

UNIVERSIDAD DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
MAESTRÍA DE ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO EN OPCION AL TITULO DE MASTER  
EN ELECTROMECAÁNICA

SISTEMA DE GENERACIÓN ALTERNATIVA EN  
ASENTAMIENTOS RURALES

Yacsel Macias Aguilera

Moa, 2019

**UNIVERSIDAD DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA**

**TESIS DE GRADO EN OPCION AL TITULO DE  
MASTER EN ELECTROMECAÁNICA**

**SISTEMA DE GENERACIÓN ALTERNATIVA EN  
ASENTAMIENTOS RURALES**

**Autor:** Yacsel Macías Aguilera

**Tutor:** Dr.C. Gabriel Hernández Ramírez

Moa, 2019

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido a la culminación de esta meta.

El Autor

## **DEDICATORIA**

Deseo dedicar la culminación de esta meta a todos los que realmente me quieren y muy en especial a mis Padres, los cuales han sido propulsores de mi educación y formación.

**El Autor**

## **RESUMEN**

La presente investigación, se desarrolla con el propósito de proponer un sistema de electrificación para viviendas a partir de un estudio de potencialidad de la región rural de Santa Rita municipio Báguanos. Para realizar este trabajo, se partió de la recopilación de información del comportamiento de la velocidad del viento, la radiación solar promedio y la utilización de software profesionales se procedió a correlacionar los valores medidos. Se seleccionó la vivienda tipo a electrificar, se determinó la cantidad de energía eléctrica que se puede generar con un sistema de generación de energía alternativa y se dimensionó el sistema, determinando todos los elementos necesarios para su funcionamiento. Luego con la ayuda del Software HOMER se realizó la simulación del sistema con el fin de tener un sistema eficiente determinando que fuente de energía es mejor para el sistema de generación y se realizó la valoración técnica, económica de la propuesta que permitió evaluar cinco variantes de electrificación como alternativas para el asentamiento.

## **ABSTRACT**

This research is developed with the purpose of proposing a system of electrification for houses based on a study of potentiality of the rural region of Santa Rita municipality of Báguanos. In order to carry out this work, we started by collecting information on the behavior of wind speed, average solar radiation and the use of professional software to correlate the measured values. The type of dwelling to be electrified was selected, the amount of electrical energy that can be generated with an alternative energy generation system was determined and the system was sized, determining all the elements necessary for its operation. Then, with the help of the HOMER software, the simulation of the system was carried out in order to have an efficient system determining which energy source is better for the generation system and the technical and economic evaluation of the proposal was made, which allowed the evaluation of five electrification variants as alternatives for the settlement.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE GENERAL .....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación .....	6
1.2. Determinación del recurso eólico .....	11
1.3. Determinación del recurso solar .....	18
1.4. Sistema de electrificación requeridos en instalaciones domesticas .....	19
1.5. Conclusiones del capítulo .....	22
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.1. Diseño de la investigación.....	23
2.2. Procedimiento de la Investigación.....	24
2.3. Población y Muestra .....	24
2.4. Métodos y Técnicas .....	27
2.5. Conclusiones del capítulo.....	34
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	35
3.1. Evaluación de la planta diesel que suministra electricidad al poblado.....	35
3.2. Determinación del recurso eólico .....	37
3.3. Determinación del recurso solar .....	44
3.3. Diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación alternativa.....	47
3.4. Análisis económico .....	59
3.5. Conclusiones del capítulo.....	65
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXOS .....	73

## INTRODUCCIÓN

Las Energías Renovables representaron el 70% de la ganancia neta de capacidad mundial de generación de energía en el 2017, el mayor incremento en la capacidad de energía renovable en la historia moderna, según Renovables 2018 Informe sobre la situación mundial de REN21 (GSR). Pero los sectores de calefacción, refrigeración y transporte – que en conjunto representan aproximadamente cuatro quintas partes de la demanda global de energía final – siguen estando muy por detrás del sector de la energía. El Informe Global del Estado de Renovables 2018 revela dos realidades: una en la que la revolución en el sector energético está impulsando un cambio rápido hacia un futuro de energía renovable y otra en la que la transición global no avanza con la velocidad necesaria.

La mayor de las Antillas se caracteriza por tener una radiación solar promedio de alrededor de más de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día, por lo que al año se tiene por cada m<sup>2</sup> de superficie 1825 kWh/m<sup>2</sup>, con una variabilidad aproximada de  $\pm 10\%$  a lo largo y ancho de la isla, aspecto muy positivo, a diferencia de otras latitudes mayores. La componente directa de la radiación está entre un 65% y 80%, siendo la componente difusa relativamente alta, lo que enriquece el espectro solar en las longitudes de onda del azul (Gerald, 2012).

“En el territorio cubano, con un poco más de 110 mil kilómetros cuadrados (sin contar los mares adyacentes), se recibe una radiación solar equivalente a 50 millones de toneladas de petróleo cada día. O sea, la radiación solar que recibe Cuba en un solo día es mayor, en su valor energético, que todo el petróleo que se consume durante cinco años. Dicho de otra forma: en Cuba se recibe 1 800 veces más energía solar que el petróleo que consume” (Del Moral, 2006).

Por las condiciones climatológicas de Cuba, su ubicación y características, es frecuente que en las tardes exista una mayor probabilidad de nublados que en horas de la mañana, trayendo como consecuencia que la incidencia solar disminuya en horas de la tarde. Aun así, Cuba cuenta con un valor de irradiación solar de grandes posibilidades de explotación.

Tanto la demanda de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía aumentaron sustancialmente por primera vez en cuatro años. Las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía aumentaron un 1,4%. La demanda mundial de energía aumentó un estimado de 2,1% en 2017, debido al crecimiento económico de las economías emergentes, así como el crecimiento de

la población. La captación de la energía renovable no está a la par con este aumento de la demanda de energía y la inversión continua en fósiles y la capacidad nuclear.

En el sector de la energía, la transición a las energías renovables está en marcha, pero progresa más lentamente de lo posible o deseable. Un compromiso adquirido en el marco del acuerdo sobre el clima de París 2015 para limitar el aumento de la temperatura mundial a “muy por debajo” de 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales hace que la naturaleza del desafío sea mucho más clara.

Para determinar las necesidades energéticas de una comunidad rural es necesario examinar muy de cerca cómo se gastará la energía y qué condiciones técnicas y socio-económicas se requieren. Este es un proceso dinámico, ya que las condiciones específicas de un lugar cambian con el tiempo. Es importante no confundir la demanda potencial con el consumo presente. El consumo, en cada instante, puede estar afectado por los precios y/o la disponibilidad de combustibles o tecnologías. Los usuarios pueden necesitar más energía de la que son capaces de pagar o de conseguir (existe una gran diferencia entre necesidad y demanda efectiva).

Muchos estudios afirman que los programas de desarrollo y electrificación rural tienen que hacer partícipes las comunidades en todos los aspectos del proceso desde el proyecto para asegurar que los servicios energéticos aportados sean apropiados, socialmente aceptables y sostenibles (económicamente y ambientalmente): se puede entonces razonablemente concluir que solo asumiendo una manera de operar centrada en las necesidades de las personas se pueden conseguir proyectos que sean realmente eficientes y concretos. Se puede además destacar que es principalmente en la fase de identificación cuando este enfoque participativo resulta esencial para conseguir planificar un sistema de suministro de energía apropiado que se ajuste a las necesidades de servicios (Yáñez,2009).

Los servicios energéticos que necesita una población (cocinar, calefacción, electricidad, trabajo mecánico) hacen referencia a diferentes tipos de tecnología energética; aquí se centra solamente en el suministro de energía eléctrica. El entorno rural en países en desarrollo se caracteriza por cierto grado de inaccesibilidad, extremo en algunas comunidades, distanciamiento de los centros económicos y niveles bajos de consumo por habitante; todo ello hace que sea muy poco rentable dotarlo de servicio eléctrico.

Primeramente, cabe destacar que la identificación de las opciones tecnológicas para las fuentes de energía depende mucho del horizonte temporal: Tecnología a corto plazo: permite una mejora

inmediata de la situación actual; Tecnología a medio plazo: para conseguir un espectacular avance en un periodo de 5 a 10 años; Tecnología a largo plazo: aquella que debería prevalecer después de 20 a 30 años y proporcionar una solución sostenible. Según el enfoque que se adopta, la electrificación a corto plazo de las zonas rurales se puede conseguir a través de dos opciones: Sistemas centralizados: orientados a extender las redes eléctricas hasta aquellos que pueden permitirse su utilización (pago de cotas de conexión y consumo); Sistemas descentralizados o autónomos: pequeños grupos de generación aislados o miniredes.

Dependiendo de las condiciones locales, las tecnologías de suministro eléctrico en sistemas aislados se pueden diferenciar en base al tipo de fuente energética aprovechada: No renovable: motores diesel, baterías. Renovable: sistemas eólicos, solares, hidráulicos o de biomasa. Deben considerarse, en la etapa de valoración de alternativas y facilidades de gestión de los sistemas energéticos (que pudieran ser instalados), la complejidad y la periodicidad de mantenimiento requerido en cada tecnología, así como otros elementos clave que incidan en la operación de los sistemas y por ende en su selección, con el fin de garantizar su funcionamiento continuo, durante el tiempo de vida útil planificado para cada sistema energético, logrando así el retorno social esperado con la inversión realizada.

Actualmente, los proyectos de electrificación rural deben enfocarse hacia un modelo de sustentabilidad, que abarque un proceso amplio desde la planificación territorial, el diagnóstico y la evaluación de alternativas y de las facilidades de gestión de los sistemas energéticos disponibles, hasta la selección de la tecnología más adecuada para la electrificación de cada comunidad.

Las necesidades de energía de los habitantes rurales están directamente vinculadas a los aspectos económicos y sociales de sus vidas, presentando así grandes variaciones entre las diferentes localidades. El consumo de energía está sujeto a las variaciones en el nivel socio-económico de los usuarios y está también influenciada por los desarrollos técnicos y económicos generales, como la introducción de nuevos utensilios domésticos diseñados para ser energéticamente más eficientes y más respetuosos con el medioambiente. Estas necesidades se pueden clasificar en las tres siguientes categorías: Necesidades domésticas, como la cocción de alimentos (que también puede ser colectiva), el acondicionamiento térmico de los hogares (calefacción, ventilación, refrigeración) que aumente el confort, la iluminación de los hogares, el acceso a información o entretenimiento (radio, TV); Necesidades colectivas, como: el alumbrado público, la iluminación y acceso a la información de centros educativos o centros sociales comunitarios, el funcionamiento de centros de salud, el funcionamiento de servicios públicos de agua potable y

saneamiento, etc.; Necesidades de los usos productivos que generen ingresos y empleo. Como se puede observar, la energía juega un papel clave para garantizar, no sólo las necesidades de las personas, sino otros servicios públicos básicos en la promoción del desarrollo humano: salud, educación, agua y saneamiento.

Es importante recordar que el consumo de energía es un “consumo derivado”: las personas no quieren energía en si misma sino quieren los “servicios energéticos” que ella produce, es decir, la utilización que se hace del suministro, por ejemplo, cocinar, iluminar, calentar, transporte, etc.

El retorno social esperado en estos proyectos, visible mediante el conjunto de nuevas actividades y cambios sociales experimentados en la población beneficiaria de los mismos, puede medirse a través de las actividades socio-económicas, educativas, culturales, de organización comunal, de salubridad, entre otras, que elevan la calidad de vida y la sustentabilidad de la comunidad, y que hayan sido impulsadas a consecuencia de la incorporación del proyecto de electrificación. Nuestro país apuesta por contar con un sector energético sostenible, que beneficie a cada uno de sus habitantes por lo que se plantea como **situación problemática**:

La falta de energía eléctrica en sectores rurales aislados, afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable y creativa, por el cierto grado de inaccesibilidad, extremo en algunas comunidades, distanciamiento de los centros económicos y niveles bajos de consumo por habitante; todo ello hace que sea muy poco rentable dotarlo de servicio eléctrico.

El sistema de electrificación actual del poblado rural de Santa Rita no satisface las necesidades de sus pobladores ya que el horario de conexión de la planta es insuficiente, solo cuatro horas al día, además el uso de tendederas, conductores y postes inadecuados provoca grandes caídas de tensión.

**Problema científico:**

El potencial para la electrificación es desconocido, lo que no permite constar con sistema de generación de energía eléctrica capaz de aprovechar eficientemente la energía reduciendo el nocivo impacto ambiental y elevando la calidad de vida de sus pobladores.

**Objeto de estudio:** Viviendas del sector rural de Santa Rita.

**Objetivo general:** Proponer un sistema de electrificación para viviendas del sector rural de Santa Rita.

**Campo de acción:** Electrificación de viviendas.

**Hipótesis:** Si se caracterizan las variables climatológicas, ubicación geográfica y el comportamiento de la demanda de potencia eléctrica en las viviendas de la localidad de Santa

Rita, entonces, a partir de una metodología, se pueden determinar las variantes de electrificación más adecuada a utilizar en dicha localidad.

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar las variables climatológicas de las localidades de Santa Rita.
2. Determinar la demanda de potencia eléctrica de las viviendas.
3. Proponer un sistema de electrificación que se adecue a las condiciones climatológicas y energéticas de las viviendas.

**Tareas de la investigación**

1. Valoración del asentamiento, recorriendo el sitio.
2. Selección de la vivienda tipo para el análisis del potencial.
3. Realizar un perfil de carga diaria de la vivienda tipo.
4. Determinación de la ubicación geográfica y levantamiento topográfico de la vivienda tipo.
5. Evaluación de la potencialidad solar.
6. Obtención del potencial solar.
7. Contrastación de los resultados del potencial solar mediante el uso del software y la web *NASA Surface meteorology and Solar Energy*.
8. Determinación de la energía eléctrica que se puede generar con un sistema de generación de energía alternativa para dimensionar la instalación.
9. Determinación de todos los elementos necesarios y su forma de conexión para utilizar un sistema de generación alternativo.
10. Valoración técnica, económica y ambiental de la propuesta del sistema de generación de energía alternativa.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo del presente capítulo es establecer el Marco Teórico-Metodológico de la investigación, a partir del estado del arte del tema basado en el análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución, así como la base teórica que sustenta la investigación y una caracterización integral del estado actual del objeto de estudio.

### **1.1. Antecedentes de la investigación**

Las primeras energías que el ser humano utilizó para su desarrollo y beneficio son las que ahora se llaman alternativas y que en la actualidad son consideradas como fuentes de energía futuras.

Para implementar energía eléctrica en zonas rurales aisladas es importante diversificar el uso de energías alternativas realizando una evaluación del potencial de las mismas y diseñar sistemas eléctricos aislados para su funcionamiento. El interés en la aplicación de aerogeneradores para el suministro energético en áreas aisladas aumentó a mediados de los años 80. A pesar de que la contribución energética a escala mundial de sistemas eólicos aislados es aún pequeña, el potencial de su impacto en la solución de necesidades energéticas básicas en áreas rurales es de gran interés. El uso de paneles solares en viviendas rurales es más común debido al bajo consumo de energía eléctrica en este tipo de viviendas.

Un plan de electrificación crea procesos de desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores ubicados en el área rural, para ello el presente estudio será de vital importancia.

La población rural de Santa Rita, tiene acceso restringido al servicio de energía eléctrica por ser un sitio aislado y de difícil accesibilidad, esto limita el aprovechamiento de bienes y servicios dependientes de la energía eléctrica disminuyendo su calidad de vida. La falta de energía eléctrica en sectores rurales aislados, afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable y creativa.

Con la implementación del estudio también se pretende contribuir con el cambio climático permitiendo, que disminuya las emisiones contaminantes al ambiente de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>. El potencial de este proyecto es la factibilidad, puesto que el área de estudio presenta condiciones de radiación solar favorables para el aprovechamiento en generación eléctrica, además de ser un sitio apropiado puesto que no presenta la presencia de obstáculos para el aprovechamiento de este recurso.

La creciente demanda de energía eléctrica, el aumento de los precios del petróleo y otros combustibles fósiles y sus derivados, la disminución de sus reservas naturales y los problemas ambientales producto de las emisiones de gases de efecto invernadero por encima de los niveles aceptables, entre otros factores, obliga a los gobiernos a buscar soluciones a esta problemática, para lo cual se han comenzado a desarrollar múltiples acciones alrededor del mundo.

Cuba no ha estado exento de esta problemática, por lo cual a partir del año 2010 se ha venido desarrollando un programa estratégico para FRE como un elemento primordial para lograr un desarrollo económico sostenible y sustentable, apareciendo entre las principales fuentes a desarrollar la Energía Solar Fotovoltaica (ESFV). La ESFV en sus inicios ha estado focalizada sobre la utilización de los sistemas autónomos (aislados de la red), en aquellas zonas donde llegar con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) se hace muy difícil ya que es muy costoso. Ahora bien, con el objetivo de modificar la diversidad de la matriz energética cubana en función de aumentar la disponibilidad de generación de electricidad, en los últimos años han comenzado a introducirse los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica (SFVCR), lo que demuestra que esta tecnología es idónea a ser aplicada en el país (Gerard, 2012).

Las zonas montañosas de Cuba cubren una extensión de 19,000 Km<sup>2</sup>, casi el 17 % de la superficie del país y en ellas residen más de 720,000 habitantes (6,5 % de la población total). Antes de 1990, las comunidades aisladas en zonas montañosas recibían un mínimo de servicio eléctrico suministrado por plantas generadoras diesel. En los últimos años, dadas las graves limitaciones económicas de Cuba, estas plantas eléctricas se fueron deteriorando por falta de piezas de repuesto y combustible. Las pocas que quedan funcionando brindan servicios muy inestables y de solo dos/tres horas al día. La disponibilidad de energía eléctrica resulta imprescindible para la iluminación residencial, mejorar la calidad y vitalidad de los servicios médicos y docentes, así como para el desarrollo socio-cultural de los habitantes de estas comunidades, para que cuenten con medios de información, como son la radio y la televisión, para su desarrollo cultural y recreación.

Las electrificaciones de las viviendas de los campesinos en estas comunidades mediante la energía solar constituyen soluciones sostenibles, ecológicamente sanas. En las condiciones de estas comunidades ubicación lejana al SEN es también la solución más económica. Dada la gran importancia que se le concede al desarrollo social y agropecuario, se ha venido llevando un plan

de electrificación en las zonas montañosas con el objetivo de frenar el éxodo de la población rural de estas zonas y extender los beneficios socioculturales que se logran con la misma, mejorando el nivel de vida de la población y crear simultáneamente las bases para el desarrollo de la producción agropecuaria en las zonas de montaña. Este proyecto trata de resolver progresivamente las necesidades de unas 100000 familias de zonas rurales remotas y aisladas y constituye una ayuda a las regiones más desfavorecidas, apoyando el desarrollo social, contribuyendo al desarrollo integral de la región.

Siendo efectivamente un proyecto para garantizar lo que constituye la infraestructura básica del sector campesino y para garantizar la información y el esparcimiento en áreas rurales contribuirá demostrativamente a la formación de una cultura energética y ambiental sana.

Existen investigaciones sobre energía alternativa aplicadas en zonas rurales, que enfocan partes diferentes a la investigación propuesta y se describen a continuación:

Con la Revolución Energética iniciada en el 2006, concebida e impulsada por el líder de la revolución Cubana Fidel Castro, se realizó un proyecto de electrificación solar fotovoltaica en 5 años y abarco entre 80 mil y 100 mil viviendas en asentamientos rurales a razón de unas 20 mil por año y 2368 escuela primarias y 1800 salas de televisión. En una primera etapa se previó electrificar las viviendas más dispersas hasta distancias de 2 Km de la Red con sistemas fotovoltaicos individuales, así mismo en una segunda etapa se electrificó con sistemas centralizados o individuales según convengan los asentamientos poblacionales que por sus características son más factibles para cada tipo de instalación.

El soporte técnico a la ejecución de la obra, la procuración de los suministros, montaje y puesta en explotación lo dio CUBASOLAR, contratando a la empresa cubana EcoSol Solar, para garantizar con la profesionalidad requerida el uso eficiente de los recursos y la calidad de la instalación y sus componentes “Llave en Mano”. De la conservación, mantenimiento y el funcionamiento de las instalaciones se encarga el propio usuario con el respaldo y la asistencia de la estructura de Ecosol Solar y COPEXTEL.SA.

A nivel internacional según Garzón (2010), la alternativa más factible para la comunidad modelo analizada es la energía eólica, por los valores positivos que desde el punto de vista ambiental presenta y la competitividad desde el punto de vista técnico económico. Este estudio estuvo encaminado a la comparación de diferentes tecnologías de generación de electricidad incluidas las energías renovables para proponer la más eficiente desde el punto de vista ambiental y económico para la electrificación en diferentes lugares, intentando ocasionar el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Se utiliza el software profesional SimaPro.

Este estudio se aplica a una comunidad modelo de 45 viviendas en el caso del presente estudio se analiza a una sola vivienda debido a que no son muchas viviendas en la comunidad y las mismas están dispersas y distan al menos unos 500 m unas de otras, Herrera (2011), esta investigación logra cumplir su objetivo de generación solar para satisfacer el consumo de 19523,8 Wh/día. Este estudio presenta una serie de cálculos para determinar la capacidad de los elementos del sistema, pero no refleja de forma clara el cálculo de conductores y protecciones necesarias para el sistema.

Sin lugar a dudas parte de la energía del futuro en nuestro planeta será a partir del uso de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) y en nuestro país y provincia Holguín existen condiciones naturales propicias para el aprovechamiento de algunas de estas fuentes dando su contribución no solo a la solución de parte de nuestra demanda energética sino a la protección del medio ambiente, en la figura 1.1 se muestra Radiación solar promedio anual en Cuba. Sin exagerar sus ventajas pero tampoco subestimándolas, una provincia con grandes extensiones de tierra destinadas al cultivo de la caña que junto con las áreas de riego bajo gravedad (nuestras más significativas aplicaciones de FRE), tiene que proponerse conocer con objetividad cuáles son sus posibilidades, desarrollar una amplia y sólida cultura en el inteligente aprovechamiento de cada recurso que la naturaleza haya puesto a nuestra disposición, aplicar las ideas que hayan demostrado su factibilidad técnico económica y mantenerse constantemente al tanto de los desarrollos tecnológicos que se produzcan en el mundo en este vasto campo.

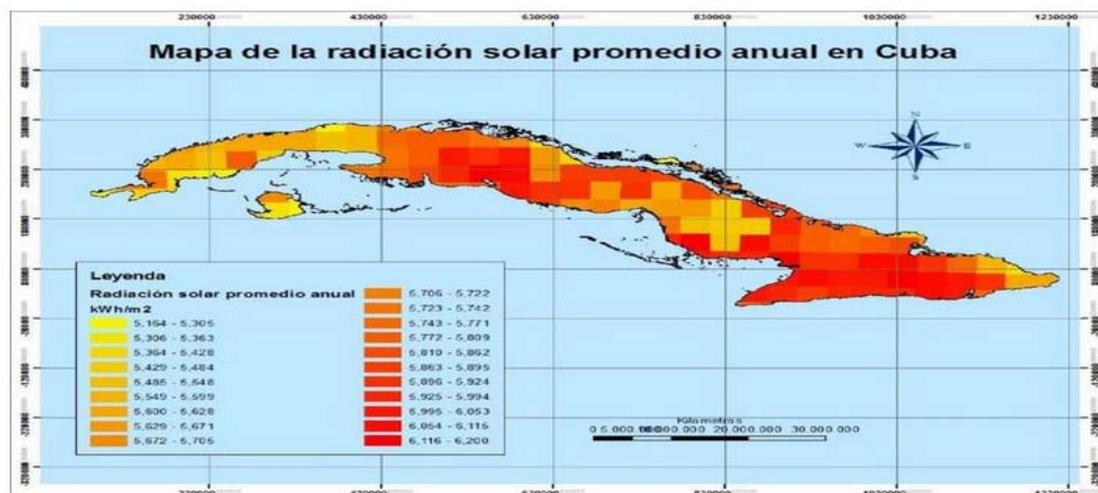


Figura 1.1. Radiación solar promedio anual en Cuba.

Existe un marco legal que propicia el uso de FRE, el **DECRETO PRESIDENCIAL No.3 (20/12/2012)**. Constituye una necesidad potenciar el uso y aprovechamiento de las diferentes fuentes renovables de energía y elevar la eficiencia energética del país.

### **Lineamientos relacionados con las energías renovables.**

#### **III- Política económica externa**

##### **Colaboración**

**113.** Priorizar, en las relaciones con las organizaciones de colaboración internacional, el apoyo material y tecnológico en el desarrollo de objetivos para el aprovechamiento de las diversas fuentes de energía renovable.

#### **V - Política de ciencia, tecnología, innovación y medio ambiente**

**131.** Sostener y desarrollar los resultados alcanzados en el campo de la biotecnología, la producción médico-farmacéutica, la industria del software y el proceso de informatización de la sociedad, las ciencias básicas, las ciencias naturales, los estudios y el empleo de las fuentes de energía renovables, las tecnologías sociales y educativas, la transferencia tecnológica industrial, la producción de equipos de tecnología avanzada, la nanotecnología y los servicios científicos y tecnológicos de alto valor agregado.

Holguín posee un clima tropical lo que propicia buenas condiciones para el aprovechamiento de las FRE en las diferentes formas en que se nos presentan, tanto para: Uso Directo de la Energía Solar. Uso Indirecto de la Energía Solar almacenada en la naturaleza en distintas formas.

El Uso Directo parte de la captación de la energía solar en forma de radiación y de su transformación subsiguiente en otros tipos de energía, usualmente calor (calentadores de agua) y electricidad (paneles solares). En Holguín la duración del día solar varía desde 10,7 en invierno hasta 13,4 horas en verano, dependiendo de esto el valor promedio que se recibe sobre una superficie horizontal del suelo urbano es de unos 5 kW – hora /m<sup>2</sup>, esto supone que por la estabilidad de la radiación en todo el año se puede llegar a disponer de 1,8 MW – hora.

La Energía Solar Fotovoltaica es la de mayor crecimiento a nivel internacional a partir de las investigaciones realizadas se ha logrado abaratar significativamente sus costos de producción, existiendo diferentes tipos de Paneles Fotovoltaicos (PFV). Las primeras aplicaciones de esta tecnología en Cuba datan de los 80 en Ciénaga de Zapata a partir de PFV del Programa Espacial Soviético (primera aplicación de esta tecnología en el mundo)

En el año 1996 comienzan a aplicarse en Holguín para la Electrificación de Consultorios Médicos, Círculos Sociales, Escuelas Rurales y luego Salas de Televisión, mediante un proyecto elaborado y financiado por la ONG CUBASOLAR.

En 2008 dos comunidades del municipio de Sagua (Callo Verraco y Yamagual) se electrifican por esta vía, única aplicación de su tipo en la provincia.

En 2010 con el inicio del Programa Provincial de Fuentes Renovables de Energía se realiza un levantamiento y actualización del estado actual de esta tecnología obteniéndose los siguientes datos: Hasta la década del 90 se instalaron Baterías de Calentadores Solares en Círculos Infantiles y Edificio de OTN. Se comienza en 1995 la instalación en el Sector del MINTUR a partir de indicaciones ministeriales y niveles de confort exigidos por los clientes.

En 2010 se instala el primer Bombeo Fotovoltaico en la provincia ubicado en el Municipio Báguanos (asentamiento Tacámara 4) a partir de un donativo de CUBASOLAR.

En 2013 el MINSAP asume las instalaciones de VILLA COCAL y VILLA QUINQUE, lo que provoca la incorporación de 12 y 11 equipos respectivamente.

La siguiente tabla 1.1, resume el potencial de las FRE en la provincia de Holguín, el cual ha sido calculado a partir de un estudio minucioso de los sectores que pueden aportar la materia prima necesaria para su uso, ejemplo de esto el potencial de Biogás. En el caso de la Energía Eólica, está demostrado según el PPE que nuestra provincia tiene potencialidades para instalar en Eólica el equivalente al consumo de energía de la provincia.

Tabla 1.1. Potencial de las FRE en la provincia de Holguín

No	Fuente Renovable	Potencial de Proyectos
1	Biomasa (Biogás)	Más de 2780 plantas
2	Solar Térmica	Más de 800 Instalaciones
3	Solar Fotovoltaica	Más de 42 Instalaciones Más de 450 viviendas aisladas Más de 3000 viviendas
4	Eólica Generación Eólica Bombeo	Según Programa Eólico Nacional 14 proyectos. (Más de 400 Maq.)
5	Hidráulica	88 instalaciones
Total de Potencial de Proyectos		4260

## 1.2. Determinación del recurso eólico

La velocidad del viento se obtiene a través de los registros de anemómetro que se instalan para realizar estudio de prospección eólica en las zonas de interés, con el Software Windographer, genera las mediciones faltantes del año medido con la ayuda de los valores del Atlas Eólico, para este proceso se utiliza la opción *Measure Correlate Predict* en la barra de menú Compare,

seguidamente se cargan los dos archivos y se ejecuta el análisis generando los resultados para los siete algoritmos de correlación, presenta las gráficas de Mean Bias Error, Mean Absolute Error, RMS Error y *Distribution Error*, donde se encuentran los porcentajes de error para cada algoritmo. Como se puede ver en la figura 1.2, se elige el algoritmo que tiene menos error que es el MTS (Matrix Time Series), seguido se sintetizan los datos y se obtiene los datos de velocidad del viento del año tipo, estos datos se sintetizaron de datos diezminutales a datos horarios para seguir con el análisis.

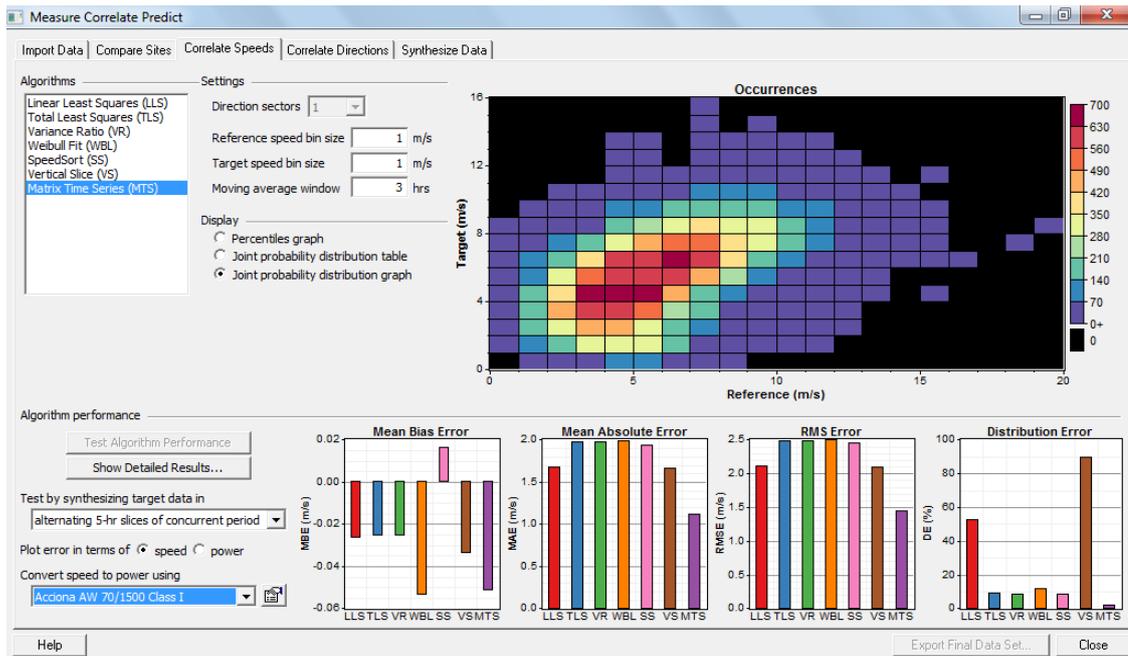


Figura 1.2. Correlación de velocidad del viento.

Es importante mencionar que los pequeños aerogeneradores dentro de sus características indican la altura en las que se los puede instalar que por lo general son (12, 14 y 18) m, mientras más alto se instale aprovecha el incremento de la velocidad con la altura, es decir, la velocidad del viento diezminutecinal o viento medio varía con respecto a la altura del suelo, esto se conoce como perfil vertical del viento, este es un parámetro importante en la caracterización del recurso eólico y depende de la estabilidad atmosférica, la rugosidad del terreno y la orografía.

Para el presente estudio al tratarse de un terreno con orografía simple y en condiciones de estabilidad neutra, el perfil logarítmico proporciona una buena aproximación del perfil vertical del viento que se calcula con la ecuación 1.1.

$$v_2 = v_1 \left( \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)} \right) \quad (1.1)$$

Dónde:

$v_2$  = Es la velocidad del viento a la altura  $h_2$  (m/s).

$v_1$  = Es la velocidad del viento a la altura  $h_1$  (m/s).

$z_0$  = Es la longitud de la rugosidad (m).

La gráfica del perfil vertical del viento en función de la rugosidad del terreno se puede apreciar en la figura 1.3, donde clara mente se ve que al aumentar la altura aumenta la velocidad del viento.

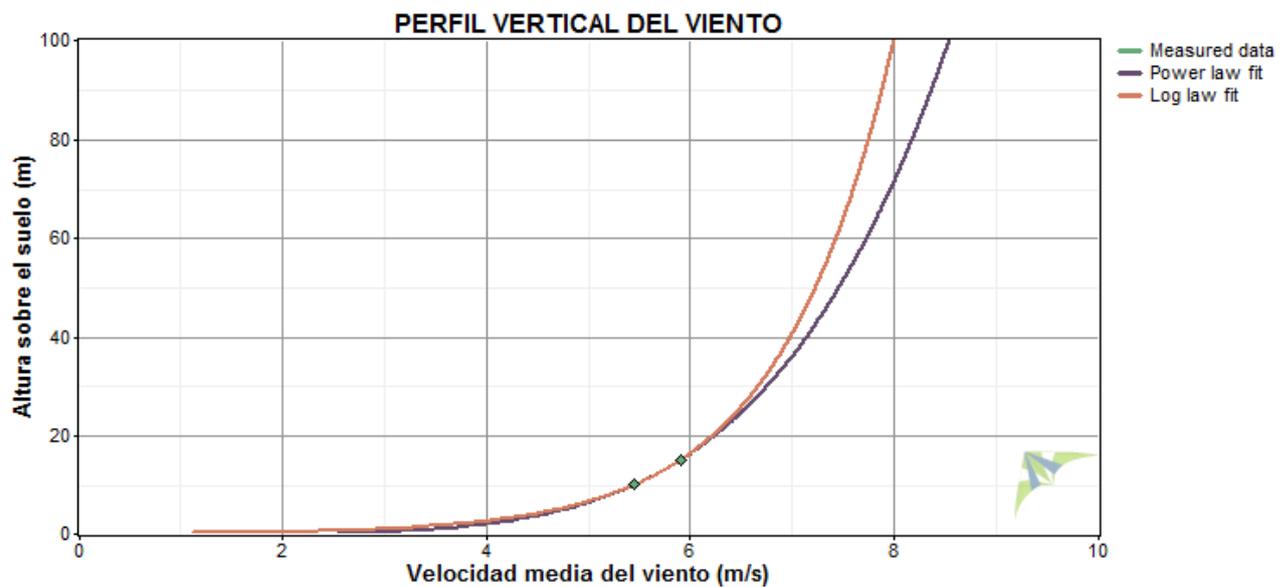


Figura 1.3. Correlación de velocidad del viento.

### Datos de dirección del viento

Con respecto a la dirección del viento no se instalará un instrumento de medida debido a que, al ser un dimensionamiento con pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal a barlovento, estas poseen el sistema de orientación por veleta de cola que hace girar la máquina sobre su eje de orientación.

Se corroboró con datos promedio mensuales de dirección del viento proporcionados por la web *NASA Surface meteorology and Solar Energy* que analiza 10 años de series históricas dando una dirección promedio de  $117^\circ$  y también se tomó en cuenta el valor del rastro eólico en los árboles de la zona dando una dirección de  $110^\circ$ , la dirección promedio es de  $113^\circ$ .

## Distribución de la velocidad del viento

Con los datos horarios del año tipo, se realiza el tratamiento estadístico correspondiente, que es la estadística descriptiva dedicada al análisis y representación de datos, indicando en qué medida los datos se agrupan o se alejan en torno a un valor central. Para observar esta variabilidad, es necesario determinar los siguientes parámetros:

- Centralización: Parámetros que tienden a situarse en el centro de conjunto de datos ordenados (Media aritmética, Mediana, Moda, Frecuencia relativa, Frecuencias acumuladas).
- Dispersión: Parámetros que indican cuanto se alejan del centro los valores de la distribución (Rango o intervalo y Desviación estándar).

Para el tratamiento de los datos, lo primero es agruparlos y ordenarlos para su estudio y representación, los datos se agrupan en una tabla de frecuencias que será el lugar donde quedaran ordenados. Para construir la tabla se siguen los siguientes pasos.

1. Se localizan los valores menor y mayor de la distribución.
2. Se determina el rango, restando el mayor del menor.
3. Se determina el número de clases: dividir el grupo en un numero conveniente de intervalos de clase del mismo tamaño, para esto se aplicó la ecuación 1.2:

$$N_c \approx 1 + 3,3 \log_{10}(N) \quad (1.2)$$

Dónde:

$N_c$  = Número de clases.

$N$  = Número de datos.

4. Se determina la amplitud del intervalo, en este caso se aplica la ecuación 1.3.

$$\text{Amplitud} = \frac{\text{Rango}}{\text{Número de clases}} \quad (1.3)$$

5. Con los datos anteriores se realiza la tabla de distribución de frecuencias, donde se incluye las clases y las frecuencias, a partir de estos datos se calculan las frecuencias relativas, las frecuencias acumuladas

6. De la tabla de distribución de frecuencias, resulta útil dibujar el histograma de frecuencias relativas para las velocidades horarias del año tipo, que permite trazar la distribución continua de probabilidad, a partir de la forma que adopta el polígono de frecuencias

### Distribución de Weibull

La distribución de velocidad del viento permite calcular su potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador, experimentalmente se observa que la distribución de frecuencias de una serie de datos de viento se ajusta a una distribución de densidad de probabilidad de Weibull de uno o dos parámetros. Esto es de gran ayuda, puesto que la función de probabilidad de Weibull tiene una expresión analítica que permite realizar cálculos sobre la misma de manera mucho más rápida que el tratamiento directo de la serie completa de datos.

Para calcular los parámetros de la función de probabilidad de Weibull (c, k), al conocer las velocidades medias diezminutales u horarias del año medio tipo se utilizó el método de los mínimos cuadrados. La distribución acumulada de Weibull se calcula con la ecuación 1.4.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1.4)$$

Dónde:

(c, k) = Son los parámetros de la distribución de Weibull.

F(V) = Función de distribución acumulada.

v = valor del módulo del viento.

Al aplicar propiedades de los logaritmos a la ecuación 1.4 se tiene:

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln(v) - k \ln(c) \quad (1.5)$$

Se procede al ajuste por mínimos cuadrados a la recta  $y=kx+B$ , en donde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))] \quad (1.6)$$

Valor de x, ajuste por mínimos cuadrados.

$$x = \ln(v) \quad (1.7)$$

Valor de B, ajuste por mínimos cuadrados

$$B = -k \ln(c) \quad (1.8)$$

El valor de k y c, se obtienen de la pendiente de la recta por mínimos cuadrados con la expresión:

$$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)} \quad (1.9)$$

Las expresiones para calcular los coeficientes de la recta A, B de regresión lineal son:

$$A = \frac{\sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2} \quad (1.10)$$

$$B = \sum f_i y_i - A (\sum f_i x_i) \quad (1.11)$$

Primero se calcula el valor de y, luego el valor de x, con estos valores se encuentran los productos y con estos, el valor de A y B, como  $k = A$  entonces se tiene el valor de k y para encontrar el valor de c se aplica la ecuación 1.9.

El software Windographer permite determinar los parámetros de la probabilidad de Weibull que mejor se ajusta a la distribución de frecuencias, analiza cuatro algoritmos para determinar el más adecuado.

### Densidad de potencia eólica (P/A)

La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podrá extraer del viento si se podría aprovechar toda su energía cinética, es proporcional a la densidad del aire, al área perpendicular expuesta al flujo del viento y al cubo de la velocidad. No toda la energía del viento es aprovechada como se verá más adelante. La densidad de potencia eólica disponible por unidad de área para velocidades instantáneas como en este estudio, está determinada por la ecuación 1.12.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho F_e v^3 \quad (1.12)$$

Dónde:

$P/A$  = Densidad de potencia eólica ( $W/m^2$ ).

$\rho$  = Densidad del aire ( $kg/m^3$ ).

$v$  = Velocidad del viento (m/s).

$F_e$  = Factor de energía.

La ecuación 1.12 es muy útil en el caso de no disponer bases de datos con mediciones, pero disponer de información de Atlas Eólicos y permite calcular la densidad de potencia eólica a partir de la velocidad promedio, densidad del viento y valores k y c de Weibull, con el valor k de Weibull y por medio de tablas se encuentra el factor de energía (Fe). En el caso de disponer de mediciones y realizar la distribución de frecuencias el factor Fe se reemplaza por la probabilidad de ocurrencia de la velocidad (fi).

La densidad de potencia eólica depende del cubo de la velocidad, esto indica que mientras más alto se coloque el aerogenerador más aprovecha la velocidad del viento que aumenta con la altura.

### **Densidad de energía eólica (E/A)**

La densidad de energía eólica disponible es la energía total del viento por unidad de área perpendicular a la velocidad durante un tiempo determinado. La densidad de energía eólica disponible por unidad de área está determinada por la ecuación 1.13

$$\frac{E}{A} = \frac{P}{A} T \quad (1.13)$$

Dónde:

E/A = Densidad de energía eólica (kWh/m<sup>2</sup>).

P/A = Densidad de potencia eólica (W/m<sup>2</sup>).

T = Periodo de tiempo, por lo general un año.

A = Área de la turbina eólica.

### **Factor de capacidad**

Permite determinar la calidad energética de un aerogenerador, se define como la relación entre la energía generada durante un tiempo dado y la energía que hubiese producido funcionando a su potencia nominal, como se indica en la ecuación 1.14.

$$FC = \frac{E}{P_n T} \quad (1.14)$$

Dónde:

FC = Factor de capacidad.

E = Energía generada durante un tiempo dado.

T = Periodo de tiempo dado.

Pn = Energía que produciría el aerogenerador a su potencia nominal.

### 1.3. Determinación del recurso solar

Esta información se obtuvo de la web *NASA Surface meteorology and Solar Energy*, que analiza 22 años de series históricas entregando los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio, para lo cual se procedió a realizar un promedio entre estos valores y los obtenidos en mediciones.

#### Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares.

Para calcular la media mensual de radiación o insolación diaria sobre la superficie del módulo fotovoltaico se usa la ecuación 1.15.

$$H_T = k\bar{H} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)} \quad (1.15)$$

Dónde:

$\bar{H}_T$  = Radiación sobre una superficie inclinada (Wh/m<sup>2</sup>/día).

$\bar{H}$  = Media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/día).

k = Constante para el cálculo de la radiación sobre superficie inclinada.

El número de horas de sol al día HS, es determinado con el número de horas diarias de irradiación solar a 1000 W/m<sup>2</sup>, se calcula con la ecuación 1.16.

$$HS = \frac{E_T}{1000} \text{ (h día)} \quad (1.16)$$

#### Cálculo del rendimiento global del sistema (PR)

Para determinar la potencia pico del arreglo fotovoltaico, es necesario determinar el rendimiento global del sistema que se calcula con la ecuación 1.17.

$$PR = \eta_{temp} \eta_{suc} \eta_{reg} \eta_{cab} \eta_{bat} \eta_{out} \eta_{inv} \quad (1.17)$$

Dónde:

$\eta_{temp}$  = Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico

$\eta_{suc}$  = Rendimiento por efectos de suciedad (98%).

$\eta_{reg}$  = Rendimiento del regulador (90 - 92%).

$\eta_{cab}$  = Rendimiento por pérdida en los cables eléctricos (97%).

$\eta_{bat}$  = Rendimiento del banco de baterías (95-96%).

$\eta_{aut}$  = Rendimiento debido a pérdidas por auto descarga del banco de baterías (98-99%).

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor (80 – 95%).

El rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico ( $\eta_{temp}$ ), se determina con la ecuación 1.18.

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_C - 25) \quad (1.18)$$

$\eta_{temp}$  = Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico.

$T_C$  = Es la temperatura de la celda a una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>,

$C_T$  = Coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de pruebas, si no se dispone se puede asumir un valor de 0,005.

$T_C$  se calcula con la ecuación 1.19:

$$T_C = T_a + 1,25 (NOCT - 20) \quad (1.19)$$

Dónde:

$T_C$  = Es la temperatura de la celda a una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>.

$T_a$  = Es la temperatura ambiente °C.

**NOCT** = Es la temperatura de operación normal de la celda y que viene en las especificaciones técnicas del fabricante °C.

### **Cálculo de la potencia pico del arreglo fotovoltaico**

La potencia pico del arreglo fotovoltaico se determina con la ecuación 4.19, y los resultados del cálculo se indican en el cuadro 1.20.

$$Pot_p = \frac{\text{Consumo energético}}{HS PR} \quad (1.20)$$

### **1.4. Sistema de electrificación requeridos en instalaciones domesticas**

Potencia aparente instalada estimada superior a 6000 VA, teniendo en cuenta el consumo de corriente y la tensión de los equipos electrodomésticos a instalar por la tabla 1.2, se determina que el grado de electrificación es elevado.

Tabla 1.2. Grado de electrificación

<b>Grado de electrificación</b>	<b>Demanda de Potencia Máxima Simultánea VA (1)</b>	<b>Límite de aplicación (m<sup>2</sup> de superficie) (2)</b>
Mínima	hasta 3000	hasta 60
Media	hasta 6000	hasta 150
Elevada	más de 6000	más de 150

A- Se entra por columna (1)

B- Si se supera los m<sup>2</sup> en columna (2), se pasa al grado de electrificación siguiente.

A) Electrificación mínima: (2 circuitos) - Un circuito para bocas de alumbrado - Un circuito para tomas corrientes	B) Electrificación media: (3 circuitos)- - Un circuito para bocas de alumbrado - Un circuito para tomas corrientes - Un circuito para usos especiales	C) Electrificación elevada: (6 circuitos) - Dos circuitos para bocas de alumbrado - Dos circuitos para tomas corrientes - Dos circuitos para usos especiales
--	--	---

Los valores que se mencionan se deben considerar como valores mínimos y deberán ajustarse en cada caso en función del número de receptores, de la intensidad prevista, de los factores de simultaneidad y de los factores de utilización:

$$I = n \cdot I_a \cdot F_s \cdot F_u \quad 1.21$$

n: Números de tomas o receptores

I<sub>a</sub>: Intensidad prevista por toma o receptor

F<sub>s</sub>: (factor de simultaneidad) Relación de receptores conectados simultáneamente sobre el total

F<sub>u</sub>: (factor de utilización) Factor medio de utilización de la potencia máxima del receptor

Tabla 1.3. Tipos de circuitos

<b>Circuito de utilización</b>	<b>Potencia prevista por toma (W)</b>	<b>Factor simultaneidad F<sub>s</sub></b>	<b>Factor utilización F<sub>u</sub></b>
C <sub>1</sub> Iluminación	200	0,75	0,5
C <sub>2</sub> Tomas de uso general	3,450	0,2	0,25
C <sub>3</sub> Cocina y horno	5,400	0,5	0,75
C <sub>4</sub> Lavadora, lavavajillas y termo eléctrico	3,450	0,66	0,75
C <sub>5</sub> Baño, cuarto de cocina	3,450	0,4	0,5
C <sub>8</sub> Calefacción	(2)	---	---
C <sub>9</sub> Aire	(2)	---	---

acondicionado			
C <sub>10</sub> Secadora	3,450	1	0,75
C <sub>11</sub> Automatización	(4)	---	---

### Puntos mínimos de utilización

En las viviendas y según el grado de electrificación que corresponda, se establecen, como mínimo los siguientes puntos de utilización.

#### a) Electrificación mínima:

**Sala de estar y comedor:** un tomacorriente por cada 6 m<sup>2</sup>, de superficie y una boca de alumbrado por cada 20 m<sup>2</sup>. de superficie.

**Dormitorio:** una boca de alumbrado y dos tomacorrientes.

**Cocina:** una boca de alumbrado y tres de tomacorrientes.

**Baño:** una boca de alumbrado y una de tomacorrientes.

**Vestíbulo:** una boca de alumbrado y una de tomacorrientes.

**Pasillos:** una boca de alumbrado.

#### b) Electrificación media:

**Sala de estar y comedor:** un tomacorriente por cada 6 m<sup>2</sup> de superficie y una boca de alumbrado por cada 20 m<sup>2</sup> de superficie.

**Dormitorios:** una boca de alumbrado y tres de tomacorrientes.

**Cocina:** dos bocas de alumbrado y tres tomacorrientes. Si está prevista la instalación de otros artefactos electrodomésticos de ubicación fija se instalará un tomacorriente para cada uno de ellos.

**Baño:** una boca de alumbrado y una de tomacorriente.

**Vestíbulo:** una boca de alumbrado y una de tomacorriente por cada 12 m<sup>2</sup> de superficie.

**Pasillo:** una boca de alumbrado y una de tomacorriente por cada 5 m de longitud.

**c) Electrificación elevada:** Se establecen los puntos de utilización señalados para la vivienda con grado de electrificación media, agregando para cada habitación una boca de salida de circuitos para usos especiales.

**d) General:** Si luego de cumplimentar lo indicado en a), b) y c), fuera necesario instalar bocas de salida mixta (interruptor de efecto y un tomacorriente), el tomacorriente de las mismas, deberá estar conectado al circuito de iluminación correspondiente.

### **1.5. Conclusiones del capítulo**

A partir del análisis de las bibliografías consultadas se pudo constatar la importancia del uso de energías alternativas en electrificación de viviendas aisladas, quedando con ello estructurada la base teórica de la investigación.

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el presente capítulo se presenta la metodología, tipo, el enfoque metodológico, la modalidad, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar en la investigación. Además, se declara la población o universo de estudio y se define la muestra para aplicar los instrumentos de recolección de información.

### **2.1. Diseño de la investigación**

Se refiere al tipo de investigación que se emplea en la tesis, se definen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las etapas llevadas a cabo en el proceso de investigación.

La investigación se enfoca dentro de la modalidad de campo, se tomó como escenario el área rural de Santa Rita, lugar donde claramente se visualiza la necesidad del uso de energía eléctrica y el desaprovechamiento del recurso energético, que al ser analizados permite solucionar esta necesidad. La modalidad de la investigación es de campo, puesto que es el estudio sistemático del problema de la evaluación de electrificación, con el propósito de descubrir sus causas y efectos, entender su naturaleza e implicaciones, de forma que permita plantear una alternativa de solución. Para esto es necesario interactuar directamente con los habitantes de la zona y el emplazamiento.

En esta investigación se recogen datos directos de las viviendas mediante la observación y la entrevista a un experto en el tema y a los habitantes. Para completar se acudió a fuentes secundarias como libros, catálogos y otras publicaciones, toda la información recabada fue analizada para establecer las conclusiones pertinentes, estos resultados obtenidos se podrán socializar al resto de las viviendas de la zona. Se analizaron varias cualidades para escoger con criterio al experto en energías alternativas y al morador representativo para la entrevista.

### **Bibliográfica Documental**

El presente trabajo de investigación se fundamentó en el estudio bibliográfico y documental del tema, con el propósito de ampliar, profundizar y analizar su conocimiento, se han revisado varios trabajos relacionados al uso de energías alternativas. Se visitaron los sitios web para obtener catálogos de los fabricantes de paneles solares, baterías, reguladores e inversores, etc. con el fin de verificar costos, especificaciones técnicas y disponibilidad determinando los más adecuados.

## **2.2. Procedimiento de la Investigación**

1. Valoración del sector recorriendo el sitio rural.
2. Estructuración de la entrevista con preguntas acordes al tema investigado.
3. Análisis de la información recogida y su cuantificación.
4. Selección de la vivienda tipo
5. Determinación de la ubicación geográfica y se realizó el levantamiento topográfico de la vivienda tipo.
6. Determinación de los valores de temperatura ambiente en el lugar y densidad del aire en el sector.
7. Instalación de anemómetro de paletas con sistema de adquisición de datos y procesamiento de la información.
8. Determinación del potencial solar eólico mediante el uso del Software.
9. Contrastación de los resultados del potencial solar.
10. Evaluación de la potencialidad solar y eólica.
11. Determinación de la energía eléctrica que se puede generar con un sistema de generación de energía alternativa y se dimensionó dicha instalación, con ecuaciones y Software HOMER.
12. Determinación de todos los elementos necesarios y su forma de conexión para utilizar un sistema de generación de energía eléctrica mediante un sistema de generación de energía alternativa.
13. Valoración técnica, económica y ambiental de la propuesta del sistema de generación de energía alternativa.

## **2.3. Población y muestra**

La población consiste en un número total de registros insolación global, rugosidad del terreno y temperatura, en esta investigación se va a trabajar con todos los datos de la población, razón por la cual no es necesario obtener una muestra. Los datos son obtenidos de diferentes fuentes de información que se detallan más adelante.

La población de estudio se determinó mediante mediciones y series históricas de datos del poblado de Santa Rita, con una Altitud de 64 msnm, el clima es tropical húmedo, con dos estaciones fundamentales en el año: una sequía y otra de lluvias, aproximadamente de igual duración y escasas diferencias en las temperaturas. Por ello es bastante moderado.

Las lluvias constituyen un elemento esencial del clima de la localidad, el mayor aporte lo proporcionan organismos meteorológicos como turbonadas del este, frentes fríos, huracanes, bajas tropicales y vaguadas, superado algunas veces por las lluvias que aportan los huracanes. El aire es húmedo tiene un alto contenido de vapor de agua durante la mayor parte del tiempo. La humedad relativa media en su máxima es de 95 % y su media histórica alcanza el 81 %. Mientras que la mínima relativa se ubica entre 52-53 % y la media histórica es del 85 %. La principal fuente de abastecimiento de agua es la presa “Octavio de la Concepción y de la Pedraja”, con un volumen de embalse de 12 millones de metros cúbicos de agua, aunque tiene la posibilidad de aumentar su volumen al recibir a través del río Alcalá, aguas del trasvase en la zona del mismo nombre del río.

Dentro de los tipos fundamentales de formaciones vegetales, se destaca la de Bosque Semidecídúo sobre suelo calizo en las elevaciones del norte de la localidad, se encuentran abundantes el cedro y la caoba, así como sabanas cubiertas por hierbas y matorrales. En el propio valle crecen estos árboles además de la majagua, etc.

Para determinar el emplazamiento se visitó todo el sector rural y determinó las características geográficas y sociales de Santa Rita para la electrificación mostrado en una imagen vía satélite en la figura 2.1, se encuentra entre los  $20,980920^{\circ}$  N y los  $-75,96861^{\circ}$  W.



Figura 2.1. Vista satelital del poblado rural de Santa Rita

Santa Rita es un poblado rural que pertenece a Tacajó del municipio de Báguanos el cual tiene una población de 122 habitantes. Cuenta con consultorio, escuela, tienda y una fábrica de raspadura. La mayor parte de sus habitantes son campesinos y ganaderos asociados a las dos cooperativas de la zona, ambas con resultados favorables en la entrega de leche y viandas. El poblado se encuentra rodeado de montañas y alejado de la urbanización por lo que conectarlo a la red eléctrica es un proyecto difícil y costoso por su situación geográfica. Sus habitantes tienen electricidad unas 4 horas al día gracias a una planta diésel la cual tiene un consumo relativamente alto, el estado le asigna unos 2000 litros de petróleo mensualmente el cual solo cubre unas 120 horas al mes. Estas condiciones han visto obligadas a más de 60 familias emigraran del poblado en los últimos 10 años, quedando así abandonadas decenas de hectáreas de tierra antes cultivables y hoy en día perdidas por la manigua, lo cual representa pérdidas para la economía del municipio.



Figura 2.2. Ubicación geográfica del Santa Rita  
Fuente: Google Earth.

Al realizar la entrevista no estructurada e informal a los dueños de las viviendas se les comento sobre el proyecto, mostrando gran interés en el mismo, se indagó sobre sus requerimientos y fueron muy enfáticos en recalcar la necesidad de suministro de energía eléctrica, indicando los aparatos eléctricos que ellos quieren acceder y al existir más requerimientos en la primera

vivienda, más apertura y disponibilidad del propietario se decidió tomar aquella como vivienda tipo para la investigación.

## **2.4. Métodos y Técnicas**

Dada la naturaleza del estudio y en función de los datos que se requieren, las técnicas e instrumentos de recolección estuvieron enmarcados por:

### **Observación Directa**

Ayudó a determinar las características físicas del lugar, la vivienda tipo, el sitio adecuado junto a la vivienda para la instalación del anemómetro, los requerimientos eléctricos en la vivienda.

### **Entrevista no estructurada**

Se aplicó mediante el diálogo, para la cual se preparó diez preguntas muy concretas que se indican a continuación:

1. Si son propietarios de la vivienda.
2. Número de personas que habitan el lugar.
3. Cuantos adultos y niños habitan la vivienda.
4. Actividad económica a la que se dedican.
5. Qué nivel de educación tienen.
6. Si los niños están estudiando.
7. Necesidad del uso de energía eléctrica.
8. Aparatos eléctricos que desearían poder utilizar.
9. Consecuencias de la falta de energía eléctrica.
- 10.Cuál es su rutina diaria.

Con estas preguntas se obtuvo toda la información necesaria que permitió evaluar la propuesta de equipos necesarios para la electrificación de la vivienda tipo mediante el uso de energías alternativas.

### **La medición**

El instrumento de medida usado para medir la velocidad del viento es un anemómetro de rotación formado de tres cazoletas cónicas, permitiendo medir la componente horizontal del viento, en donde la velocidad de giro es proporcional a la velocidad del viento. El anemómetro

usado es WIND101A que es un kit de anemómetro con registrador de datos MadgeTech perteneciente al grupo de Energía Renovable de la Empresa Eléctrica Holguín.

El equipo utilizado para la ubicación de la zona de estudio y el levantamiento geográfico de la vivienda es un GPS marca Trimble Geo XT perteneciente a la empresa GEOCUBA. Este producto proporciona una precisión submétrica pareja tanto en tiempo real como con posprocesamiento, el colector de mano GeoXT es la solución submétrica más confiable disponible, ha sido diseñado teniendo en cuenta el sistema GIS y funciona con la plataforma Windows CE. El GPS y sus características técnicas se indican en la figura 2.3.



Figura 2.3. Características técnicas GPS Trimble Geo XT. Fuente: Trimble.

### **Software HOMER**

HOMER es una herramienta poderosa para el diseño y análisis de sistemas híbridos de energía, que contienen una mezcla de generadores convencionales, cogeneración, turbinas eólicas, energía solar fotovoltaica, energía hidroeléctrica, baterías pilas de combustibles, biomasa y otros insumos. Simula el funcionamiento de un sistema para realizar cálculos del balance de energía para cada una de las 8,760 horas en un año. Para cada hora, HOMER compara el consumo eléctrico y térmico horario para la energía que el sistema pueda suministrar en esa hora, y los cálculos de los flujos de energía para cada componente del sistema. Para los sistemas que incluyen baterías o generadores diésel, HOMER también decide para cada Hora cómo funcionan los generadores y si cargan o descargan las baterías.

HOMER realiza estos cálculos del balance de energía para cada configuración del sistema que usted quiera considerar. Entonces determina si una configuración es posible, es decir, si éste puede hallar la demanda eléctrica bajo las condiciones que usted especifique, y las estimaciones del costo de instalación y de funcionamiento del sistema sobre el tiempo de vida del proyecto. El sistema de cálculos del costo considera por costos el capital, reemplazo, funcionamiento y mantenimiento, combustibles y/o intereses. En la figura 2.4 se puede apreciar una ventana de cálculo.

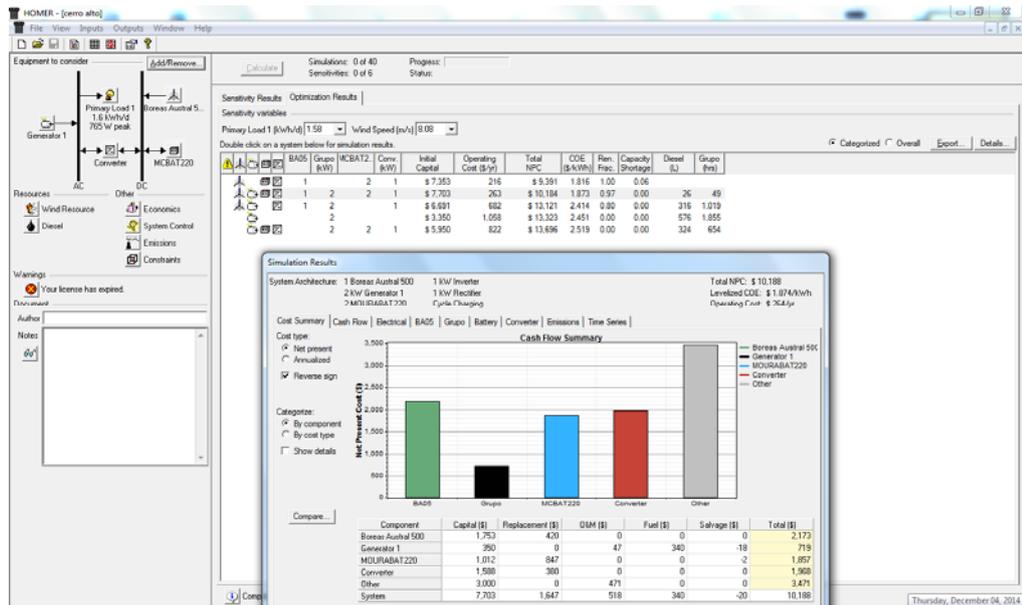


Figura 2.4. Software HOMER. Fuente: Software HOMER.

## Software WINDOGRAPHER

WINDOGRAPHER es un poderoso programa para el análisis del recurso eólico para ayudar a los usuarios a desarrollar proyectos de energías alternativas, permite el análisis de datos de velocidad y dirección del viento obtenido directamente de los instrumentos de medida o torres de medición. Produce gráficos claros y atractivos, histogramas, rosa de los vientos, permite tener un control de calidad avanzado, realiza muchos cálculos, como la cizalladura del viento, intensidad de turbulencia, velocidad extrema del viento y la producción de energía de turbinas eólicas. Es un software muy intuitivo, fácil de usar y muy completo. En la figura 2.5 se puede apreciar una ventana de cálculo.

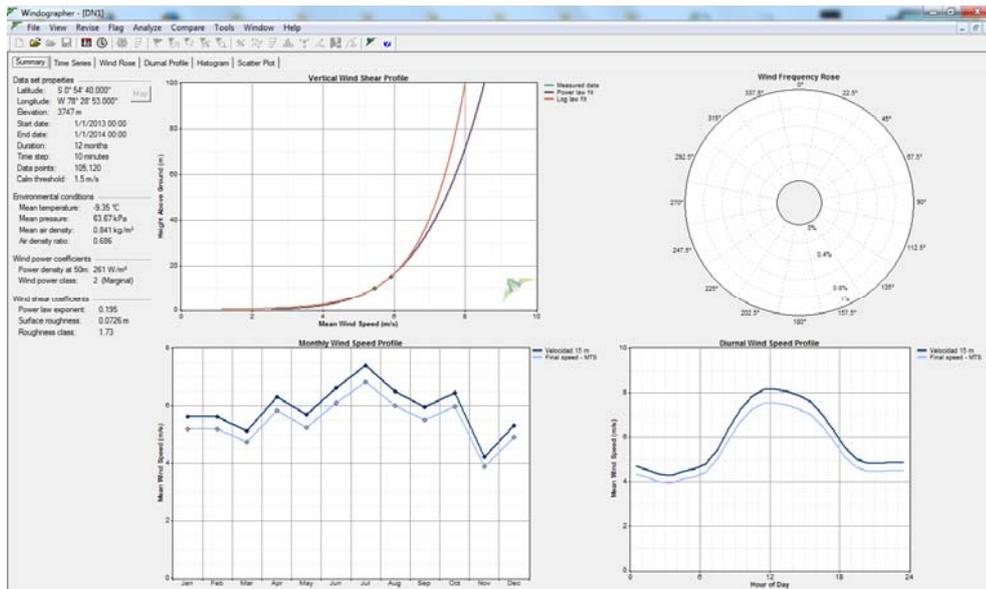


Figura 2.5. Software WINDOGRAPHER.

El equipo utilizado en esta investigación para el análisis de los parámetros eléctricos del grupo electrógeno, fue un medidor de potencia PCE-UT232 mejor conocido por Juncómetro. El mismo fue empleado para realizar mediciones puntuales monofásicas en cada fase de las edificaciones analizadas. El modelo PCE-UT232 es una pinza o tenaza medidora de tres fases digital, y de mano. El mismo puede medir el voltaje, la corriente, la potencia activa, la potencia aparente, la potencia reactiva, el factor de potencia, el ángulo de fase, la frecuencia, la energía activa, entre otras. Este instrumento de medición está compuesto por una pinza o tenaza en su parte superior con la que se puede medir la intensidad de la corriente, consta además de cuatro conductores y sus respectivas pinzas pertenecientes a la fase 1, la fase 2, la fase 3 y al neutro, de colores rojo, azul, amarillo y negro respectivamente. Dichas pinzas son utilizadas para la medición del voltaje que circula por el circuito en su correspondiente fase. El funcionamiento de la pinza o tenaza medidora se basa en la medida indirecta de la corriente circulante por un conductor a partir del campo magnético o de los campos que dicha circulación de corriente genera. Recibe el nombre de tenaza porque consta de un sensor, en forma de tenaza, que se abre y abraza el cable cuya corriente queremos medir. Este método evita abrir el circuito para efectuar la medida, así como las caídas de tensión que podría producir un instrumento clásico. Por otra parte, es sumamente seguro para el operario que realiza la medición, por cuanto no es necesario un contacto eléctrico con el circuito bajo medida ya que, en el caso de cables aislados, ni siquiera es necesario levantar el aislante. Para utilizar la tenaza, hay que pasar un solo conductor a través de la misma, si se pasa más de un conductor a través del bucle de medida, lo que se obtendrá será la suma vectorial

de las corrientes que fluyen por los conductores y que dependen de la relación de fase entre las corrientes.

En el caso del funcionamiento de las pinzas utilizadas para medir el voltaje se deben colocar mismas en los bornes del circuito a medir o en una sección del cable que no tenga aislante, cumpliendo con estos requisitos en las pinzas y en la tenaza podemos medir la tensión y la intensidad de la corriente respectivamente que pasa por el circuito que se analiza. Teniendo estos datos el mismo equipo nos ofrece potencia activa, reactiva, aparente, etcétera. El medidor de potencia posee un Display: Multi LCD, cuyo máximo valor de medida es 9999 y en el cual se muestran los datos obtenidos durante la medición y un pequeño teclado con el que se pueden elegir las distintas funciones de las que dispone el equipo, que pueden ser: Save (memoria del equipo, que pueden ser de 99 posiciones de memoria máximo, mediciones simples o continuas), máximo y mínimo valor de casi todos los parámetros (expuesto en las secciones de arriba), posibilidad de iluminación del display (luz blanca), conexión con ordenador a través del puerto USB, con el botón Select se puede obtener el voltaje, la corriente, la frecuencia, la potencia activa, la reactiva y la aparente, el factor de potencia, la energía, el número de fases. El equipo puede realizar 3 muestras por segundo, tiene un diámetro máximo de la pinza o tenaza medidora de 55 mm, posee una barra analógica de medición, se alimenta a través de 4 pilas AA de 1,5 V, sus dimensiones son 303 mm x 112 mm x 39 mm y su peso es de 601 gramos. Las especificaciones de precisión para el instrumento se pueden encontrar en el anexo 1.

### **Consumo eléctrico considerando alimentación con paneles solares y aerogeneradores.**

Para determinar el consumo eléctrico es necesario realizar un perfil de carga diaria de la vivienda tipo, para ello se realizó un análisis diario de los diferentes equipos eléctricos que van a conectarse a lo largo del día, en la tabla 2.1 muestra el consumo de energía a cada hora del día y en la figura 2.5 se indica la curva de consumo diaria.

Tabla 2.1. Equipos eléctricos conectados a cada hora del día.

HORAS	Wh	kWh
00:00 - 01:00	25	0,025
01:00 - 02:00	25	0,025
02:00 - 03:00	25	0,025
03:00 - 04:00	25	0,025
04:00 - 05:00	25	0,025
05:00 - 06:00	260	0,26
06:00 - 07:00	275	0,275
07:00 - 08:00	115	0,115
08:00 - 09:00	15	0,015
09:00 - 10:00	15	0,015
10:00 - 11:00	15	0,015

11:00 - 12:00	15	0,015
12:00 - 13:00	15	0,015
13:00 - 14:00	100	0,1
14:00 - 15:00	130	0,13
15:00 - 16:00	100	0,1
16:00 - 17:00	100	0,1
17:00 - 18:00	130	0,13
18:00 - 19:00	275	0,275
19:00 - 20:00	349	0,349
20:00 - 21:00	244	0,244
21:00 - 22:00	40	0,04
22:00 - 23:00	40	0,04
23:00 - 00:00	40	0,04
TOTAL		2,398

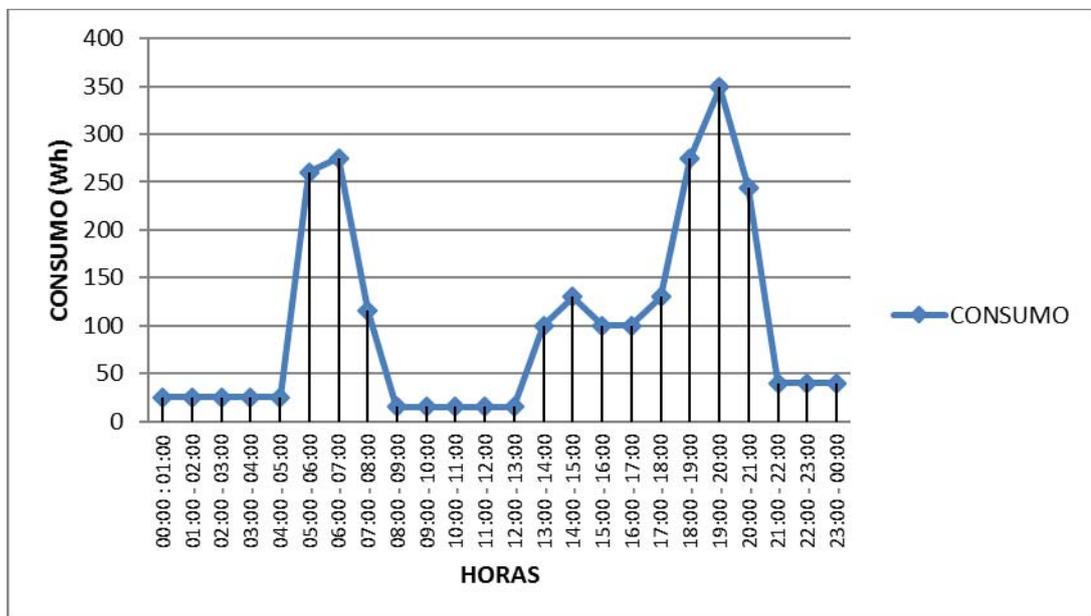


Figura 2.5. Curva de consumo de energía diaria. Fuente: Vivienda tipo sector rural

Los equipos eléctricos necesarios para la vivienda tipo, su cantidad, potencia, corriente de funcionamiento, tiempo estimado de uso, capacidad instalada y consumo de energía se indican en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Consumo de energía diario de la vivienda.

EQUIPO	CANTIDAD	CC/CA	POTENCIA (W)	TIEMPO ESTIMADO DE USO (horas día)	CAPACIDAD INSTALADA (W)	CONSUMO ENERGÉTICO (Wh día)
Iluminación comedor	1	CA	15	4	15	60
Iluminación cocina	2	CA	15	6	30	180
Iluminación sala	4	CA	15	3	60	180

Iluminación dormitorio 1	2	CA	15	3	30	90
Iluminación baño	1	CA	15	7	15	105
Iluminación dormitorio 2	2	CA	25	5	50	250
Iluminación dormitorio 3	2	CA	25	5	50	250
Iluminación exterior	1	CA	25	12	25	300
ventilador	1	CA	100	3	100	300
Cargador de celular	1	CA	4	2	4	8
Televisor	2	CA	50	6	100	600
Radio	1	CA	15	5	15	75
TOTAL					494	2398

En la tabla 2.2, se indica el consumo diario de la vivienda tipo que es de 2398 Wh al día, para calcular el consumo de energía mensual se multiplica el consumo diario por los días de cada mes y se puede apreciar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Consumo de energía mensual de la vivienda.

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO MENSUAL (kWh)
ENERO	31	2398	74,34
FEBRERO	28	2398	67,14
MARZO	31	2398	74,34
ABRIL	30	2398	71,94
MAYO	31	2398	74,34
JUNIO	30	2398	71,94
JULIO	31	2398	74,34
AGOSTO	31	2398	74,34
SEPTIEMBRE	30	2398	71,94
OCTUBRE	31	2398	74,34
NOVIEMBRE	30	2398	71,94
DICIEMBRE	31	2398	74,34
TOTAL	365		875,27

### Consumo eléctrico considerando alimentación por el SEN Estudio de carga unitaria

Para la estimación de la carga se ha contemplado los parámetros señalados por la IEEE, ver tabla 2.4

Tabla 2.4. Tipo de carga

Tipo de carga	Carga en W
Carga de Iluminación: 30W/m <sup>2</sup> x 70m <sup>2</sup>	1000W
Pequeños Artefactos y/o tomacorrientes dobles	4100W
Sub Total	5100W

Luego se tiene:

Primeros 3000W al 100% ----- 3000 W  
El resto al 35% ----- 735 W

**Sub Total ----- 3735 W**

Demanda Fijada ----- 3735 W

Aire acondicionado ½ Hp ----- 864 W

DEMANDA TOTAL = 4,6 kW

**CARGA INSTALADA: 4,6 kW**

### DEMANDA DIVERSIFICADA

Aplicando factores de demanda, se tiene:

Rango # de viv.	FD	# de viv.	Demanda Diversificada
62 o más	23%	65	4,6 kW/Viv x 65 Viv x 0,23 = 68,77 kW

Tomando el  $f_p = 0,8 \Rightarrow$  **DEMANDA DIVERSIFICADA = 85,96 kVA**

Luego:

$$\frac{kVA}{Viv} = \frac{85kVA}{65Viv} = 1,30kVA / Viv$$

Para efectos de cálculos y previendo cargas futuras se tomará **1,5 kVA/Viv.**

### 2.5. Conclusiones del capítulo

En este capítulo a partir de la caracterización geográfica de la zona, permitió considerar el futuro equipamiento a instalar conociendo que la radiación solar y las temperaturas tienen una influencia predominante en las condiciones climáticas a las que van a estar expuestos, con el proceso de entrevista se pudo estimar el equipamiento eléctrico y con el mismo la carga instalada, la demanda diversificada.

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se analizará e interpretará los resultados de la investigación demostrado que es factible aprovechar el recurso solar en el sector rural para producir energía eléctrica o la factibilidad de electrificar por el SEN

### 3.1. Evaluación de la planta diésel que suministra electricidad al poblado

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas como es la zona de estudio, en la figura 3.1, se muestra el instalado en el poblado.



Figura 3.1. Grupo Electrónico instalado en el poblado

Se realizó un diagnóstico energético para conocer la factibilidad de uso del grupo electrógeno donde se pudo determinar las siguientes deficiencias.

1. Insuficientes horas de conexión para satisfacer las demandas de los clientes (cuatro horas diarias).
2. Insuficientes asignaciones de combustible (2000 litros mensuales).
3. Mal estado de las líneas eléctricas y acometidas.
4. Utilización de conductores sin el calibre adecuado.
5. Caídas de voltajes en los consumidores más alejados de la fuente.
6. No utilización de postes eléctricos convencionales.
7. Incorrectas instalaciones eléctricas en los interiores de las viviendas.

En la figura 3.2 se muestran evidencias de estas deficiencias.



Figura 3.1. Tendido Eléctrico

Para conocer el comportamiento de los parámetros eléctricos de la instalación se realizaron mediciones con el medidor de potencia PCE-UT232, se muestra en la figura 3.2 la conexión del mismo.



Figura 3.2. Conexión del medidor de potencia PCE-UT232

En la figura 3.3 se muestran el comportamiento de las tensiones a la salida del grupo electrógeno y en las cargas (viviendas), donde se aprecia las caídas de voltaje que son ocasionada por el estado técnico de circuito de distribución de energía eléctrica. El comportamiento de los demás parámetros eléctrico se recoge en el Anexo 2.

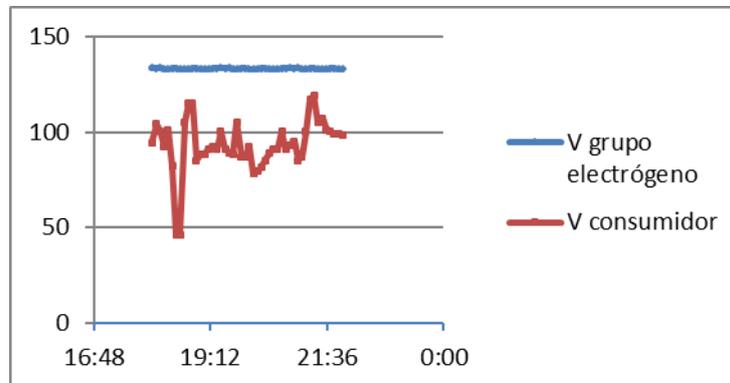


Figura 3.3. Desbalance de voltaje.

### 3.2. Determinación del recurso eólico

La velocidad del viento se obtuvo de los registros del anemómetro que se instaló el 19 de febrero del 2019 hasta el 11 de julio del mismo año, las medidas son diezminutales (valores instantáneos de velocidad con una frecuencia de 1 segundo, que se promedian cada 10 minutos) entregando un total de 29361 datos para la velocidad del viento. Dada la necesidad de validar estos datos para obtener el año medio tipo que represente la velocidad del viento en la zona de estudio, se utilizó la información de la Empresa Eléctrica Holguín que analiza series históricas de datos, del cual se obtuvo los valores de la velocidad media mensual del viento a 10 m de altura, con estos valores y gracias al software Windographer se procedió a correlacionar los valores medidos con los valores de la Empresa Eléctrica Holguín, para obtener un año promedio tipo con un total de 52560 datos diezminutales de velocidad del viento en m/s.

El Software Windographer, genera las mediciones faltantes del año medido con la ayuda de los valores de la Empresa Eléctrica Holguín.

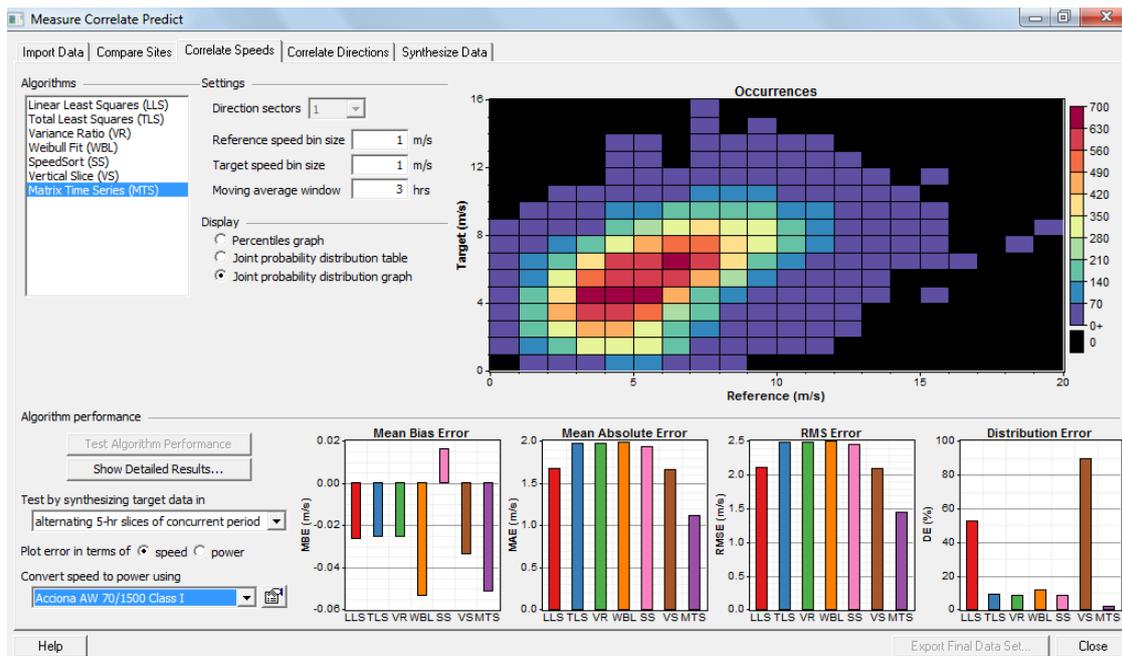


Figura 3.3. Correlación de velocidad del viento. Fuente: Software Windographer.

Entonces para la velocidad del viento del año tipo medida a 10 m de altura, se le calculó el perfil vertical del viento, para obtener valores de velocidad a 15 m de altura. Estos valores se pueden apreciar una muestra en la tabla 3.1 y en el anexo 3 se muestra la base datos del anemómetro.

Tabla 3.1. Perfil vertical del viento.

Date/Time	Velocidad 10 m [m/s]	Velocidad 15 m [m/s]	Air Density [kg/m <sup>3</sup> ]	15 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]	10 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]
1/4/2019 0:00	3,077	3,33	0,84073	15,6	12,3
1/4/2019 1:00	3,29	3,561	0,84073	19,2	15,1
1/4/2019 2:00	3,558	3,85	0,84073	24	18,9
1/4/2019 3:00	3,524	3,814	0,84073	23,4	18,4
1/4/2019 4:00	3,514	3,803	0,84073	23,1	18,3
1/4/2019 5:00	3,616	3,914	0,84073	25,3	19,9
1/4/2019 6:00	3,513	3,802	0,84073	23,3	18,3
1/4/2019 7:00	4,771	5,164	0,84073	58,3	46
1/4/2019 8:00	5,532	5,987	0,84073	90,7	71,6
1/4/2019 9:00	5,702	6,172	0,84073	100,4	79,2
1/4/2019 10:00	5,976	6,468	0,84073	113,8	89,8
1/4/2019 11:00	6,756	7,312	0,84073	164,7	129,9

La gráfica del perfil vertical del viento en función de la rugosidad del terreno se puede apreciar en la figura 3.4, donde clara mente se ve que al aumentar la altura aumenta la velocidad del viento.

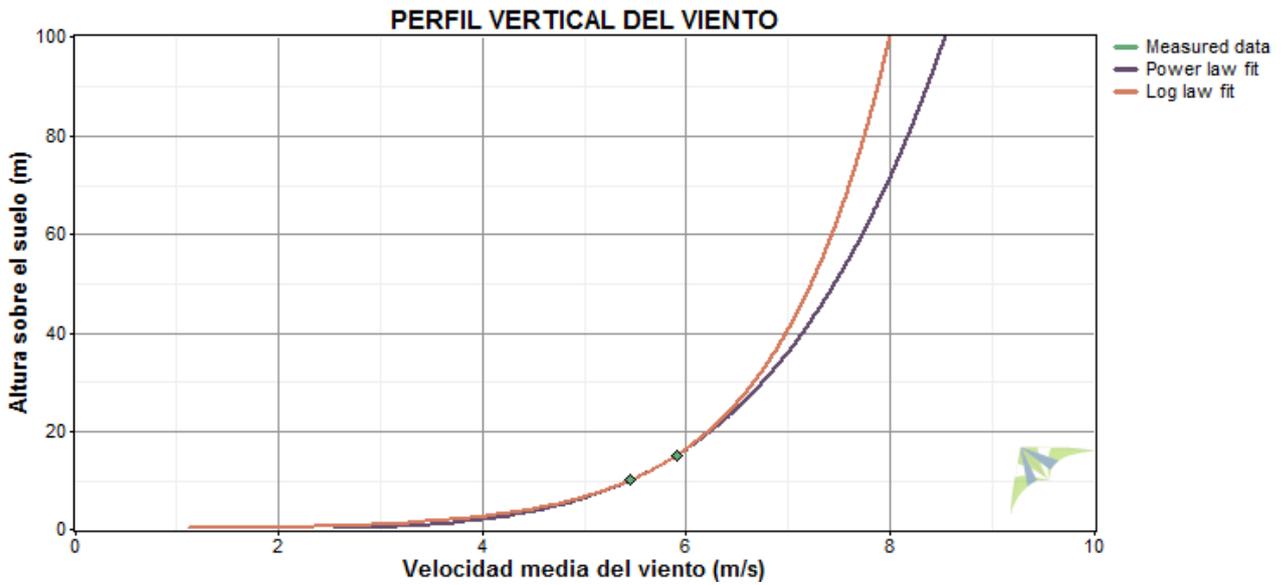


Figura 3.4. Correlación de velocidad del viento.  
Fuente: Autor

En la figura 3.5, se puede apreciar el perfil mensual de la velocidad del viento tanto para los valores de velocidad a 10 m y los valores de velocidad a 15 m.

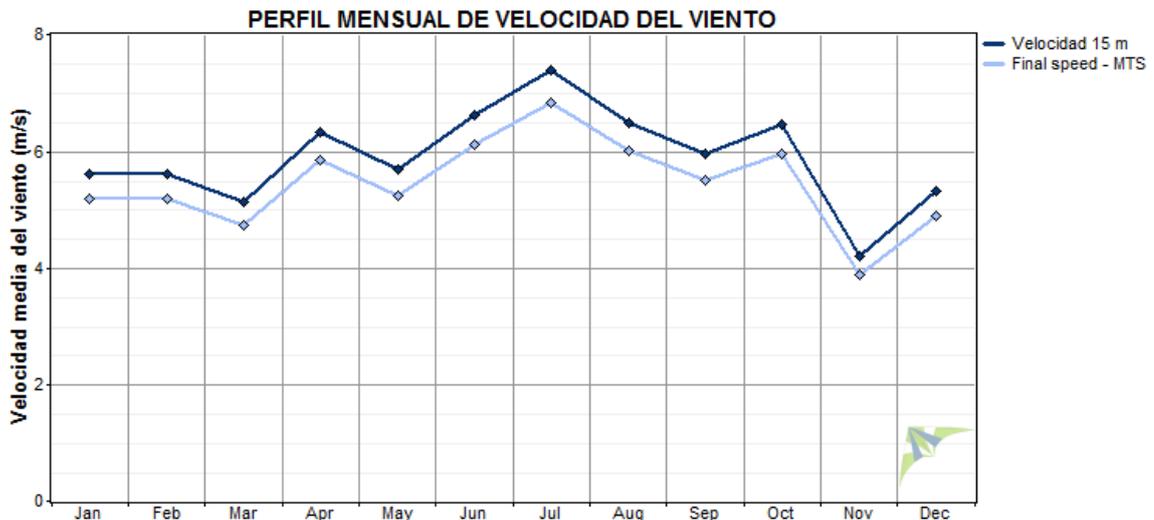


Figura 3.5. Correlación de velocidad del viento.

Para los cálculos sucesivos se utilizará los valores horarios del año tipo de velocidad del viento a 15 m de altura.

### Datos de dirección del viento

Con respecto a la dirección del viento no se instaló un instrumento de medida debido a que al ser un dimensionamiento con pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal a barlovento, estas poseen el sistema de orientación por veleta de cola que hace girar la máquina sobre su eje de

orientación, se corroboró con datos promedio mensuales de dirección del viento proporcionados por la web NASA Surface meteorology and Solar Energy que analiza 10 años de series históricas dando una dirección promedio de 117° y también se tomó en cuenta el valor del rastro eólico en los árboles de la zona dando una dirección de 110°, la dirección promedio es de 113°.

### Distribución de la velocidad del viento

Tabla 3.2. Datos necesarios para la distribución de frecuencias

RESULTADOS	
Velocidad Mínima (m/s)	0,000
Velocidad Máxima (m/s)	16,39
Media o Promedio (m/s)	5,902167
Moda (vm) (m/s)	7,227000
Mediana ( $\tilde{v}$ ) (m/s)	5,935500
Desviación Estándar ( $\sigma$ )	2,347749
DETERMINAR INTERVALO DE CLASE	
RANGO (m/s)	16,39
Número de Datos	8,760
Número de Intervalos	31
Tamaño de la clase	0,5

Con los datos anteriores se realiza la tabla de distribución de frecuencias, donde se incluye las clases y las frecuencias, a partir de estos datos se calculan las frecuencias relativas, las frecuencias acumuladas, tabla calculada con el software Excel, como se indica en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Distribución de frecuencias.

Intervalos de Clase (m/s)			vi (m/s)	ni (días)	fi	"< o= q"	">q"
					fi=ni/N	Fi	Fi'=1-Fi
0	-	0,5	0,25	179	0,0204	0,0204	0,9796
0,5	-	1,0	0,75	115	0,0131	0,0335	0,9665
1,0	-	1,5	1,25	111	0,0127	0,0462	0,9538
1,5	-	2,0	1,75	111	0,0127	0,0589	0,9411
2,0	-	2,5	2,25	129	0,0147	0,0736	0,9264
2,5	-	3,0	2,75	243	0,0277	0,1013	0,8987
3,0	-	3,5	3,25	366	0,0418	0,1431	0,8569
3,5	-	4,0	3,75	511	0,0583	0,2014	0,7986
4,0	-	4,5	4,25	577	0,0659	0,2673	0,7327
4,5	-	5,0	4,75	636	0,0726	0,3399	0,6601
5,0	-	5,5	5,25	783	0,0894	0,4293	0,5707
5,5	-	6,0	5,75	720	0,0822	0,5115	0,4885
6,0	-	6,5	6,25	701	0,0800	0,5915	0,4085
6,5	-	7,0	6,75	669	0,0764	0,6679	0,3321
7,0	-	7,5	7,25	690	0,0788	0,7467	0,2533
7,5	-	8,0	7,75	630	0,0719	0,8186	0,1814
8,0	-	8,5	8,25	509	0,0581	0,8767	0,1233
8,5	-	9,0	8,75	341	0,0389	0,9156	0,0844
9,0	-	9,5	9,25	252	0,0288	0,9444	0,0556
9,5	-	10,0	9,75	168	0,0192	0,9636	0,0364
10,0	-	10,5	10,25	105	0,0120	0,9756	0,0244
10,5	-	11,0	10,75	97	0,0111	0,9867	0,0133
11,0	-	11,5	11,25	48	0,0055	0,9922	0,0078
11,5	-	12,0	11,75	34	0,0039	0,9961	0,0039
12,0	-	12,5	12,25	15	0,0017	0,9978	0,0022
12,5	-	13,0	12,75	6	0,0007	0,9985	0,0015
13,0	-	13,5	13,25	9	0,0010	0,9995	0,0005
13,5	-	14,0	13,75	2	0,0002	0,9997	0,0003

14,0	-	14,5	14,25	1	0,0001	0,9998	0,0002
14,5	-	15,0	14,75	0	0,0000	0,9998	0,0002
15,0	-	15,5	15,25	0	0,0000	0,9998	0,0002
15,5	-	16,0	15,75	1	0,0001	0,9999	0,0001
16,0	-	16,5	16,25	1	0,0001	1	0,0000
TOTALES:				8760	1		

De la tabla de distribución de frecuencias, resulta útil dibujar el histograma de frecuencias relativas para las velocidades horarias del año tipo, que permite trazar la distribución continua de probabilidad, a partir de la forma que adopta el polígono de frecuencias, como se indica en la figura 3.6.

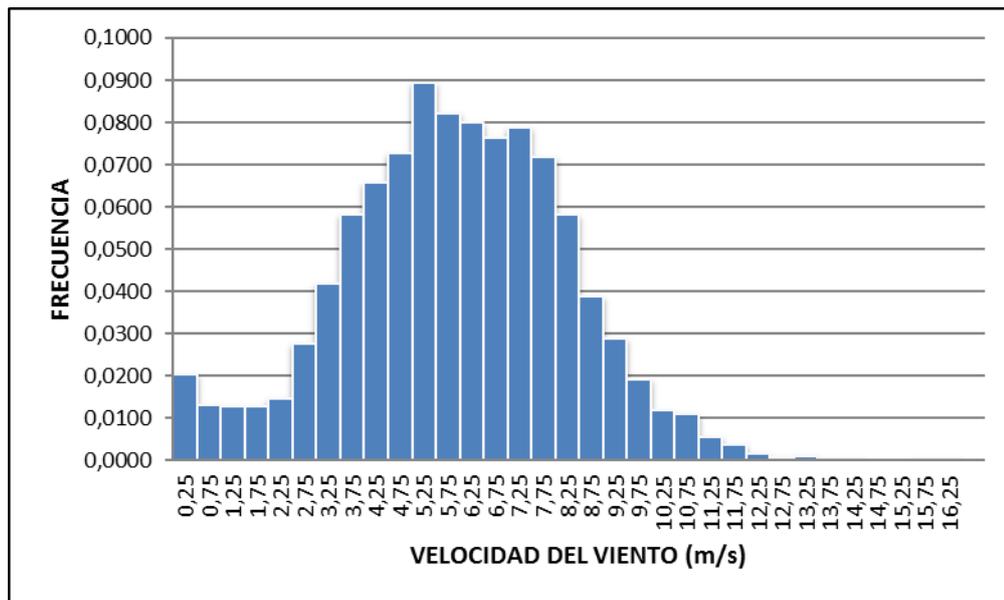


Figura 3.6. Histograma de frecuencias relativas. Fuente: Autor

### Distribución de Weibull

Los resultados del cálculo para determinar los parámetros de la distribución de Weibull por el método de los mínimos cuadrados se indican en tabla 3.4.

Tabla 3.4. Cálculo de los parámetros c y k de Weibull por mínimos cuadrados.

Intervalos de Clase (m/s)	vi (m/s)	ni (días)	fi	Fi	(yi)	(xi)	PRODUCTOS			
			fi=ni/N		y=ln(-ln(1-F))	x=ln(v)	fi(xi)	fi(xi)2	fi(yi)	fi(xi)yi
0 - 0,5	0,25	179	0,0204	0,0204	-3,8819	-1,3863	-0,0283	0,0393	-0,0793	0,1100
0,5 - 1,0	0,75	115	0,0131	0,0335	-3,3792	-0,2877	-0,0038	0,0011	-0,0444	0,0128
1,0 - 1,5	1,25	111	0,0127	0,0462	-3,0512	0,2231	0,0028	0,0006	-0,0387	-0,0086
1,5 - 2,0	1,75	111	0,0127	0,0589	-2,8017	0,5596	0,0071	0,0040	-0,0355	-0,0199
2,0 - 2,5	2,25	129	0,0147	0,0736	-2,5711	0,8109	0,0119	0,0097	-0,0379	-0,0307
2,5 - 3,0	2,75	243	0,0277	0,1013	-2,2367	1,0116	0,0281	0,0284	-0,0620	-0,0628
3,0 - 3,5	3,25	366	0,0418	0,1431	-1,8680	1,1787	0,0492	0,0580	-0,0780	-0,0920
3,5 - 4,0	3,75	511	0,0583	0,2014	-1,4921	1,3218	0,0771	0,1019	-0,0870	-0,1150
4,0 - 4,5	4,25	577	0,0659	0,2673	-1,1679	1,4469	0,0953	0,1379	-0,0769	-0,1113
4,5 - 5,0	4,75	636	0,0726	0,3399	-0,8786	1,5581	0,1131	0,1763	-0,0638	-0,0994
5,0 - 5,5	5,25	783	0,0894	0,4293	-0,5782	1,6582	0,1482	0,2458	-0,0517	-0,0857
5,5 - 6,0	5,75	720	0,0822	0,5115	-0,3335	1,7492	0,1438	0,2515	-0,0274	-0,0479
6,0 - 6,5	6,25	701	0,0800	0,5915	-0,1106	1,8326	0,1466	0,2688	-0,0089	-0,0162

6,5	-	7,0	6,75	669	0,0764	0,6679	0,0974	1,9095	0,1458	0,2785	0,0074	0,0142	
7,0	-	7,5	7,25	690	0,0788	0,7467	0,3171	1,9810	0,1560	0,3091	0,0250	0,0495	
7,5	-	8,0	7,75	630	0,0719	0,8186	0,5348	2,0477	0,1473	0,3016	0,0385	0,0788	
8,0	-	8,5	8,25	509	0,0581	0,8767	0,7387	2,1102	0,1226	0,2587	0,0429	0,0906	
8,5	-	9,0	8,75	341	0,0389	0,9156	0,9051	2,1691	0,0844	0,1832	0,0352	0,0764	
9,0	-	9,5	9,25	252	0,0288	0,9444	1,0611	2,2246	0,0640	0,1424	0,0305	0,0679	
9,5	-	10,0	9,75	168	0,0192	0,9636	1,1979	2,2773	0,0437	0,0995	0,0230	0,0523	
10,0	-	10,5	10,25	105	0,0120	0,9756	1,3119	2,3273	0,0279	0,0649	0,0157	0,0366	
10,5	-	11,0	10,75	97	0,0111	0,9867	1,4633	2,3749	0,0263	0,0625	0,0162	0,0385	
11,0	-	11,5	11,25	48	0,0055	0,9922	1,5797	2,4204	0,0133	0,0321	0,0087	0,0210	
11,5	-	12,0	11,75	34	0,0039	0,9961	1,7132	2,4639	0,0096	0,0236	0,0066	0,0164	
12,0	-	12,5	12,25	15	0,0017	0,9978	1,8114	2,5055	0,0043	0,0107	0,0031	0,0078	
12,5	-	13,0	12,75	6	0,0007	0,9985	1,8722	2,5455	0,0017	0,0044	0,0013	0,0033	
13,0	-	13,5	13,25	9	0,0010	0,9995	2,0283	2,5840	0,0027	0,0069	0,0021	0,0054	
13,5	-	14,0	13,75	2	0,0002	0,9997	2,0933	2,6210	0,0006	0,0016	0,0005	0,0013	
14,0	-	14,5	14,25	1	0,0001	0,9998	2,1421	2,6568	0,0003	0,0008	0,0002	0,0006	
14,5	-	15,0	14,75	0	0,0000	0,9998	2,1421	2,6912	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
15,0	-	15,5	15,25	0	0,0000	0,9998	2,1421	2,7246	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
15,5	-	16,0	15,75	1	0,0001	0,9999	2,2203	2,7568	0,0003	0,0009	0,0003	0,0007	
16,0	-	16,5	16,25	1	0,0001	1							
TOTALES:				8760	1					<b>1,6419</b>	<b>3,1047</b>	<b>-0,4343</b>	<b>-0,0054</b>
										$\Sigma f_i(x_i)$	$\Sigma f_i(x_i)^2$	$\Sigma f_i(y_i)$	$\Sigma f_i(x_i)y_i$

A =	1,7308
B =	-3,2761
k =	1,73
c =	6,64

El software Windographer permite determinar los parámetros de la probabilidad de Weibull que mejor se ajusta a la distribución de frecuencias, analiza cuatro algoritmos para determinar el más adecuado. El histograma de velocidades, curvas de probabilidad de Weibull y los valores de k y c encontrados por el software se pueden apreciar en la figura 3.8.

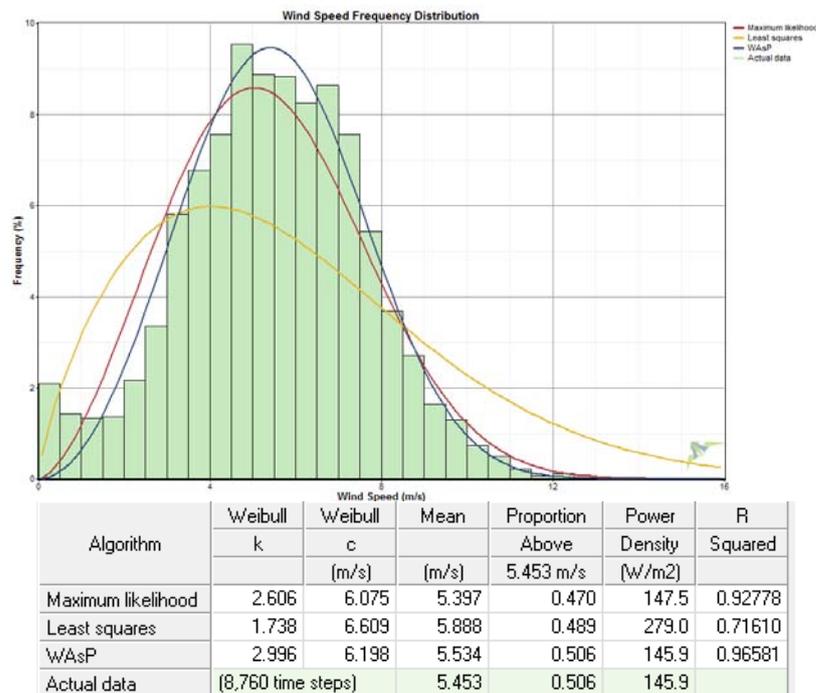


Figura 3.8. Histograma, curvas de probabilidad y parámetros k y c de Weibull. Fuente: Autor

El cálculo por mínimos cuadrados obtenido en la tabla 3.4, no difiere del cálculo por mínimos cuadrados (least squares) encontrado por el software Windographer. El algoritmo con menos error calculado por el software es el WASP, que establece un valor de  $k = 2,996$  y  $c = 6,198$ , valores que para futuras investigaciones deberán ser tomados como referencia.

### Densidad de potencia eólica (P/A)

Tabla 3.5. Densidad de potencia calculada a (10 y 15) m.

ALTURA	(P/A) (W/m2)
10 m	101,801
15 m	126,96

Por tal razón se decidió instalar el aerogenerador a 15 m de altura y se extrapoló la velocidad del viento con el perfil vertical. En la tabla 3.6 indica el cálculo de la densidad de potencia con la tabla de distribución de frecuencias.

Tabla 3.6. Densidad de potencia eólica.

DATOS					Densidad Potencia Eólica (W/m2)		
Intervalos de Clase (m/s)			vi (m/s)	ni (días)	f <sub>i</sub>	(P/A)	(P/A)*f <sub>i</sub>
					f <sub>i</sub> =ni/N		
0	-	0,5	0,25	179	0,0204	0,00657	0,000134
0,5	-	1,0	0,75	115	0,0131	0,17734	0,002328
1,0	-	1,5	1,25	111	0,0127	0,82103	0,010403
1,5	-	2,0	1,75	111	0,0127	2,25289	0,028547
2,0	-	2,5	2,25	129	0,0147	4,78822	0,070511
2,5	-	3,0	2,75	243	0,0277	8,74228	0,242508
3,0	-	3,5	3,25	366	0,0418	14,43034	0,602912
3,5	-	4,0	3,75	511	0,0583	22,16769	1,293115
4,0	-	4,5	4,25	577	0,0659	32,26958	2,125519
4,5	-	5,0	4,75	636	0,0726	45,05131	3,270848
5,0	-	5,5	5,25	783	0,0894	60,82813	5,437035
5,5	-	6,0	5,75	720	0,0822	79,91533	6,568383
6,0	-	6,5	6,25	701	0,0800	102,62817	8,212597
6,5	-	7,0	6,75	669	0,0764	129,28194	9,873244
7,0	-	7,5	7,25	690	0,0788	160,19191	12,617856
7,5	-	8,0	7,75	630	0,0719	195,67334	14,072398
8,0	-	8,5	8,25	509	0,0581	236,04152	13,715198
8,5	-	9,0	8,75	341	0,0389	281,61171	10,962282
9,0	-	9,5	9,25	252	0,0288	332,69919	9,570799
9,5	-	10,0	9,75	168	0,0192	389,61924	7,472150
10,0	-	10,5	10,25	105	0,0120	452,68713	5,426044
10,5	-	11,0	10,75	97	0,0111	522,21813	5,782552
11,0	-	11,5	11,25	48	0,0055	598,52751	3,279603
11,5	-	12,0	11,75	34	0,0039	681,93055	2,646762
12,0	-	12,5	12,25	15	0,0017	772,74253	1,323189
12,5	-	13,0	12,75	6	0,0007	871,27871	0,596766
13,0	-	13,5	13,25	9	0,0010	977,85438	1,004645
13,5	-	14,0	13,75	2	0,0002	1092,78479	0,249494
14,0	-	14,5	14,25	1	0,0001	1216,38524	0,138857
14,5	-	15,0	14,75	0	0,0000	1348,97099	0,000000
15,0	-	15,5	15,25	0	0,0000	1490,85731	0,000000
15,5	-	16,0	15,75	1	0,0001	1642,35949	0,187484
16,0	-	16,5	16,25	1	0,0001	1803,79278	0,205912
TOTALES:				8760	1	<b>126,99 W/m<sup>2</sup></b>	

### Densidad de energía eólica (E/A)

Aplicando la ecuación se tiene, un valor de densidad de energía eólica sobre área de 1112,43 (kWh/m<sup>2</sup>). Y si se desea saber la cantidad de energía anual que se puede obtener con una turbina eólica, basta multiplicar la densidad de energía eólica calculada anteriormente por el área de barrido de cualquier turbina, por ejemplo, para una turbina de 2,7 m de diámetro se tiene un área de 5,73 m<sup>2</sup>, entonces la densidad de energía 6374,24 kWh año.

Aplicando la Ley de Betz y a ella sumada el rendimiento de la turbina 0,16 % solo se podría aprovechar como máximo 1574,43 kWh al año.

### Factor de capacidad

Tabla 3.7. Calificación de un aerogenerador por su factor de capacidad.

FACTOR DE CAPACIDAD	CALIFICACIÓN
> 0,5	Muy Excelente
0,4 – 0,5	Excelente
0,3 – 0,4	Muy bueno
0,25 – 0,3	Bueno
0,20 – 0,25	Aceptable
< 0,2	Inaceptable

Fuente: Conrado Moreno Figueredo.

### 3.3. Determinación del recurso solar

#### Valores de insolación global en la zona de estudio

Los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio se obtuvieron de la prospección realizada por la Organización Básica Eléctrica provincial para la instalación de parque solares territorio, los datos representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas, expresados en Wh/m<sup>2</sup>/día.

Esta información también se obtuvo de la web NASA *Surface meteorology and Solar Energy*, que analiza 22 años de series históricas entregando los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio, como se puede apreciar en la figura 3.8 se representa el mes de abril del 2019 con un promedio de 5,78 kWh/m<sup>2</sup>/día y en el anexo 4 se muestra desde diciembre de 2018 hasta mayo de 2019.

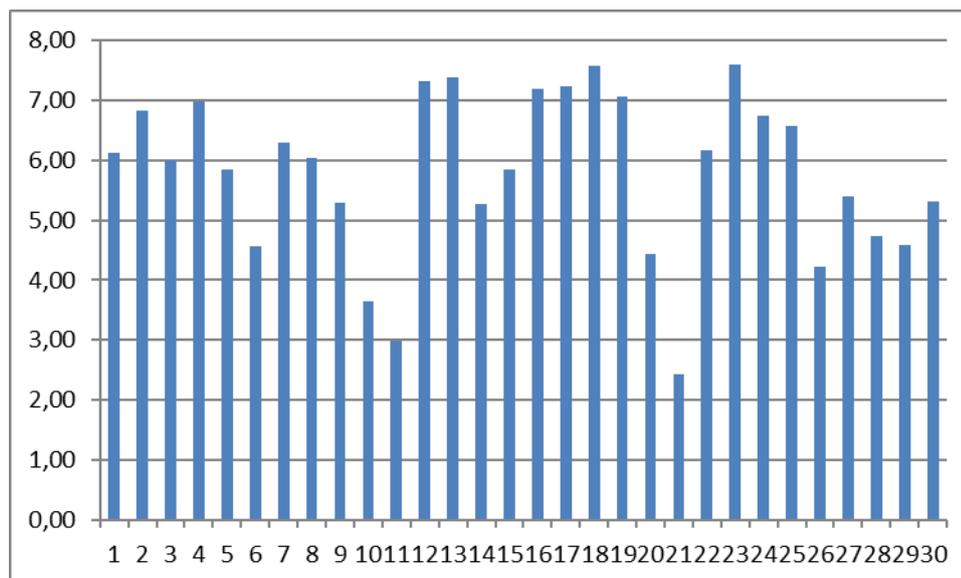


Figura 3.8. Insolación global mensual de abril en la zona de estudio (kWh/m<sup>2</sup>/día).

### Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares

Se tomó una inclinación de 5° para evitar las acumulaciones de suciedades en la superficie de los módulos fotovoltaicos, para determinar el factor k se utiliza la tabla indicada en tabla 3.8.

Tabla 3.8. Valor k según latitud y mes del año.

Latitud: -1°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87
20	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81
25	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75
30	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69
35	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62
40	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54
45	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46
50	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38
55	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3
60	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21
65	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13
70	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12
75	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09

El resultado del cálculo de la radiación solar sobre una superficie inclinada se indica en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Valor k según latitud y mes del año.

MES	k
Enero	0,97
Febrero	0,98
Marzo	1
Abril	1,01
Mayo	1,02
Junio	1,03
Julio	1,02
Agosto	1,01
Septiembre	1
Octubre	0,98
Noviembre	0,97
Diciembre	0,96
TOTAL	

El número de horas de sol al día HS, es determinado con el número de horas diarias de irradiación solar a 1000 W/m<sup>2</sup>.

### Cálculo del rendimiento global del sistema (PR)

Para determinar la potencia pico del arreglo fotovoltaico, es necesario determinar el rendimiento global del sistema

Los cálculos del rendimiento por temperaturas diferentes  $\eta_{temp}$  se indican en tabla 3.9.

Tabla 3.9. Rendimiento por temperaturas diferentes  $\eta_{temp}$ .

MES	T amb (C)	TC	$\eta_{temp}$
Enero	6,36	37,61	93,7%
Febrero	6,52	37,77	93,6%
Marzo	6,88	38,13	93,4%
Abril	6,83	38,08	93,5%
mayo	6,71	37,96	93,5%
Junio	6,16	37,41	93,8%
Julio	6,36	37,61	93,7%
Agosto	7,45	38,7	93,2%
Septiembre	8,16	39,41	92,8%
Octubre	8,18	39,43	92,8%
Noviembre	7,23	38,48	93,3%
Diciembre	6,51	37,76	93,6%

Se calcula el rendimiento total del sistema fotovoltaico y el resultado se indica en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Rendimiento PR del sistema fotovoltaico.

$\eta_{temp}$	$\eta_{suc}$	$\eta_{reg}$	$\eta_{cab}$	$\eta_{bat}$	$\eta_{out}$	$\eta_{inv}$	PR
93,7%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,6%
93,6%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,6%
93,4%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,4%
93,5%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,5%
93,5%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,5%
93,8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,7%
93,7%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,6%
93,2%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,2%
92,8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,0%

92,8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,0%
93,3%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,3%
93,6%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68,6%

### Cálculo de la potencia pico del arreglo fotovoltaico

La potencia pico del arreglo fotovoltaico se determina con la ecuación 1.20, y los resultados del cálculo se indican en tabla 3.11.

Tabla 3.11. Potencia pico del arreglo fotovoltaico.

MES	PR	Consumo Energético (Wh día)	Pot (Wp)
Enero	68,6%	2398	815,29
Febrero	68,6%	2398	811,94
Marzo	68,4%	2398	773,93
Abril	68,5%	2398	824,00
Mayo	68,5%	2398	841,18
Junio	68,7%	2398	836,46
Julio	68,6%	2398	826,79
Agosto	68,2%	2398	809,42
Septiembre	68,0%	2398	793,04
Octubre	68,0%	2398	808,66
Noviembre	68,3%	2398	789,30
Diciembre	68,6%	2398	814,02
Promedio	0,68	2398	812,00

### 3.3. Diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación alternativa

#### 3.3.1. Dimensionamiento del sistema con energía eólica

##### Cálculo del rendimiento global del sistema (PR)

Para determinar la potencia pico del aerogenerador, es necesario determinar el rendimiento global del sistema que se calcula con la ecuación 3.1.

$$PR = \eta_{reg} \eta_{cab} \eta_{bat} \eta_{aut} \eta_{inv} \quad (3.1)$$

Dónde:

$\eta_{reg}$  = Rendimiento del regulador (90 - 92%).

$\eta_{cab}$  = Rendimiento por pérdida en los cables eléctricos (97%).

$\eta_{bat}$  = Rendimiento del banco de baterías (95-96%).

$\eta_{aut}$  = Rendimiento debido a pérdidas por auto descarga del banco de baterías (98-99%).

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor (80 – 95%).

Los valores de los rendimientos recomendados, son los dispuestos por la Norma Técnica.

### Cálculo de la energía eléctrica que produce el aerogenerador

Los aerogeneradores seleccionados para el estudio se indican en tabla 3.12, donde se aprecia un cuadro resumen con algunas de las características técnicas de los aerogeneradores a ser analizados.

Tabla 3.12. Aerogeneradores analizados para el estudio.

Modelo	WG 1000	WindSpot 1,5	WindSpot 3,5	ZH 750	ZH 1500	ZH 2000	ZH 3000	Antaris 2,5 kW	Bornay 1500	Enair 30	Inclin 1500
Potencia nominal (W)	700	1500	3500	750	1500	2000	3000	2700	1500	1500	1500
Diámetro de la hélice (m)	2,5	3,3	4,05	2,7	3,2	3,6	4	3	2,86	4,1	2,86
Número de aspas	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
Velocidad de arranque (m/s)	3	3	3	4	3	3	3	2,2	3,5	2	3,5
Velocidad de potencia nominal (m/s)	10	12	12	9	9	9	10	12	12	10 - 12	12
Rotación potencia nominal (rpm)		250	250	450	380	400	350	140 - 550	700	250	700
Voltaje de salida (V)	12 o 24	24, 48, 110, 220	24, 48, 110, 220	12 o 24	24	48	48	350 VAC	24, 48, 120	24, 48, 220	24, 48, 120, 300
Peso (kg)	40	155	185	65	78	88	105	75	41	130	42

Fuente: Autor

La capacidad de producir energía de un aerogenerador se caracteriza con su curva de potencia, que consiste en valores de velocidad del viento en intervalos usualmente de 1 m/s y su respectiva potencia, la potencia extraíble del viento no solo depende de la velocidad también depende de la densidad del aire, por esta razón, es muy importante hacer la corrección de las curvas de potencia de los aerogeneradores que normalmente está diseñada en condiciones estándar con una densidad de 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

Para la corrección de la curva de potencia se utilizó la ecuación 3.2.

$$P' = P \left( \frac{\rho'}{\rho} \right) \quad (3.1)$$

Dónde:

P' = Potencia corregida (W).

P = Potencia a condiciones estándar (W).

ρ = Densidad del aire a condiciones estándar 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

ρ' = Densidad del aire en el emplazamiento a la que se desea corregir kg/m<sup>3</sup>.

Corregidas las curvas de potencia de los once aerogeneradores seleccionados en función de la densidad calculada en el emplazamiento de estudio, se ingresaron en el software Windographer y

al ser analizadas para determinar la cantidad de energía que se puede obtener con las velocidades del año medio tipo, se detallan los siguientes resultados que se indican en la tabla 3.13. Para el análisis el software *Windographer* considera un rendimiento de los aerogeneradores del 16 % que efectivamente está dentro del rango de eficiencia de los pequeños aerogeneradores entre (15 – 25) %.

Los resultados de la tabla 3.13, indican que el aerogenerador que mejor aprovecha el potencial eólico del año medio tipo es el *WindSpot* 1,5 kW, con una producción anual de energía de 4241 kWh/año y con un factor de capacidad del 32,27% que según la tabla 3.7, corresponde a una calificación del aerogenerador muy buena.

Además, permite descartar el uso de los aerogeneradores ZH 3, WS 3.5, Antaris 2.5 según el criterio del factor de capacidad.

Tabla 3.14. Resultado del análisis de los aerogeneradores.

Turbina	Valid Time Steps	Hub Height Wind Speed (m/s)	Percentage Of Time At Zero Power	Mean of Monthly Means		
				Net Power (kW)	Net AEP (kWh/yr)	NCF (%)
WG 1000 (15m)	8,760	5,9	5,89	0,2	1,444	20,61
ZH 1,5 (15m)	8,760	5,9	3,41	0,3	2,681	20,41
ZH 2 (15m)	8,760	5,9	3,38	0,5	3,943	22,5
ZH 750 (15m)	8,760	5,9	5,89	0,2	1,546	23,53
ZH 3 (15m)	8,760	5,9	3,44	0,6	4,936	18,78
WS 1,5 (15m)	8,760	5,9	0	0,5	4,241	32,27
WS 3,5 (15m)	8,760	5,9	3,45	0,5	4,551	14,84
INCLIN 1500 (15m)	8,760	5,9	10,14	0,4	3,102	23,61
BORNAY 1500 (15m)	8,760	5,9	0	0,5	4,037	23,04
ANTARIS 2,5 (15m)	8,760	5,9	3,41	0,3	2,464	11,25
ENAIR 30 (15m)	8,760	5,9	0	0,4	3,366	25,62

Fuente: Autor.

Para elegir el aerogenerador se tomó en cuenta los resultados de la energía mensual producida kWh mes por cada uno de los aerogeneradores, estos valores fueron proporcionados por el software *Windographer* y se pueden apreciar en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Energía mensual producida aerogeneradores.

kWh/mes												
MES	WG 1000	ZH 1.5	ZH 2	ZH 750	ZH 3	WS 1.5	WS 3.5	INCLIN 1500	BOURNAY 1500	ANTARIS 2.5	ENAIR 30	Enair 70
ENERO	103.79	186.83	279.2	109.61	354.1	335.74	325.68	236.54	313.76	169.9	250.68	380.01
FEBRERO	94.21	168.07	250.2	98.86	316.4	304.68	290.76	216.53	283.91	150.05	225.87	340.75
MARZO	101.43	190.41	279.85	108.77	352.45	304.53	325.11	218.77	291.33	178.51	238.15	379.2
ABRIL	133.2	236.99	350.92	140.54	436.86	385.27	403.52	281.68	360.72	210.96	308.01	475.05
MAYO	115.2	212.22	312.7	122.95	390.61	345.1	359.27	250.1	326.38	191.86	269.37	421.47
JUNIO	150.88	288.82	418.58	163.54	519.9	399.39	480.17	305.56	389.44	270.53	339.95	564.86
JULIO	186.8	371.16	533.27	206.2	660.92	466	615.11	370.56	466.2	359.36	417.32	721.27
AGOSTO	154.58	299.67	433.37	168.73	535.33	404.57	494.56	310.39	396.14	280.16	347.13	581.44
SEPTIEMBRE	114.42	203.39	302.4	120.23	380.39	354.76	349.77	254.51	330.3	180.62	270.41	410.63
OCTUBRE	143.46	262.71	387.54	153.65	481.98	407.16	444.06	301.58	384.76	236.65	331.55	521.92
NOVIEMBRE	51.44	91.48	140.48	52.97	185.88	218.51	168.95	136.58	201.29	84.52	137.33	192.97
DICIEMBRE	94.94	169.6	254.01	100	320.81	315.09	294.31	219.31	292.3	150.47	230.31	343.28
TOTAL	1,444.35	2,681.38	3,942.52	1,546.04	4,935.65	4,240.79	4,551.26	3,102.12	4,036.52	2,463.61	3,366.08	5,332.85

Fuente: Software Windographer.

### Elección del aerogenerador

El consumo de energía mensual promedio de la vivienda tipo es de 74 kWh mes, para poder satisfacer éste consumo el aerogenerador más cercano es el ZH 750, pero hay que multiplicar las energías mensuales producidas por el aerogenerador con el rendimiento del sistema como se indica en la tabla 3.16, y además se observa que la energía generada por el aerogenerador afectado por el rendimiento del sistema es crítica en el mes de noviembre, por lo que para este mes es necesario contar con otra fuente de generación, como se indica en la propuesta. También se analizan las características técnicas, factor de capacidad, disponibilidad en el mercado local y el precio confirmando la elección del aerogenerador, en la tabla 3.17 se indica la elección del aerogenerador.

Tabla 3.16. Energía mensual producida aerogeneradores.

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	E Aerog (kWh)	$\eta_{reg}$	$\eta_{cab}$	$\eta_{bat}$	$\eta_{out}$	$\eta_{inv}$	PR	Energía Aerogenerador por rendimiento(kWh)
ENERO	31	2398	74,34	109,61	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	81,92
FEBRERO	28	2398	67,14	98,86	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	73,89
MARZO	31	2398	74,34	108,77	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	81,29
ABRIL	30	2398	71,94	140,54	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	105,04
MAYO	31	2398	74,34	122,95	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	91,89
JUNIO	30	2398	71,94	163,54	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	122,23
JULIO	31	2398	74,34	206,20	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	154,11
AGOSTO	31	2398	74,34	168,73	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	126,11
SEPTIEMBRE	30	2398	71,94	120,23	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	89,86
OCTUBRE	31	2398	74,34	153,65	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	114,84
NOVIEMBRE	30	2398	71,94	52,97	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	39,59
DICIEMBRE	31	2398	74,34	100,00	0,90	0,97	0,96	0,98	0,91	0,75	74,74
TOTAL	365		875,27	1546,05							1155,52

Fuente: Software Windographer.

Tabla 3.17. Elección del aerogenerador.

Turbina	Costo (dólares americanos)	Peso (kg)	Vida útil (años)	Net Power (kW)	Net AEP (kWh/yr)	NCF (%)
ZH 750	1200	65	15	0,2	1,546	23,53
ZH 2 (15m)	2,565	88	15	0,5	3,943	22,5
WS 1,5 (15m)	6,116	155	20	0,5	4,241	32,27
BORNAY 1500 (15m)	5,585	41	15	0,5	4,037	23,04
ENAIR 30 (15m)	7,494	130	> 25	0,4	3,366	25,62

Fuente: *Software Windographer* y características técnicas aerogeneradores.

El aerogenerador elegido el ZONHAN 750 W, permite generar 1546 kWh año, con un factor de capacidad del 23,5%, corresponde a una calificación del aerogenerador buena.

En la tabla 3.19, la distribución de frecuencias se la realizo con intervalos de clase de 0.5 m/s, pero en análisis de energía eólica se puede elegir el intervalo para comodidades de cálculo, se realizó una nueva distribución de frecuencias con intervalos de 1 m/s, salvo para el intervalo (0 - 0.5) en el que la amplitud es 0.5 m/s. Esto se realizó para que coincida con la curva de potencia del aerogenerador seleccionado, como se indica en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Calculo de la energía generada con el aerogenerador ZONHAN 750.

Intervalos de Clase (m/s)	vi (m/s)	ni (horas)	fi fi=ni/N	" < o= q" Fi	1	2	3	4	2*4 (kW/año)	2*3 (kWh/año)
					vi (m/s)	P(kW)	horas /año	P(vi)	POTENCIA	Energía generada
					0,0 - 0,5	0,25	179	0,0204	0,0204	0
0,5 - 1,5	1	226	0,0258	0,0462	1	0,000	226	0,0258	0,00000	0,00
1,5 - 2,5	2	240	0,0274	0,0736	2	0,000	240	0,0274	0,00000	0,00
2,5 - 3,5	3	609	0,0695	0,1431	3	0,008	609	0,0695	0,00057	5,02
3,5 - 4,5	4	1088	0,1242	0,2673	4	0,033	1088	0,1242	0,00410	35,89
4,5 - 5,5	5	1419	0,1620	0,4293	5	0,082	1419	0,1620	0,01336	117,01
5,5 - 6,5	6	1421	0,1622	0,5915	6	0,161	1421	0,1622	0,02608	228,49
6,5 - 7,5	7	1359	0,1551	0,7466	7	0,264	1359	0,1551	0,04093	358,60
7,5 - 8,5	8	1139	0,1300	0,8766	8	0,412	1139	0,1300	0,05360	469,60
8,5 - 9,5	9	593	0,0677	0,9443	9	0,557	593	0,0677	0,03768	330,06
9,5 - 10,5	10	273	0,0312	0,9755	10	0,610	273	0,0312	0,01904	166,58
10,5 - 11,5	11	145	0,0166	0,9921	11	0,598	145	0,0166	0,00992	86,69
11,5 - 12,5	12	49	0,0056	0,9977	12	0,573	49	0,0056	0,00321	28,08
12,5 - 13,5	13	15	0,0017	0,9994	13	0,548	15	0,0017	0,00093	8,23
13,5 - 14,5	14	3	0,0003	0,9997	14	0,524	3	0,0003	0,00016	1,57
14,5 - 15,5	15	0	0,0000	0,9997	15	0,503	0	0,0000	0,00000	0,00
15,5 - 16,5	16	2	0,0002	1	16	0,478	2	0,0002	0,00010	0,96
TOTALES		8760	1				8760	1	0,21	1836,78

Fuente: Valores de velocidad del viento año medio tipo a 15 m.

La energía generada al año mostrada en la tabla 3.18, es de 1836,78 kWh se le aplica el 16 % de pérdidas del rendimiento del aerogenerador y se tiene:

$$PAE = 1542,89 \text{ kWh}$$

Y su factor de capacidad es:

$$FC = \frac{E}{P_n T} = 0,234 = 23,4 \%$$

Valores que coinciden con los resultados del software Windographer, la hoja de características técnicas del aerogenerador.

### Controlador de carga y disipador de energía del aerogenerador

El aerogenerador elegido Zonhan 750, viene con su respectivo controlador de carga y disipador de energía, el controlador de carga es electrónico con un tipo de carga PWM (pulse wide modulator) que mejora la eficiencia de la carga de baterías, cuando las baterías están cargadas el controlador de carga automáticamente envía la energía eléctrica excedente al disipador de energía que es una resistencia interna de disipación (freno eléctrico).

### 3.1.2. Dimensionamiento del sistema con energía solar

El potencial solar indica un promedio anual de 51,83 (Wh/m<sup>2</sup> día) de radiación solar sobre una superficie inclinada, que tomando en cuenta representa una buena cantidad de insolación global para ser aprovechado.

#### Cálculo de los módulos fotovoltaicos

Los resultados tabla 3.19, indican que el mes más desfavorable es el de mayo, por lo que la potencia del arreglo fotovoltaico se la escoge para este mes. Y para determinar el número de paneles en paralelo se aplica la ecuación 3.3 y para determinar los paneles en serie la ecuación 3.4.

$$\text{Número de módulos en paralelo} = \frac{Pot_{Wp}(\text{mes más desfavorable})}{P_{m\acute{o}d}(\text{módulo fotovoltaico})} \quad (3.3)$$

$$\text{Número de módulos en serie} = \frac{V_{batería}}{V_{panel}} \quad (3.4)$$

En base a la disponibilidad en el mercado, se han seleccionado algunos módulos fotovoltaicos, como se indica en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Características de módulos fotovoltaicos disponibles en la localidad.

Marca	Tipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Costo (USD)
TYNP62409140	Policristalino	140	12	353
SM636-150	Monocristalino	150	12	240
SM572-165	Monocristalino	190	24	300
JC250S-24	Monocristalino	250	24	380
SM660-230	Monocristalino	230	30	370

El resultado del cálculo para determinar el número de módulos fotovoltaicos se encuentra en la tabla 3.20, donde por número de módulos, tipo y precio se selecciona el panel SIMAX SM636-150.

Tabla 3.20 Características de módulos fotovoltaicos.

Marca	TOTAL	SERIE	PARALELO	COSTO (USD)
TYNP62409140	7	1	7	2471
SM636-150	6	1	6	1440
SM572-165	10	1	10	3000
JC250S-24	8	1	8	3040
SM660-230	10	1	10	3700

El voltaje del panel Voc debe ser mayor que el voltaje nominal de la batería, para que se puedan cargar, en el caso del dimensionamiento  $22.6\text{ V} > 12\text{ V}$ .

### Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento adecuado del inversor se deben cumplir algunos criterios como:

- La potencia del inversor debe ser mayor a la potencia de la capacidad instalada de los equipos de corriente alterna en el sistema.
- El rango de voltaje de entrada del inversor, debe coincidir con el voltaje de las baterías.
- El rendimiento máximo del inversor es importante para el dimensionamiento del regulador. Además, indica la potencia real entregada por el inversor.
- Forma de la señal de salida, para el sistema debe ser onda sinusoidal pura por el computador.

En la tabla 3.21, se indican los inversores encontrados en el mercado local.

Tabla 3.21. Características de inversores

Marca	Voltaje entrada (V)	Potencia (W)	Rendimiento (%)	Costo (USD)
Power Star	10,5 - 16	1000	88%	450
Innotec Gama A5	10,5 - 16	800	93%	2330,34
Phoenix 12V	9,2 - 17,3	800	91%	680,05

En base a lo especificado anteriormente en inversor elegido es Phoenix 12.

### Dimensionamiento del regulador

Para el dimensionamiento del regulador se debe calcular la energía que las baterías deben entregar al inversor para satisfacer el consumo de energía del sistema, siendo el mes más desfavorable el de mayo con un valor de 841,18 W día.

La corriente del regulador se calcula con la ecuación 3.5.

$$\text{Corriente del regulador} = \frac{\text{Pot Wp (mas mas desfavorable)}}{\text{Voltaje de las baterías}} \quad (3.5)$$

Entonces la corriente del regulador es 70 A.

En la tabla 3.22, se indican los reguladores encontrados en el mercado local.

Tabla 3.22. Características de inversores disponibles en la localidad.

Marca	Corriente máxima (A)	Voltaje nominal (V)	Costo (USD)
TS-MPPT-45	45	12/24/48	720
TS-MPPT60	60	12/24/48	800
VS4548BN	45	12/24/1948	370

Como ningún regulador alcanza la corriente de 70 A, es necesario dos reguladores y teniendo en cuenta que el número de módulos fotovoltaicos es seis, entonces se puede obtener dos ramas simétricas. El regulador elegido es VS4548BN de 45 amperios.

### Dimensionamiento del banco de baterías

Al ser una instalación aislada las baterías de ciclo profundo son indispensables para almacenar la energía que será consumida, para dimensionar se debe tener en cuenta la profundidad de descarga y los días de autonomía.

La capacidad del banco de baterías se calcula con la ecuación 3.6.

$$C_{bat} = \left( \frac{\text{Consumo de energía} \cdot \text{días de autonomía}}{\text{Profundidad de Descarga} \cdot \text{voltaje del sistema}} \right) \quad (3.6)$$

El consumo de energía es de 2 398 Wh/día, pero el inversor al tener el 91% de rendimiento necesita que las baterías entregan 2635 Wh al inversor para que este pueda suministrar 2398 Wh a la carga. Aplicando la ecuación 3.6 se tiene una capacidad del banco de baterías de: 1317,5 Ah.

Para calcular el número de baterías necesarias, se debe seleccionar el tipo de baterías con las que se va a trabajar, se recomienda usar las baterías a un régimen de descarga de 20 horas (C20) y no exceder una profundidad de descarga del 60%, además por su poco mantenimiento se recomienda el uso de baterías tipo plomo ácido sellada AGM y GEL, en la tabla 3.23, muestra las baterías elegidas por facilidad de mantenimiento, seguridad y disponibilidad en el mercado local.

Tabla 3.23. Características de las baterías encontradas en el mercado local.

Marca	Tipo	Capacidad (Ah) en C20	Voltaje (V)	Peso (kg)	Costo (USD)
RA12-100D	AGM	107,2	12	30	284,59
RA6-200D	AGM	214,2	6	29	269,49
UCG 150-12	GEL	160,8	12	44	400

El número de baterías en paralelo necesarias se calcula con la ecuación 3.7 y el número de baterías en serie necesarias se calcula con la ecuación 3,8, el cálculo para las diferentes baterías seleccionadas para el estudio se encuentra en tabla 3.24, teniendo en cuenta el voltaje de 12 V. que es el voltaje de salida del aerogenerador.

$$Numero\ paralelo_{bat} = \left( \frac{C_{bat}}{Capacidad\ nominal\ bateria} \right) \quad (3.7)$$

$$Numero\ serie_{bat} = \left( \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ nominal\ bateria} \right) \quad (3.8)$$

Tabla 3.24. Baterías en serie y paralelo necesarias.

Marca	TOTAL	SERIE	PARALELO	COSTO (USD)
RA12-100D	12	1	12	3415,08
RA6-200D	12	2	6	3233,88
UCG 150-12	8	1	8	3200

La batería UCG 150-12 es la mejor opción, por el número de baterías necesarias y su costo

### 3.2. Evaluación de los sistemas Fotovoltaicos (SFV) Autónomos instalado en Cuba

Cuba cuenta con un servicio eléctrico que llega a más del 95% de las viviendas del país. Los asentamientos y viviendas a los que no ha podido llegar el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) es por lo difícil, costoso y baja fiabilidad que es posible lograr desde el SEN. Una forma mucho más viable es aprovechando los recursos renovables disponibles en cada lugar. Se analiza los problemas presentados en los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) Autónomos diseñados para proveer electricidad a viviendas aisladas separadas del SEN. Estos SFV constan de:

- 1- 1 módulo FV de 250 Wp.
- 2- 1 regulados MPPT de 10 A.
- 3- 1 banco de baterías de 24 V 100 Ah a C20 con baterías AGM.
- 4- 1 inversor autónomo de 300VA con transformador de hierro. En la figura 3.8 se muestra un esquema de este sistema.

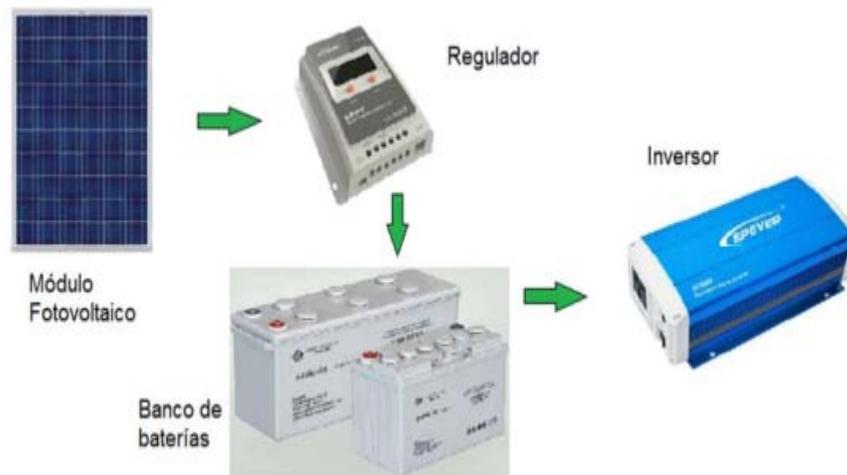


Figura 3.8. Esquema del SFV autónomo para viviendas

El modelo integrado EPCCES-300M es el que en la actualidad ha sido instalado en las zonas rurales de la provincia, en la figura 3.9 se representa en una vivienda perteneciente a Mirian Hidalgo Peña.



Figura 3.9 Sistema Solar Doméstico EPCCES-300M

Los SFV autónomos actuales para las viviendas campesinas han presentado los siguientes problemas:

- 1- Las baterías fallan en muy poco tiempo (a veces en pocos meses)
- 2- Los inversores de 300 o 400 VA están fallando en relativamente corto tiempo.
- 3- Limitación de toma de energía del sistema inferior a las posibilidades reales del sistema.

La energía que genera en las condiciones de Cuba el actual SFV puede entregar aproximadamente 700 Wh/día en el peor mes del año después de cubrir todas las pérdidas y por tanto puede suministrar energía eléctrica a los electrodomésticos mostrados en la tabla 3.25, frecuentes en una casa:

Tabla 3.25. Electrodomésticos que pueden ser conectados un SFV autónomo

N.º	Descripción	U oper. (V)	Cant	Pot [kW]	P <sub>tot</sub> [kW]	t <sub>uso</sub> (h/día)	E (kWh/día)
1	Lámparas LED T8	115	5	0,009	0,045	3,5	0,158
2	Ventiladores	115	1	0,050	0,050	5	0,250
3	Batidora	115	1	0,450	0,450	0,1	0,045
4	TV	115	1	0,060	0,060	4,5	0,270
					<b>0,6</b>		<b>0,723</b>

### Recomendaciones para los SFV actuales para las viviendas aisladas

1. Colocar el regulador FV, el inversor y las protecciones en el interior de un armario estanco de preferencia de aluminio (un armario de aluminio de iguales dimensiones que uno de acero disipa el doble de calor que el de acero). Es necesario hacer el cálculo térmico para que la temperatura se mantenga en los límites correctos. Es muy importante la estanqueidad del armario para proteger a los equipos electrónicos de la elevada humedad de Cuba (en muchas ocasiones con alta salinidad) y de los animales como insectos, roedores y reptiles que provocan serias averías.
2. Utilizar baterías de plomo ácido tubulares abiertas con tapón de recombinación de agua para asegurar una larga vida útil y un bajo mantenimiento. La utilización de los tapones de recombinación permite extender el periodo de reposición de agua hasta 2 años. De no utilizarse es necesario reponer el agua perdida cada 6 meses y a veces cada 3 meses. Las baterías de placa plana de alta profundidad de descarga necesitan menor periodo de reposición de agua que las de placa positiva tubular (las tubulares) porque estas últimas tienen mayor reserva de electrolito.
3. Ubicar las baterías en una jaula de malla o chapas perforadas para asegurar un buen intercambio de temperatura y mantenerlas operado a la menor temperatura posible.
4. Las baterías con tapones de recombinación de agua poseen muy bajo nivel de emisión de gases peligrosos, lo cual permite su ubicación en lugares próximos a equipos electrónicos y a personas sin ningún riesgo.

5. Nunca ubicar las baterías en un lugar donde puedan recibir radiación solar directa o indirecta ni expuestas a calentamientos por diversas causas como cocinas, hornos, pequeñas casetas soleadas en exteriores de viviendas y otros.
6. Utilizarse bornes de preferencia con blindaje o terminación aislante para evitar cortocircuitos accidentales.
7. Los voltajes de DC 12 y 24 V son intrínsecamente seguros, por lo que un contacto con cualquiera de las partes vivas no implica riesgo para la vida, pero un cortocircuito con un elemento conductor entre las diferentes partes vivas si representa un riesgo potencial incluso para la vida.
8. Configurar tanto en el regulador como en el inversor un procedimiento de desconexión por estado de carga bajo en función de la corriente de descarga para asegurar una desconexión del consumo a un estado de carga del banco de baterías de un 30%. Esto es importante para lograr una larga vida útil del banco de baterías.
9. Adicionar al kit de montaje una pica de tierra para asegurar un punto de tierra física al cual evacuar picos de voltaje que todos los procesos de conmutación del inversor, el regulador y los consumidores generan en su funcionamiento normal.
10. Colocar a tierra una de los polos de la batería.

### **Propuesta de SFV autónomo óptimo para una vivienda de la zona rural de Santa Rita**

Si la intensión de los sistemas fotovoltaicos para las viviendas es mejorar de forma significativa las condiciones de vida de los campesinos, es imprescindible elevar la potencia y la disponibilidad de energía de estos para poder suministrar energía eléctrica a un refrigerador, una olla arrocera, una lavadora y algunos otros electrodomésticos que hacen la vida mucho más cómoda. La tabla 3.26 muestra un listado de electrodomésticos que pueden ser conectados al sistema propuesto. El suministro eléctrico que es capaz de entregar el sistema propuesto es entre 70 y 80 kWh/mes durante el periodo de menor generación del año.

Tabla 3.26. Electrodomésticos que pueden ser conectados un SFV autónomo

N,°	Descripción	Tensión oper, (V)	Cant	Pot [kW]	P tot [kW]	t uso (h/día)	E (kWh/día)
1	Lámparas LED T8	115	5	0,009	0,045	3,5	0,158
2	Ventiladores	115	2	0,050	0,100	5	0,500
3	Batidora	115	1	0,450	0,450	0,1	0,045
4	TV	115	1	0,060	0,060	4	0,240
5	Refrigerador 250 L	115	1	0,122	0,122	8	0,975
6	Olla arrocera	115	1	0,500	0,500	0,65	0,325
7	Lavadora semiautomática	115	1	0,320	0,320	0,2	0,064
					<b>1,597</b>		<b>2,307</b>

Un sistema fotovoltaico autónomo que pueda cubrir esta demanda eléctrica ha de constar con entre 800 y 900 Wp en fotovoltaica, al menos 400 Ah a C20 en batería de preferencia de plomo ácido abiertas, tubulares, con tapón de recombinación de agua y un inversor de mínimo 1 kVA.

Apoyados en este razonamiento un SFV autónomo con 3 módulos fotovoltaicos de 270 Wp (total 810Wp) daría el suministro eléctrico necesario para un refrigerador moderno de alta eficiencia de aproximadamente 250 litros de capacidad y doble puerta. En los periodos del año en los que la generación fotovoltaica se ve afectada fuertemente por los nublados sería necesario que los usuarios del sistema extremaran las medidas de ahorro para evitar el apagón del sistema. Este modo de actuar es normal para cualquier sistema fotovoltaico que no cuenta con una fuente de energía suplementaria y fuerza a los usuarios a tener una participación activa en el cuidado del sistema. La figura 3.10 muestra esquemáticamente este sistema.



Figura 3.10. Esquema del SFV propuesto para las viviendas aisladas de Santa Rita

### 3.4 Análisis económico

Para el análisis económico del tipo de fuente a utilizar está determinado por un conjunto de parámetros técnicos y económicos que permiten predecir la viabilidad técnica y la rentabilidad económica sobre la conveniencia de su construcción.

#### Estructura de costos del sistema de electrificación

La posible variante que se establecerá para el desarrollo del proyecto de electrificación de las viviendas rurales es aquella que por su factibilidad económica y el presupuesto de inversión de la Empresa Eléctrica Holguín.

### **Inversión**

El mismo está determinado por los costos de cada una de las fuentes a utilizar para la electrificación en lo cual está contemplado la obra civil, las instalaciones eléctricas, los paneles solares y todos los elementos que componen el sistema.

### **Variante 1 (Grupo Electrónico)**

Mantener la electrificación con el grupo eléctrico con la propuesta de las instalaciones de la red de distribución.

DESCRIPCION	UM	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE (CUC)	PRECIO TOTAL (MN)	MONEDA TOTAL
AISLADOR PARA ACOMETIDAS	U	65	0,5	32,5	21,2	53,7
AISLADOR PARA CABLE TENSOR	U	65	2,5	162,5	97,5	260
ARANDELA 4 X 4"	U	83	0,77	63,91	54,3	118,21
ARANDELA PLANA 5/8"	U	95	1,57	149,15	102,1	251,25
CABLE ACOMETIDA CU 600V 2 X #8 AWG	MTS	1925	0,85	1636,25	1001,1	2637,35
CABLE AL 3/0 TIPO AAC, 85 MM2, PHOLX 7/3.93	KG	2447	2,47	6044,09	4678,87	10722,96
INTERRUPTOR MONOPOLAR 32 A. P/ VIVIENDA.	U	65	1,66	107,9	89,3	197,2
PERCHA DE 1 VIA S/ PASADOR	U	67	2,73	182,91	121,3	304,21
POSTE DE HORMIGON 9.15 H	U	67	152,07	10188,69	9873,34	20062,03
TORNILLO DE MAQ. 1/2" X 12" GALVANIZADO	U	67	2,53	169,51	125,5	295,01
Total				18737,41	16164,51	34901,92

### **Variante 2 (Electrificación por el SEN)**

La electrificación del SEN llega hasta el poblado de Vallejo a una distancia promedio hasta el asentamiento de Santa Rita de dos kilómetros en la tabla 3.26 se muestra el costo. En el anexo 5 se muestra el presupuesto de electrificación de un asentamiento.

Tabla 3.26. Costos electrificación por SEN

Líneas	PRECIO TOTAL (CUC)	PRECIO TOTAL (MN)	MONEDA TOTAL
km 13.8 kV aéreo	35578,2934	8894,56	44472,8534
km sec aéreo	6300	8400	14700
A público, torres	4021,742	777,039	4798,781
Instalación de transformador	568,6	1126,535	1695,135
	46468,6354	19198,134	65666,7694

### Variante 3 (Electrificación con energía eólica)

Tabla 3.27 Costos instalación energía eólica.

ELEMENTOS Y EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (CUC)	PRECIO TOTAL (MN)	MONEDA TOTAL
Aerogenerador Zonhan 750 W y regulador	1	1200	826,3	2026,3
Poste de hormigón, 17 m, 500 kg	1	344	198,2	542,2
Batería	8	3200	2096,08	5296,08
Inversor	1	608,05	411,3	1019,35
Conductor TTU número 6	25	123	91,5	214,5
Conductor TTU número 4	32	210,88	140,6	351,48
Interruptor Magnetotérmico, 2 polos 50A	4	53,24	37,5	90,74
Interruptor Magnetotérmico, 2 polos 80A	2	38,3	21,23	59,53
Caja Térmica, 12 puntos	1	102,25	82,4	184,65
Mano de obra instalación	1	500	345	845
Transporte	1	400	305	705
<b>TOTAL</b>		<b>6779,72</b>	<b>4555,11</b>	<b>11334,83</b>

En la tabla 3.28, se aprecia que tiene mayor influencia en los costos de inversión las ocho baterías con un monto de 3200 dólares que representa el 47% del total de la instalación.

### Variante 4 (Electrificación con energía solar)

Tabla 3.29. Costos instalación energía solar.

DESCRIPCION	U.M.	CANT.	IMPORTE CUP	IMPORTE CUC	MONEDA TOTAL
Módulo	U	3	540,00	1200	1740,00
DISTRIBUTION BOX WITH CONTROLLER	U	1	272,16	40	312,16
BATTERY100AH/12V)	U	3	486,92	63 ,90	550,82
INVERTER:24V 300W 110VAC 60Hz	U	1	108,47	20	128,47
CABLE AND ACCESSORIES	SET	1	28,82	2,12	30,94
BASE FOR LED LAMP 8W AC 85-265V	SET	5	11,23	1	12,23
CABLE AWG 16 WITH ENCHUFE, length 3 m	U	1	4,06	1	5,06
CABLE AWG 16 WITH ENCHUFE, length 6 m	U	1	6,97	2,5	9,47
CABLE AWG 16 WITH ENCHUFE, length 9 m	U	1	9,87	3	12,87
CABLE AWG 16 WITH ENCHUFE, length 12 m	U	1	12,78	4	16,78
CABLE AWG 16 WITH ENCHUFE, length 15 m	U	1	15,68	5	20,68
Lámparas a LED	U	5	31,75	20	51,75
<b>Total</b>			<b>1.168,71</b>	<b>562,52</b>	<b>2831,23</b>

En los costos de las variantes 1, 2 y 3 no está incluido el costo de las instalaciones eléctricas internas de la vivienda que puede alcanzar un monto 1745,9 de moneda total.

### Variante 5 (Electrificación Híbrida eólica-solar)

ELEMENTOS Y EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (CUC)	PRECIO TOTAL (MN)	MONEDA TOTAL
Aerogenerador Zonhan 750 W y regulador	1	1200	826,3	2026,3
Poste de hormigón, 17 m, 500 kg	1	344	198,2	542,2
Batería	8	3200	2096,08	5296,08
Inversor	1	608,05	411,3	1019,35
Conductor TTU número 6	25	123	91,5	214,5
Conductor TTU número 4	32	210,88	140,6	351,48
Interruptor Magnetotérmico, 2 polos 50A	4	53,24	37,5	90,74
Interruptor Magnetotérmico, 2 polos 80A	2	38,3	21,23	59,53
Caja Térmica, 12 puntos	1	102,25	82,4	184,65
Mano de obra instalación	1	500	345	845
Transporte	1	400	305	705
Módulo	3	540	1200	1740
Distribution box with controller	1	272,16	40	312,16
Cable and accessories	1 SET	28,82	2,12	30,94
Base for led lamp 8w ac 85-265v	5 SET	11,23	1	12,23
Cable AWG 16 with enchufe, length 3 m	1	4,06	1	5,06
Cable AWG 16 with enchufe, length 6 m	1	6,97	2,5	9,47
Cable AWG 16 with enchufe, length 9 m	1	9,87	3	12,87
Cable AWG 16 with enchufe, length 12 m	1	12,78	4	16,78
Cable AWG 16 with enchufe, length 15 m	1	15,68	5	20,68
Lámparas a LED	5	31,75	20	51,75
<b>TOTAL</b>		<b>7713,04</b>	<b>5828,73</b>	<b>13546,77</b>

### Operación y mantenimiento

Para el análisis del costo de operación y mantenimiento es necesario tener en cuenta el comportamiento de los siguientes indicadores:

#### Consumo de energía Anual (kWh/año)

$$CA = \frac{CEBES}{1000}$$

(3.9)

**Costo de Electricidad red (kWh)**

$$CER = CA \cdot 0.08 \quad (3.10)$$

**Costo de operación anual (USD/año)**

$$COA = CA \cdot CER \quad (3.11)$$

**VAN Costos de operación a futuro**

$$VANU = COA \left( \frac{1+e}{1-i} \right) \left( 1 - \frac{1+e}{1-i} \right)^N \quad (3.12)$$

Dónde:

COA= Costo de operación anual

e = Inflación de energía

i = Taza de descuento

N= Número de años.

**VAN Costos de mantenimiento a futuro**

$$VANM = COA \left[ \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right] \quad (3.13)$$

**VAN Costos de remplazo a futuro**

$$VANM = \frac{COA}{(1+i)^N} \quad (3.14)$$

Teniendo en cuenta que los costos de operación a futuro y mantenimiento a futuro son un solo costo de operación y mantenimiento.

Para determinar los costos de las tres variantes de electrificación se diseñó una hoja de cálculo en Excel permitiendo tener los siguientes resultados teniendo en cuenta que el asentamiento rural tiene 65 viviendas, que se indican en la tabla 3.30.

Como se aprecia en la tabla 3.30, la comparación de las variantes con respecto a su costo de inversión, costo de remplazo y costo de mantenimiento, permitiendo determinar la factibilidad de la electrificación por las cinco variantes propuestas.

Para validar los resultados se realizaron simulaciones con el Software HOMER, que permitió determinar la factibilidad de que fuente alternativa es más económica en la zona de estudio, lo que confirma que el SEN es la más conveniente respecto al. En la figura 3.9 se indica las ventanas de simulación del software HOMER. Para validar los resultados se realizaron simulaciones con el Software HOMER, que permitió determinar la factibilidad de que fuente alternativa es más económica en la zona de estudio.

Tabla 3.30. Costo de variantes de operación y mantenimiento

Parámetros	Grupo electrógeno	Red	Eólico	SFA	Híbrido
Tasa de descuento	5				
Inflación de costo de energía	3				
Periodo de análisis	20				
Inversión inicial	34901,92	65666,7694	736763,95	184029,95	880540,05
Coste de operación	340,4	700,216	0	0	0
Costo de mantenimiento	140	300	80	100	130
Costo de remplazo planta diesel	2110	2110	2110	2110	2110
Costo de remplazo de materiales	0	0	3200	3200	3200
Cantidad de remplazos en 20 años	0	0	4	4	4
VAN Costos de operación a futuro	500,3	1151,06	0	0	0
VAN Costos de mantenimiento a futuro	800,23	3738,66	996,98	1246,22	1567,13
Costos de operación y mantenimiento	600,90	4889,72	996,98	1246,22	1567,13

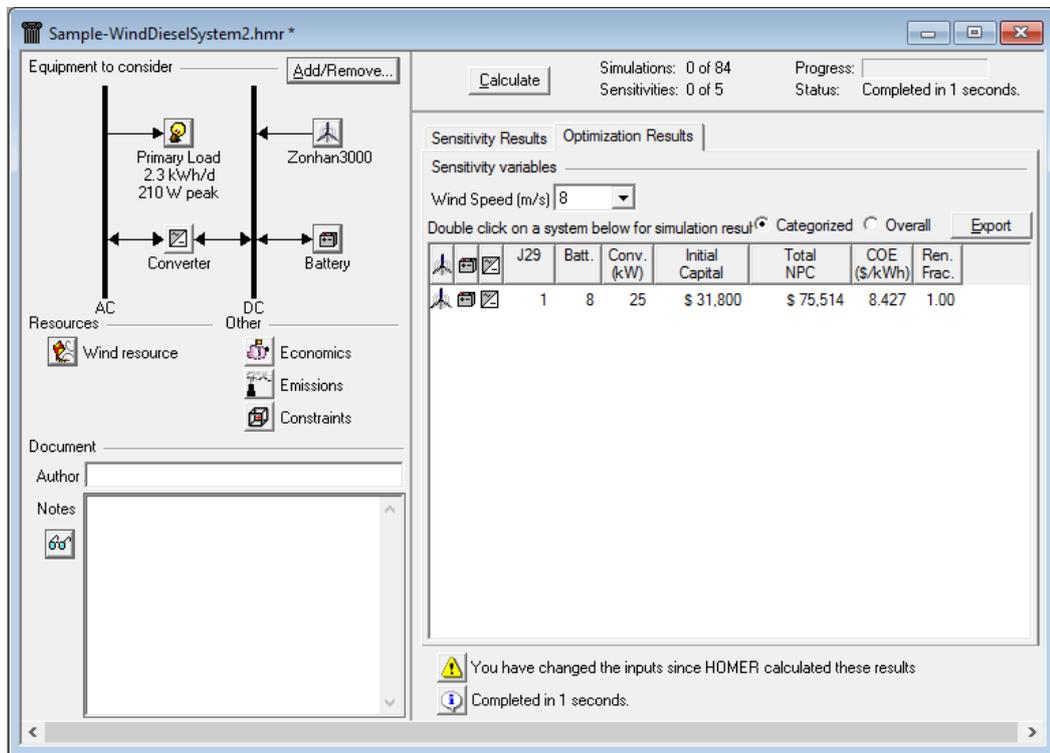


Figura 3.10. Resultado de simulación HOMER

### **3.5. Conclusiones del capítulo**

En este último capítulo se propuso de manera práctica la solución para la electrificación del sector rural de Santa Rita, se calcularon todos los parámetros y costos de implementación y mantenimiento, llegando a la conclusión de que la vía más factible económicamente es la electrificación mediante paneles solares.

#### **CONCLUSIONES**

1. Se evaluó el potencial solar y eólico del sector rural Santa Rita, lo que permitió determinar Insolación global tiene un promedio de 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, el cual está en correspondencia con la radiación solar promedio anual en Cuba y la velocidad del viento promedio de 5,9 m/s.
2. Se determina que la demanda para este asentamiento es de 2,307 kWh/día, por lo que es necesario un sistema fotovoltaico autónomo que pueda cubrir esta demanda eléctrica ha de constar con entre 800 y 900 Wp en fotovoltaica.
3. Se determinó que la electrificación actual por Grupo Electrónico no satisface las demandas de los pobladores de la zona rural.
4. Se determinaron cinco variantes de sistema de electrificación acorde a las condiciones climatológicas y energéticas del sector rural de Santa Rita.

## RECOMENDACIONES

1. A la Universidad de Moa, como parte de su vinculación con la comunidad, tomar como base el estudio realizado y hacerlo extensivos a otros sectores rurales que permitan la electrificación con vista a lograr la calidad de vida de estos pobladores.
2. La evaluación de la facticidad de las cinco variantes de electrificación por la Eléctrica de Holguín.
3. Facilitar e incentivar el desarrollo de nuevos proyectos de energía renovables a nivel nacional como una forma de la sostenibilidad energética del país.
4. Realizar una capacitación a los beneficiarios del proyecto según los Manuales de explotación de sistemas de generación de energías alternativas existentes para estos fines.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albornoz, Esteban. Atlas Eólico del Ecuador; Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2013
2. Carlos A. del Moral Pelier y Antonio Sarmiento Sera, «Influencia de la orientación de los colectores solares en la captación de energía.», *Ecosolar Rev. Científica Las Energ. Renov.*, vol. 16, jun. 2006.
3. E. Delgado Rodríguez, «“Sistema fotovoltaico conectado a la red para servicio eléctrico del Centro de Entrenamiento y Servicios de la Unión Eléctrica.”», Tesis para optar por el título de Ingeniero Electricista, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, 2011.
4. F. Antony, C. Dürschner, y K.-H. Remmers, *Fotovoltaica para profesionales: diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas.*, vol. 1. Promotora General De Estudios, S.A, Andalucía., 2006.
5. Fernández Díez, P. (2000). Energía Eólica. España: Universidad de Cantabria.
6. Gipe, P. Wind Power for Home and Business, Chelsea Green Publishing Company, Post Mills, Vermont, 1993.
7. Global Status Report (GSR), “Renewables 2012”.
8. H. Gerard, «Sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL)», Tesis para optar por el título de Ingeniero Electricista, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba, 2012.
9. IRENA (2018), *Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi (ISBN978-92-9260-059-4).
10. J. A. Duffie y W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, 2013.
11. J. A. Martínez Martínez, «Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar el hotel Packard», Tesis para optar por el título de Ingeniero Electricista, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba, 2015.
12. J. C. Yáñez y J. I. E. M. López, «“Estudio para la electrificación con energías alternativas, utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar el poblado de cañada

- colorada, municipio de Apaxco, estado de México’», Trabajo de Diploma, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional «Adolfo López Mateos», México DF., México, 2009.
13. Jarabo Friedrich, F., Pérez Domínguez, C., Elórtegui Escartín, N., Fernández González, J. y Macías Hernández, J.J., El libro de las energías renovables, Sociedad Anónima de Publicaciones Técnicas, Madrid, (1988)
  14. L. Mavilio González y M. Sifontes Mavilio, «Influencia del ángulo de inclinación en la productividad de una central fotovoltaica de 1 MW en el tiempo de vida útil», Tesis para optar por el título de Ingeniero Electricista, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, 2013.
  15. Lara Coira, Manuel, Reducción del riesgo en la dirección de proyectos de aprovechamiento de recursos eólicos, Ferrol marzo 2006
  16. Lecuona Neumann, A. (2002). La energía eólica: principios básicos y tecnología. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
  17. López Tolosa, A., Climatología y meteorología en el ordenamiento eólico de la Comunidad Autónoma de Galicia, Estudio promovido por la Xunta de Galicia y coordinado por la empresa “Gestión Energética de Galicia, S.A.”, Tomo I, Análisis y Planificación Ambiental (APASA), Madrid, 1995,
  18. Martín Morillas, F. Evaluación de recursos eólicos, Curso sobre Principios de la Conversión de la Energía Eólica, Instituto de Estudios de la Energía, Madrid, 1993.
  19. Material Didáctico y Apuntes en Clase Energías Alternativas 2012, Escuela Politécnica Nacional
  20. Medina, M., Iniciación a la meteorología, Editorial Paraninfo, Madrid, 1994
  21. Moreno, C. (2011). Energía Eólica Tecnología y Aplicaciones. La Habana, Cuba. Editorial Academia.
  22. Moreno, C. *et al.* (2007). Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica. La Habana: CUBASOLAR.
  23. Perales, T. (2009). Guía del instalador de energías renovables. (Cuarta edición). Barcelona, España. Creaciones Copyright.
  24. Ranaboldo, M. (2009). Evaluación del recurso eólico a escala micro. Aplicación a proyectos de electrificación rural, Máster en Energía, Universidad de Barcelona, Barcelona.
  25. Sureda, V. y San Gil, J.A., La atmósfera y la predicción del tiempo, Salvat Editores, Barcelona, 1975,

26. Villar, P. (2003). Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural, Tesis Doctoral, Universidad de Politécnica de Madrid, España.
27. Zubiatur Ruiz, R., Recursos eólicos, Curso sobre Producción de Electricidad con Energías Renovables, Instituto de Estudios de la Energía, Madrid, 1993.

## **Definición de términos**

Panel fotovoltaico

Están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos.

Aerogenerador

Aeroturbina en la que la energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

Anemómetro

Instrumento que se emplea para medir la velocidad del viento.

Batería

Elemento capaz de almacenar energía eléctrica transformándola en energía química, para después entregar energía eléctrica.

Calma

Es el período sin viento.

Coefficiente de potencia

Potencia del aerogenerador adimensionalizada con la energía del viento que atraviesa el rotor del aerogenerador en la unidad de tiempo.

Controlador de carga

Elemento que controla el estado de carga de las baterías.

Curva de potencia

Potencia suministrada por el aerogenerador en función de la velocidad del viento.

Densidad de Potencia

Medida de la fortaleza del recurso eólico en watt por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La cantidad de potencia por unidad de área de la corriente de aire.

Densidad del aire

Masa de aire referida a su volumen. La densidad de aire a nivel del mar es  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , esta disminuye con el incremento de la altura y la temperatura.

Diámetro del rotor

En los generadores eólicos de eje horizontal el diámetro del círculo barrido por el rotor perpendicular al eje de rotación del rotor.

Dirección predominante

Dirección del viento que se registra con mayor frecuencia.

Eficiencia

Cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada.

Estructura soporte

Parte de la turbina eólica compuesta por la torre de soporte y los elementos de sujeción y cimentación.

Inflación de la energía

Aumento de los costos de energía en relación a la moneda nacional durante un período de análisis.

Intensidad de turbulencia

Relación entre la desviación estándar de la velocidad del viento con la velocidad media tomada sobre un mismo periodo de tiempo.

Inversor

Equipo electrónico capaz de transformar corriente continua en corriente alterna.

kTEP

Equivale a la cantidad de energía obtenida por la combustión de 1 tonelada de petróleo.

**Límite de Betz**

El valor máximo de la potencia del viento que se puede extraer con un aerogenerador teóricamente es aproximadamente un 59.3 %.

Longitud de rugosidad

Altura extrapolada a la cual la velocidad del viento se anula en su perfil vertical.

Mapa eólico

Mapa donde aparecen distintos datos de interés eólico como velocidades medias de viento, direcciones predominantes, densidad de potencia, etc.

Perfil vertical del viento

Variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo.

Potencia eólica disponible

Es la capacidad del viento para producir trabajo en unidad de tiempo.

Probabilidad de Weibull

Función de probabilidad utilizada a menudo para describir la distribución de velocidad del viento, cuya función de distribución depende de dos parámetros, el parámetro de forma, que determina la anchura de la distribución, y el parámetro de escala, que determina la velocidad media del viento de la distribución.

Ráfaga

Variación brusca de la velocidad del viento que se caracteriza por su duración, amplitud y forma.

Radiación Solar

Cantidad de energía procedente del sol que recibe una superficie en un determinado tiempo.

Registrador de datos

Instrumento electrónico que registra y almacena los datos de las mediciones del viento.

Rendimiento

Es la relación entre la energía útil que se realiza en un determinado tiempo y la energía total entregada en ese intervalo.

Reemplazo

Costo de remplazo de los elementos de una instalación.

Rosa de vientos

Distribución de la velocidad del viento en un diagrama polar.

Rugosidad

Es la falta de lisura de la superficie terrestre debida a la topografía, vegetación y el medio ambiente. Esta perturba el flujo de viento dentro de la capa límite.

Sistema autónomo o aislado

Sistema fotovoltaico, eólico o mixto que trabaja sin otra fuente de energía y no está conectado a la red eléctrica local, requiere varios elementos para su funcionamiento.

Tasa de descuento

Es un parámetro financiero usado para determinar el valor actual de un pago a futuro.

Valor actual neto

Método de análisis económico que permita calcular el valor presente de una inversión a través de un determinado número de flujos de caja a futuro.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

Especificaciones de precisión del medidor de potencia PCE-UT232.



- Temperatura Operativa: 23°C ± 5°C
- Humedad Operativa: 45 ~ 75 % Humedad Relativa.
- Voltaje AC

Range	Resolution	Accuracy	Allowable Maximum overload protection voltage	Input Impedance
15V	0.1V	±(1.2%+5)	600 RMS	10MΩ
100V				
300V				
600V				

Donde: Range – Rango, Resolution – Resolución, Accuracy – Precisión, Allowable Maximum overload protection Voltage – Sobrecarga máxima permitida e Input Impedance – Impedancia de Entrada.

- Frecuencia

Range	Resolution	Accuracy
20Hz~500Hz	1Hz	±(0.5%+5)

- Corriente AC

Range	Resolution	Accuracy	Allowable Maximum overload protection current
40A	0.1A	±(2%+5)	1000A RMS
100A			
400A			
1000A	1A		

- Potencia Activa

Current / Voltage		Voltages Range			
		15V	100V	300V	600V
Current Range	40A	0.60kW	4.00kW	12.00kW	24.00kW
	100A	1.50kW	10.00kW	30.00kW	60.00kW
	400A	6.00kW	40.00kW	120.0kW	240.0kW
	1000A	15.00kW	100.0kW	300.0kW	600.0kW
Accuracy		±(3%+5)			
Resolution		<1000kW: 0.01kW ≥100kW: 0.1kW			

- Potencia Aparente

Current / Voltage		Voltages Range			
		15V	100V	300V	600V
Current Range	40A	0.60kVA	4.00kVA	12.00kVA	24.00kVA
	100A	1.50kVA	10.00kVA	30.00kVA	60.00kVA
	400A	6.00kVA	40.00kVA	120.0kVA	240.0kVA
	1000A	15.00kVA	100.0kVA	300.0kVA	600.0kVA
Accuracy		± (3%+5)			
Resolution		<1000kVA: 0.01kVA ≥ 100kVA: 0.1kVA			

•Potencia Reactiva

Current / Voltage		Voltages Range			
		15V	100V	300V	600V
Current Range	40A	0.60kVar	4.00kVar	12.00kVar	24.00kVar
	100A	1.50kVar	10.00kVar	30.00kVar	60.00kVar
	400A	6.00kVar	40.00kVar	120.0kVar	240.0kVar
	1000A	15.00kVar	100.0kVar	300.0kVar	600.0kVar
Accuracy		15V/1000A Range: ± (4%+10)    Other Ranges: ± (4%+5)			
Resolution		<1000kVar: 0.01kVar ≥100kVar: 0.1kVar			

•Factor de Potencia

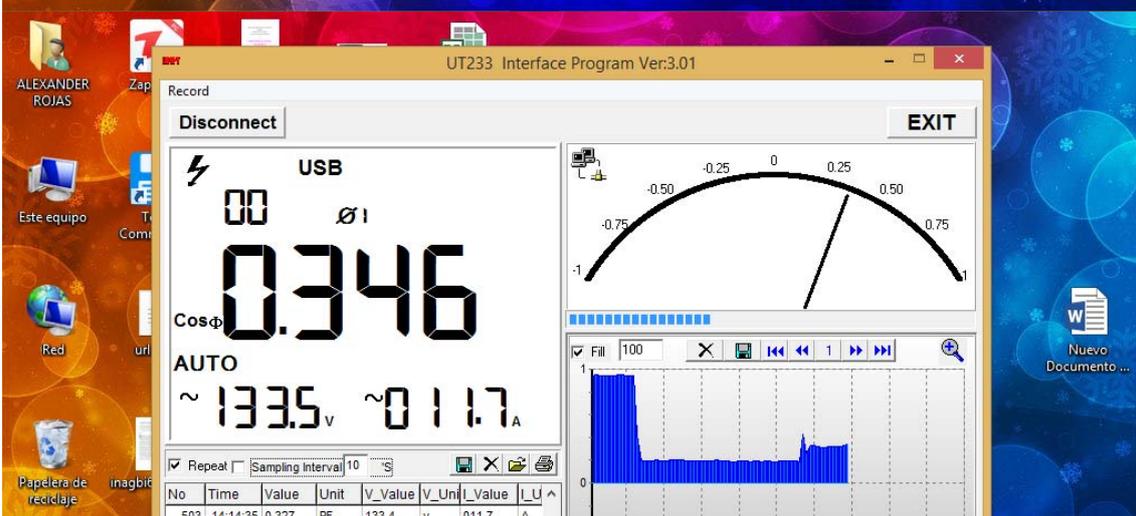
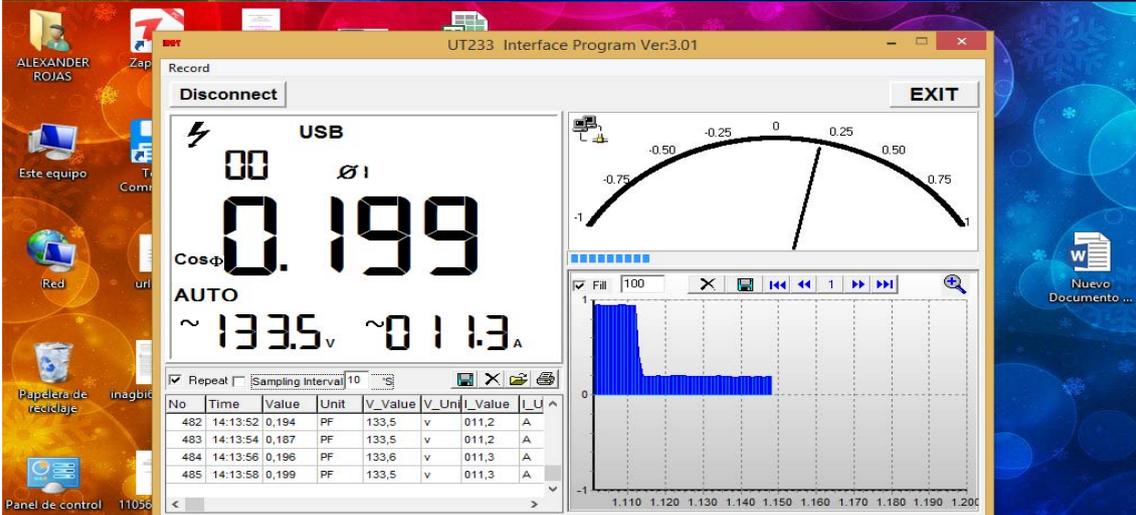
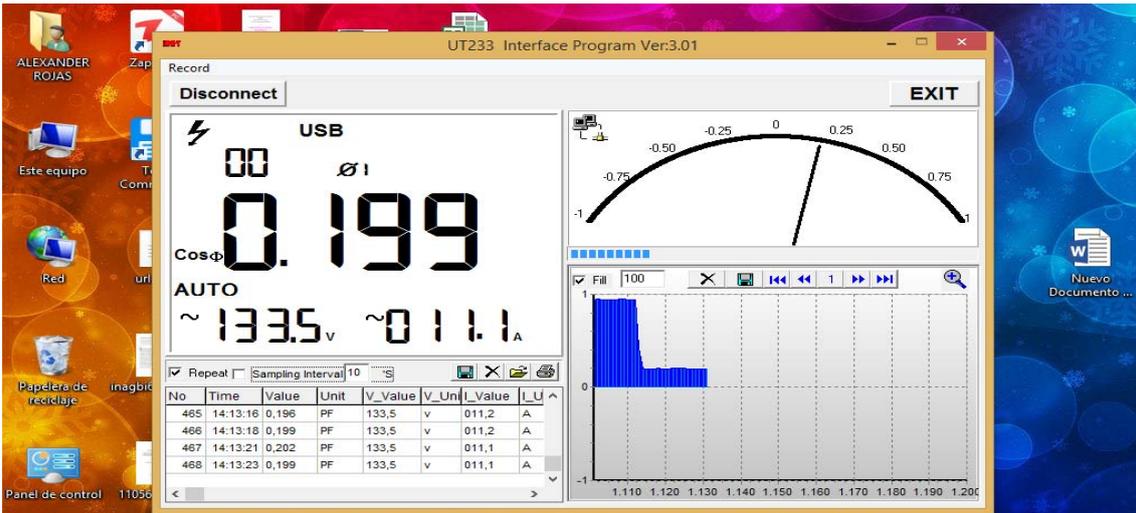
Range	Accuracy	Resolution	Measuring Condition
0.3~1 (capacitive or inductive)	± 0.022	0.001	The minimum measuring current 10A The minimum measuring voltage 45V
0.3~1 (capacitive or inductive)	For reference only		Measuring current less than 10A OR Measuring voltage less than 45V

## Anexo 2

### Registro de mediciones de parámetros eléctricos

No	Time	Value	Unit	V_Value	V_Unit	I_Value	I_Unit	V_Value	V_Unit
1	18:00	0,65	kW	94,1	V	10,9	A	133,7	V
2	18:05	0,42	kW	104,2	V	11,5	A	133,6	V
3	18:10	0,49	kW	100,3	V	11,9	A	133,7	V
4	18:15	0,52	kW	92,3	V	11,8	A	133,5	V
5	18:20	0,65	kW	101,1	V	11	A	133,5	V
6	18:25	0,65	kW	82,2	V	11	A	133,6	V
7	18:30	0,63	kW	46,3	V	11,4	A	133,6	V
8	18:35	1,51	kW	46,3	V	10,9	A	133,5	V
9	18:40	3,23	kW	105,2	V	11	A	133,5	V
10	18:45	1,08	kW	115,3	V	11	A	133,5	V
11	18:50	1,17	kW	115,2	V	11,8	A	133,6	V
12	18:55	1,18	kW	85,3	V	11,8	A	133,6	V
13	19:00	1,06	kW	88,3	V	10,9	A	133,5	V
14	19:05	1,06	kW	88,3	V	10,9	A	133,5	V
15	19:10	1,07	kW	91,3	V	11	A	133,5	V
16	19:15	1,17	kW	92,3	V	11,7	A	133,6	V
17	19:20	1,16	kW	91,2	V	11,7	A	133,6	V
18	19:25	1,07	kW	100,3	V	11	A	133,7	V
19	19:30	1,06	kW	91,3	V	10,9	A	133,6	V
20	19:35	1,07	kW	89,3	V	10,9	A	133,7	V
21	19:40	1,17	kW	88,3	V	11,8	A	133,5	V
22	19:45	1,16	kW	105,3	V	11,7	A	133,5	V
23	19:50	1,06	kW	87,3	V	10,9	A	133,6	V
24	19:55	1,06	kW	87,3	V	10,8	A	133,6	V
25	20:00	1,07	kW	92,3	V	10,9	A	133,5	V
26	20:05	1,16	kW	78,2	V	11,7	A	133,5	V
27	20:10	1,17	kW	79,3	V	11,8	A	133,5	V
28	20:15	1,06	kW	81,3	V	10,9	A	133,6	V
29	20:20	1,07	kW	85,3	V	10,9	A	133,6	V
30	20:25	1,06	kW	89,3	V	10,9	A	133,5	V
31	20:30	1,18	kW	91,2	V	11,9	A	133,5	V
32	20:35	1,16	kW	91,2	V	11,8	A	133,5	V
33	20:40	1,06	kW	100,3	V	10,8	A	133,6	V
34	20:45	1,06	kW	91,3	V	10,8	A	133,6	V
35	20:50	1,06	kW	93,2	V	10,8	A	133,7	V
36	20:55	1,16	kW	95,2	V	11,7	A	133,6	V
37	21:00	1,16	kW	85,2	V	11,7	A	133,7	V
38	21:05	1,1	kW	87,2	V	11,7	A	133,5	V
39	21:10	1,07	kW	100,3	V	10,9	A	133,5	V

40	21:15	1,05	kW	117,3	V	10,9	A	133,6	V
41	21:20	1,15	kW	119,2	V	11,7	A	133,6	V
42	21:25	1,15	kW	105,2	V	11,6	A	133,5	V
43	21:30	1,05	kW	107,3	V	11,1	A	133,5	V
44	21:35	1,05	kW	101,3	V	10,7	A	133,5	V
45	21:40	1,05	kW	100,3	V	10,7	A	133,6	V
46	21:45	1,15	kW	99,3	V	11,6	A	133,6	V
47	21:50	1,15	kW	99,2	V	11,6	A	133,5	V
48	21:55	1,1	kW	98,2	V	11,6	A	133,5	V



### Anexo 3. Muestra de base de datos de mediciones de viento.

Velocidad 10 m [m/s]	Velocidad 15 m [m/s]	Air Density [kg/m <sup>3</sup> ]	15 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]	10 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]
3.077	3.33	0.84073	15.6	12.3
3.29	3.561	0.84073	19.2	15.1
3.558	3.85	0.84073	24	18.9
3.524	3.814	0.84073	23.4	18.4
3.514	3.803	0.84073	23.1	18.3
3.616	3.914	0.84073	25.3	19.9
3.513	3.802	0.84073	23.3	18.3
4.771	5.164	0.84073	58.3	46
5.532	5.987	0.84073	90.7	71.6
5.702	6.172	0.84073	100.4	79.2
5.976	6.468	0.84073	113.8	89.8
6.756	7.312	0.84073	164.7	129.9
6.834	7.397	0.84073	170.1	134.2
6.797	7.356	0.84073	167.4	132
6.87	7.435	0.84073	172.9	136.4
6.293	6.811	0.84073	134	105.7
5.784	6.26	0.84073	103.2	81.4
5.126	5.548	0.84073	74.1	58.4
4.917	5.322	0.84073	64	50.5
4.907	5.311	0.84073	65.3	51.5
4.767	5.159	0.84073	57.8	45.6
4.951	5.359	0.84073	64.7	51
4.941	5.348	0.84073	64.3	50.7
5.234	5.665	0.84073	76.5	60.4
5.501	5.954	0.84073	88.9	70.1
5.4	5.845	0.84073	83.9	66.2
5.224	5.654	0.84073	76.1	60
5.824	6.303	0.84073	105.4	83.1
5.583	6.042	0.84073	92.7	73.2
4.64	5.022	0.84073	55.7	43.9
4.588	4.966	0.84073	52.8	41.6
5.027	5.441	0.84073	68.7	54.2
5.847	6.329	0.84073	108.5	85.6
6.701	7.253	0.84073	160.4	126.5
7.034	7.613	0.84073	185.7	146.5
7.435	8.047	0.84073	219.8	173.4
7.514	8.132	0.84073	226.6	178.8
7.243	7.84	0.84073	202.8	159.9
7.069	7.651	0.84073	188.5	148.6
6.671	7.22	0.84073	159.3	125.6
5.779	6.255	0.84073	103.5	81.6
5.599	6.06	0.84073	93.6	73.9
4.423	4.787	0.84073	46.2	36.4
4.103	4.441	0.84073	37	29.2
4.108	4.446	0.84073	37.3	29.4
4.491	4.861	0.84073	48.4	38.2
4.44	4.805	0.84073	46.9	37
4.427	4.791	0.84073	46.4	36.6
4.307	4.662	0.84073	42.6	33.6
4.273	4.625	0.84073	41.7	32.9
4.365	4.724	0.84073	44.4	35
4.6	4.978	0.84073	53.8	42.5
4.253	4.603	0.84073	41.1	32.4
4.529	4.902	0.84073	50.9	40.1
4.874	5.276	0.84073	62.7	49.5
5.093	5.512	0.84073	70.5	55.6
5.839	6.319	0.84073	108.4	85.5
6.794	7.353	0.84073	167.3	131.9
7.228	7.823	0.84073	201.5	158.9
7.09	7.674	0.84073	190.4	150.2
7.268	7.866	0.84073	204.8	161.5
7.053	7.633	0.84073	187	147.5

6.914	7.483	0.84073	176.2	139
6.44	6.97	0.84073	142.6	112.5
5.687	6.155	0.84073	99.8	78.7
5.462	5.911	0.84073	88.5	69.8
4.954	5.361	0.84073	64.9	51.2
4.867	5.268	0.84073	61.5	48.5
5.281	5.716	0.84073	78.7	62.1
5.595	6.055	0.84073	93.4	73.7
6.039	6.536	0.84073	120.1	94.7
6.32	6.84	0.84073	135.2	106.7
6.041	6.538	0.84073	117.5	92.7
5.688	6.156	0.84073	98.4	77.6
5.272	5.706	0.84073	78.2	61.7
5.556	6.014	0.84073	91.5	72.2
5.585	6.045	0.84073	92.9	73.3
5.901	6.386	0.84073	111.2	87.7
6.23	6.742	0.84073	128.9	101.7
6.225	6.738	0.84073	128.8	101.6
6.789	7.347	0.84073	167.1	131.8

#### Anexo 4. Muestra base de datos Insolación global mensual

Fecha	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
01/04/2019	0	0	0	0	0	0	0,1	91,1	350	744	586,2	783,6	1031,2	1095,5	526,2	907	579	260	24,9	0	0	0	0	
02/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	138	456	724	396,9	1040,3	1102,8	1058,1	900	736	557	260	21,9	0	0	0	0	
03/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	113	350	193	670,2	943,6	241,2	1167,8	937,5	620	573	273	18,9	0	0	0	0	
04/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	133	166	331	852,2	1210,7	1116,9	548,3	1121,9	968	598	322	25,6	0	0	0	0	
05/04/2019	0	0	0	0	0	0	7,8	125	304	637	799,6	904,9	983,4	564,8	615,1	429	258	142	23,7	0	0	0	0	
06/04/2019	0	0	0	0	0	0	5,3	73,9	462	160	580,1	432,5	582	706,4	447,1	540	650	269	29,2	0	0	0	0	
07/04/2019	0	0	0	0	0	0	7,8	142	195	716	998	271,3	277,4	728,5	1019,6	798	573	350	29,2	0	0	0	0	
08/04/2019	0	0	0	0	0	0	6,5	147	486	755	425,1	565,4	401,8	1069,8	890,3	736	562	562	21,2	0	0	0	0	
09/04/2019	0	0	0	0	0	0	10,2	104	188	720	917,2	1055,7	1059,9	364,5	493,1	562	323	142	34,7	0	0	0	0	
10/04/2019	0	0	0	0	0	0	12	151	404	136	395,7	1007,9	91,7	433	336,1	181	98,5	134	24,9	0	0	0	0	
11/04/2019	0	0	0	0	0	0	6	53,8	311	262	211,9	356,4	409,2	398,2	195,9	358	270	262	29,2	0	0	0	0	
12/04/2019	0	0	0	0	0	0	11,5	145	328	834	943,6	1165,4	1170,2	1036,7	875,5	720	539	116	20,1	0	0	0	0	
13/04/2019	0	0	0	0	0	0	12,2	159	205	191	948,4	1161,7	1181,9	1036,7	885,9	725	561	274	34,7	5,3	0	0	0	
14/04/2019	0	0	0	0	0	0	11,5	150	487	812	274,9	1180,7	408,5	1004,8	874,3	728	73,9	21,2	11,5	0	0	0	0	
15/04/2019	0	0	0	0	0	0	13,3	177	414	720	862	1031,2	230,8	614,4	962,5	792	238	100	27,4	0	0	0	0	
16/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	151	181	291	890,3	1030,6	1084,5	1013,4	891,4	732	568	270	21,2	0	0	0	0	
17/04/2019	0	0	0	0	0	0	14,5	154	160	768	918,5	420,8	1069,1	1044,7	892,1	725	560	283	29,2	0	0	0	0	
18/04/2019	0	0	0	0	0	0	13,3	159	465	755	932,6	731,5	1099,8	1011	875,5	713	553	259	28,6	0	0	0	0	
19/04/2019	0	0	0	0	0	0	13,9	151	437	728	897,6	862	1136,5	1083,9	897,6	702	160	54,9	43,3	5,3	0	0	0	
20/04/2019	0	0	0	0	0	0	20,6	151	421	706	224,7	418,4	545,8	309,2	581,4	504	110	60,4	9,6	0	0	0	0	
21/04/2019	0	0	0	0	0	0	21,9	168	224	846	812,4	0	0	0	0	478	149	94,7	27,3	0	0	0	0	
22/04/2019	0	0	0	0	0	0	0	41,5	210	405	881,7	995,6	1049,5	987,7	872,5	706	456	315	37,2	0	0	0	0	
23/04/2019	0	0	0	0	0	0	11,5	183	330	776	838,8	985,9	1029,9	985,2	890,3	728	564	280	0	0	0	0	0	
24/04/2019	0	0	0	0	0	0	23,7	159	611	785	923,3	340,9	105,3	1026,2	876,7	720	563	268	21,9	0	0	0	0	



## Anexo 5. Presupuesto extensión de red eléctrica.

<b>Anexo I</b>		<b>CERTIFICACION DE MATERIALES</b>			
<b>Ref. Contrato:</b>		<b>MONEDA NACIONAL</b>			
<b>NOMBRE:</b> E.T BARRIO EL NENGON ( MOA )				<b>FECHA</b>	
<b>PREL:</b> 175158		<b>INVERSIONISTA:</b> MINEM		18/07/2018	
		<b>OBE:</b> MOA		<b>AÑO PLAN:</b> 2018	
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IMPORTE</b>
674.1.03.9005.02	AISLADOR DE POLEA 600V	U	14,00	\$0,50	\$7,00
372.9.20.5200.44	AISLADOR PARA CABLE TENSOR	U	30,00	\$1,62	\$48,60
369.8.03.5160.66	AISLADOR POLIMERO PEDESTAL 33KV	U	26,00	\$24,65	\$640,90
674.1.99.7023.02	AISLADOR SUSP POLIMERO 34.5 KV	U	18,00	\$18,72	\$336,96
674.4.12.9243.00	ARANDELA 4 X 4"	U	30,00	\$1,18	\$35,40
854.4.11.0028.72	CABLE ACOMETIDA 2 X 8 ALUMINIO	MTS	1625,00	\$0,65	\$1.056,25
777.7.77.7777.77	CABLE AL AAAC 78.75 MM2 (AWG # 2/0)	KG	420,00	\$3,92	\$1.646,40
676.1.21.9004.00	CABLE DESN. DURO CU # 4 AWG	KG	74,00	\$11,85	\$876,90
678.7.87.8977.76	CABLE TENSOR AC 8.4 MM CONST 1X7, GALV.	KG	180,00	\$2,93	\$527,40
676.3.17.1521.00	CABLE THW CU 0.6/1 KV # 2/0	MTS	15,00	\$1,93	\$28,95
463.4.04.9040.92	CABLE TRENZADO (2 X 95)+1 X 50 (CHINO) 0.6/1 K	MTS	1962,00	\$3,80	\$7.455,60
676.2.52.9218.10	CARTUCHO AZUL AMPACT	U	15,00	\$1,18	\$17,70
853.5.90.1473.98	CONECTOR D 16/952/12-2AWG CON SIMPLE PERN	U	195,00	\$1,35	\$263,25
853.5.90.1473.99	CONECTOR D 16-95 2/4-4/0AWG CON SIMPLE PER	U	90,00	\$1,82	\$163,80
674.4.24.4012.99	CONECTOR PT 40 D/CCUÑA ALEACIÓN AL TIPO 3	U	15,00	\$3,06	\$45,90
674.4.07.9202.00	CRUCETA HG 4"	U	3,00	\$32,57	\$97,71
799.4.99.9312.12	CUCHILLA 1F EXTERIOR DE 36 KV 400 AMP.	U	1,00	\$128,70	\$128,70
853.6.50.1020.10	DESCONEC. PROTEC. BAJO VOLT, 32 A. P/ VIVIEN	U	65,00	\$0,72	\$46,80
681.1.03.9382.01	DROP- OUT 34.5 KV C-31	U	3,00	\$41,84	\$125,52
674.4.10.1003.00	ESLABON GRILLETE 12 TON.	U	15,00	\$2,05	\$30,75
799.4.99.0002.01	GABINETE PLASTICO 370X185X162 MM (SW-1)	U	65,00	\$27,16	\$1.765,40
674.4.09.7041.01	GRAMPA P/CONEXION EN CALIENTE	U	3,00	\$12,95	\$38,85
799.4.99.9101.00	GRAMPA PREFORMADA PARA CABLE DE ACERO	U	122,00	\$2,20	\$268,40
744.1.00.4400.10	GRAMPA SUSP GS-1 (35-70) MM2	U	4,00	\$4,24	\$16,96
313.3.47.1023.00	GUARDACABO HG 5/8	U	62,00	\$0,66	\$40,92
853.5.90.1478.85	KIT DE RETENCIÓN P/LAP DE BT KR03	U	14,00	\$13,42	\$187,88
853.5.90.1478.66	KIT DE RETENCIÓN P/LAP. DE B T KR04	U	17,00	\$11,38	\$193,46
853.5.90.0392.21	KIT DE SUSPENSION P/LAP. DE B T KS01	U	24,00	\$5,54	\$132,96
788.1.75.1133.00	M/C ELECTRONICO 127 VOLT 10/40 AMP	U	65,00	\$18,35	\$1.192,75
853.5.90.1473.11	MENSULA OJAL DE ACOMETIDA P-FACHADA (RP	U	65,00	\$0,73	\$47,45
853.5.90.1473.33	MENSULA OJAL DE ACOMETIDAD P/POSTE (RPG)	U	65,00	\$0,58	\$37,70
799.4.99.1016.01	MUERTO HORMIGON PARA ANCLA 0.90 MTS	U	30,00	\$27,49	\$824,70
972.3.30.1030.00	PARARRAYO DE 34.5 KV, POLIMERICO	U	3,00	\$90,14	\$270,42
674.4.12.0145.02	PERCHA DE 1 VIA CON PASADOR	U	14,00	\$3,37	\$47,14
853.5.90.0000.00	PINZAS PLASTICAS P/RETENCIÓN DE ACOMETID	U	130,00	\$0,71	\$92,30
799.4.99.1016.00	POSTE DE HORMIGON 10.70 MTS H-35	U	32,00	\$492,31	\$15.753,92
799.4.99.1016.20	POSTE DE HORMIGON 9.15 H	U	33,00	\$262,01	\$8.646,33
853.5.90.1473.88	PRECINTO PLASTICO INTEMPERIE 350 PP 350 (SLC	U	543,00	\$0,11	\$59,73
853.5.90.1473.96	PROTECTOR PARA PUNTA DE CABLE 50 PC (CEC-	U	14,00	\$0,15	\$2,10
853.5.90.1473.33	PROTECTOR PARA PUNTA DE CABLE 95 PC (CEC-	U	28,00	\$0,25	\$7,00
674.4.99.9286.00	SOPORTE PUNTA POSTE	U	27,00	\$7,72	\$208,44
674.4.12.9223.00	TIRANTE PLANO DE 28"	U	3,00	\$3,99	\$11,97
303.1.02.0101.02	TORNILLO DE MAQ. 1/2" X 1 1/2" GALV.	U	3,00	\$0,60	\$1,80
303.1.02.0106.00	TORNILLO DE MAQ. 1/2" X 12" GALVANIZADO	U	29,00	\$1,11	\$32,19
303.1.02.0306.00	TORNILLO DE MAQ. 5/8" X 12" GALV. C/ARAND	U	71,00	\$4,03	\$286,13
303.1.02.0307.00	TORNILLO DE MAQ. 5/8" X 14" GALVANIZAD	U	6,00	\$1,44	\$8,64
303.1.02.0308.00	TORNILLO DE MAQ. 5/8" X 16" GALVANIZAD	U	11,00	\$2,27	\$24,97
303.1.03.0306.00	TORNILLO DE OJO. 5/8" X 12" GALVANIZAD	U	77,00	\$3,23	\$248,71
303.1.03.0307.01	TORNILLO DE OJO. 5/8" X 16" GALVANIZAD	U	11,00	\$5,41	\$59,51
303.1.03.0307.01	TORNILLO DE OJO. 5/8" X 16" GALVANIZAD	U	11,00	\$5,41	\$59,51
672.7.01.0010.05	TRANSF. 1F 10 KVA 19100-120/240 V	U	1,00	\$1.599,96	\$1.599,96
672.7.01.1025.28	TRANSF. 1F 25 KVA 19100/120-240 V	U	2,00	\$1.496,00	\$2.992,00
674.4.02.9101.00	VARILLA DE ANCLA 5/8"X 9'	U	30,00	\$18,00	\$540,00
674.4.02.9207.00	VARILLA DE TIERRA CON SU CONECTOR 5/8 X 6	U	23,00	\$20,35	\$468,05
<b>Total:</b>				<b>\$49.689,23</b>	