conversión.
- 5) Se dividió el requerimiento diario de energía entre la captación diaria por

metro cuadrado para obtener el área de panel solar requerida.

- 6) El área requerida se dividió entre el área por panel solar para obtener el número de paneles solares requeridos.
- 7) El número de paneles solares se aproximó al número entero superior ya

que en la práctica no se puede instalar una fracción de panel solar.

Requerimiento diario de energía:	1635 watts/hr x día
Radiación solar de septiembre:	4.86 KWh x m <sup>2</sup> /día
Eficiencia de conversión panel Kyocera:	18.5%
Captación diaria por m <sup>2</sup> (panel Kyocera):	899 Wh x m <sup>2</sup> /día
Área requerida:	1.81 m <sup>2</sup>
Área por panel solar:	0.65 m <sup>2</sup>
Numero de paneles solares:	2.79 paneles solares
Aproximación:	3 paneles solares

El mes de septiembre es el mes con el menor promedio de velocidad de viento del año. También es el segundo mes con la menor radiación solar disponible. El sistema solar fotovoltaico se diseñó para proveer 1635 watts

por día con las condiciones de radiación solar del mes de septiembre.

#### Precio:

Cada uno de los paneles solares fotovoltaicos marca Kyocera modelo KC85T tiene un precio de \$ 550.00 en Guatemala, por lo que el conjunto de 3 paneles solares tiene un precio de \$ 1650.00

Figura No. 9 colector Solar KC85T



Fuente: Kyocera

### Canalización del Conocimiento Científico

### Banco de baterías

El banco de baterías es el corazón del sistema híbrido eólico/solar. Como se mencionó anteriormente, se pretende utilizar un banco de baterías que pueda ofrecer una autonomía energética de por lo menos 4 días. Además de los 4 días de autonomía, para proteger el banco

de baterías de una descarga profunda, se diseñó el banco de acumulación capaz de recibir una descarga máxima de 80% durante los 4 días de autonomía. Los cálculos que aparecen a continuación son realizados en base a un régimen de descarga de las baterías de 20 horas (@ 20 hr rate).

### Especificaciones técnicas:

Marca:	Trojan
Modelo:	T-105
Voltaje Nominal:	6 VDC watts
Corriente:	225 amps @ 20 hr rate
Peso por batería:	62 Libras - 28 kilogramos
Largo:	264mm
Ancho:	181mm
Altura:	276mm
Diseño del banco de baterías:	
Consumo energético diario estimado: *	2115 watts/hr.
4 días de autonomía equivalen a:	8460 watts/hr
Descarga Máxima recomendada:	8460 watts/hr (80%)
Capacidad Total del banco de baterías:	10575 watts/hr (100%)
Configuración de Voltaje:	12 VDC
Capacidad por batería:	1350 watts
Numero de baterías requerido:	7.83 baterías (10575/1350)

8 baterías (El consumo energético diario estimado se definió en la sección anterior)

### precio:

Cada una de las baterías Trojan de ciclo profundo en Guatemala, incluyendo los puentes y un rack para instalación tienen un precio unitario de \$ 300.00 por lo que el banco de baterías completo tiene un precio de \$ 2400.00

**Figura No. 10** batería de ciclo Profundo T-105



Fuente: Trojan

### Controlador de carga:

El controlador de carga del sistema fotovoltaico será del tipo MPPT. Cuando los tres paneles solares conectados en serie están dando su capacidad máxima, están generando un voltaje de 52.2 voltios y 5.02 amperios.

Por consiguiente, el controlador de carga debe tener una capacidad de más de 5.02 amperios.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de un controlador de carga marca Xantrex acorde a las características del sistema diseñado.

### Especificaciones técnicas:

Marca:	Xantrex
Modelo:	XW-MPPT60-150
Voltaje Nominal de baterías:	12, 24, 36, 48, 60 Vdc
Voltaje Máximo de sistema fotovoltaico:	140 Vdc

### Canalización del Conocimiento Científico

# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

Corriente de Corto 60 Adc Máximo  
Circuito  
Consumo Total en 2.5 W  
operación  
Control de Carga de Tres Etapas (bulk,  
baterías: absorption, float)  
  
Dos Etapas (bulk,  
absorption)

Voltaje de 10.5-15.5 VDC  
Operación:  
Precio: \$ 350.00

**Figura No.12** Inversor de corriente Prowatt SW 1000



Fuente: Xantrex Technologies

### Especificaciones mecánicas:

Dimensiones: 368 x 146 x 138 mm  
Peso: 10.75 lb (4.8 Kg)  
Tipo de Montura: Vertical en pared  
Número de Parte: 865-1030  
Precio: \$ 750.00

**Figura No. 11** controlador de carga XW-MPPT60-150



Fuente: Xantrex Technologies

### Inversor de corriente:

El inversor de corriente se encarga de convertir la energía almacenada en las baterías en corriente alterna con onda senoidal para poder alimentar equipos eléctricos que funcionan con corriente alterna en 120VAC. El Inversor de corriente debe de tener suficiente capacidad para permitir el arranque de un refrigerador pequeño.

### Especificaciones técnicas:

Marca: Xantrex  
Modelo: Prowatt SW 1000  
Capacidad: Watts Continuos  
Capacidad de 1000 Watts 5  
Sobrecarga: minutos

### Resumen de componentes

A continuación, se presenta un cuadro que integra los componentes requeridos para llevar a cabo la instalación del sistema híbrido eólico/solar.

**Tabla No. 5 resumen de componentes del sistema**

Cant.	Descripción	Precio Unitario	Total
1	Generador Eólico marca Southwest Wind Power modelo AirX 400 Land	US\$ 750.00	\$ 750.00
1	Torre Tubular y accesorios de sujeción para Generador Eólico Airx 400 Land	US\$ 100.00	\$ 100.00
3	Paneles solares fotovoltaicos marca Kyocera modelo KC85T	US\$ 550.00	\$ 1650.00
1	Controlador de Carga marca Xantrex modelo XW-MPPT60-150	US\$750.00	\$ 750.00
8	Baterías de ciclo profundo marca Trojan modelo T105 con rack y puentes para interconexión.	US\$ 300.00	\$ 2400.00
1	Inversor de Corriente marca Xantrex modelo Prowatt serie SW de 1000 Watts	US\$ 350.00	\$ 350.00
1	Materiales, Instalación, arranque y pruebas en Aldea Los Llanos	US\$ 450.00	\$ 450.00
Total			\$ 6,450.00

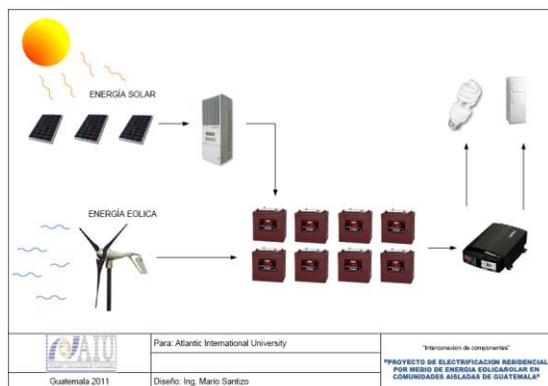
Fuente: (Santizo, Oven, & Paskevish, 2002)

## Canalización del Conocimiento Científico

### Integración de componentes.

A continuación, se presenta un esquema de la interconexión de los componentes del sistema.

**Figura No. 13** esquema de interconexión de equipos



Fuente: (Patel, 2000)

### Descripción del funcionamiento:

El sistema híbrido eólico/solar que se pretende instalar está catalogado como un sistema off grid, es decir, que no está conectado de ninguna manera a ninguna red eléctrica. El sistema es totalmente autónomo, utiliza energía solar y aprovecha la energía cinética del viento para cargar un banco de 8 baterías de ciclo profundo configurado en 12 VDC.

Entre los paneles solares y el banco de baterías se ubica un controlador de carga con tecnología MPPT que recibe un voltaje aproximado de 50 VDC proveniente de los paneles solares y los convierte a un voltaje menor en el orden de los 14 voltios para cargar del banco de baterías.

Aun en condiciones de poca radiación solar y alta nubosidad puede haber un voltaje suficientemente alto para recargar las baterías. Los controladores de carga MPPT puede capturar hasta un 30% más energía que los controladores de carga convencionales. El

generador eólico tiene su propio controlador de carga incorporado.

La energía almacenada en las baterías es convertida a corriente alterna, 120VAC, 60HZ por medio de un inversor de corriente marca Xantrex de 1000 watts que produce una onda senoidal pura. La energía eléctrica en corriente alterna puede ser utilizada para brindar iluminación y fuerza básica en una residencia en el área rural.

### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

#### Análisis de potencial eólico:

El foco de esta investigación es determinar el potencial eólico de un sitio en donde solo se conoce la *velocidad promedio del viento*. Para esto se deben de utilizar funciones probabilísticas que nos ayuden a determinar qué valores de velocidad de viento dieron origen a los promedios con los que actualmente se cuenta.

La función probabilística más utilizada para este fin es la función de Raleigh que se describió en el marco teórico de esta investigación. A continuación, se presenta el análisis probabilístico para determinar el potencial eólico en la Aldea Los Llanos. La información con la que se cuenta es:

- 1) Velocidad del viento promedio anual
- 2) Velocidad del viento promedio mensual
- 3) Curva de potencia del Aerogenerador AirX400
- 4) Requerimientos energéticos de una familia

La información que se desea es:

- 1) Potencial Eólico del sitio
- 2) Producción de energía del Generador AirX400 en las condiciones del sitio
- 3) Porcentaje de cobertura eólica de las necesidades de la familia
- 4) Porcentaje de cobertura solar requerida para garantizar el flujo de energía eléctrica durante un año.

### Canalización del Conocimiento Científico

### Producción de energía del Aerogenerador AirX400

La cantidad de energía que un Generador Eólico AirX400 puede generar a una determinada velocidad del viento es un dato proporcionado por el fabricante del generador. A continuación, se presenta un cuadro donde se indica la producción de energía indicada por el fabricante a diferentes velocidades de viento. Esta información será utilizada para estimar la producción de energía del aerogenerador en base a la información estadística obtenida.

**Tabla No. 6** curva de generación vs. velocidad de viento de un Aerogenerador AirX400

Vel. m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Watts	0	0	0	20	40	55	70	120	165	220	300	385	450	550	50	55	60	65	70	75	80	85

Fuente: Southwest Windpower

### Generación eólica de un Generador AirX en la Aldea Los Llanos:

Para determinar el potencial eólico del lugar se realizaron los siguientes cálculos partiendo de las velocidades promedio, las velocidades promedio del viento fueron obtenidas a través del sistema de información de SWERA y se presentan a continuación:

**Tabla No. 7** velocidad de viento promedio mensual

Mes	Velocidad del Viento a 50 metros de altura en metros/segundo
Enero	5.62
Febrero	5.27
Marzo	4.86
Abril	4.49
Mayo	3.94
Junio	3.77
Julio	4.21
Agosto	4.03
Septiembre	3.52
Octubre	4.42
Noviembre	4.82
Diciembre	5.36
Anual	4.53

Fuente: www.swera.unep.net

La única información con la que se cuenta es el *promedio mensual y promedio anual*, no se cuenta con los datos que dieron origen a estos promedios. Ya que no se cuenta con esta información, se utiliza la función probabilística de Rayleigh (explicada en el marco teórico) para estimar la probabilidad que existe de tener cierta velocidad de viento. El análisis probabilístico mensual se presenta a continuación:

### Pasos para realizar para el análisis de Información:

En las siguientes páginas aparecen una serie de tablas por mes que indican una serie de resultados. Se explica paso a paso como se realizaron los cálculos.

- 1) Dividir la información por meses. Para cada mes del año se obtuvo una medición de velocidad de viento promedio. Esta información fue obtenida del sistema RREX de SWERA.
- 2) Para cada velocidad de viento promedio mensual se llevó a cabo un análisis estadístico con el objetivo de determinar qué datos generaron el promedio.
- 3) Se aplicó la función de probabilidad de Rayleigh de la cual se hace un ejemplo a continuación:

$$F_{(v)} = \Delta v \frac{\pi}{2} \left( \frac{v}{v_a} \right) \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{v}{v_a} \right)^2 \right]$$

F(v) = Frecuencia de ocurrencia asociada a cada velocidad de viento v que se encuentra al centro de Δv

Δv = Ancho de la muestra (para nuestro caso 1m/s)

Va = Velocidad promedio del viento o velocidad media del viento.

**Aplicación:** Calcular la probabilidad que existe de tener una velocidad de viento de 9m/s cuando la velocidad promedio mensual es de 5.62 m/s.

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

$$F_{(9)} = 1 - \frac{\pi}{2} \left( \frac{9}{5.62^2} \right) \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{9}{5.62} \right)^2 \right] = 0.05972$$

Es decir, la probabilidad de tener una velocidad de viento de 9 m/s cuando la velocidad promedio mensual es de 5.62 m/s es de 5.97% del tiempo.

Aproximadamente 6% para efectos prácticos.

- 4) Se calculó las probabilidades de obtener velocidades de viento desde 1m/s hasta 22 m/s.

El resultado de estos cálculos fue graficado.

- 5) Posteriormente se realizó una tabla en donde se multiplica el número de horas que tiene cada mes por el factor de ocurrencia o porcentaje de ocurrencia que se estableció en el punto anterior.

El dato resultante corresponde al número de horas en el mes al que el viento va a soplar a la velocidad establecida.

- 6) En la columna de Potencia Producida se ingresan los datos obtenidos de la curva de potencia del aerogenerador Air X 400 y que fueron obtenidos del fabricante del equipo.

Como se puede observar, a 1, 2 y 3 m/s el aerogenerador no produce energía ya que no se ha llegado a la velocidad de arranque.

- 7) En la columna de "Watts/hora" se multiplica la columna "Potencia Producida" por la columna "total" que contiene el total de horas que el viento sopla en un mes a la velocidad dada.

El resultado de la multiplicación indica cuantos Watts/hora produce el aerogenerador Air X 400 en un mes cuando se ingresa una velocidad de viento promedio dada.

- 8) En la columna "Kwatt/hora" solamente se divide el resultado de la columna "Watts/hora" entre 1000 para obtener un dato de Kwatts/hora por mes.

- 9) Se realizó un cálculo del potencial eólico total para el aerogenerador AirX 400 a cada una de las velocidades dadas.

Este dato fue multiplicado por el número "total" de horas al mes con que se cuenta con la velocidad de viento dada.

La sumatoria de los resultados obtenidos equivale al potencial eólico total por mes.

- 10) Se realizó una tabla resumen donde se calculó el "porcentaje de conversión" de energía mensual.

Se determinó que en promedio se tiene un porcentaje de conversión energética de 35% aproximadamente.

- 11) Para cada mes del año y para el año completo se realizó el análisis anteriormente descrito y aparece en el apéndice.

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

## RESUMEN DE LA INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la información recabada en la sección anterior. La energía producida es expresada en forma de promedio de producción eólica diaria. Este dato es restado a el requerimiento diario requerido por una familia y de esta manera obtenemos el déficit diario de energía eólica, que en este caso particular equivale a el aporte solar fotovoltaico requerido por la familia en cuestión. Por medio del anterior análisis se determinó la cantidad de energía eólica generada.

**Tabla 8:** Resumen de rendimiento del sistema eólico

	ENERGIA DISPONIBLE	ENERGIA PRODUCIDA KWh	PORCENTAJE DE CONVERSION	NUMERO DE DIAS	PROMEDIO DIARIO KWh	ENERGIA REQUERIDA	DEFICIT DIARIO (APORT FOTOVOLTAICO)
ENERO	166.07	54.06	32.55	31	1.74	2	0.26
FEBRERO	123.69	41.69	33.71	28	1.49	2	0.51
MARZO	103.94	36.13	34.76	31	1.17	2	0.83
ABRIL	81.96	29.06	35.46	30	0.97	2	1.03
MAYO	57.23	20.68	36.14	31	0.67	2	1.33
JUNIO	48.52	17.59	36.26	30	0.59	2	1.41
JULIO	69.82	25.03	35.86	31	0.81	2	1.19
AGOSTO	61.24	22.08	36.06	31	0.71	2	1.29
SEPTIEMBRE	39.49	14.34	36.31	30	0.48	2	1.52
OCTUBRE	80.80	28.74	35.57	31	0.93	2	1.07
NOVIEMBRE	101.40	35.33	34.84	30	1.18	2	0.82
DICIEMBRE	144.08	48.17	33.43	31	1.55	2	0.45
TOTAL	1020.74	372.93	36.53		1.02		

Como se puede observar en la tabla, en el peor mes para energía eólica (septiembre) un generador puede producir en promedio 0.48 KWh/día de energía eléctrica.

Para los requerimientos diarios establecidos de 2.115 KWh/día se tiene un déficit energético de 1.635KWh/día, esta energía deberá ser producida por un sistema fotovoltaico.

(El diseño del sistema fotovoltaico que pueda producir 1.635KWh/día se presenta en la sección II.2.6.2)

## Potencial Eólico

A continuación, se presenta una tabla que calcula el poder eólico disponible a lo largo de un año sobre un área de 1 metro cuadrado.

Hay que aclarar que esta tabla muestra la potencia total disponible del viento, no expresa lo que un generador eólico puede producir, solamente expresa la potencia total del viento sobre una superficie de 1 metro cuadrado.

**Tabla No. 9** potencial eólico anual sobre un área de 1m<sup>2</sup>

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	8760	0.074	0.61	396.128
2	8760	0.132	4.9	5649.1
3	8760	0.163	16.5	23607.6
4	8760	0.166	39.2	57042.2
5	8760	0.147	76.6	98607.4
6	8760	0.116	132	134088
7	8760	0.082	210	150874
8	8760	0.053	314	144779
9	8760	0.031	447	120814
10	8760	0.017	613	88845.6
11	8760	0.008	815	58126.8
12	8760	0.004	1058	34070.9
13	8760	0.002	1346	17987.3
14	8760	0.001	1681	8588.63
15	8760	0.000	2067	3721.16
16	8760	0.000	2509	1466.82
17	8760	0.000	3009	527.18
18	8760	0.000	3572	173.063
19	8760	0.000	4201	51.9709
20	8760	0.000	4900	14.2949
21	8760	0.000	5672	3.60526
22	8760	0.000	6522	0.83451
			Total Watts	949436
			Total kWatts	949.436

Estimación de la producción energética mensual:

El sistema está diseñado para proveer 2.115 KWh por día bajo las condiciones del peor mes (eólico) del año, esto es en el mes de septiembre. A raíz de este tipo de diseño, se produce un incremento en la producción energética del resto de meses.

A continuación, se presenta una tabla que estima la producción energética mensual. Durante los meses que el sistema aporta más de 2.115KWh por día, el usuario puede aprovechar esta energía adicional para accionar equipos eléctricos no contemplados en el diseño del sistema.

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

## RESULTADOS

### Potencial Eólico:

Se determinó que en la Aldea Los Llanos existe un potencial eólico anual de aproximadamente 949 kilowatts/hora por metro cuadrado.

### Potencia Eólica sobre un área de 1.08 m<sup>2</sup>:

El Aerogenerador AirX 400 tiene un área de barrido de 1.08 metros cuadrados. Por consiguiente, si el potencial eólico por metro cuadrado es de 949 kilowatts/hora por metro cuadrado por año la potencia del viento sobre un área de 1.08 metros cuadrados es de aproximadamente 1020 kilowatts/hora por año.

### Potencia Generada por un Aerogenerador AirX 400:

Se determinó que un aerogenerador AirX 400 puede generar anualmente 372.93 kilowatts/hora y en el peor mes del año. Esto significa que la conversión de energía anual es del 36.56%, en otras palabras, de los 1020 kilowatts/horas disponibles en un año, un aerogenerador AirX 400 puede convertir el 36.56% en energía útil, o bien 372.93 kilowatts/hora por año.

### Entrega de Energía:

La velocidad del viento en la Aldea Los Llanos sufre variaciones mensuales en magnitud. A continuación, se presenta una tabla donde se puede apreciar la producción mensual de un

aerogenerador AirX 400. **Tabla 10:** Producción Mensual Estimada de un Aerogenerador AirX 400 en la Aldea Los Llanos

	ENERGIA DISPONIBLE	ENERGIA PRODUCIDA KWh	PROMEDIO DIARIO KWh
ENERO	166.07	54.06	1.74
FEBRERO	123.69	41.69	1.49
MARZO	103.94	36.13	1.17
ABRIL	81.96	29.06	0.97
MAYO	57.23	20.68	0.67
JUNIO	48.52	17.59	0.59
JULIO	69.82	25.03	0.81
AGOSTO	61.24	22.08	0.71
SEPTIEMBRE	39.49	14.34	0.48
OCTUBRE	80.80	28.74	0.93
NOVIEMBRE	101.40	35.33	1.18
DICIEMBRE	144.08	48.17	1.55
TOTAL	1020.74	372.93	1.02

### Requerimientos Diarios de Una Familia:

Se determinó que una familia de escasos recursos ubicada en la aldea Los Llanos requiere por lo menos de 2.115 kilowatts/hora por día para cubrir sus necesidades energéticas básicas de fuerza e iluminación.

**Aporte Solar:** Como se puede observar en el punto IV.4 de esta sección, un generador eólico es insuficiente para proveer los 2.115 kilowatts/hora por día que una familia necesita. En el mes de septiembre que es el peor mes eólico tenemos un déficit diario de 1.635 kilowatts/hora por día. Por esta razón se diseñó un sistema solar que puede aportar 1.635 kilowatts/hora por días más un margen de seguridad bajo las condiciones de radiación solar del mes de septiembre.

## **CONCLUSIONES**

1. Para poder diseñar el sistema híbrido eólico-solar de generación eléctrica fue necesario conocer las cargas eléctricas básicas requeridas por el usuario. Además, fue necesario estimar el potencial eólico y solar del sitio para dimensionar los equipos que serán utilizados.
2. El análisis estadístico de velocidades de viento realizado para la Aldea Los Llanos indica que en esta localidad se cuenta con velocidades de viento adecuadas para el aprovechamiento de energía eólica.
3. Por medio del análisis de cargas se determinó que una familia de escasos recursos necesita aproximadamente 2.115 KWh por día para cubrir sus necesidades energéticas básicas de iluminación y fuerza.
4. El análisis de velocidades de viento mensuales indica que un generador eólico de 400 watts puede producir electricidad todo el año. Sin embargo, existe una variación mensual en la velocidad del viento que afecta la cantidad de energía que puede proveerse. En el mes de septiembre solamente se puede producir 0.48 KWh por día y en el mes de enero puede producir 1.74 kWh por día.
5. Un sistema híbrido eólico/solar que provea de energía eléctrica a una familia en esta comunidad debe de contemplar la variación anteriormente mencionada. Para poder suplir la energía requerida, se debe de utilizar un sistema solar fotovoltaico que provea la energía requerida en el mes con menor potencial eólico. Es decir, en el mes de septiembre el sistema solar debe de ser capaz de proveer 1.635 KWh por día para que junto a la producción eólica de 0.48 KWh por día entreguen los 2.115 KWh por día que la familia necesita para cubrir sus requerimientos energéticos básicos.
6. Se concluye que si es posible brindar energía eléctrica básica para una familia aislada de la red eléctrica nacional para cubrir las necesidades energéticas básicas y fomentar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de estas comunidades.

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

**ANEXO**

**Tabla No. 11** análisis realizado para el mes de enero

**Enero: Velocidad Promedio 5.62 m/s**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Av	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>1</sub>	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
PIV <sub>1</sub>	0.055	0.101	0.132	0.144	0.139	0.123	0.099	0.074	0.052	0.033	0.020	0.012	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PIV <sub>2</sub>	5.5	10.1	13.2	14.4	13.9	12.3	9.9	7.406	5.152	3.345	2.03	1.16	0.62	0.31	0.15	0.06	0.03	0.01	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.049	36.1	0	0.00	0.0	0.66	23.767
2	744	0.090	67	0	0.00	0.0	5.27	352.94
3	744	0.119	88.7	0	0.00	0.0	17.8	1577.9
4	744	0.134	99.4	20	1988.47	2.0	42.1	4150.1
5	744	0.134	99.4	40	3974.33	4.0	82.3	8178.4
6	744	0.122	90.7	55	4988.32	5.0	142	12900
7	744	0.103	76.6	70	5360.97	5.4	226	17298
8	744	0.081	60.3	120	7233.13	7.2	337	20322
9	744	0.060	44.4	165	7331.46	7.3	480	21330
10	744	0.041	30.8	220	6771.68	6.8	658	20269
11	744	0.027	20.1	300	6025.58	6.0	876	17504
12	744	0.017	12.4	385	4761.45	4.8	1138	14073
13	744	0.010	7.2	450	3237.92	3.2	1447	10410
14	744	0.005	3.96	550	2177.79	2.2	1807	7154.7
15	744	0.003	2.06	50	103.13	0.1	2222	4584.2
16	744	0.001	1.02	55	55.98	0.1	2697	2745.3
17	744	0.001	0.48	60	28.56	0.0	3235	1540
18	744	0.000	0.21	65	13.72	0.0	3840	810.66
19	744	0.000	0.09	70	6.22	0.0	4517	401.03
20	744	0.000	0.04	75	2.66	0.0	5268	186.68
21	744	0.000	0.01	80	1.07	0.0	6098	81.863
22	744	0.000	0	85	0.41	0.0	7012	33.847
Energía Mensual Producida						54.1	Total Watts	166067
Energía Diaria Producida						1.7	Total kWatts	166.07

Fuente: Mario Santizo 2010

**Tabla No. 12** análisis realizado para el mes de febrero

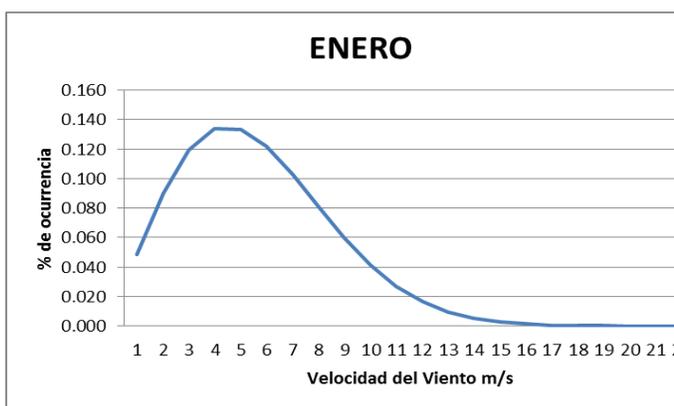
**Febrero: Velocidad Promedio 5.27 m/s**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Av	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>1</sub>	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
PIV <sub>1</sub>	0.055	0.101	0.132	0.144	0.139	0.123	0.099	0.074	0.052	0.033	0.020	0.012	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PIV <sub>2</sub>	5.5	10.1	13.2	14.4	13.9	12.3	9.9	7.406	5.152	3.345	2.03	1.16	0.62	0.31	0.15	0.06	0.03	0.01	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	672	0.055	36.9	0	0.00	0.0	0.66	24.33
2	672	0.101	67.9	0	0.00	0.0	5.27	357.62
3	672	0.132	88.4	0	0.00	0.0	17.8	1571.7
4	672	0.144	96.7	20	1933.99	1.9	42.1	4075.3
5	672	0.139	93.7	40	3748.52	3.7	82.3	7713.7
6	672	0.123	82.4	55	4531.54	4.5	142	11719
7	672	0.099	66.6	70	4658.73	4.7	226	15032
8	672	0.074	49.8	120	5972.00	6.0	337	16779
9	672	0.052	34.6	165	5712.00	5.7	480	16618
10	672	0.033	22.5	220	4944.64	4.9	658	14800
11	672	0.020	13.7	300	4995.55	4.1	876	11965
12	672	0.012	7.77	385	2992.02	3.0	1138	8843.1
13	672	0.006	4.15	450	1868.27	1.9	1447	6006.4
14	672	0.003	2.08	550	1145.97	1.1	1807	3764.9
15	672	0.001	0.98	50	49.16	0.0	2222	2184.9
16	672	0.001	0.44	55	24.00	0.0	2697	1177.1
17	672	0.000	0.18	60	10.94	0.0	3235	589.99
18	672	0.000	0.07	65	4.66	0.0	3840	275.6
19	672	0.000	0.03	70	1.86	0.0	4517	120.17
20	672	0.000	0.01	75	0.70	0.0	5268	48.969
21	672	0.000	0	80	0.24	0.0	6098	18.669
22	672	0.000	0	85	0.08	0.0	7012	6.655
Energía Mensual Producida						41.7	Total Watts	123693
Energía Diaria Producida						1.5	Total kWatts	123.69

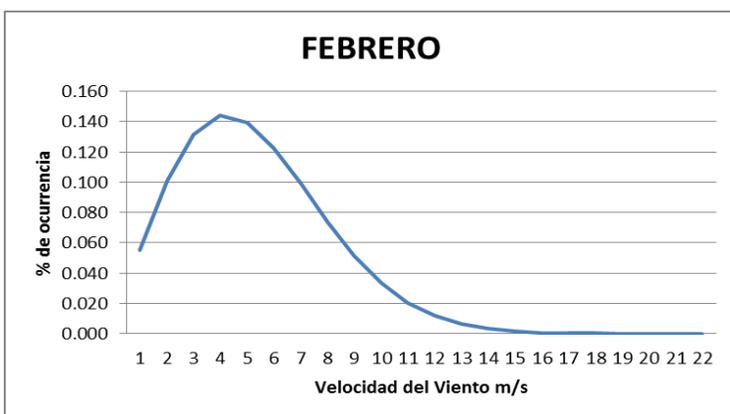
Fuente: Mario Santizo 2010

**Figura No. 14** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de enero



Fuente: Mario Santizo 2010

**Figura No. 15** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de marzo



Fuente: Mario Santizo 2010

# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

**Tabla No. 13** análisis realizado para el mes de marzo

**Velocidad Promedio 4.86 m/s**

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.064	0.116	0.148	0.156	0.145	0.121	0.091	0.063	0.040	0.024	0.013	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	6.43	11.6	14.8	15.6	14.5	12.1	9.13	6.334	4.049	2.392	1.31	0.66	0.31	0.14	0.06	0.02	0.01	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	720	0.054	46.3	0	0.00	0.0	0.66	30.5
2	720	0.116	83.8	0	0.00	0.0	5.27	441.66
3	720	0.148	106	0	0.00	0.0	17.8	1893.4
4	720	0.156	113	20	2250.15	2.3	42.1	4741.5
5	720	0.145	104	40	4170.43	4.2	82.3	8582
6	720	0.121	86.8	55	4773.23	4.8	142	12344
7	720	0.091	65.7	70	4630.01	4.6	226	14843
8	720	0.063	45.6	120	5472.89	5.5	337	15377
9	720	0.040	29.2	165	4810.30	4.8	480	13995
10	720	0.024	17.2	220	3788.66	3.8	658	11340
11	720	0.013	9.42	300	2826.91	2.8	876	8258.9
12	720	0.007	4.78	385	1842.01	1.8	1138	5444.2
13	720	0.003	2.26	450	1015.73	1.0	1447	3265.5
14	720	0.001	0.99	550	544.75	0.5	1807	1789.7
15	720	0.001	0.4	50	20.23	0.0	2222	899.16
16	720	0.000	0.15	55	8.47	0.0	2697	415.22
17	720	0.000	0.05	60	3.28	0.0	3235	176.62
18	720	0.000	0.02	65	1.17	0.0	3840	69.324
19	720	0.000	0.01	70	0.39	0.0	4517	25.147
20	720	0.000	0	75	0.12	0.0	5268	8.4408
21	720	0.000	0	80	0.03	0.0	6098	2.6245
22	720	0.000	0	85	0.01	0.0	7012	0.7567
				Energía Mensual Producida		36.1	Total Watts	109943
				Energía Diaria Producida		1.2	Total kWatts	103.94

**Tabla No. 14** análisis realizado para el mes de abril

**Abril: Velocidad Promedio 4.49 m/s**

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.075	0.133	0.165	0.167	0.147	0.115	0.081	0.052	0.030	0.016	0.008	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	7.49	13.3	16.5	16.7	14.7	11.5	8.09	5.151	2.988	1.584	0.77	0.34	0.14	0.05	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	720	0.075	54	0	0.00	0.0	0.66	35.53
2	720	0.133	96	0	0.00	0.0	5.27	505.78
3	720	0.165	119	0	0.00	0.0	17.8	2107.3
4	720	0.167	120	20	2406.26	2.4	42.1	5070.5
5	720	0.147	106	40	4236.51	4.2	82.3	8717.9
6	720	0.115	82.8	55	4533.86	4.6	142	11777
7	720	0.081	58.2	70	4074.84	4.1	226	13148
8	720	0.052	37.1	120	4450.37	4.5	337	12504
9	720	0.030	21.5	165	3549.96	3.5	480	10328
10	720	0.016	11.4	220	2508.72	2.5	658	7509.1
11	720	0.008	5.53	300	1660.50	1.7	876	4851.2
12	720	0.003	2.46	385	948.90	0.9	1138	2304.5
13	720	0.001	1.01	450	453.68	0.5	1447	1458.6
14	720	0.001	0.38	550	208.58	0.2	1807	685.24
15	720	0.000	0.13	50	6.56	0.0	2222	291.77
16	720	0.000	0.04	55	2.30	0.0	2697	112.89
17	720	0.000	0.01	60	0.74	0.0	3235	39.777
18	720	0.000	0	65	0.22	0.0	3840	12.786
19	720	0.000	0	70	0.06	0.0	4517	3.7554
20	720	0.000	0	75	0.01	0.0	5268	1.0091
21	720	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.2483
22	720	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	0.056
				Energía Mensual Producida		29.1	Total Watts	81965
				Energía Diaria Producida		1.0	Total kWatts	81.965

**Figura No. 16** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de marzo



**Figura No. 17** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de abril



# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

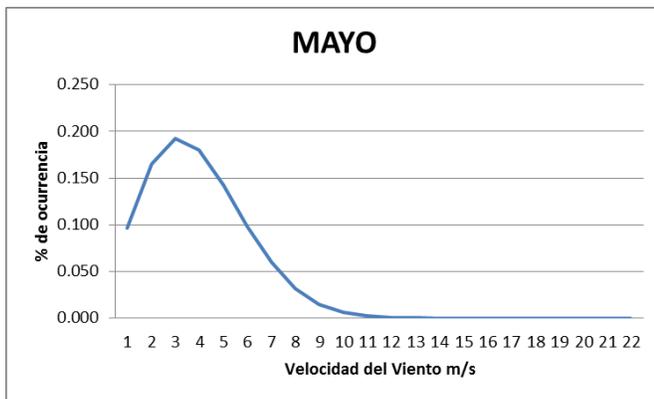
## Taba No. 15 análisis realizado para el mes de mayo

**Mayo:** Velocidad Promedio 3.94 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Av	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>1</sub>	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=%	0.096	0.165	0.193	0.180	0.143	0.098	0.059	0.032	0.015	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fv)=%	9.62	16.5	19.3	18	14.3	9.82	5.94	3.177	1.512	0.642	0.24	0.08	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.096	71.6	0	0.00	0.0	0.66	47.128
2	744	0.165	123	0	0.00	0.0	5.27	647.87
3	744	0.193	143	0	0.00	0.0	17.8	2546.8
4	744	0.180	134	20	2680.58	2.7	42.1	5648.5
5	744	0.143	106	40	4250.25	4.3	82.3	8746.2
6	744	0.098	73.1	55	4019.75	4.0	142	10395
7	744	0.059	44.2	70	3091.98	3.1	226	9976.7
8	744	0.032	23.6	120	2836.10	2.8	337	7968.3
9	744	0.015	11.3	165	1856.27	1.9	480	5400.6
10	744	0.006	4.78	210	1051.62	1.1	658	3147.7
11	744	0.002	1.82	300	545.16	0.5	876	1592.7
12	744	0.001	0.62	385	238.39	0.2	1138	704.56
13	744	0.000	0.19	450	85.21	0.1	1447	273.94
14	744	0.000	0.05	550	28.61	0.0	1807	84
15	744	0.000	0.01	50	0.64	0.0	2222	28.561
16	744	0.000	0	55	0.16	0.0	2697	7.7043
17	744	0.000	0	60	0.03	0.0	3235	1.8491
18	744	0.000	0	65	0.01	0.0	3840	0.3956
19	744	0.000	0	70	0.00	0.0	4517	0.0755
20	744	0.000	0	75	0.00	0.0	5268	0.0129
21	744	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.002
22	744	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	0.0003
Energía Mensual Producida							20.7	57229
Energía Diaria Producida							0.7	57.229
Total Watts								57229
Total kWatts								57.229

**Figura No. 18** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de mayo



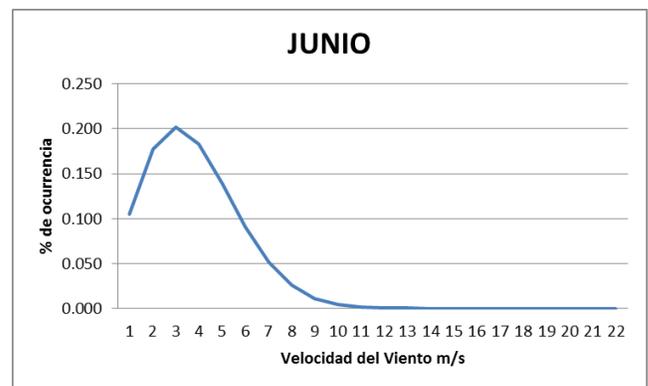
## Taba No. 16 análisis realizado para el mes de junio

**Junio:** velocidad Promedio 3.77 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Av	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>1</sub>	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=%	0.105	0.177	0.202	0.183	0.139	0.091	0.052	0.026	0.011	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fv)=%	10.5	17.7	20.2	18.3	13.9	9.07	5.16	2.574	1.132	0.44	0.15	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	720	0.105	75.3	0	0.00	0.0	0.66	49.582
2	720	0.177	128	0	0.00	0.0	5.27	672.12
3	720	0.202	145	0	0.00	0.0	17.8	2581.2
4	720	0.183	131	20	2629.52	2.6	42.1	5540.9
5	720	0.139	99.9	40	3997.85	4.0	82.3	8226.8
6	720	0.091	65.3	55	3591.88	3.6	142	9289
7	720	0.052	37.1	70	2600.26	2.6	226	8390.1
8	720	0.026	18.5	120	2223.86	2.2	337	6248.2
9	720	0.011	8.15	165	1344.56	1.3	480	3911.8
10	720	0.004	3.17	220	697.10	0.7	658	2086.6
11	720	0.002	1.09	300	527.65	0.3	876	957.24
12	720	0.000	0.33	385	128.70	0.1	1138	380.36
13	720	0.000	0.09	450	40.94	0.0	1447	131.61
14	720	0.000	0.02	550	12.12	0.0	1807	39.814
15	720	0.000	0	50	0.24	0.0	2222	10.566
16	720	0.000	0	55	0.05	0.0	2697	2.4664
17	720	0.000	0	60	0.01	0.0	3235	0.5075
18	720	0.000	0	65	0.00	0.0	3840	0.0922
19	720	0.000	0	70	0.00	0.0	4517	0.0148
20	720	0.000	0	75	0.00	0.0	5268	0.0021
21	720	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.0003
22	720	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	3E-05
Energía Mensual Producida							17.6	48519
Energía Diaria Producida							0.6	48.519
Total Watts								48519
Total kWatts								48.519

**Figura No. 19** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de junio



# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

## Taba No. 17 análisis realizado para el mes de Julio

**Julio:** velocidad Promedio 4.21 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.085	0.148	0.178	0.174	0.146	0.108	0.071	0.042	0.022	0.011	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	8.48	14.8	17.8	17.4	14.6	10.8	7.07	4.159	2.203	1.055	0.46	0.18	0.06	0.02	0.01	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.085	63.1	0	0.00	0.0	0.66	41.537
2	744	0.148	110	0	0.00	0.0	5.27	581.87
3	744	0.178	133	0	0.00	0.0	17.8	2360.3
4	744	0.174	130	20	2596.00	2.6	42.1	5470.3
5	744	0.146	109	40	4355.54	4.4	32.3	8902.9
6	744	0.108	80.3	55	4414.02	4.4	142	11415
7	744	0.071	52.6	70	3684.14	3.7	226	11887
8	744	0.042	30.9	120	3713.13	3.7	337	10432
9	744	0.022	16.4	165	2704.18	2.7	480	7867.5
10	744	0.011	7.85	220	1726.17	1.7	658	5166.7
11	744	0.005	3.4	300	1021.02	1.0	876	2983
12	744	0.002	1.34	385	515.86	0.5	1138	1524.7
13	744	0.001	0.48	450	215.74	0.2	1447	693.59
14	744	0.000	0.16	550	85.83	0.1	1807	281.99
15	744	0.000	0.05	50	2.31	0.0	2222	102.8
16	744	0.000	0.01	55	0.69	0.0	2697	33.692
17	744	0.000	0	60	0.18	0.0	3235	9.9486
18	744	0.000	0	65	0.04	0.0	3840	2.6515
19	744	0.000	0	70	0.01	0.0	4517	0.6388
20	744	0.000	0	75	0.00	0.0	5268	0.1393
21	744	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.0275
22	744	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	0.0049
				Energía Mensual Producida	25.0		Total Watts	69819
				Energía Diaria Producida	0.8		Total Kwatts	69.819

## Taba No. 18 análisis realizado para el mes de agosto

**Agosto:** velocidad Promedio 4.21 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.092	0.159	0.188	0.178	0.144	0.102	0.063	0.035	0.017	0.008	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	9.22	15.9	18.8	17.8	14.4	10.2	6.33	3.503	1.732	0.768	0.31	0.11	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.092	68.6	0	0.00	0.0	0.66	45.148
2	744	0.159	119	0	0.00	0.0	5.27	624.81
3	744	0.188	140	0	0.00	0.0	17.8	2483.7
4	744	0.178	133	20	2655.45	2.7	42.1	5595.6
5	744	0.144	107	40	4295.94	4.3	82.3	8840.2
6	744	0.102	75.7	55	4164.07	4.2	142	10769
7	744	0.063	47.1	70	3297.40	3.3	226	10640
8	744	0.035	26.1	120	3127.61	3.1	337	8787.3
9	744	0.017	12.9	165	2126.33	2.1	480	6186.3
10	744	0.008	5.71	220	1256.85	1.3	658	3762
11	744	0.003	2.28	300	682.86	0.7	876	1995
12	744	0.001	0.82	385	314.35	0.3	1138	929.06
13	744	0.000	0.26	450	118.81	0.1	1447	381.98
14	744	0.000	0.08	550	42.38	0.0	1807	139.22
15	744	0.000	0.02	50	1.02	0.0	2222	45.134
16	744	0.000	0	55	0.27	0.0	2697	13.048
17	744	0.000	0	60	0.06	0.0	3235	3.3713
18	744	0.000	0	65	0.01	0.0	3840	0.7788
19	744	0.000	0	70	0.00	0.0	4517	0.1618
20	744	0.000	0	75	0.00	0.0	5268	0.0301
21	744	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.0005
22	744	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	0.0008
				Energía Mensual Producida	22.1		Total Watts	61241
				Energía Diaria Producida	0.7		Total Kwatts	61.241

**Figura No. 20** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de julio



**Figura No. 21** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de agosto



# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

**Taba No. 19** análisis realizado para el mes de septiembre

**Taba No. 20** análisis realizado para el mes de octubre

**Septiembre:** velocidad Promedio 4.21 m/s

**Octubre:** velocidad Promedio 4.21 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	3.59	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.119	0.197	0.215	0.184	0.130	0.078	0.040	0.018	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)=%	11.9	19.7	21.5	18.4	13	7.77	3.97	1.755	0.672	0.224	0.07	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0

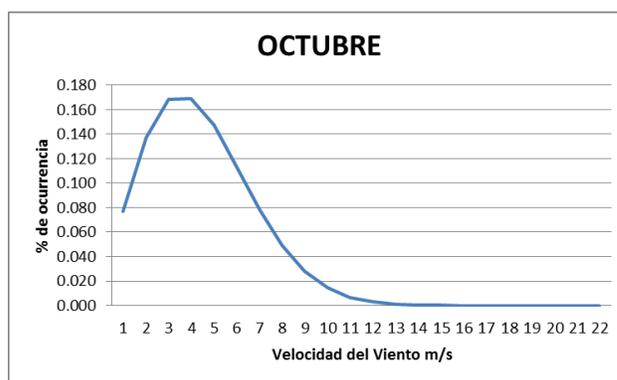
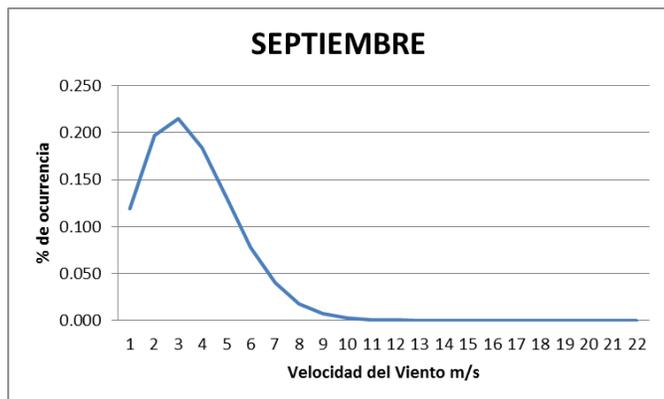
v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.077	0.137	0.168	0.169	0.147	0.113	0.078	0.049	0.028	0.014	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)=%	7.72	13.7	16.8	16.9	14.7	11.3	7.85	4.909	2.788	1.443	0.68	0.3	0.12	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	kwh/hora	Poder Del Viento	Poder x
1	720	0.119	85.7	0	0.00	0.0	0.66	56.4
2	720	0.197	142	0	0.00	0.0	5.27	746
3	720	0.215	155	0	0.00	0.0	17.8	27
4	720	0.184	132	20	2648.47	2.6	42.1	558
5	720	0.130	93.6	40	3742.60	3.7	82.3	770
6	720	0.078	55.9	55	3074.96	3.1	142	795
7	720	0.040	28.6	70	2002.83	2.0	226	646
8	720	0.018	12.6	120	1516.30	1.5	337	426
9	720	0.007	4.84	165	798.45	0.8	480	23
10	720	0.002	1.61	220	354.73	0.4	658	106
11	720	0.001	0.47	300	140.57	0.1	876	410
12	720	0.000	0.12	385	45.90	0.0	1138	135
13	720	0.000	0.03	450	11.89	0.0	1447	38.2
14	720	0.000	0.01	550	2.83	0.0	1807	9.28
15	720	0.000	0	50	0.04	0.0	2222	1.94
16	720	0.000	0	55	0.01	0.0	2697	0.35
17	720	0.000	0	60	0.00	0.0	3235	0.05
18	720	0.000	0	65	0.00	0.0	3840	0.00
19	720	0.000	0	70	0.00	0.0	4517	0.00
20	720	0.000	0	75	0.00	0.0	5268	9E-
21	720	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	8E-
22	720	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	7E-
				Energía Mensual Producida	14.3	Total Watts	394	
				Energía Diaria Producida	0.5	Total kWh	39.4	

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	kwh/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.077	57.5	0	0.00	0.0	0.66	37.839
2	744	0.137	102	0	0.00	0.0	5.27	536.64
3	744	0.168	125	0	0.00	0.0	17.8	222.1
4	744	0.169	126	20	2515.29	2.5	42.1	5300.2
5	744	0.147	109	40	4379.18	4.4	82.3	9011.5
6	744	0.113	84.4	55	4643.26	4.6	142	12008
7	744	0.078	58.4	70	4088.20	4.1	226	13191
8	744	0.049	36.5	120	4382.43	4.4	337	12313
9	744	0.028	20.7	165	3422.63	3.4	480	9957.7
10	744	0.014	10.7	220	2362.25	2.4	658	7070.6
11	744	0.007	5.08	300	1523.24	1.5	876	4450.2
12	744	0.003	2.2	385	845.92	0.8	1138	2500.2
13	744	0.001	0.87	450	392.06	0.4	1447	1260.5
14	744	0.000	0.32	550	174.30	0.2	1807	572.62
15	744	0.000	0.11	50	5.29	0.0	2222	235.18
16	744	0.000	0.03	55	1.79	0.0	2697	87.552
17	744	0.000	0.01	60	0.55	0.0	3235	29.609
18	744	0.000	0	65	0.15	0.0	3840	9.1124
19	744	0.000	0	70	0.04	0.0	4517	2.556
20	744	0.000	0	75	0.01	0.0	5268	0.6542
21	744	0.000	0	80	0.00	0.0	6098	0.153
22	744	0.000	0	85	0.00	0.0	7012	0.0327
				Energía Mensual Producida	28.7	Total Watts	80797	
				Energía Diaria Producida	0.9	Total kWh	80.797	

**Figura No. 22** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de septiembre

**Figura No. 23** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de octubre



# Anteproyecto de electrificación residencial por medio de energía eólica/solar en comunidades aisladas de Guatemala

Fecha enviada: 11 septiembre 2021

Fecha corregida: 29 septiembre 2021

**Taba No. 21** análisis realizado para el mes de noviembre

**Noviembre:** velocidad Promedio 4.82 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.065	0.118	0.150	0.157	0.145	0.120	0.090	0.062	0.039	0.023	0.012	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	6.54	11.8	15	15.7	14.5	12	9.03	6.216	3.936	2.301	1.24	0.62	0.29	0.13	0.05	0.02	0.01	0	0	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Ho
1	720	0.065	47.1	0	0.00	0.0	0.66	30.991
2	720	0.118	85	0	0.00	0.0	5.27	448.03
3	720	0.150	108	0	0.00	0.0	17.8	1915.4
4	720	0.157	113	20	2267.46	2.3	42.1	4778
5	720	0.145	105	40	4181.60	4.2	82.3	8604.9
6	720	0.120	86.5	55	4756.92	4.8	142	12302
7	720	0.090	65	70	4551.39	4.6	226	14696
8	720	0.062	44.8	120	5370.21	5.4	337	15098
9	720	0.039	28.3	165	4675.79	4.7	480	13604
10	720	0.023	16.6	220	3644.15	3.6	658	10908
11	720	0.012	8.96	300	2687.62	2.7	876	7852
12	720	0.006	4.49	385	1729.07	1.7	1138	5110.4
13	720	0.003	2.09	450	940.33	0.9	1447	3023.1
14	720	0.001	0.9	550	496.83	0.5	1807	1632.2
15	720	0.001	0.36	50	18.16	0.0	2222	806.98
16	720	0.000	0.14	55	7.47	0.0	2697	365.3
17	720	0.000	0.05	60	2.84	0.0	3235	152.99
18	720	0.000	0.02	65	1.00	0.0	3840	58.895
19	720	0.000	0	70	0.32	0.0	4517	20.99
20	720	0.000	0	75	0.10	0.0	5268	6.8753
21	720	0.000	0	80	0.03	0.0	6098	2.0897
22	720	0.000	0	85	0.01	0.0	7012	0.5883
Energía Mensual Producida						35.3	Total Watts	101398
Energía Diaria Producida						1.2	Total Kwatts	101.4

**Figura No. 24** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de noviembre



**Taba No. 22** análisis realizado para el mes de diciembre

**Diciembre:** velocidad Promedio 4.82 m/s

v (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V <sub>i</sub>	5.38	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36
π	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142	3.142
F(v)=	0.053	0.098	0.128	0.141	0.138	0.123	0.100	0.076	0.054	0.036	0.022	0.013	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F(v)= %	5.32	9.8	12.8	14.1	13.8	12.3	10	7.604	5.375	3.552	2.2	1.28	0.7	0.36	0.17	0.08	0.03	0.01	0.01	0	0	0

Velocidad	Numero de horas	% de ocurrencia	Total	Potencia producida	Watts/hora	Kwatt/hora	Poder Del Viento	Poder x Horas
1	744	0.053	39.6	0	0.00	0.0	0.66	26.064
2	744	0.098	72.9	0	0.00	0.0	5.27	384.19
3	744	0.128	95.4	0	0.00	0.0	17.8	1696.5
4	744	0.141	105	20	2101.32	2.1	42.1	4427.9
5	744	0.138	103	40	4107.52	4.1	82.3	8452.5
6	744	0.123	91.2	55	5017.24	5.0	142	12975
7	744	0.100	74.6	70	5221.60	5.2	226	16848
8	744	0.076	56.6	120	6788.74	6.8	337	19074
9	744	0.054	40	165	6597.97	6.6	480	19196
10	744	0.036	26.4	220	5814.70	5.8	658	17404
11	744	0.022	16.4	300	4912.41	4.9	876	14352
12	744	0.013	9.53	385	3667.35	3.7	1138	10839
13	744	0.007	5.21	450	2344.51	2.3	1447	7537.4
14	744	0.004	2.68	550	1475.12	1.5	1807	4846.2
15	744	0.002	1.3	50	65.03	0.1	2222	2890.4
16	744	0.001	0.59	55	32.69	0.0	2697	1603.3
17	744	0.000	0.26	60	15.37	0.0	3235	828.96
18	744	0.000	0.1	65	6.77	0.0	3840	400.21
19	744	0.000	0.04	70	2.80	0.0	4517	180.69
20	744	0.000	0.01	75	1.09	0.0	5268	76.384
21	744	0.000	0	80	0.40	0.0	6098	30.268
22	744	0.000	0	85	0.14	0.0	7012	11.253
Energía Mensual Producida						48.2	Total Watts	144080
Energía Diaria Producida						1.6	Total Kwatts	144.08

**Figura No. 25** gráfica de probabilidad de ocurrencia de cierta velocidad de viento para el mes de diciembre



## Bibliografía

- Boxwell, M. (2012). *Solar Electricity Handbook*. United Kingdom: Greenstream Publishing .
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*. New York: Mc Graw Hill.
- Diez, F. (2007). *Energía Eólica*. España: Editorial Universidad de Cantabria.
- Diez, F. (2007). *Estudio sinóptico de los vientos en las regiones de España*. España: Editorial Universidad Cantabria.
- Harper, G. (2007). *Solar Energy Proyect*. New York: Editorial Springer.
- Isabella, O., Klaus, J., Swaaij, R., & Zeman, M. (2016). *Solar Energy: The Physics and Engineering of Fotovoltaic Conversion* (1a ed.). Cambridge: UIT Cambridge Ltd.
- Kanoglu, M., Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). *Fundamentals and Applications of Renewable Energy* (1a ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Krarti, M. (2000). *Energy Audits of Building Systems*. United States of America: CRC Press.
- Minas, M. d. (2014). *Gobierno de la República de Guatemala; Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de <http://www.mem.gob.gt/2014/03/cobertura-electrica-nacional.alcanza-el-89-58/>
- OEI. (2002). *Informe del proyecto educativo en Guatemala*. Guatemala: Organización de Estados Iberoamericanos.
- Patel, R. (2000). *Wind and Solar Power Systems*. New York: CRC Press.
- Rajeshwar, K., McConell, R., & Licht, S. (2008). *Solar Hidrogen Generation*. New York: Editorial Springer.
- Santizo, M., Oven, M., & Paskevish, A. (2002). *Administración y Utilización de la Energía en su Industria*. Guatemala: ICAITI.
- Vaughn, N. (2009). *Wind Energy: Renewable Energy and the Environment*. United States of America: CRC Press.