

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

"Rediseño del Sistema de Gestión Energético de la Comunidad Cerrito de los Morreños"

TRABAJO FINAL DE GRADUACION

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Armando Patricio Neira Castillo

Andrés Stalin Benítez Pazmiño

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

Primero y como más importante nos gustaría agradecer a nuestro director de Tesis, Ing. Juan Peralta PhD, su esfuerzo, dedicación, conocimientos y orientaciones que han sido fundamentales para la realización de este proyecto.

A Don Genaro Vera Lino, Dirigente de la comunidad Cerrito de los Morreños por su hospitalidad.

DEDICATORIA

Especialmente a mi familia, mis abuelos Mabel, Armando, Francisca y Amadeo, mis padres Pato y Bonnie, mis Hermanos Mabel y Mateo por su apoyo, consejos, amor y comprensión.

A mis amigos por el apoyo que siempre me brindaron en el transcurso de mi carrera universitaria.

Armando P. Neira Castillo

Dedico esta tesis a mi abuelo don Benito Benítez hombre muy sabio quien fue de gran inspiración durante mi niñez.

A mis padres por el apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanos que gracias a su ejemplo tengo muy claras mis metas de vida.

A mí enamorada Blanquita por todo su apoyo y comprensión durante todo este tiempo.

Andrés S. Benítez Pazmiño

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Armando Neira Castillo

Andrés Benítez Pazmiño

PhD. Juan Peralta Jaramillo

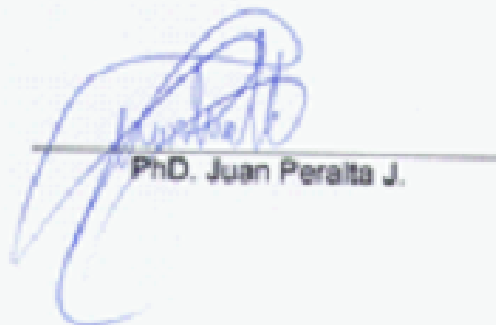
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Armando Neira C.



Andrés Benítez P.



PhD. Juan Peralta J.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el rediseño del sistema de gestión energético de la comunidad Cerrito de los Morreños, en el cual se planteará una solución a los problemas que vive esta comunidad en lo que respecta a los paneles fotovoltaicos instalados en cada vivienda.

Los sistemas autónomos de energía fueron instalados en el año 2010 con el fin de resolver el problema energético de esta comunidad que está ubicada en una isla del golfo de Guayaquil alejada de la ciudad por lo que el tendido eléctrico no es una solución viable. En la actualidad los sistemas en una amplia mayoría no prestan servicio o presentan serios problemas de generación en perjuicio a la Comunidad. Por lo expuesto anteriormente, se realizó un análisis en base a encuestas socio energético en donde se define la situación actual de los sistemas autónomos de energía enfocándose en los problemas existentes en los paneles fotovoltaicos ya instalados.

Finalmente se plantean soluciones viables para resolver todos los problemas previamente encontrados en esta comunidad en donde se desarrolla un plan de sostenibilidad para que estos problema no sucedan en un futuro y asegurando que los sistemas autónomos de energía trabajaran a un 100 % de su capacidad.

Palabras claves: *Paneles Fotovoltaicos, Sistemas Autónomos de Energía, Plan de sostenibilidad.*

ABSTRACT

This project involves the redesign of the energy management system of community Cerrito de los Morreños, which will raise a solution to the problems facing this community with regard to photovoltaic panels installed in each dwelling.

The standby power systems were installed in 2010 in order to solve the energy problem of this community is located on an island in the Gulf of Guayaquil away from the city so that the power line is not a viable solution. At present the systems in a large majority do not serve or have serious problems from generation prejudice to the Community. By the above, an analysis where energy partner surveys the current situation of autonomous energy systems focusing on the problems in installed photovoltaic panels and defined was conducted based.

Finally viable solutions to solve all the problems previously found in this community where we develop a sustainability plan so that these problems do not happen in the future and ensuring autonomous energy systems work at 100% capacity.

Keywords: *Photovoltaic panels, standby power systems, sustainability Plan.*

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|----------|
| RESUMEN..... | I |
| ÍNDICE GENERAL..... | III |
| ABREVIATURAS..... | V |
| SIMBOLOGIA..... | VI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | VIII |
| | |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Descripción del problema..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 2 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 2 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 2 |
| 1.3. Marco Teórico..... | 2 |
| 1.3.1 Sistemas Fotovoltaicos..... | 2 |
| 1.3.1.1 Generalidades..... | 2 |
| 1.3.1.2 Clasificación Sistemas Fotovoltaicos (SFV)..... | 3 |
| 1.3.1.2.1 Aislados (SFVA)..... | 3 |
| 1.3.1.2.2 Híbridos..... | 4 |
| 1.3.1.3 Componentes..... | 4 |
| 1.3.1.3.1 Módulos Fotovoltaicos..... | 4 |
| 1.3.1.3.2 Baterías..... | 4 |
| 1.3.1.3.3 Inversor..... | 5 |
| 1.3.1.3.4 Regulador..... | 5 |
| 1.3.1.3.5 Estructura de Soporte..... | 5 |
| 1.3.2 Consideraciones Técnicas para Sistemas Fotovoltaico Aislado..... | 5 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. REDISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO..... | 7 |
| 2.1 Descripción Situación Actual..... | 7 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.1.1 | Diseño de la Encuesta..... | 7 |
| 2.1.2 | Resultados de la Encuesta..... | 8 |
| 2.1.2.1 | Problemas por Mala Instalación..... | 10 |
| 2.1.2.1.1 | Orientación..... | 10 |
| 2.1.2.1.2 | Obstrucción del Campo de Captación..... | 11 |
| 2.1.2.2 | Problemas por mal mantenimiento..... | 12 |
| 2.1.2.2.1 | Suciedad de los paneles fotovoltaicos..... | 12 |
| 2.2 | Alternativas de Diseño..... | 14 |
| 2.2.1 | Alternativas del Rediseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado..... | 17 |
| 2.3 | Cálculos del Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado..... | 20 |
| 2.3.1 | Determinación del Consumo de los Aparatos Eléctricos..... | 20 |
| 2.3.2 | Cálculo del Ángulo de Inclinación Óptimo del Panel Fotovoltaico..... | 22 |
| 2.3.3 | Cálculo de energía generada por el sistema de captación solar..... | 27 |
| 2.2.4 | Dimensionamiento de las Baterías..... | 30 |

CAPÍTULO 3

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3. | RESULTADOS DEL REDISEÑO..... | 32 |
| 3.1 | Orientación e Inclinación..... | 33 |
| 3.2 | Plan de Sostenibilidad..... | 35 |
| 3.2.1 | Vida Útil de los Componente..... | 36 |
| 3.2.2 | Mantenimiento de los Sistemas..... | 37 |
| 3.3 | Costos de inversión y mantenimiento durante toda la vida útil..... | 39 |
| 3.4 | Inversión necesaria para dejar operativo los sistemas autónomos de energía.. | 41 |

CAPÍTULO 4

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.- | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 43 |
| 4.1 | Conclusiones..... | 43 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 43 |

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral. |
| FERUM | Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal. |
| FV | Fotovoltaico. |
| SFV | Sistema Fotovoltaico. |
| SFVA | Sistema Fotovoltaico Aislado. |
| SFVAR | Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial. |
| SFVAC | Sistema Fotovoltaico Aislado Comunitario. |
| SFVAE | Sistema Fotovoltaico Aislado Uso Especial. |
| SFVAM | Sistema Fotovoltaico Aislado Micro Red. |
| SFVH | Sistema Fotovoltaico Híbrido. |
| INOCAR | Instituto Oceanográfico de la Armada. |
| DC | Corriente Directa. |
| AC | Corriente Alterna. |
| CD | Consumo Diario. |
| HSP | Hora Solar Pico. |
| NEC | Norma Ecuatoriana de Construcción. |

SIMBOLOGIA

| | |
|----------------|--------------------|
| Wh | Watt Hora. |
| kWh | Kilo Watt Hora. |
| m ² | Metro Cuadrado. |
| α | Ángulo Cenital. |
| δ | Declinación Solar. |
| L | Latitud. |
| ω | Ángulo Horario. |
| W _p | Watt Pico. |
| P _r | Pérdidas. |
| Ah | Amperio Hora. |
| Kg | Kilogramo. |
| MJ | Mega Joule. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1 | Esquema de un SFV aislado | 3 |
| Figura 2.1 | Encuesta | 7 |
| Figura 2.2 | Realizando Encuesta comunidad Cerritos de los Morreños | 8 |
| Figura 2.3 | Número de sistemas de paneles fotovoltaicos | 9 |
| Figura 2.4 | Número de sistemas que funcionan | 10 |
| Figura 2.5 | Distribución S.A.E. según su orientación | 11 |
| Figura 2.6 | Número de Paneles Obstruidos. | 12 |
| Figura 2.7 | Panel fotovoltaico Obstruido | 12 |
| Figura 2.8 | Panel sucio | 13 |
| Figura 2.9 | Número de paneles sucios. | 14 |
| Figura 2.10 | Velocidad promedio del aire por 24 horas. | 15 |
| Figura 2.11 | Sistema Fotovoltaico Aislado Residencial | 18 |
| Figura 2.12 | Sistema Fotovoltaico Aislado Hibrido | 18 |
| Figura 2.13 | Alternativas de diseño. | 19 |
| Figura 2.14 | Diagrama de la energía requerida para cumplir con el consumo diario en DC y AC | 22 |
| Figura 2.15 | Esquema del ángulo cenital. | 25 |
| Figura 2.16 | Declinación solar durante todo el año. | 26 |
| Figura 2.17 | Ángulo cenital durante todo el año | 26 |
| Figura 2.18 | Pérdidas a través del sistema Fotovoltaico. | 29 |
| Figura 2.19 | Diagrama de energía generada. | 30 |
| Figura 3.1 | Problemas identificados en la evaluación socio energética | 33 |
| Figura 3.2 | Orientación de los paneles fotovoltaicos ubicados en el hemisferio sur | 34 |
| Figura 3.3 | Paneles fotovoltaicos orientados hacia cualquier dirección. | 34 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 1.- | Número de Sistemas que funcionan | 9 |
| Tabla 2.- | Número de Paneles fotovoltaicos Obstruidos | 11 |
| Tabla 3.- | Número de Paneles sucios. | 13 |
| Tabla 4.- | Cuadro Comparativo de las alternativas de diseño | 17 |
| Tabla 5.- | Cálculo del Consumo diario de un sistema básico. | 20 |
| Tabla 6.- | Radiación Directa horizontal media mensual recibida en la zona estudiada <i>kWh/m² día</i> | 24 |
| Tabla 7.- | Radiación Difusa media mensual recibida en la zona estudiada <i>kWh/</i> <i>m² día</i> | 24 |
| Tabla 8.- | Albedo Existente en la zona estudiada. | 24 |
| Tabla 9.- | Irradiación media diaria (<i>KWh/m² día</i>) para distintas Inclinationes de una Superficie | 27 |
| Tabla 10.- | Especificaciones batería Trojan J185P-AC | 31 |
| Tabla 11.- | Resultados cálculos consumo y generación | 32 |
| Tabla 12.- | Radiación total a una inclinación de 15 ° (<i>KWhm²día</i>) | 35 |
| Tabla 13.- | Vida Útil de los componentes. | 37 |
| Tabla 14.- | Precio Unitario de cada módulo. | 39 |
| Tabla 15.- | Costo de energía a partir de generadores a diésel. | 41 |
| Tabla 16.- | Costo total de reemplazo de componente. | 41 |
| Tabla 17.- | Costo mano de obra. | 42 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema.

La energía es un sector estratégico dentro de las políticas de gestión y desarrollo del gobierno ecuatoriano, dentro de este contexto el plan nacional del buen vivir plantea transformación o migración de la actual matriz energética del Ecuador a un modelo sostenible en donde la energía hidroeléctrica constituya el 80 % y el resto provenga de energías renovables con el objetivo de minimizar la presencia de combustibles convencionales en la generación de energía, por ende ha promovido la creación de varios proyectos basados en energía renovables en donde la bioenergía, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica se presenta al momento como fuentes auxiliares que permitan completar la generación de energía eléctrica.

En el orden de las ideas anteriores hay que considerar también la demanda de energía eléctrica en zonas rurales, remotas o aisladas donde es difícil llegar con un tendido eléctrico, lo que ha generado la utilización de generadores termoeléctricos a base de diésel que proveen energía pocas horas al día con un costo implícito al usuario. Las energías renovables surgen como un mecanismo importante para subsanar la pobreza energética existente en estas zonas través de la instalación sistemas autónomos, logrando así aumentar la tasa de electrificación y fomentar el desarrollo sostenible en estas comunidades.

Un ejemplo de esta problemática se presenta en la comunidad Cerrito de los Morreños la cual se encuentra ubicada en la isla Chupadores Chico, en la parte central del golfo de Guayaquil, siendo parte de la parroquia urbana Ximena de la ciudad de Guayaquil. En donde la única forma de ingreso de personas, bienes y productos es por vía marítima encareciendo radicalmente los costos de vida en la isla. Se encuentra cerca de la desembocadura del Golfo a 2°, 28' 25" latitud sur y 79°, 54, '25" longitud oeste. El sitio donde se asienta esta comunidad está rodeada de manglar, siendo este su principal atractivo y fuente de trabajo.

Ante la situación planteada, en el año 2010 dentro de los programas de desarrollo del FERUM (Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal) se

decidió la instalación de sistemas autónomos de energía solar fotovoltaica como fuente de suministro eléctrico de la zona, permitiendo el desarrollo sostenible y mejorando de la calidad de vida de los habitantes.

No obstante en la actualidad la mayoría de estos sistemas presentan varios problemas de generación, funcionamiento y carga desde su instalación en la isla. Con referencia a lo anterior, uno de los principales motivos de esta problemática se centra en la baja o nula productividad de los sistemas de captación de energía (paneles fotovoltaicos) ya sea por un posicionamiento inadecuado o una orientación errónea de los mismos, causando un serio perjuicio a la calidad de vida de los moradores de la comunidad.

En relación a la problemática expuesta, este proyecto pretende mejorar la calidad de la vida de los miembros de la comunidad aplicando una solución energética integral basada en el desarrollo sostenible.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Optimizar el sistemas de captación de energía solar, por medio de soluciones ingenieriles que permitan que los sistemas funcionen apropiadamente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación energética actual de la zona para la determinación de los requerimientos de diseño.
- Rediseñar el sistema de la orientación y posicionamiento de los paneles solares en función de las características de la zona.
- Elaborar un plan de mantenimiento de los sistemas para que en un futuro no existan problemas que afecten a la eficiencia de generación.

1.3. Marco Teórico

1.3.1 Sistemas Fotovoltaicos

1.3.1.1 Generalidades

Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía renovable del sol directamente en energía eléctrica. En sistemas fotovoltaicos aislados la

corriente producida por los paneles fotovoltaicos se almacena en un banco de baterías a través del regulador de carga que controla el voltaje y la corriente del SFV. La conexión a las cargas en corriente continua es directa, para poder satisfacer las de corriente alterna se debe instalar un inversor.

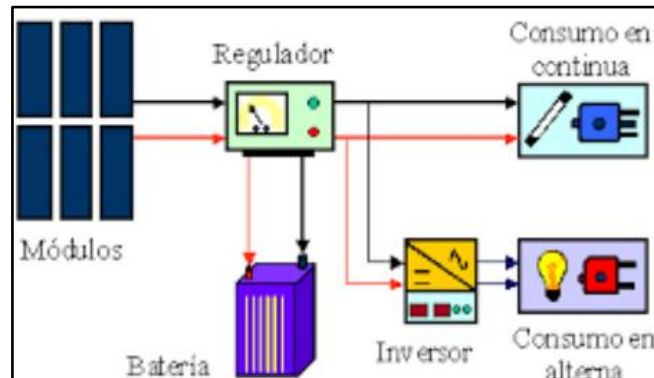


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE UN SFV AISLADO

Los factores que determinan la capacidad de un SFV son: la capacidad en vatios pico del arreglo fotovoltaico, la reserva de amperios hora del banco de baterías, la potencia del inversor y la capacidad del regulador de carga.

1.3.1.2 Clasificación Sistemas Fotovoltaicos (SFV)

Según la normativa ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC-11 se aplica la siguiente clasificación a los SFV:

1.3.1.2.1 Aislados (SFVA)

- SFVAR residenciales: para una vivienda con cargas en corriente continua, corriente alterna, o ambas.
- SFVAC para uso comunitario: centros de salud, escuela, casa comunitaria, iglesia, etc. Generalmente servicio en corriente alterna.
- SFVAE para usos especiales: telecomunicaciones, bombeo de agua, iluminación pública, sistemas de seguridad, otros. Generalmente en corriente alterna.
- SFVAM en micro red. Incluye las redes de distribución.

1.3.1.2.2 Híbridos

Los SFVH que forman parte de un sistema mayor con energía de respaldo de fuentes renovables o no, como por ejemplo micro centrales central hidroeléctricas, generadores eólicos, generadores de biomasa, grupos de diésel, entre otros. Un sistema hibrido puede ser tanto aislado como conectado a la red.

1.3.1.3 Componentes

1.3.1.3.1 Módulos Fotovoltaicos

El material de base para la fabricación de las células fotovoltaicas es el silicio, muy abundante en la naturaleza, pero que requiere un costoso tratamiento de purificación y cristalización. Son semiconductores fotosensibles, capaces de captar la energía de los rayos solares y transformarla en energía continua.

Los módulos fotovoltaicos de mayor fabricación son los mono cristalinos y poli cristalinos, donde la diferencia entre uno y otro radica en el procedimiento de fabricación, siendo los mono cristalinos de mayor costo pero a la vez consiguen una mayor eficiencia en la conversión de la energía solar

1.3.1.3.2 Baterías

La función de la batería en un sistema fotovoltaico es acumular la energía generada durante el día, para posteriormente poder ofrecerla cuando no hay generación que abastezca el consumo.

La calidad de una batería solar está determinada por la capacidad de acumulación y entrega de energía durante largos periodos de actividad, mientras que la calidad de una batería automotriz está relacionada con los valores de corriente que puede entregar durante el arranque, a temperaturas bajas.

Existen muchos tipos de baterías en cuanto a los reactivos utilizados para el proceso de acumulación de energía las cuales tienen diferentes características, como por ejemplo: Tubular o estacionaria abierta, estacionaria sellada, plomo acido solar abierta, plomo acido sellada AGM, plomo acido sellada GEL, ion Litio, Sodio Azufre (NaS).

1.3.1.3.3 Inversor

El inversor es el aparato electrónico encargado de convertir la corriente continua proveniente de las baterías en corriente alterna que pueda ser usada por el consumidor.

1.3.1.3.4 Regulador

El elemento de control central de los sistemas fotovoltaicos aislados lo constituyen los reguladores de cargas, que controlan el flujo de energía en conjunto y garantizan al mismo tiempo un cuidado óptimo de la batería, previniendo la sobrecarga como la sobre descarga de la misma. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

1.3.1.3.5 Estructura de Soporte

La estructura de soporte tiene como objetivo colocar los paneles fotovoltaicos a una altura suficiente que elimine posibles obstáculos en los alrededores respecto al sol y disponerlos en el ángulo más adecuado para su aprovechamiento y deben permitir un acceso fácil para la limpieza del módulo FV y la inspección de las cajas de conexión.

Cuando se realiza el montaje en el tejado, se debe dejar un espacio de al menos 5 cm entre los Módulos FV y el tejado para permitir la circulación de aire

1.3.2 Consideraciones Técnicas para Sistemas Fotovoltaico Aislado.

En el diseño de un sistema fotovoltaico aislado se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones técnicas.

- ✓ **Radiación solar del emplazamiento.**- El primer paso en el diseño de un SFV consiste en conocer si en el sitio existe el recurso suficiente de energía solar, ya que de esto va a depender el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. El dato que se debe usar es el nivel de radiación promedio anual.

- ✓ **Ubicación.**- Un Sistema fotovoltaico debe estar libre de sombras, se debe prever un sitio apropiado para obtener la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año. *“Un 10% de área sombreada sobre un panel fotovoltaico puede disminuir hasta 90% de la producción de electricidad”*(Luis Bériz Pérez, Doctor en Ciencias Técnicas. Presidente

de CUBASOLAR). Además de disminuir la eficiencia también puede disminuir la vida útil ya que las sombras producen puntos calientes en el panel.

- ✓ **Inclinación.-** El efecto negativo de las sombras producidas por la suciedad, objetos, etc. Depende de las particularidades del entorno y de la auto limpieza de la instalación, por esta razón un panel no puede estar totalmente horizontal, Según la Guía de Normas y Protocolos Técnicos para la Electrificación Rural con Energías Renovables (Dosbe) se requiere una inclinación mínima de 10° para permitir que el agua de lluvia se deslice por la Superficie del módulo FV.

- ✓ **Orientación.-** Se recomienda que los módulos solares del norte estén dirigidos hacia el sur. Mientras que en las regiones de Sudamérica se recomienda que los paneles solares se encuentren dirigidos al norte.

- ✓ **Ángulo de inclinación.-** El grado de inclinación es igual al grado de latitud en donde se encuentra. Pequeñas desviaciones en la orientación norte/sur ($\pm 30^{\circ}$) o en la inclinación ($\pm 10^{\circ}$) tienen una influencia relativamente baja en la energía producida por el generador.

- ✓ **Energía promedio diaria:** Se debe estimar el consumo diario de energía, esto se puede calcular listando los equipos con su respectiva potencia y número de horas promedio diarias de uso, y así poder calcular la energía promedio diaria, en Wh, necesaria para la instalación.

- ✓ **Días de autonomía.-** Es importante incluir en los cálculos los días de autonomía del sistema, es un factor de seguridad, para los días nublados que el sistema no capte energía puede ser de 2 a 5 días.

- ✓ **Profundidad de descarga de las baterías.** Dependiendo del tipo de baterías. En ningún caso será superior a 80%.

CAPÍTULO 2

2. REDISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1 Descripción Situación Actual

En la visita realizada el 27 de junio del 2015 a la comunidad Cerrito de los Morreños se realizó una encuesta orientada a conocer la situación actual en la que se encuentra los sistemas autónomos de energización instalados en cada vivienda, esta encuesta considera aspectos como orientación, funcionamiento del sistema y otros parámetros que se considera relevantes.

2.1.1 Diseño de la Encuesta

Para la elaboración de la encuesta se tomaron en cuenta parámetros necesarios que ayudarán a conocer las condiciones en que se encuentran los sistemas autónomos de energía en lo que respecta a mala instalación y mal mantenimiento.

| | | | | | | |
|--|-------------|-----------|---------------------------------|-----------|---------------|----|
| Casa numero: _____ #Personas _____ Nombre: _____ | | | | | | |
| Número de paneles | 1 | 2 | Número de baterías | | 1 | 2 |
| | | | | | | |
| El Sistema funciona? | si | no | El sistema cuenta con Inversor? | | si | no |
| | | | | | | |
| | Orientacion | Ubicación | Sucio | Obstruido | Observaciones | |
| Panel Solar | | | | | | |

FIGURA 2.1 ENCUESTA

La encuesta permite determinar el número de personas que habitan en el hogar, cuantos sistemas autónomos de energía fueron instalados, si cuenta con inversor y si el sistema funciona o no.

De igual manera la encuesta permite conocer temas relacionados con la instalación y mantenimiento de los sistemas autónomos de energía; parámetros como orientación y ubicación que ayudaran a tener una visión más clara de la situación socioenergética en la que se encuentra esta comunidad.



FIGURA 2.2 REALIZANDO ENCUESTA COMUNIDAD CERRITOS DE LOS MORREÑOS

2.1.2 Resultados de la Encuesta

Se realizaron 60 encuestas a hogares, incluyendo inspecciones visuales de los sistemas autónomos de energía de los establecimientos comunitarios como lo son las escuelas, dispensario médico e iglesia. De la población total de sistemas se logró determinar que 46 de ellos corresponden a sistemas básicos (panel y una batería); 20 corresponden a sistema estándar (dos paneles y dos baterías), finalmente una vivienda presenta ambos sistemas instalados.

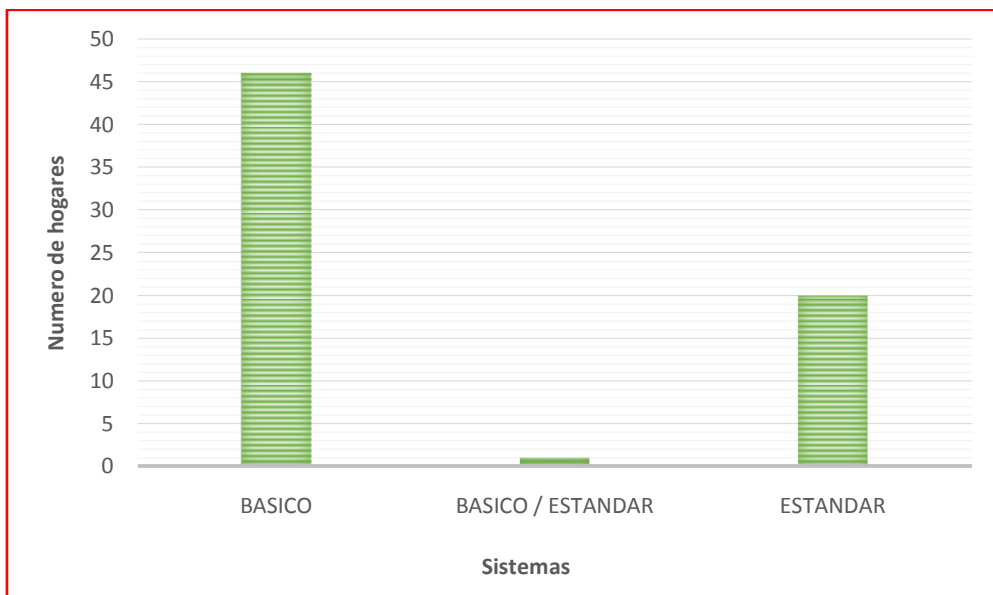


FIGURA 2.3 NÚMERO DE SISTEMAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Como siguiente paso, de las 60 viviendas en la comunidad se procedió a identificar el número de sistemas que estaban en condiciones de operación. En la tabla 1 se observan los resultados obtenidos.

**TABLA 1
NÚMERO DE SISTEMAS QUE FUNCIONAN**

| SISTEMA | SISTEMA FUNCIONA | | TOTAL GENERAL |
|----------------------|------------------|-----------|---------------|
| | NO | SI | |
| Básico | 12 | 32 | 44 |
| Básico / Estándar | | 1 | 1 |
| Estándar | 4 | 11 | 15 |
| TOTAL GENERAL | 16 | 44 | 60 |

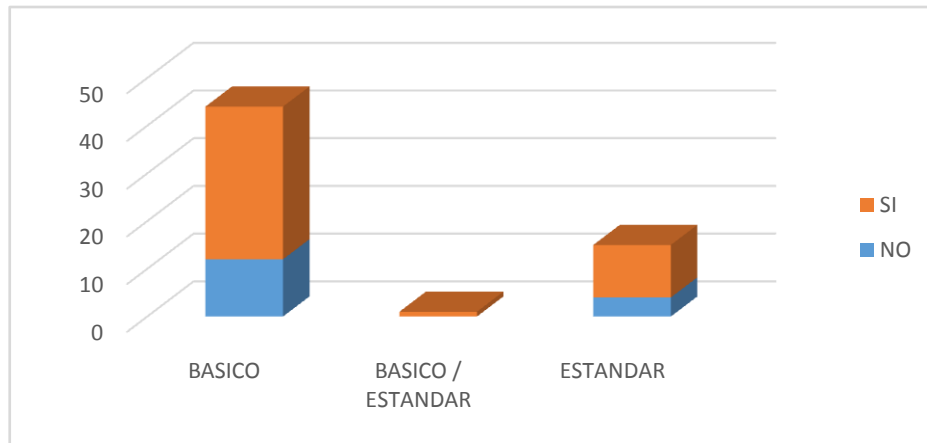


FIGURA 2.4 NÚMERO DE SISTEMAS QUE FUNCIONAN

A partir de la figura 2.4 se puede concluir que el 26 % de las viviendas visitadas al momento no tiene operativo o en funcionamiento el sistema y el 74 % de las viviendas restantes el sistema está en un grado de operatividad pero no logran generar lo establecido en el diseño. Esto se debe por razones de mal mantenimiento o mala instalación, los cuales se analizarán más adelante.

2.1.2.1 Problemas por Mala Instalación

2.1.2.1.1 Orientación

En lo que respecta a la orientación, la mayoría de los sistemas autónomos de energía inspeccionados presentan una orientación inapropiada del panel fotovoltaico. Es importante recordar que la comunidad de estudio se encuentra en el hemisferio sur, y por ende los paneles solares deben estar orientados hacia el norte.

En el marco de las ideas anteriores, se identifica que solo 6 sistemas autónomos de energía presentan una correcta orientación. Según lo establecido en la “Guía de normas y protocolos técnicos para la electrificación rural con energías renovables (p. 46)” donde cita:

“Pequeñas desviaciones en la orientación norte/sur (± 30) tienen una influencia relativamente baja en la energía producida.”

De igual manera en base a la Figura 2.5, se puede concluir que el 90 % de los sistemas autónomos de energía presentan problemas de orientación.

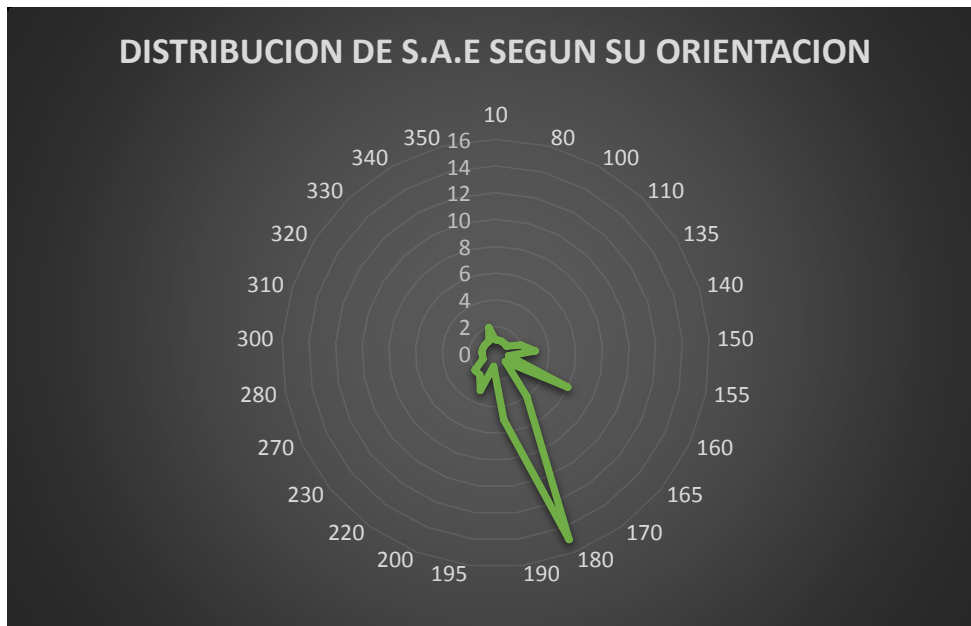


FIGURA 2.5 DISTRIBUCIÓN S.A.E. SEGÚN SU ORIENTACIÓN

2.1.2.1.2 Obstrucción del Campo de Captación

Otro gran problema que existe en los sistemas autónomos de energía, corresponde a la obstrucción del campo de captación de energía solar, derivado a la formación de sombras sobre los paneles fotovoltaicos a partir de vivienda y edificaciones cercanas. Esta situación contribuye a la generación de puntos caliente en el panel lo que repercute directamente en la capacidad de generación de electricidad disminuyendo la eficiencia de trabajo.

TABLA 2.-

NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS OBSTRUIDOS

| SISTEMA | OBSTRUIDO | | TOTAL GENERAL |
|----------------------|-----------|-----------|---------------|
| | NO | SI | |
| Básico | 16 | 28 | 44 |
| Básico / Estándar | | 1 | 1 |
| Estándar | 4 | 11 | 15 |
| TOTAL GENERAL | 20 | 40 | 60 |

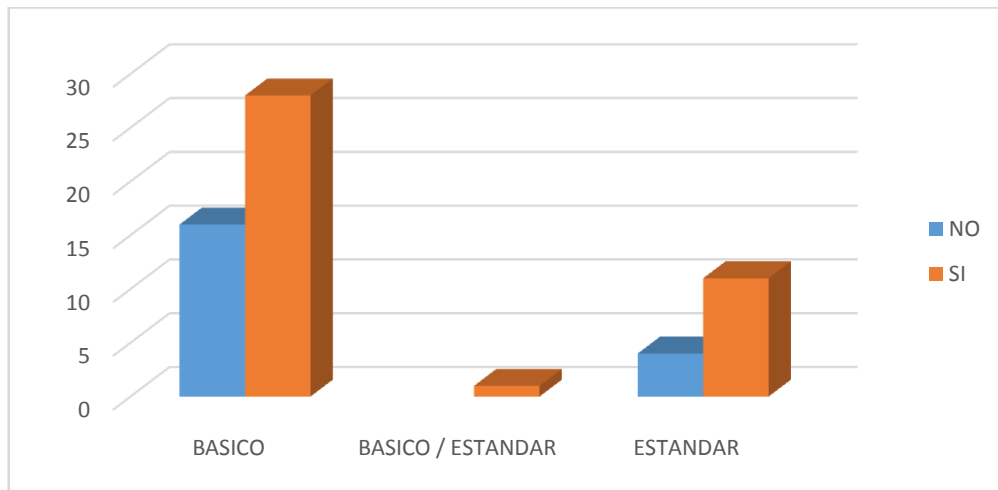


FIGURA 2.6 NÚMERO DE PANELES OBSTRUIDOS.



FIGURA 2.7 PANEL FOTOVOLTAICO OBSTRUIDO

2.1.2.2 Problemas por mal mantenimiento

2.1.2.2.1 Suciedad de los paneles fotovoltaicos

Entre los mayores problemas detectados en esta comunidad y es un gran punto a mejorar es el mal mantenimiento que tienen los paneles fotovoltaicos en cuestión de limpieza, cabe recalcar que según la “Guía de normas y protocolos técnicos para la electrificación rural con energías renovables” cita “Se requiere una inclinación mínima de 10° para permitir que el agua de lluvia

se deslice por la superficie del módulo fotovoltaico” ,permitiendo que el panel solar fotovoltaico se limpie, pero esta comunidad al estar ubicada en una zona de baja precipitación produce que el polvo se acumule en el panel y afecta considerablemente a la eficiencia del sistema.

Cabecitar, que en el paper *“Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells.M. S. El-Shobokshy, F. M. Hussein”* se concluyó que la acumulación de polvo en la superficie de los paneles fotovoltaicos afecta a su rendimiento. Tanto la intensidad de cortocircuito como la potencia producida decrecen más rápidamente con la deposición de pequeñas cantidades de partículas más finas.



FIGURA 2.8 PANEL SUCIO

**TABLA 3.-
NÚMERO DE PANELES SUCIOS.**

| SISTEMA | SUCIO | | TOTAL GENERAL |
|----------------------|----------|-----------|---------------|
| | NO | SI | |
| Básico | 1 | 43 | 44 |
| Básico / Estándar | | 1 | 1 |
| Estándar | 1 | 14 | 15 |
| TOTAL GENERAL | 2 | 58 | 60 |

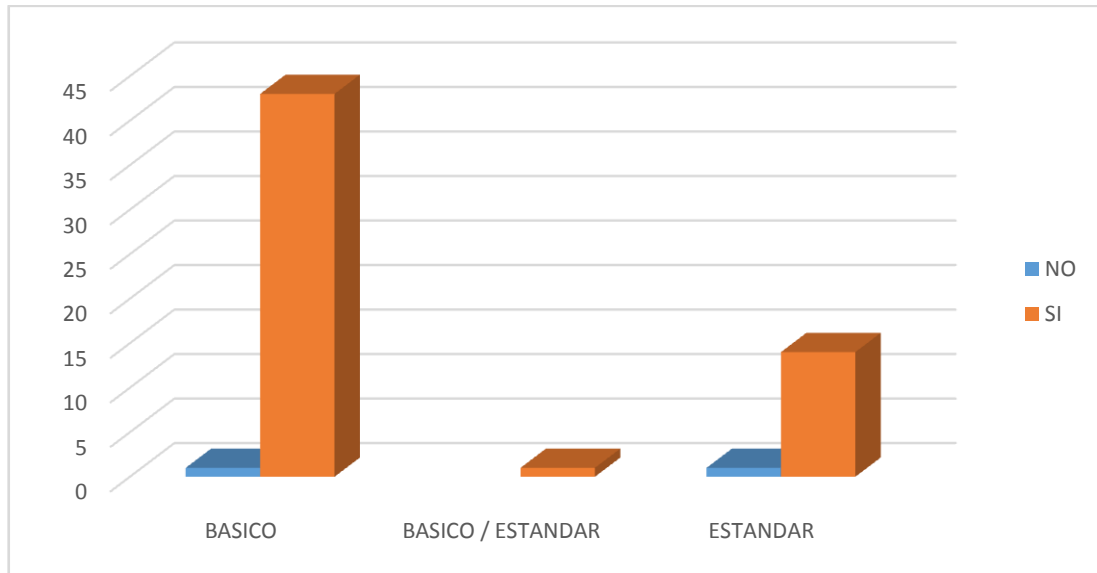


FIGURA 2.9 NÚMERO DE PANELES SUCIOS.

2.2 Alternativas de Diseño.

Previo al análisis de las alternativas de diseño es importante mencionar que además de la energía solar, en la práctica existen otras fuentes de energías renovables. La elección de la tecnología apropiada depende de diversos factores:

- Disponibilidad de fuentes de energía primaria (radiación solar, hidráulica, biomasa, viento, etc.).
- Fiabilidad en el suministro eléctrico requerido.
- Características de las infraestructuras locales.
- Características socioeconómicas de las comunidades beneficiarias.
- Relación entre el coste por unidad de consumo y el coste de la generación, incluyendo instalación, operación y mantenimiento.

Sin embargo estudios previos realizados en el año 2011 sobre la viabilidad de un sistema energético sostenible en la Isla Cerro de los Morreños (Ecuador), descarta la viabilidad de algunas de ellas como por ejemplo:

Energía Eólica.- Este recurso no es viable debido a que la mayor parte del tiempo la velocidad del viento en la zona de estudio es menor a 3 m/s como se puede apreciar en la Figura 2.10. Y la velocidad de arranque de un

aerogenerador común oscila en 3 m/s. Por lo tanto no existe suficiente recurso eólico como para invertir en un proyecto de esta magnitud.

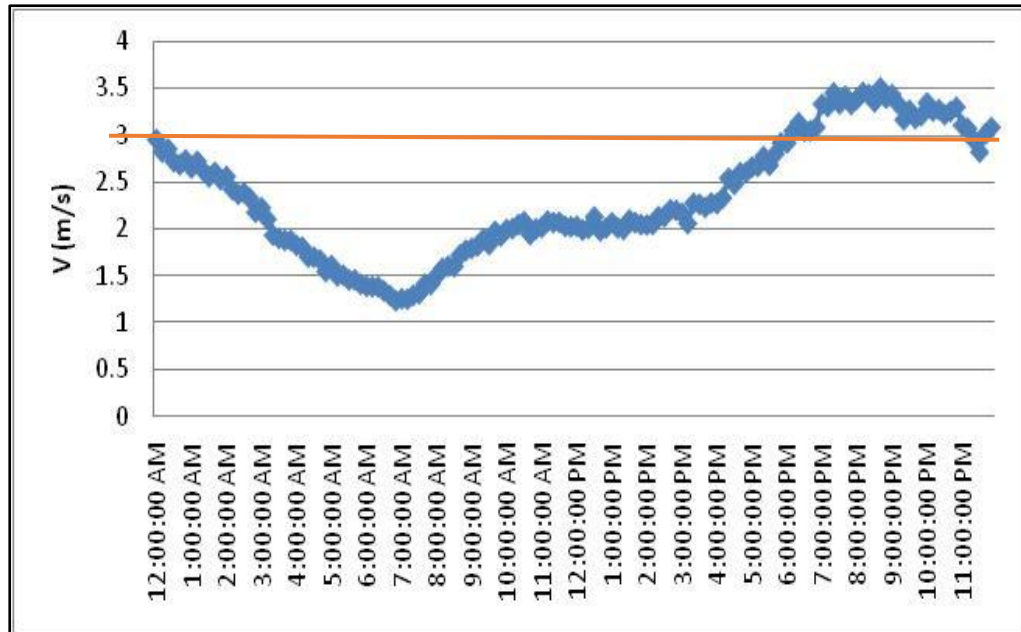


FIGURA 2.10 VELOCIDAD PROMEDIO DEL AIRE POR 24 HORAS.

Energía Mareomotriz.- En el Ecuador el INOCAR mantiene una tabla de mareas de los principales puertos, dentro del control marítimo nacional. Por ejemplo en Guayaquil-Rio se encuentra un promedio de Pleamar de 3,74 metros y una bajamar de 0,74 metros lo que da una diferencia de caída (gradiente pleamar-bajamar) de 3 metros.

En las condiciones actuales, y debido a la magnitud del proyecto, no se ha planteado una instalación de este tipo. Sin embargo, en zonas con un gradiente pleamar-bajamar semejante se han propuesto, con éxito, algunas instalaciones de este tipo como la planta experimental en el estuario del Canal de la Mancha (Francia).

Biomasa.- La comunidad Cerrito de los Morreños no es una comunidad ganadera como para pensar en la viabilidad de este recurso, sin embargo debido a su ubicación, su principal fuente posible de biomasa sería el manglar que circunda la isla. Aunque se puede considerar una fuente importante de biomasa, para la utilización del manglar será necesario previamente tramitar un permiso formal para su uso. En la actualidad el gobierno del Ecuador tiene prohibido podar, talar, descortezar, destruir, alterar, transformar, adquirir,

transportar, comercializar o utilizar bosques de mangle, productos forestales o de vida silvestre sin autorización.

Una vez descartadas estas otras fuentes de energías, la energía solar en Ecuador debido a su situación geográfica, tiene un alto potencial donde sus principales ventajas son:

- ✓ La energía que procede del sol es limpia y renovable.
- ✓ No consume combustibles ni se produce ninguna combustión.
- ✓ Requiere poco mantenimiento.
- ✓ Tienen una vida larga (los fabricantes señalan una vida promedio de 25 años).
- ✓ Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- ✓ El silicio, elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.
- ✓ Se puede aplicar en lugares de bajo consumo energético, por ejemplo en casas ubicadas en sitios rurales donde no llega la red eléctrica general, o su transmisión es muy costosa.

Por este motivo este proyecto se centra en maximizar la captación solar usando los componentes ya instalados en la comunidad.

La energía solar fotovoltaica es uno de los recursos energéticos más apropiados para llevar la electricidad al medio rural, a causa de las propiedades de modularidad, autonomía, bajo mantenimiento y no contaminante que caracterizan esta tecnología energética.

En la tabla 4 se presentan las cuatro fuentes de energía posible en esta comunidad y se comparan con parámetros relevantes como es el costo de mantenimiento, costo de instalación y el impacto socio ambiental.

TABLA 4.-

CUADRO COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

| Fuente de Electricidad | Nivel de Potencia | Coste inicial por conexión | Coste de mantenimiento | Comentario | Impacto Social y medioambiente |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Generador Diésel | Media | Medio | Alto | Tecnología muy probada y accesible. El suministro de combustible en áreas rurales puede ser irregular. | Contaminación atmosférica, auditivas y del suelo a nivel local |
| Plantas generadoras con biomasa | Media Baja | Alto | Bajo | Opción cara. Bajos costos de operación y mantenimiento. | Emisiones contaminantes en el ámbito local |
| Sistemas fotovoltaicos autónomos | Baja | Alto | Bajo | Opción cara. Bajos costos de operación y mantenimiento. Suministra electricidad para iluminación, radio y TV. | No contaminante |
| Generador Eólico | alta media | Medio | Bajo | Competitivo con la generación eléctrica convencional. | Depende de la disponibilidad de viento. Muy bajo impacto ambiental |

2.2.1 Alternativas del Rediseño de un Sistema Fotovoltáico Aislado

La isla Cerrito de los Morreños cuenta con dos fuentes de generación de energía eléctrica:

- Paneles fotovoltaicos aislados residenciales de 155 Wp cada uno instalados en cada vivienda de la comunidad. Donde cada usuario es responsable del mantenimiento y limpieza de los mismos.
- Generador de 145KW que funciona con diésel, satisfaciendo la demanda de la comunidad durante un horario ya establecido, que es de 18:00 a 22:00. Para adquirir este servicio cada vivienda debe cancelar un valor de 0.50 centavos diarios.

Por lo tanto las alternativas de diseño son:

- ✓ **Sistema Fotovoltáico Aislado Residencial.-** Rediseñar el sistema fotovoltaico aislado residencial para optimizar la eficiencia del sistema ya instalado.

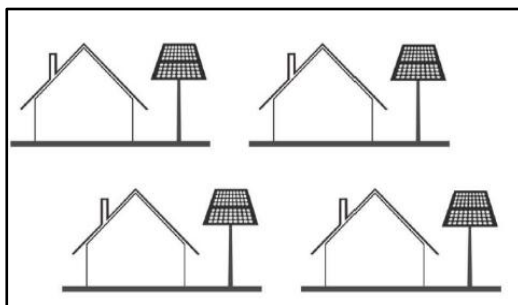


FIGURA 2.11 SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO RESIDENCIAL

- ✓ **Sistema Fotovoltaico Híbrido.-** Reunir todos los paneles y realizar un solo sistema fotovoltaico aislado conectado a la red de distribución pública junto con el generador. Satisfaciendo de energía eléctrica durante el día con los paneles solares y durante la noche con el generador a diésel.

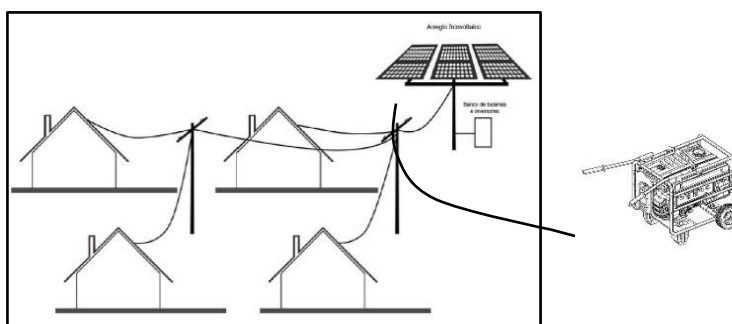


FIGURA 2.12 SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO HIBRIDO

En la Figura 2.13 se puede observar las diferentes alternativas de diseño analizadas en este proyecto. Durante este capítulo se irá explicando las decisiones sobre cuál es la alternativa más viable para optimizar la captación solar en la zona de estudio.

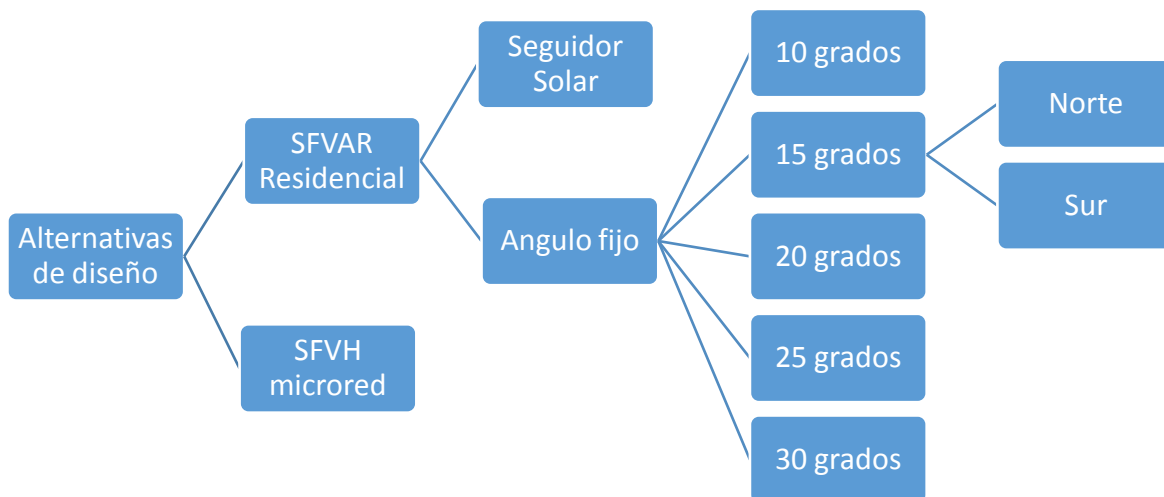


FIGURA 2.13 ALTERNATIVAS DE DISEÑO.

Según la norma Ecuatoriana de Construcción, la ventaja del sistema fotovoltaico en micro red es que mejora la confiabilidad en el servicio y se reduce la potencia total comparado con los sistemas residenciales. Sin embargo en este caso de estudio esta alternativa tiene muchas desventajas en comparación al sistema fotovoltaico residencial, como por ejemplo:

- ✓ En esta comunidad, la red pública hoy en día se encuentra muy deteriorada ocasionando muchas pérdidas a los largo de la distribución por lo que se necesitaría una red de distribución nueva con un costo bastante elevado.
- ✓ No se cuenta con un sistema de medidores de energía consumida, lo que puede genera un problema en la medición o exceso del consumo de energía eléctrica de la red por familia,
- ✓ Además se cuenta con problemas geográficos para poner un sistema centralizado.

Por otra parte en la práctica se ha demostrado que un sistema Fotovoltaico Aislado Residencial evita problemas a nivel político, personal y económico derivado a que cada familia es responsable del uso correcto de la energía y del sistema.

Por lo tanto en este caso de estudio, la mejor forma de crear un plan de sostenibilidad y que los sistemas duren toda su vida útil es a través de los Sistemas Fotovoltaicos Aislados Residenciales (SFVAR).

2.3 Cálculos del Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado

Este proyecto consiste en el rediseño de un sistema fotovoltaico ya existente, por lo tanto el objetivo no es dimensionar el panel, sino más bien calcular la energía disponible del panel y verificar si sus disposiciones actuales están en capacidad de cubrir la demanda para el cual fue dimensionado cada uno de los sistemas.

Durante el trabajo de campo se verificó que existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- ✓ El sistema básico, que consta de un panel y una batería que alimentan directamente 3 focos y un inversor que satisface la demanda de corriente alterna.
- ✓ El sistema estándar, con la diferencia que cuenta con dos paneles, dos baterías y alimentan directamente 5 focos.

Adicionalmente, en todas las viviendas donde se instaló un sistema, existe un manual de recomendaciones donde se indican los límites de carga que soporta el sistema. (Televisor hasta de 10 pulgadas y los focos no usarlos más de 5 horas diarias.)

2.3.1 Determinación del Consumo de los Aparatos Eléctricos

En primer lugar se procede al cálculo de la carga mínima de energía al sistema con un sistema básico instalado, con el objetivo de comprobar si el dimensionamiento del mismo satisface dicha demanda asumiendo que el consumidor cumple las recomendaciones antes mencionadas.

**TABLA 5.-
CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO DE UN SISTEMA BÁSICO.**

| Equipo | Potencia (W) | Horas de Funcionamiento (h/día) | Cant. | Consumo (Wh/día) Cd | Tipo de Corriente |
|--------------------------|--------------|---------------------------------|-------|---------------------|-------------------|
| Focos Ahorradores | 15 | 5 | 3 | 225 | DC |
| Televisor 5"-10" (color) | 40 | 5 | 1 | 200 | AC |
| | | | | 425 | |

Una vez conocido el consumo diario de energía (Cd), se procede a calcular la energía diaria requerida a partir de la ecuación 1, la cual, considera las pérdidas por el inversor y pérdidas en el cableado.

$$E_d = \frac{(100\% + E_b) * C_d}{E_i} \text{ (Ec. 1)}$$

Dónde:

E_d = Energía diaria requerida. [$\frac{Wh}{dia}$]

E_b = Factor de seguridad por pérdidas en el cableado o conexiones = 10 %

E_i = Rendimiento del Inversor = 90 %

C_d = Consumo diario Total [$\frac{Wh}{dia}$]

- **CONSUMO DIARIO EN CORRIENTE DIRECTA (DC):**

$$E_{d1} = \frac{(100\% + E_b) * C_{d1}}{E_i}$$

$$E_{d1} = \frac{(1 + 0.1) * 225 \frac{Wh}{dia}}{1}$$

$$E_{d1} = 247.5 \frac{Wh}{dia}$$

- **CONSUMO DIARIO EN CORRIENTE ALTERNA (AC):**

$$E_{d2} = \frac{(100\% + E_b) * C_{d2}}{E_i}$$

$$E_{d2} = \frac{(1 + 0.1) * 200 \frac{Wh}{dia}}{0.9}$$

$$E_{d2} = 244.4 \frac{Wh}{dia}$$

Por lo tanto el consumo diario total de los equipos será:

$$E_d = E_{d1} + E_{d2}$$

$$E_d = 247.5 + 244.4$$

$$E_d = 492 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

El resultado anterior se puede visualizar en la figura 15.

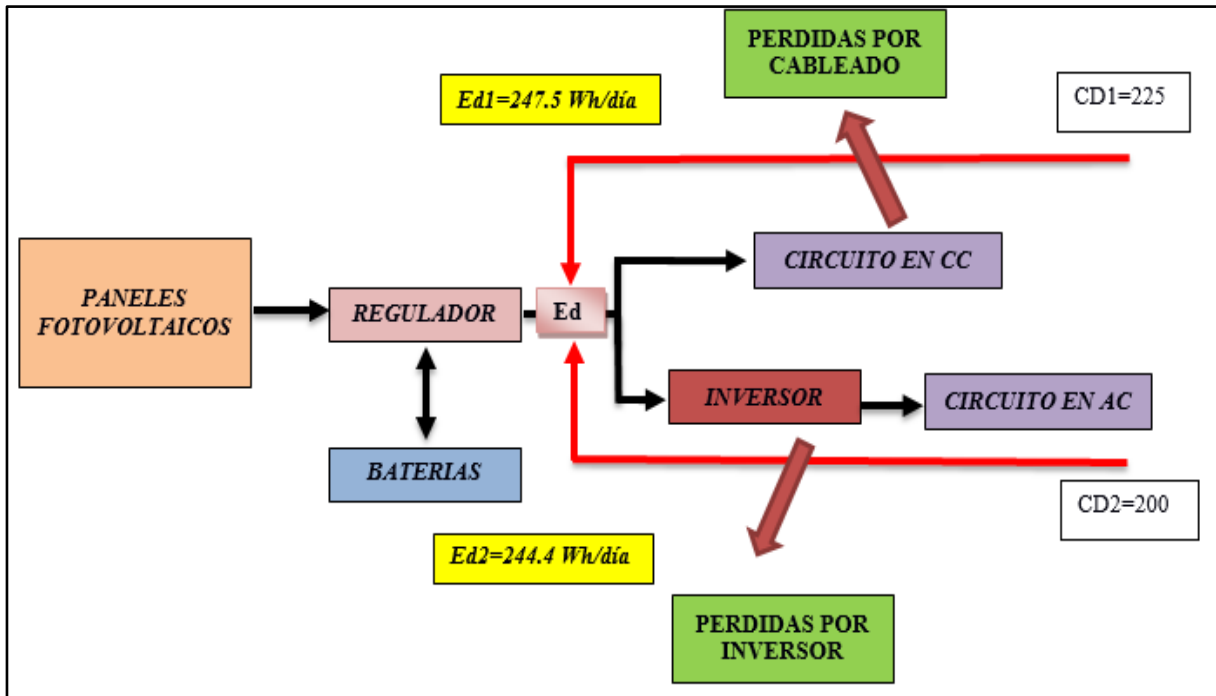


FIGURA 2.14 DIAGRAMA DE LA ENERGÍA REQUERIDA PARA CUMPLIR CON EL CONSUMO DIARIO EN DC Y AC

2.3.2 Cálculo del Ángulo de Inclinación Óptimo del Panel Fotovoltaico.

Determinada la energía requerida para cumplir con el consumo del circuito instalado se debe calcular la energía generada por el sistema, donde se debe conocer la irradiación media diaria sobre una superficie inclinada

Durante la visita técnica realizada a la comunidad Cerrito de los Morreños, se determinó que los paneles fotovoltaicos en su gran mayoría tienen distintas inclinaciones, la inclinación idónea es la que permite que los rayos solares incidan perpendicularmente en los paneles y así mejorar la eficiencia del sistema autónomo de energía. Esto sería posible con un sistema auxiliar de seguidor solar. Sin embargo tener seguidores solares en todas las viviendas no es viable por dificultades estructurales propias de la comunidad y el alto costo de instalación que conllevaría su implementación. Otra alternativa es

estimar el ángulo de inclinación óptimo, para el cual el panel pueda recibir la mayor cantidad de irradiación en promedio durante todo el año.

Dicho lo anterior, y en base a condiciones de la zona se procederá a estimar el ángulo de inclinación óptimo del panel fotovoltaico. Comparando la irradiación media diaria sobre una superficie inclinada a 10,15, 20, 25 y 30 grados.

Por lo antes indicado se hace necesario calcular la irradiación total captada por las celdas fotovoltaicas para los ángulos seleccionados durante los 365 días del año. La irradiación total es la suma de la irradiación directa, más la irradiación difusa, y la de albedo. (Ec. 2)

$$GT = G_b * R_b + G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g (G_b + G_d) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

G_T = Irradiación Global sobre una superficie inclinada.

G_B = Irradiación sobre una superficie horizontal.

R_B = Factor Geométrico de corrección Angular.

ρ_B = Albedo

G_d = Irradiación difusa.

β = Ángulo de inclinación

Para datos de la radiación solar de albedo, difusa y directa (horizontal) son obtenidos a partir de la información existente en la plataforma de datos Surfacemeteorology and Solar Energy (NASA, 2015).

En la Tabla 6 se puede observar los valores promedios mensuales estimados de radiación solar diaria sobre una superficie horizontal, teniendo un promedio de $3.56 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$ a lo largo del año.

TABLA 6**RADIACIÓN DIRECTA HORIZONTAL MEDIA MENSUAL RECIBIDA EN LA ZONA ESTUDIADA kWh/m^2 dia**

| Meses | En | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Directa | 3.38 | 3.26 | 3.82 | 3.97 | 3.83 | 3.58 | 3.18 | 3.55 | 3.51 | 3.12 | 3.68 | 3.84 |

En la Tabla 7 se presentan los valores promedios mensuales de radiación solar difusa diaria, teniendo un promedio de $2.15 kWh/m^2$ dia a lo largo del año.

TABLA 7**RADIACIÓN DIFUSA MEDIA MENSUAL RECIBIDA EN LA ZONA ESTUDIADA kWh/m^2 dia**

| Meses | En | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Difusa | 2.22 | 2.31 | 2.33 | 2.15 | 1.97 | 1.88 | 1.94 | 2.08 | 2.26 | 2.31 | 2.22 | 2.16 |

Con respecto a la radiación reflejada por el suelo conocida como albedo en la zona se reportan los siguientes valores mensuales.

TABLA 8**ALBEDO EXISTENTE EN LA ZONA ESTUDIADA.**

| Meses | En | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Albedo | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.17 |

Por lo tanto, solo falta definir el factor geométrico de corrección angular que depende directamente del ángulo de incidencia de los rayos solares con el panel fotovoltaico.

Si el sol tuviera el mismo ángulo cenital durante todos los días del año, el cálculo del ángulo óptimo por radiación directa se simplificaría a ser igual al ángulo cenital (es decir un ángulo de incidencia igual a 90 grados), sin embargo este ángulo depende de varios factores, como se analiza a continuación:

$$\text{Ángulo Cenital } (\alpha) = \text{Arccos}(\cos\delta * \cos L * \cos(\omega) + \text{sen}\delta * \text{sen}L) \text{ (Ec. 3)}$$

Donde:

L= Latitud.

δ = Declinación Solar.

ω = Ángulo Horario.

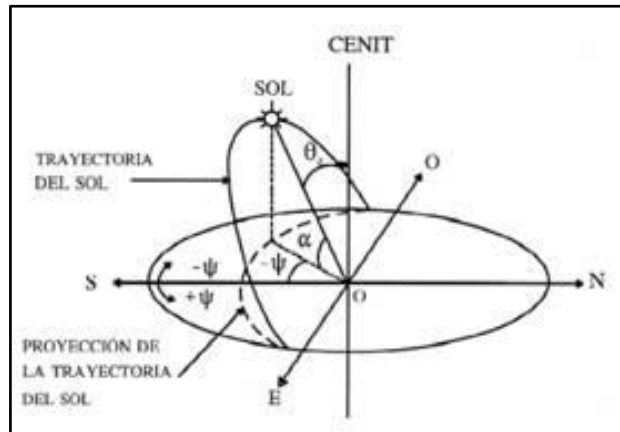


FIGURA 2.15.- ESQUEMA DEL ÁNGULO CENITAL.

Por lo antes indicado se hace necesario definir los siguientes términos:

Declinación Solar (δ).- Es el ángulo comprendido entre el plano ecuatorial y el plano orbital terrestre, este varía durante todo el año entre 23.45 y -23.45. Para su cálculo se puede utilizar, con suficiente aproximación la ecuación 4 dada por Cooper.

$$\text{Declinación solar}(\delta) = 23,45 \text{sen}\left(\frac{2\pi(d_n - 284)}{365}\right) \quad \text{(Ec. 4)}$$

Donde:

d_n = Día del año

Ángulo Horario (ω).- Indica el desplazamiento angular del Sol sobre el plano de la trayectoria solar. Se toma como origen del ángulo el mediodía solar y valores crecientes en el sentido del movimiento del Sol. Cada hora corresponde a 15° (360°/24horas).

En este caso de estudio la Isla Cerrito de los Morreños se encuentra ubicada geográficamente en el estuario del Golfo de Guayaquil en una latitud 2.473 grados Sur, partiendo de esta información se puede calcular para todo el año la declinación solar y el ángulo cenital solar, cuando el sol se encuentra a su máxima altura (12 horas o medio día) respectivamente.

En la Figura 2.16 se observa la declinación solar calculada con la ecuación 4.

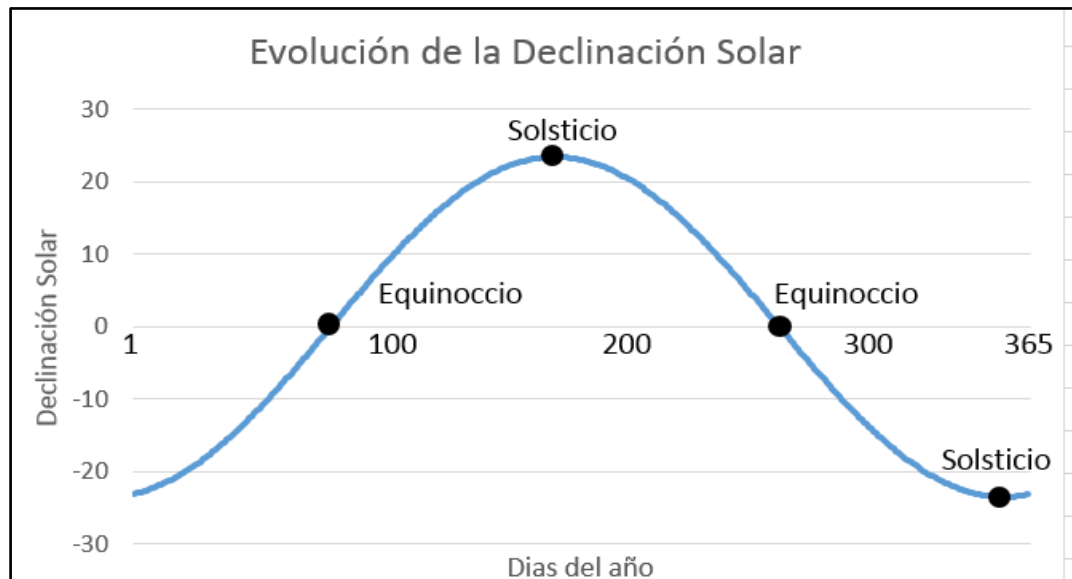


FIGURA 2.16.- DECLINACIÓN SOLAR DURANTE TODO EL AÑO.

En la Figura 2.17 se puede observar el ángulo cenital calculado con la ecuación 3 para los 365 días del año.

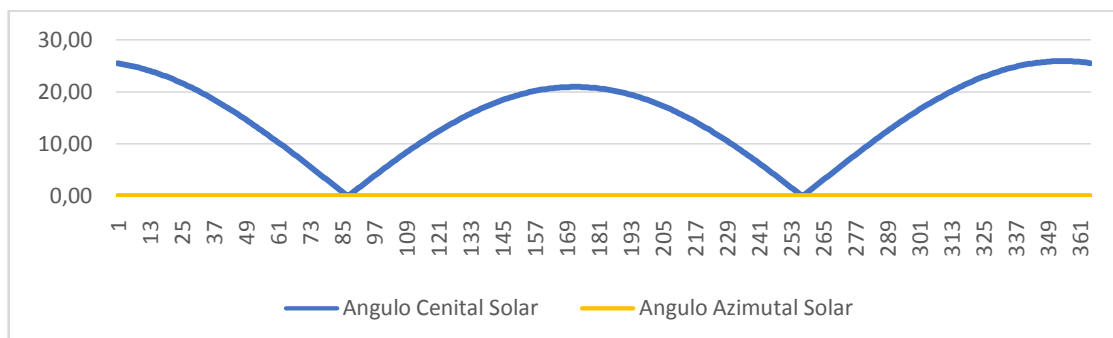


FIGURA 2.17.ÁNGULO CENITAL DURANTE TODO EL AÑO

Una vez obtenidos los valores del ángulo cenital, se puede calcular el factor geométrico para todos los días del año a una inclinación β con respecto a la horizontal, y así repetir el procedimiento para todas las inclinaciones β de interés.

Con todas las variables definidas, se procede a estimar los valores de la radiación que recibiría una placa o superficie para los ángulos de 10, 15, 20, 25 y 30 grados respectivamente.

TABLA 9
IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA (KWh/m^2 día) PARA DISTINTAS INCLINACIONES DE UNA SUPERFICIE

| Meses de Año | 10 grados | 15 grados | 20 grados | 25 grados | 30 grados |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Enero | 5,79 | 5,84 | 5,86 | 5,84 | 5,79 |
| Febrero | 5,67 | 5,67 | 5,65 | 5,59 | 5,50 |
| Marzo | 6,14 | 6,08 | 5,99 | 5,87 | 5,72 |
| Abril | 6,14 | 6,09 | 6,01 | 5,89 | 5,75 |
| Mayo | 5,93 | 5,94 | 5,92 | 5,86 | 5,77 |
| Junio | 5,63 | 5,67 | 5,67 | 5,64 | 5,57 |
| Julio | 5,25 | 5,27 | 5,26 | 5,22 | 5,15 |
| Agosto | 5,68 | 5,66 | 5,61 | 5,53 | 5,41 |
| Septiembre | 5,74 | 5,68 | 5,58 | 5,46 | 5,30 |
| Octubre | 5,49 | 5,48 | 5,43 | 5,36 | 5,26 |
| Noviembre | 6,09 | 6,13 | 6,14 | 6,11 | 6,05 |
| Diciembre | 6,25 | 6,33 | 6,36 | 6,36 | 6,33 |
| Total General | 5,82 | 5,82 | 5,79 | 5,73 | 5,63 |

Como se puede observar en la tabla 9, comparando los resultados de cada uno de los ángulos valorados, la máxima radiación obtenida se genera en un ángulo de 15 grados.

2.3.3 Cálculo de energía generada por el sistema de captación solar.

Se hace necesario para este proyecto estimar la energía diaria que generada cada panel fotovoltaico instalado con una potencia pico de $155 W_p$ y con un área de $1.3 m^2$, inclinado a un ángulo de 15 grados para el peor mes del año. Se calcula para el peor mes, con la finalidad de asegurar poder satisfacer la demanda de energía para cualquier día del año. Sería en el mes de Julio teniendo una irradiación diaria de $5.27 (KWh/m^2 - día)$. (Tabla 7)

Para determinar la energía generada se utiliza la norma UNE IEC 61724 siendo la normativa estándar europeo donde se describen las recomendaciones generales para el análisis del comportamiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a la red como autónomos.

$$E_g = P_r * HSP * P_p \text{ (Ec. 5)}$$

Donde:

E_g = Energía generada por el panel fotovoltaico en un día $[\frac{Wh}{dia}]$.

P_R = Rendimiento global del sistema.

HSP = Hora solar pico $[\frac{h}{dia}]$

P_p = Potencia Pico $[W_p]$

La eficiencia global depende de las pérdidas por temperatura, suciedad, cableado, auto-descarga en batería, y eficiencia de la batería.

Según las Normas Ecuatorianas de Construcción NEC-11, capítulo 14 (Energías Renovables):

- El rendimiento por efectos de suciedad no debe ser inferior a 2%
- El rendimiento por pérdida en los cables 5%.
- Los rendimientos del regulador, banco de baterías e inversor, deben ser tomados de las hojas técnicas de los proveedores.
- El rendimiento debido a las pérdidas por auto descarga del banco de baterías no debe ser inferior a 1%
- El rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de las condiciones normales se calcula según las ecuaciones siguientes. Se asume que la radiación instantánea es de 1000 W/m².

$$\eta_{Temp} = 1 - C_T(T_c - 25) \quad \text{(Ec.6)}$$

$$T_c = T_a + 1,25(NOCT - 20) \quad \text{(Ec.7)}$$

Donde:

T_c = Temperatura de la celda a una irradiación de 1000 $\frac{W}{m^2}$ [°C]

T_a = Temperatura ambiente [°C]

NOCT = Temperatura de operación normal del celda. Se asume 45 °C

C_T = Coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a diferentes temperatura ≈ 0.005

La ecuación que representa la eficiencia global del sistema será la siguiente

$$Pr = \eta_{Temp} * \eta_{suc} * \eta_{cabl} * \eta_{aut} * \eta_{bat} \quad (Ec.6)$$

Donde:

η_{Temp} = Eficiencia por temperatura.= (1-Pérdidas por Temperatura).

η_{suc} = Eficiencia por suciedad.= (1- Pérdidas por suciedad).

η_{cabl} = Eficiencia cableado.= (1-Pérdidas por cableado).

η_{aut} = Eficiencia por auto descarga.= (1-Pérdidas por auto descarga).

η_{bat} = Eficiencia batería= (1-Pérdidas por batería).

Entonces el Pr se calcula con la eficiencia de temperatura del mes de Julio
 $\eta=0,84$

$$Pr = 0,84 * 0,98 * 0,95 * 0,99 * 0,85$$

$$Pr = 0,66 * 5,27 * 155$$

$$Pr = 0,6$$

Por lo tanto, la energía generada hasta después del regulador será:

$$Eg = 0,66 * 5,27 * 15$$

$$Eg = 539,12Wh/día$$

Para una mejor explicación de cómo se van distribuyendo las pérdidas a lo largo del sistema se debe calcular la energía total que se proyecta en la placa fotovoltaica estudiada por lo que se multiplica la radiación total menor que recibe el panel a una inclinación de 15° por el área del panel:

$$ET(\text{Energía total para un panel de } 1.3 \text{ m}^2) = 5270 \frac{Wh}{m^2} * 1,3m^2$$

$$ET = 6851Wh$$

En la Figura 2.18 se presenta las pérdidas de energía del sistema fotovoltaico.



FIGURA 2.18 PÉRDIDAS A TRAVÉS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Finalmente en la Figura 2.19 se puede comparar la energía generada (E_g), con la energía diaria requerida (E_d) calculada anteriormente:

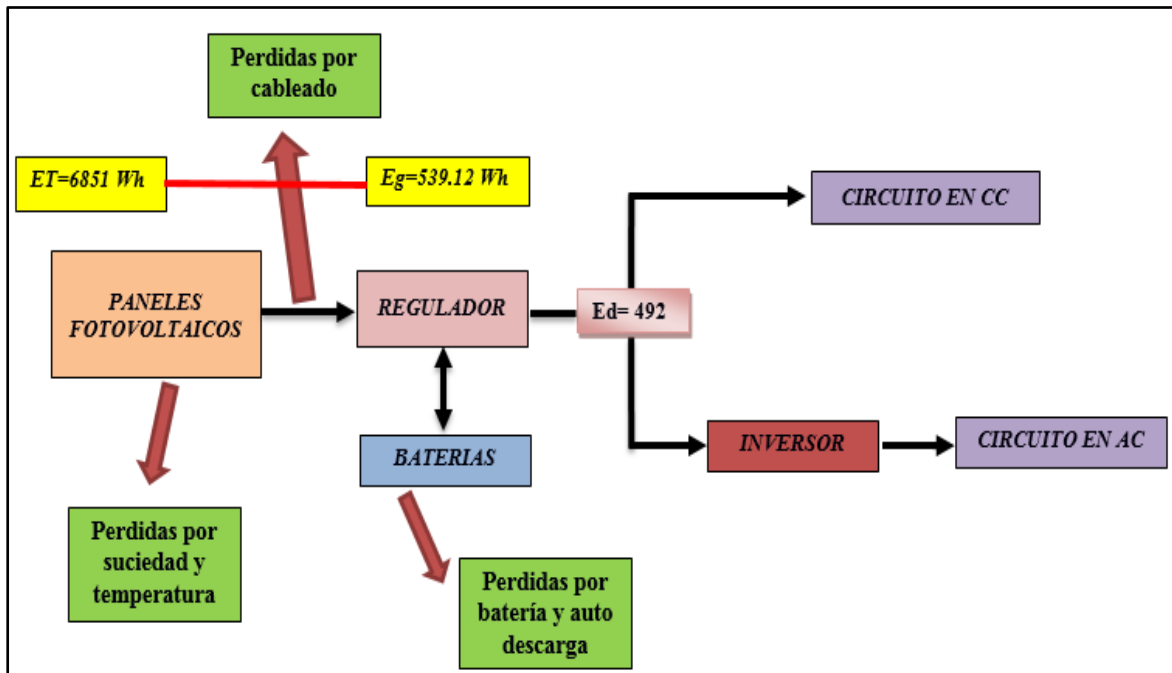


FIGURA 2.19 DIAGRAMA DE ENERGÍA GENERADA.

2.2.4 Dimensionamiento de las Baterías

El alcance de este estudio es el rediseño de los captadores solares, sin embargo se hace necesario calcular la capacidad mínima necesaria de acumulación de energía para este caso de estudio, y comprobar que las baterías que se encuentran instaladas satisfacen dicha demanda.

Por lo tanto la capacidad mínima de una batería asumiendo 3 días de autonomía es:

$$C_{100} = 110\% * \left(\frac{L_d * D}{T * M} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

C_{100} = Capacidad de la batería bajo 100 horas de descarga continuada [Ah].

L_D = Capacidad de acumulación $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]$

D = Días de autonomía [días]

M = Profundidad de descarga máxima [%]

T= Tensión de trabajo de instalación [V]

$$C_{100} = 110\% * \left(\frac{L_d * D}{T * M} \right)$$

$$C_{100} = 1.1 * \left(\frac{492 \frac{Wh}{dia} * 3 \text{ dia}}{12 V * 0.7} \right)$$

$$C_{100} = \mathbf{193.3Ah}$$

Por otra parte las baterías instaladas tienen las siguientes especificaciones:

TABLA 10.
ESPECIFICACIONES BATERÍA TROJAN J185P-AC

| TROJAN J185P-AC DEEP CYCLE | |
|-----------------------------------|--------------|
| PARAMETROS | VALOR |
| Profundidad de descarga [%] | 70 |
| Tensión de la batería [V] | 12 |
| Peso [kg] | 58 |
| Capacidad 100 Hr [Ah] | 226 |

Como se observa en la tabla 10 la capacidad de una batería instalada es de 226 Ah, por lo tanto si satisface las condiciones de diseño.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS DEL REDISEÑO

Como se lo plantea previamente, el objetivo de este proyecto es REDISEÑAR el sistema de gestión energético de la comunidad Cerrito de los Morreños, es decir identificar los problemas que padece esta comunidad enfocándose en los sistemas autónomos de energía instalados en cada hogar y plantear soluciones ingenieriles con el fin de que esta comunidad mejore su calidad de vida.

Expuesto lo anterior, en el presente capítulo se planteará la solución para resolver el problema energético de esta comunidad en base a los cálculos previos realizados en el capítulo 2.

Como parte del rediseño, es trascendental conocer si los paneles fotovoltaicos instalados cumplen con los requerimientos de cada hogar; considerando las limitaciones que tiene cada hogar con respecto al uso de aparatos eléctricos; por consiguiente se realiza el cálculo de cuanto consume un hogar diariamente y cuanto genera el panel en el mes en donde recibe la menor radiación solar total (G_T).

TABLA 11
RESULTADOS CÁLCULOS CONSUMO Y GENERACIÓN

| RESULTADOS | |
|---|----------------------|
| Consumo hogar diario. | 492 $\frac{Wh}{dia}$ |
| Energía Generada por el panel fotovoltaico diario. | 539 $\frac{Wh}{dia}$ |

En consecuencia los paneles fotovoltaicos de 155 Wp instalados cumplen con los requerimientos de cada hogar; es importante recalcar que en el caso de incluir otros aparatos eléctricos se deberá dimensionar y rediseñar un sistema aumentando el número de paneles o cambiar por paneles de mayor potencia.

Es importante comentar que el problema socioenergético en la comunidad no era originado por la mala selección de los paneles fotovoltaicos, sino por el mal diseño del emplazamiento de los mismos

Al analizar los resultados de la evaluación socio energética expuestos en el capítulo 2, se encontraron tres problemas que afectan directamente a la eficiencia del panel fotovoltaico y es donde se enfocará el análisis para el planteamiento de la solución.

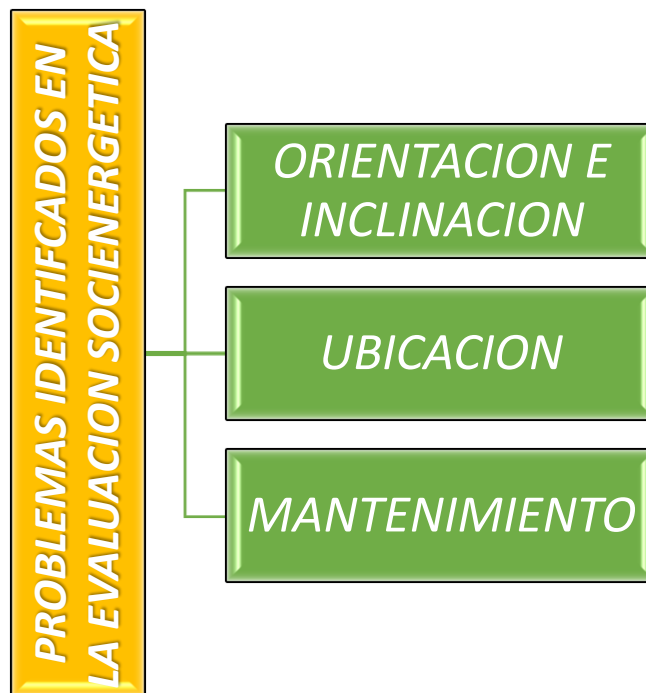


FIGURA 3.1 PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA EVALUACIÓN SOCIO ENERGÉTICA

3.1 Orientación e Inclinación

La orientación de los paneles es un problema principal a solucionar en esta comunidad, puesto que como se mencionó en el capítulo 2 el 90% de los paneles fotovoltaicos están mal orientados y/o mal ubicados. La comunidad de estudio se encuentra ubicada en el hemisferio sur por lo tanto como se observa en la figura 3.2 los paneles fotovoltaicos deben estar orientados hacia el norte.

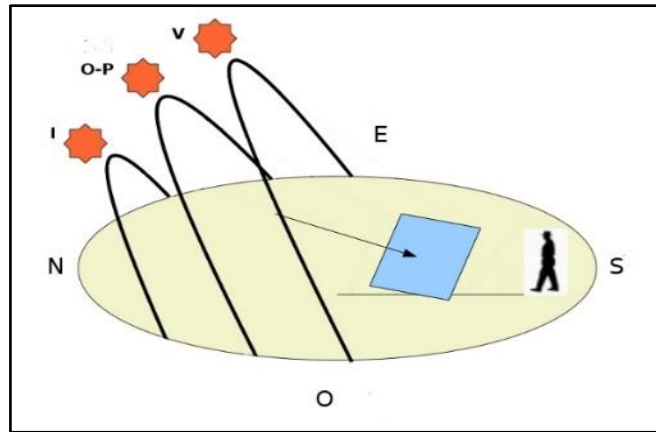


FIGURA 3.2 ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS UBICADOS EN EL HEMISFERIO SUR

En la figura 3.3 a continuación se nota claramente como los paneles fotovoltaicos presentan una ubicación e inclinación aleatoria.



FIGURA 3.3 PANELES FOTOVOLTAICOS ORIENTADOS HACIA CUALQUIER DIRECCIÓN.

Como consecuencia de esto, se hace necesario que todos los paneles fotovoltaicos estén orientados hacia el norte, como primer criterio de diseño

En lo que respecta a inclinación, se calcula el ángulo óptimo con el cual puede recibir la mayor radiación en todo el año la placa captadora, este ángulo es directamente de la localización geográfica de la comunidad.

Como resultados de los cálculos hechos en el capítulo 2, el ángulo óptimo en donde en promedio anual se recibe la mayor cantidad de radiación total (directa + difusa) es a una inclinación de 15° con un promedio de $5.82 \frac{KWh}{m^2 dia}$

TABLA 12

RADIACIÓN TOTAL A UNA INCLINACIÓN DE 15° ($\frac{KWh}{m^2 dia}$)

| Inclinación | En | Febr | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic | Prom |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15° | 5.84 | 5.67 | 6.08 | 6.09 | 5.94 | 5.67 | 5.27 | 5.66 | 4.68 | 5.48 | 6.13 | 6.33 | 5.82 |

3.2 Plan de Sostenibilidad.

Uno de los aspectos clave para el éxito de la electrificación rural basada en sistemas fotovoltaicos es el desarrollo de un plan de sostenibilidad apropiado que incorpore aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos. El plan de sostenibilidad en la práctica se debe considerar desde el diseño hasta la implantación final, por ende es básico que la selección e instalación de los sistemas sea correcta y viable para asegurar su sostenibilidad a través del tiempo, incluyendo el servicio post venta, capacitación a los usuarios sobre vida útil de los equipos y mantenimiento apropiado para que alcancen esa vida útil. En la visita técnica que se realiza donde se conversa con la mayoría de los usuarios ponen en manifiesto los principales problemas comunes que suelen suceder en proyectos similares como por ejemplo.

Muchos usuarios cuando participan en proyectos patrocinados por el gobierno no conocen bien sus derechos ni obligaciones. En ocasiones manipulan, trasladan, venden equipos cuando estos aún no son de su propiedad o no son conscientes de que pueden adquirir repuestos mientras el sistema está aún en garantía.

Otro problema derivado de la falta de información es que los usuarios desconocen dónde adquirir repuestos para los componentes de sus sistemas y cada que tiempo deben ser reemplazados dichos componentes.

Lamentablemente esta situación se repite a menudo en las comunidades aisladas.

De igual manera, muchos proyectos fracasan también por un escaso seguimiento o por la falta de desarrollo de capacidades locales esto es debido a un mal diseño del proyecto. La capacitación de usuarios suele tener lugar una sola vez durante la instalación de los sistemas. La evaluación técnica que se realiza muestra la necesidad de realizar actividades de seguimiento y apoyo después de la capacitación inicial.

Finalmente, en la mayoría de estos proyectos de energización e los usuarios finales no están capacitados para realizar un mantenimiento adecuado de los equipos, la mayoría de los sistemas autónomos fallan por la falta de proveedores de servicios y repuestos que pueda realizar un adecuado servicio de postventa a los usuarios.

Por lo tanto es indispensable conocer la vida útil de los componentes de este sistema y el mantenimiento apropiado del mismo.

3.2.1 Vida Útil de los Componente.

La vida útil de los componentes tiene una gran relevancia, dado que a pesar de un correcto rediseño y mantenimiento, algunos deben ser repuestos en varias ocasiones aumentando los costos de mantenimiento.

La vida útil del captador solar, regulador e inversor por lo general son datos constantes dados por el fabricante siendo el más duradero el captador solar. Por otra parte el tiempo de vida de la batería debe ser calculado, ya que está condicionado por una serie de factores, como tipo de batería, temperatura de uso, mantenimiento y cantidad de ciclos.

$$t_{3,ciclo} = t_3 = \frac{N}{n} * \sigma (T) = \frac{1500\text{ciclos}}{365 \text{ ciclos/año}} * 1 = \frac{1500\text{ciclos}}{365 \text{ ciclos/año}} = \mathbf{4,10\text{años}}$$

Donde N es el número máximo de ciclos de carga y descarga a 25⁰ C y a 70% de profundidad de descarga (DOD) y n es el número de ciclos de carga y descarga por año.

TABLA 13
VIDA ÚTIL DE LOS COMPONENTES.

| Componente | Tiempo de vida Útil (años) |
|----------------|----------------------------|
| Captador Solar | 25 |
| Regulador | 10 |
| Inversor | 10 |
| Batería | 4.1 |

Una vez conocida la vida útil de todos los componentes se hace necesario establecerlos procedimientos de mantenimiento de dichos componentes.

3.2.2 Mantenimiento de los Sistemas

La capacidad de mantenimiento y de reposición del servicio después de una avería es otro factor necesario a la hora de asegurar el suministro eléctrico previsto durante un tiempo prolongado.

Aunque tradicionalmente se ha considerado que los sistemas fotovoltaicos no necesitan mantenimiento, esta idea es rechazada como resultado de la experiencia, comprobando que no se puede implementar un proyecto a gran escala sin asegurar este variable. La estrategia de mantenimiento debe estar basada en la disponibilidad de personal técnico cualificado, componentes de repuesto y costes accesibles así como la infraestructura necesaria para llevar a cabo las operaciones de mantenimiento.

En el marco de los conceptos anteriores se desarrolla una serie de recomendaciones comunes para los sistemas fotovoltaicos.

Módulos.- Son los componentes menos problemáticos, pero es necesario ejecutar el rediseño de los mismos en función de las variables o parámetros calculados y dimensionados en el presente trabajo como: de ubicación, orientación e inclinación. Además es indispensable que el captador esté libre de sombras durante por lo menos 7 horas y libre de polvo u objetos ajenos al módulo. Limpiarlo con agua por lo menos una vez cada dos meses.

Soporte.- Probablemente después de los primeros 15 años presentará deterioro por corrosión, será necesario limpiarlo y pintarlo al menos una vez durante su vida útil.

Batería.- Este es uno de los componentes críticos a considerar en los ciclos de mantenimiento. Realizar inspección bimensual del agua destilada de la batería y llenarla en caso de ser necesario: Mientras no cumpla 2 años se recomienda el uso solo de agua destilada, para los siguientes 2 años se hace necesario el uso de agua acidulada.

Por otra parte es necesaria la inspección visual permanente de los conectores, revisar que se encuentren libres de suciedad. De estar sulfatada seguir los siguientes pasos: (La sulfatación se aprecia cuando el metal se pone de color azul o verdoso):

1. Se aflojarán la tuercas que sujetan los cables, empezando por el negativo y luego lo mismo con el positivo.
2. Para quitar la sulfatación se usa un recipiente con agua que se le añadirá bicarbonato de sodio, de no contar con bicarbonato de sodio se suele usar Coca-Cola, luego se pasará un trapo con la solución.
3. Una vez seco se frotará con un cepillo metálico los bornes, y los terminales que agarran o atornillan los bornes.
4. Es recomendable que antes de volver ajustar los cables se pone una fina capa de grasa o vaselina para evitar que vuelva a sulfatarse.

Regulador e Inversor.- Mientras se controle la carga usada no excediendo la capacidad del sistema estos componentes no necesitan de un mantenimiento específico.

Los motivos de fallo de un sistema fotovoltaico pueden ser muy variados, pero la puesta en operación nuevamente del sistema suele ser muy sencilla si se dispone de los repuestos: fusibles, controladores de carga, lámparas, baterías etc. Por esta razón se hace necesaria la capacitación a un grupo encargado de estos sistemas y asegurar la sostenibilidad.

Los proyectos donde participa el gobierno por lo general incluye solo los gastos de inversión inicial, de ahí en adelante los costos de mantenimiento corren por cuenta de los usuarios, por este motivo es necesario que los

usuarios conozcan el costo que implica el mantenimiento de estos sistemas para garantizar el funcionamiento durante la vida útil de los captadores solares (25 años).

3.3 Costos de inversión y mantenimiento durante toda la vida útil.

En la tabla 14 se muestra el costo unitario de cada módulo y cuantas veces debería cambiarse durante la vida útil de los captadores solares para poder estimar el costo total de estos sistemas, asumiendo que todos los valores ya están en valor presente sin importar el año que serán cambiados.

TABLA 14
PRECIO UNITARIO DE CADA MÓDULO.

| Modulo | Modelo | Precio unitario (\$) | Cantidad durante la vida útil | Valor durante toda la vida útil |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| Panel | SolarWorld Module SW 155 | 400 | 1 | 400 |
| Batería | Trojan J185P-AC | 350 | 5 | 1750 |
| Inversor | XpowerInverter 450 | 150 | 2 | 300 |
| Regulador | SunSaver-20 SS-20L-12V | 70 | 2 | 140 |
| Soporte | Soporte de aluminio | 83 | 1 | 83 |
| Cableado | Cableado de 4 metros | 30 | 1 | 30 |

Los precios de los módulos del sistema son estimados aumentando el precio dado por el fabricante entre el 20% y 50 %, para poder cubrir costos de impuestos y transportación hasta la zona de estudio.

El costo total del sistema para 25 años es de \$2703 es decir \$108 anuales. Incluido los costos de inversión inicial.

Para calcular solo el costo de mantenimiento se debe restar el costo de la inversión es decir:

$$\text{Costo de Mantenimiento} = \$2703 - \$1083 = \$1620$$

Si se quisiera comparar el costo con un generador a diesel durante 25 años para generar 532 Wh/día, primero se estima la cantidad de diesel necesaria para generar esa cantidad de energía durante un año.

$$\text{Energía generada durante 25 años} = 532 * 365 = 194.18 \text{ Kwh/año}$$

Luego se transforma esa energía en Mega Joules al año.

$$E_g = E_g * \frac{3,6\text{MJ}}{1\text{kWh}} = 699\text{MJ/año}$$

Para calcular la energía requerida para satisfacer la demanda se asume una eficiencia del generador de 0,2.

$$E_{\text{requerida}} = \frac{E_c * (1 + E_s)}{\eta_0^*} (E_c.)$$

Donde $E_{\text{requerida}}$ es la energía necesaria que se debe suministrar al generador diesel, E_c es la energía producida por el sistema fotovoltaico aislado con el cual se compara, η_0^* es el rendimiento del generador diésel y E_s es un margen de seguridad debido a las posibles pérdidas de cableado y conexiones que se estiman en un 10%.

$$E_{\text{requerida}} = \frac{699 \text{ MJ/año} * (1 + 0,1)}{0.2} = 3844.8 \text{ MJ/año}$$

Una vez adquirida la energía necesaria que se debe suministrar al generador esta se la divide para el poder calorífico del diésel 42700 KJ/Kg

$$M_d = \frac{E_d}{\text{MHV}} = \frac{3844.8}{42.7} = 90 \text{ kg de Diesel/año}$$

Sabiendo que la densidad del diésel es de 0.832 Kg/L

$$\text{Vol}_d = \frac{90\text{Kg}}{0.832\text{Kg/L}} = 108 \text{ Litros} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ Litros}} = 28.56 \text{ gal/año}$$

TABLA 15

COSTO DE ENERGÍA A PARTIR DE GENERADORES A DIÉSEL.

| Parámetro | Costo \$ | Cantidad durante 25 años | Costo Total |
|-----------|---------------|--------------------------|-------------|
| Generador | 500/generador | 6 | 3000 |
| Diésel | 2.5/galón | 714 gal | 1785 |

Un total de \$4785 igual a \$191,4 al año. Siendo casi 2 veces más costoso a largo plazo que un sistema fotovoltaico.

3.4 Inversión necesaria para dejar operativo los sistemas autónomos de energía.

En la tabla 16 se realiza un cálculo estimado de la inversión actual que se necesita para solucionar los problemas que tienen los sistemas autónomos de energía en la comunidad en donde se ha considerado costos de reemplazos de equipos y costo de manufactura de los soportes.

TABLA 16

COSTO TOTAL DE REEMPLAZO DE COMPONENTE.

| COMPONENTE | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|-------------|-------------|----------------|-------------|
| Baterías | 93 unidades | 350 | \$ 32,550 |
| Cableado | 840 m | \$60/ 40 m | \$ 1260 |
| Soporte | 70 unidades | \$83 | \$ 5810 |
| Inversores | 35 unidades | \$ 150 | \$ 5250 |
| Reguladores | 42 unidades | \$ 70 | \$ 2940 |

En la tabla 17 se muestra el cálculo de costo de mano de obra, en donde se considera que 2 personas se demoraran 4 horas por vivienda dando como resultado 8 horas/hombre por vivienda.

**TABLA 17.-
COSTO MANO DE OBRA.**

| HORAS/HOMBRE | COSTO HORAS / HOMBRE | TOTAL |
|---------------------|-----------------------------|--------------|
| 750 | 12 | \$ 9000 |

Por lo tanto el costo total de inversión para dejar operativos los sistemas autónomos de energías es de \$ 56, 810 dólares americanos.

CAPÍTULO 4

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

No puede existir un proyecto de electrificación rural sostenible sin el compromiso de una entidad pública o privada del seguimiento y mantenimiento de todos los sistemas.

La alternativa de energización por medio del recurso solar resulta la más conveniente de aplicar para la comunidad debido principalmente por el número horas de sol, con respecto a la energía eólica, biomasa y la energía mareomotriz, resultando no apropiadas ni viables.

Se demostró que los generadores a diésel pueden resultar hasta dos veces más costosos que los generadores fotovoltaicos a largo plazo en comunidades aisladas.

Para que los sistemas autónomos de energía operen apropiadamente es necesario la reubicación del 67%, orientar correctamente el 90 % de los paneles fotovoltaicos y además es necesario el cambio de todos los sistemas acumuladores de energía.

El costo estimado para dejar operativos el 100% de los sistemas autónomos de energía, considerando costos de reemplazo de equipos, mano de obra e instalación es de \$56,810 dólares americanos.

4.2 Recomendaciones

Actualmente, es necesario el diseño de políticas orientadas al mejor uso y desarrollo de las energías fotovoltaicas en zonas rurales, involucrando a las autoridades ambientales, sociales, y políticas del país.

Aunque tradicionalmente se ha considerado que los sistemas fotovoltaicos no necesitan de mantenimiento, esta idea es rechazada como resultado de la experiencia, comprobando que no se puede implementar un proyecto a gran escala sin asegurar este aspecto.

Es fundamental establecer programas que permitan el desarrollo de capacidades humanas para apropiar, operar y mantener los sistemas fotovoltaicos dentro de la comunidad

BIBLIOGRAFÍA

1. Miguel A. Egido, María Camino. (2008). "Guía de Normas y Protocolos Técnicos para la Electrificación Rural". Madrid, España: Trama Tecno ambiental.
2. Comité Ejecutivo del código Ecuatoriano de construcción. (2009). "Sistemas de Generación con Energía Solar Fotovoltaica para Sistemas Aislados y Conexión a red de Hasta 100 KW en el Ecuador". Quito, Ecuador: Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 10).
3. Lluís Jutglar. (2004). "Energía Solar". Barcelona, España: CEAC.
4. Ing. Alfredo Barriga Rivera PhD, Ing. Emérita Delgado Plaza MSc, Ing. Jessica Guevara Sáenz de Viteri MSc, Ing. Juan Peralta Jaramillo MSc. (2014). "Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía". Guayaquil, Ecuador: LATIN.
5. M. S. El-Shobokshy, F. M. Hussein. (2013). "Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells."
6. Ing. Juan Peralta Jaramillo MSc. (2012). "Estudio de viabilidad de un sistema energético sostenible en la Isla Cerro de los Morreños".
7. Paul Panez Caballero. (2006). "Manual Energía Solar Fotovoltaica". Costa Rica: 1 edición.
8. Carlos Castellanos, David Flores, Cristian Heredia, Leonardo Moncada, Iván Reysancho. (2006). "Energía solar". Ecuador: EPN.
9. Abella, M. (2005). "Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. España: Ediciones S.A.P.T. Publicaciones Técnicas S.L.

10. Marcelo Romero Tous. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. Barcelona (España): Ediciones CEAC.
11. Jose Maria de Juana Sardón. (2010). Energías renovables para el desarrollo. España: Paraninfo.
12. G.N.Tiwari. (2002). SOLAR ENERGY.Fundamental, Design,Modelling and Applications.IndianInstitute of Technology.New Delhi.: AlphaScience.