

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRUEBAS
ELECTROENERGÉTICAS (CIPEL)

*“Análisis de factibilidad de generación de energía eléctrica
por medio de paneles fotovoltaicos para zonas rurales”*

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero
Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

CONVENIO:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO

JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA

(La Habana – Cuba)

UNIVERSIDAD TÉCNICA

DE COTOPAXI

(Latacunga-Ecuador)



Instituto Superior Politécnico

José Antonio Echeverría

cujae



Autor:

Darwin Ismael Ortiz Clavijo

Tutores:

Dr. C. Ing. Miguel Castro Fernández

Dr. C. Ing. Antonio Sarmiento Sera

Declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y autorizo a la Universidad Técnica de Cotopaxi en convenio con el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría para que hagan de este trabajo de diploma el uso que estimen pertinente.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Darwin Ismael Ortiz Clavijo'.

Darwin Ismael Ortiz Clavijo

C.I. 0502674799

Este trabajo de diploma ha sido revisado y aprobado por las instancias correspondientes y para que así conste se firma la presente.

Tutor:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

Tutor:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

Oponente:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

J Dpto.:

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Organismo: _____

AGRADECIMIENTO

No es esta una de las páginas más fáciles de escribir de la tesis. Al pensar en todos estos años transcurridos uno siente alegría, por haber llegado a este momento que parecía a veces inalcanzable.

Primero y antes que nada, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

Quiero agradecer a dos grandes personas que fueron uno de los pilares fundamentales durante mi camino universitario al apoyarme sin interés alguno y brindarme su confianza y comprensión. Don David Soria e Inés Velastegui. Gracias.

A mi madre y hermanos que día a día me alentaron para seguir adelante sin decaer y por todo el esfuerzo que hicieron para que alcanzara mi sueño.

Agradezco a mis tutores el Dr. C. Ing. Miguel Castro Fernández y el Dr. C. Ing. Antonio Sarmiento Sera, por todo el tiempo, paciencia, conocimientos y dedicación que le brindaron al desarrollo de este trabajo, depositando en ella su visión clara y objetiva a lo que se quería lograr.

A todos mis amigos y amigas, por todos sus consejos y muestras de apoyo que me han dado y lo más

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada para las personas que más quiero y siempre las llevo presente en mi corazón, mi Madre y Hermanos, Walter, Patricio y Jaime por ser la guía de mi buen proceder y estar siempre a mi lado animándome y apoyándome en todas las etapas de mi vida.

A todos mis sobrinos, espero que esto les sirva como ejemplo de dedicación y ganas de superación, nunca

El análisis de generación de electricidad por medio de paneles fotovoltaicos, se realiza sobre la base de la necesidad que tienen algunas zonas rurales de la República del Ecuador de contar con este servicio, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

En el Capítulo I se definen las diferentes fuentes de generación eléctrica, tanto para fuentes renovables de energía como para fuentes no renovables de energía, las características fundamentales de cada tecnología, su funcionamiento, ventajas y desventajas; además, se describe su uso a nivel internacional, se muestran las expectativas para el futuro y se presenta un ligero enfoque a la situación Eléctrica del Ecuador.

En el Capítulo II se definen los esquemas de generación a analizar, se presenta una comunidad modelo y se explica el diseño y simulación del sistema, utilizando el software © HOMER, para una comunidad, y posteriormente, se ilustra el análisis técnico – económico, indicando la proyección futura con relación al costo de generación por combustible (diesel) y los sistemas fotovoltaico e híbrido fotovoltaico – diesel y fotovoltaico – eólico.

En el Capítulo III se presentan diferentes casos de comunidades y se define un posible uso de generación eléctrica en las mismas; además, se determina la influencia que tienen las características de la carga en diferentes localidades sobre los sistemas de generación propuestos.

The analysis of generation of electricity through photovoltaic panels, is realized according to the base of necessity it has some rural zones in the Republic of Ecuador to rely on this service, in order to improve the quality of living of theirs inhabitants.

The Chapter I defines different sources of electrical generation, as much renewable sources as much non renewable sources of energy, the main characteristics of each technology, its functioning, advantages and disadvantages; moreover it describes its use to the international level, It shows the expectation to the future and it presents a little focusing to the Electrical situation in Ecuador.

The Chapter II defines the scheme of generation to analyze, it presents one community model and it explains the design and simulation of the system, using the software © HOMER, for one community, then, it illustrates the technical – economical analysis showing the future projecting with relation to the cost of generation by combustible (diesel) and the photovoltaic - systems and hybrid photovoltaic - diesel and photovoltaic - eolic.

The Chapter III presents different cases of communities and it defines a possible use of electrical generation in themselves; moreover, It determines the influence that has characteristics of the charge in different localities about the generation offer systems.

Lorena Gonzalez
10023779274

| CONTENIDO | PÁG. |
|---|-------------|
| Portada..... | i |
| Declaración jurada | ii |
| Hoja de firmas..... | iii |
| Agradecimiento..... | iv |
| Dedicatoria..... | v |
| Resumen..... | vi |
| Abstract..... | vii |
| Índice..... | viii |
| Glosario de términos..... | xi |
| Abreviaturas..... | xii |
| Situación Problemática..... | xiii |
| Hipótesis..... | xiii |
| Objetivos..... | xiii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| Tecnologías de Generación Eléctrica..... | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Principios y características generales de los recursos energéticos..... | 2 |
| 1.3 Fuentes Renovables de Energía..... | 2 |
| 1.3.1. Energía Hidráulica..... | 3 |
| 1.3.1.1. Tipos de Centrales Hidroeléctrica..... | 3 |
| 1.3.2. Energía Solar..... | 6 |
| 1.3.2.1. Energía Solar Térmica..... | 6 |
| 1.3.2.2. Energía Solar Fotovoltaica..... | 9 |
| 1.3.2.2.1. Celda solar fotovoltaica..... | 11 |
| 1.3.2.2.2. Instalaciones descentralizada y centralizada..... | 12 |
| 1.3.3. Energía Eólica..... | 14 |
| 1.3.3.1. Aerogeneradores..... | 15 |
| 1.3.4. Energía Biomasa..... | 18 |

| | |
|--|----|
| 1.3.5.1. La energía de las mareas..... | 21 |
| 1.3.5.2. La energía de las olas..... | 22 |
| 1.3.5.3. Las corrientes marinas..... | 22 |
| 1.3.5.4. El gradiente termocánico..... | 23 |
| 1.3.6. Energía Geotérmica..... | 25 |
| 1.4. Fuentes no Renovables de Energía..... | 27 |
| 1.4.1. Energía Térmica..... | 28 |
| 1.4.1.1. Central Térmica..... | 28 |
| 1.4.2. Energía Nuclear..... | 31 |
| 1.4.2.1. Central Nuclear..... | 32 |
| 1.5. Uso de las Energías a Nivel Internacional | 38 |
| 1.6. Generación de Electricidad en Ecuador..... | 38 |
| 1.6.1. Territorio y cobertura eléctrica..... | 38 |
| 1.6.2. Sector eléctrico..... | 39 |
| 1.6.3. Sistema eléctrico ecuatoriano..... | 40 |
| 1.6.4. Potencia total..... | 41 |
| CAPÍTULO II..... | 42 |
| Análisis y Simulación de los Sistemas Fotovoltaico e Híbrido para Zonas Rurales..... | 42 |
| 2.1. Introducción..... | 42 |
| 2.2. Herramientas para el Dimensionado..... | 42 |
| 2.2.1. HOMER (Modelo de optimización para sistemas híbridos eléctricos)..... | 43 |
| 2.3. Sistemas Fotovoltaicos..... | 43 |
| 2.3.1. Modelo de análisis..... | 44 |
| 2.3.2. La demanda energética..... | 45 |
| 2.3.3. Dimensionamiento del sistema (Método simple)..... | 49 |
| 2.3.3.1. Dimensionado de los paneles..... | 49 |
| Dimensionado de las baterías..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 2.3.5.1. Punto Inicial de Falla Nula..... | 60 |
| 2.3.5.2. Análisis Técnico – Económico..... | 61 |
| 2.4. Sistemas Híbridos..... | 63 |
| 2.4.1. Grupo Electrógeno..... | 65 |
| 2.5. Sistema Autónomo Híbrido Fotovoltaico – Diesel..... | 66 |
| 2.5.1. Resultados..... | 68 |
| 2.5.2. Proyección Futura del Sistema Híbrido..... | 71 |
| 2.6. Sistema Autónomo Híbrido Fotovoltaico – Eólico..... | 73 |
| 2.6.1. Análisis Técnico - Económico..... | 76 |
| CAPÍTULO III..... | 78 |
| Propuesta de posibles usos de generación eléctrica para diferentes casos d comunidades rurales sin acceso a la electricidad..... | 78 |
| 3.1. Presentación de los casos..... | 78 |
| 3.2. Características de cada comunidad..... | 79 |
| 3.3. Análisis técnico - económico de cada sistema..... | 82 |
| 3.4. Influencia del tipo de comunidad sobre los sistemas de generación eléctrica propuestos..... | 85 |
| 3.4.1. Influencia del tipo de comunidad sobre la solución fotovoltaica..... | 85 |
| 3.4.2. Influencia del tipo de comunidad sobre la solución fotovoltaica - GE..... | 87 |
| 3.4.3. Influencia del tipo de comunidad sobre la solución fotovoltaico – eólico..... | 88 |
| Conclusiones..... | 90 |
| Recomendaciones..... | 91 |
| Bibliografía..... | 92 |
| Anexos | |

Consumo: Número de watts hora (Wh) o kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Demanda: Es la potencia requerida por un sistema o parte de él, promediada en un intervalo de tiempo previamente establecido.

Demanda eléctrica insatisfecha: Período en el cual la generación eléctrica no cubre la demanda provocando cortes de energía.

Fotón: Cantidad mínima de energía de la luz u otra radiación electromagnética.

Flujo: Movimiento de ascenso de la marea.

Góndola: Es el soporte de un aerogenerador donde se encuentra el generador, sistema de frenado, sistema de orientación, equipos auxiliares, caja de cambio, etc. Protege a estos equipos del ambiente y sirve, a su vez, de aislante acústico.

Irrradiación: Es la energía radiante e incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en kWh/m^2 .

Motor Stirling: Tipo de motor que obtiene potencia mecánica de la expansión de un gas encerrado a alta temperatura.

Palas: Son elementos del aerogenerador que captan la energía cinética del viento.

Radiación directa: Es la radiación proveniente directamente del disco solar.

Radiación difusa: Corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera.

Reflujo: Movimiento de descenso de la marea.

AC: Corriente alterna.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CONELLEC: Consejo Nacional de Electricidad.

DC: Corriente directa.

FV: Paneles Fotovoltaicos.

GE: Grupo Electrógeno

NO₂: Dióxido de Nitrógeno.

SH: Sistema Híbrido.

SO₂: Dióxido de Azufre.

SN1: Sistema Nacional Interconectado.

El sector rural de la República del Ecuador, la Región Oriental, concentra buena parte de las comunidades nativas poco desarrolladas que se caracterizan por ser muy dispersas con requerimientos de consumos promedios de energía eléctrica bajos y que, en general, carecen de servicios básicos, entre ellos la electricidad, razón por la cual en el presente trabajo se evaluará la factibilidad de realizar la implantación de sistemas fotovoltaicos, basados en la captación de la energía solar disponible, para su posterior transformación en energía eléctrica utilizable.

Hipótesis

La aplicación de paneles fotovoltaicos en el sector rural puede ser una opción para producir energía eléctrica y satisfacer las necesidades energéticas de comunidades que no cuentan con este servicio.

Objetivo General

Analizar y evaluar, desde el punto de vista de su factibilidad y aplicación en áreas rurales, el uso de paneles fotovoltaicos para la generación de electricidad.

Objetivos específicos:

1. Considerar los diferentes métodos y tecnologías para la generación de electricidad desde el punto de vista técnico – económico, y evaluar las posibles ventajas y desventajas en su aplicación.
2. Evaluar la factibilidad de aplicación de dichas tecnologías teniendo en cuenta las posibilidades de acceder o no a una red eléctrica centralizada y en particular el uso de los paneles fotovoltaicos.

CAPÍTULO I

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

1.1. Introducción

El aprovechamiento por el hombre de las fuentes renovables de energía, entre ellas la energía solar, eólica e hidráulica, es muy antiguo [1]; desde muchos siglos antes de nuestra era, ya se utilizaban y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la “Revolución Industrial”, en la que, debido al bajo precio del petróleo, fueron abandonadas en gran parte.

Los recursos fósiles permitieron el uso de la energía de forma más fácil y eficiente, haciéndose difícil resistir el cambio a las hoy denominadas fuentes no renovables de energía.

En la actualidad cuando la disponibilidad de recursos fósiles está jugando un papel cada vez más determinante y cuando los factores antes secundarios, tales como los problemas medio ambientales, aparecen entre las preocupaciones principales de la sociedad, las energías renovables surgen de nuevo con éxito creciente en el marco energético como alternativas viables.

Las energías renovables, y en especial la energía solar fotovoltaica, están siendo potenciada desde distintas instituciones; muchos países en los que la dependencia de fuentes energéticas convencionales es enorme han realizado una transición en el sentido de usar sistemas energéticos con mayor intensidad de la componente

Energéticos

Los recursos energéticos son las principales fuentes de generación de energía eléctrica; desde tiempos atrás se han desarrollado nuevas tecnologías, las cuales han permitido producir energía eléctrica de diferentes formas, entre estas se han clasificado en fuentes renovables de energía y fuentes no renovables de energía.

1.3. Fuentes Renovables de Energía

Las fuentes renovables de energía son fuentes que utilizan recursos inagotables ya que están presentes en la naturaleza y provienen del Sol, el agua, el aire, el calor de la Tierra; estas fuentes son una alternativa a otras tradicionales ya que el impacto ambiental que producen es mínimo y entre ellas se encuentran la energía hidráulica, la solar (térmica y fotovoltaica), la eólica, la biomasa, la mareomotriz y la geotérmica.

1.3.1. Energía Hidráulica

Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua y, una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir presas, canales de derivación y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad.

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en energía cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores.

La altura del salto para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año. La presa sirve también para aumentar el salto.

Otra manera de incrementar la altura del salto es derivando el agua por un canal de pendiente pequeña (menor que la del cauce del río), consiguiendo un desnivel mayor entre el canal y el cauce del río.

El agua del canal o de la presa penetra en la tubería donde se efectúa el salto, su energía potencial se convierte en energía cinética llegando a las salas de máquinas, que albergan a las turbinas hidráulicas y a los generadores eléctricos. El agua al llegar a la turbina la hace girar sobre su eje.

La tecnología fundamental de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX.

Las turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales:

- Pelton (saltos grandes y caudales pequeños)
- Francis (salto más reducido y mayor caudal)
- Kaplan (salto muy pequeño y caudal muy grande)

1.3.1.1. Tipos de Centrales Hidroeléctricas

Clasificación

Se pueden clasificar según varios argumentos, como características, técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento.

En primer lugar hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre

Centrales de Agua Fluente, Centrales de agua embalsada, Centrales de Regulación, Centrales de Bombeo.

Según la altura del salto de agua o desnivel existente

Centrales de Alta Presión, Centrales de Media Presión, Centrales de Baja Presión.

Centrales de Agua Fluente: Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas.

No cuentan prácticamente con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año. En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío.

Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

Centrales de agua embalsada: Se alimenta del agua de grandes lagos o embalses artificiales, conseguidos mediante la construcción de presas. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. Esta agua es utilizada según la demanda, a través de conductos que la encauzan hacia las turbinas (ver Fig. 1.1).

Centrales de Regulación: Prestan un gran servicio en situaciones de bajos caudales, ya que el almacenamiento es continuo, regulando de modo conveniente para la producción. Se adaptan bien para cubrir horas punta de consumo.

La alimentación del generador que reaniza el domo decae aguas abajo, se puede realizar desde otra central hidráulica, térmica o nuclear.

Centrales de Alta Presión: Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, $20 \text{ m}^3/\text{s}$ por máquina. Situadas en zonas de alta montaña, y aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud.

Centrales de Media Presión: Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 20-200 metros aproximadamente, utilizan caudales de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ por turbina.

Centrales de Baja Presión: Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los $300 \text{ m}^3/\text{s}$ [2].

FIGURA 1.1. CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE AGUA EMBALSADA.



Ventajas

➤ La tecnología de las centrales es bien conocida y está ampliamente

limitado más que por pérdidas hidráulicas y mecánicas, que en principio son pequeñas.

- El coste de explotación es bajo, ya que la energía primaria tiene un coste despreciable.
- El mantenimiento de equipos es bajo.

Desventajas

- El coste de implementación de una central es alto, sobre todo el de la obra civil.
- Su construcción puede producir un impacto ambiental y social alto debido a la zona que inunda el embalse.
- La energía producida depende fuertemente de las condiciones climáticas.
- La ubicación geográfica es poco flexible [3].

1.3.2. Energía Solar

La energía solar es la fuente principal de vida en la Tierra: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en el planeta, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El Sol nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis, y como es la energía del Sol la que induce el movimiento del viento y del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes renovables de energía, tanto de la energía eólica, la hidroeléctrica, la biomasa, la de las olas y corrientes marinas, como de la energía solar propiamente dicha [4].

1.3.2.1. Energía Solar Térmica

obtención de energía eléctrica y mecánica.

La energía solar se puede convertir en energía eléctrica utilizando captadores-concentradores que concentra la energía sobre un receptor que la absorbe y la transfiere a un fluido de trabajo (aceite, agua, u otro fluido). Este fluido de trabajo se puede emplear directa o indirectamente como elemento térmico para un ciclo de potencia. Esta tecnología de concentración puede trabajar con ciclos termodinámicos similares a los de las plantas convencionales alimentadas con petróleo, gas o carbón. Debido a las características de intermitencia de la energía solar, es imprescindible tener en cuenta el almacenamiento de energía.

El almacenamiento de energía favorece el funcionamiento del sistema en momentos de consumos picos o durante la ausencia de Sol y el mismo puede realizarse en tanques que contengan rocas (piedras) o tubos de concreto donde el fluido de trabajo intercambia energía. Las tecnologías de concentración utilizadas para la producción de electricidad son las de cilindros parabólicos (ver Fig. 1.2), las torres o receptores centrales a partir del empleo de un campo de espejos reflectores (ver Fig. 1.3), y la más reciente, la de concentradores tipo casquete esféricos empleada para los motores Stirling (ver Fig. 1.4). La electricidad producida a partir de la concentración de la energía solar tiende a ser económica, se han alcanzado costos de 10 centavos dólar por kWh en el caso de la tecnología de cilindros parabólicos y menores en el caso de los receptores centrales; esto da lugar a que estas tecnologías tengan en un futuro no lejano mayor influencia en la matriz energética mundial.

Tanto los espejos concentradores parabólicos como los heliostatos y casquetes esféricos sólo pueden concentrar la radiación directa, no la difusa. Es por ello que las centrales solares sólo son factibles en lugares muy soleados, fundamentalmente en regiones áridas y semidesérticas, donde la nubosidad no

FIGURA 1.7. CICLO DE POTENCIA CON CONCENTRADORES CILÍNDRICOS PARABÓLICOS.

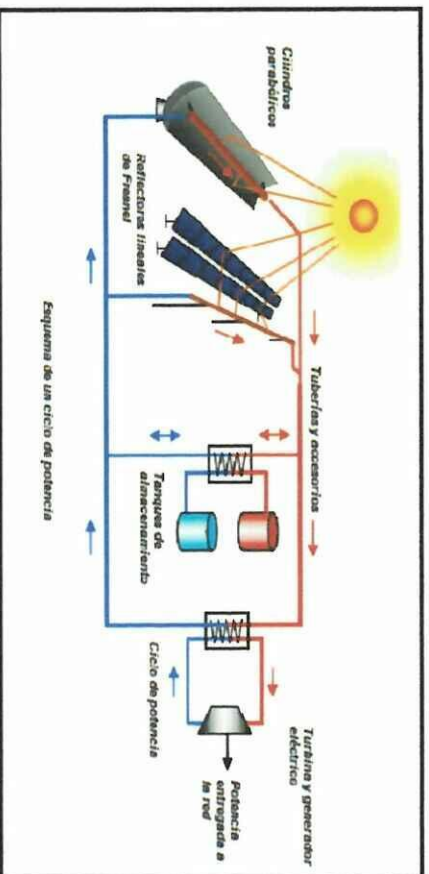


FIGURA 1.3. CICLO DE POTENCIA CON UN CAMPO DE ESPEJOS REFLECTORES.

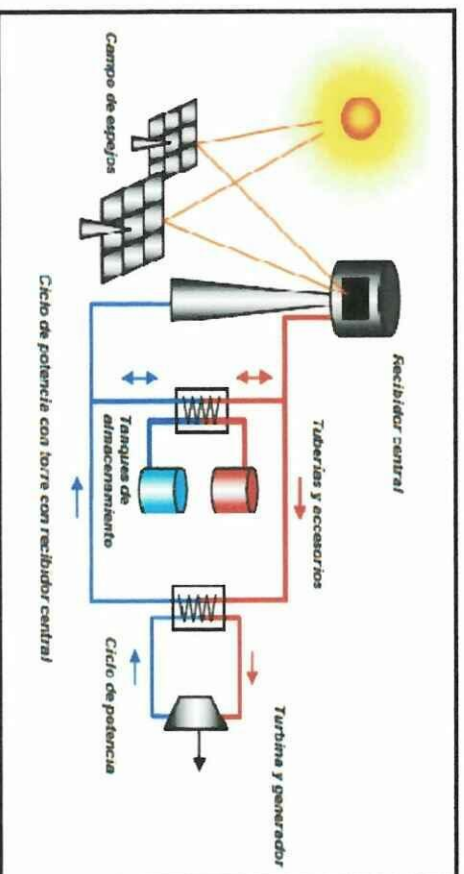
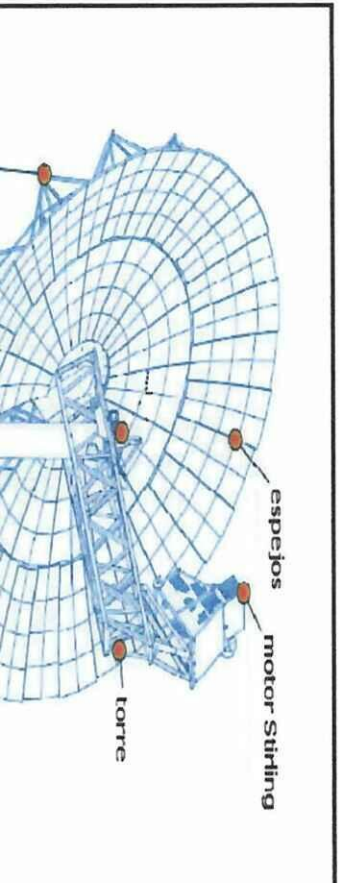


FIGURA 1.4. CICLO DE POTENCIA CON CONCENTRADORES TIPO CASQUETES ESFÉRICOS.



- Puede ayudar a resolver problemas energéticos.
- Las centrales solares no contaminan al momento de su explotación.
- La fuente de energía es inagotable.
- No hay que estar transportando mediante ningún medio la energía primaria, solo obtenerla de lo que llega del Sol.
- No es peligroso su uso como el de los combustibles, por lo que los costos y peligros relacionados disminuyen.

Desventajas

- Uno de los problemas de la electricidad generada con el Sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y cara para almacenar.
- Baja eficiencia de las centrales.
- Hay que concentrarla para obtener energía eléctrica de manera rentable.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.

1.3.2.2. Energía Solar Fotovoltaica

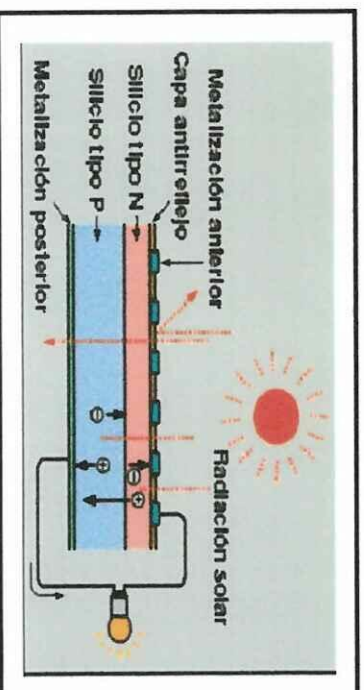
El efecto fotovoltaico fue utilizado, por vez primera, para abastecer un repetidor de señal en 1955, alcanzado desde entonces un crecimiento constante, tanto en cantidad como en el tipo de aplicaciones, extendiéndose desde el espacio exterior solitario hasta los lugares más aislados, de la civilización urbana.

El efecto fotovoltaico se basa en que en sobre determinados materiales dispuestos en capas especiales, los fotones o unidades energéticas de la luz solar son capaces de interactuar con los electrones de las últimas capas atómicas y, al

desembarcarse dentro de un camino eléctrico interno, producir una corriente

para obtener corrientes y tensiones mayores. El conjunto de células se encuentra acoplado y protegido de los ataques del medio ambiente formando un panel [6].

FIGURA 1.5. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL EFECTO FOTOVOLTAICO.



A estos sistemas, se puede clasificar en función de que estén o no conectados a las redes eléctricas en:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

En general, un sistema fotovoltaico estará formado por:

- Un generador fotovoltaico.
- Una batería de acumulación.
- Un regulador de carga.
- Un inversor.
- El consumo.

Generador FV: Es el encargado de transformar la energía del Sol en energía eléctrica. Está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie o

Sol se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria. La batería es un elemento que va a estar cargándose y descargándose cíclicamente.

Regulador de carga: Este elemento es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobredescargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil. El modo de operación es sencillo: cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generador FV y cuando detecta que la batería está siendo sobredescargada, desconecta los consumos.

Inversor: Es un dispositivo electrónico encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible.

El consumo: Son cargas energéticas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer (luminarias, batidoras, radio, TV, motores eléctricos, etc.), pueden ser DC o AC.

1.3.2.2.1. Celda solar fotovoltaica

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos electrónicos que tienen la función de transformar la luz solar directamente en energía eléctrica sin pasar antes por un estado de energía térmica.

Las celdas solares no tienen partes mecánicas, están hechas de delgadas capas de material semiconductor, usualmente están elaboradas a base de silicio mono o poli cristalino, y son capaces de generar corrientes de 2 a 4 amperes, a una tensión de 0,46 a 0,48 V utilizando como fuente la radiación luminosa, tienen la propiedad de tener una gran conductividad, están unidas a contactos de metal para completar el circuito eléctrico y se encuentran encapsuladas en vidrio o plástico.

soportan y permite la conexión eléctrica. Estos son:

- **Cubierta exterior.** Es de vidrio ya que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar.
- **Encapsulante.** Generalmente de silicona, es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al Sol para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- **Lámina o protección posterior.** Igualmente debe dar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos.
- **Marco metálico.** De Aluminio, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel.
- **Cableado y bornes de conexión.** Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- **Diodo de protección.** Su misión es proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel.

Los paneles solares tienen entre 28 y 40 células, aunque lo más típico es que cuenten con 36. La superficie del panel o módulo puede variar entre 0,01 y 1,5 m² y presenta dos bornes de salida, positivo y negativo, a veces tienen alguna intermedia para colocar los diodos de protección. Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V.

En la que cada vivienda o aplicación está alimentada por un generador fotovoltaico independiente, debido a las características en cuanto a emplazamientos dispersos y remotos en que suelen tener lugar las aplicaciones fotovoltaicas.

Sin embargo una instalación descentralizada puede tener como ventaja en algunas ocasiones la independencia en la operación y mantenimiento ya que estos aspectos recaen directamente sobre la responsabilidad del usuario.

Instalación Centralizada

Es en la que un único generador fotovoltaico, alimenta a todos los consumidores del grupo. Para su definición deben analizarse las características de los consumos individuales y estudiar alternativas y adaptabilidad del generador o los generadores.

En este tipo de instalación se puede disminuir el número de paneles y baterías, usar un solo inversor, se facilitan los trabajos de limpieza y mantenimiento por la concentración y menor número de elementos.

Prácticamente cualquier aplicación que necesite electricidad para funcionar se puede alimentar con un sistema fotovoltaico adecuadamente dimensionado. La única limitación es el costo del equipo y, en algunas ocasiones, el tamaño del campo de paneles. No obstante, en lugares remotos alejados de la red de distribución eléctrica, lo más rentable suele ser instalar energía solar fotovoltaica antes que realizar la extensión a la red [7] [8] [9] [10].

Ventajas

- No producen humo ni gases contaminantes en los lugares de instalación de los sistemas, ya que no requiere de ningún tipo de combustión.
- Son relativamente adaptables a las estructuras o entornos.
- Por su autonomía y facilidades de integración, permite armonizar con diferentes tipos de estructuras, por lo que el impacto visual se reduce y no afecta tanto el paisaje.

Desventajas

- Impacto visual de las pantallas de captación solar.
- Su precio hace necesario, un análisis detallado para seleccionar las aplicaciones recomendables del sistema fotovoltaico.
- Es dependiente de la radiación solar.

1.3.2. Energía Eólica

El perfeccionamiento del tradicional molino de viento ha dado lugar a modernos aeromotores que aprovechan la energía eólica para generar electricidad. Estos aeromotores pueden instalarse aislados o bien en agrupaciones que aportan energía a las redes de distribución. Sin embargo, el viento tiene dos características que lo diferencia de otras fuentes energéticas:

- Amplia variabilidad temporal
- Dispersión regional

Ello obliga a sutiles perfeccionamientos en el diseño de las palas y el sistema de control que regula las revoluciones por minuto, para evitar velocidades excesivas durante los vendavales y orientar el rotor hacia la posición más favorable.

originando por su acción un movimiento de la masa atmosférica. La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2 000 kWh/m² anuales. El 2 por ciento de ella se transforma en energía eólica.

Partes de un Aerogenerador

- Cimiento
- Torre
- Góndola
- Palas

Sistemas de un aerogenerador

- **Orientación.-** Mantiene el rotor cara al viento, minimizando los cambios de dirección del rotor con los cambios de dirección de viento; Estos cambios de dirección provocan pérdidas de rendimiento y genera grandes esfuerzos con los cambios de velocidad.
- **Regulación.-** Controla la velocidad del rotor y el par motor en el eje del rotor, evitando fluctuaciones producidas por la velocidad del viento.
- **Transmisión.-** Utilizados para aumentar la velocidad de giro del rotor, para poder accionar un generador de corriente eléctrica, es un multiplicador, colocado entre el rotor y el generador.
- **Generador.-** Para la producción de corriente continua (DC) dinamo y para la producción de corriente alterna (AC) alternador, este puede ser síncrono o asíncrono.

1.3.3.1. Aerogeneradores

Se definen en general, los aeromotores según la posición de su eje de rotación,

Eje paralelo a la dirección del viento.- Son las máquinas más difundidas, y con rendimiento superior a las demás. Incluyen aquellas de 1, 2, 3 o 4 palas, además de las típicas multipalas para el bombeo de agua. Debemos distinguir aquellas de "para el viento" y aquellas que tiene sus palas situadas de "espalda al viento" (ver Fig. 1.6).

Eje horizontal perpendicular a la dirección del viento.- Los aerogeneradores más significativos de eje perpendicular a la dirección del viento, son los de perfil oscilante y el sistema de captación con palas batientes. Estos sistemas se han estudiado ampliamente, también se construyeron prototipos; pero presentan más inconvenientes que ventajas; en especial necesitan sistemas de orientación igual a los de eje horizontal paralelo al viento. La recuperación de energía es generalmente complicada y no presenta un buen rendimiento.

Aeromotores de Eje Vertical

Son probablemente, las primeras máquinas que se utilizaron para la captación de energía eólica, ya que son más sencillas que las de eje horizontal; no necesitan ningún sistema de orientación. Lo que constituye una ventaja constructiva. En funcionamiento las palas, los rodamientos y los ejes, no están sometidos a esfuerzos importantes por cambios de orientación. Son de fácil construcción. El rendimiento es mediocre y no se experimentó un gran desarrollo en estos aparatos [11] [12].

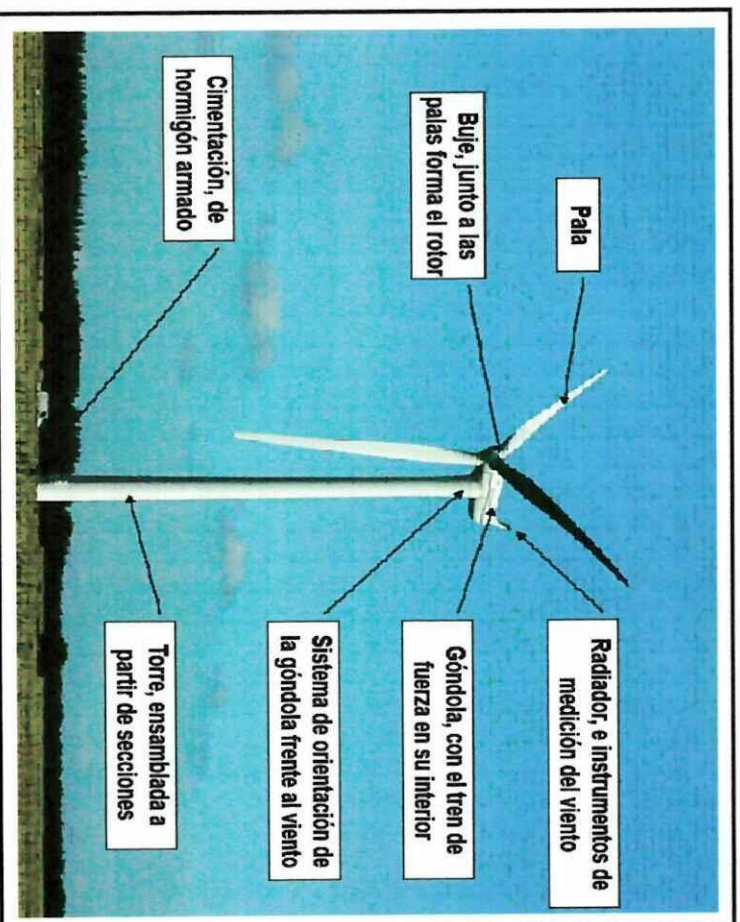
A efectos de regulación los aerogeneradores se pueden clasificar en:

Aerogeneradores de paso fijo

Se define cuando los anclajes de la pala al buje son fijos y no admite rotación de

Se define que en el anclaje de la pala al buje permite el giro sobre su propio eje, a través de unos rodamientos. Normalmente suele incorporar un equipo hidráulico-mecánico o eléctrico para su funcionamiento [13].

FIGURA 1.6. ESTRUCTURA TÍPICA DE UN AEROGENERADOR MODERNO DE GRAN POTENCIA DE EJE HORIZONTAL.



Ventajas

- No afecta la capa de ozono y no contribuye al efecto invernadero ni a la lluvia ácida.
- No produce radiaciones ionizantes ni genera residuos en su explotación.
- Puede disponerse de ella localmente.
- Su instalación es rápida, entre 6 meses y un año

Desventajas

- Alteración sobre el medio físico (impacto visual).
- Perturbaciones sonoras y electromagnéticas.
- Erosión del suelo.
- Efectos sobre la flora y fauna.
- Destrucción de vegetación y hábitad de ciertas especies [3].

1.3.4. Energía Biomasa

Es una tecnología novedosa en la que se incluye la materia orgánica, (biológica, residual o de cultivos energéticos). La formación de la biomasa a partir de la luz solar, mediante fotosíntesis, posibilita su utilización energética como combustible.

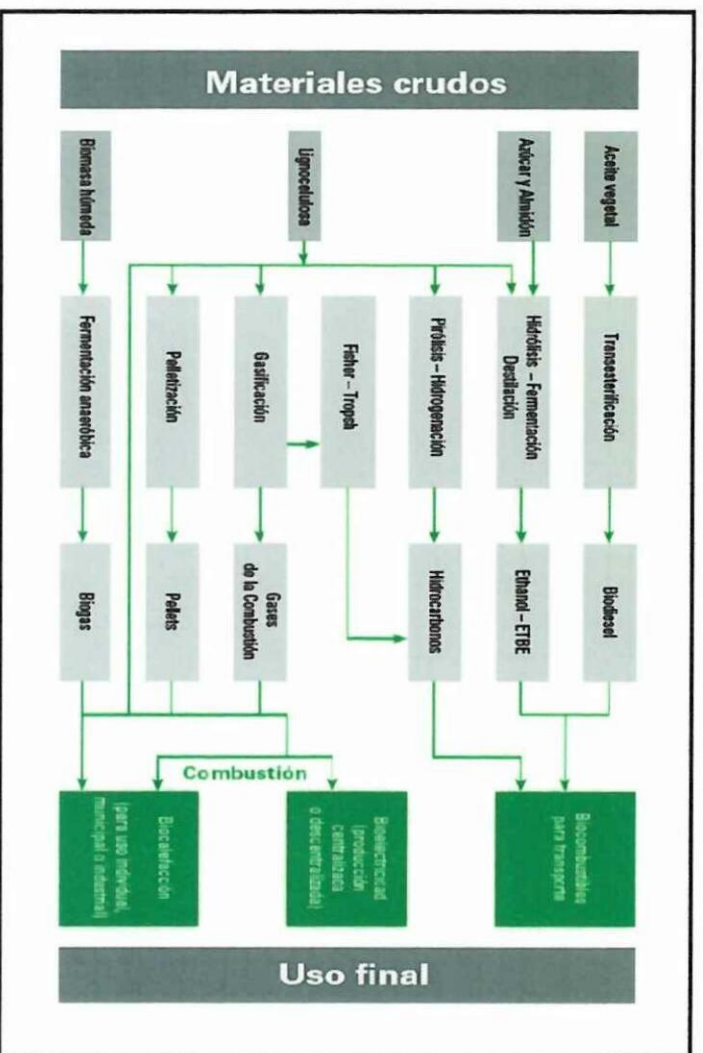
1.3.4.1. Bioenergía

La forma de transformar la biomasa en energía depende, fundamentalmente, del tipo de biomasa que se esté tratando y del destino que se quiera dar a esta energía.

El sector bioenergético está basado en tres modos de usar la energía: para calefacción, para generación eléctrica y para producción de biocombustibles.

Los sistemas comerciales para utilizar biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso (por ejemplo, en calderas para biomasa) o en su gasificación [14].

Los sistemas comerciales para aprovechar la biomasa residual húmeda están basados en la pirólisis. Para ambos tipos de recursos, existen varias tecnologías que posibilitan la obtención de biocarburantes (ver Fig. 1.7).



Cultivos Energéticos

El cultivo de cosechas atendiendo al valor que poseen como combustible, es decir, teniendo en cuenta su potencial energético como cuestión más importante, es lo que se conoce como “cultivos energéticos”. Recientemente, y como consecuencia de la crisis energética, se ha empezado a considerar seriamente la posibilidad de producir biomasa vegetal transformable en energía, conociéndose esta nueva faceta como “Agroenergética”.

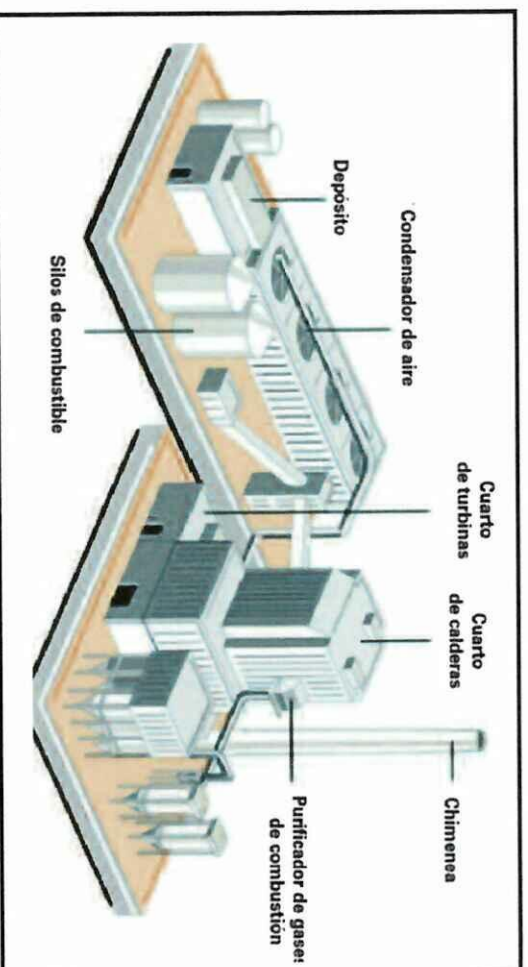
Aspecto Agroenergético: Cuando la totalidad de la biomasa cosechada se emplea con fines energéticos (producción de energía), bien directamente, o bien, después de su transformación, en combustible líquido, sólido o gaseoso [5].

1.3.4.2. Central de Biomasa

Basicamente el funcionamiento de una central es el siguiente:

- La biomasa recogida se quema en calderas.
- El calor de esta combustión se usa para hervir agua y obtener vapor. Los gases se evacuan por conductos y chimeneas.
- El vapor mueve una turbina conectada a un generador (al igual que en las centrales tradicionales).
- El generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica.
- La tensión de la electricidad generada se eleva para su distribución a través de la red.

FIGURA 1.8. ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR BIOMASA.



Ventajas

- Con su uso se eliminan residuos de la naturaleza.
- Al quemar madera, restos orgánicos o residuos, se produce electricidad.
- Existen numerosas tecnologías que permite su transformación y

- La búsqueda de residuos aptos para el consumo energético puede afectar las posibilidades de reciclado de los elementos presentes en residuos sólidos.
- En muchos lugares se está quemando la madera y destruyendo los bosques a un ritmo mayor que el que se reponen, por lo que se están causando graves daños ambientales.
- Al ser los gases quemados añaden CO₂ al ambiente, si no son plantados nuevos árboles los cuales absorberán ese CO₂ [15].

1.3.5. Energía Mareomotriz

Otra fuente de energía apenas utilizada pero de recursos inagotables es el mar.

Esta fuente de energía se manifiesta en cuatro formas: la energía de las mareas, la energía de las olas, las corrientes marinas y el gradiente termocénico.

1.3.5.1. La energía de las mareas

El movimiento de las aguas del mar, producen una energía que se transforma en electricidad en las centrales mareomotrices. Se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo).

El sistema consiste en aprisionar el agua en el momento de la alta marea y liberarla, obligándola a pasar por las turbinas durante la bajamar. Cuando la marea sube, el nivel del mar es superior al del agua del interior de la ría. Abriendo las compuertas, el agua pasa de un lado a otro del dique, y sus movimientos hacen que también se muevan las turbinas de unos generadores de corrientes situados

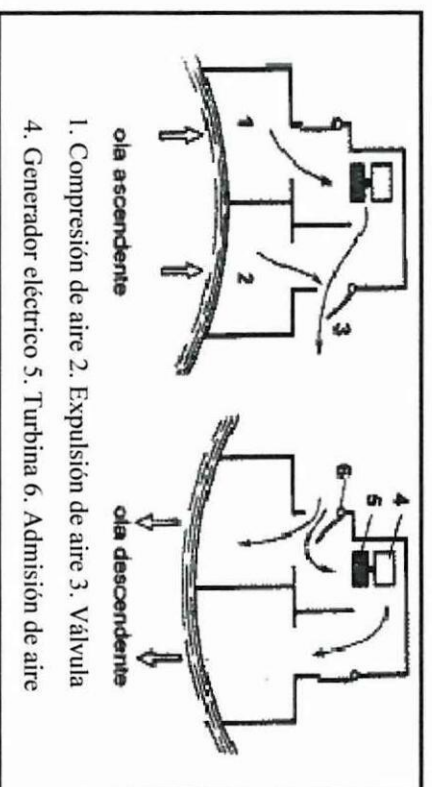
agua es en sentido contrario que el anterior, pero también se aprovecha para producir electricidad.

1.3.5.2. La energía de las olas

Las instalaciones dirigidas a este fin pueden estar ubicadas en estructuras tanto sobre la superficie del océano o debajo de ésta, fijadas al fondo marino o con estructuras flotantes, pueden ser cámaras neumáticas y con partes móviles u oscilantes. Para la conversión de la energía de las olas, predominan tres sistemas básicos: 1) sistemas de canales que dirigen las olas a reservorios, 2) sistemas de flotación que maneja bombas hidráulicas y 3) sistemas de columna de agua oscilante que usa las olas para comprimir aire dentro de un recipiente. La potencia mecánica creada a partir de estos sistemas, mueve directamente un generador o transfieren ésta a un fluido de trabajo, agua o aire el cual entonces mueve un grupo turbina-generador (ver Fig. 1.9).

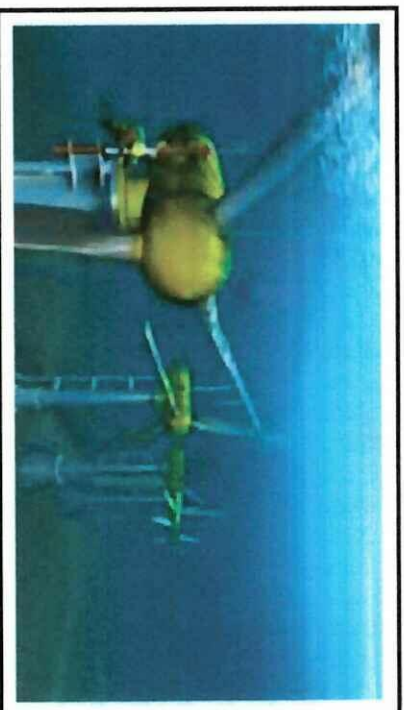
FIGURA 1.9. TURBINA NEUMÁTICA IDEADA DE COLUMNA DE

AGUA OSCILANTE.



eólicas usando la energía cinética del agua, transformándola en energía mecánica de rotación y transfiriéndola a un generador eléctrico. Se investiga tanto con turbinas de eje horizontal como de eje vertical de tipo Darrieus. Debido a la alta densidad del agua de mar (802 veces mayor que el aire) la velocidad del aire no tiene que ser tan alta para alcanzar la misma potencia (ver Fig. 1.10). Un flujo de agua de 1 m/s tiene la misma energía cinética que un viento soplando a 9 m/s.

FIG. 1.10. VISTA DE VARIAS TURBINAS SUMERGIDAS EN EL MAR.



El uso de la energía de las corrientes marinas se encuentra en las primeras etapas de desarrollo con solo un pequeño número de prototipos y máquinas demostrativas que están siendo probadas en estos momentos.

1.3.5.4. El gradiente termocéntrico

Una gran cantidad de energía térmica se encuentra almacenada en los océanos. Cada día el océano absorbe suficiente cantidad de calor equivalente a la energía contenida en 40 millones de toneladas de petróleo.

En el año de 1930 el científico e inventor francés George Claude, poseedor ya, en ese entonces, de sólidos avales científico – tecnológicos, culmina exitosamente con su experimento, el cual fue la obtención de electricidad a partir de la diferencia de temperatura entre las aguas profundas y superficiales del océano. Lo

convierte la energía térmica oceánica en electricidad y en algunos casos se produce también agua desalinizada lo que trae otros beneficios como agua para tomar y para el riego.

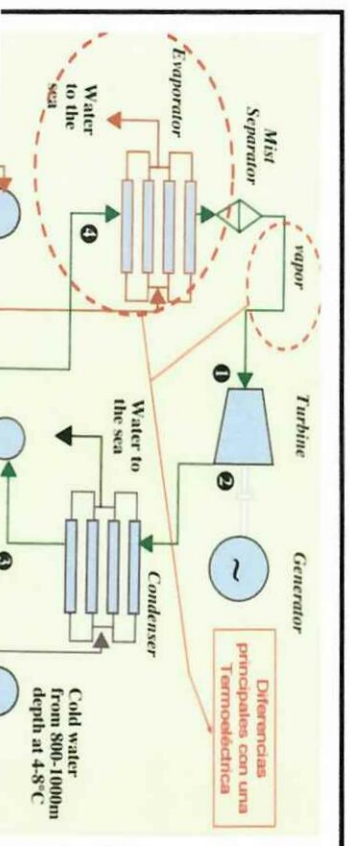
➤ Las plantas de ciclo cerrado trabajan con un fluido de trabajo en un sistema cerrado, Se le sube la temperatura con agua de mar caliente, expandiéndolo bruscamente hasta vaporizarlo, llevando el vapor a la turbina y condensándolo posteriormente en agua de mar fría.

➤ Las plantas de ciclo abierto, expanden bruscamente el agua de mar caliente hasta vapor y se lleva el vapor a la turbina.

➤ Las plantas híbridas expanden bruscamente el agua de mar hasta vaporizarla y usan el vapor para vaporizar el fluido de trabajo en un sistema cerrado.

En la Fig. 1.11, se muestra una planta de conversión de energía termooceánica. En ella se ve la diferencia con una termoelectrica que consiste en que la caldera de la termoelectrica se sustituye por un evaporador y el líquido de trabajo no es el agua [5] [16].

FIG. 1.11. PLANTA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA TERMOOCEÁNICA.



- Energía libre de contaminación
- Silenciosa.
- Bajo costo de materia prima.
- Disponible en cualquier clima y época del año.

Desventajas

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- Efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- No todos los países tienen gradientes termocánicos.
- Traslado de energía es costoso.

1.3.6. *Energía Geotérmica*

La Tierra posee una temperatura bastante alta en su interior la cual va en aumento según se va profundizando en ella a razón de 1°C por cada 33 metros como valor promedio. Esta cifra varía de una zona a otras, es lo que se denomina el gradiente geotérmico. El aprovechamiento de esa diferencia de temperatura entre la superficie de la Tierra y su interior se realiza mediante una central geotérmica.

Las aplicaciones de estos recursos tratan de extraer ese flujo de calor hacia la superficie terrestre en condiciones económicamente rentable.

Para aprovechar la energía geotérmica se recurre a sistemas similares a los empleados en energía solar con turbina, es decir, calentamiento de un líquido que puede tener distintas aplicaciones, pero que habitualmente se destina a producir vapor con el que se da impulso a la turbina, que a su vez mueve un generador

El funcionamiento de una central geotérmica es bastante simple: Consta de una perforación practicada a gran profundidad sobre la corteza terrestre (unos 5 km), con objeto de obtener una temperatura mínima de 150 °C, y en la cual se han introducido dos tubos en circuito cerrado en contacto directo con la fuente de calor.

Desde la superficie se inyecta agua fría a través de uno de los extremos del tubo, la cual se calienta al llegar al fondo formando vapor de agua y regresando a chorro a la superficie a través del otro tubo. En el extremo de éste está acoplada una turbina-generador que suministra la energía eléctrica para su distribución. El agua enfriada es devuelta de nuevo al interior por el primer tubo para repetir el ciclo, este tipo de centrales son típicas pero no exclusivas en zonas volcánicas donde las altas temperaturas se encuentran cercanas a la superficie [6] [17].

Ventajas

- Es de uso sanitario.
- Se usa en balnearios.
- Sirve para cultivos en invernaderos durante el periodo de nevadas.
- Para varios usos industriales como la pasteurización de la leche.
- Se puede utilizar para la implantación de calefacción en distritos enteros y viviendas individuales.

Desventajas

- Por una parte el agua caliente extraída del subsuelo es liberada en la superficie contaminando térmicamente los ecosistemas, al aumentar su temperatura natural.
- El agua extraída asciende con sales y otros elementos disueltos que

Las energías no renovables son fuentes que utilizan recursos fósiles, formados en el transcurso de varios millones de años, por lo cual estos recursos son limitados y muy contaminantes, ya que al ser tratados para la producción de energía eléctrica producen CO₂, SO₂ y NO₂, perjudiciales para el medio ambiente. Entre ellas, y por su uso, destacan: la energía térmica y la energía nuclear.

1.4.1. Energía Térmica

La energía térmica se puede definir como aquella forma de energía que se manifiesta en forma de estado térmico de un sistema. No existe una única variable termodinámica que se identifique con este concepto en cualquier tipo de sistema, aunque la variable que suele utilizarse para cuantificar la energía térmica de un sistema cerrado es la energía interna, la cual incluye las diferentes formas de energía molecular (cinética y potencial) de una sustancia.

Combustión

La combustión es la reacción de oxidación de un combustible; tiene lugar cuando un combustible entra en contacto, bajo ciertas condiciones, con oxígeno generalmente procedente del aire atmosférico, y sus características son:

- Es una reacción exotérmica, es decir, libera calor.
- Su velocidad es función de la temperatura.
- Se compone de las siguientes fases: iniciación, propagación y extinción.
- Generalmente está muy condicionada con los fenómenos físicos que la rodean, por lo que suele considerarse que tiene tanto de fenómeno físico como químico.

- Deflagración
- Premezcla
- Difusión

Combustibles utilizados.- Pueden ser de todo tipo, los más comunes son:

- Sólidos: carbón, leña, material de desecho.
- Polvos: procedentes del carbón, serrín, corcho
- Líquidos: petróleo, fuel-oil, gasoil.
- Gaseosos: gas natural, metano e hidrógeno.

Calderas

Las calderas son instalaciones que tiene por objetivo el calentamiento de un fluido mediante el aprovechamiento de una fuente de calor [3].

1.4.1.1. Central Térmica

Se denominan centrales termoeléctricas clásicas o convencionales aquellas centrales que producen energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada al efecto. El apelativo de "clásicas" o "convencionales" sirve para diferenciarlas de otros tipos de centrales termoeléctricas (nucleares y solares, por ejemplo), las cuales generan electricidad a partir de un ciclo termodinámico, pero mediante fuentes energéticas distintas de los combustibles fósiles empleados en la producción de energía eléctrica desde hace décadas y, sobre todo, con tecnologías diferentes y mucho más recientes que las de las centrales termoeléctricas clásicas.

Funcionamiento de las centrales termoeléctricas clásicas

Independientemente de cual sea el combustible fósil utilizado, las centrales

almacena el combustible, ubicado dentro del propio recinto. En las centrales de carbón, el mineral se tritura previamente en molinos, que lo convierten en polvo muy fino; de esta manera, la combustión resulta más fácil (ver Fig.1.12).

Desde el molino se envía a la caldera mediante chorros de aire precalentado. En las centrales de fuel-oil este componente se precalienta para asegurar su fluidificación; posteriormente proyectado en quemadores especialmente adaptados, cuyo diseño y funcionamiento es diferente si el combustible empleado es gas. Las centrales mixtas disponen instalaciones aptas para quemar indistintamente todo tipo de combustibles fósiles.

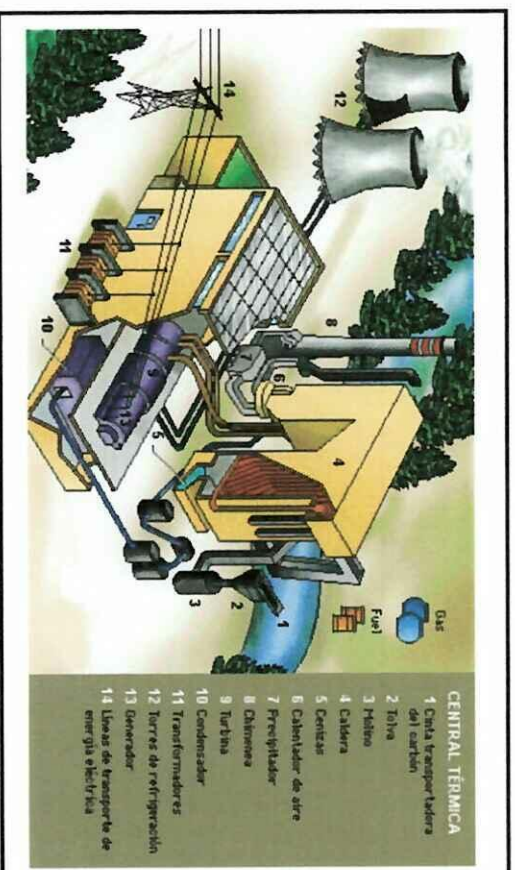
Cuando el gas, el carbón o el fuel-oil han llegado a la caldera, los quemadores provocan su combustión, como consecuencia de la cual se genera energía calorífica. Esta energía transforma el agua que transita por la vasta red de tubos que componen la caldera en vapor de alta presión, luego penetra en la turbina (integrada por tres cuerpos de alta, media y baja presión unidos a un mismo eje).

En el primero de estos cuerpos, el de alta presión, existen centenares de paletas o alabes de pequeño tamaño. En el segundo, los álabes, también numerosos, son mayores. Finalmente, las paletas del cuerpo de baja presión son aun más grandes que las precedentes, con esta gradación de tamaños se aprovecha al máximo la fuerza del vapor puesto que éste va disminuyendo su presión poco a poco; antes de que el vapor penetre en la turbina es necesaria su deshumidificación mediante un proceso de recalentamiento.

Así pues, el vapor de agua a presión provoca el giro de los álabes de la turbina, el eje que mantiene unidos los tres cuerpos de la turbina hace girar, a su vez, un alternador que se encuentra conectado a ella, produciendo energía eléctrica.

vez a los tubos que conforman las paredes de la caldera, remitiéndose así el ciclo productivo. [18][19].

FIGURA 1.12. ESQUEMA DE UNA CENTRAL TÉRMICA.



Ventajas

- La tecnología de las centrales es bien conocida y está ampliamente desarrollada.
- Existen todavía considerables reservas de combustible de origen fósil, a precio moderado.
- Son las centrales más baratas de construir.
- Se la puede ubicar geográficamente en lugares bastante accesibles.

Desventajas

- El costo de explotación es alto debido al consumo de combustible y por el mantenimiento de equipos.
- El rendimiento global de la central es bajo en comparación con la hidráulica.

1.4.2. Energía Nuclear

La energía nuclear es aquella que se libera como resultado de una reacción nuclear. Se puede obtener por el proceso de Fisión Nuclear (división de núcleos atómicos pesados) o bien por Fusión Nuclear (unión de núcleos atómicos muy livianos).

Fisión nuclear

Es una reacción nuclear que tiene lugar por la rotura de un núcleo pesado al ser bombardeado por neutrones de cierta velocidad; a raíz de esta división el núcleo se separa en dos fragmentos con una gran cantidad de energía, (que se transforma finalmente en calor) acompañado de una emisión de radiación y liberación de 2 ó 3 nuevos neutrones.

El proceso de la fisión permite el funcionamiento de los Reactores Nucleares que actualmente operan en el mundo, también es la reacción que aparece en las bombas nucleares de Uranio (bomba atómica).

Fusión nuclear

Cuando dos núcleos atómicos se unen para formar uno mayor se produce una reacción nuclear de fusión. Este tipo de reacciones son las que se están produciendo en el Sol y en el resto de las estrellas, emitiendo gigantescas cantidades de energía.

Muchas personas que apoyan la energía nuclear ven en este proceso la solución al problema de la energía, pues el combustible que requiere es el hidrógeno, que es muy abundante. Además es un proceso que, en principio, produce muy escasa contaminación radiactiva.

interés, no hay reactores de fusión trabajando en ningún sitio.

Esta es la reacción que aparece en la explosión de las bombas nucleares de Hidrógeno.

1.4.2.1. Central Nuclear

Una central nuclear tiene cuatro partes:

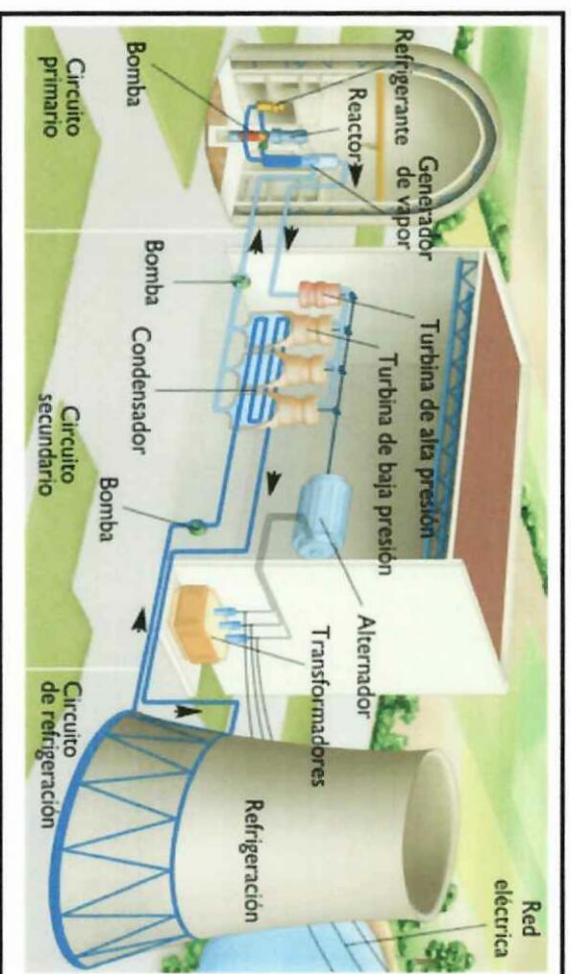
1. El reactor en el que se produce la fisión
2. El generador de vapor en el que el calor producido por la fisión se usa para hacer hervir agua
3. La turbina que produce electricidad con la energía contenida en el vapor
4. El condensador en el cual se enfría el vapor, convirtiéndolo en agua líquida.

La reacción nuclear tiene lugar en el reactor; en él están las agrupaciones de varillas de combustible intercaladas con unas decenas de barras de control que están hechas de un material que absorbe los neutrones. Introduciendo estas barras de control, más o menos, se controla el ritmo de la fisión nuclear ajustándolo a las necesidades de generación de electricidad.

En las centrales nucleares habituales hay un circuito primario de agua en el que esta se calienta por la fisión del uranio; este circuito forma un sistema cerrado en el que el agua circula bajo presión para que permanezca líquida, a pesar de que la temperatura que alcanza es de unos 293 °C.

Con el agua del circuito primario se calienta otro circuito de agua, llamado secundario; el agua de este circuito secundario se transforma en vapor a presión

NUCLEAR.



Ventajas

- La tecnología aplicada es conocida.
- La ubicación geográfica es muy flexible.
- La radiación emitida por la central nuclear se usa con fines pacíficos.
- Reduce las emisiones de CO₂ a la atmosfera.
- Reducen el consumo de las reservas de combustibles fósiles, generando con muy poca cantidad de combustible (Uranio), mayor energía.

Desventajas

- Comparado con las centrales térmicas e hidroeléctricas el costo de construcción es elevado.
- Durante su explotación requieren estrictas medidas de seguridad y control.
- Poseen un elevado riesgo de contaminación medioambiental.

1.5. Uso de las Energías a nivel Internacional

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 [22].

En la actualidad la energía termoeléctrica y nuclear son las que cubren la mayor parte de consumo de electricidad en el mundo, pero con grandes repercusiones al medio ambiente; el uso de otras fuentes de energía es más limitado, pero se observa un cambio sostenido por incrementar sus usos.

Sistemas de concentración de radiación solar.

Es actualmente una de las aplicaciones de la energía solar por la que más se está apostando en el mundo. En Estados Unidos operan más de cien mil metros cuadrados de concentradores lineales; en California se han instalado seis centrales para producir electricidad con una potencia de 354 MW eléctricos y unos rendimientos satisfactorios. Hoy en día existen varios proyectos en marcha en España e India, entre otros países.

Fotovoltaica.

La producción de electricidad a partir de células fotovoltaicas es aún una tecnología cara, pero los costos se están reduciendo. Al día de hoy en Estados Unidos la producción de un kWh cuesta de 4 a 8 céntimos de dólar en una central de carbón y de 20 a 30 utilizando células fotovoltaicas.

Actualmente España y Alemania son los países con mayor capacidad eléctrica instalada en celdas fotovoltaicas.

Eólica.

Es una de las energías renovables más implantadas en todo el mundo, aunque

37 500 MW al total de las instalaciones que suman 157 900 MW actualmente.

Minihidráulica.

Es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de actividades productivas de la humanidad.

A la fecha, existen en todo el mundo 38 750 MW de potencia global instaladas en pequeñas centrales. De estos totales, China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo, le siguen Japón y Estados Unidos. De los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza, colocándola en el octavo lugar mundial de aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos.

Biomasa.

Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa, con 7 000 MW instalados.

Las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30 000 MW para el año 2020. China e India son considerados candidatos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva, mientras otros países muestran un crecimiento prometededor como son: Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia.

Geotérmica.

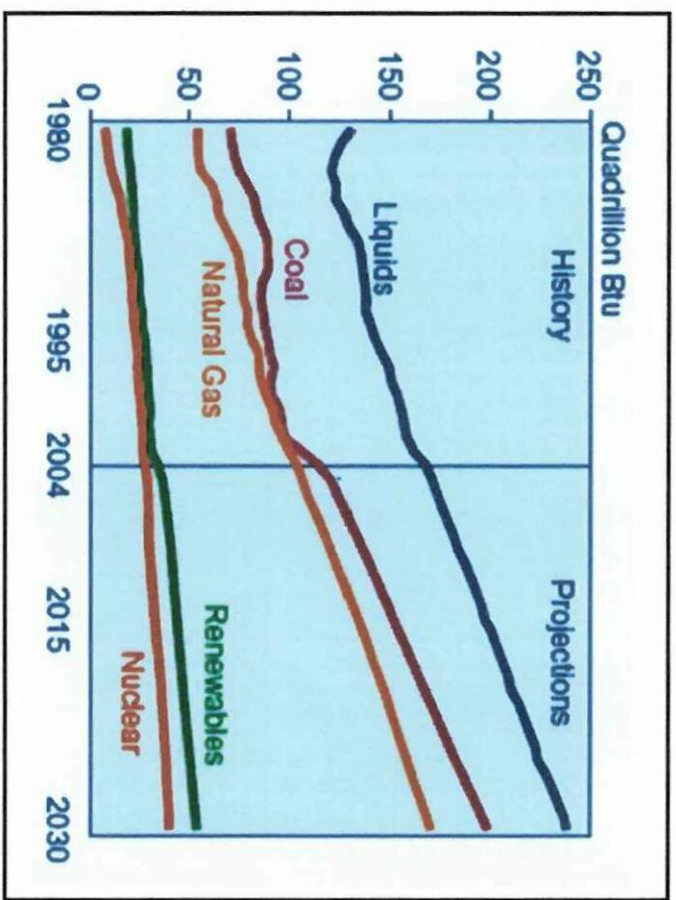
La explotación comercial de la geotermia, comenzó a finales del siglo XIX en Lardarello (Italia). Hoy son ya 22 los países que generan electricidad a partir de geotermia, siendo Estados Unidos, Filipinas, México, Italia y Japón, en este orden los países con mayor producción [10].

energía en el mercado experimente un incremento medio de un 2,5 % por año hasta el 2030 en los países ajenos a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), mientras que en los países miembros será tan solo del 0,6 %; así, durante este periodo, los países OCDE incrementarán su demanda energética en un 24 %, mientras que el resto de países lo harán al 95 %.

Consumo de energía por tipo de combustible

De acuerdo con la International Energy Outlook 2007, el uso de todas las fuentes de energía aumentará durante el periodo 2004-2030 (ver Fig. 1.14) [22].

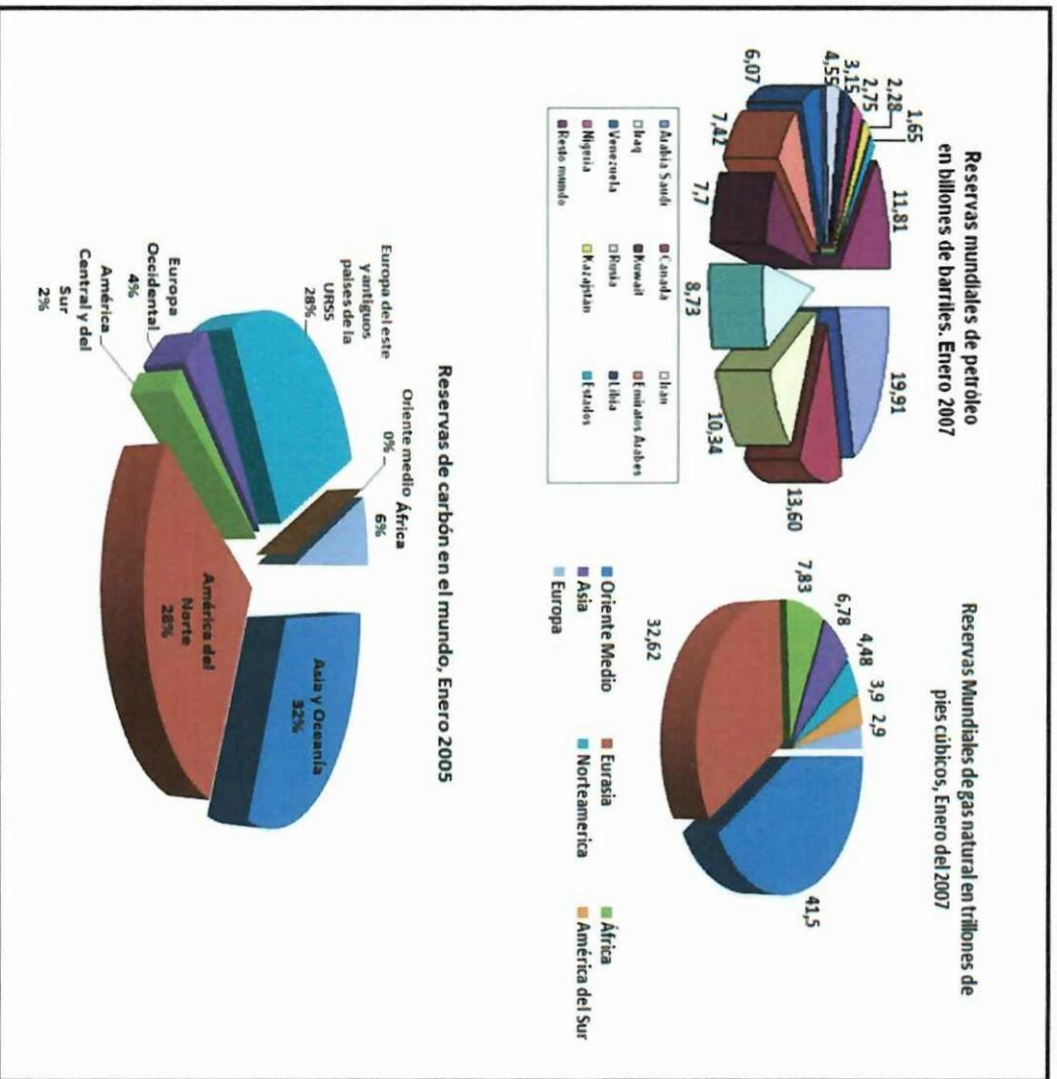
FIG. 1.14. USO DE ENERGÍA SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE,
FUENTE: IEO 2007.



La Fig.1.14 indica que los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), seguirán siendo los más utilizados en todo el mundo, básicamente por su

Hoy en día existe una determinada reserva de combustibles fósiles, pero se pronostica un incremento del consumo promedio del 1,9 % para el petróleo, el 2.3 % para el gas natural y del 2 % para el consumo de carbón. A continuación se muestra los gráficos de reservas mundiales de combustibles (ver Fig. 1.15).

FIG. 1.15. RESERVAS MUNDIALES DE COMBUSTIBLES FÓSILES.



capacidades, a lo que hay que sumar la extensión de la vida útil de muchas de ellas, pero no se puede olvidar que el desastre de Chernóbil causó un trauma mundial cuyas consecuencias aun se sienten.

En el informe 2007 se prevé que la generación eléctrica a partir de energía nuclear se incrementa a una tasa media del 1,3 % anual desde el 2004 al 2030.

Hidroelectricidad y energías renovables

La previsión para el período 2004 - 2030 es que continúen creciendo a razón de 1,7 % anual. Las renovables se beneficiarán, en principio, del mantenimiento de los altos precios de los combustibles fósiles, y de su atractivo como fuentes de energías poco contaminantes.

Generación eléctrica

La demanda de electricidad, de acuerdo con las últimas previsiones realizadas en el 2007, crecerá fuertemente entre el 2004 y el 2030. La producción a escala mundial crecerá un 2,4 % anual en este período [22].

1.6. Generación de Electricidad en Ecuador

1.6.1. Territorio y Cobertura Eléctrica

El Ecuador tiene un territorio de 256 370 km², en el que habita una población de más de trece millones de habitantes; se encuentra atravesado por la cordillera de los Andes, propiciando la formación de tres regiones claramente identificables: la Costa o Litoral que representa la cuarta parte del territorio nacional y contiene casi el 50 % de la población; la Sierra que representa casi la cuarta parte del país y contiene un poco menos del 50 % de la población; y, finalmente la Amazonía que

particulares que las hacen diferentes unas de otras por su clima, población, y su cultura. A estas regiones se suma al Archipiélago de Galápagos compuesto por cerca de un centenar de islas, siendo cuatro de ellas habitadas.

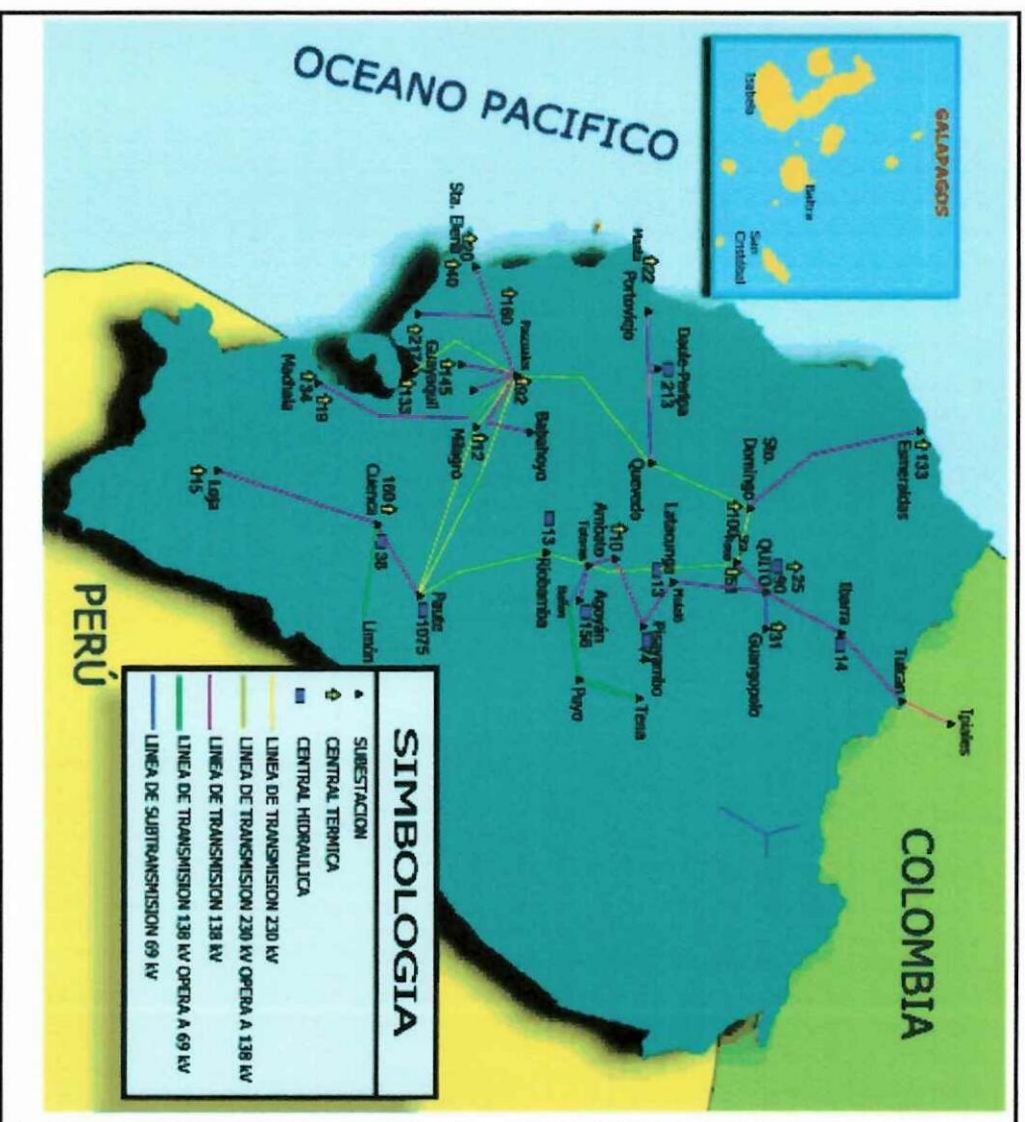
A diciembre del 2008, el número de clientes residenciales de las empresas eléctricas distribuidoras alcanzó los 3 553 593, de las proyecciones del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), a esa fecha habrían existido en el Ecuador 13 805 095 habitantes, por lo que según estimaciones realizadas por el CONELEC, la cobertura nacional alcanzaría en el 2008 el 90,4 %; 92,79 % para el área urbana y 85,74 % el área rural.

1.6.2. Sector Eléctrico

El Sector Eléctrico a diciembre del 2008, estaba constituido por 19 agentes generadores (8 de capital privado y 11 con participación del Estado), 1 transmisor, 20 distribuidoras (18 distribuidoras incorporadas al SNI y 2 no incorporadas), constituidas como sociedades anónimas. La producción total de energía eléctrica en el año 2008 fue de 19 108,69 GWh, de los cuales 11 296,04 GWh (59,11 %) corresponden a energía renovable (centrales hidroeléctricas), y 7812,65 GWh (40,89 %) a energía no renovable (centrales térmicas, interconexiones con Colombia y Perú).

En el caso de la Eólica y Solar considera únicamente las centrales de Eólica San Cristóbal S.A. – EOLICSA y de la Empresa Eléctrica Galápagos, respectivamente, no se cuenta con información actualizada de los sistemas fotovoltaicos instalados en su debido tiempo por los Ministerios de Energía y Minas; y, de Electricidad y Energía Renovable.

FIG.1.16. SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO CON LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 230KV EN ANILLO Y 138 KV EN RADIAL.

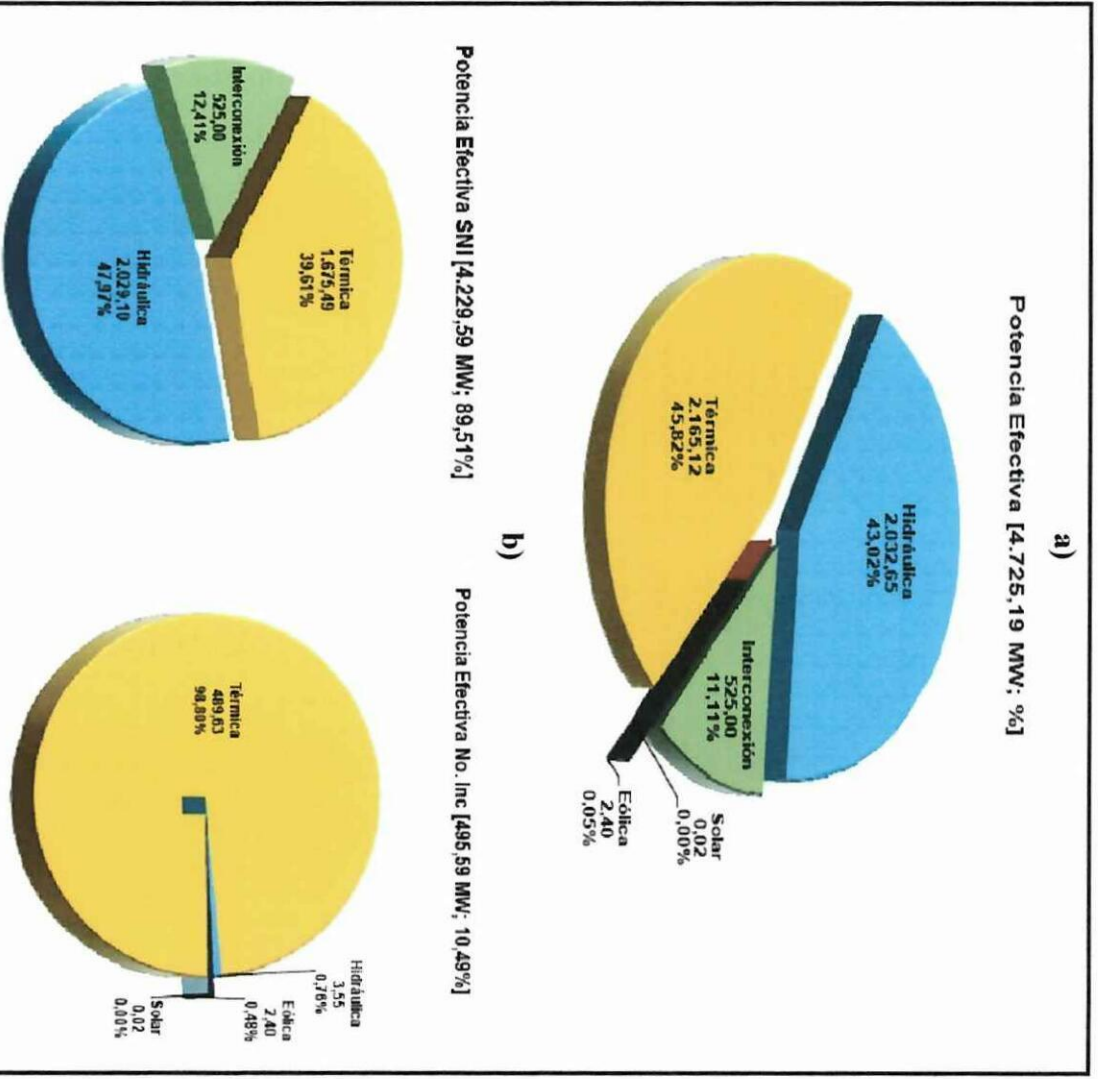


1.6.4. Potencia Total

A junio de 2009, la potencia nominal total de Ecuador, incluyendo las interconexiones, es de 5 266,29 MW, mientras que la potencia efectiva es de

FIG. 1.17. POTENCIA EFECTIVA DEL ECUADOR.

- a) Potencia efectiva por tipo de central e Interconexión
- b) Potencia Efectiva en los sistemas incorporados y no incorporados al SNI.



CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO E HÍBRIDO PARA ZONAS RURALES

2.1. Introducción

La energía fotovoltaica es una de las fuentes renovables de energía más usadas a nivel mundial, en especial para la generación eléctrica en localidades lejanas que no tienen acceso a la red pública. En la República del Ecuador la energía fotovoltaica está siendo desarrollada en su mayoría para la aplicación en zonas rurales [24], ya que estas se encuentran apartadas de las redes de distribución eléctrica y su gran dificultad de acceder a ellas es porque estas comunidades se encuentran en zonas montañosas o selváticas. El disponer de energía eléctrica incide en una mejor calidad de vida del ser humano, por lo que se ha planteado en el presente trabajo realizar un análisis de generación eléctrica fotovoltaica e híbrida para una comunidad modelo con 30 viviendas, con una demanda de consumo básica global, utilizando como herramienta de apoyo para la simulación de los sistemas, el software © HOMER.

2.2. Herramienta para el Dimensionado

Este tipo de herramienta permite dimensionar un sistema, a partir de unos requerimientos energéticos que determinan el tamaño óptimo de cada uno de los diferentes componentes del sistema [25]. Proporcionan información detallada sobre el balance energético en los componentes, indicando además los períodos

Desarrollado por NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables), de Estados Unidos, es una herramienta que proporciona al usuario un potente entorno con multitud de variables para obtener un análisis detallado del sistema, además permite realizar diferentes simulaciones simultáneamente para comparar el resultado de las diferentes configuraciones y dimensionado de componentes [26].

2.3. Sistemas Fotovoltaicos

Es común clasificar los sistemas fotovoltaicos según la participación o no de otras fuentes de energía, de donde pueden ser:

- Sistemas fotovoltaicos puros.
- Sistemas híbridos.

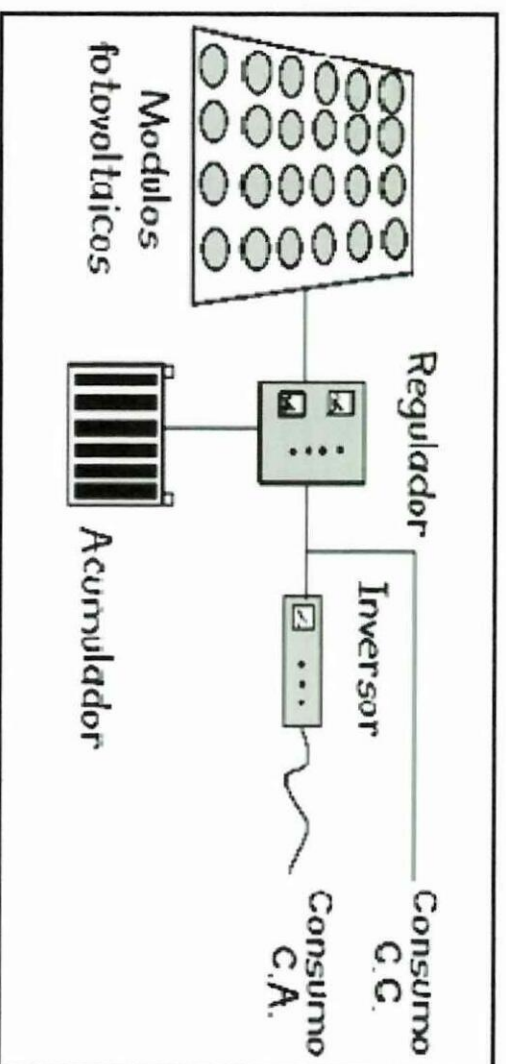
Si el sistema fotovoltaico se encuentra o no conectado a la red de distribución eléctrica, entonces se clasifica como:

- Sistemas autónomos.
- Sistemas conectados a la red.

Sistemas fotovoltaicos autónomos

La energía eléctrica producida a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir una determinada demanda eléctrica en lugares remotos aislados de la red eléctrica, donde resultan competitivos con los sistemas convencionales, tanto en términos económicos como de fiabilidad de suministro.

Las posibles configuraciones de los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden abarcar desde sistemas simples, tales como un generador FV operando un



Sistemas de electrificación rural

Uno de los mercados con más demanda actual es el suministro de energía para viviendas (principalmente iluminación y electrodomésticos) aisladas de la red eléctrica tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados. Casas aisladas (electrificación distribuida) o pueblos enteros (electrificación centralizada) pueden generar su propia electricidad, sin necesidad de un mantenimiento sofisticado o suministros regulares de combustible [10] [5].

2.3.1. Modelo de Análisis

El análisis de generación eléctrica fotovoltaica está diseñado en este trabajo para una comunidad modelo, la cual podría presentarse en cualquier parte del país que se caracterice por ser una zona rural de poco acceso y por consiguiente de pocos habitantes.

La comunidad a estudiar consta de 30 viviendas, los equipos que están en

**TABLA 2.1. POTENCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD
MODELO.**

| Equipos | Potencia (W) | No. Equipos |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| Bombillos | 40 | 50 |
| Lámparas | 25 | 20 |
| TV (21 ") color | 100 | 17 |
| Refrigeradores | 115 | 9 |
| Ventiladores | 30 | 6 |
| Radios | 5 | 12 |
| Grabadoras | 15 | 10 |
| Lavadoras | 180 | 3 |
| Planchas | 1 000 | 2 |

Este ejemplo está representado para la región Oriental del Ecuador, para modificaciones en otras regiones, sólo se debería cambiar datos climatológicos para cada sector y datos reales de carga.

La demanda de consumo está representada para toda la comunidad en el mismo tiempo por comodidad de diseño, también se podría realizar una evaluación del tiempo de consumo.

2.3.2. La Demanda Energética

La demanda y el consumo energético constituyen, como generalidad, las necesidades a satisfacer para el usuario; es por tanto, necesario en cada caso, conocer los detalles y las características de la demanda energética, para poder dar una solución satisfactoria.

En principio la determinación del consumo resulta claro, únicamente se necesita calcular el consumo de energía de todos los dispositivos que se incluirán en el sistema fotovoltaico. En la práctica, sin embargo, la demanda de energía resulta incierta porque a menudo se desconoce el período de tiempo en que funcionará cada aparato.

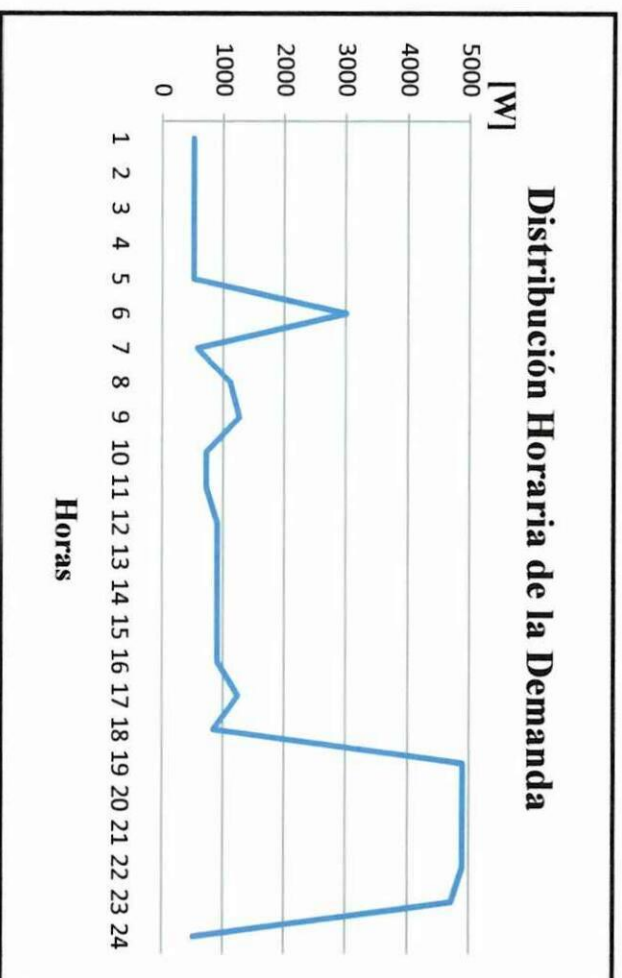
La energía diaria teórica requerida se calcula sumando el producto de la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo diario de funcionamiento de cada uno, en la Tabla 2.2 se ilustra la situación promedio de un día.

**TABLA 2.2. CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO DE LA COMUNIDAD
MODELO.**

| Consumo energético diario | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| Equipo | Potencia, (W) | Cantidad | Potencia Total (W) | Hora/día (h/día) | Energía (Wh/día) | % |
| Bombillos | 40 | 50 | 2 000 | 6 | 12 000 | 29 |
| Lámparas | 25 | 20 | 500 | 6 | 3 000 | 7 |
| TV (21 ") color | 100 | 17 | 1 700 | 5 | 8 500 | 20 |
| Refrigeradores | 115 | 9 | 1 035 | 12 | 12 420 | 30 |
| Ventiladores | 30 | 6 | 180 | 11 | 1 980 | 5 |
| Radios | 5 | 12 | 60 | 10 | 600 | 1 |
| Grabadoras | 15 | 10 | 150 | 10 | 1 500 | 4 |
| Lavadoras | 180 | 3 | 540 | 2 | 1 080 | 3 |
| Planchas | 1 000 | 2 | 2 000 | 0,2 | 400 | 1 |
| TOTAL | 1 510 | | 8 165 | | 41 480 | 100 |

una muestra mejor. El cálculo de los datos de consumos en la Fig. 2.2 se muestra una distribución horaria de la demanda con los valores requeridos para cada hora. Además los valores de la distribución horaria son necesarios para el ingreso de datos en el HOMER.

**FIG. 2.2. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA
(CON ANEXO 1)**



Análisis del peor caso

La Tabla 2.3, muestra los valores de consumo mensual de energía (kWh) en la comunidad tomada como referencia y su relación con el nivel de irradiación (kWh/m² por día); como puede observarse el mes de Junio es donde mayor valor alcanza la relación entre el consumo y los niveles de irradiación, ya que aún cuando se mantiene el consumo promedio diario igual que el resto de los otros meses, los niveles de irradiación son menores, lo que hace que aumente dicha relación, y por tanto se esté en presencia de la peor condición.

IRRADIACIÓN.

RELACIONES MENSUALES DE CONSUMO/IRRADIACIÓN

| | Consumo mensual (kWh) | Total de días del mes | Consumo promedio diario (kWh) | Irradiación (kWh/m ² · día) | Co/I (m ²) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|--|------------------------|
| Enero | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,41 | 9,41 |
| Febrero | 1 161,44 | 28 | 41,48 | 4,48 | 9,26 |
| Marzo | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,66 | 8,90 |
| Abril | 1 244,4 | 30 | 41,48 | 4,36 | 9,51 |
| Mayo | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,28 | 9,69 |
| Junio | 1 244,4 | 30 | 41,48 | 4,14 | 10,02 |
| Julio | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,31 | 9,62 |
| Agosto | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,62 | 8,98 |
| Septiembre | 1 244,4 | 30 | 41,48 | 4,97 | 8,35 |
| Octubre | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,89 | 8,48 |
| Noviembre | 1 244,4 | 30 | 41,48 | 4,94 | 8,40 |
| Diciembre | 1 285,88 | 31 | 41,48 | 4,84 | 8,57 |

Nota: los datos de irradiación están definidos para la latitud cero debido a la zona Ecuatorial (Hacia el Sur en el Hemisferio Norte y hacia el Norte en el Hemisferio Sur). Los valores de irradiación son datos obtenidos del atlas Solar Ecuatoriano (ver anexo 2).

El análisis de esta relación o coeficiente para todos los meses permite definir que si el sistema que se diseñe logra cubrir justamente los 1 244,4 kWh en el mes de Junio, entonces tendrá capacidad excedente de energía para los demás meses del año; por tal razón se define que la energía máxima a consumir en dicha

2.3.3.1. Dimensionado de los paneles

Para el dimensionado de los paneles de debe tener en cuenta la relación entre la energía diaria entregada por los paneles (E_e) y la energía eléctrica diaria consumida (C_o) es:

$$C_o = \eta_e E_e \dots\dots\dots (1)$$

donde:

η_e : es la eficiencia total del conjunto de dispositivos eléctricos sin considerar los paneles, y se define como:

$$\eta_e = \eta_R \eta_B \eta_I \dots\dots\dots (2)$$

donde:

η_R : eficiencia del Regulador

η_B : eficiencia de las Baterías

η_I : eficiencia del Inversor.

Si se considera como la eficiencia de cada uno de los dispositivos de control (regulador e inversor) y almacenamiento iguales a:

$$\eta_R = 0,93 \quad \eta_B = 0,95 \quad \eta_I = 0,90$$

entonces se tendrá que:

$$\eta_e = \eta_R \eta_B \eta_I = 0,79$$

Partiendo de las eficiencias anteriores, puede decirse que sólo se aprovecha aproximadamente el 80 % de la energía entregada por los paneles, por lo que la

El equivalente de la energía total diaria incidente sobre una superficie horizontal en kWh/m² día puede también expresarse a partir del concepto de las horas de Sol pleno (HSP-también llamada hora solar pico) en la región bajo estudio; si se tiene que una hora solar pico (HSP) se entiende como que una superficie dada recibe el equivalente a una radiación de 1 000 W/m² durante una hora, entonces la energía total diaria incidente debido a la presencia del Sol puede obtenerse por la expresión ya conocida de energía:

$$\text{Energía diaria} = (\text{Potencia}) \cdot (\text{tiempo}) \dots\dots\dots (3)$$

Considerando como potencia la del panel escogido y el tiempo como el total de horas de Sol pleno o HSP que corresponde a la condición de 1 kWh/m². Teniendo en cuenta que la potencia normalizada de los paneles puede ser de 25, 50, 100 y 180 watts, si se selecciona un panel con una potencia de 180 watts y se considera que el valor de HSP para el caso bajo análisis es igual a 4,14 horas (dado que la irradiación es del orden de 4,14 kWh/m² al día), la energía diaria requerida de cada panel (E_e)_u será de:

$$(E_e)u = P \cdot t \dots\dots\dots (4)$$

$$(E_e)u = P \cdot t = 180 \text{ W} \cdot 4,14 \text{ h} = 745,2 \text{ Wh} = 0,745 \text{ kWh}$$

Entonces la energía eléctrica entregada (E_e) por todos los paneles se puede definir como:

$$E_e = n (E_e)u \dots\dots\dots (5)$$

el número de paneles (n) se obtiene por la expresión:

Para el dimensionado de baterías se debe tener en cuenta los “días de autonomía”, entendido como aquel número de días seguidos durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación sin generación FV (con radiación solar nula), de modo que el sistema no tenga ningún inconveniente por los días nublados o lluviosos, manteniendo así el suficiente suministro de energía eléctrica.

Otro punto importante al momento de dimensionar es la demanda máxima diaria, como en este caso se tiene un consumo constante se determina el siguiente valor:

$$Co: 41,48 \text{ (kWh/día)}$$

Si los valores de consumo fueran diferentes, entonces el cálculo se lo realizaría con el consumo máximo diario. Asumiendo tres días de autonomía (esto es relativo y puede variar), entonces se tendrá:

$$Ee = (3 \text{ días}) \cdot 41,48 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right)$$

$$Ee = 124,44 \text{ kWh}$$

Esta energía debe estar disponible para ser entregada por las baterías, durante un período de 3 días, sin recibir carga. Para asegurar la vida útil de las baterías debe tenerse en consideración el tiempo de descarga a profundidad de las baterías (PD); si se define que la relación entre la energía a entregar por las baterías y la energía que debe mantenerse almacenada (Ea) a partir del tiempo de descarga profunda de la misma, es igual a:

$$Ee = (PD)Ea \dots\dots\dots (6)$$

$$Ea = \frac{124,44}{0,5} = 248,88 \text{ kWh}$$

La energía se mide indirectamente en las baterías, a través de la carga eléctrica, la cual se expresa en Coulomb o Amper hora.

$$1Ah = 1 \left(\frac{\text{Coulomb}}{\text{seg}} \right) 3600 \text{ seg} = 3600 \text{ Coulomb}$$

Considerando que:

$$E = VI\Delta t \dots\dots\dots (7)$$

y que:

$$I = Q/\Delta t \dots\dots\dots (8)$$

Reemplazando:

$$E = V \left(\frac{Q}{\Delta t} \right) \Delta t \dots\dots\dots (9)$$

Por lo tanto se tiene:

$$Q = E/V \dots\dots\dots (10)$$

Considerando baterías de 24 V, se tiene:

$$Q = \frac{248880 \text{ (W}\cdot\text{h)}}{24 \text{ (V)}} = 10370 \frac{\text{(V}\cdot\text{A)}(\text{h)}}{\text{(V)}}$$

por tanto:

$$Q = 10370 \text{ [Ah]}$$

Por lo que se requiere que las baterías almacenen una carga de 10370 Ah, lo cual se le denomina "capacidad". Teniendo en cuenta la posibilidad de tener baterías disponibles, si se selecciona un modelo que posee una capacidad de 3000 Ah, pero de sólo 2 V, se requieren 12 unidades en serie para lograr los 24 V.

$$6 \cdot (12) = 72 [kWh]$$

Por tal razón se utilizarán 4 grupos de baterías conectadas en paralelo, teniendo cada grupo 12 baterías, lo que dará una energía almacenada de 288 kWh que satisface la demanda requerida de 248,88 kWh.

2.3.3.3. Dimensionado del inversor

Para determinar la potencia del inversor se toma en cuenta la potencia total de todos los equipos, y la cantidad, que serán conectados al sistema, de la Tabla 2.1., se tienen (9 equipos de diferentes potencias):

$$Pot_{inv} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8 + W_9 \dots \dots \dots (11)$$

donde:

Pot_{inv} = Potencia del Inversor (W)

W_{inv} = Potencia de cada una de las cargas (W)

$$Pot_{inv} = (40W)(50) + (25W)(20) + (100W)(17) + (115W)(9) + (30W)(6) + (5W)(12) + (15W)(10) + (180W)(3) + (1\ 000W)(2)$$

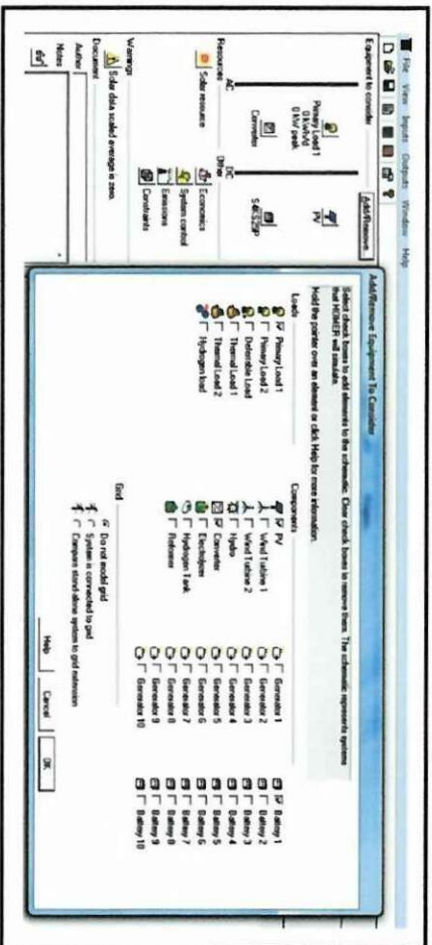
$$Pot_{inv} = 8\ 165\ W$$

Con respecto al valor calculado se concluye que el tipo de inversor que se necesite es un inversor de 10 000 W.

2.3.4. Comportamiento Simulado

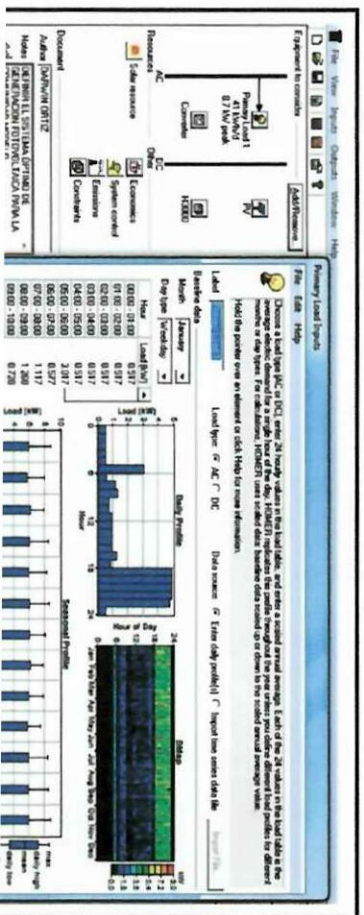
1.- Definir la estructura tecnológica.- Se seleccionan los elementos del sistema, número de cargas a alimentar, generador fotovoltaico, batería, convertidor (ver Fig. 2.3).

FIG.2.3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.



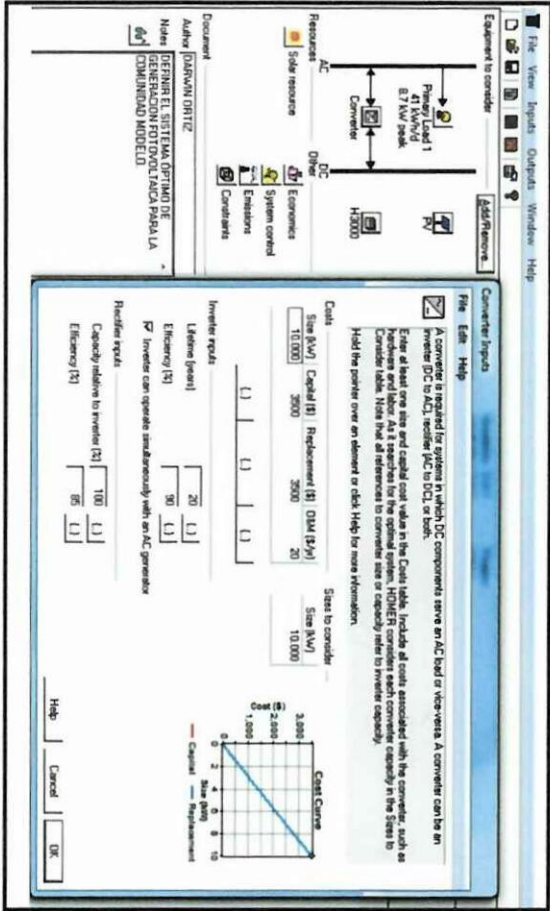
2.- Distribución de la demanda.- Se especifica el consumo para cada hora del día que tendrá la comunidad modelo (valores representados en el anexo 1), además se consideró, una variación en la demanda del $\pm 15\%$ para cada día y del $\pm 20\%$ para el transcurso del mismo (ver Fig. 2.4).

FIG. 2.4. DISTRIBUCIÓN Y VARIACIÓN DE LA DEMANDA PARA UN DÍA INDETERMINADO.



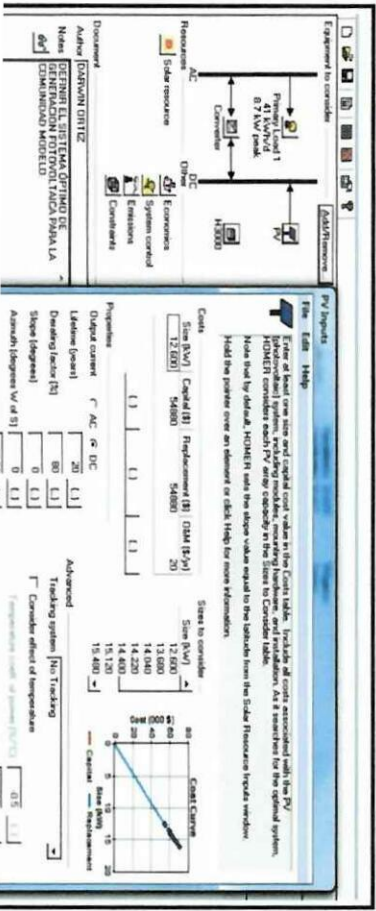
ingresa los valores de costo y tiempo de vida útil (ver Fig. 2.5).

FIG. 2.5. DATOS CARACTERÍSTICOS DEL INVERSOR.



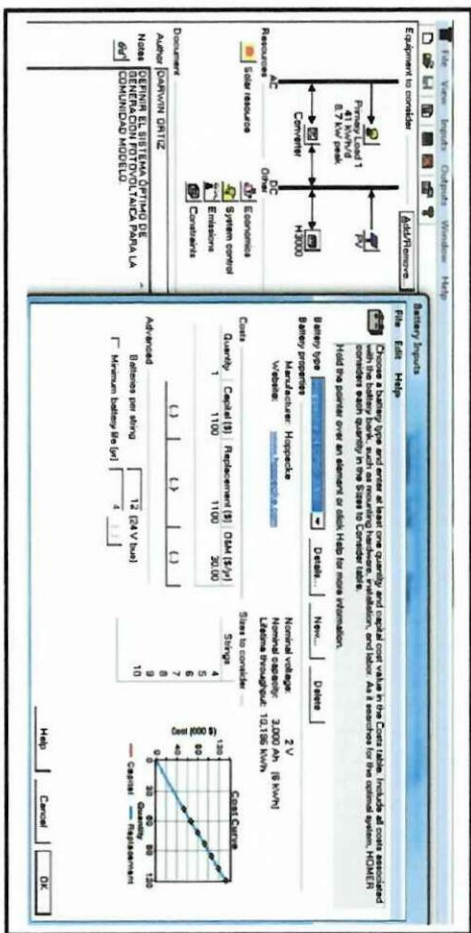
4. Entrada de los paneles fotovoltaicos.- Se ingresa el número de paneles pero en su equivalente a kW, con sus respectivas variantes o alternativas para simular, costos y años de vida útil (20 años), para este ejemplo (ver Fig. 2.6).

FIG. 2.6. DATOS ESPECÍFICOS Y VARIACIÓN DEL NÚMERO DE PANELES.



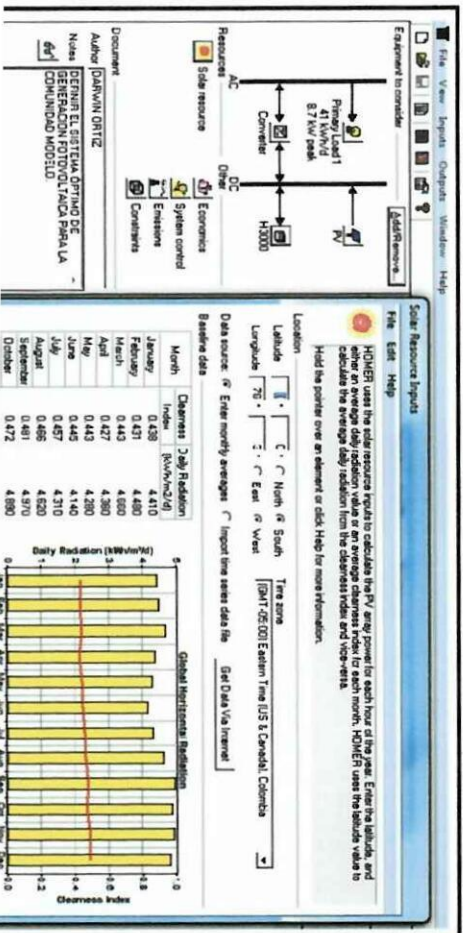
baterías en serie, con sus respectivas alternativas para simular y costos (ver Fig. 2.7).

FIG. 2.7. DATOS ESPECIFICOS Y VARIACIÓN DEL NÚMERO DE BATERÍAS.



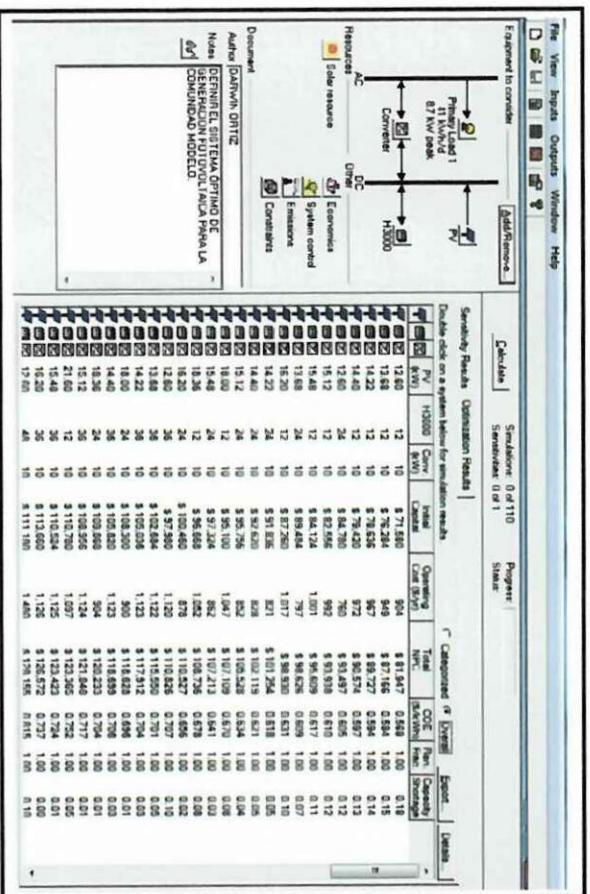
6. **Radiación solar.-** Se ingresa datos de radiación solar directa o global para cada mes del año, de define la localización geográfica del sector con su latitud y longitud (ver Fig. 2.8).

FIG. 2.8. DATOS DEL RECURSO SOLAR (ECUADOR – ZONA ORIENTAL).



Ya obtenidos los resultados se procede a realizar el análisis de la mejor alternativa para la aplicación de un sistema fotovoltaico a dicha comunidad (ver Fig. 2.9).

FIG. 2.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE © HOMER.

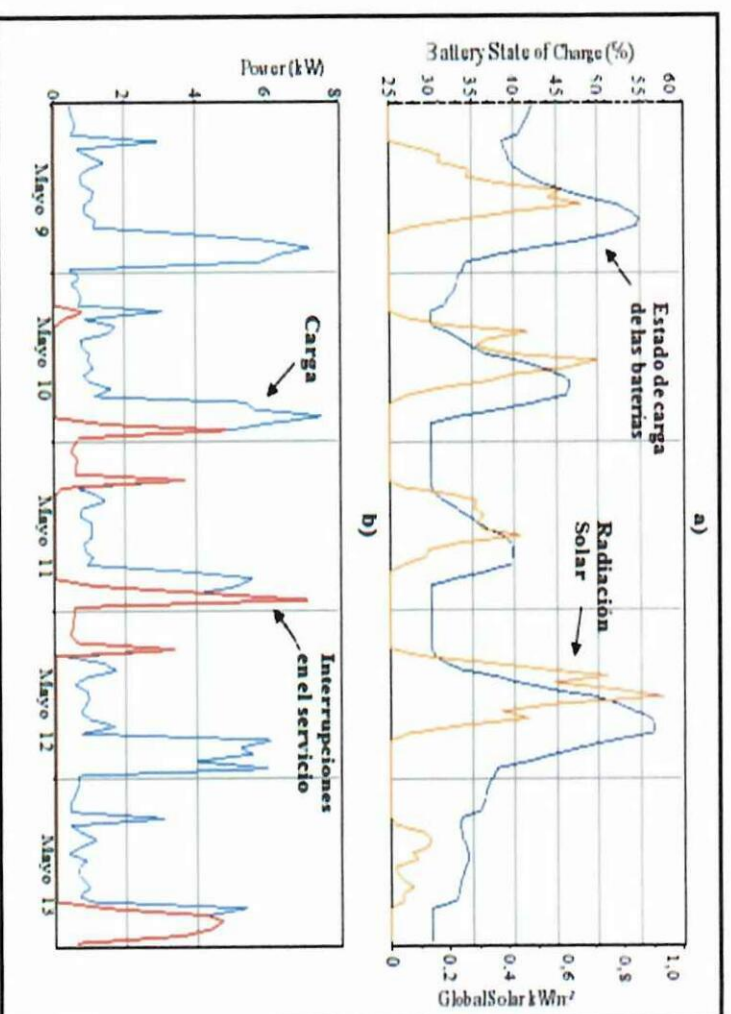


En la primera simulación (realizada con los datos obtenidos en el método simple de dimensionado) a través del software © HOMER, se han obtenido resultados no tan favorables para la aplicación del sistema fotovoltaico ya que este debe garantizar el suministro de energía eléctrica para satisfacer la demanda de la comunidad, así que en ningún momento debe existir falla en el sistema eléctrico, en la Fig. 2.10 se muestra el comportamiento del sistema.

En la Fig. 2.10 a), se muestra la variación de la radiación solar; como es notorio, la radiación no es la misma todos los días; al disminuir el estado de carga de las baterías baja a un punto crítico, el cual no es capaz de suministrar la suficiente energía para garantizar la demanda, por lo tanto existe una interrupción en el

VARIANTE 1

- a) Comportamiento radiación solar y estado de carga de las baterías
- b) Comportamiento de carga eléctrica y las interrupciones en el servicio



Como consecuencia de este resultado, se considera realizar variaciones, tanto en la potencia de los paneles como en número de baterías, para los cuales, en este ejemplo se consideran valores para los paneles de (12,6; 13,68; 14,22; 14,4; 15,12; 15,48; 16,2; 18; 18,36; 21,6; 25,2) kW, y el número de baterías (12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120).

2.3.5. Resultados de las diferentes variantes

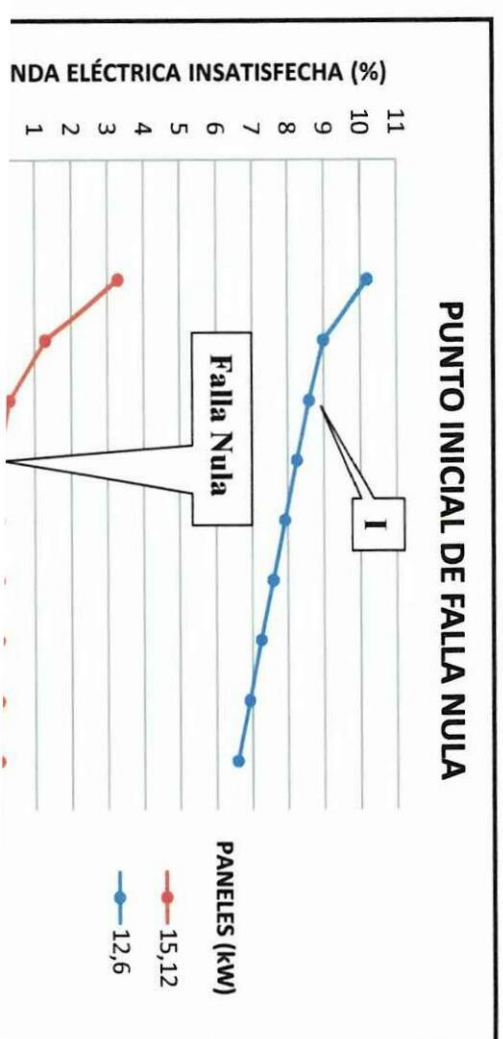
En consecuencia de las variaciones realizadas tanto en los paneles como en las baterías, se han obtenido 110 resultados, cada uno de ellos contiene datos de

simulación del método simple se ha de realizar una comparación entre los resultados obtenidos en la simulación dando así una solución idónea a este problema, para esto se realiza un gráfico donde se pueda observar la cantidad de interrupciones que presenta cada resultado, el punto de inicio se dará con los resultados del método simple, y será representado con la letra (I), de todos los resultados de la simulación serán representadas las más importantes, los cuales dependiendo de la variación entre la cantidad de paneles y baterías permitirán llegar finalmente como resultado una demanda eléctrica insatisfecha del 0 %.

Al hablar de una demanda eléctrica insatisfecha del 0 %, se está garantizando que la comunidad no tendrá problemas en el suministro de energía, ya que el sistema fotovoltaico, cubrirá la demanda para la cual fue diseñado.

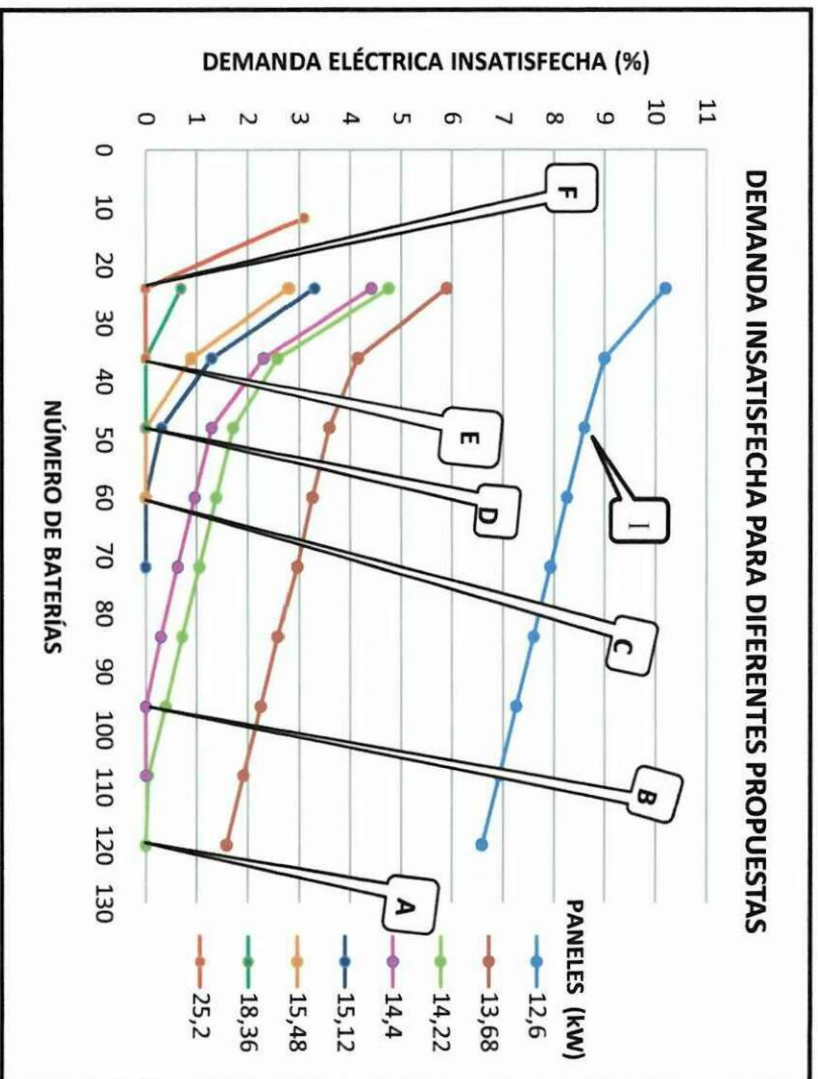
En la Fig. 2.11 se muestra la diferencia que existe al utilizar diferentes variantes, tanto el número de paneles como de baterías, en el cual muchas de estas, no garantizan el suministro de energía para la comunidad, cada variante está representado por un punto en el diagrama.

FIG. 2.11. CUADRO DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN.



La Fig. 2.11 está caracterizada por dos ejes (x, y); en el eje (x) se encuentra el número de baterías y en el eje (y) el porcentaje de la demanda eléctrica insatisfecha; en el centro se presentan dos líneas (cada una dividida por puntos); estos puntos representan el número de paneles con su equivalencia en kW. En la línea azul se indica el punto de inicio (I) obtenido en el cálculo por el método simple de dimensionado, el cual da una falla del 8,6 %; a este resultado se ha incrementado el número de baterías, pero el porcentaje de falla no varía significativamente en relación al obtenido, razón por la cual se realiza un incremento en el número de paneles (15,12 kW) con una determinada cantidad de baterías (24), y se obtiene un notable cambio en el porcentaje de fallas esto se puede observar en la línea roja de la Fig. 2.11, donde a medida que el número de baterías va aumentando, el porcentaje de falla disminuye, hasta llegar a un punto donde la falla es cero o nula, por consiguiente, este es el punto inicial de falla nula, debido que se considera que a partir de este punto el aumento tanto de baterías o de paneles, sólo traería consigo gastos innecesarios, ya que se generará un excedente de energía no utilizable.

En la Fig. 2.12 se muestra los principales resultados obtenidos de la simulación, cada uno de estos resultados están representados con un diferente número de paneles fotovoltaicos y asignadas con una línea de diferente color, la misma que está separada con puntos que definen la variante entre los paneles y las baterías; cuando estas variantes llegan al estado de valor cero de falla serán caracterizados con una letra del alfabeto (A, B, C,...etc.) según la potencia de los paneles fotovoltaicos; estos puntos ayudan para la realización del análisis técnico – económico y sobre todo representan la cantidad mínima de recursos que logra cero fallas.



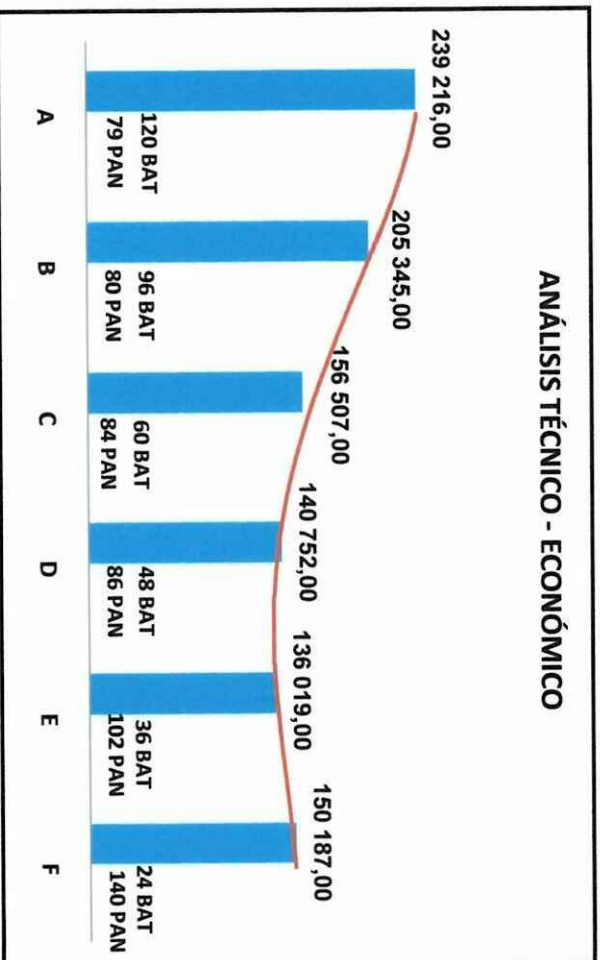
Nota: todos los resultados obtenidos en la simulación con el software © HOMER, con las diversas variantes se encuentra en el (Anexo 4).

2.3.5.2. Análisis Técnico – Económico

Ya obtenido los puntos de falla nula se realizan una serie de comparaciones entre ellos, en la Tabla 2.4, se describen los puntos de falla nula obtenidos de la Fig. 2.12 y además se ilustran los datos económicos, número de paneles con su potencia y número de baterías del sistema a instalar, y en la Fig. 2.13 se indica una representación gráfica de la Tabla 2.4.

| PUNTO INICIAL DE FALLA NULA | NÚMERO DE PANELES | PANELES (kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO (\$/kWh) |
|-----------------------------|-------------------|--------------|----------|------------------|----------------|
| A | 79 | 14,22 | 120 | 239 216 | 1,39 |
| B | 80 | 14,4 | 96 | 205 345 | 1,193 |
| C | 84 | 15,12 | 60 | 156 507 | 0,91 |
| D | 86 | 15,48 | 48 | 140 752 | 0,818 |
| E | 102 | 18,36 | 36 | 136 019 | 0,791 |
| F | 140 | 25,2 | 24 | 150 187 | 0,873 |

FIG. 2.13. CUADRO COMPARATIVO DE LOS PUNTOS DE FALLA NULA.



Se observa que la variante más adecuada es la representada por el punto E la cual está conformada por 102 paneles (cada uno de 180 W y 24 V) y de 3 grupos de

cuál se define el costo aproximado de la instalación. En la tabla 2.5 se muestra el costo del sistema fotovoltaico para la comunidad modelo.

TABLA 2.5. COSTO DE INVERSIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|--------------------------|--------------|------------------|----------|-----------|--------------|----------------|
| PV | 79 968 | 0 | 334 | 0 | 0 | 80 302 |
| Hoppecke 24 OPzS 3000 | 39 600 | 0 | 12 388 | 0 | 0 | 51 988 |
| Converter | 3 500 | 0 | 229 | 0 | 0 | 3 729 |
| System | 123 068 | 0 | 12 951 | 0 | 0 | 136 019 |

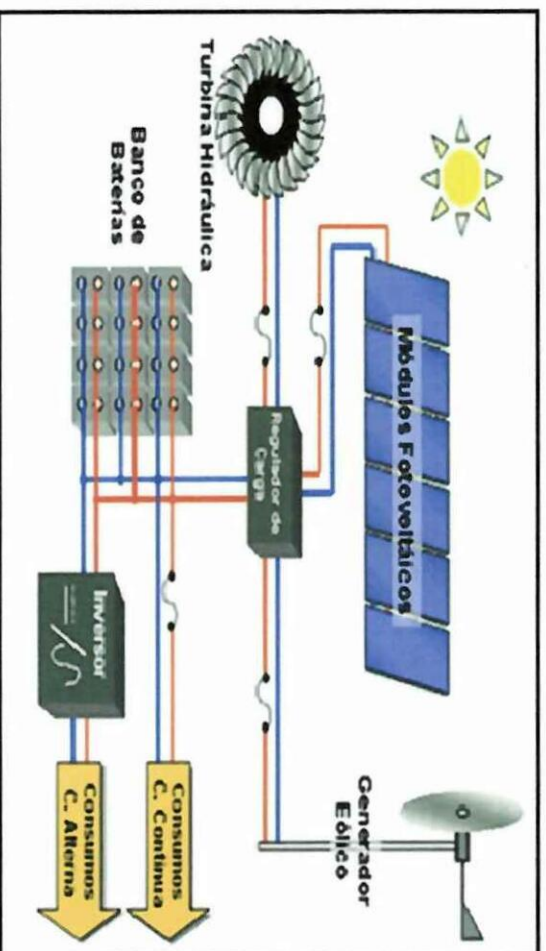
2.4. Sistemas Híbridos

Son los sistemas de generación que están compuestos por distintos tipos de fuentes de energía, entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- Paneles fotovoltaicos
- Aerogenerador
- Pilas de combustible
- Biomasa
- Mini centrales hidráulicas

El funcionamiento de un sistema híbrido es complejo de diseñar 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, un esquema de este tipo

FOTOVOLTAICOS, CENTRAL HIDRÁULICA Y AEROGENERADOR.



Para el diseño de estos sistemas de generación es necesario realizar un estudio previo de la zona donde se quiere instalar. Este estudio revelará el potencial de la zona en cuanto a fuentes renovables de energía (mapas solares, mapas eólicos) y se complementa con un estudio del perfil de cargas que tienen que alimentar, lo que permitirá dimensionar el sistema.

Las ventajas de este tipo de sistema son:

- Utilización de las fuentes renovables de energía disponibles.
- Disponer de suministro eléctrico en una zona aislada, con lo que se posibilita su desarrollo económico y social.
- Ahorro en el consumo de combustible.
- Menor contaminación ambiental.

La desventaja es el costo de inversión inicial, lo que hace necesario un análisis detallado para seleccionar las aplicaciones recomendables del sistema híbrido

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

El principio de funcionamiento del GE es sencillo; se trata de mover el eje de un generador con un motor de combustión interna, que puede ser de ciclo Otto o Diesel. Las instalaciones de los GE se diseñan teniendo en cuenta diferentes parámetros como la curva de carga diaria del lugar donde se ubicarán, el retardo admisible en la incorporación del suministro, la duración del mismo, su confiabilidad; también se tiene en consideración cuán crítica es la carga, las condiciones del lugar, o sea, si el grupo debe instalarse a la intemperie o bajo techo, si hay disponibilidad de abastecimiento regular de combustible y agua de refrigeración, el espacio útil disponible, el régimen de mantenimiento periódico, el nivel de ruido admisible, las normas de calidad de los gases de escape, la altura sobre el nivel del mar del sitio de emplazamiento, como así también la temperatura y la humedad ambiente. También debe considerarse el grado de entrenamiento de los futuros operadores.

Además de tener en cuenta los aspectos técnicos, los aspectos económicos desempeñan un papel importante en la selección de los GE, debiendo de considerarse el tiempo de utilización esperado en virtud de los períodos de inactividad de los grupos electrógenos, la seguridad, la prevención, la continuidad de la producción y la periodicidad de los mantenimientos.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

ecológicas y económicas.

Generador. Puede tener dos tipos de generador: sincrónico o asincrónico. Para seleccionar uno u otro generador hay que basarse en cual va a ser su aplicación y en distintos criterios, algunos de los cuales son: el comportamiento de la tensión en el arranque, cuando trabaja a potencia nominal y con sobrecarga, teniendo en cuenta un factor de potencia constante ante un posible cambio en la carga, el comportamiento eléctrico y mecánico durante los cortocircuitos, la eficiencia y el diseño del generador.

Sistema de control. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento.

Auxiliares. Son objetos o equipos esenciales para el correcto funcionamiento y operación de los grupos electrógenos, entre los cuales se encuentran el sistema de arranque, los sistemas de entrada de aire y eliminación del gas, sistema de enfriamiento, sistema de lubricación con aceite, sistema de combustible y el suministro auxiliar de energía eléctrica[28][29].

2.5. Sistema Autónomo Híbrido Fotovoltaico – Diesel

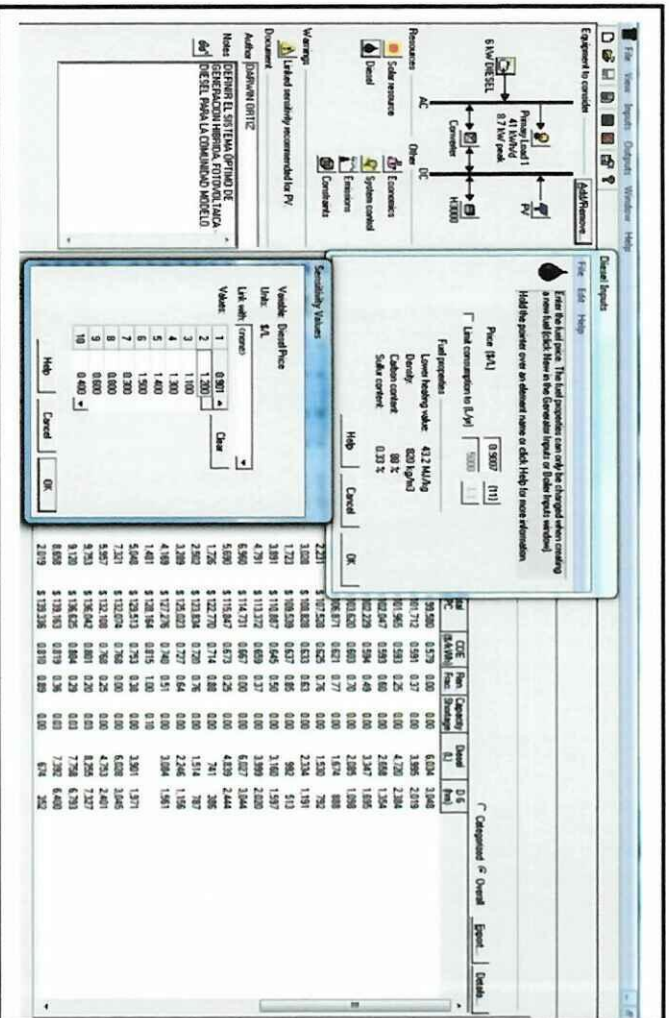
Para el siguiente sistema de generación eléctrica híbrida fotovoltaico – diesel, se plantea obtener resultados positivos para garantizar el consumo eléctrico de la comunidad modelo anteriormente mencionada.

El modelo de análisis, la demanda eléctrica, la distribución horaria, serán los mismos, con los cuales se trabajó en el presente trabajo en el sistema fotovoltaico,

Para el ingreso de datos en el software © HOMER, se ha de utilizar el mismo procedimiento usado en el sistema fotovoltaico al cual se incluye un GE, determinando su potencia, costo del generador, operación y mantenimiento, horas de funcionamiento.

Un factor determinante es el costo del diesel el cual se encuentra valorado en 0,9007 \$ actualmente en el Ecuador; dicho valor se varía para tener una visión más clara de lo que podría pasar al incrementar o reducir el precio (ver Fig. 2.15); esto se realiza debido a que el mercado puede variar en sus costos, aunque las predicciones para el futuro están enmarcadas al aumento del costo de los combustibles derivados del petróleo, por el desabastecimiento del recurso fósil.

FIG. 2.15. DATOS DEL GE, Y VARIACIÓN DEL COSTO DEL COMBUSTIBLE.



Un dato importante para la proyección futura del sistema híbrido es agregarle un

el sistema híbrido si el costo de los paneles aumentaría, aunque la tendencia de estos es que el costo disminuya.

Para obtener resultados válidos se realiza varias simulaciones, con la diferencia en cada una es que la potencia del GE cambia, en este caso las potencias son: 1 000[W], 2 800[W], 4 500[W], 6 000[W] y 10 000[W]; al variar estas potencias se llega a determinar con cuál de estos grupos electrógenos, el sistema híbrido garantiza un suministro constante de energía eléctrica a la comunidad; estos grupos electrógenos están disponibles para su compra en la República del Ecuador, con sus valores en el mercado actual, así que los valores referidos están expuestos a cambio.

2.5.1. Resultados

Se obtienen diversas soluciones energéticas para el sistema híbrido, pero resulta interesante que todas las soluciones cubren la demanda requerida con un mínimo de interrupciones en el servicio, esto se debe a que todas las soluciones son posibles en el sistema híbrido, entonces, uno de los problemas importantes es encontrar cuál de las soluciones es la apropiada, relacionando criterios en los cuales debe existir una demanda eléctrica insatisfecha del 0 % y el costo total de la inversión sea el más rentable.

En la Fig. 2.16 se muestra una representación gráfica del instante en el cual ocurren las interrupciones en el servicio; esto sucede, debido a que en ese día no hubo suficiente radiación solar y por consiguiente la generación eléctrica de los paneles es baja, las baterías no están con suficiente carga para abastecer el consumo por lo cual entra en funcionamiento el grupo electrógeno pero este no tiene la potencia necesaria para poder cubrir la demanda requerida en ese instante por la comunidad y se produce la interrupción en el servicio eléctrico.

| GE. (kW) | PANELES | BATERIAS | PRODUC. FV kWh/año (%) | PRODUC. GE kWh/año (%) | INSATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|----------|---------|----------|------------------------|------------------------|---------------|------------------|--------------|
| 10 | 50 | 12 | 59 | 41 | 0 | 106 425 | 0,619 |
| 10 | 60 | 12 | 69 | 31 | 0 | 107 718 | 0,626 |
| 10 | 70 | 12 | 76 | 24 | 0 | 111 411 | 0,647 |
| 6 | 50 | 12 | 60 | 40 | 0,01 | 102 047 | 0,593 |
| 6 | 60 | 12 | 70 | 30 | 0,05 | 103 620 | 0,603 |
| 6 | 30 | 12 | 37 | 63 | 0,052 | 101 712 | 0,591 |
| 2,8 | 20 | 24 | 27 | 73 | 0,054 | 102 357 | 0,595 |
| 4,5 | 70 | 36 | 88 | 12 | 0,06 | 122 413 | 0,712 |
| 2,8 | 70 | 36 | 89 | 11 | 0,08 | 119 341 | 0,694 |
| 4,5 | 70 | 24 | 86 | 14 | 0,08 | 108 739 | 0,632 |
| 2,8 | 20 | 12 | 27 | 73 | 0,157 | 85 419 | 0,497 |
| 4,5 | 70 | 12 | 79 | 21 | 0,3 | 104 751 | 0,611 |
| 4,5 | 50 | 12 | 62 | 38 | 0,32 | 100 285 | 0,585 |
| 4,5 | 40 | 12 | 50 | 50 | 0,47 | 100 117 | 0,585 |
| 2,8 | 60 | 24 | 77 | 23 | 0,48 | 103 854 | 0,606 |
| 1 | 70 | 48 | 92 | 8 | 0,68 | 134 929 | 0,79 |
| 1 | 70 | 36 | 91 | 9 | 0,69 | 117 978 | 0,69 |
| 2,8 | 40 | 24 | 52 | 48 | 0,82 | 103 062 | 0,604 |
| 1 | 60 | 24 | 80 | 20 | 1,89 | 100 641 | 0,596 |
| 1 | 50 | 24 | 69 | 31 | 3,83 | 100 086 | 0,605 |

Nota: todos los resultados obtenidos en la simulación a diferentes potencias se las puede ver en el Anexo 5.

Ya presentada la tabla con todos los datos necesarios se procede al análisis técnico-económico para concretar cuál es la solución idónea para conformar el sistema híbrido; en este ejemplo la mejor variante para integrar este sistema es la que está compuesta por un grupo electrógeno diesel de 6 kW, 40 paneles (cada uno de 180 W a 24 V) y un grupo de baterías, el cual está conformada de 12 baterías conectadas en serie (cada batería es de 2 V y 3 000 Ah) con una vida útil de 20 años.

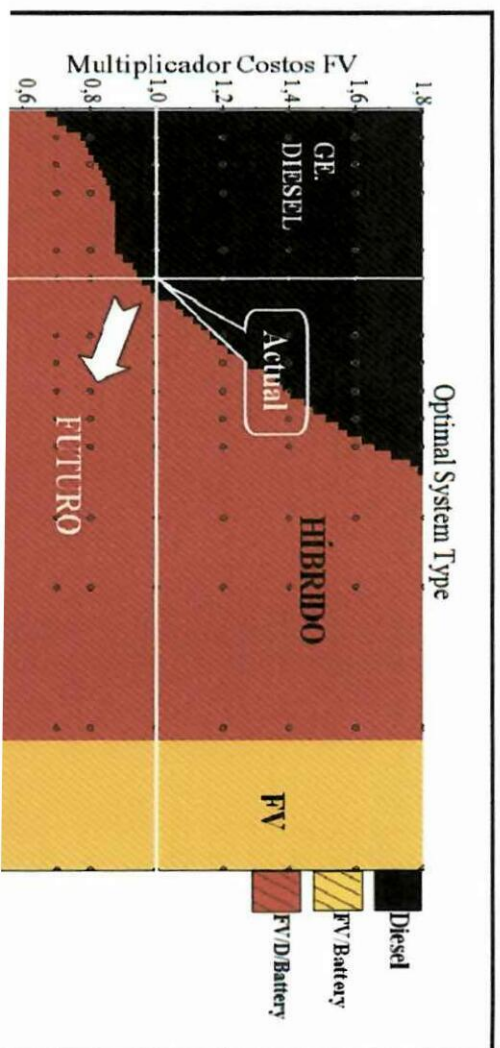
HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – DIESEL.

| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|--------------------------|--------------|------------------|----------|-----------|--------------|----------------|
| PV | 31 357 | 0 | 138 | 0 | 0 | 31 495 |
| 6 kW Diesel | 5 000 | 4 768 | 156 | 34 575 | -1 154 | 43 345 |
| Hoppecke 24 OPzS 3000 | 13 200 | 7 000 | 4 129 | 0 | -669 | 23 660 |
| Converter | 3 500 | 0 | 229 | 0 | 0 | 3 729 |
| System | 53 057 | 11 768 | 4 652 | 34 575 | -1 823 | 102 229 |

2.5.2. Proyección Futura del Sistema Híbrido

Como se mencionó anteriormente al realizar las variaciones en el factor multiplicador de costos de los FV y el precio del combustible, se obtendrá una visión clara de lo que podría suceder con el sistema híbrido ante tales sucesos (ver Fig. 2.17).

FIG. 2.17. PROYECCIÓN ECONÓMICA DIESEL VS FV.



fotovoltaicos, este es uno de los resultados que ofrece el software © HOMER, en este gráfico el eje (x) presenta una variación de precios del diesel con valores que van desde los (0,3 – 3) dólares, y en el eje (y) (representado por un rango multiplicador de costos para los paneles fotovoltaicos desde 0,5 – 1,8), la simulación da como resultado en el mismo gráfico tres alternativas importantes: los grupos electrógenos que están representando la franja de color negro, los sistemas híbridos la franja rosada y los paneles fotovoltaicos que es la franja amarilla; en este resultado se ha señalado el punto actual en el que se encuentra los costos tanto del combustible diesel como de los paneles fotovoltaicos.

También es notorio que en la actualidad existen opciones similares entre el sistema híbrido y los grupos electrógenos para la producción de energía eléctrica, en el caso particular que el combustible diesel tomara un rumbo de descenso en su costo y que los paneles aumenten su valor económico por ejemplo en un 20 % al precio actual, se apreciaría que la mejor alternativa para la generación eléctrica estaría en los grupos electrógenos diesel por la rentabilidad que este presentaría.

En realidad las estadísticas apuntan a un aumento en el costo actual del diesel debido al desabastecimiento en las reservas mundiales de petróleo y una disminución en el costo de los paneles, razón por la cual la mejor opción esta en los sistemas híbridos; de hecho en la figura 2.17 se indica que el futuro está en los sistemas híbridos tanto en rentabilidad como en confiabilidad.

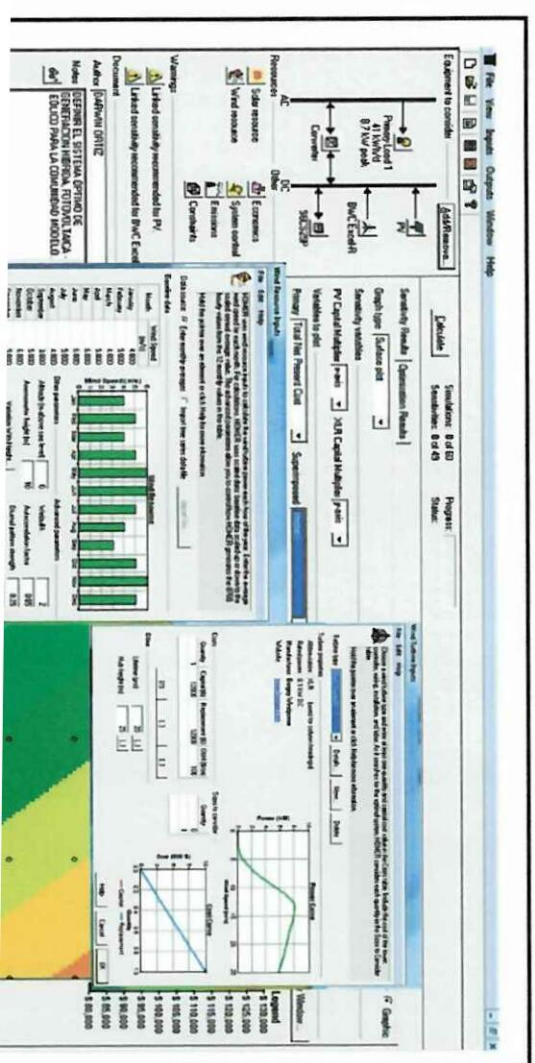
Otra de las cosas que se puede observar en la figura 2.17, es que, cuando el diesel haya alcanzado un determinado valor de encarecimiento, la generación eléctrica por GE mediante el combustible diesel, ya no es rentable y la mejor opción es una instalación de sistemas fotovoltaicos; el tiempo en el que podría suceder este análisis no está calculado, pero es un buen punto de partida para proyectar

Para el SH fotovoltaico – eólico, se necesita una determinada cantidad de paneles fotovoltaicos con un determinado aerogenerador con características adecuadas para conformar este sistema, con los cuales se logra un conjunto adecuado de generación de energía eléctrica, tanto técnica como económica, de forma que se pueda satisfacer la demanda de la comunidad modelo.

En este caso se realiza una comparación económica entre los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador, determinando así que influencia pueda tener el uno con respecto al otro.

Para efectuar este análisis se ha ingresado datos en la herramienta de simulación HOMER, en los cuales están incluidos todos los antecedentes de los PV, las baterías y el inversor (bases obtenidas en el método simple de dimensionado), así como se incluye un aerogenerador de 8.1 kW en DC, con su valor, costos de operación y mantenimiento, vida útil del mismo y la velocidad del viento en promedio mensual durante todo el año (ver Fig. 2.18).

FIG. 2.18. DATOS REQUERIDOS PARA EL AEROGENERADOR.

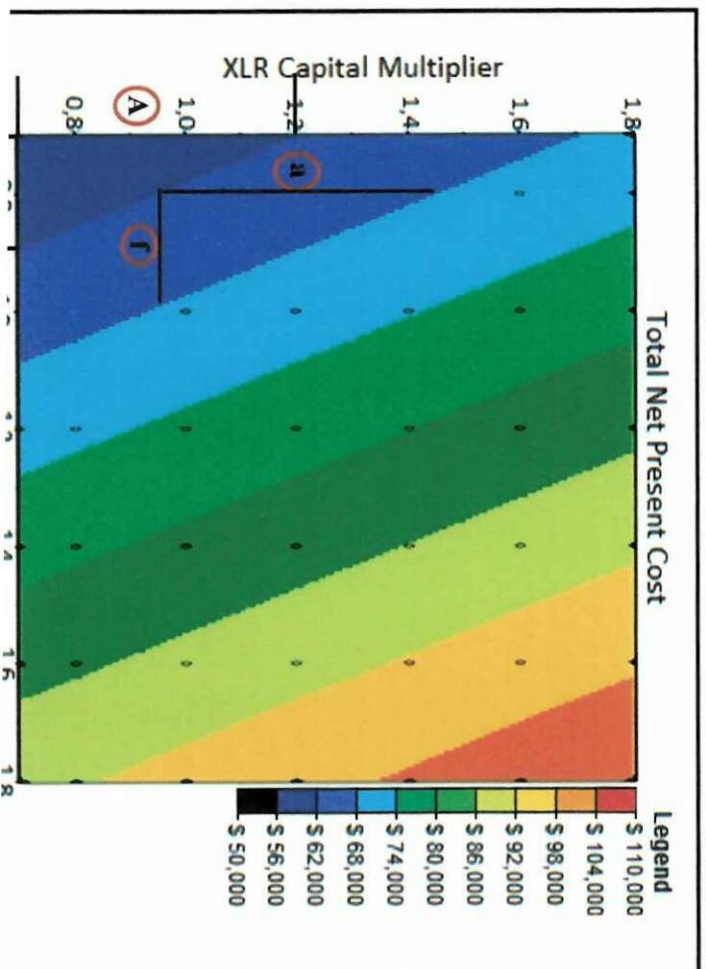


FV y en el aerogenerador; esta variación es importante para realizar la comparación económica y obtener una mejor perspectiva en los resultados aclarando así la situación del modelo de estudio.

Se debe tener en cuenta que todos los datos de costos están sujetos al mercado actual, por lo tanto son variables que pueden ser modificadas.

Una vez ingresado todos los datos para la simulación se obtienen resultados con características particulares donde se encuentra una relación interesante, que representa la diferencia entre el aerogenerador y los paneles fotovoltaicos: son aparentemente de similares pesos o influencias en diferentes puntos del gráfico resultante; en la Fig. 2.19 se muestra la relación existente.

FIG. 2.19. GRÁFICO RESULTANTE DE LA SIMULACIÓN PARA EL COSTO TOTAL DEL SISTEMA HÍBRIDO.



comparación económica entre los paneles y el aerogenerador; este gráfico resultante se compone de dos ejes (x, y) cada uno de los ejes tiene un rango multiplicador de costos definido de 0,7 a 1,8 tanto para los paneles como para el aerogenerador. Como resultado se presentan diversas franjas con distintos colores, cada uno de estos colores representa el costo del sistema híbrido a diferentes escalas de precios, en el cual se muestra la relación donde la diferencia entre los paneles y el aerogenerador permanece igual a lo largo del gráfico, para esto se ha resaltado esta acción y se especifica con letras sus vértices según el sistema de generación, no obstante existe una diferencia notable en sus ejes (x, y).

Por lo tanto se deduce que:

$$\frac{A}{F} = \frac{a}{f} \dots\dots\dots (12)$$

Para realizar la comparación económica se interpreta:

$$C = \frac{A}{F} \dots\dots\dots (13)$$

donde:

C= Relación de variaciones o influencias de costos de componentes en el sistema.

A ó a= Aerogeneradores.

F ó f= Paneles Fotovoltaicos.

entonces a partir de la ecuación 13 se tiene:

$$C = \frac{0,5}{0,2} = 2,5$$

por lo cual se remplaza y se expresará que:

$$\frac{a}{f} = 2,5$$

$$a = 2,5 f$$

más sensible a los cambios de costos en fotovoltaica que en aerogeneradores.

2.6.1. Análisis Técnico - Económico

Para este análisis en el presente trabajo se han realizado diferentes simulaciones con aerogeneradores de diferente potencia en este caso son: (1,8; 2,6; 3; 8,1) kW; estos aerogeneradores han sido superpuestos con los datos obtenidos del método simple, tratando de determinar un sistema que garantice un suministro constante de energía eléctrica para la comunidad.

Ya con los antecedentes mencionados, se obtienen resultados muy favorables, los cuales deberán ser comparados, siempre teniendo en cuenta que el sistema no debe tener ninguna interrupción en el servicio, así que debe de tener una demanda eléctrica insatisfecha del 0 %, y la mejor rentabilidad en sus costos como se resultó en los sistemas anteriores; en la tabla 2.8 se muestran los resultados de la simulación del sistema híbrido con el aerogenerador de 2,6 kW, y en el Anexo 6, se muestran los resultados de las demás simulaciones.

TABLA 2.8. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO - FÓLICO CON AEROGENERADOR DE 2.6 kW.

| PANELES (kW) | AEROG. (2,6 kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh | PRODUCC. FV kWh/año | PRODUCC. EÓL. kWh/año | DEM. E. INSATISF. (%) |
|--------------|-----------------|----------|------------------|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 5,4 | 3 | 12 | 60 051 | 0,358 | 7 218 | 24 286 | 2,5 |
| 7,2 | 3 | 12 | 68 233 | 0,401 | 9 625 | 24 286 | 1 |
| 9,0 | 2 | 12 | 72 707 | 0,428 | 12 031 | 16 19 | 1,4 |
| 9,0 | 3 | 12 | 76 184 | 0,445 | 12 031 | 24 286 | 0,5 |

| PANELES (kW) | AEROG. (2,6 kW) | BATERIAS | TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh | PRODUC. FV kWh/año | EÓL. kWh/año | INSAATSF. (%) |
|--------------|-----------------|-----------|---------------|--------------|--------------------|---------------|---------------|
| 9,0 | 1 | 24 | 82 701 | 0,492 | 12 031 | 8 095 | 2,3 |
| 10,8 | 3 | 12 | 84 067 | 0,490 | 14 437 | 24 286 | 0,4 |
| 7,2 | 3 | 24 | 84 715 | 0,493 | 9 625 | 24 286 | 0 |
| 12,6 | 1 | 12 | 85 943 | 0,510 | 16 843 | 8 095 | 2,1 |
| 9,0 | 2 | 24 | 87 645 | 0,509 | 12 031 | 16 19 | 0 |
| 12,6 | 2 | 12 | 88 566 | 0,518 | 16 843 | 16 19 | 0,6 |

En la tabla presentada se muestra la diversidad de resultados ordenados por el costo total, los cuales tienen un escaso número de interrupciones en cada uno, pero en este proyecto se considera adecuado un sistema el cual debe tener una demanda eléctrica insatisfecha del 0 % y un factor económico bajo como se realizó en los sistemas anteriores; la mejor opción es la que está compuesta por 40 paneles (7,2 kW), cada uno con una potencia de 180 W a 24 V, 3 aerogeneradores de 2,6 kW y dos grupos de baterías conectadas en paralelo, el cual está conformada de 12 baterías conectadas en serie, cada batería es de 2 V y 3 000 Ah, con una vida útil de 20 años; en la tabla 2.9 se indica esta mejor opción con el costo aproximado de la instalación.

TABLA 2.9. COSTO DE INVERSIÓN PARA EL SISTEMA AUTÓNOMO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – EÓLICO.

| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|-----------------------|--------------|------------------|----------|-----------|--------------|---------------|
| PV | 31 357 | 0 | 138 | 0 | 0 | 31 495 |
| Aerogenerador | 13 800 | 0 | 1 032 | 0 | 0 | 14 832 |
| Hoppecke 24 OPzS 3000 | 26 400 | 0 | 8 258 | 0 | 0 | 34 658 |
| Converter | 3 500 | 0 | 229 | 0 | 0 | 3 729 |
| System | 75 057 | 0 | 9 658 | 0 | 0 | 84 715 |

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE POSIBLES USOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA DIFERENTES CASOS DE COMUNIDADES RURALES SIN ACCESO A LA ELECTRICIDAD

3.1. Presentación de los casos

En el presente trabajo se propone hacer un análisis de sensibilidad a los esquemas empleados de generación para diferentes tipos de comunidades, con una cantidad de viviendas distintas a la comunidad modelo analizada en el capítulo dos y razón por la cual existirá una variación en la potencia y consumo; estas comunidades son ejemplos posibles que permiten tener una visión del tipo de influencia que puede causar estas variaciones en la solución de las distintas formas de generación eléctrica.

En la tabla 3.1 se muestran seis tipos de comunidades, las cuales serán analizadas mediante la herramienta de simulación HOMER para determinar una posible solución técnica – económica; para esto se seguirá la metodología utilizada en el capítulo dos en el análisis de la comunidad modelo.

| COMUNIDAD | VIVENDAS | POTENCIA TOTAL (W) | ENERGÍA TOTAL Wh/día |
|-----------|----------|--------------------|----------------------|
| 1 | 30 | 8 165 | 41 480 |
| 2 | 28 | 3 925 | 36 420 |
| 3 | 24 | 2 740 | 17 580 |
| 4 | 32 | 29 260 | 86 020 |
| 5 | 20 | 2 300 | 14 000 |
| 6 | 20 | 2 005 | 12 630 |

3.2. Características de cada comunidad

Cada una de las comunidades presentadas, tienen características diferentes tanto en su potencia debido a la cantidad de equipos eléctricos como en su consumo, en las tablas presentadas a continuación se muestran estas características; la tabla 3.2, ilustra las características de la comunidad modelo utilizada para el análisis en el capítulo dos ya que esta se toma como referencia y en este caso es la comunidad número 1.

TABLA 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD 1.

| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|-----------------|--------------|----------|----------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 50 | 2 000 | 6 | 12 000 |
| Lámparas | 25 | 20 | 500 | 6 | 3 000 |
| TV (21 ") color | 100 | 17 | 1 700 | 5 | 8 500 |
| Refrigeradores | 115 | 9 | 1 035 | 12 | 12 420 |
| Ventiladores | 30 | 6 | 180 | 11 | 1 980 |
| Radios | 5 | 12 | 60 | 10 | 600 |
| Grabadoras | 15 | 10 | 150 | 10 | 1 500 |
| Lavadoras | 180 | 3 | 540 | 2 | 1 080 |
| Planchas | 1 000 | 2 | 2 000 | 0,2 | 400 |

| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|----------------|--------------|----------|--------------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 50 | 2 000 | 8 | 16 000 |
| Lámparas | 25 | 20 | 500 | 7 | 3 500 |
| Refrigeradores | 115 | 9 | 1 035 | 12 | 12 420 |
| Ventiladores | 30 | 6 | 180 | 14 | 2 520 |
| Radios | 5 | 12 | 60 | 8 | 480 |
| Grabadoras | 15 | 10 | 150 | 10 | 1 500 |
| TOTAL | 230 | | 3 925 | | 36 420 |

TABLA 3.4. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD 3.

| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|--------------|--------------|----------|--------------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 50 | 2 000 | 6 | 12 000 |
| Lámparas | 25 | 20 | 500 | 6 | 3 000 |
| Ventiladores | 30 | 6 | 180 | 11 | 1 980 |
| Radios | 5 | 12 | 60 | 10 | 600 |
| TOTAL | 100 | | 2 740 | | 17 580 |

TABLA 3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD 4.

| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|-----------------|--------------|----------|--------------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 50 | 2 000 | 10 | 20 000 |
| Lámparas | 25 | 20 | 500 | 6 | 3 000 |
| TV (21 ") color | 100 | 17 | 1 700 | 7 | 11 900 |
| Refrigeradores | 115 | 20 | 2 300 | 12 | 27 600 |
| Ventiladores | 30 | 20 | 600 | 12 | 7 200 |
| Radios | 5 | 12 | 60 | 12 | 720 |
| Grabadoras | 15 | 20 | 300 | 8 | 2 400 |
| Lavadoras | 180 | 10 | 1 800 | 4 | 7 200 |

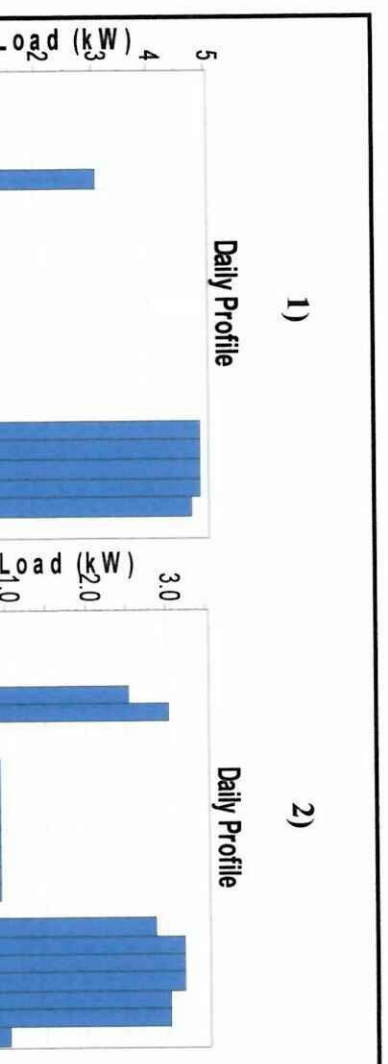
| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|--------------|--------------|----------|--------------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 40 | 1 600 | 6 | 9 600 |
| Ventiladores | 30 | 20 | 600 | 6 | 3 600 |
| Radios | 5 | 20 | 100 | 8 | 800 |
| TOTAL | 75 | | 2 300 | | 14 000 |

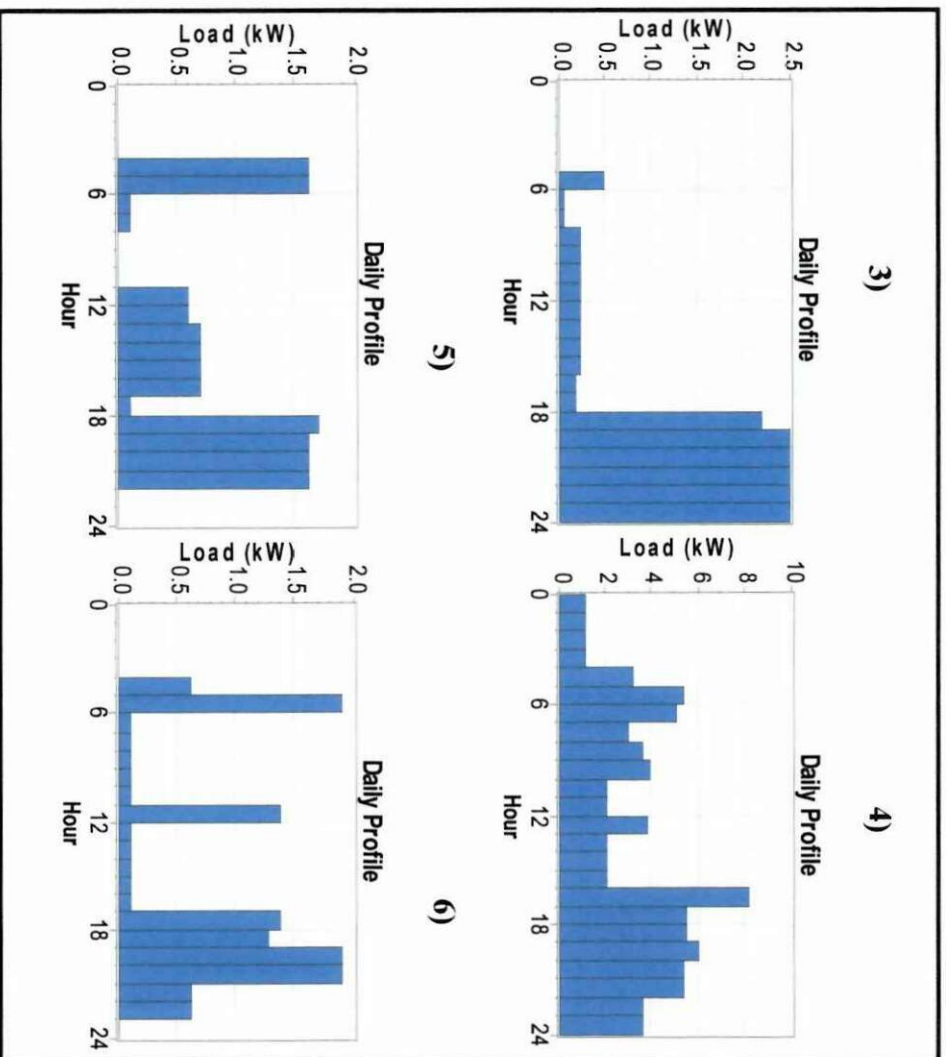
Tabla 3.7. Características de la Comunidad 6.

| EQUIPO | POTENCIA (W) | CANTIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | HORA/DÍA (h/día) | ENERGÍA (Wh/día) |
|--------------|--------------|----------|--------------------|------------------|------------------|
| Bombillos | 40 | 32 | 1 280 | 6 | 7 680 |
| Lámparas | 25 | 25 | 625 | 6 | 3 750 |
| Radios | 5 | 20 | 100 | 12 | 1 200 |
| TOTAL | 70 | | 2 005 | | 12 630 |

A continuación se presenta la distribución horaria de la demanda para cada una de las comunidades los cuales están designados por el número al cual pertenece (ver Fig. 3.1).

FIG. 3.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA DEMANDA PARA LAS DISTINTAS COMUNIDADES.





Una vez obtenida la distribución horaria de la demanda se seguirá la metodología utilizada en el capítulo dos para realizar las simulaciones de los diferentes sistemas de generación considerados, como son: el sistema fotovoltaico, sistema híbrido FV – GE y el sistema híbrido FV – Eólico y así encontrar un resultado adecuado tanto técnico como económico para cada una de las comunidades.

3.3. Análisis técnico - económico de cada sistema

Realizadas dichas simulaciones para cada comunidad se han encontrado resultados idóneos, los cuales tienen un porcentaje del 0% de demanda eléctrica

PARA LAS DIFERENTES COMUNIDADES.

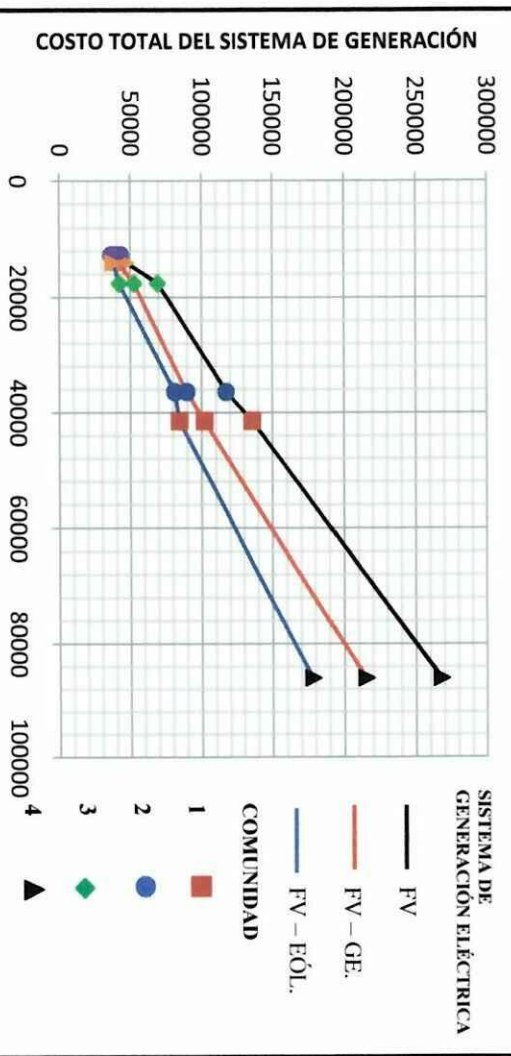
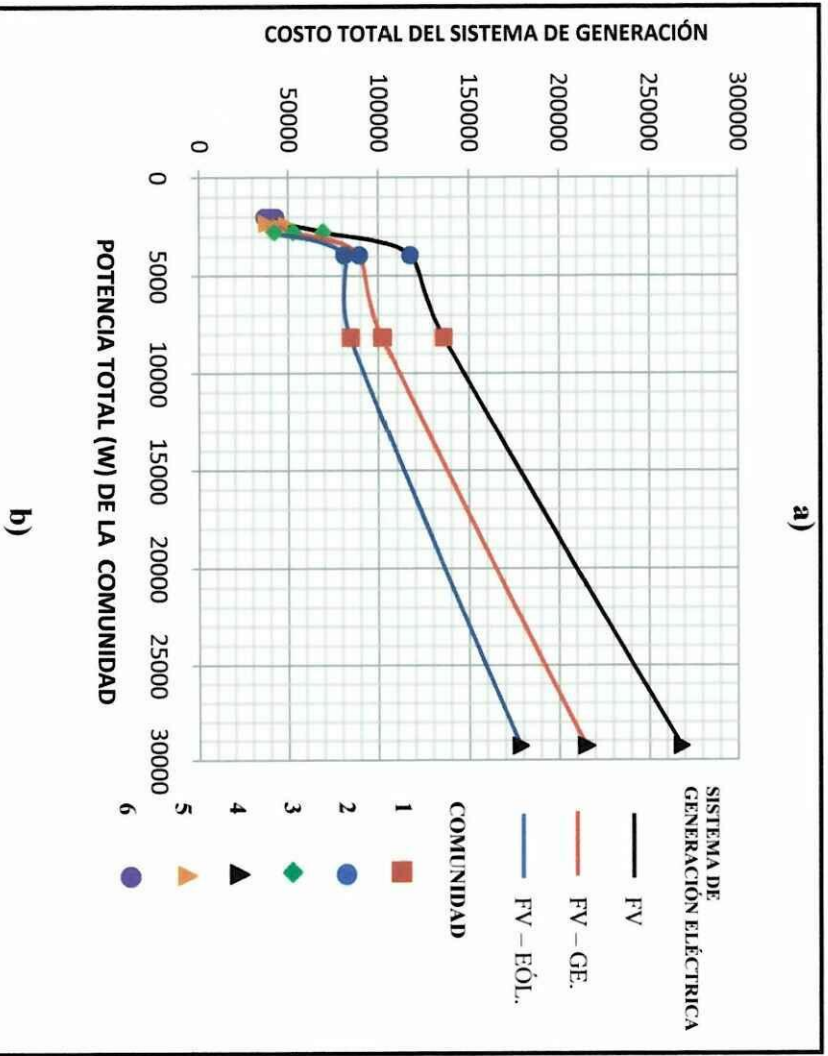
| SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA | | | | | | |
|---|--------------------|-----------------|--------------|----------|------------------|--------------|
| COMUNIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | ENERGÍA kWh/día | PANELES (kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
| 1 | 8 165 | 41 480 | 18,36 | 36 | 136 019 | 0,791 |
| 2 | 3 925 | 36 420 | 14,2 | 36 | 117 445 | 0,777 |
| 3 | 2 740 | 17 580 | 7,2 | 24 | 69 554 | 0,955 |
| 4 | 29 260 | 86 020 | 36 | 72 | 268 133 | 0,751 |
| 5 | 2 300 | 14 000 | 6,3 | 12 | 47 218 | 0,817 |
| 6 | 2 005 | 12 630 | 5,4 | 12 | 43 277 | 0,827 |

| SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA - GRUPOS ELECTRÓGENOS | | | | | | | |
|---|--------------------|-----------------|--------------|----------|----------|------------------|--------------|
| COMUNIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | ENERGÍA kWh/día | PANELES (kW) | BATERÍAS | GE. (kW) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
| 1 | 8 165 | 41 480 | 7,2 | 12 | 6 | 102 229 | 0,594 |
| 2 | 3 925 | 36 420 | 8,1 | 12 | 6 | 89 721 | 0,594 |
| 3 | 2 740 | 17 580 | 5,4 | 12 | 4,5 | 52 849 | 0,725 |
| 4 | 29 260 | 86 020 | 23,4 | 48 | 10 | 215 218 | 0,603 |
| 5 | 2 300 | 14 000 | 3,6 | 12 | 2,8 | 41 655 | 0,721 |
| 6 | 2 005 | 12 630 | 3,6 | 12 | 2,8 | 39 663 | 0,758 |

| SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA - EÓLICA | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------|--------------|----------|----------------|------------------|--------------|
| COMUNIDAD | POTENCIA TOTAL (W) | ENERGÍA kWh/día | PANELES (kW) | BATERÍAS | AEROG. (2,6kW) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
| 1 | 8 165 | 41 480 | 7,2 | 24 | 3 | 84 715 | 0,493 |
| 2 | 3 925 | 36 420 | 7,2 | 24 | 2 | 81 210 | 0,537 |
| 3 | 2 740 | 17 580 | 3,6 | 12 | 1 | 42 299 | 0,581 |
| 4 | 29 260 | 86 020 | 18 | 48 | 4 | 178 390 | 0,500 |
| 5 | 2 300 | 14 000 | 2,88 | 12 | 1 - (1,8 kW) | 38 048 | 0,659 |
| 6 | 2 005 | 12 630 | 2,88 | 12 | 1 | 36 732 | 0,702 |

Para tener una perspectiva mejor se ha realizado un gráfico donde se ilustra los

- a) Relación costo - potencia.
- b) Relación costo – consumo.



tipos de generación eléctrica de cada comunidad, cada sistema está representado por un color diferente, en los cuales cada símbolo en la línea representa un caso en particular de una comunidad.

En la figura 3.2 a), se muestra la relación entre el costo total del sistema de generación con la potencia total existente en la comunidad y se puede notar que el costo del sistema varía de forma regular según el tipo de potencia y el tipo de sistema; costos elevados para potencias mayores en referencia con la comunidad 1 y costos aparentemente bajos para potencias menores, con la diferencia que en potencias bajas el costo es similar entre los sistemas de generación. De igual forma ocurre en la relación costo - consumo de la fig. 3.2 b), donde se hace referencia al consumo que tiene la comunidad en dependencia de la potencia instalada; en dicha figura se puede apreciar que existe una diferencia notable entre los costos de cada sistema en grandes consumos, mientras que en pequeños consumos todos los sistemas presentados son competitivos de uno a otro en relación de sus costos.

También se puede notar que el sistema fotovoltaico es el que representa mayor costo para la generación eléctrica, seguido del sistema híbrido FV – GE, pero el sistema híbrido FV – Eólico es el que representa los costos menores en cada uno de los diferentes casos, por lo tanto el sistema más económico que debería ser implantado para las distintas comunidades es el sistema de generación eléctrica Híbrido Fotovoltaico - Eólico ya que este cumple con el requisito de 0 % de demanda eléctrica insatisfecha y representa los menores costos para la comunidad.

3.4. Influencia del tipo de Comunidad sobre los Sistemas de Generación Eléctrica Propuestos.

3.4.1. Influencia del tipo de comunidad sobre la solución

representara en porcentaje para un mejor entendimiento. En la tabla 3.9, se muestra estos valores.

TABLA 3.9. REFERENCIA PORCENTUAL DE POTENCIA Y CONSUMO PARA PANELES FV.

| COMUNIDAD | POTENCIA (%) | CONSUMO (%) | PANELES (kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|------------------|
| 1 | 100 | 100 | 18,36 | 36 | 136 019 |
| 2 | 48 | 88 | 14,2 | 36 | 117 445 |
| 3 | 34 | 42 | 7,2 | 24 | 69 554 |
| 4 | 358 | 207 | 36 | 72 | 268 133 |
| 5 | 28 | 34 | 6,3 | 12 | 47 218 |
| 6 | 25 | 30 | 5,4 | 12 | 43 277 |

En la Tabla 3.9, se destaca que entre el comunidad 1 y la comunidad 2 existe una diferencia en potencia aproximadamente del doble pero en el consumo tienen poca variación, debido que en la comunidad 2 tienen un mayor número de horas en el uso de equipos eléctricos, lo cual genera que en el dimensionamiento de los equipos para el sistema sean similares y el costo se mantenga equilibrado, cuestión que no es la misma en relación de la comunidad 1 y la comunidad 4; esta última tiene una potencia mayor en 3,5 veces su valor, pero el consumo no es tan excesivo por lo que sólo se duplica el costo del sistema de generación.

Las comunidades 3, 5 y 6 tienen valores bajos tanto en potencia como en consumo y se puede notar que los valores del sistema de generación bajan según el consumo de la comunidad.

En conclusión se puede afirmar que uno de los factores que más influye en el diseño y costo del sistema de generación eléctrica fotovoltaica autónoma es el consumo que queda tener dicha comunidad.

Para realizar este análisis se tomará como referencia los resultados obtenidos para el sistema de generación híbrida fotovoltaica - grupos electrogenos de la tabla 3.5, de la misma manera se expresara en la Tabla 3.10 los valores en porcentaje.

TABLA 3.10. REFERENCIA PORCENTUAL DE POTENCIA Y CONSUMO, SH FOTOVOLTAICO – GE.

| COMUNIDAD | POTENCIA (%) | CONSUMO (%) | PANELES (kW) | BATERÍAS | GE (kW) | COSTO T. (\$) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------|---------------|
| 1 | 100 | 100 | 7,2 | 12 | 6 | 102 229 |
| 2 | 48 | 88 | 8,1 | 12 | 6 | 89 721 |
| 3 | 34 | 42 | 5,4 | 12 | 4,5 | 52 849 |
| 4 | 358 | 207 | 23,4 | 48 | 10 | 215 218 |
| 5 | 28 | 34 | 3,6 | 12 | 2,8 | 41 655 |
| 6 | 25 | 30 | 3,6 | 12 | 2,8 | 39 663 |

En la Tabla 3.10 se puede apreciar que tanto en las potencias y consumos siguen siendo las mismas que en el sistema fotovoltaico ya que se da una posible solución a las mismas comunidades, pero se diferencia que este sistema tiene un grupo electrógeno adicional a los paneles y baterías, el cual hace que tanto el número de paneles como de baterías se reduzca; como se puede ver en la relación entre la comunidad 1 y la comunidad 2, la potencia y el consumo de la comunidad 1 es mayor que la de la comunidad 2 pero se utilizan menos paneles en la uno que en la dos. El caso es que el costo total sigue siendo mayor en la comunidad 1 y esto se debe a que el consumo de combustible diesel es superior, y dependiendo del consumo de la comunidad se requerirá el tipo de grupo electrógeno, y la cantidad de paneles y baterías.

En conclusión el consumo del diesel es un factor influyente en este tipo de

fotovoltaico – eólico.

De la misma forma que en los dos anteriores análisis se utiliza los resultados obtenidos para el sistema de generación híbrida fotovoltaica – eólica de la tabla 3.5, y se la lleva a una tabla porcentual de potencia y consumo.

TABLA 3.11. REFERENCIA PORCENTUAL DE POTENCIA Y CONSUMO, SH FOTOVOLTAICO – EÓLICO.

| COMUNIDAD | POTENCIA (%) | CONSUMO (%) | PANELES (kW) | BATERÍAS | AEROGENER. (2,6 kW) | COSTO T. (\$) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------------|---------------|
| 1 | 100 | 100 | 7,2 | 24 | 3 | 84 715 |
| 2 | 48 | 88 | 7,2 | 24 | 2 | 81 210 |
| 3 | 34 | 42 | 3,6 | 12 | 1 | 42 299 |
| 4 | 358 | 207 | 18 | 48 | 4 | 178 390 |
| 5 | 28 | 34 | 2,88 | 12 | 1 - (1,8 kW) | 38 048 |
| 6 | 25 | 30 | 2,88 | 12 | 1 | 36 732 |

Este es un caso similar al anterior; la diferencia está en que este esquema tiene aerogeneradores y no un grupo electrógeno. La diferencia que existe entre la comunidad 1 y la 2 en consumo es mínima lo cual ha generado que el número de paneles y baterías se mantenga igual pero se utiliza un aerogenerador más en la comunidad 1, y como la comunidad 4 es mayor se utiliza casi el doble de equipos de generación y almacenamiento en el sistema, pero cabe destacar que al usar aerogeneradores el uso de paneles y baterías se redujeron en relación al sistema fotovoltaico y de la misma forma el costo total del sistema tanto en la comunidad 1 como en el resto de comunidades.

En conclusión se puede decir que el uso de aerogeneradores es beneficioso si se cuenta en la comunidad con vientos favorables ya que este es distinto en

sistema eléctrico autónomo se debe considerar el posible consumo que dicha comunidad pueda tener, ya que depende en gran medida de este factor para alcanzar un éxito en el mismo y otro de los factores será el tipo de recurso natural con el que cuente y la disponibilidad de acceso que tenga la comunidad.

Después de haber concluido toda esta etapa de investigación, se ha logrado obtener importantes conclusiones expuestas a continuación.

- El sistema de generación eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos es una de las mejores alternativas para la producción de electricidad en lugares aislados y de poco acceso, debido que se tiene disponibilidad del recurso solar en todo el territorio.
- Se concibió una herramienta metodológica para el dimensionamiento del sistema Fotovoltaico, mediante el software © HOMER, con esto se demostró que este puede generar la suficiente cantidad de energía eléctrica sin interrupciones en el servicio, además, partiendo del sistema fotovoltaico se consiguen realizar diferentes variantes como son los sistemas híbridos, mejorando aun su eficiencia y disminuyendo costos.
- Es de notar que el sistema de generación fotovoltaica tiene un costo de implementación elevado, más aun en zonas que requieran un gran consumo de energía; también se puede decir que es competitiva para zonas donde se requiera un consumo de energía bajo, por lo tanto el sistema de generación eléctrica fotovoltaica es factible para su aplicación en las zonas rurales que demanden poco consumo de energía o se requiera de una instalación descentralizada.

El factor tiempo obstaculiza e impide abarcar todas las variantes que se pueden realizar a partir de este trabajo en consecuencia se toman las siguientes recomendaciones:

- Efectuar un estudio de aplicación del sistema fotovoltaico para alguna zona rural, con potencias y consumos reales, teniendo en cuenta si es posible o no acceder con una red de distribución pública.
- Realizar más análisis con el software para simulación © HOMER, que implique fuentes renovables de energía creando así nuevas alternativas de generación híbrida para el abastecimiento de energía eléctrica.
- Utilizar algún software que permita tener un modelo de optimización para los sistemas de electrificación rural, determinando si es factible la aplicación de una red centralizada o descentralizada para determinada zona.

- [1] Yolanda Benito, Marisa Marco. Gestión de las energías renovables: perspectivas de futuro. 4ª edición. pdf.
- [2] Energía Hidráulica, www.profesorenlinea.cl/fisica/EnergiaHidraulica.htm
- [3] Vicente Bermúdez. Tecnología Energética. Valencia – España. 2000.
- [4] Energía Solar Fotovoltaica, www.luzverde.org
- [5] Conrado Moreno. Deny Merencio. Antonio Sarmiento. César Cisneros. Fuentes Renovables de Energía. CETER-CUIAE. 2010.
- [6] Juan Avellaner Lacal. Juan Lavandeira Adán. Energía Renovable en Castilla y León. Consejería de Economía y Hacienda Juan de la Castilla y León. 1992.
- [7] Cayetano Hernández Gonzales. Manual de Energías Renovables/6. Energía Solar Fotovoltaica. Edición especial cinco días. 1992.
- [8] Ing. Carlos del Moral. Tesis Máster. Análisis de la orientación de los paneles fotovoltaicos en ciudad de la habana. 2006.
- [9] José Carillo. Jesús Morales. Tesis de Diploma. Estudio para la electrificación con energías alternativas utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar Cañada Colorado. 2009.
- [10] Miguel Alonso. Gestión de las Energías Renovables. Energía Solar Fotovoltaica. 4ª edición. pdf.
- [11] Energía eólica, www.monografias.com/trabajos14/energia-eolica
- [12] Energía eólica, www.renovables.com
- [13] Cayetano Hernández Gonzales. Manual de Energías Renovables/4. Energía Eólica. Edición especial cinco días. 1992.
- [14] Arturo Orgaz. Energía Renovable. La Biomasa. www.epec.com.ar

- [18] Central Termoeléctrica. www.portalplanetasedna.com.ar/central03.htm
- [19] Centrales Termoeléctricas Clásicas. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo7.html>
- [20] Energía Nuclear. www.monografias.com/trabajos/enuclear/enuclear.shtml
- [21] Luis Echarrri Prim. Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, Energía Nuclear. www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/07Energ/130EnNuclear.htm
- [22] Situación de la Energía, en el Mundo Europea y España. www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/index.htm
- [23] Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano. www.conelec.gov.ec
- [24] Carlos Durán Noritz. Electrificación rural en el Ecuador. 2007. pdf.
- [25] Daniel Murillo. Modelado y Análisis de Sistemas Fotovoltaicos. Barcelona – España. 2003.
- [26] Laboratorio Nacional de Energías Renovables. <http://analysis.mrel.gov/homer>
- [27] Sistema Híbrido de Generación Eléctrica. www.infoenergia.com
- [28] Grupos Electrógenos. www.es.wikipedia.org/wiki/Grupo_electr%C3%B3geno
- [29] Ariel Santos Fuentesfria. Machel Zamora Lara. Tesis de Diploma. Estudio preliminar del sistema híbrido (SH) diesel – eólico de la Isla de la Juventud. 2007

ANEXOS

Sistema Fotovoltaico.

| Nº | PANELES (kW) | BATERÍAS 3 000 Ah | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | EXCESO DE ENERGÍA (kWh/año) | DEM. E. INSATIS F. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|----|-----------------|----------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|
| 1 | 12,6 | 12 | 10 | 16 843 | 1 300 | 16,1 | 81 947 | 0,568 |
| 2 | 13,68 | 12 | 10 | 18 287 | 2 209 | 13,3 | 87 166 | 0,584 |
| 3 | 14,22 | 12 | 10 | 19 008 | 2 711 | 12,1 | 89 727 | 0,594 |
| 4 | 14,4 | 12 | 10 | 19 249 | 2 884 | 11,8 | 90 574 | 0,597 |
| 5 | 12,6 | 24 | 10 | 16 843 | 227 | 10,2 | 93 497 | 0,605 |
| 6 | 15,12 | 12 | 10 | 20 211 | 3 606 | 10,5 | 93 938 | 0,61 |
| 7 | 15,48 | 12 | 10 | 20 693 | 3 978 | 10 | 95 609 | 0,617 |
| 8 | 13,68 | 24 | 10 | 18 287 | 817 | 5,9 | 98 626 | 0,609 |
| 9 | 16,2 | 12 | 10 | 21 655 | 4 745 | 8,9 | 98 930 | 0,631 |
| 10 | 14,22 | 24 | 10 | 19 008 | 1 316 | 4,76 | 101 250 | 0,618 |
| 11 | 14,4 | 24 | 10 | 19 249 | 1 491 | 4,42 | 102 120 | 0,621 |
| 12 | 15,12 | 24 | 10 | 20 211 | 2 231 | 3,3 | 105 530 | 0,634 |
| 13 | 18 | 12 | 10 | 24 061 | 6 792 | 7 | 107 110 | 0,67 |
| 14 | 15,48 | 24 | 10 | 20 693 | 2 616 | 2,8 | 107 210 | 0,641 |
| 15 | 18,36 | 12 | 10 | 24 543 | 7 213 | 6,7 | 108 740 | 0,678 |
| 16 | 16,2 | 24 | 10 | 21 655 | 3 431 | 2 | 110 530 | 0,656 |
| 17 | 12,6 | 36 | 10 | 16 843 | 19 | 9 | 110 830 | 0,707 |
| 18 | 13,68 | 36 | 10 | 18 287 | 482 | 4,15 | 115 550 | 0,701 |
| 19 | 14,22 | 36 | 10 | 19 008 | 897 | 2,59 | 117 910 | 0,704 |
| 20 | 18 | 24 | 10 | 24 061 | 5 615 | 0,9 | 118 630 | 0,696 |
| 21 | 14,4 | 36 | 10 | 19 249 | 1 084 | 2,32 | 118 700 | 0,706 |
| 22 | 18,36 | 24 | 10 | 24 543 | 6 064 | 0,7 | 120 230 | 0,704 |
| 23 | 15,12 | 36 | 10 | 20 211 | 1 847 | 1,3 | 121 850 | 0,717 |
| 24 | 21,6 | 12 | 10 | 28 874 | 11 141 | 1,6 | 123 370 | 0,752 |
| 25 | 15,48 | 36 | 10 | 20 693 | 2 243 | 0,9 | 123 420 | 0,724 |
| 26 | 16,2 | 36 | 10 | 21 655 | 3 081 | 0,2 | 126 570 | 0,737 |
| 27 | 12,6 | 48 | 10 | 16 843 | 14 | 8,6 | 128 160 | 0,815 |
| 28 | 13,68 | 48 | 10 | 18 287 | 374 | 3,59 | 132 880 | 0,801 |
| 29 | 21,6 | 24 | 10 | 28 874 | 10 306 | 0,3 | 134 440 | 0,784 |
| 30 | 18 | 36 | 10 | 24 061 | 5 452 | 0,1 | 134 450 | 0,782 |
| 31 | 14,22 | 48 | 10 | 19 008 | 728 | 1,72 | 135 240 | 0,8 |
| 32 | 18,36 | 36 | 10 | 24 543 | 5 929 | 0 | 136 020 | 0,791 |
| 33 | 14,4 | 48 | 10 | 19 249 | 887 | 1,3 | 136 030 | 0,801 |

1 456

0 31

139 180 0 811

| | | | | | (K Wh/año) | | | |
|----|-------|----|----|--------|------------|------|---------|-------|
| 36 | 15,48 | 48 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 140 750 | 0,818 |
| 37 | 16,2 | 48 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 143 900 | 0,836 |
| 38 | 12,6 | 60 | 10 | 16 843 | 14 | 8,26 | 145 490 | 0,922 |
| 39 | 25,2 | 24 | 10 | 33 686 | 15 066 | 0 | 150 190 | 0,873 |
| 40 | 21,6 | 36 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 150 190 | 0,873 |
| 41 | 13,68 | 60 | 10 | 18 287 | 309 | 3,26 | 150 210 | 0,902 |
| 42 | 18 | 48 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 151 770 | 0,882 |
| 43 | 14,22 | 60 | 10 | 19 008 | 664 | 1,39 | 152 570 | 0,899 |
| 44 | 18,36 | 48 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 153 350 | 0,891 |
| 45 | 14,4 | 60 | 10 | 19 249 | 822 | 0,97 | 153 360 | 0,9 |
| 46 | 15,12 | 60 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 156 510 | 0,91 |
| 47 | 15,48 | 60 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 158 080 | 0,919 |
| 48 | 16,2 | 60 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 161 230 | 0,937 |
| 49 | 12,6 | 72 | 10 | 16 843 | 14 | 7,93 | 162 810 | 1,028 |
| 50 | 25,2 | 36 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 165 940 | 0,964 |
| 51 | 21,6 | 48 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 167 520 | 0,974 |
| 52 | 13,68 | 72 | 10 | 18 287 | 244 | 2,92 | 167 540 | 1,003 |
| 53 | 18 | 60 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 169 100 | 0,983 |
| 54 | 14,22 | 72 | 10 | 19 008 | 599 | 1,06 | 169 900 | 0,998 |
| 55 | 18,36 | 60 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 170 680 | 0,992 |
| 56 | 14,4 | 72 | 10 | 19 249 | 757 | 0,63 | 170 690 | 0,998 |
| 57 | 15,12 | 72 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 173 840 | 1,010 |
| 58 | 15,48 | 72 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 175 410 | 1,019 |
| 59 | 16,2 | 72 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 178 560 | 1,038 |
| 60 | 12,6 | 84 | 10 | 16 843 | 14 | 7,6 | 180 140 | 1,133 |
| 61 | 25,2 | 48 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 183 270 | 1,065 |
| 62 | 21,6 | 60 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 184 850 | 1,074 |
| 63 | 13,68 | 84 | 10 | 18 287 | 179 | 2,59 | 184 870 | 1,103 |
| 64 | 18 | 72 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 186 430 | 1,083 |
| 65 | 14,22 | 84 | 10 | 19 008 | 534 | 0,72 | 187 230 | 1,096 |
| 66 | 18,36 | 72 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 188 010 | 1,093 |
| 67 | 14,4 | 84 | 10 | 19 249 | 693 | 0 | 188 020 | 1,096 |
| 68 | 15,12 | 84 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 191 170 | 1,111 |
| 69 | 15,48 | 84 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 192 740 | 1,120 |
| 70 | 16,2 | 84 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 195 890 | 1,138 |
| 71 | 12,6 | 96 | 10 | 16 843 | 14 | 7,26 | 197 470 | 1,238 |
| 72 | 25,2 | 60 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 200 590 | 1,166 |

| Nº | POTENCIA (kW) | 3 000 Ah | POTENCIA (kW) | FV (kWh/año) | ENERGÍA (kWh/año) | INSATISF. (%) | TOTAL (\$) | \$/kWh |
|-----|---------------|----------|---------------|--------------|-------------------|---------------|------------|--------|
| 73 | 21,6 | 72 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 202 180 | 1,175 |
| 74 | 13,68 | 96 | 10 | 18 287 | 115 | 2,26 | 202 200 | 1,202 |
| 75 | 18 | 84 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 203 760 | 1,184 |
| 76 | 14,22 | 96 | 10 | 19 008 | 470 | 0 | 204 560 | 1,193 |
| 77 | 18,36 | 84 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 205 340 | 1,193 |
| 78 | 14,4 | 96 | 10 | 19 249 | 634 | 0 | 205 350 | 1,193 |
| 79 | 15,12 | 96 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 208 490 | 1,212 |
| 80 | 15,48 | 96 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 210 070 | 1,221 |
| 81 | 16,2 | 96 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 213 220 | 1,239 |
| 82 | 12,6 | 108 | 10 | 16 843 | 14 | 6,93 | 214 801 | 1,341 |
| 83 | 25,2 | 72 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 217 920 | 1,267 |
| 84 | 21,6 | 84 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 219 510 | 1,276 |
| 85 | 13,68 | 108 | 10 | 18 287 | 72 | 1,92 | 219 530 | 1,301 |
| 86 | 18 | 96 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 221 090 | 1,285 |
| 87 | 14,22 | 108 | 10 | 19 008 | 405 | 0 | 221 890 | 1,290 |
| 88 | 18,36 | 96 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 222 670 | 1,294 |
| 89 | 14,4 | 108 | 10 | 19 249 | 634 | 0 | 222 670 | 1,294 |
| 90 | 15,12 | 108 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 225 820 | 1,312 |
| 91 | 15,48 | 108 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 227 401 | 1,322 |
| 92 | 16,2 | 108 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 230 550 | 1,340 |
| 93 | 12,6 | 120 | 10 | 16 843 | 14 | 6,59 | 232 130 | 1,444 |
| 94 | 25,2 | 84 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 235 250 | 1,367 |
| 95 | 21,6 | 96 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 236 840 | 1,376 |
| 96 | 13,68 | 120 | 10 | 18 287 | 72 | 1,59 | 236 850 | 1,399 |
| 97 | 18 | 108 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 238 420 | 1,386 |
| 98 | 14,22 | 120 | 10 | 19 008 | 394 | 0 | 239 220 | 1,390 |
| 99 | 18,36 | 108 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 239 990 | 1,395 |
| 100 | 14,4 | 120 | 10 | 19 249 | 634 | 0 | 240 000 | 1,395 |
| 101 | 15,12 | 120 | 10 | 20 211 | 1 595 | 0 | 243 150 | 1,413 |
| 102 | 15,48 | 120 | 10 | 20 693 | 2 076 | 0 | 244 730 | 1,422 |
| 103 | 16,2 | 120 | 10 | 21 655 | 3 038 | 0 | 247 880 | 1,441 |
| 104 | 25,2 | 96 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 252 580 | 1,468 |
| 105 | 21,6 | 108 | 10 | 28 874 | 10 248 | 0 | 254 170 | 1,477 |
| 106 | 18 | 120 | 10 | 24 061 | 5 442 | 0 | 255 750 | 1,486 |
| 107 | 18,36 | 120 | 10 | 24 543 | 5 922 | 0 | 257 320 | 1,495 |
| 108 | 25,2 | 108 | 10 | 33 686 | 15 057 | 0 | 269 910 | 1,569 |
| | | | | 28 874 | 10 248 | 0 | 271 490 | 1,578 |

1. Simulación del sistema con un grupo electrogeno de 1 kW.

| PANELES (kW) | GE. (kW) | BATERIAS 3 000 Ah | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | PRODUC. GE (kWh/año) | DEM. E. INSAATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|-----------------|-------------|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|
| 9 | 1 | 12 | 10 | 12 031 | 4 668 | 7,86 | 85 231 | 0,538 |
| 10,8 | 1 | 12 | 10 | 14 437 | 3 242 | 5,82 | 88 126 | 0,544 |
| 12,6 | 1 | 12 | 10 | 16 843 | 2 395 | 4,21 | 93 131 | 0,565 |
| 5,4 | 1 | 24 | 10 | 7 218 | 8 649 | 8,22 | 96 329 | 0,61 |
| 7,2 | 1 | 24 | 10 | 9 625 | 7 281 | 4,06 | 99 194 | 0,601 |
| 9 | 1 | 24 | 10 | 12 031 | 5 29 | 3,83 | 100 086 | 0,605 |
| 10,8 | 1 | 24 | 10 | 14 437 | 3 537 | 1,89 | 100 641 | 0,596 |
| 12,6 | 1 | 24 | 10 | 16 843 | 1 924 | 1,32 | 102 352 | 0,603 |
| 5,4 | 1 | 36 | 10 | 7 218 | 8 62 | 8,06 | 113 545 | 0,718 |
| 7,2 | 1 | 36 | 10 | 9 625 | 7 335 | 3,4 | 116 699 | 0,702 |
| 12,6 | 1 | 36 | 10 | 16 843 | 1 652 | 0,69 | 117 978 | 0,69 |
| 10,8 | 1 | 36 | 10 | 14 437 | 3 537 | 1,29 | 118 018 | 0,695 |
| 9 | 1 | 36 | 10 | 12 031 | 5 528 | 2,38 | 118 518 | 0,706 |
| 5,4 | 1 | 48 | 10 | 7 218 | 8 507 | 8,39 | 130 455 | 0,828 |
| 7,2 | 1 | 48 | 10 | 9 625 | 7 556 | 1,88 | 134 899 | 0,799 |
| 12,6 | 1 | 48 | 10 | 16 843 | 1 56 | 0,69 | 134 929 | 0,79 |
| 10,8 | 1 | 48 | 10 | 14 437 | 3 49 | 1,01 | 135 192 | 0,794 |
| 9 | 1 | 48 | 10 | 12 031 | 5 666 | 1,29 | 136 511 | 0,804 |
| 5,4 | 1 | 60 | 10 | 7 218 | 8 453 | 8,39 | 147 580 | 0,936 |
| 12,6 | 1 | 60 | 10 | 16 843 | 1 502 | 0,5 | 152 036 | 0,888 |
| 10,8 | 1 | 60 | 10 | 14 437 | 3 468 | 1,02 | 152 433 | 0,895 |
| 7,2 | 1 | 60 | 10 | 9 625 | 7 606 | 1,75 | 152 449 | 0,902 |
| 9 | 1 | 60 | 10 | 12 031 | 5 643 | 1,11 | 153 771 | 0,904 |
| 5,4 | 1 | 72 | 10 | 7 218 | 8 426 | 8,22 | 164 805 | 1,044 |
| 12,6 | 1 | 72 | 10 | 16 843 | 1 498 | 0,38 | 169 349 | 0,988 |
| 7,2 | 1 | 72 | 10 | 9 625 | 7 568 | 1,83 | 169 708 | 1,005 |
| 10,8 | 1 | 72 | 10 | 14 437 | 3 485 | 0,75 | 169 851 | 0,995 |
| 9 | 1 | 72 | 10 | 12 031 | 5 713 | 1,19 | 171 400 | 1,008 |

| PANELES (kW) | GE. (kW) | BATERIAS 3 000 Ah | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | PRODUC. GE (kWh/año) | DEM. E. INSATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|-----------------|-------------|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|
| 3,6 | 2,8 | 12 | 10 | 4 812 | 12 751 | 0,16 | 85 419 | 0,497 |
| 5,4 | 2,8 | 12 | 10 | 7 218 | 10 861 | 2,65 | 90 544 | 0,541 |
| 7,2 | 2,8 | 12 | 10 | 9 625 | 8 696 | 2,31 | 91 271 | 0,543 |
| 9 | 2,8 | 12 | 10 | 12 031 | 6 651 | 1,79 | 92 848 | 0,549 |
| 10,8 | 2,8 | 12 | 10 | 14 437 | 4 872 | 1,7 | 94 730 | 0,56 |
| 12,6 | 2,8 | 12 | 10 | 16 843 | 3 847 | 1,2 | 99 068 | 0,583 |
| 3,6 | 2,8 | 24 | 10 | 4 812 | 12 749 | 0,05 | 102 357 | 0,595 |
| 7,2 | 2,8 | 24 | 10 | 9 625 | 8 737 | 0,82 | 103 062 | 0,604 |
| 9 | 2,8 | 24 | 10 | 12 031 | 6 558 | 0,69 | 103 563 | 0,606 |
| 10,8 | 2,8 | 24 | 10 | 14 437 | 4 387 | 0,48 | 103 854 | 0,606 |
| 5,4 | 2,8 | 24 | 10 | 7 218 | 11 081 | 0,95 | 103 983 | 0,61 |
| 12,6 | 2,8 | 24 | 10 | 16 843 | 2 468 | 0,26 | 104 761 | 0,61 |
| 12,6 | 2,8 | 36 | 10 | 16 843 | 2 047 | 0,08 | 119 341 | 0,694 |
| 3,6 | 2,8 | 36 | 10 | 4 812 | 12 761 | 0,08 | 119 731 | 0,696 |
| 10,8 | 2,8 | 36 | 10 | 14 437 | 4 241 | 0,28 | 120 071 | 0,7 |
| 7,2 | 2,8 | 36 | 10 | 9 625 | 8 669 | 0,66 | 120 18 | 0,703 |
| 9 | 2,8 | 36 | 10 | 12 031 | 6 513 | 0,68 | 120 845 | 0,707 |
| 5,4 | 2,8 | 36 | 10 | 7 218 | 11 114 | 0,55 | 121 438 | 0,71 |
| 12,6 | 2,8 | 48 | 10 | 16 843 | 1 921 | 0,09 | 136 203 | 0,792 |
| 10,8 | 2,8 | 48 | 10 | 14 437 | 4 103 | 0,3 | 136 893 | 0,798 |
| 3,6 | 2,8 | 48 | 10 | 4 812 | 12 74 | 0,07 | 136 983 | 0,797 |
| 7,2 | 2,8 | 48 | 10 | 9 625 | 8 787 | 0,38 | 137 95 | 0,805 |
| 5,4 | 2,8 | 48 | 10 | 7 218 | 10 994 | 0,44 | 138 329 | 0,807 |
| 9 | 2,8 | 48 | 10 | 12 031 | 6 596 | 0,26 | 138 523 | 0,807 |
| 12,6 | 2,8 | 60 | 10 | 16 843 | 1 706 | 0,15 | 152 696 | 0,889 |
| 3,6 | 2,8 | 60 | 10 | 4 812 | 12 745 | 0,03 | 154 331 | 0,897 |
| 10,8 | 2,8 | 60 | 10 | 14 437 | 4 213 | 0,16 | 154 689 | 0,9 |
| 7,2 | 2,8 | 60 | 10 | 9 625 | 8 686 | 0,37 | 154 908 | 0,904 |
| 5,4 | 2,8 | 60 | 10 | 7 218 | 10 876 | 0,59 | 155 208 | 0,907 |
| 9 | 2,8 | 60 | 10 | 12 031 | 6 56 | 0,36 | 155 886 | 0,909 |

| PANELES (kW) | GE. (kW) | BATERÍAS 3 000 Ah | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | PRODUC. GE (kWh/año) | DEM. E. INSATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|-----------------|-------------|----------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|
| 7,2 | 4,5 | 12 | 10 | 9 625 | 9 497 | 0,47 | 100 117 | 0,585 |
| 9 | 4,5 | 12 | 10 | 12 031 | 7 465 | 0,32 | 100 285 | 0,585 |
| 5,4 | 4,5 | 12 | 10 | 7 218 | 11 685 | 0,73 | 100 738 | 0,59 |
| 3,6 | 4,5 | 12 | 10 | 4 812 | 13 986 | 0,82 | 101 634 | 0,596 |
| 10,8 | 4,5 | 12 | 10 | 14 437 | 5 722 | 0,47 | 101 725 | 0,594 |
| 12,6 | 4,5 | 12 | 10 | 16 843 | 4 461 | 0,3 | 104 751 | 0,611 |
| 10,8 | 4,5 | 24 | 10 | 14 437 | 4 654 | 0,11 | 108 153 | 0,629 |
| 9 | 4,5 | 24 | 10 | 12 031 | 6 866 | 0,12 | 108 487 | 0,631 |
| 12,6 | 4,5 | 24 | 10 | 16 843 | 2 856 | 0,08 | 108 739 | 0,632 |
| 7,2 | 4,5 | 24 | 10 | 9 625 | 9 185 | 0,14 | 109 946 | 0,64 |
| 5,4 | 4,5 | 24 | 10 | 7 218 | 11 552 | 0,22 | 111 945 | 0,652 |
| 3,6 | 4,5 | 24 | 10 | 4 812 | 13 977 | 0,25 | 114 157 | 0,665 |
| 12,6 | 4,5 | 36 | 10 | 16 843 | 2 19 | 0,06 | 122 413 | 0,712 |
| 10,8 | 4,5 | 36 | 10 | 14 437 | 4 37 | 0,12 | 123 564 | 0,719 |
| 9 | 4,5 | 36 | 10 | 12 031 | 6 797 | 0,9 | 125 801 | 0,732 |
| 7,2 | 4,5 | 36 | 10 | 9 625 | 9 147 | 0,15 | 127 155 | 0,74 |
| 5,4 | 4,5 | 36 | 10 | 7 218 | 11 665 | 0,12 | 129 746 | 0,755 |
| 3,6 | 4,5 | 36 | 10 | 4 812 | 14 038 | 0,15 | 131 746 | 0,767 |
| 12,6 | 4,5 | 48 | 10 | 16 843 | 1 96 | 0,21 | 138 868 | 0,807 |
| 10,8 | 4,5 | 48 | 10 | 14 437 | 4 23 | 0,98 | 140 404 | 0,817 |
| 9 | 4,5 | 48 | 10 | 12 031 | 6 753 | 0,08 | 142 964 | 0,832 |
| 7,2 | 4,5 | 48 | 10 | 9 625 | 8 986 | 0,05 | 143 802 | 0,836 |
| 5,4 | 4,5 | 48 | 10 | 7 218 | 11 496 | 0 | 146 385 | 0,851 |
| 3,6 | 4,5 | 48 | 10 | 4 812 | 13 938 | 0,05 | 148 656 | 0,865 |
| 12,6 | 4,5 | 60 | 10 | 16 843 | 1 924 | 0,11 | 156 031 | 0,907 |
| 10,8 | 4,5 | 60 | 10 | 14 437 | 4 229 | 0,11 | 157 823 | 0,918 |
| 9 | 4,5 | 60 | 10 | 12 031 | 6 757 | 0,14 | 160 437 | 0,933 |
| 7,2 | 4,5 | 60 | 10 | 9 625 | 8 995 | 0,11 | 161 169 | 0,938 |
| 5,4 | 4,5 | 60 | 10 | 7 218 | 11 45 | 0 | 163 525 | 0,952 |
| 3,6 | 4,5 | 60 | 10 | 4 812 | 13 916 | 0,09 | 165 892 | 0,965 |

| PANELES (kW) | GE. (kW) | BATERIAS 3 (000 Ah) | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | PRODUC. GE (kWh/año) | DEM. E. INSATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|--------------|----------|---------------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| 5,4 | 6 | 12 | 10 | 7 218 | 12 103 | 0,05 | 101 712 | 0,591 |
| 3,6 | 6 | 12 | 10 | 4 812 | 14 304 | 0,06 | 101 965 | 0,593 |
| 9 | 6 | 12 | 10 | 12 031 | 8 031 | 0,01 | 102 047 | 0,593 |
| 7,2 | 6 | 12 | 10 | 9 625 | 10 133 | 0 | 102 229 | 0,594 |
| 10,8 | 6 | 12 | 10 | 14 437 | 6 234 | 0,05 | 103 62 | 0,603 |
| 12,6 | 6 | 12 | 10 | 16 843 | 4 991 | 0 | 106 871 | 0,621 |
| 10,8 | 6 | 24 | 10 | 14 437 | 4 6 | 0,02 | 107 528 | 0,625 |
| 9 | 6 | 24 | 10 | 12 031 | 7 05 | 0,01 | 108 828 | 0,633 |
| 12,6 | 6 | 24 | 10 | 16 843 | 2 985 | 0 | 109 539 | 0,637 |
| 7,2 | 6 | 24 | 10 | 9 625 | 9 575 | 0,02 | 110 887 | 0,645 |
| 5,4 | 6 | 24 | 10 | 7 218 | 12 116 | 0,01 | 113 372 | 0,659 |
| 3,6 | 6 | 24 | 10 | 4 812 | 14 664 | 0,01 | 115 847 | 0,673 |
| 12,6 | 6 | 36 | 10 | 16 843 | 2 223 | 0,02 | 122 77 | 0,714 |
| 10,8 | 6 | 36 | 10 | 14 437 | 4 543 | 0 | 123 834 | 0,72 |
| 9 | 6 | 36 | 10 | 12 031 | 6 763 | 0,01 | 125 023 | 0,727 |
| 7,2 | 6 | 36 | 10 | 9 625 | 9 341 | 0 | 127 276 | 0,74 |
| 5,4 | 6 | 36 | 10 | 7 218 | 11 822 | 0 | 129 513 | 0,753 |
| 3,6 | 6 | 36 | 10 | 4 812 | 14 402 | 0,01 | 132 108 | 0,768 |
| 7,2 | 6 | 0 | 10 | 9 625 | 17 28 | 1,3 | 139 163 | 0,819 |
| 12,6 | 6 | 48 | 10 | 16 843 | 2 022 | 0 | 139 336 | 0,81 |

5. Simulación del sistema con un grupo electrógeno de 10 kW.

| PANELES (kW) | GE. (kW) | BATERIAS 3 (000 Ah) | INVERSOR (kW) | PRODUC. FV (kWh/año) | PRODUC. GE (kWh/año) | DEM. E. INSATISF. (%) | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh |
|--------------|----------|---------------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| 7,2 | 10 | 12 | 10 | 9 625 | 10 212 | 0 | 106 301 | 0,618 |
| 9 | 10 | 12 | 10 | 12 031 | 8 32 | 0 | 106 425 | 0,619 |
| 5,4 | 10 | 12 | 10 | 7 218 | 12 437 | 0 | 107 081 | 0,622 |
| 10,8 | 10 | 12 | 10 | 14 437 | 6 502 | 0 | 107 718 | 0,626 |
| 3,6 | 10 | 12 | 10 | 4 812 | 14 895 | 0 | 108 895 | 0,633 |
| 12,6 | 10 | 12 | 10 | 16 843 | 5 254 | 0 | 111 411 | 0,647 |
| 7,2 | 10 | 0 | 10 | 9 625 | 22 682 | 0 | 198 549 | 1,154 |
| 9 | 10 | 0 | 10 | 12 031 | 21 701 | 0 | 198 684 | 1,155 |
| 5,4 | 10 | 0 | 10 | 7 218 | 23 861 | 0 | 199 898 | 1,162 |
| 12,6 | 10 | 0 | 10 | 16 843 | 21 041 | 0 | 201 39 | 1,170 |

Resultados obtenidos en la simulación para el Sistema Híbrido FV-Eólico.

1. Resultados de la simulación del sistema híbrido fotovoltaico - eólico con aerogenerador de 1.8 kW.

| PANELES (kW) | AEROG. (1,8 kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh | PRODUC. FV kWh/año | PRODUC. EÓL. kWh/año | DEM. E. INSATISF. (%) |
|--------------|-----------------|----------|------------------|--------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 7,2 | 4 | 12 | 69 963 | 0,417 | 9 625 | 18 383 | 2,6 |
| 9,0 | 3 | 12 | 75 122 | 0,447 | 12 031 | 13 787 | 2,2 |
| 5,4 | 4 | 24 | 77 384 | 0,463 | 7 218 | 18 383 | 2,8 |
| 9,0 | 4 | 12 | 78 074 | 0,460 | 12 031 | 18 383 | 1,3 |
| 10,8 | 2 | 12 | 80 417 | 0,481 | 14 437 | 9 192 | 2,8 |
| 7,2 | 3 | 24 | 81 415 | 0,483 | 9 625 | 13 787 | 2,1 |
| 10,8 | 3 | 12 | 83 121 | 0,490 | 14 437 | 13 787 | 1,5 |
| 7,2 | 4 | 242 | 85 259 | 0,500 | 9 625 | 18 383 | 1 |
| 9,0 | 2 | 24 | 85 445 | 0,505 | 12 031 | 9 192 | 1,7 |
| 10,8 | 4 | 12 | 86 016 | 0,504 | 14 437 | 18 383 | 0,9 |
| 12,6 | 2 | 12 | 88 423 | 0,524 | 16 843 | 9 192 | 2 |
| 9,0 | 3 | 24 | 89 289 | 0,521 | 12 031 | 13 787 | 0,4 |
| 10,8 | 1 | 24 | 89 475 | 0,535 | 14 437 | 4 596 | 2,76 |
| 5,4 | 3 | 36 | 90 869 | 0,551 | 7 218 | 13 787 | 4,1 |
| 12,6 | 3 | 12 | 91 067 | 0,535 | 16 843 | 13 787 | 1 |
| 9,0 | 4 | 24 | 93 133 | 0,541 | 12 031 | 18 383 | 0 |
| 10,8 | 2 | 24 | 93 319 | 0,544 | 14 437 | 9 192 | 0,2 |
| 12,6 | 4 | 12 | 93 925 | 0,549 | 16 843 | 18 383 | 0,6 |
| 5,4 | 4 | 36 | 94 714 | 0,563 | 7 218 | 18 383 | 2,2 |
| 10,8 | 3 | 24 | 97 164 | 0,565 | 14 437 | 13 787 | 0 |
| 12,6 | 1 | 24 | 97 350 | 0,569 | 16 843 | 4 596 | 0,6 |
| 7,2 | 3 | 36 | 98 744 | 0,583 | 9 625 | 13 787 | 1,6 |
| 10,8 | 4 | 24 | 101 008 | 0,587 | 14 437 | 18 383 | 0 |
| 12,6 | 2 | 24 | 101 194 | 0,588 | 16 843 | 9 192 | 0,1 |
| 7,2 | 4 | 36 | 102 588 | 0,600 | 9 625 | 18 383 | 0,6 |
| 9,0 | 2 | 36 | 102 774 | 0,604 | 12 031 | 9 192 | 1,1 |
| 12,6 | 3 | 24 | 105 038 | 0,610 | 16 843 | 13 787 | 0 |
| 5,4 | 3 | 48 | 108 199 | 0,650 | 7 218 | 13 787 | 3,2 |
| 12,6 | 4 | 24 | 108 882 | 0,633 | 16 843 | 18 383 | 0 |
| | | | 110 467 | 0,647 | 12 031 | 18 383 | 0 |

| PANELES (kW) | AEROG. (3 kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh | PRODUC. FV kWh/año | PRODUC. EÓL. kWh/año | DEM. E. INSATISF. (%) |
|--------------|---------------|----------|------------------|--------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 7,2 | 3 | 12 | 73 390 | 0,465 | 9 625 | 13 416 | 8,3 |
| 9,0 | 2 | 12 | 76 534 | 0,480 | 12 031 | 8 944 | 7,4 |
| 9,0 | 3 | 12 | 81 919 | 0,500 | 12 031 | 13 416 | 4,8 |
| 10,8 | 2 | 12 | 84 929 | 0,517 | 14 437 | 8 944 | 4,6 |
| 7,2 | 3 | 24 | 87 415 | 0,535 | 9 625 | 13 416 | 5 |
| 12,6 | 1 | 12 | 87 998 | 0,543 | 16 843 | 4 472 | 5,8 |
| 9,0 | 2 | 24 | 89 445 | 0,543 | 12 031 | 8 944 | 4,3 |
| 10,8 | 3 | 12 | 90 103 | 0,540 | 14 437 | 13 416 | 3,1 |
| 10,8 | 1 | 24 | 91 475 | 0,556 | 14 437 | 4 472 | 4,39 |
| 12,6 | 2 | 12 | 93 011 | 0,559 | 16 843 | 8 944 | 3,3 |
| 9,0 | 3 | 24 | 95 289 | 0,564 | 12 031 | 13 416 | 1,9 |
| 10,8 | 2 | 24 | 97 319 | 0,571 | 14 437 | 8 944 | 1 |
| 12,6 | 3 | 12 | 98 100 | 0,583 | 16 843 | 13 416 | 2,3 |
| 12,6 | 1 | 24 | 99 350 | 0,584 | 16 843 | 4 472 | 1,1 |
| 10,8 | 3 | 24 | 103 164 | 0,602 | 14 437 | 13 416 | 0,3 |
| 7,2 | 3 | 36 | 104 744 | 0,632 | 9 625 | 13 416 | 3,6 |
| 12,6 | 2 | 24 | 105 194 | 0,613 | 16 843 | 8 944 | 0,3 |
| 9,0 | 2 | 36 | 106 774 | 0,640 | 12 031 | 8 944 | 3,1 |
| 10,8 | 1 | 36 | 108 804 | 0,654 | 14 437 | 4 472 | 3,32 |
| 12,6 | 3 | 24 | 111 038 | 0,646 | 16 843 | 13 416 | 0,1 |
| 9,0 | 3 | 36 | 112 618 | 0,663 | 12 031 | 13 416 | 1,3 |
| 10,8 | 2 | 36 | 114 649 | 0,668 | 14 437 | 8 944 | 0,3 |
| 12,6 | 1 | 36 | 116 679 | 0,680 | 16 843 | 4 472 | 0,2 |
| 10,8 | 3 | 36 | 120 493 | 0,700 | 14 437 | 13 416 | 0 |
| 7,2 | 3 | 48 | 122 073 | 0,730 | 9 625 | 13 416 | 2,8 |
| 12,6 | 2 | 36 | 122 523 | 0,712 | 16 843 | 8 944 | 0 |
| 9,0 | 2 | 48 | 124 103 | 0,737 | 12 031 | 8 944 | 2,2 |
| 10,8 | 1 | 48 | 126 134 | 0,752 | 14 437 | 4 472 | 2,5 |
| 12,6 | 3 | 36 | 128 367 | 0,746 | 16 843 | 13 416 | 0 |
| 9,0 | 3 | 48 | 129 947 | 0,762 | 12 031 | 13 416 | 0,9 |
| 5,4 | 3 | 60 | 131 528 | 0,816 | 7 218 | 13 416 | 6,3 |
| 10,8 | 2 | 48 | 131 978 | 0,767 | 14 437 | 8 944 | 0 |
| 7,2 | 2 | 60 | 133 558 | 0,833 | 9 625 | 8 944 | 6,77 |
| 12,6 | 1 | 48 | 134 008 | 0,779 | 16 843 | 4 472 | 0 |

con aerogenerador de 8,1 kW.

| PANELES (kW) | AEROG. (8,1 kW) | BATERÍAS | COSTO TOTAL (\$) | COSTO \$/kWh | PRODUC. FV kWh/año | PRODUC. EÓL. kWh/año | DEM. E. INSATISF. (%) |
|--------------|-----------------|----------|------------------|--------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 7,2 | 1 | 12 | 68 869 | 0,424 | 9 625 | 14 070 | 5,6 |
| 5,4 | 1 | 24 | 75 155 | 0,467 | 7 218 | 14 070 | 6,6 |
| 9,0 | 1 | 12 | 77 223 | 0,463 | 12 031 | 14 070 | 3,1 |
| 7,2 | 1 | 24 | 83 029 | 0,497 | 9 625 | 14 070 | 2,9 |
| 10,8 | 1 | 12 | 85 281 | 0,506 | 14 437 | 14 070 | 2 |
| 9,0 | 1 | 24 | 90 904 | 0,533 | 12 031 | 14 070 | 0,8 |
| 5,4 | 1 | 36 | 92 484 | 0,568 | 7 218 | 14 070 | 5,4 |
| 12,6 | 1 | 12 | 93 239 | 0,550 | 16 843 | 14 070 | 1,5 |
| 10,8 | 1 | 24 | 98 778 | 0,574 | 14 437 | 14 070 | 0 |
| 7,2 | 1 | 36 | 100 359 | 0,596 | 9 625 | 14 070 | 2,2 |
| 12,6 | 1 | 24 | 106 653 | 0,620 | 16 843 | 14 070 | 0 |
| 9,0 | 1 | 36 | 108 233 | 0,632 | 12 031 | 14 070 | 0,4 |
| 5,4 | 1 | 48 | 109 813 | 0,668 | 7 218 | 14 070 | 4,4 |
| 10,8 | 1 | 36 | 116 107 | 0,675 | 14 437 | 14 070 | 0 |
| 7,2 | 1 | 48 | 117 688 | 0,697 | 9 625 | 14 070 | 1,9 |
| 12,6 | 1 | 36 | 123 982 | 0,721 | 16 843 | 14 070 | 0 |
| 9,0 | 1 | 48 | 125 562 | 0,730 | 12 031 | 14 070 | 0,1 |
| 5,4 | 1 | 60 | 127 142 | 0,766 | 7 218 | 14 070 | 3,5 |
| 12,6 | 0 | 48 | 128 164 | 0,815 | 16 843 | 0 | 8,6 |
| 10,8 | 1 | 48 | 133 437 | 0,775 | 14 437 | 14 070 | 0 |
| 7,2 | 1 | 60 | 135 017 | 0,797 | 9 625 | 14 070 | 1,5 |
| 12,6 | 1 | 48 | 141 311 | 0,821 | 16 843 | 14 070 | 0 |
| 9,0 | 1 | 60 | 142 891 | 0,830 | 12 031 | 14 070 | 0 |
| 5,4 | 1 | 72 | 144 472 | 0,866 | 7 218 | 14 070 | 3,1 |
| 12,6 | 0 | 60 | 145 493 | 0,922 | 16 843 | 0 | 8,26 |
| 10,8 | 1 | 60 | 150 766 | 0,876 | 14 437 | 14 070 | 0 |
| 7,2 | 1 | 72 | 152 346 | 0,896 | 9 625 | 14 070 | 1,2 |
| 12,6 | 1 | 60 | 158 640 | 0,922 | 16 843 | 14 070 | 0 |
| 9,0 | 1 | 72 | 160 220 | 0,931 | 12 031 | 14 070 | 0 |
| 12,6 | 0 | 72 | 162 822 | 1,028 | 16 843 | 0 | 7,93 |
| 10,8 | 1 | 72 | 168 095 | 0,977 | 14 437 | 14 070 | 0 |
| 12,6 | 1 | 72 | 175 969 | 1,023 | 16 843 | 14 070 | 0 |