



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GRANMA**



Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Sede Latacunga

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Planificación energética a una comunidad rural aislada en la provincia Granma-Cuba aplicando la herramienta computacional HOMER

**AUTORES:** Cristian Danilo Galarza Taco

Flavio Fernando Escudero Andino

**TUTOR:** Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

**COTUTOR:** Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

**BAYAMO, M. N.**

**2011-2012**

“Año 53 de la Revolución”

**LATACUNGA–ECUADOR**

**2011-2012**

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

## **Pensamiento**

*“El éxito se consigue y mantiene por aquellos que perseveran en seguir intentando”.*

*Anónimo*

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Dedicatorias*

**Dedicatorias**

*Dedico con orgullo, y a la misma vez con gran satisfacción, el presente proyecto de tesis a Dios Todo Poderoso, por saber guiarme con su bendición y sabiduría por el camino correcto. Su ayuda hoy la veo materializada.*

*A mis padres, quienes confiaron en mí, entregaron todo su esfuerzo, apoyo y comprensión en el transcurso de toda mi carrera académica y así poder entregar todo de mí en la culminación de la misma. Su apoyo incondicional fue decisivo, además de enseñarme con dedicación, empeño, respeto y humildad el saber llegar a una meta.*

*A mi hermana, quien con su dulzura y simpatía se ha convertido en lo más importante de mi vida, una fuente de inspiración para la culminación satisfactoria de esta meta.*

*A mi novia, quien con su apoyo incondicional me dio lo necesario a la hora de tomar decisiones en mi vida, por su paciencia en los momentos fáciles y difíciles.*

*A mis profesores por el apoyo incondicional y la entrega a la hora de la enseñanza de mis conocimientos adquiridos.*

*A mis amigos, familia, y todas las personas que de una u otra forma me ayudaron desinteresadamente, gracias.*

**CRISTIAN DANILO GALARZA TACO**

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Dedicatorias*

**BORGES**, dice que “la dedicatoria constituye un acto mágico”, por esta razón, es para mí un momento de innegable emoción dedicar este trabajo muy especial a mi madre, que todavía tengo la felicidad de recibir su bendición y que ha luchado sin descanso y me ha brindado la oportunidad de alcanzar una formación profesional que me permita desempeñarme en la vida como una persona útil. Es mi madre quien con su ejemplo de perseverancia ha sembrado, sentimientos de responsabilidad, amor y un profundo anhelo para seguir adelante venciendo cualquier obstáculo que se presenta en el camino.

A Jimmy, mi hermano, para que en su vida igualmente trace metas importantes comprendiendo que con dedicación y sacrificio se podrá cumplir siempre.

**FLAVIO FERNANDO ESCUDERO ANDINO**

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Agradecimientos*

**Agradecimientos**

*Son muchas las personas a las que debo agradecer por haber puesto un granito de arena para llegar a culminar mi carrera, es demasiado o poco el decir gracias pero, desde el fondo de mi ser, les estaré eternamente agradecido y siempre presto a brindarles mi apoyo cuando así lo requieran. Sin embargo, debo resaltar a las personas sin las cuales el sueño de mi vida de llegar a ser un profesional al haber culminado mi carrera universitaria no se hubiera hecho realidad.*

*Ante todo, a Dios todopoderoso por haberme otorgado la vida y por ayudarme a llegar a esta meta tan anhelada, después de tantos esfuerzos, caídas y otras cosas, que he tenido que sobrellevar durante mi formación profesional. Solo tú sabes los sacrificios e inconvenientes que he pasado para ver este sueño realizado, tú que me guiaste por el camino del bien para no desmayar. Por eso mil gracias Dios.*

*A mis Padres Luis Sinforoso Galarza Herrera personaje de trabajo, responsable con sus deberes de jefe de hogar, una persona ejemplar en mi vida que busca siempre la superación de la familia y mi querida madrecita Laura Patricia Taco Herrera que lucha incansablemente diariamente en la tristeza, la alegría, en los momentos más críticos y duros de la vida por ver a sus hijos profesionales con un porvenir mejor y, que junto a mi padre, han demostrado valentía ante los obstáculos que presenta la vida, los cuales con su apoyo, amor e interminables consejos me enriquecieron como persona y me ayudaron a mi superación personal. Gracias de todo corazón por ustedes soy lo que soy.*

*A mí querida hermana Evelyn Valeria, por brindarme su apoyo, comprensión y paciencia en momentos de mi vida en los que solo ella me pudo ayudar. Gracias Ñañita es por ti este triunfo.*

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico*  
*Agradecimientos*

*A mí querida novia Gabriela por todas aquellas frasecitas llenas de ternura y amor que llegaron a llenar mi vida y fueron fuente de inspiración en mi carrera.*

*Como olvidarme de mis primos y amigos quienes me ayudaron en momentos en los cuales los necesite y estuvieron ahí para brindarme su apoyo, en fin, a toda mi familia muchas gracias.*

*También a aquellos docentes que me enseñaron las diferentes asignaturas e impartieron sus conocimientos con el fin de tener un profesional competente en el campo laboral y que sea el orgullo de sus enseñanzas.*

*Definitivamente, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por ser mi casa de estudio durante todo este tiempo y a la Universidad de Granma, por darme la oportunidad de culminar mi carrera y ser un profesional apto para enfrentar la vida de una manera moralmente digna gracias.*

**CRISTIAN DANILO GALARZA TACO**

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Agradecimientos*

*Un agradecimiento especial a mi madre por ser mi confidente, amiga que con su amor y cuidado he llegado a un punto importante de mi vida.*

*A mi madre Elvia Marina Andino Ashqui que lucha incansablemente en la tristeza, la alegría, en los momentos más críticos y duros de la vida por ver a sus hijos profesionales con un porvenir mejor, y que sola ha demostrado valentía ante los obstáculos que presenta la vida.*

*Agradezco a todos mis familiares: abuelitos, tíos, primos, parientes cercanos y a mis amigos que de una u otra manera me apoyaron e hicieron que mi sueño se plasmara en una realidad.*

*También a aquellos docentes que me enseñaron las diferentes asignaturas e impartieron sus conocimientos con el fin de tener un profesional competente en el campo laboral y que sea el orgullo de sus enseñanzas.*

*Definitivamente, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por ser mi casa de estudio durante todo este tiempo y a la Universidad de Granma, por darme la oportunidad de culminar mi carrera y ser un profesional apto para enfrentar la vida de una manera moralmente digna gracias.*

*Finalmente, pero no por eso menos importante, agradecer a Dios por todas las bendiciones que he recibido de parte de él.*

**FLAVIO FERNANDO ESCUDERO ANDINO**

## **RESUMEN**

Actualmente se busca utilizar herramientas, fundamentalmente matemáticas, para ayudar a la toma de decisiones. Dichas herramientas se soportan en software que facilite su uso y que sea amigable con los usuarios. El HOMER es una de estas herramientas que ayuda a los decisores a buscar sistemas energéticos adecuados y que suplan la demanda de energía. Dicho software incluye sistemas energéticos renovables y convencionales, de modo que se puede decir que garantiza la protección del Medio Ambiente buscando las combinaciones más factibles desde varios puntos de vistas: cobertura de la demanda y rentable económicamente. El presente trabajo versa en la búsqueda de un sistema energético factible para una comunidad rural no electrificada de la provincia Granma en Cuba, para ellos se utilizó el HOMER como una herramienta para lograr este propósito. Se realizó la optimización y simulación, arrojando que el sistema energético factible, cuando los precios del combustible diésel son de 0.8 CUC/L, es el Generador Autónomo Convencional-Baterías Eléctricas. Por otro lado, si el precio del combustible es de 1.20 CUC/L, el sistema factible es el Panel Fotovoltaico/Grupo Autónomo Convencional-Baterías Eléctricas.



## **ABSTRAC**

At the moment people look for the use of tools, essentially mathematical, to help the decision making. These tools are supported in software that facilitate its use and that is user friendly. The HOMER is one of these tools that help the decision maker to look for suitable power systems and to replace the energy demand. This software includes renewable and conventional power systems, so that, it is possible to be said that protection of the Environment guarantees it, looking for the most feasible combinations from several points of view: covering the profitable and economically demand. The present work turns in the search of a feasible power system for a not electrified rural community of the Granma province in Cuba, the HOMER was used for them as a tool to acquire this intention. The optimization was done and simulated, throwing the feasible power system, when the prices of the diesel fuel are of 0.8 CUC/L, is the Independent Generator Electrical Conventional-Battery. On the other hand, if the price of the fuel is of 1.20 CUC/L, the feasible system is Photovoltaic Panel/Independent Group Electrical Conventional-Battery.

## **ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DEL TEMA .....	4
1.1. Situación energética mundial.....	4
1.1.1. Situación energética en Latinoamérica .....	6
1.1.3. Situación energética en Cuba .....	7
1.2. Situación de las energías renovables .....	8
1.2.1. Potencial energético mundial proveniente del sol.....	9
1.2.2. Potencial energético mundial proveniente del viento.....	10
1.2.3. Potencial energético proveniente de la biomasa: la leña y el carbón vegetal .....	11
1.3. Situación de las energías renovables en Cuba.....	12
1.4. Situación de las energías renovables y convencionales en Ecuador ..	13
1.5. Situación energética en comunidades rurales cubanas.....	14
1.6. Sistemas de energización renovables a comunidades rurales .....	15
1.7. Sistemas híbridos de energización en comunidades rurales .....	15
1.8. Herramientas para el diseño de sistemas energético renovables.....	17
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1. Descripción de la comunidad caso de estudio .....	20
2.2. Descripción de HOMER para un sistema híbrido de suministro de electricidad con fuentes renovables y convencionales.....	20
2.2.1. Metodología para el HOMER.....	21
2.3. Compilación de datos .....	30
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	31
3.1. Selección de los componentes del tipo de sistema energético híbrido ..	31
3.1.1. Determinación de la carga primaria .....	31
3.1.2. Determinación de los recursos energéticos locales .....	33
3.1.3. Selección de las capacidades de los equipos.....	34
3.1.5. Precios de los equipos.....	34
3.1.6. Optimización con HOMER .....	34
3.1.6.1. Análisis de sensibilidad .....	35
3.1.7. Simulación .....	37
3.1.8. Esquema del sistema seleccionado.....	38
CONCLUSIONES .....	41
RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	46
ANEXOS.....	52

## **INTRODUCCIÓN**

En la civilización moderna, la disponibilidad de energía está fuertemente ligada al nivel de bienestar, a la salud y a la duración de vida del ser humano. En realidad vivimos en una sociedad que se podía denominar como "energívora". En esta sociedad, los países más pobres muestran los consumos más bajos de energía, mientras que los países más ricos utilizan grandes cantidades de la misma. Sin embargo este escenario está cambiando de forma drástica, cambio que se acentuará en los próximos años, donde serán precisamente los países en vías de desarrollo quienes experimenten con mayor rapidez un aumento en su consumo de energía debido al incremento que tendrán tanto en sus poblaciones como en sus economías (Energías Renovables, 2011).

La importancia de reducir el consumo de estas fuentes primarias se ha transformado de un problema económico a un problema vital, y de un problema vital del futuro a uno de los mayores accidentes que ya padecemos en el desarrollo de la humanidad.

La acidez de las lluvias, las catástrofes naturales, las consecuencias del efecto de invernadero y de la disminución de la capa de ozono, son secuelas que debemos curar con una nueva vía de producción energética que recorre desde el control de los procesos actuales, el incremento de su eficiencia y nuevos hábitos de consumo, hasta el cambio de estructuras a una utilización descentralizada de las fuentes renovables, inagotables y de bajo impacto ambiental (Campos et al., 2001).

Las energías renovables se generan de recursos naturales y se remplazan de forma natural. Las fuentes de energía renovable (FER) incluyen el viento, el sol, las olas, las mareas, la biomasa y calor geotérmico, siendo el sol la esencial fuente de energía. Los FER son caracterizados por una dispersión geográfica más ancha comparada a las fuentes de energía convencionales, haciendo el potencial del FER autóctono en una región generalmente más alto que la

disponibilidad del aceite o del gas, cuya distribución mundial se concentra claramente en algunos países (Domínguez y Pinedo-Pascua, 2008).

Una de las áreas de aplicación de las energías renovables es en la energización de comunidades rurales aisladas. Hoy día se busca que dichas comunidades, debido a lo costoso de los suministros energéticos provenientes de fuentes convencionales, se suplan con recursos renovables de la zona a través de tecnologías capaces de lograr este propósito. La dificultad de la selección de la alternativa energética más efectiva, es la incertidumbre cuando existen escasas de casi todas ellas y se necesita hacer una combinación o “híbrido” energético.

En virtud de esto se necesita aplicar herramientas que faciliten a la toma de decisiones para la determinación del tipo de energía renovable que sea factible para una comunidad rural no electrificada y, en caso de ser posible, la constitución de “híbrido” energético.

Es por ello que se plantea el siguiente **problema científico**: en la planificación energética dirigidas a comunidades rurales aisladas de Granma-Cuba, no se utilizan herramientas computacionales que ayuden a la toma de decisiones para determinar un sistema energético adecuado.

Para resolver este punto objetivamente se plantea la siguiente **hipótesis** de investigación: si se aplica la herramienta computacional HOMER para la planificación energética dirigida a comunidades rurales aisladas, ayudaría a la toma de decisiones para determinar el sistema energético adecuado.

**Objetivo general:**

Aplicar la herramienta computacional HOMER para la planificación energética en una comunidad rural aislada para lograr un sistema energético adecuado.

**Objetivos específicos:**

- Estudiar una comunidad rural aislada para la determinación de los criterios de HOMER
- Determinar los costes de cada equipamiento tenido en cuenta
- Determinar las variantes aportadas por la herramienta computacional HOMER
- Determinar el sistema óptimo de energía

## **CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DEL TEMA**

### **1.1. Situación energética mundial**

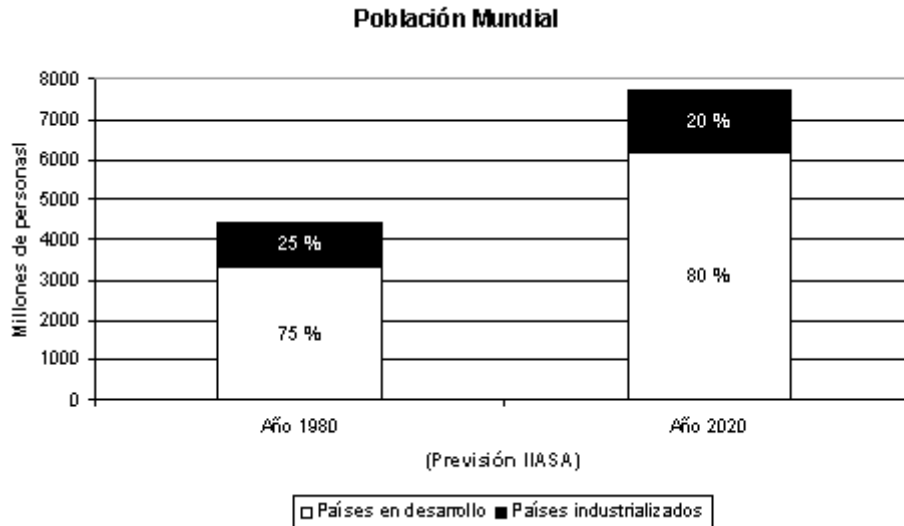
Los pronósticos más recientes sugieren que la población del mundo crecerá a más de 8.000 millones en el año 2020. Alrededor del 90% de ese crecimiento ocurrirá en los países en desarrollo. En el 2005, aproximadamente el 75% de la población del mundo que vive en países en desarrollo y en los recientemente industrializados, consumieron solamente el 33% del total de la energía global consumida. Para el año 2020 se calcula que cerca del 85% de la población mundial vivirá en estos países y será responsable de aproximadamente el 55% del consumo total de energía.

En las dos últimas décadas la demanda de energía en Asia se incrementó en aproximadamente 4,5% por año, en comparación con el 2% experimentado por EEUU y Europa. El aumento del consumo de carbón en Asia ha sido aún más rápido, casi del 5,5% anualmente en los últimos 10 años (Catamutu, 2007)

### **Consumo mundial anual de energía**

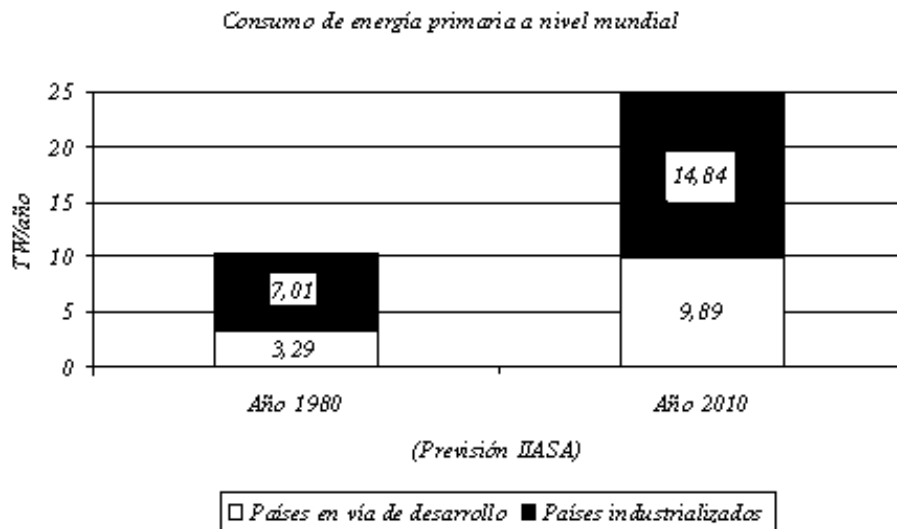
Se llegó a un consumo de energía a escala mundial que superó ligeramente los 10 TW/año en 1980. Como refiere el *Annual Energy Review 1997*, de la Comisión Europea, entre 1980 y 1990 hubo un aumento del 20 %. Entre 1990 y 1995 el aumento fue solamente de 4,5 % (incremento medio anual de 0,9 %). Esta reducción se debió al cambio de estructuras económicas en los países que componían la antigua Unión Soviética. Sin embargo, a partir de 1995 la tendencia es a continuar en aumento. En 1996 creció 3 % aproximadamente. El consumo de energía a escala mundial en el 2005 llegó alrededor de 14 TW/año. Con respecto a la población como se puede ver en la (Fig. 1.1), ocurre la situación inversa: el Sur del mundo posee una población tres veces mayor que el norte (en 1988 la diferencia era aún mayor; de cinco millones de habitantes en la tierra, cuatro mil millones son del Sur), de modo que la

diferencia de consumo per cápita entre el norte y el Sur es muy elevada (Fig. 1.2), (Turrini, 2006).



**Fig. 1.1. Aumento estimado de la población de 1980 a 2020**

Fuente: Annual Review of Energy, vol. 10.USA, 1985



**Fig. 1.2. Aumento estimado del consumo de energía de 1980 a 2020**

Fuente: Annual Review of Energy, vol. 10.USA, 1985

### **1.1.1. Situación energética en Latinoamérica**

En América latina y el Caribe, salvo algunas excepciones no se han observado mejoras en este campo, donde el crecimiento del PIB ha ido en paralelo con el consumo de energía incluso manifestándose determinada tendencia a la elevación de este indicador en algunos sectores (SEPAL, 2004).

La baja eficiencia energética en la región obedece a un conjunto de factores, dentro de los que se encuentran:

- La etapa en que se encuentra en el proceso de industrialización
- La política aplicada por los gobiernos
- El déficit de los mercados energéticos
- Los bajos precios de la energía que han prevalecido
- La falta de financiamiento para los proyectos de eficiencia energética
- La insuficiente capacidad técnica de la ingeniería local en este campo
- El bajo nivel de la gestión energética empresarial
- La insuficiente información y motivación social para el ahorro de energía

El predominio de una política económica de carácter desarrollista impulsó al sector energético tareas muy difíciles de resolver, entre ellas de extender la oferta y cobertura energética y aceptar un deterioro de sus precios como parte de las políticas sociales y antiinflacionario, sin recibir los fondos necesarios para cubrir sus costos de operación (Romero, 2010).

En 1994 las reservas de petróleo en América Latina representan el 14% de las reservas mundiales y sólo eran superadas por las existentes en Medio oriente (64,5% del total mundial). La relación reservas-producción (indicador de la capacidad de oferta de petróleo) es de 50 años, ubicándose en una posición intermedia respecto al mundo (Stolovich et al., 1997).



El potencial de ahorro de energía en los países subdesarrollados es actualmente mucho mayor que en los desarrollados por varias razones, dentro de las cuales se pueden señalar:

- Las actividades energo-intensivas están creciendo a mayor ritmo en los países en desarrollo, de modo que existen mayores oportunidades de lograr ahorros de energía en nuevas instalaciones, que es donde el potencial de ahorro es mayor.
- Los precios de la energía han sido tradicionalmente más bajos, subsidiados, por lo que el mercado no ha estimulado el ahorro de energía.
- Ha faltado el acceso a tecnologías comerciales para el incremento de la eficiencia energética.
- Han sido muy limitadas las fuentes de financiamiento para proyectos de eficiencia energética.

### **1.1.3. Situación energética en Cuba**

La matriz energética cubana muestra una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, en especial el petróleo. A nivel nacional resulta de interés el desarrollo de las fuentes renovables de energía, entre las cuales se pudiera destacar la energía solar fotovoltaica como una vía adicional de incrementar la generación distribuida; si se tiene en cuenta la ubicación geográfica del territorio, la existencia de una fábrica de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino con capacidad de producción de 10 MWp anuales y la experiencia de una empresa de servicios con más de 18 mil sistemas fotovoltaicos diseñados e instalados en Cuba y en el extranjero, estas entidades son la Empresa de Componentes Electrónicos del Grupo de la Electrónica y la división EcoSol Energía de Copextel S.A. respectivamente.

A partir de un supuesto sistema de referencia de 50 kWp conectado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), se presenta un análisis de los factores que

influyen en el costo nivelado de la electricidad, el cual se calcula para diferentes condiciones, constituyendo una referencia para las tarifas eléctricas a usar en este tipo de servicio. Los resultados se utilizan para estudiar el comportamiento del período de recuperación y la tasa interna de retorno de la inversión, dos de los indicadores económicos más utilizados para evaluar las inversiones (Cubaenergía, 2011).

## **1.2. Situación de las energías renovables**

La energía renovable se está convirtiendo rápidamente en un gran negocio. El Organismo Internacional de Energía prevé que recibirá la tercera parte del total de nuevas inversiones para la generación de energía eléctrica en los países europeos en los próximos treinta años. En los países en desarrollo se ha instalado ya prácticamente la mitad de la capacidad de generación de los 160 Gigawatts de energía renovable del mundo, mientras que países como Brasil, China y la India marchan a la cabeza en el desarrollo de esas tecnologías.

Hay más de 4,5 millones de consumidores de electricidad generada a partir de fuentes renovables en Europa, el Japón y América del Norte, señala el Informe de 2005 sobre el estado mundial de las energías renovables.

Más de 40 millones de hogares en todo el mundo, más de la mitad de ellos en China, obtienen el agua caliente de los colectores solares instalados en los techos. Y 16 millones de familias de los países en desarrollo cocinan sus alimentos y alumbran sus hogares con biogás. Grandes bancos comerciales, como Citigroup, ANZ Bank y el Royal Bank of Canadá, financian esta actividad como una de las principales. Morgan Stanley invierte en la energía eólica en España. Goldman Sachs compró una empresa de desarrollo tecnológico de la energía eólica en los Estados Unidos. El capital de riesgo de las empresas productoras de tecnología para energías no contaminantes con casa matriz en los Estados Unidos ronda los mil millones de dólares anuales. El Banco Europeo de Inversiones aportó más de 1 800 millones de dólares para energías

renovables entre 2002 y 2004, y proyecta duplicar el porcentaje de préstamos para proyectos de energía de estas fuentes.

### **1.2.1. Potencial energético mundial proveniente del sol**

La energía solar directa y la indirecta presentan las características de tener una distribución amplia, de modo que resulta particularmente óptima para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad.

La energía que el sol irradia anualmente hacia la tierra corresponde a  $1,5 \cdot 10^9$  TWh= $1,7 \cdot 10^5$  TW/año. De ella, un 33 % se refleja desde la atmósfera hacia el espacio, 44 % es mayormente energía térmica, que es reflejada por la tierra bajo la forma de rayos infrarrojos; 21 % se usa en la vaporización de agua (formación de nubes), 2 % se transforma en energía almacenada en el viento (eólica), y en las olas en las mareas, solo el 1 % se almacena químicamente (fósiles) y biológicamente (biomasa).

Al considerar la energía solar técnicamente utilizable y teniendo en cuenta las pérdidas en su transformación, se podrían obtener, cada año, los siguientes índices disponible de consumidor en TW/año: 19 de la solar directa, 1 de viento, 2 de biomasa, 1,5 de agua, 1,5 de geotérmica, mareas, olas, etc. Con un total de 25. Este valor es tres veces superior al consumo mundial por año de energía al nivel de consumidor (aproximadamente 7,5 TW/año, siendo 11 TW/año el consumo anual de las fuentes primarias), (Turrini, 2006).

### **Desarrollo de los Paneles Fotovoltaicos**

A través de las relaciones sociedades públicas y privadas con la industria, académicas, y laboratorios nacionales, el programa de energía solar de las tecnologías del departamento de energía de los Estados Unidos, patrocina la investigación, el desarrollo, y las actividades de la transformación del mercado para reducir el coste de energía solar. Estas actividades incluyen:

- ✓ Investigación y desarrollo las redes de Paneles Fotovoltaicos y perceptiblemente mejorar el coste, la confiabilidad, y el funcionamiento de los dispositivos, componentes, y sistemas.
- ✓ Concentrando en la Investigación y Desarrollo de la energía solar para mejorar utilidad-escalar de los sistemas eléctricos y demostrar almacenaje eficaz que brindan dichas tecnologías.
- ✓ Integración de sistemas para facilitar la conexión de las tecnologías solares con la red eléctrica (Energy, 2010).

### **1.2.2. Potencial energético mundial proveniente del viento**

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigavatios (Global Wind, 2009)

En 2009 la eólica generó alrededor del 2% del consumo de electricidad mundial, cifra equivalente a la demanda total de electricidad en Italia, la séptima economía mayor mundial. En España la energía eólica produjo un 11% del consumo eléctrico en 2008 y un 13.8% en 2009 (World Wind Association, 2010).

Existe una gran cantidad de aerogeneradores operando, con una capacidad total de 159.213 MW, de los que Europa cuenta con el 47,9% (2009). EE.UU. y China, juntos, representaron 38,4% de la capacidad eólica global. Los cinco

países (EE.UU., China, Alemania, España e India) representaron 72,9% de la capacidad eólica mundial en 2009, ligeramente mayor que 72,4% de 2008. La Asociación Mundial de Energía Eólica (*World Wind Energy Association*) anticipa que una capacidad de 200.000 MW será superada en el 2011. En 2006, la instalación de 7,588 MW en Europa supuso un incremento del 23% respecto a la de 2005.

### **1.2.3. Potencial energético proveniente de la biomasa: la leña y el carbón vegetal**

Unos de los recursos biomásicos más utilizados para la producción de energía son la leña y el carbón vegetal. Por lo que ambos tienen un peso significativo en los países en vías de desarrollo.

Un presupuesto energético típico, en un país en vía de desarrollo, depende mucho de la leña y del carbón vegetal, para la cocina y la calefacción doméstica. Los tres principales aspectos a tomarse en cuenta, cuando se formula una política energética para la leña son:

- ✓ Las dimensiones actuales y características del recurso maderero y de su futuro desarrollo
- ✓ El esquema actual del consumo de leña y de carbón vegetal, y su posible desarrollo futuro
- ✓ Cómo se produce y distribuye la oferta actual, y qué posibilidades hay de racionalización y mejora

El consumo per cápita mundial de leña, incluyendo el carbón vegetal, fue estimado en 1978 en 0,37 m<sup>3</sup>. Sin embargo, el empleo per cápita en el mundo desarrollado era de sólo 0,13 m<sup>3</sup>, comparado con los 0,46 m<sup>3</sup> del mundo en desarrollo. Los países desarrollados tienen un alto consumo global de energía por persona, en el cual la madera es una componente menor; los países en desarrollo tienen un bajo insumo de energía per cápita, representado principalmente por la leña y el carbón vegetal (La Biomasa, 2007).

## **Consumo mundial de leña y carbón vegetal**

El consumo básico per cápita puede estimarse en 1.200 kg anuales de leña con 30% de contenido de humedad. Este valor se aplica a los hornos y fogones de cocina, tradicionalmente de baja eficiencia. Las cocinas económicas muy eficientes pueden bajar este valor a 450 kg. El consumo de carbón vegetal varía aproximadamente entre 60 y 120 kg per cápita por año, y a los fines de una planificación preliminar, puede usarse el valor de 100 kg, convertible desde alrededor de 700 kg de madera seca, necesarios para producirla, teniendo en cuenta las pérdidas de transporte. El contenido calórico de 100 kg de carbón vegetal, desmenuzado, equivale aproximadamente a alrededor de 300 kg de madera seca al aire (FAO, 2007).

### **1.3. Situación de las energías renovables en Cuba**

Hasta diciembre de 2010, las instalaciones que en Cuba tienen forma de medición, se encuentran aportando energía al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Estas instalaciones produjeron 178,1 GWh (aproximadamente 4 días de generación del país) y sustituyeron 45 747 toneladas de petróleo. En la actualidad existen un total de 26 814 instalaciones que utilizan las fuentes renovables de energía (Saunders, 2011):

- ✓ 4 parques eólicos, con un total de 20 aerogeneradores: Se completó la instalación y puesta en marcha del Parque Gibara II
- ✓ 8 677 molinos de viento
- ✓ 9 624 paneles fotovoltaicos
- ✓ 6 447 calentadores solares
- ✓ 554 plantas de biogás
- ✓ 173 instalaciones hidroeléctricas
- ✓ 608 hornos de producción de ladrillos que utilizan biomasa forestal
- ✓ 57 turbogeneradores y 67 calderas en los 61 centrales azucareros del país

- ✓ La disponibilidad técnica de las instalaciones de fuentes renovable fue entre un 87 y 93%. En las Centrales Hidroeléctricas se alcanzó un 92,6%
- ✓ En números absolutos, 2010 fue el de mayor generación eólica del país
- ✓ Se logra la mayor generación en tiempo inactivo de la Industria Azucarera, al utilizar paja, bagazo sobrante, lodos y otros residuos forestales
- ✓ Se evitó la emisión de 142 862 toneladas de CO<sub>2</sub>

#### **1.4. Situación de las energías renovables y convencionales en Ecuador**

El sistema energético ecuatoriano es un sistema basado en fuentes de energía de origen fósil y energías renovables, siendo el peso de cada fuente energética, durante el año 2006, de un 89 % y 10 % respectivamente. Alcanzando durante ese mismo año una producción total de energía primaria de 12.853 ktep.

Si se analiza la generación de energía eléctrica casi la mitad de la producción es de origen hidráulico. Pero, a pesar de la alta participación de las energías renovables en la producción eléctrica ecuatoriana, hasta el momento tan sólo se está aprovechando el 12 % del potencial hidroeléctrico del país. El porcentaje de la producción de energía primaria en el año 2006 es de (Estadísticas del...2007):

- ✓ Renovables 10%
- ✓ Hidráulica 5%
- ✓ Combustibles renovables y residuos 5%
- ✓ Electricidad Importada 1%
- ✓ Gas 16%
- ✓ Petróleo 64%
- ✓ Derivados del petróleo 9%
- ✓ Generación energía eléctrica por tipo de fuente, % (2007)
- ✓ Eólica 0,01%
- ✓ Solar 0,00%
- ✓ Hidráulica 49,66%

- ✓ Térmica 45,60%
- ✓ Importación 4,73%
- ✓ Renovables 49,67%

### **1.5. Situación energética en comunidades rurales cubanas**

El acceso al servicio eléctrico es una de las mayores aspiraciones de la población rural cubana debido a su positiva influencia sobre las condiciones de vida (James, 2001). No obstante los esfuerzos realizados y debido a las características topográficas y demográficas (baja densidad de población), en provincias como Santiago de Cuba, Guantánamo y Granma, la tasa de electrificación es mucho menor que la media nacional. Aunque la población sin este servicio no representa una fracción importante del total nacional (solamente alrededor de 4%) ella constituye un sector estratégico para toda la sociedad por lo que su electrificación sigue siendo un objetivo de alta importancia, según lo demuestra el reciente programa nacional de electrificación de escuelas y consultorios médicos rurales (Díaz, 2001) emprendido por el estado cubano. Por otra parte, la generación local con grupos electrógenos Diesel ha demostrado ser insostenible en lugares remotos y de difícil acceso en el contexto cubano actual.

Una alternativa que ha ido cobrando prestigio por su probada eficacia, es el uso de las Fuentes Renovables de Energía entre las que ocupa un lugar destacado la fotovoltaica, ya que posee la más alta adaptabilidad a las condiciones demográficas, geográficas y climáticas del país. Por esto se considera con las mejores perspectivas para la electrificación rural de objetivos aislados en sentido general (Díaz y Álvarez, 2004).



### **1.6. Sistemas de energización renovables a comunidades rurales**

Según las conclusiones del informe de las perspectiva de la World Energy Outlook, sobre 1.6 mil millones de personas en los países en desarrollo, no tienen acceso a la electricidad en su hogar (IEA, 2006). La electricidad es imprescindible en la mayoría de las actividades diarias, por ejemplo la iluminación, la refrigeración y el funcionamiento de la casa y sus aplicaciones. Es por eso que son particularmente cruciales para mejorar la calidad de vida. Las comunidades no electrificadas están generalmente aisladas y dispersas, y la extensión de la red eléctrica no es siempre factible. En esos casos, las tecnologías solas del soporte renovables se presentan un potencial y soluciones competitivas para satisfacer demandas locales de la electricidad a este tipo de comunidad.

Las energías renovables se generan de recursos naturales y se regeneran naturalmente. Los sistemas de energía renovables (RES, por si siglas en inglés) incluye el viento, el sol, las olas, las mareas, la biomasa y el calor geotérmico, siendo el sol la principal. Los RES son caracterizados por una alta dispersión geográfica comparada a las fuentes convencionales de energía, haciendo el potencial de las RES, natural de una región generalmente más alto que la disponibilidad del petróleo o del gas, de los que la distribución en mundo se concentra claramente en unos pocos países (Domínguez y Pinedo-Pascua, 2008).

### **1.7. Sistemas híbridos de energización en comunidades rurales**

El concepto de los sistemas de energía renovables integrados o híbrido (IRES, por su siglas en inglés) fue propuesto primero por Ramakumar (2004) quién evaluó los aspectos tecno-económicos de un IRES descentralizado en reducida escala para las fuentes de energía renovables existentes en las áreas rurales de países en vías de desarrollo. Estos estudios fueron realizados en base de las diversas demandas energéticas como cocinar, el riego, pequeñas industrias

y el uso de la electricidad en viviendas. Ahmed y Cohen (1994) encontraron que en la planificación de energías renovables integrado (IREP, por sus siglas en inglés) requiere la consideración de sistemas para uso general como lado del suministro, lado de la demanda, la transmisión y la distribución. Un acercamiento basado en el conocimiento fue sugerido por Ramakumar et al. (1992 y 1990).

Los Sistemas Híbridos para Generación de Energía Eléctrica (SHGEE) son sistemas de generación de energía eléctrica que emplean alguna combinación de fuentes renovables de energía, como la eólica, solar, hidráulica, biomasa, etc.; opcionalmente auxiliadas con alguna fuente de generación a base de combustibles fósiles, y con almacenamiento en baterías.

El funcionamiento de un sistema híbrido es difícil de verificar por la intermitencia de recursos renovables, por la necesidad de equiparar el suministro eléctrico con la demanda, y por el gran número de combinaciones y tamaños de componentes que darán pie a configuraciones potenciales.

Sin embargo, hoy en día es una de las aplicaciones más promisorias en la tecnología de energías alternativas en áreas remotas donde las condiciones de instalación de redes eléctricas y plantas diesel no son viables económicamente (Domínguez, 2009).

Según Wichert (1997), se ha demostrado que los SHGEE disminuye considerablemente el costo total del ciclo de vida de sistemas energéticos aislados para disímiles aplicaciones al mismo tiempo que proveen un suministro confiable de electricidad mediante la combinación de diferentes fuentes de energía. El término Sistemas Híbridos describe un sistema aislado de generación eléctrica que combina varias fuentes energéticas alternativas y convencionales junto a un sistema de almacenamiento químico mediante baterías de plomo ácido.

Entre las principales aplicaciones de los SHGEE se encuentran: la provisión de energía eléctrica para pequeños asentamientos poblacionales y/o agroindustriales en áreas aisladas, en centrales repetidoras de telecomunicaciones, estaciones de bombeo de fluidos, atención hospitalaria básica, construcciones civiles, atención a desastres, puestos militares, recreación, etc. Y en casos que impliquen distancias mayores a 3 km de la línea de distribución más cercana, resulta más económica la instalación de un sistema híbrido de generación que invertir en extender la red (Jayadev ,1995).

### **1.8. Herramientas para el diseño de sistemas energético renovables**

- **Solar Design Studio V. 6.0**

Solar Design Studio v. 6.0 es un software diseñado para simular el funcionamiento anual, en base horaria, de un sistema de energía fotovoltaica, de acuerdo con el diseño y los datos climáticos seleccionados por el usuario (Figura 1.6). El propósito del programa es ayudar en el diseño de un sistema Fotovoltaicos (FV), facilitando una amplia y precisa información sobre la energía generada, el consumo, el apoyo energético necesario y los aspectos financieros relativos a la instalación del sistema propuesto. Solar Design Studio V. 6.0 va dirigido a los profesionales en el diseño e investigación de sistemas FV, pero se ha desarrollado de forma que también los diseñadores noveles puedan evaluar sus diseños (Team, 2011).

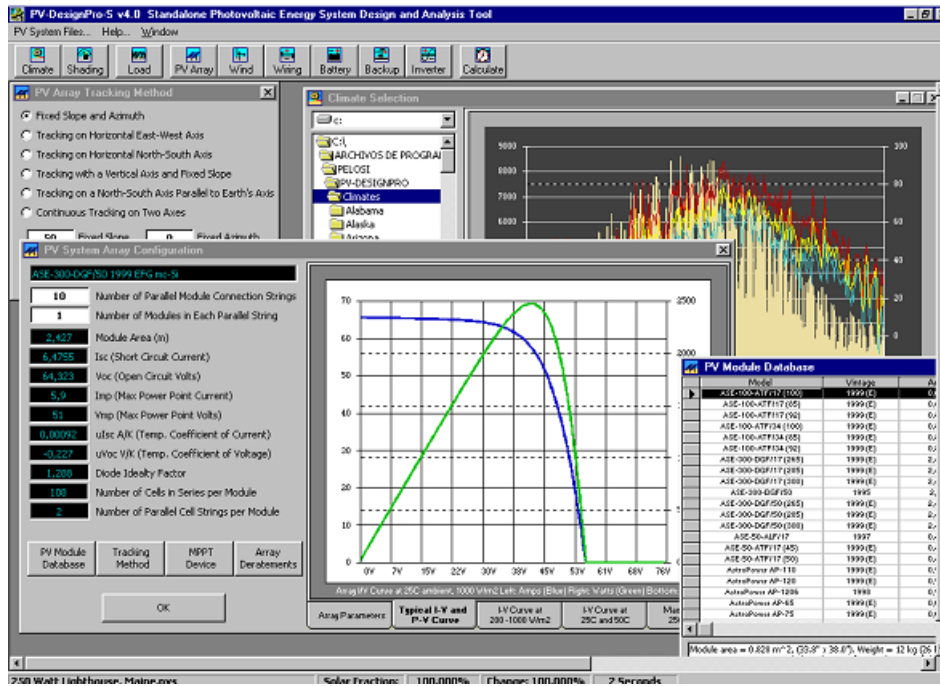


Figura 1.6. Interfaz del software Solar Design Studio V. 6.0

- PVSol

PVSol viene con datos el climático de forma gratuita el software. Esto viene pre-cargado con más de 2000 los datos climáticos globales lugares y le permite agregar datos personalizados climáticos en su base de datos según sea necesario. El PVSol Pro presenta una opción de PhoToPlan donde se puede crear un plan de calidad fotográfica de las áreas de su techo. Con sólo una foto de la cubierta y unas dimensiones de referencia que usted puede crear una representación de la propiedad con módulos integrados.

Diseña una conexión a red de sistemas fotovoltaicos de forma rápida y sencilla, mientras que el programa comprueba todos los criterios físicos y los valores umbral (por ejemplo, de salida, voltaje y corriente). Determinar el número de módulos para cada sub-serie con la instalación de diseño de techo. Produce informes profesionales con gráficos precisos y de datos.

- **SIG (Sistemas de Información Geográfica)**

La caracterización espacial de las energías renovables muestra la enorme variabilidad espacio-temporal de estas fuentes frente a la distribución de los combustibles fósiles. Esta distribución de las energías renovables es sumamente dispar entre las distintas fuentes. Esta disparidad, sin embargo, hace que en prácticamente cualquier lugar podamos contar con al menos una fuente de carácter autóctono. Esta riqueza de las renovables implica por otro lado un nivel de complejidad del sistema mucho mayor que el abastecimiento por fuentes convencionales caracterizado fundamentalmente por la especialización geográfica entre oferta y demanda, con un modelo de generación concentrado y grandes centros de consumo distantes de los recursos y de la generación.

La heterogeneidad espacial de las fuentes renovables hace que se adecuen especialmente, en términos de producción de electricidad, tanto a la resolución de problemas de electrificación rural como a la generación distribuida de electricidad. Por ello, la utilización de los SIG es muy adecuada para el estudio de estas facetas dada la gran variabilidad y complejidad del sistema oferta-demanda de energía basado en fuentes renovables, lo cual, viene avalado por la enorme literatura con la que podemos contar al respecto (Domínguez et al., 2008).

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Descripción de la comunidad caso de estudio**

El caso aplicación se desarrolló en la comunidad rural “Las peladas”, Zona No Interconectada al sistema eléctrico nacional (ZNI). Ella pertenece al municipio Bartolomé Masó, de la provincia Granma. Ubicada a 15 km de la cabecera municipal.

El pueblo urbano más cercano es “Bueycito” a 12 km de distancia de la comunidad objeto de estudio. También pertenece al Parque Nacional “Sierra Maestra” el cual está declarado, por la institución de Flora y Fauna de la provincia, zona protegida. Tiene 14 viviendas con 56 habitantes. Posee 3 km<sup>2</sup> de territorio limítrofe, está a 4 km de la red de transporte más importante y sin acceso a servicio telefónico.

En esta comunidad forma parte de las prioridades del gobierno de la región para la energización a través de fuentes renovables.

### **2.2. Descripción de HOMER para un sistema híbrido de suministro de electricidad con fuentes renovables y convencionales**

Este software es desarrollado por National Renewable Energies Laboratory de los Estados Unidos. Homer significa “Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables”. Realiza un análisis técnico-económico de sistemas que integran recursos renovables y no renovables de energía.

Simula el servicio por año de cada una de las posibles combinaciones de sistemas, calcula los costes durante un rango de tiempo. Realiza un análisis de sensibilidad con el fin de ajustar el sistema a formas óptimas.

El HOMER no solo abarca recursos energéticos renovables (sol, viento, agua) sino también sistemas de conversión que emplean una gran variedad de combustibles (diesel, gasolina, metanol, etanol, gas natural, biogás, hidrógeno).

HOMER simula, optimiza y realiza análisis de sensibilidad. En el proceso de simulación, Homer modela el desempeño de un sistema en particular para cada hora del año determinando la factibilidad técnica y el costo del ciclo de vida. En el proceso de optimización, Homer simula diferentes configuraciones del sistema buscando una que satisfaga las restricciones económicas al menor costo del ciclo de vida. El proceso de análisis de sensibilidad, Homer realiza múltiples optimizaciones bajo un rango de parámetros de entrada variables que miden el efecto del cambio en las variables sujetas a incertidumbre.

La optimización determina el valor óptimo de las variables sobre las cuales el diseñador del sistema tiene control tales como la mezcla de componentes que forman parte de sistema y el tamaño o cantidad de cada uno. El análisis de sensibilidad ayuda a evaluar el efecto de los cambios o incertidumbres en las variables sobre las cuales el diseñador no tiene control, tales como la velocidad de viento promedio o el precio futuro del combustible fósil (Domínguez, 2009).

### **2.2.1. Metodología para el HOMER**

La metodología consiste en cubrir las tareas de simulación y optimización que ejecuta la herramienta computacional. Se incluye también un caso de análisis de sensibilidad. Básicamente se pretende seleccionar la configuración del sistema que permita atender la demanda de electricidad basados en la fiabilidad técnica y el costo del ciclo de vida.

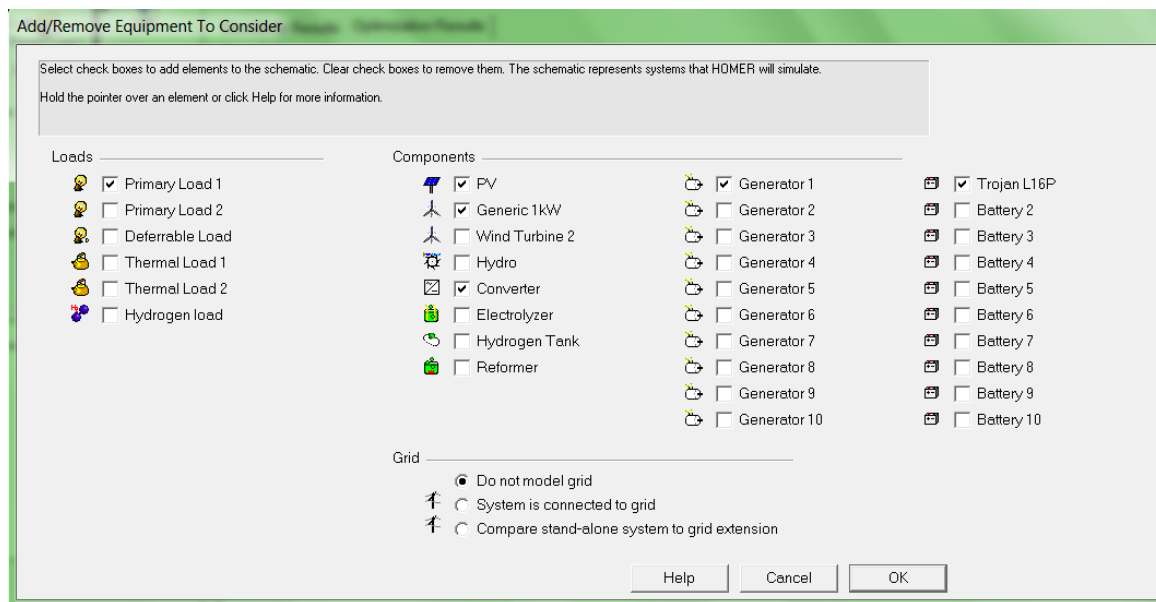
Para ello se mostrarán los parámetros de entrada de la herramienta computacional los cuales se pueden clasificar en tres grupos: Recursos, equipos y otros.

#### **Metodología:**

**Paso 1: Establecer la carga primaria y el posible sistema energético híbrido**

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Materiales y Métodos*

La carga primaria es la capacidad instalada en la comunidad, es decir, la demanda del sistema y, en función de eso, establecer el sistema energético que va a cubrir dicha demanda (Figura 2.1).



Fuente: Homer©

**Figura 2.1. Selección de la carga primaria y el equipamiento energético**

Son los decisores los encargados de trabajo de seleccionar el equipamiento en función de los recursos más abundantes y los más factibles económicamente. El HOMER incluye a varios (Figura 2.1):

- ✓ Solar Térmica
- ✓ Solar Fotovoltaica
- ✓ Hidráulica
- ✓ Generadores eólicos
- ✓ Generador Autónomo Convencional (GAC)
- ✓ La Red Eléctrica Nacional
- ✓ Baterías eléctricas



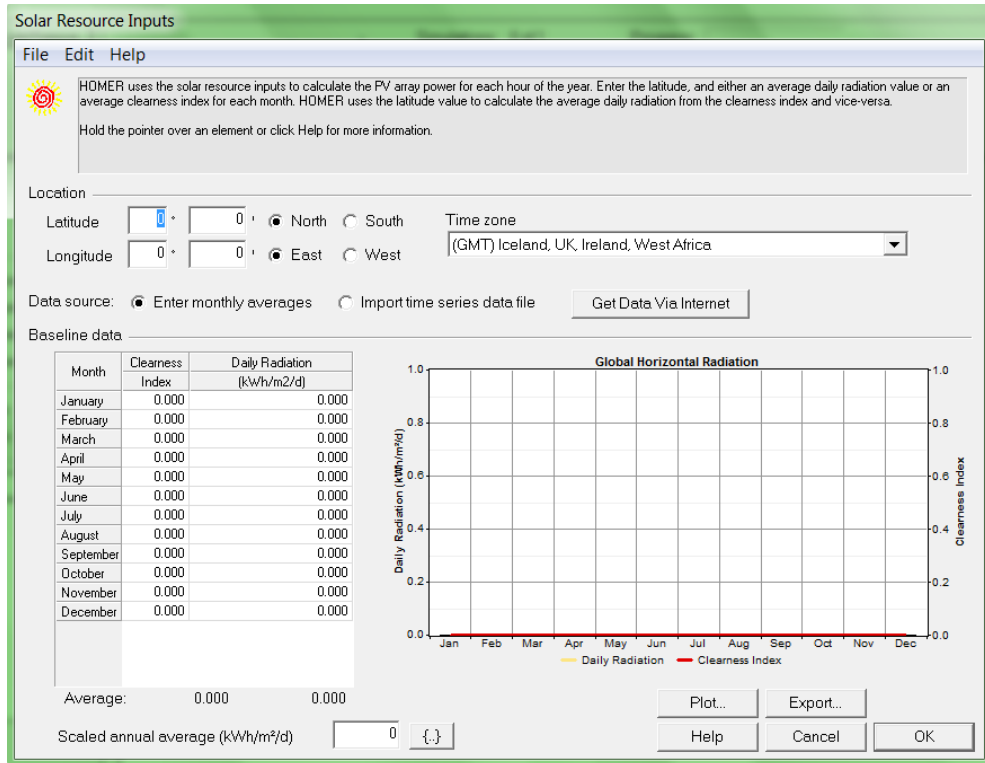
✓ Inversores eléctricos

Una vez seleccionado el sistema energético híbrido se determinan las respectivas disponibilidades de los recursos energéticos así como sus costos.

**Paso 2: Entrada de la disponibilidad de recursos energéticos**

En el caso del Sistemas Híbridos para Generación de Energía (SHGEE) considerado en este capítulo como ejemplo, los recursos energéticos involucrados son: energía solar, eólica y combustible fósil en virtud de que la producción de energía serán con Paneles Fotovoltaicos, un Generador Eólico y un Generador Autónomo Convencional (GAC).

*Recurso Solar:* se ingresan los valores de radiación global promedio mensual para cada uno de los meses del año, así como también la información referente a la posición geográfica del sitio para el cual se realiza el diseño (Figura 2.2.).



Fuente: Homer©

Figura 2.2. Datos de entrada del recurso solar

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Materiales y Métodos*

*Recurso Eólico:* Está en función del promedio de velocidad del viento mensual (Figura 2.3.). Estos datos se toman de estudios o del mapa eólico de cada país. Se establece un promedio anual basado en estos datos y se puede incluir otros promedios de otros años para establecer un análisis de sensibilidad.

Month	Wind Speed (m/s)
January	0.000
February	0.000
March	0.000
April	0.000
May	0.000
June	0.000
July	0.000
August	0.000
September	0.000
October	0.000
November	0.000
December	0.000

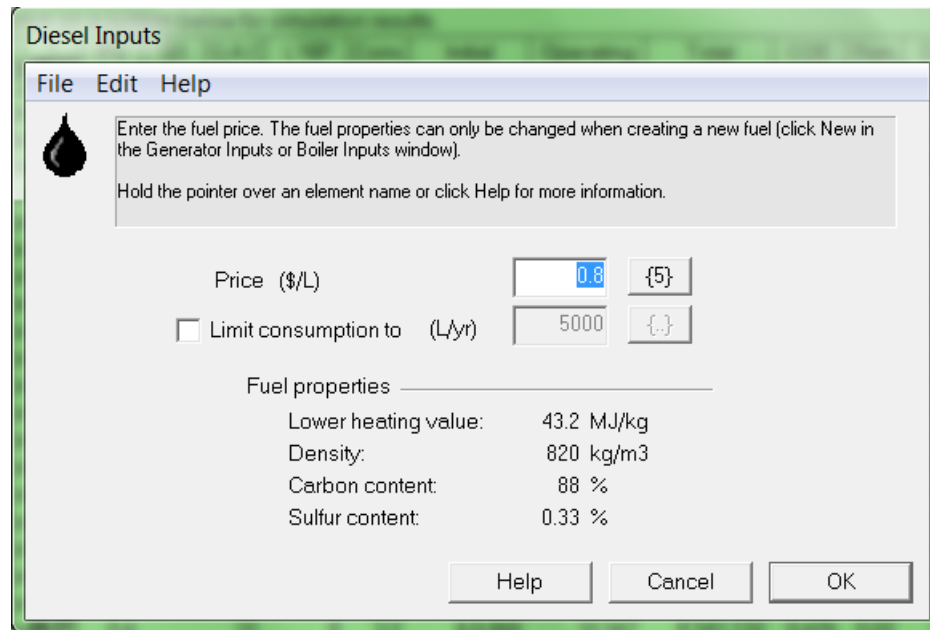
Annual average: 0.000

Scaled annual average (m/s) 0 {.}

Fuente: Homer©

**Figura 2.3. Datos de entrada del recurso eólico**

*Recurso combustible fósil:* En este caso los datos requeridos competen únicamente al combustible empleado el cual es diesel (Figura 2.4.).



Fuente: Homer©

**Figura 2.4. Datos de entrada para el recurso fósil**

### **Paso 3: Determinación de los parámetros principales del equipamiento**

#### **Equipos**

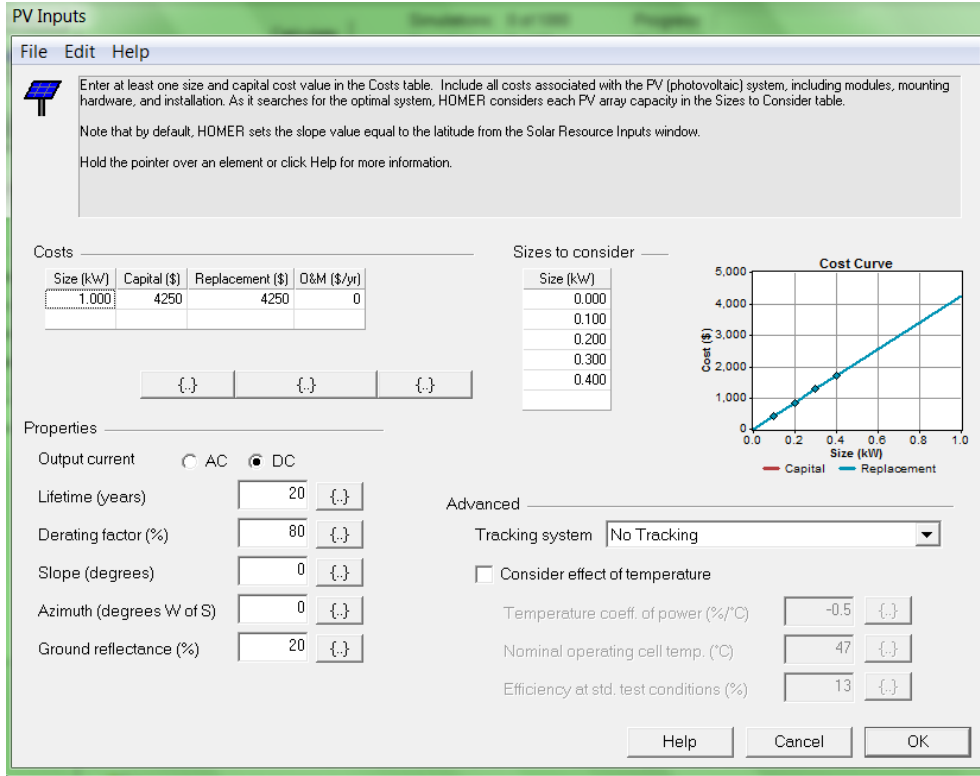
*Generador Fotovoltaico (FV):* Se ingresan las potencias de generación que se quieran considerar en el análisis, así como los costos asociados al sistema de generación eléctrica fotovoltaica en cuanto a su costo de adquisición, reemplazo y operación y mantenimiento (O&M).

Los costos iniciales y de reemplazo del generador fotovoltaico involucran todos los subsistemas asociados a este, los cuales incluyen:

- ✓ Paneles solares
- ✓ Estructuras de montaje
- ✓ Sistema de seguimiento
- ✓ Sistema de control (MPPT)
- ✓ Cableado e instalación

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Materiales y Métodos*

También es posible anexar otra información de carácter técnico como la inclinación de los paneles, su vida útil, la orientación y seguimiento, y el efecto de la temperatura ambiente (Figura 2.5.).



Fuente: Homer©

**Figura 2.5. Datos de entrada del Generador FV**

La información técnica del generador fotovoltaico, las potencias disponibles, así como los costos asociados al sistema se obtienen de comercializadores del área donde se diseña el Sistema Híbrido para Generación de Energía Eléctrica (SHGEE).

*Generador Autónomo Convencional:* De igual manera que en el punto anterior, se deben ingresar los parámetros técnicos, de costos (Inicial, Reemplazo, de Operación y Mantenimiento (O&M)), de programación y emisiones de la planta térmica. Esta información también tiene un carácter local de manera que el diseño las refleje lo más fielmente posible (Figura 2.6.).

## Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico Materiales y Métodos

The figure displays four screenshots of the HOMER software interface for configuring a fossil fuel generator. Each window includes a 'Generator Inputs' title bar and a 'File Edit Help' menu.

- Top Left Screenshot:** Shows the 'Costs' table and 'Sizes to consider' list.
 

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
2,200	458	458	0.600
5,000	1041	1041	1.364
6,500	1353	1353	1.773

 The 'Cost Curve' graph plots Cost (000 \$) vs Size (kW), showing a linear relationship between capital and replacement costs.
- Top Right Screenshot:** Shows the 'Fuel Curve' and 'Efficiency Curve' windows. The fuel curve is defined by an intercept cost of 0.08 \$/hr/kWh rated and a slope of 0.25 \$/hr/kWh output. The efficiency curve shows efficiency (%) increasing from 0% at 0% output to approximately 35% at 100% output.
- Bottom Left Screenshot:** Shows the 'Generator Schedule' window. It includes a grid for selecting operating modes (Forced on, Forced off, Optimized) over a 24-hour period for each month from Jan to Dec. A legend indicates that red cells represent 'Optimized' and green cells represent 'Forced on'.
- Bottom Right Screenshot:** Shows the 'Emissions factors' window. Key values include Carbon monoxide (0.65 g/L of fuel), Unburned hydrocarbons (0.72 g/L of fuel), Particulate matter (0.49 g/L of fuel), and Nitrogen oxides (2.2 g/L of fuel). The destination of fuel carbon is listed as 99.3% Carbon dioxide, 0.6% Carbon monoxide, and 0.1% Unburned hydrocarbons.

Fuente: Homer©

**Figura 2.6. Datos de entrada del generador de combustible fósil**

The figure shows the 'Battery Inputs' window in HOMER software. It includes a 'File Edit Help' menu and instructions for entering battery data.

- Battery type:** Trojan L16P
- Manufacturer:** Trojan Battery Company
- Website:** [www.trojan-battery.com](http://www.trojan-battery.com)
- Nominal voltage:** 6 V
- Lifetime throughput:** 1,075 kWh
- Costs table:**

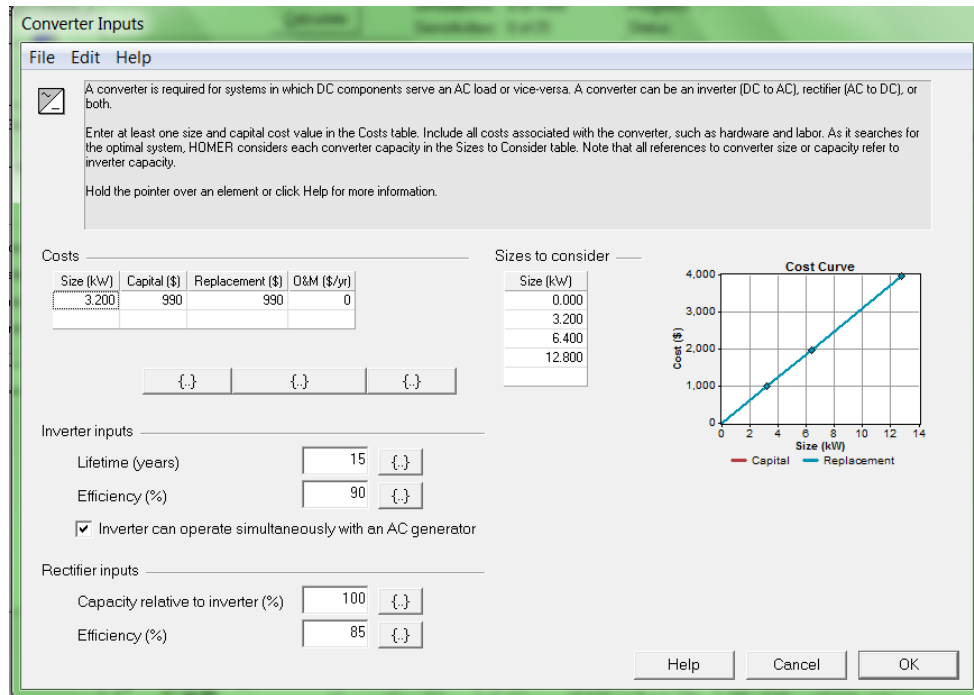
Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	141	141	4.00
- Sizes to consider:** A list of battery quantities: 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72.
- Advanced options:** Batteries per string: 1 (6 V bus); Minimum battery life (yr): 4.
- Cost Curve graph:** Plots Cost (000 \$) vs Quantity, showing a linear relationship between capital and replacement costs.

Fuente: Homer©

**Figura 2.7. Datos de entrada para las baterías consideradas**

**Baterías:** Homer© incluye en este caso la posibilidad de escoger el fabricante de la batería, con lo cual sólo queda ingresar los correspondientes costos y el tamaño a considerar del banco de baterías. Una opción interesante de la herramienta es la de incluir nuevos tipos de baterías que no estén listadas en la base de datos del programa (Figura 2.7.).

**Convertidor:** El convertidor se incluye dado el proceso de generación en corriente directa de los paneles FV y su posterior transformación a AC para la atención de la demanda. Aquí se consideran, como en los equipos anteriores, los parámetros técnicos y de costos asociados al equipo convertidor (Figura 2.8.)



Fuente: Homer©

**Figura 2.8. Datos de entrada para el convertidor considerado**

Una vez incluida la información en el programa, el proceso para realizar el análisis del SHGEE FV-Diésel-Biogás parte de los resultados de las simulaciones obtenidas. Para ello se crea una matriz de simulación en donde podemos consignar los valores de demanda eléctrica junto a la caracterización del combustible (sea diesel o mezcla dual diesel/biogás).

### Paso 4: Optimización

Es cuando el HOMER comienza a optimizar y simular el sistema basado en las disímiles combinaciones buscando que el sistema híbrido (la combinación de las alternativas) sean las más baratas (Figura 2.9.).

Sensitivity variables  
 Wind Speed (m/s) 5.15 Diesel Price (\$/L) 1.2  
 Double click on a system below for simulation results. Categoriz Overall Export... Details...

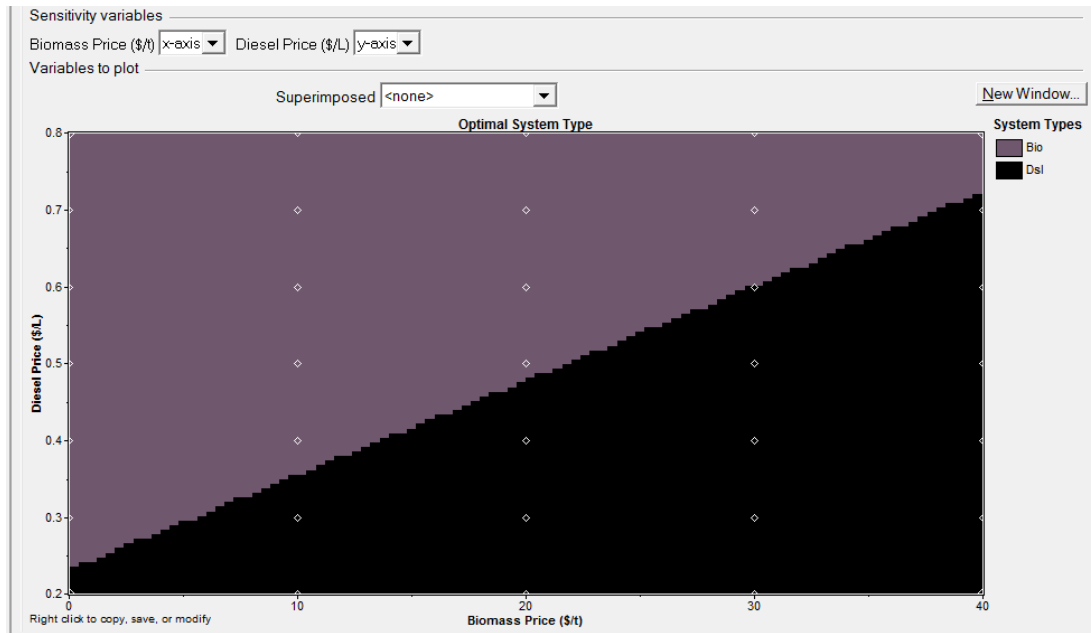
	PV (kW)	G.A.C (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	m (ft)	G.A.C (hrs)
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	8	6.4	\$ 9,858	16,144	\$ 216,230	0.666	0.02	11,911	6.0...	6.0...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	8	6.4	\$ 9,433	16,212	\$ 216,671	0.667	0.01	11,968	6.1...	6.1...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	8	6.4	\$ 8,583	16,336	\$ 217,407	0.669	0.00	12,075	6.1...	6.1...
<input checked="" type="checkbox"/>		10	8	12.8	\$ 10,138	16,267	\$ 218,088	0.672	0.00	11,972	5.9...	5.9...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	10	8	12.8	\$ 10,988	16,234	\$ 218,519	0.673	0.01	11,957	6.0...	6.0...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	8	12.8	\$ 11,838	16,196	\$ 218,883	0.674	0.02	11,911	6.0...	6.0...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	8	12.8	\$ 11,413	16,264	\$ 219,324	0.675	0.01	11,968	6.1...	6.1...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	8	12.8	\$ 10,563	16,388	\$ 220,060	0.678	0.00	12,075	6.1...	6.1...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	16	3.2	\$ 10,646	22,449	\$ 297,618	0.916	0.09	10,126	4.8...	4.8...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	24	3.2	\$ 11,774	22,371	\$ 297,747	0.917	0.09	10,065	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	16	3.2	\$ 10,221	22,499	\$ 297,833	0.917	0.08	10,169	4.8...	4.8...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	24	3.2	\$ 11,349	22,418	\$ 297,932	0.917	0.08	10,105	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	10	16	3.2	\$ 9,796	22,549	\$ 298,046	0.918	0.08	10,211	4.8...	4.8...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	10	24	3.2	\$ 10,924	22,467	\$ 298,127	0.918	0.08	10,146	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	16	3.2	\$ 9,371	22,599	\$ 298,260	0.918	0.07	10,254	4.8...	4.8...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	24	3.2	\$ 10,499	22,515	\$ 298,320	0.919	0.07	10,187	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	32	3.2	\$ 12,902	22,335	\$ 298,412	0.919	0.09	10,045	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>		10	16	3.2	\$ 8,946	22,649	\$ 298,475	0.919	0.07	10,296	4.8...	4.8...
<input checked="" type="checkbox"/>		10	24	3.2	\$ 10,074	22,566	\$ 298,543	0.919	0.07	10,229	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	32	3.2	\$ 12,477	22,383	\$ 298,603	0.919	0.08	10,086	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	10	32	3.2	\$ 12,052	22,433	\$ 298,825	0.920	0.08	10,128	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	32	3.2	\$ 11,627	22,482	\$ 299,027	0.921	0.07	10,169	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>		10	32	3.2	\$ 11,202	22,530	\$ 299,217	0.921	0.06	10,209	4.7...	4.7...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	10	40	3.2	\$ 14,030	22,314	\$ 299,276	0.922	0.09	10,042	4.6...	4.6...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	10	40	3.2	\$ 13,605	22,362	\$ 299,461	0.922	0.08	10,082	4.6...	4.6...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	10	40	3.2	\$ 13,180	22,409	\$ 299,648	0.923	0.08	10,122	4.6...	4.6...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1	10	40	3.2	\$ 12,755	22,458	\$ 299,841	0.923	0.07	10,163	4.6...	4.6...

Fuente: Homer©

**Figura 2.9. Optimización generada**

### Paso 5: Simulación

El HOMER simula los sistemas híbridos óptimos, basado en las variables sensibles del sistema. En este caso (Figura 2.9) son la velocidad del viento y el precio del combustible fósil. La simulación se realiza en virtud de que el decisor debe de tener una idea cuales son las variables sensibles y qué sistema es conveniente para cada variación. Se denota en colores diferentes (Figura 2.10) sistemas energéticos diferentes (los dos más adecuados) y en los ejes la variación de las variables sensibles. En cada caso de variación existe un sistema energético adecuado u óptimo.



Fuente: Homer©

**Figura 2.10. Simulación**

### **Paso 6: Análisis de sensibilidad**

Este análisis se hace para determinar cómo varía la alternativa óptima cuando se varían las variables sensibles del sistema. Las variables sensibles son las que más influyen en el costo de generación de energía. En el caso de un generador eólico es la velocidad del viento y en un GAC es las variaciones del precio del combustible. Esto es necesario debido a que el decisor necesita conocer qué tan cerca está la selección de un sistema óptimo de otro si hay variación en las variables independientes o sensibles.

### **2.3. Compilación de datos**

Los datos aportados para correr el software fueron aportados (Ver Anexos) por investigaciones anteriores realizadas por el equipo de trabajo del proyecto RESURL III de la Universidad de Granma y tratados por Zambrano y Maiquiza (2011) en su Trabajo de Diploma. Además de datos aportados en la web.



## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **3.1. Selección de los componentes del tipo de sistema energético híbrido**

Para la selección de los componentes de sistema híbrido a través de sistemas renovables de energía y/o convencionales, se practican debido a la imposibilidad (por los costos) de llevar la energía de la Red Eléctrica Nacional a la comunidad. Esto es debido a que es impracticable, según las normativas del Ministerio de la Industria Básica y la Unión Eléctrica, inversiones para la electrificación a zonas con distancias de la red mayores de cuatro kilómetros. Las alternativas que se escogen fueron en virtud de la posibilidad real de llevar la electrificación con fuentes renovables a la comunidad objeto de estudio por la disponibilidad de recursos energéticos locales. Además, se escogen otros equipos que son necesarios en un sistema de este tipo. En el caso que nos ocupa fueron:

- ✓ Generador Eólico
- ✓ Panel Fotovoltaico
- ✓ Generador Autónomo Convencional
- ✓ Batería eléctrica
- ✓ Inversor eléctrico

Se despreciaron otras alternativas (Biomasa, hidráulica, etc.) debido a la poca o ninguna existencia de recursos que puedan mantener durante largo tiempo el sistema.

#### **3.1.1. Determinación de la carga primaria**

La carga primaria es la demanda de la comunidad. Esto se proyecta por las organizaciones encargadas de la electrificación a comunidades aisladas de un sistema eléctrico, en este caso la institución competente para ello es Copextel. En el caso de esta comunidad se plantea por estas instituciones cada casa rural en Cuba deberá tener una potencia de 435 W y una demanda de 453 Wh/día

(Ver Anexo 2). En cuanto se determina la carga, el HOMER predice que la demanda es de 70 kWh con 9,6 kWp (Kilo watt pico). Esto significa que a una

**Tabla. 3.1.** Carga eléctrica necesaria en las diferentes horas del día

<b>Horas del día</b>	<b>Carga (kW)</b>
00:00-00:01	0.400
00:01-00:02	0.300
00:02-00:03	0.100
00:03-00:04	0.090
00:04-00:05	1.200
00:05-00:06	1.690
00:06-00:07	3.532
00:07-00:08	3.292
00:08-00:09	3.340
00:09-00:10	3.880
00:10-00:11	4.460
00:11-00:12	4.110
00:12-00:13	3.880
00: 14-00:15	3.900
00: 15-00:16	4.900
00: 16-00:17	5.100
00: 17-00:18	5.500
00: 18-00:19	4.600
00: 19-00:20	4.550
00:20-00:21	4.300
00:21-00:22	3.300
00:22-00:23	2.300
00:23-00:24	0.900
00:24-00:00	0.700

**Fuente:** Investigaciones realizadas en el marco del proyecto RESURL III, Universidad de Granma. 2010

hora determinada del día, los equipos planificados para cada casa, se combinarán y tendrán estos valores de demanda (Figura 3.1). Además el factor de carga es de 0.30.

### **3.1.2. Determinación de los recursos energéticos locales**

Los recursos primarios de la comunidad son el viento y el sol. Estos dos recursos, en los valores que se muestran, son típicos de una comunidad rural cubana. Se constata velocidades de viento variables dependiendo del mes que trate y en el caso del sol, la variabilidad es poco significativa (Tabla 3.2.).

**Tabla 3.2.** Disponibilidad de los recursos renovables

<b>Recursos Meses</b>	<b>Viento (en ms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sol (kWhm<sup>-2</sup>día)</b>
Enero	5.453	4.563
Febrero	5.345	4.567
Marzo	4.567	4.890
Abril	4.909	4.567
Mayo	5.000	4.945
Junio	5.567	4.897
Julio	5.563	4.900
Agosto	5.302	5.000
Septiembre	5.009	4.566
Octubre	5.101	4.563
Noviembre	4.998	4.567
Diciembre	5.000	4.678
<b>Promedio Anual</b>	<b>5.150</b>	<b>4.727</b>

**Fuente: Estudio aportado por el proyecto RESURL III. 2010**

Asimismo el GAC que deberá trabajar dentro del sistema híbrido, funciona con combustible convencional diésel. Los precios del combustible diésel se proyectó entre 0.80 a 1.20 \$/L, debido a la variaciones del precio en el mercado.

### **3.1.3. Selección de las capacidades de los equipos**

Para que el software que utilizamos en este trabajo pueda optimizar, se escogen los equipos y diferentes capacidades de ellos, de manera tal de que se pueda establecer diferentes combinaciones. Las capacidades de los equipos depende de la demanda de la comunidad (la carga). Por otro lado, las capacidades se escogieron debido a la existencia exclusiva de estos equipos en el país. En este caso (Ver Anexo 5) los equipos son:

- ✓ Generador Eólico Genérico de 1 kW de potencia
- ✓ Paneles Fotovoltaicos en los siguientes rangos de generación: 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 kW de potencia
- ✓ Generador Autónomo Convencional de 10 kW de potencia
- ✓ Baterías eléctricas: de 2.16 kWh de capacidad de generación
- ✓ Inversores eléctricos de 3.2, 6.4 y 12, 8 kW

En el caso de las baterías, se escogen bancos con disímiles cantidades de ellas (8, 16, 32,...hasta 72). Esto se practica para que el HOMER determine el sistema óptimo dependiendo esto de eliminar el exceso de electricidad y disminuir los costes del sistema. Ocurre lo mismo con los Inversores o Convertidores Eléctricos.

### **3.1.5. Precios de los equipos**

Los precios de todo el equipamiento del sistema propuesto influyen en el capital inicial del proyecto y en al Valor Actual Neto (VAN). Los precios de cada equipo se encuentra en al Anexo 4. Estos datos fueron aportados por la dirección provincial de Copextel en Granma.

### **3.1.6. Optimización con HOMER**

Para la optimización, el HOMER utilizó las variables mencionadas en apartados anteriores de este capítulo. HOMER realiza este proceso enfocado en que el

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*

sistema propuesto supla la demanda de la comunidad con el menor exceso de electricidad, el capital inicial y los posteriores costos para mantener el sistema en funcionamiento hasta cumplir su ciclo de vida útil y reemplazarlos por otros equipos. Los sistemas que suple totalmente la demanda y que cumplen con los costos más bajos son los primeros de la lista (Figura 3.1).

	PV (kW)	G1	G.A.C (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	G.A.C (hrs)
	0.4		10	16	3.2	\$ 8,296	10,246	\$ 139,275	0.429	0.00	10,829	4,905
	0.4		10	16	3.2	\$ 9,996	10,123	\$ 139,407	0.429	0.02	10,678	4,940
	0.2		10	16	3.2	\$ 9,146	10,190	\$ 139,411	0.429	0.01	10,766	4,949
	0.1		10	16	3.2	\$ 8,721	10,224	\$ 139,419	0.429	0.01	10,811	4,953
	0.3		10	16	3.2	\$ 9,571	10,158	\$ 139,424	0.429	0.02	10,723	4,945
			10	24	3.2	\$ 9,424	10,187	\$ 139,647	0.430	0.00	10,752	4,751
	0.4		10	24	3.2	\$ 11,124	10,058	\$ 139,695	0.430	0.02	10,592	4,767
	0.3		10	24	3.2	\$ 10,699	10,093	\$ 139,723	0.430	0.01	10,638	4,774
	0.2		10	24	3.2	\$ 10,274	10,127	\$ 139,736	0.430	0.01	10,680	4,775
	0.1		10	24	3.2	\$ 9,849	10,161	\$ 139,739	0.430	0.00	10,723	4,775
			10	32	3.2	\$ 10,552	10,158	\$ 140,405	0.432	0.00	10,733	4,709
	0.4		10	32	3.2	\$ 12,252	10,026	\$ 140,424	0.432	0.02	10,566	4,714

**Figura 3.1. Optimización**

**3.1.6.1. Análisis de sensibilidad**

Las variables sensibles del sistema eléctrico que se pretende proponer en esta investigación son los precios variables del combustible y la velocidad del viento. Primero se analizará en el sistema con valores mínimos con las variables. El sistema óptimo con los valores mínimos de combustible (0.80 \$/L) y velocidades de viento (5.15 m/s) está representado en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Resultados óptimos principales con 0.8 CUC/L**

Equipos\Sistema	GAC-Bat.	PV/GAC-Bat.	PV/GAC/Eol-Bat.
PV (kW)	-	0.4	0.1
GAC (kW)	10	10	10
Gen. Eólico (kW)	-	-	1
Cantidad Bat.	16	16	16
Convertidor (kW)	3.2	3.2	3.2
Capital Inicial (CUC)	8 296	9 996	9 371

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*

Op. y Mtto.(CUC/año)	10 246	10 123	18 497
Cptal. Total	→ <b>139 275</b> ←	139 407	245 828
Cost. Energ.(CUC/kWh)	0.429	0. 429	0.757
Exceso Eléct. (%)	0.00	0.02	0.07
Cant. Comb. (L)	10 829	10 678	10 254
Horas func. GAC	5	4.9	4.8

El mejor sistema es el de Grupo Autónomo Convencional-Baterías debido a que es el de menor costo total (139 275 CUC). Este sistema no es un sistema híbrido.

Lo que se busca con el análisis de sensibilidad es determinar el sistema óptimo si ocurren pequeñas variaciones en algunas de las variables que influyen en la producción de energía como se mencionó en el Capítulo 2. En este sistema influye la velocidad del viento, los precios del combustible diésel y en menor medida la radiación solar. Existe una particular relación de los costes con los costes del combustible. Es por ello que se comparó con dos diferentes precios del combustible. Para valores de combustible superiores (1.2 CUC/L) los resultados sería como indican en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Resultados óptimos principales con 1.2 CUC/L

<b>Equipos\Sistema</b>	<b>GAC-Bat.</b>	<b>PV/GAC-Bat.</b>	<b>PV/GAC/Eol-Bat.</b>
PV (kW)	-	0.4	0.4
GAC (kW)	10	10	10
Gen. Eólico (kW)	-	-	1
Cantidad Bat.	24	24	16
Convertidor (kW)	3.2	3.2	3.2
Capital Inicial (CUC)	9 424	11 124	10 646
Op. y Mtto.(CUC/año)	14 488	14 295	22 449
Cptal. Total (CUC)	194 626	→ <b>193 856</b> ←	297 618
Cost. Energ.(CUC/kWh)	0.599	0.597	0.916
Exceso Eléct. (%)	0.00	0.02	0.09

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*

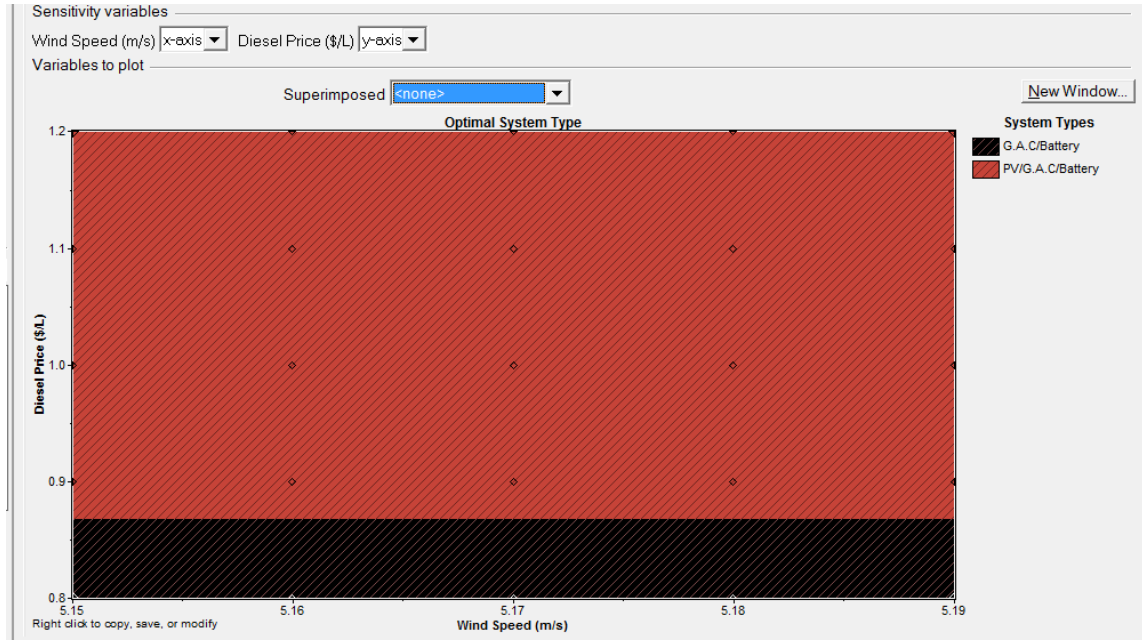
Cant. Comb. (L)	10 792	10 592	10 126
Horas func. GAC	4.7	4.9	4.8

En este caso es el sistema del Fotovoltaico/Grupo Autónomo Convencional-Baterías (PV/GAC-Bat.) es el menos costoso (193 856) por tanto el óptimo. Se pudieran realizar otras muchas variaciones para determinar más variable sensibles en el sistema pero eso depende de los que van a tomar decisiones.

### **3.1.7. Simulación**

En la simulación del sistema se puede visualizar el comportamiento de los dos sistemas óptimos seleccionados por el HOMER. En este caso son el Grupo Autónomo Convencional (10 kW)-Baterías y el de un Panel Fotovoltaico (1kW)/Grupo Autónomo Convencional (10 kW)-Baterías. En el eje Y (Figura 3.1) representa el precio del combustible y el eje X representa las diferentes velocidades del viento. El color rojo (Figura 3.2) representa el GEC/PV-Bat. y el negro el GAC-Bat. En esta figura se puede constatar que si los precios del combustible son inferiores a 0.9 CUC/L entonces el sistema óptimo es solo el GAC-Bat. pero, por el contrario, si los precios son por encima de este valor entonces es el GEC/PV-Bat. el óptimo.

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*



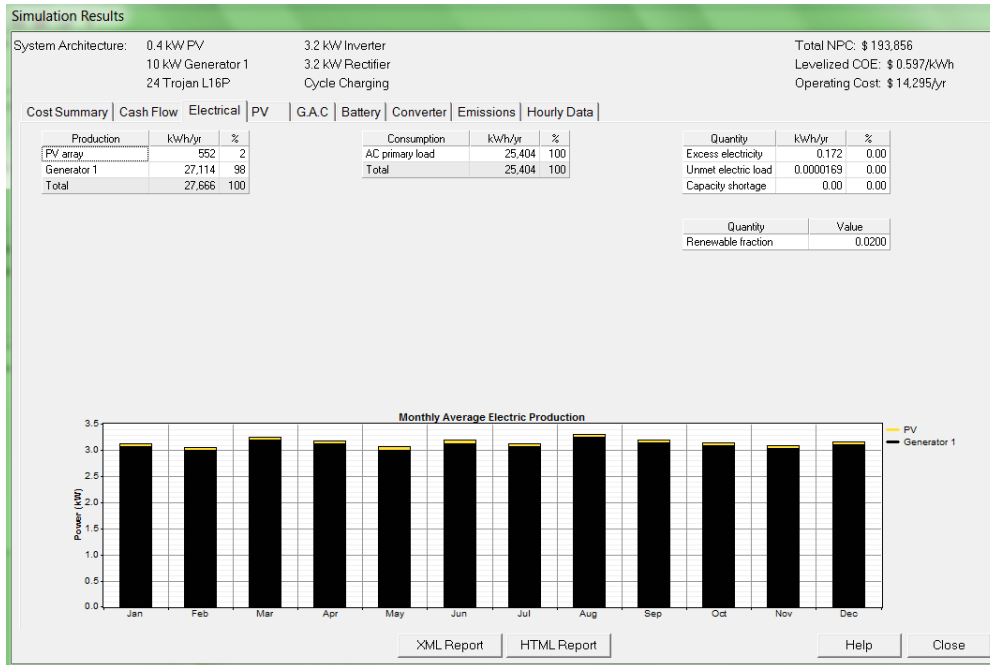
**Figura 3.1. Resultados de la simulación**

### 3.1.8. Esquema del sistema seleccionado

El sistema híbrido seleccionado (Figura 3.3) es un Panel Fotovoltaico (PV) de 0.4 kW de potencia de generación que funcionaría generando electricidad a razón de 552 kWh/año para un banco 24 baterías genéricas de 2,16 kWh y un voltaje nominal de 6 V cada una con autonomía de 12,5 horas. El sistema tendrá un exceso de electricidad de 0.172 kWh/año debido a que la demanda de la comunidad sería de 25 404 kWh/año. Asimismo tendrá un Generador Autónomo Convencional Genérico de 10 kW que producirá 27 114 kWh/año. El costo de producción de electricidad será de 0.59 CUC/kWh.



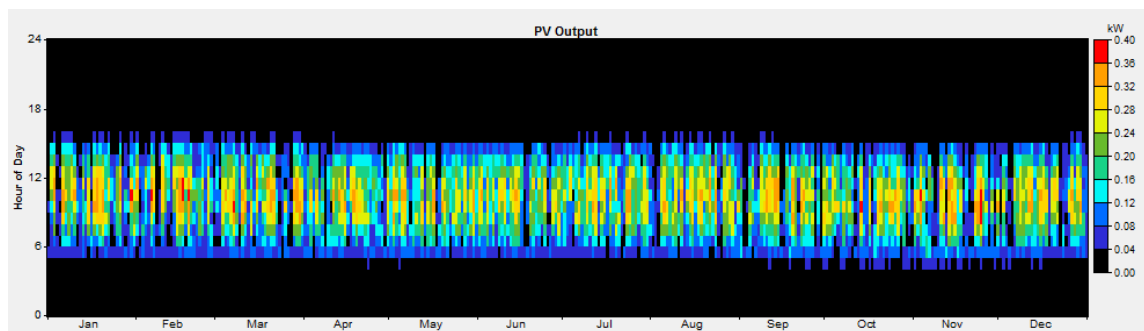
*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*



**Figura 3.3. Esquema de generación de electricidad PV/GAC**

### Esquema de generación con el Panel Fotovoltaico

El esquema de generación con un panel fotovoltaico depende de las horas del día, en qué tiempo generará electricidad y qué cantidad de ella suministrará al sistema. En la figura 3.4 se muestran que la mayor cantidad de energía se producirá en el horario de las nueve de la mañana a las doce del mediodía.



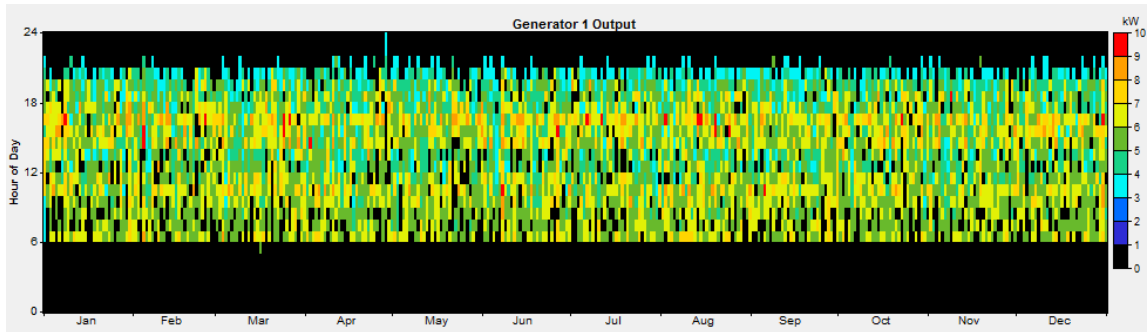
**Figura 3.4. Generación de electricidad del Panel Fotovoltaico**

### Esquema de generación de electricidad con el GAC

El GAC es el que mayor cantidad electricidad debe de producir debido a que los

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico  
Análisis y Discusión de los Resultados*

costos de producción de electricidad son menores que la del PV. La mayor cantidad de veces que está produciendo electricidad lo hace entre 6 y 8 kW en al horario de seis de la mañana a once de la noche (Figura 3.5).



**Figura 3.5. Generación de electricidad del GAC**

## **CONCLUSIONES**

1. Se realizó la optimización y el análisis de sensibilidad del sistema energético propuesto para la comunidad
2. El sistema óptimo con los precios de combustibles de 1.20 CUC/L es el Panel Fotovoltaico/Grupo Autónomo Convencional-Baterías Eléctricas
3. El Panel Fotovoltaico (PV) de 0.4 kW de potencia de generación funcionaría generando electricidad a razón de 552 kWh/año
4. Un banco 24 baterías genéricas de 2,16 kWh y un voltaje nominal de 6 V cada una con autonomía de 12,5 horas
5. El sistema tendrá un exceso de electricidad de 0.172 kWh/año debido a que la demanda de la comunidad sería de 25 404 kWh/año
6. Tendrá un Generador Autónomo Convencional Genérico de 10 kW que producirá 27 114 kWh/año
7. El costo de producción de electricidad será de 0.59 CUC/kWh
8. El costo total del sistema es de 193 856 CUC

## **RECOMENDACIONES**

1. Aplicar la herramienta computacional HOMER para la planificación energética en comunidades rurales no electrificadas

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Energías Renovables. Tomado de: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/index.htm#6R> revisado: 24 de septiembre de 2011.
2. Campo, J. C.; R. Gómez; Santos, L. 2001. La Gestión Energética en la Gestión Empresarial. In: Cienfuegos, U. D. (ed.).
3. Domínguez, J. Pinedo-Pascua, I. 2008. GIS Tool for Rural Electrification with Renewable Energies in Latin America Renewable Energy Department CIEMAT, Science & Innovation Ministry.
4. Publicación de Catamutun, 2007.
5. ENERGY, U. S. D. O. 2010. Advancing Clean Energy Technology. Energy Efficiency & Renewable Energy [Online].
6. “Políticas y estrategias para el cambio de la matriz energética del Ecuador”.MEER. Año 2008.
7. “Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano”. CONELEC. Año 2007.
8. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER): <http://www.mer.gov.ec/>
9. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Revisado el 20/09/2011.Tomado de: <http://www.conelec.gov.ec/>; [http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos\\_La\\_Energia\\_Eolica\\_en\\_Ecuador\\_fa0ef98a.pdf](http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La_Energia_Eolica_en_Ecuador_fa0ef98a.pdf)
- 10.Saunders, A. 2011. Las Fuentes Renovables en Cuba en el 2010. In: CENTRO DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA (CUBAENERGÍA), C. D. D. E. R. M. (ed.) Boletín Informativo: Renovables.cu. Habana: Cubaenergía.
- 11.Team, T. S. 2011. Solar Design Studio V. 6.0 [Online]. Haiku. [Accessed].
- 12.Ramakumar R, Hughes WL. Renewable energy sources and rural development in developing countries. IEEE Trans Edu 1981;E-24(3):242–51.
- 13.Ramakumar R. Renewable energy sources and developing countries. IEEE. Trans Pow App Sys 1983;PAS-102:502–10.

14. Ramakumar R, Butler NG, Podriguez AP. Economic aspects of advanced energy technologies. In: Proceedings of IEEE, 81; 1993.p. 318–32.
15. Ramakumar R. Role of renewable energy in the development and electrification of remote and rural areas. IEEE Pow Engg Soc Gen Meeting 2004; 2:2103–5.
16. Ahmed BS, Cohen JM. Renewable energy sources: technology and economics. IEEE Int Conf Hum Info Tech 1994;3:2355–60.
17. Ramakumar R, Abouzahr I, Ashenayi K. A knowledge-based approach to the design of integrated renewable energy systems. IEEE Trans Energy Convers 1992;7:648–59.
18. Ashenayi K, Ramakumar R. IRES - a program to design integrated renewable energy systems. Energy 1990;15:1143–52.
19. IEA, World Energy Outlook 2006, 2006.
20. Domínguez, J. Pinedo-Pascua, I. 2008. GIS Tool for Rural Electrification with Renewable Energies in Latin America *Renewable Energy Department*.
21. B. James. The Impacts of Rural Electrification: Exploring the Silences. Energy & Development Research Centre. University of Cape Town. EDRC Report Series, 2001.
22. Díaz López, J.R. y otros. Lecciones del Programa de Electrificación Rural Fotovoltaica en Cuba. II Simposio Internacional de Fuentes Renovables de Energía. Santiago de Cuba, Noviembre 2001.
23. Domínguez Bravo, Javier; Pinedo Pascua, Irene y Augusto González, Jorge (2008): Herramientas SIG para la integración de recursos de energías renovables en electrificación rural. INTIS-GIS. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 552-563. ISBN: 978-84-96971-53-0.
24. Wichert, B. PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation—a review of current practices and future developments. En:

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico*  
*Bibliografías*

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 1. No. 3 (Sept. 1997): pp. 209-228.
25. Jayadev, J. Harnessing the Wind. En: IEEE Spectrum, Vol. 32, No. 11, 1995.
26. C.R. Zambrano y E.R. Maiquiza. Determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas en la provincia Granma-Cuba. Estudio de caso "Las Peladas". Trabajo de Diploma. Universidad de Granma. Bayamo M.N., Cuba. 2011.
27. Hoja de cálculo para fuentes renovables de energías: Eco-cal versión 1.1. Ecosol. 2004.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. Annual Energy Review. Bruselas: Comunidad Económica Europea, sep., 1997.
2. Renewable Energy World. Jul.-Ago., 2004; y nov.-dic., 2004.
3. B. van Campen, D. Guidi, y G. Best, "Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles," en *Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales* Roma: FAO, 2000.
4. Borreto et al. 2002. Colectivo de autores. Gestión Energética Empresarial. Centros de estudio de energía y medio ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba. Bajo la redacción de Aníbal E Borroto Nordelo. Editorial Universidad de Cienfuegos, 2002.
5. Borroto Nordelo, Aníbal, López Batista, Eduardo. Maestría en eficiencia energética. Universidad de Cienfuegos, 2002.
6. Centro de recursos ambientales purriketal (dima.bizkaia) accesible." *La Energía*.[www.unescoeh.org/ext/manual/html/energia.html](http://www.unescoeh.org/ext/manual/html/energia.html).23.4.07.
7. Consorcio OPET Comunidad Andina, "Sondeo preliminar del mercado de las tecnologías energéticas limpias en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú," Comisión Europea 1999.
8. Consumer es eroski. Hacia una crisis energética. Tomado de: [www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2005/05/16/142009.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/05/16/142009.php). 11 de Octubre de 2006.
9. Curbelo A., Garea B., Valdes A. Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba, Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa, Montevideo, Uruguay, 1995.  
<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s00.htm#Contents>
10. Chalacan G., Masapanta J., Metodología para la planificación energética a comunidades rurales aisladas de la provincia Granma-Cuba. Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero electromotriz. Universidad de Granma. 2010-2011.
11. Cherni J. A., "Seminario: Energización de zonas aisladas en latinoamérica," Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2002.



12. Desarrollo de regiones rurales, energía y democracia. Tomado de:  
<http://solucionessolares.blogspot.com/2008/05/desarrollo-rural-en-comunidad-andina.html>. 9 de Noviembre de 2010.
13. D.I. Rodríguez, R. Cordon, y V.I Melián, "Un programa computacional para resolver problemas de Programación Lineal y Lineal Entera," 2.0 ed: Grupo de Algebra Computacional, Facultad de Matemática y Computación, Universidad de Oriente, 2005.
14. E. Turrini, *El camino del sol, un desafío para la humanidad del tercer milenio, una esperanza para los países de sur.*: Cubasolar, 2006.
15. EcoSol Solar, "Hoja de calculo fuentes renovables de energía," 1.1 ed Ciudad de la Habana, 2004.
16. Electrificación solar fotovoltaica de instalaciones de salud en zonas rurales montañosas remotas y de difícil acceso del país.  
<http://www.cubasolar.cu/proyectos/saludfotov.html>
17. F. Marcos, "Estudio de la aplicación de un modelo de planificación energética a la región Castellano-Leonesa," Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 1984.
18. Flavin C., Lenssen N. Nuevas orientaciones de la industria eléctrica. Informe de World Wacth Institute. Cáp. 4. 1994.
19. G. N. Ayes, Revolución energética, un desafío para el desarrollo, Científico-Técnica ed., 2008.
20. G. Lesino, C. Cadena, et al. (2004). Proyecto: Energización de Centros Comunitarios Rurales. Una experiencia de desarrollo y transferencia tecnológicos.
21. González L. La electrificación rural en Cuba. Experiencias y perspectivas de desarrollo, Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural, Costa Rica, April 2001,  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energizacion/pagina02.htm>
22. Global Wind Energy Council News. 2009  
[http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009\\_e.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf)

23. "Gráfico de Calentamiento Solar," en *Encarta*, Microsoft Corporation, Ed., 2009.
24. H. A. Taha, 1998. "Investigación de operaciones. Una introducción". PRENTICE HALL, 6ª edición. México.
25. H. Arriaza (2005). Metodología para la inclusión de variables sociales en la formulación, ejecución y administración de proyectos de Energía Rural, Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y Universidad de Calgary.
26. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN), Grupo de Trabajo en Energías Renovables.
27. López de la Manzanara, J. 1983.1 Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
28. L. García, "Desarrollo de un modelo multicriterio-multiobjetivo de oferta de energías renovables: aplicación a la comunidad de Madrid.", Departamento de Ingeniería Forestal., Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 2004.
29. Moreno C, Leiva G., Matos L. Estado actual y desarrollo de la energía eólica en Cuba, *Ecosolar*, revista científica de las Energías Renovables, No 2, Octubre-Diciembre 2002.  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar.htm>
30. M. López Cachero. I Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.1983.
31. MADRUGA, E. Una experiencia cubana: la electrificación solar a las casas consultorios del médico de la familia en zonas montañosas y rurales remotas. *Energía y Tú*, 1997, nº 0, p. 25. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>, Noviembre 2010.
32. M. López Cachero. I Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.1983.
33. Mapa eólico de Cuba. Tomado de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia37/HTML/articulo03.htm> . 20 de Octubre de 2010.

34. Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME, " Línea base geo-referenciada para la formulación del plan de suministro de energía para las zonas no interconectadas de Colombia. Metodología," Colombia, 1999.
35. Modelos de programación entera. Tomado de: <http://www.slideshare.net/krizx/modelos-de-programacion-entera>. Octubre 2010.
36. Moreno Figueredo, Conrado. La gestión energética y la competitividad empresarial. Tomado de la revista científica-popular trimestral de CUBA SOLAR Energía y Tu. Ed. Cuba Solar, 2005.
37. Nemhauser, G. y Wolsey, L. 1988. "Integer and Combinatorial Optimization". Willey. New York.
38. P. Pinell (2004). Perspectiva de la promoción del desarrollo local municipal: el caso boliviano. Documentos de trabajo. E. país.
39. Parque eólico de Turiguanó. <http://www.cubasolar.cu/proyectos/turiguano.html>
40. Parker, G. y Rardin, R. 1988. "Discrete Optimization". Academic Press. Orlando. Florida.
41. Proyecto: "Energías renovables en función de desarrollo sostenible en comunidades rurales" RESURL III, 2009.
42. R. Smith, O. Mesa, I. Dyner, P. Jaramillo, G. Poveda, y D. Valencia, "Decisiones con múltiples objetivos e incertidumbre," 2da ed, Universidad Nacional de Colombia y Facultad de Minas, Eds. Medellín, 2000.
43. Romero Lenin. Gestión energética en la pasteurizadora el "Alba". Tomado en: trabajo de diploma. Universidad de Granma 2010.
44. S. Jebaraj y S. Iniyar "A review of energy models," *Renewable y sustainable energy reviews*, vol. 10, pp. 281-311, 2006.
45. S.C.Bhattacharyya and G.R.Timilsina (2009). "Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured?" *Energy Policy* 38(2010): 1979–1990.

46. Seminario o taller “Centro América – Energía y medio ambiente” (Tegucigalpa, Honduras, mayo, 2001).
47. SEPAL. Estudio económico de América Latina y el Caribe. Petróleo y gas en América Latina un análisis de relaciones internacionales a partir de la política Venezolana (DT). Htm, 2004.
48. Situación de las energías renovables en el mundo. Tomado de: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/index.htm#6>. Octubre, 2010.
49. Stewart, James. "Cálculo, Trascendentes Tempranas". 4 ed. Tr. de Andrés Sestier. México, Ed. Thomson, 2002. p. 1151.
50. Stolovich, Luis et al. 1997. El sector energía en América Latina. “El sector energía En América Latina. Análisis descriptivo”. Montevideo. Instituto del Tercer Mundo.
51. Torres, Nelliud. El uso de portales corporativos en la gestión del conocimiento para la empresa. Universidad de Turabo, Turabo, Puerto Rico, 2010.
52. Unión Eléctrica. *Cuba en la XIV Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural: Avances de la electrificación rural en el país y programas perspectivas*. La Habana: Taller Gráfico de la Unión Eléctrica, 1993. 26 p. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>
53. Unión Eléctrica. *Datos de interés de la actividad eléctrica*. La Habana: Unión Eléctrica, Diciembre de 1992. 108 p. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>.
54. UPME - Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeamiento Minero Energético. (2000). “Establecimiento de un plan estructural, institucional y financiero, que permita el abastecimiento energético de las zonas no interconectadas, con la participación de las comunidades y el sector privado”. Ministerio de Hacienda, DNP, UPME, CREG, PNUD.
55. Valdes A., Cuba’s transition away from fossil fuels. Renewable Energy for development, Stockholm, Junio 2000, <http://www.sei.se/red/red-072000.pdf>

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico*  
*Bibliografías*

56. World Wind Energy Association World Wind Energy. Report 2009 retrieved  
2010 07 21.

## ANEXOS

### Anexo 1. Demanda de electricidad estimada en una vivienda no electrificada

Equipos	Cant.	Potencia(W)	Fact.Pot.	t <sub>uso</sub> ·D	t <sub>c</sub>	P(VA)	E(Wh/día)	t <sub>uso</sub> ·R
Lámpara PL 20 W			0,70		16,0	0,0	0,0	
Lámpara PL 15 W	5	15,0	1,00	5,0	16,0	5,0	125,0	13,5
PC	0		0,72	0,0	16,0	0,0	0,0	
Licuadaora	1	340,0	0,80	0,2		425,0	68,0	0,5
Radio Grabadora	1	10,0	1,00	2,0		10,0	20,0	5,4
Ventiladores		45,0	0,90	10,0		50,0	0,0	27,0
Frezeer		75,0	0,90	0,0		83,3	0,0	
TV	1	45,0	0,80	5,0		56,3	225,0	13,5
VHS	1	15,0	0,80	1,0		18,8	15,0	2,7
BOMBA DE AGUA			0,80	3,0		0,0	0,0	0,0
<b>Totales</b>		435,0	0,82	30,00		528,0	453,0	

Fuente: Hoja de cálculo para fuentes renovables de energías: Eco-cal versión 1.1.  
Ecosol. Copextel. 2004

### Anexo 2. Disponibilidades

Recursos	Viento(en ms <sup>-1</sup> )	Sol (kWh m <sup>-2</sup> día)
Meses		
Enero	5.453	4.563
Febrero	5.345	4.567
Marzo	4.567	4.890
Abril	4.909	4.567
Mayo	5.000	4.945
Junio	5.567	4.897
Julio	5.563	4.900
Agosto	5.302	5.000
Septiembre	5.009	4.566

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Electromecánico*  
*Anexos*

Octubre	5.101	4.563
Noviembre	4.998	4.567
Diciembre	5.000	4.678
Promedio Anual	5.150	4.727

**Fuente: Estudio del proyecto RESURL III**

### Anexo 3. Precios

Artículos	Precio (CUC)
Batería 6V US1800	282,00
Módulo Fotovolta IS-160 c/12(+/-5%)CCS4mm2(40-100	463,00
Regulador de Carga ISOLER 20A 12/24V	69,46
Angular aluminio 38x75x0.5mm (tira 5.80m)	13,64
Tornillo M6x20 cab/hex Ac. Inox. t/roscado	5,25
Inversor Xantrex Modelo X Power 400Plus 12VDC	46,00
Costos de los G.A.C.	25250
Aerogenerador	8750

**Fuente: Ecosol, 2011. Copextel; SURE: matriz Informativa**

### Anexo 4. Capacidades

Artículos	Capacidad (kW)
Batería 6V US1800	2,16
Módulo Fotovolta IS-160 c/12(+/-5%)CCS4mm2(40-100).	1,00
Inversor Xantrex Modelo X Power 400Plus 12VDC	3,2
Generador Eólico Genérico	1,00
Grupo Autónomo Convencional (GAC)	10,00