



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño Preliminar de un Sistema Híbrido de Suministro de
Energía Doméstica para una comunidad Aislada en base al
Modelado en el Software HOMER”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Pablo Daniel Tagle Salazar

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2010

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que hicieron posible este trabajo y por su invaluable ayuda, en especial a los Ing. Jorge Duque, Director de Tesis, e Ing. Rubén Hidalgo por toda su colaboración prestada.

DEDICATORIA

A MIS MAESTROS

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

A LOS LECTORES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Gonzalo Zibela O.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Pablo Tagle S.

RESUMEN

El presente trabajo presenta un análisis de pre-factibilidad de un sistema de generación de energía para satisfacer la demanda residencial en una pequeña comunidad isleña ubicada en el golfo de Guayaquil, usando HOMER como una herramienta de optimización. La comunidad actualmente cuenta con un generador diesel que se encuentra fuera de servicio, el mismo que suministraba energía a los hogares y al alumbrado público. Dicha comunidad desea contar con un sistema de suministro de energía confiable y amigable con el medio ambiente con la intención de usar el eco-turismo como una fuente de ingresos. Los datos meteorológicos son carentes dentro de la comuna, y está basada en experiencia anecdótica de que el viento en el sitio es fuerte durante las noches de verano. Los datos de radiación solar y velocidad del viento fueron tomados de una estación meteorológica ubicada en Guayaquil, ciudad que se encuentra relativamente cercana a la localidad. La comunidad cuenta con una población de 650 personas y 85 viviendas. La demanda doméstica es categorizada en 2 tipos de casa modelo. HOMER fue usado para modelar los sistemas de generación para 5 tipos de demandas diferentes variando la proporción de casas modelo. La selección del sistema está basada en optimización de energía y costos junto a un bajo consumo de diesel y exceso de energía.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
SIMBOLOGIA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
 CAPÍTULO 1	
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos del Proyecto.....	4
1.3. Supuestos.....	5
1.4. Metodología de Modelado, Diseño y Selección.....	5
 CAPÍTULO 2	
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	8
2.1. Introducción.....	8
2.2. Componentes del Sistema.....	9
2.2.1. Paneles Solares.....	10
2.2.2. Turbinas Eólicas.....	11

2.2.3. Regulador.....	13
2.2.4. Convertidor.....	15
2.2.5. Baterías.....	17
2.3 Tipos de Sistemas.....	20

CAPÍTULO 3

3. FUNDEMENTOS DE DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE

GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	24
3.1 Dimensionado de la Demanda Energética.....	24
3.2 Recursos Energéticos.....	25
3.2.1. Estimación del Recuso Solar.....	25
3.2.2. Estimación del Recurso Eólico.....	27
3.3 Dimensionado de los Equipos.....	29
3.3.1. Dimensionado de los Paneles Solares.....	29
3.3.2. Dimensionado de las Turbinas Eólicas.....	29
3.3.3. Dimensionado del Banco de Baterías.....	30
3.3.4. Dimensionado del Inversor.....	30
3.3.5. Consideraciones Finales.....	31
3.4 Análisis Económico.....	31
3.5 Análisis de Sensibilidad.....	33

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	35
--	----

4.1 Modelado de la Demanda Energética.....	35
4.2 Recursos Solar y Eólico.....	38
4.3 Descripción del Sistema de Generación.....	41
4.4 Selección de los Componentes.....	45
4.4.1. Selección de los Paneles Solares.....	45
4.4.2. Selección de las Turbinas Eólicas.....	47
4.4.3. Selección de las Baterías.....	48
4.4.4. Selección del Inversor.....	49
4.4.5. Selección del Regulador.....	51
4.5 Costos.....	52
4.6 Crecimiento Poblacional.....	53
4.7 Expansión del Sistema.....	55

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA.....	58
5.1 Análisis Energético.....	60
5.2 Análisis Económico.....	64
5.3 Análisis de Sensibilidad.....	68

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
6.1 Conclusiones.....	72
6.2 Recomendaciones.....	73

APÉNDICES

APÉNDICE A

A. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LOS RECURSOS SOLAR Y EÓLICO.....	75
--	----

APÉNDICE B

B. CONSIDERACIONES GENERALES DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	109

SIMBOLOGÍA

An	Anualidad (\$/yr)
Ar	Área (m ²)
C _b	Capacidad Nominal de la Batería (Ah)
CRF	Factor de Capital Recuperado (adim.)
CSP	Criterio de Selección de Paneles (Wp/m ² kg)
Cte	Constante Solar (1000 - 1366 kW/m ² d)
c	Factor de Escala (m/s)
D	Abreviatura del Sistema a Diesel
D _d	Demanda Energética (kWh/d)
E	Energía (kWh)
Et	Egresos (\$)
F	Factor de Dimensión (adim.)
FEE	Factor Energético-Económico (kWh/\$ ²)
f	Frecuencia (Hz)
I	Corriente (A)
In	Insolación (h)
Io	Inversión Inicial (\$)
Ir	Irradiación (kWh/m ² d)
i	Interés Anual (%)
J31	Abreviatura de la Turbina Jacobs 31-20
k	Factor de Forma (adim.)
LCOE	Costo de la Energía (\$/kWh)
NPV	Valor Presente Neto (\$)
n	Cantidad, Número de Elementos
P	Potencia (kW, W)
P(t)	Modelo de Crecimiento Poblacional (hab.)
p (x)	Distribución Weibull de Probabilidades
R	Radiación (kW/m ²)
S-D	Abreviatura del Sistema Híbrido Solar-Diesel

S-W-D	Abreviatura del Sistema Híbrido Solar-Eólico-Diesel
t	Tiempo (h)
$v(z_{an})$	Velocidad del viento a la altura del anemómetro (m/s)
$v(z)$	Velocidad del viento a la altura de la turbina (m/s)
V	Voltaje (V)
V(t)	Modelo de Crecimiento de Vivienda
W	Peso (kg)
W-D	Abreviatura del Sistema Híbrido Eólico-Diesel
Wp	Potencia Máxima (W)
W500	Abreviatura de la Turbina Whisper 500
XLR	Abreviatura de la Turbina Excel-R
x, v	Velocidad del Viento (m/s)
Yt	Ingresos (\$)
z_o	Rugosidad del terreno (m)
z_{an}	Altura del anemómetro (m)
z	Altura de la turbina (m)
η	Eficiencia

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Flujograma de Diseño..... 6
Figura 2.1	Generación de Energía con Sistema Estacionario y de Seguimiento..... 11
Figura 2.2	Esquema de las Partes de una Turbina Eólica..... 12
Figura 2.3	Control de Carga..... 14
Figura 2.4	Tipos de Control..... 15
Figura 2.5	Esquema de un Sistema Híbrido Autónomo..... 21
Figura 3.1	Análisis de Sensibilidad..... 34
Figura 4.1	Demanda de Casas Modelo..... 36
Figura 4.2	Modelado de la Carga Eléctrica (85 casas)..... 37
Figura 4.3	Histograma de la Velocidad del Viento a 10m de altura del suelo..... 39
Figura 4.4	Esquema del Sistema de Generación..... 42
Figura 4.5	Conexiones Interiores..... 43
Figura 4.6	Incremento de la Potencia Instalada..... 56
Figura 5.1	Variación de los Valores Energéticos para el Sistema S-W-D..... 63
Figura 5.2	Variación de los Valores Energéticos para el Sistema W-D..... 63
Figura 5.3	Sistema Óptimo para Demanda de Bajo Consumo..... 70
Figura 5.4	Sistema Óptimo para Demanda de Alto Consumo..... 71
Figura A.1	Tipos de Heliógrafos..... 77
Figura A.2	Pirheliómetro de Abbot..... 78
Figura A.3	Piranómetro de Kipp..... 79
Figura A.4	Deformación del árbol de Pino..... 80
Figura A.5	Escala de Beaufort..... 81
Figura A.6	Tipos de Anemómetros..... 82

Figura A.7	Veleta y Circuito Eléctrico.....	83
Figura B.1	Separación Óptima de Generadores Eólicos.....	94
Figura B.2	Cimentaciones Estándares para Torres de Acero y de Concreto.....	95
Figura B.3	Cimentación Pilotada.....	96
Figura B.4	Cimentación por Gravedad.....	97
Figura B.5	Cimentación de Monopilote.....	98
Figura B.6	Cimentación Trípode.....	99
Figura B.7	Métodos de Izamiento de Torres Eólicas.....	100

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Demanda Energética.....	25
Tabla 2 Demanda Energética de Casa Modelo 0.....	35
Tabla 3 Demanda Energética de Casa Modelo 1.....	36
Tabla 4 Parámetros Solares y Eólicos Anuales.....	40
Tabla 5 Parámetros Solares y Eólicos Mensuales.....	40
Tabla 6 Especificaciones de los Paneles Solares.....	46
Tabla 7 Especificaciones de las Turbinas Eólicas.....	47
Tabla 8 Especificaciones de las Baterías.....	49
Tabla 9 Especificaciones de los Inversores.....	51
Tabla 10 Especificaciones del Regulador.....	52
Tabla 11 Costos.....	53
Tabla 12 Población y Vivienda.....	54
Tabla 13 Demanda Comunal Diaria de Energía (kWh).....	54
Tabla 14 Picos de Potencia (kW).....	55
Tabla 15 Planeación de Expansión.....	57
Tabla 16 Resultados Energéticos para el Sistema S-D.....	60
Tabla 17 Resultados Energéticos para el Sistema S-W-D.....	61
Tabla 18 Resultados Energéticos para el Sistema W-D.....	62
Tabla 19 Valores de NPV y LCOE para Sistema D.....	64
Tabla 20 Valores de NPV para Sistema S-W-D.....	65
Tabla 21 Valores de LCOE para sistema S-W-D.....	66
Tabla 22 Valores de NPV para Sistema W-D.....	67
Tabla 23 Valores de LCOE para Sistema W-D.....	67
Tabla 24 Valores de NPV para Sistema S-D.....	67
Tabla 25 Valores de LCOE para Sistema S-D.....	68
Tabla 26 Factor FEE.....	69
Tabla 27 Inspección Física de Paneles.....	87

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

En el proyecto Andenergy del año 2006 (1), entre los casos potenciales de comunidades aisladas de Ecuador y Perú con posibilidades para el uso de energías renovables para suministro de energía eléctrica, se menciona el caso de una localidad isleña llamada “Cerrito de los Morreños”. Esta comunidad se encuentra localizada en el Golfo de Guayaquil, a una hora de viaje en lancha desde Guayaquil, y cuenta con 650 habitantes repartidas en 140 familias y 85 viviendas actualmente. En la localidad se encuentra un cerro que caracteriza a la comuna, en la cual tiene 60 msnm en su cumbre.

Las necesidades principales de la comuna son de suministro y desalinización del agua potable, combustible para cocción de alimentos, y suministro de energía eléctrica. En este último punto, las necesidades eléctricas son de alumbrado público, suministro doméstico, purificación de agua y refrigeración de alimentos (1). El deseo de la comunidad en general es de convertirse en un sector amigable con el medio ambiente, disminuyendo el uso de recursos no-renovables como el diesel, mediante el uso de sistemas híbridos solar-eólico-diesel.

En la comunidad existe un generador a diesel, marca Deutz de 100HP de potencia, el cual está fuera de servicio desde hace 6 meses atrás, por lo que la comuna no ha tenido servicio eléctrico todo ese tiempo. El generador les proveía de alumbrado y servicio doméstico durante 4-6 horas al día. El consumo mensual del combustible era de 360 galones al mes, con una inversión de \$560 mensuales por toda la comunidad para la compra del combustible.

Como experiencia con las tecnologías renovables, dentro de la comuna existe una instalación de paneles fotovoltaicos en la escuela de la localidad. La instalación cuenta con 3 paneles de 100Wp, un inversor de corriente de 2.5kW, 3 baterías de 206Ah cada una y su respectivo controlador de carga. La demanda de este sistema consta

de una computadora y 3 focos ahorradores. El sistema funciona con una autonomía de 3 días. El sistema fue instalado por el ex Ministerio de Energía y Minas.

En el proyecto Andenergy se menciona que en la cumbre del cerro existe la posibilidad de usar el viento para generación eléctrica o bombeo de agua, puesto que residentes locales y expertos del ex Ministerio de Energía y Minas afirman que “durante la noche y ciertas temporadas del año, el viento sopla en gran medida” (6). En cuanto al recurso solar, también se menciona que en la localidad se presenta una incidencia solar media-alta con cielo poco nublado apta para aplicaciones térmicas y fotovoltaicas, mas no se mencionan problemas por sombras debidas a la presencia del cerro.

El diseño de sistemas híbridos para comunidades es simulado mediante programas computacionales específicamente diseñados para este objetivo. Muchos de estos softwares han sido creados por reconocidas instituciones y laboratorios dedicados a la investigación de las energías renovables, aprobados por investigadores en el campo, y usados en comunidades alrededor del mundo.

El software a ser usado en este proyecto es HOMER, software creado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés), laboratorio del Departamento de Energía de los

Estados Unidos (20). Este software es libre, y es usado para el modelado y optimización de sistemas híbridos de suministro de energía.

Como experiencia en el uso del software, la propia página del NREL muestra documentos en los que se usa el software HOMER para aplicaciones reales de comunidades aisladas o semi-aisladas en diversos sitios del mundo, tales como Sri Lanka, Bangladesh, Croacia, EEUU, Australia, etc. (20). Actualmente, existen registros de haber usado el software para aplicaciones dentro de las Islas Galápagos, pero no en la zona continental.

1.2. Objetivos del Proyecto

Los principales objetivos del presente proyecto son:

1. **Objetivo Principal:** Diseñar y modelar un sistema híbrido eólico-solar-diesel de generación de energía para la comunidad de Cerrito de los Morreños.
2. **Objetivo Secundario:** Desarrollar experiencia en el manejo del software HOMER para el diseño de un sistema híbrido de generación de energía para un caso de estudio en Ecuador.

1.3. Supuestos

Las suposiciones a tener en el presente proyecto son las siguientes:

1. Los datos de mediciones meteorológicas fueron tomados por una estación meteorológica (7) ubicada en Guayaquil y no en el sitio de estudio.
2. Los costos son basados según Congreso Mundial de Energía Renovable (37) y de fabricantes y proveedores de los equipos.

1.4. Metodología de Modelado, Diseño y Selección

En la Figura 1.1 se muestra el Flujograma de Diseño, donde se resume la metodología y el procedimiento a seguir para el diseño, selección y modelado del sistema. En él se explican los pasos a seguir en el proceso de selección, modelado, dimensionado y simulación del sistema híbrido de generación de energía. En primer lugar, se muestran los datos obtenidos mediante mediciones de recursos, de población y de demanda energética; luego el modelado de la demanda energética, proceso que se realiza en conjunto con el dimensionado del sistema; y por último, la simulación del sistema.

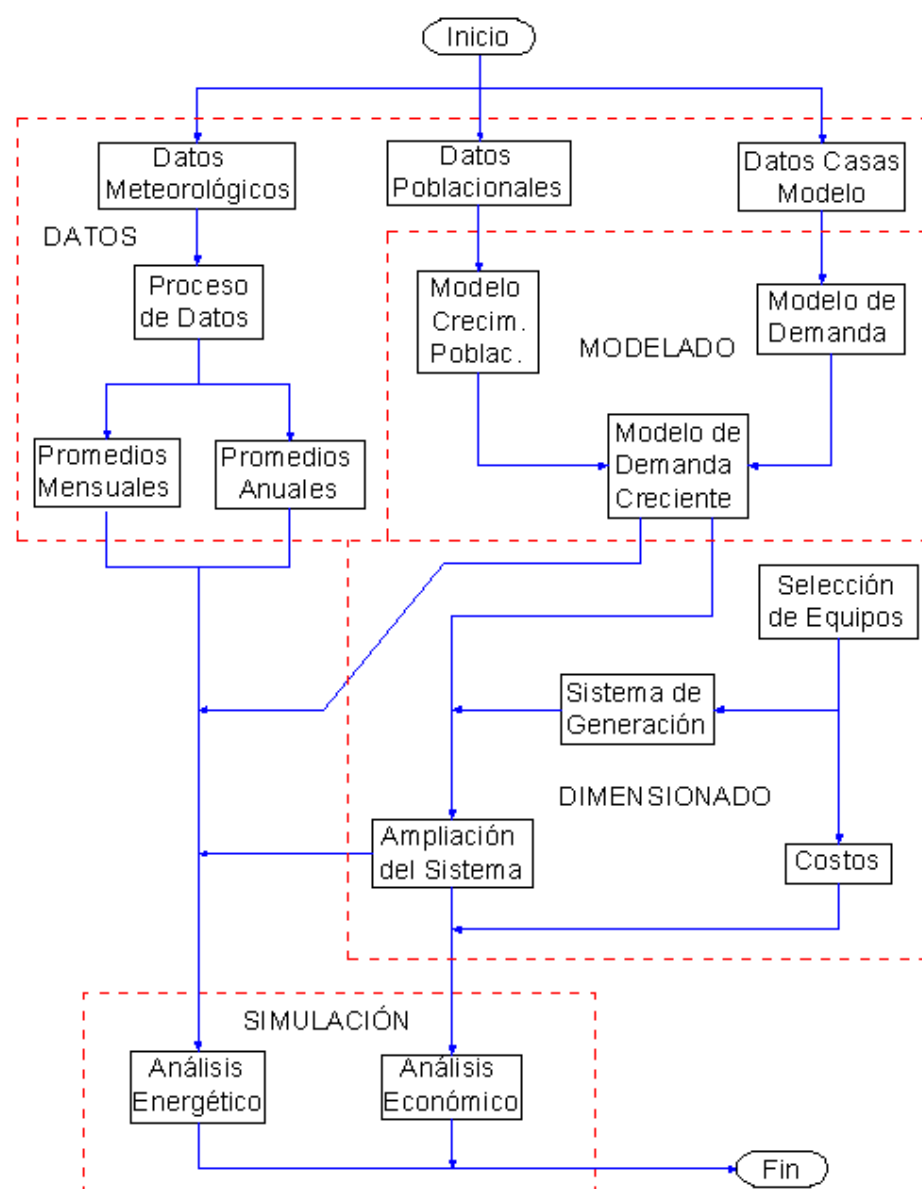


FIGURA 1.1 FLUJOGRAMA DE DISEÑO

Esta tesis está organizada de la siguiente manera:

En el Capítulo 2, Descripción General del Sistema Híbrido de Generación de Energía, se presenta el marco teórico de un sistema

tanto solar como eólico, con una descripción de los tipos de sistemas híbridos, sus componentes y su funcionamiento. En el Capítulo 3, Fundamentos de Diseño del Sistema de Generación de Energía, se presentan los cálculos básicos para el dimensionado de los componentes del sistema mostrados en el capítulo anterior, junto con una breve descripción del análisis económico y de sensibilidad. En el Capítulo 4, Diseño del Sistema de Generación, se exponen los resultados en cuanto al modelado de las demandas y diseño de los sistemas a simular. En el Capítulo 5, Análisis del Diseño del Sistema, se muestra los resultados de las simulaciones realizadas en el software HOMER, con el respectivo análisis energético, de sensibilidad, de crecimiento poblacional y económico. Finalmente en el Capítulo 6 las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Además se presenta en el Apéndice A, Métodos e Instrumentos de Medición de Recursos Solar y Eólico, los métodos básicos e instrumentos usados en la medición de los recursos solar y eólico. En el Apéndice B; Fundamentos de Instalación, Mantenimiento y Operación; se describen los conceptos de instalación, mantenimiento y operación de equipos para sistemas híbridos.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

2.1. Introducción

Los sistemas híbridos son la asociación de 2 o más fuentes de energía para generar energía eléctrica a una carga aislada o conectada a una red (32). Dentro del campo de las energías renovables, los sistemas solares (fotovoltaico y térmico) y eólicos son los más usados por su fácil adquisición, instalación, mantenimiento y operación, además de la independencia del sistema. Esta independencia hace posible que una comunidad aislada posea energía para sus necesidades sin hacer uso de combustibles fósiles o de una conexión con la red eléctrica, los cuales no siempre son viables en este tipo de sitios.

La factibilidad de la instalación de un sistema (sea eólico, solar, o híbrido) comienza con la evaluación del recurso natural que son la radiación solar y la velocidad del viento. Evaluando estos aspectos es posible determinar si en un sitio es factible, viable y confiable instalar el sistema (Apéndice A).

Existe la posibilidad de “vender” energía, esto ocurre cuando la planta de generación se conecta a la red de distribución local. Existen ya varios casos en el mundo que utilizan los recursos renovables para generar energía interconectada a la red eléctrica local.

2.2. Componentes del Sistema

Un sistema convencional de generación de energía, sin importar el tipo de generación, generalmente cuenta con una turbina, generador, transformador y luego pasa a la distribución. Pero los sistemas tanto solares como algunos eólicos cuentan con otros componentes que no poseen los sistemas convencionales. Estos en su mayoría son paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, controlador de carga (también llamado regulador), inversor y baterías. A continuación se exponen brevemente las características de cada uno de estos equipos.

2.2.1. Paneles Solares

Son los que captan la energía del sol y la transforma en electricidad basándose en el efecto fotoeléctrico para generar la energía. Generalmente son un conjunto de celdas conectadas de distintas formas para obtener distintos voltajes.

Si hay alguna celda dañada, o que no opera por estar en la sombra, se produce un voltaje negativo alto en los terminales de dicha celda, lo que podría terminar destruyendo la celda. Para evitar esto, ciertos juegos de celdas poseen un bypass hecho de diodos (36).

Existen 2 formas de colocación de un arreglo de paneles solares:

- **Con Seguimiento:** Son arreglos con mecanismos que permiten que los paneles puedan estar direccionadas con el movimiento del sol durante el día, es decir, permite tener los paneles directamente dirigidos hacia el sol.
- **Estacionario:** Son arreglos que permanece fijos, ubicados en una dirección determinada.

Los arreglos con seguimiento pueden aumentar la potencia de salida de los paneles, pero el problema es saber si este

aumento es rentable con el coste de un mecanismo de seguimiento (25), tal como lo muestra la Figura 2.1.

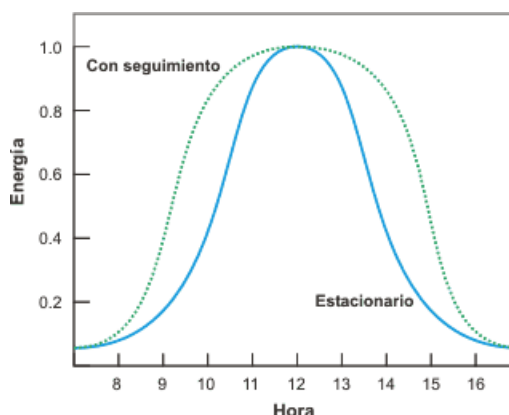


FIGURA 2.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA CON SISTEMA ESTACIONARIO Y DE SEGUIMIENTO (25)

2.2.2. Turbinas Eólicas

Son las encargadas de captar la energía proveniente del viento y transformarla en electricidad. Primero, el viento hace girar unas aspas, las cuales hacen funcionar un sistema de engranajes conectados a un generador, que es el encargado de generar la electricidad. Algunas de estas turbinas cuentan con una veleta, que hace posible que la turbina se dirija de forma directa con la dirección del viento, algo parecido al seguidor solar, incluso pueden venir de fábrica con un anemómetro incluido. La Figura 2.2 muestra los componentes de una turbina eólica.

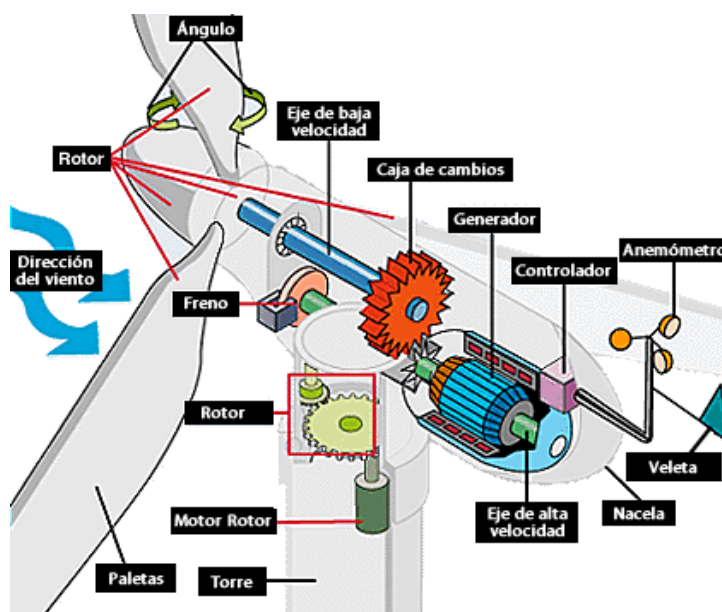


FIGURA 2.2 ESQUEMA DE LAS PARTES DE UNA TURBINA EÓLICA

Normalmente, las turbinas son diseñadas para trabajar en ciertos rangos de velocidades del viento. Estas velocidades son divididas en 3 valores diferentes:

- **Velocidad de Arranque:** Es la velocidad mínima en la que la turbina empieza a generar energía.
- **Velocidad Nominal:** Es la velocidad en la que la turbina genera su potencia máxima.
- **Velocidad de Corte:** Es la velocidad a la cual la máquina pueda soportar fuertes vientos.

Es necesario saber que no toda la energía del viento puede ser utilizada, sin que exista un límite teórico de cerca del 59%. Por esta razón, las turbinas son diseñadas para transformar del 40 al 50% de la energía total del viento.

Como sabemos, si un panel solar se coloca justamente junto a otro, este segundo no afectará al primero, pero si se hace lo mismo con las turbinas, si terminarán afectándose ambas. Las turbinas eólicas necesitan espacio para realizar la conversión, ya que el viento, luego de pasar por las paletas, se expande, y si una turbina se encuentra muy cercana, esta expansión hará que la turbina produzca menos energía que la de enfrente. De ahí la necesidad de tener espacio suficiente para colocar varias turbinas eólicas.

2.2.3. Regulador

Llamado también controlador de carga, es el encargado de evitar las sobrecargas, ya sea de corriente o voltaje, hacia los equipos o aparatos de la carga. Este permite que la corriente sea controlada desde la batería y panel hacia la carga. Por ejemplo, si la corriente de los paneles supera la corriente de operación de la carga, éste abre el circuito y no permite el paso de esa corriente. Al contrario, si las baterías están

totalmente cargadas, el controlador hace que la energía vaya directamente del panel a la carga. Este proceso es mostrado en la Figura 2.3.

Existen 2 formas de control (Figura 2.4), éstas son:

Control en Serie: Se realiza abriendo y cerrando el circuito de carga evitando que las baterías se descarguen.

Control Paralelo: Este se realiza desviando la corriente de carga a una carga ficticia que está conectada en paralelo al circuito de carga. El circuito de carga permanece siempre cerrado, por lo que para evitar la descarga de las baterías se coloca un diodo de bloqueo en el lado de las baterías. Este crea pérdidas de potencia porque hace disminuir el voltaje de carga, por lo que no son tan eficientes. En el mercado normalmente se encuentran sistemas en serie.

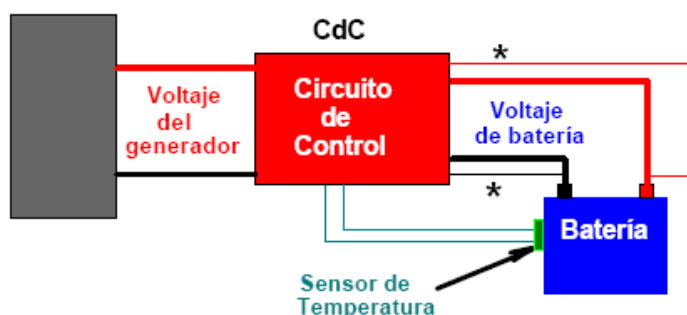


FIGURA 2.3 CONTROL DE CARGA (14)

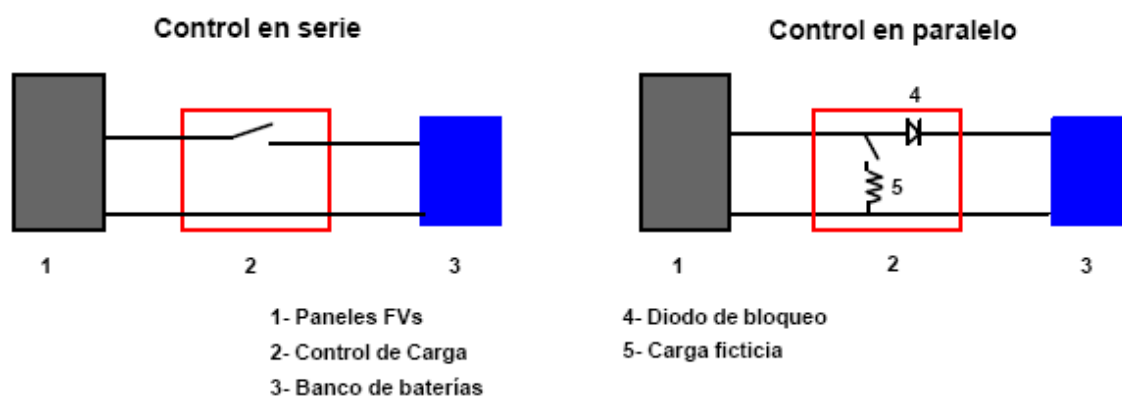


FIGURA 2.4 TIPOS DE CONTROL (14)

Este sistema de control debe ser colocado bajo consideraciones prácticas, a continuación se resumen las más importantes (14):

Eléctricas: Deberá tolerar cargas mayores a las del diseño, y debe estar protegido contra las sobrecargas.

Mecánicas: Deberá tener una cubierta de acero inoxidable, y ser de montaje fácil.

Ambientales: Deberá tener un rango amplio de temperaturas de trabajo.

2.2.4. Convertidor

También llamado inversor, es el encargado de transformar la corriente directa en alterna. Como se sabe que los paneles

generan corriente directa y que las baterías dan también corriente directa es necesario contar con un inversor para suplir la carga alterna.

Existen 3 tipos de conversión usados comúnmente en este tipo de transformación de energía, estos son (18):

Inversores de Onda Cuadrada: Este dispositivo hace pasar la corriente continua a través de un transformador en una y otra dirección. La conmutación es rápida y brusca, lo que provoca que la onda tome una forma rectangular.

Estos dispositivos son baratos pero poco eficientes, pues provocan ruido e interferencia.

Inversores de Onda Senoidal Modificada: En estos aparatos la onda es modificada y se la acerca más a una senoidal que el de la onda cuadrada. El ruido e interferencia es menor por la menor cantidad de armónicos que produce. Se los recomienda en sistemas de iluminación de bajo consumo.

Inversores de Onda Senoidal: Con estos aparatos es posible conseguir una onda senoidal casi pura. Esto es posible gracias a la electrónica de la actualidad. Sin embargo son los más caros de los 3. Son recomendables para alimentación de

máquinas o aparatos que necesiten una onda senoidal pura, como motores.

2.2.5. Baterías

Normalmente las baterías están confinadas en un banco de baterías, éstos son los que permiten el almacenamiento de la energía, los cuales dan energía a la carga en los momentos en los que los paneles o turbinas no generan energía, y se cargan cuando la carga es menor a la generación, este control de la energía lo hace el regulador.

Los voltajes de las baterías van desde los 2V hasta los 24V generalmente, aunque las de más alto voltaje son usados para aplicaciones como bombeo de agua y telecomunicaciones.

Estos tipos de baterías difieren de las usadas en autos en los ciclos de descarga. Un ciclo de descarga es la medida de qué tan rápido se descarga una batería para suplir una carga. Normalmente los autos necesitan ciclos rápidos, en los que necesita grandes corrientes en cortos tiempo, pero las baterías solares son de ciclos más profundos, es decir, deben suministrar una corriente baja en tiempos prolongados. A pesar del bajo costo del uso de baterías de autos no es recomendable trabajar con ellos, pues su vida útil se acorta no

sería nada eficiente estar cambiando de baterías frecuentemente (12).

Existen ciertos factores que pueden afectar el funcionamiento de las baterías, las más comunes son la temperatura, sulfatación, gasificación, y autodescarga. Las características de cada uno de ellos se muestran a continuación (14):

Temperatura: Tanto las altas como las bajas temperaturas afectan a la batería. Las temperaturas bajas afectan en sí a la resistividad del electrolito, ya que a medida que la temperatura del mismo baja aumenta su resistividad, disminuyendo así el voltaje en la carga. Si la temperatura continúa bajando, el electrolito (que tiene una parte de agua) puede terminar congelándose, al punto de hacer expandir la batería hasta romperla y dañarla.

Las altas temperaturas, en cambio, afectan a la vida útil de la batería puesto que al elevarse la temperatura, la actividad química de la batería aumenta, acelerando así su propio desgaste.

Sulfatación: Cuando en las placas interiores de las baterías se adhieren cristales de sulfato es cuando se dice que se ha sulfatado. Estos cristales hacen que la placa disminuya su

área activa, reduciendo así su vida útil. Actualmente existe un mecanismo que somete a las placas a una agitación mecánica para evitar que estos cristales se queden pegados a la placa, esto se realiza mediante un aparato llamado “*desulfatador electrónico*”.

Otra solución viable dentro del mantenimiento de las baterías es el propio cuidado que se le dé al sistema. Uno de los mecanismos es de disminuir la carga en los días de baja actividad. También debe evitarse el sobre-cargado de las mismas.

Gasificación: Se conoce como gasificación al proceso en donde el electrolito produce un burbujeo dentro de la batería provocado por el escape de átomos de hidrógeno y oxígeno de la solución. Esto se debe a que la electrólisis del agua dentro de la batería no se realiza bien, los átomos de hidrógeno y oxígeno no se combinan y escapan. Esto sucede cuando la batería está totalmente cargada, el voltaje es cercano al del cargador y también las reacciones químicas disminuyen por la baja corriente de carga.

Dentro de la batería puede ocurrir que al escapar átomos de oxígeno, estos terminan atacando el soporte de las placas de

plomo, haciendo que en algún momento, de forma súbita, una de las placas se suelte, esto hace que la batería deje de funcionar.

También suele suceder que si el voltaje del cargador es elevado, la gasificación es más intensa, lo que provoca un mayor burbujeo, haciendo que parte de la solución escape por los respiraderos de la batería dañando así los terminales.

Autodescarga: Aunque una batería esté cargada, con el tiempo se descarga por sí sola, aunque permanezca inactiva.

2.3. Tipos de Sistemas

El tipo de sistema determina como se distribuirá la energía generada. Existen 3 tipos comunes de sistemas, que en general son los más usados, estos son:

1. Sistemas aislados (off grid)
 - a. Independientes
 - b. Microrredes
2. Sistemas interconectados (a redes de servicio público, on grid)

Incluso estos sistemas pueden ser de una generación única o híbrido. Este tipo de servicio puede ser usado para demandas que requieran una suministración de energía más estable, pues al ser híbrido, el sol puede complementar al viento, y viceversa (Figura 2.5).

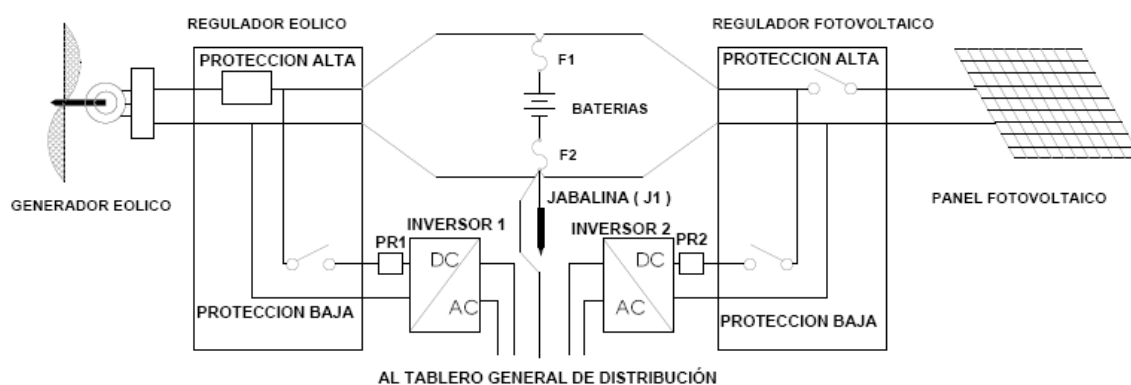


FIGURA 2.5 ESQUEMA DE UN SISTEMA HÍBRIDO AUTÓNOMO (5)

Redes aisladas: Las redes aisladas son las que se encuentran fuera de un sistema interconectado, es decir, están separadas del sistema público. Estas redes son generalmente usadas para personas donde colocar un sistema público sería muy difícil o casi imposible, o lugares muy aislados a las ciudades. Los sistemas independientes son los que proveen de energía a un solo lugar, es decir, una casa, un departamento... etc., mientras que las microrredes son los que varias de estas localidades están unidas a la misma red, por ejemplo, 3 casas o más.

Estos sistemas se comportan de una manera autónoma y casi siempre son instalados con un respaldo que por lo general son generadores Diesel.

Sistemas interconectados: Son los sistemas que, aparte de tener los elementos de generación renovable están conectados al sistema público. Estos sistemas son más comunes dentro de las ciudades, en casas o incluso dentro de las propias plantas de generación, y son usados para mejorar el voltaje, disminuir la contaminación (por la quema de combustibles fósiles), expansión de las redes, entre otras ventajas (36).

Independientemente de cómo se diseñe el sistema, cada parte posee sus ventajas y desventajas, las cuales son mostradas a continuación:

Eólica (11)

1. Ventajas

- a.** Impacto medioambiental mínimo
- b.** Bajo costo de mantenimiento (baterías, limpieza de aspas, y revisión periódica)
- c.** Rápida instalación en comparación con otros sistemas.

2. Desventajas

- a.** La variabilidad del viento
- b.** Alto costo inicial
- c.** Impacto visual (alteración de los paisajes)

Solar (12)

1. Ventajas

- a.** Esta tecnología permite soluciones modulares e independientes
- b.** Vida útil larga
- c.** Bajo costo de mantenimiento y operación
- d.** Instalación rápida, puede realizarse con herramientas comunes.

2. Desventajas

- a.** Alto costo inicial
- b.** Producción limitada
- c.** Condiciones atmosféricas

CAPÍTULO 3

3. FUNDAMENTOS DE DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

3.1. Dimensionado de Demanda Energética

La demanda energética para estos tipos de sistemas generalmente son de baja potencia, tales como televisores, focos ahorradores, radios, refrigeradores de bajo consumo, etc. La razón radica en que equipos con mayor consumo necesitan un amperaje medio-alto, amperaje que los paneles y turbinas no siempre pueden cubrir, entre estos están congeladores, acondicionadores de aire, calentadores de agua, etc. Por otra parte, conectar equipos de alto consumo a estos sistemas no resulta rentable.

Por lo general, la forma de modelar una demanda energética es en base a una demanda diaria promedio, estableciéndola como una

demanda estándar. Con las potencias de cada aparato y la cantidad de horas de uso se modela una carga energética promedio en el día, como se muestra en la Tabla 1

TABLA 1. DEMANDA ENERGÉTICA

	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5
no.	-	-	-	-	-
Pot	-	-	-	-	-
h	-	-	-	-	-
E	= n x pot x h	= n x pot x h	= n x pot x h	= n x pot x h	= n x pot x h

Entonces, la demanda diaria media se calcula según la Ecuación 3.1.

$$D_d = \sum n_i P_i t_i \quad (3.1)$$

Esta es la cantidad de energía promedio a cubrir durante todo un día.

3.2. Recursos Energéticos

3.2.1. Estimación del Recurso Solar

El cálculo de la energía solar se realiza de 2 formas:

- 1. Con datos de una estación meteorológica:** datos de radiación solar medidos durante periodos cortos que van desde minutos a 1 hora, durante 1 año entero mínimo.

2. Con datos de historial de radiación solar: datos de radiación solar mensual promedio medidos durante varios años.

Generalmente, al contar con datos de estaciones, se procesan los datos para tener promedio mensuales durante el año; con el historial, los datos no son procesados.

El recurso solar se evalúa integrando la radiación solar durante un día para cada día del año, y luego obtener un valor promedio. Al obtener datos de una estación, esta integración se realiza de forma numérica como se muestra en la Ecuación 3.2.

$$Ir = \int R dt \approx \frac{\Delta t}{3} \left[R_0 + 2 \sum_{j=1}^{\frac{n}{2}-1} R_{2j} + 4 \sum_{j=1}^{\frac{n}{2}} R_{2j-1} + R_n \right] \quad (3.2)$$

Se realiza la integración durante todos los días, y se obtienen promedios mensuales, y con dichos promedios mensuales se obtiene finalmente un promedio anual.

Al obtener los promedios mensuales, se calcula una insolación promedio, que es el tiempo promedio en que el sol está presente con una radiación estándar, llamada constante solar.

Esta constante puede variar de 1000 a 1367kW/m². La insolación se calcula mediante la Ecuación 3.3

$$In_{an} = \frac{\sum Ir}{12 \cdot Cte} \quad (3.3)$$

Y la energía promedio que pueden generar los paneles solares durante el año se calcula usando la Ecuación 3.4.

$$E_{an} = 365\eta_p n_p In_{an} P_p \quad (3.4)$$

3.2.2. Estimación del Recurso Eólico

La naturaleza del viento hace que la estimación de la energía que puede generar sea más compleja que la solar. El comportamiento del viento se modela generalmente mediante modelos estadísticos, como el modelo de Weibull. Su regla de correspondencia de probabilidad es la Ecuación 3.5

$$p(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right] \quad (3.5)$$

De la misma forma que el recurso solar, la velocidad del viento se estima mediante estaciones meteorológicas o historiales. Si se cuenta con los primeros es necesario procesarlos para el posterior cálculo.

Cabe recalcar también que cada turbina posee una curva de potencia distinta. Esta curva es característica propia del fabricante, modelo y tipo de turbina. Algunos fabricantes poseen en sus catálogos una curva que muestra la cantidad de energía promedio que puede generar la turbina durante un cierto periodo (que suele ser anual o mensual) para varias velocidades de viento. La fórmula en la que se basan dichas curvas de producción de energía es la Ecuación 3.6. Por lo general, para la distribución de probabilidad se usa la distribución de Rayleigh.

$$\bar{E} = t \int P(v)p(v)dv \quad (3.6)$$

La velocidad del viento a diferentes alturas es calculada mediante una variación logarítmica. Esta variación relaciona la velocidad a una altura conocida, usualmente la altura a la que se ubica el anemómetro (z_{an}), la velocidad a esa altura ($v(z_{an})$), y la “rugosidad” del terreno (z_o). Esta relación se expresa de la forma mostrada en la Ecuación 3.7.

$$v(z) = v(z_{an}) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{z_{an}}{z_o}\right)} \quad (3.7)$$

3.3. Dimensionado de Equipos

3.3.1. Dimensionado de Paneles Solares

El dimensionado de los paneles depende principalmente de la potencia nominal de los mismos. El número de paneles se calcula según la Ecuación 3.7.

$$n_p = \frac{F \cdot D_d}{I_n \cdot P_p} \quad (3.8)$$

El factor F o factor de dimensión corresponde a un factor de seguridad para el diseño del sistema, en el cual también puede estar incluido el porcentaje de demanda que se desea cubrir con los paneles, en el caso de un sistema híbrido como el estudiado. Este factor varía entre 1.05 a 1.25 para el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados.

3.3.2. Dimensionado de las Turbinas

En el caso de las turbinas, se utiliza la curva de producción de energía de la turbina, con esta curva se obtiene un valor de producción de energía diaria y luego se calcula el número de turbinas a instalar con la Ecuación 3.8.

$$n_t = \frac{F \cdot D_d}{E_t} \quad (3.9)$$

Nuevamente se incluye el factor de dimensión. El factor de dimensión no necesariamente es igual para las turbinas y para los paneles, pues ambos elementos trabajan de forma distinta.

3.3.3. Dimensionado del Banco de Baterías

El banco de baterías se dimensiona según la capacidad nominal de la batería y su voltaje nominal según la Ecuación 3.9.

$$n_b = \frac{A \cdot D_d}{V \cdot C_b} \quad (3.10)$$

Aquí, el factor de dimensión se denomina “Autonomía” (A), y se define como el número de días que el sistema puede operar únicamente con la energía de las baterías. Este factor se suele estimar entre 1 y 3 días dependiendo de los recursos solar y/o eólico con los que se cuente.

3.3.4. Dimensionado del Inversor

Para el caso del inversor, es necesario saber el consumo máximo de potencia demandada. La ecuación para su dimensionado es la Ecuación 3.10:

$$P_{inv} = F \sum P_{max} \quad (3.11)$$

En este caso, el factor de dimensionado (también llamado “de potencia”) depende del tipo de equipos a instalar, pues no todos los aparatos demandan la misma cantidad de energía al momento del encendido. Este factor estima los picos de demanda de corriente en el encendido de los equipos.

Otra forma de dimensionar el inversor es asumiendo que todos los equipos están encendidos al mismo tiempo, usando la Ecuación 3.11.

$$P_{inv} = \sum F_i n_i P_i \quad (3.12)$$

3.3.5. Consideraciones Finales

Además de los resultados obtenidos con las ecuaciones antes mostradas, es importante recalcar que existen otros factores para el dimensionado del sistema; tales como el espacio disponible, ubicación de los equipos, soporte de los paneles, etc. Estas consideraciones se describen en el Anexo B.

3.4. Análisis Económico (3)

Dentro del análisis económico, se evalúan 2 parámetros: el costo de la energía y el valor presente neto (LCOE y NPV por sus siglas en inglés respectivamente). El costo de la energía es el costo que

costaría producir un kWh teniendo en cuenta los valores de inversión, mantenimiento, reparación, etc. del sistema. El valor presente neto es el costo que tendría el proyecto al final de un determinado lapso de tiempo como costo actual, es decir, traer al presente un valor futuro. Las ecuaciones usadas para calcular estos parámetros se muestran desde la Ecuación 3.12 a la Ecuación 3.15.

$$LCOE = \frac{An.}{E_{prod}} \quad (3.13)$$

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{Y_t - E_t}{CRF} - I_0 \quad (3.14)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.15)$$

$$An. = \sum An._i \quad (3.16)$$

El factor de capital recuperado (CRF por sus siglas en inglés) es el factor usado para calcular el valor presente. Los costos anuales se calculan sumando los costos anuales de inversión, reemplazo, operación y mantenimiento, etc. Los costos anuales son útiles para la comparación entre varios sistemas, como por ejemplo, sistemas de alto costo operacional y baja inversión (generadores) y sistemas de bajo costo operacional y alta inversión (paneles y turbinas).

Dentro de la evaluación de proyectos, el método del valor presente neto es el más usado. Este valor permite determinar si la inversión reduciría o aumentaría las ganancias. HOMER evalúa los proyectos minimizando el NPV de los sistemas simulados ya que es un parámetro más confiable que el LCOE, la razón radica en que al considerar la energía producida por el sistema se hacen las siguientes interrogantes:

1. Se deberá contar con el exceso producido o no?.
2. Las cargas térmicas también deben considerarse?
3. Se calcula en base a la carga o sólo a la carga servida?

Estos resultados son discutibles dentro del concepto del LCOE, pero no dentro del NVP, y al existir esta arbitrariedad dentro del concepto del LCOE hace más confiable al NPV.

3.5. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite estudiar el comportamiento de un sistema ante variaciones de cualquiera de sus parámetros o variables. HOMER evalúa los sistemas mediante la sensibilidad del NPV de inversión versus variaciones de tipo ambiental (temperatura, radiación solar, velocidad de viento, etc.), operacional (número de equipos, consumo de Diesel para generadores, etc.) y/o económico (interés

anual, costos, etc.). El análisis de sensibilidad se realiza cuando no se conocen con exactitud las variables o al existir cambios en las mismas.

HOMER puede realizar el análisis de sensibilidad en varias dimensiones, es decir, tomando 1 o varias variables sensibles (3). El software da como resultado gráficos que muestran la dirección de cambio del NPV con relación a las variaciones de los parámetros sensibles. El gráfico más representativo es el “Optimal System Type”. Este gráfico muestra el área en el que un tipo de sistema específico posee el más bajo NPV de inversión. Un ejemplo se muestra en la Figura 3.1.

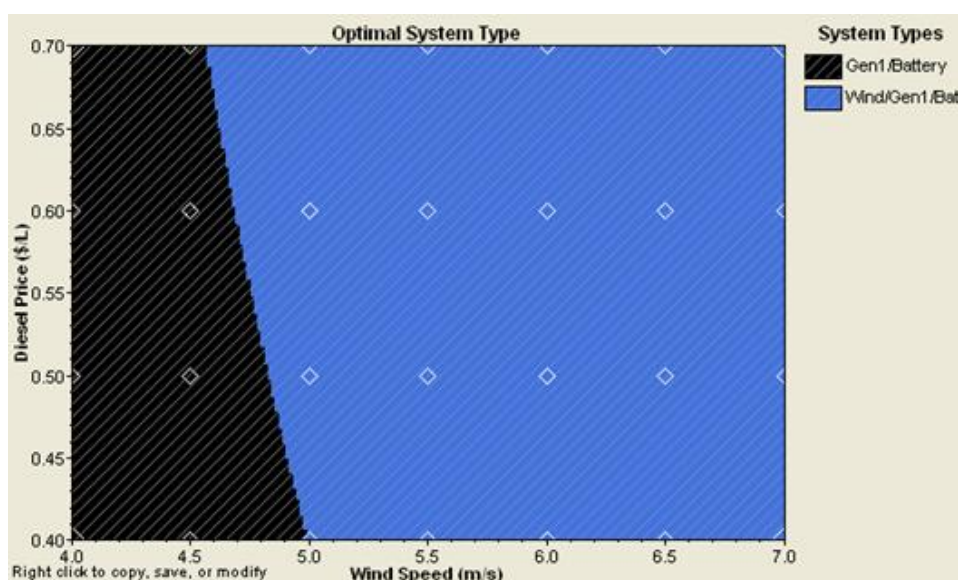


FIGURA 3.1. ANALISIS DE SENSIBILIDAD (34)

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

4.1. Modelado de la Demanda Energética

La demanda a modelar se basa en mediciones realizadas en el sitio.

En estas mediciones se presentan 2 tipos de casas modelo dentro de la comunidad. Estas demandas se muestran en las Tablas 2 y 3:

TABLA 2. DEMANDA ENERGÉTICA DE CASA MODELO 0

Descripción	Cantidad	Potencia de Operación (W)	# horas de Uso	D (kWh/día)
Foco Ahorrador	3	25	10	0,75
Televisor	1	250	8	2
Radio	1	250	5	1,25
			Total	4

TABLA 3. DEMANDA ENERGÉTICA DE CASA MODELO 1

Descripción	Cantidad	Potencia de Operación (W)	# hora de Uso	D (kWh/día)
Foco Ahorrador	3	25	6	0,45
Televisor	1	200	5	1
Radio	1	200	4	0,8
			Total	2,25

Con estas demandas modelamos la carga horaria de cada casa modelo, como lo muestra la Figura 4.1.

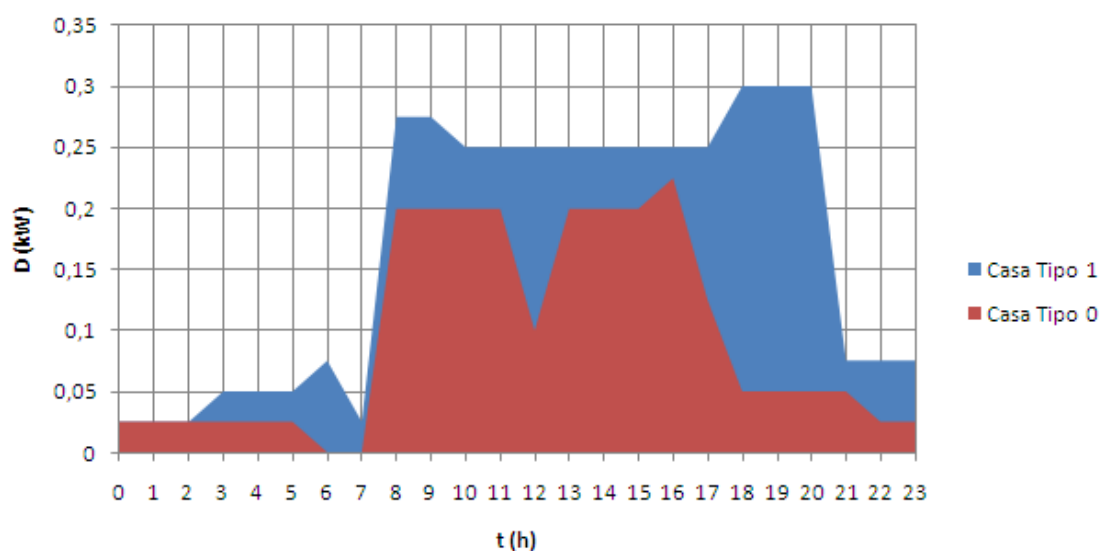


FIGURA 4.1. DEMANDA DE CASAS MODELO

El modelo de demanda a seguir es usando ambos tipos de casa, en las siguientes proporciones:

1. 100% casas tipo 0
2. 75% casas tipo 0, 25% casas tipo 1
3. 50% de ambos tipos de casa
4. 25% casas tipo 0, 75% casas tipo 1
5. 100% casas tipo 1

Variando las proporciones de tipos de casa, las demandas a simular corresponden a la Figura 4.2:

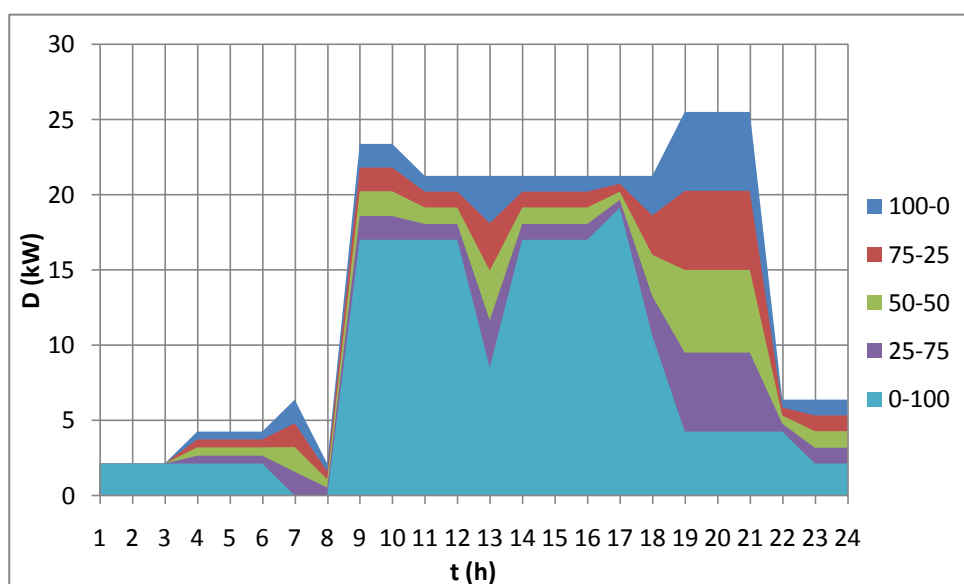


FIGURA 4.2. MODELADO DE LA CARGA ELÉCTRICA (85 CASAS)

Cada una de estas demandas se asume como constante durante todo el año, y para el caso del crecimiento poblacional, la proporción de los tipos de casas se asumirá constante.

4.2. Recursos Solar y Eólico

De los datos obtenidos por la estación, las variables más importantes a considerar son:

- | | |
|---|---------------------------------|
| a. Radiación Solar
(W/m ²) | d. Temperatura
ambiental(°C) |
| b. Velocidad de viento
(m/s) | e. Presión atmosférica
(Pa) |
| c. Dirección del viento
(°) | f. Ráfagas de Viento
(m/s) |

La medición de estos parámetros se realizó cada 10 minutos durante todo un año.

Usando un software de análisis estadístico, como Minitab, se procesan los datos de velocidad de viento. Se obtienen los promedios y factores de escala para el año completo, para cada mes, y para cada hora. La Figura 4.3 muestra la distribución de probabilidades de la velocidad del viento durante todo el año de medición. Así mismo se realiza este análisis para cada mes del año, y para cada hora durante el año completo.

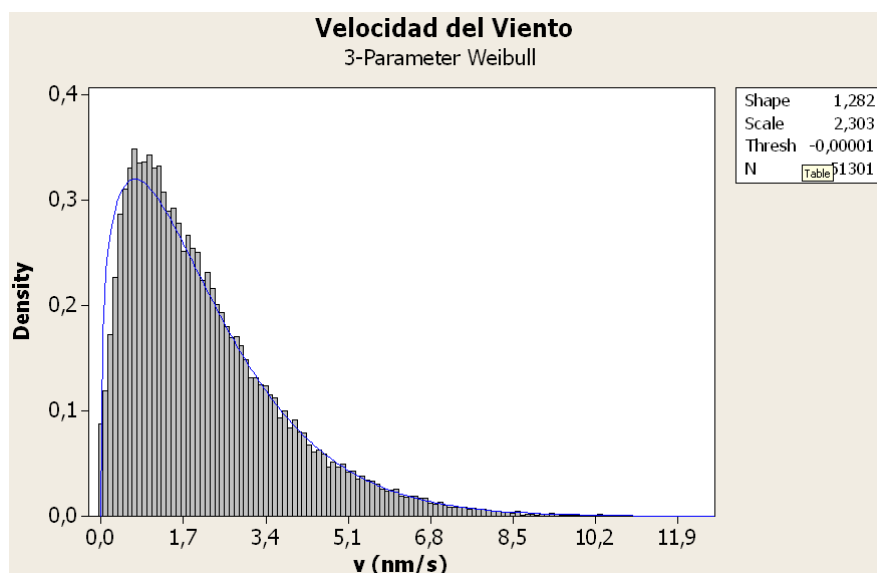


FIGURA 4.3. HISTOGRAMA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A 10M DE ALTURA DEL SUELO

En el caso de la temperatura, se obtuvieron promedios mensuales y el anual. Su uso principal está en la obtención de la densidad del aire para evaluar el recurso eólico, y también para la evaluación de la temperatura de las células solares de los paneles.

Con los datos obtenidos por la estación meteorológica, y analizándolos estadística y numéricamente se obtienen como resultado las Tablas 4 y 5:

TABLA 4. PARÁMETROS SOLARES Y EÓLICOS ANUALES

R. Solar	R_m (kWh/m²día)	3.756
	I_{r_m} (W/m²)	306.5
R. Eólico	v (m/s)	2.303
	K	1.282
Temp.	T (°C)	24.8

TABLA 5. PARÁMETROS SOLARES Y EÓLICOS MENSUALES

Mes	I_r (kWh/m²día)	v (m/s)	T (°C)
Enero	3.231	1.541	25.5
Febrero	3.617	1.254	25.3
Marzo	4.348	1.41	26
Abril	4.604	1.733	26.6
Mayo	3.848	2.222	24.9
Junio	3.34	2.508	24.2
Julio	3.175	2.886	24
Agosto	3.221	2.754	23.8
Septiembre	3.618	3.086	23.9
Octubre	3.973	3.049	23.7
Noviembre	4.609	3.072	24.1
Diciembre	3.488	2.489	25.4

La presión atmosférica, junto con la temperatura, se usa para evaluar el recurso eólico y obtener el valor de la densidad del aire según las condiciones de presión y temperatura que se tengan. HOMER evalúa este dato automáticamente en las simulaciones.

La dirección del viento se usa para direccionar la turbina en el caso de que ésta se instale como fija. Las ráfagas de viento se usan para diseñar la torre de la turbina.

Para obtener un campo más amplio se realizará un análisis de sensibilidad con las variables de irradiación solar y velocidad del viento, y así poder estudiar otros casos de condiciones climáticas del sitio. Dicho análisis de sensibilidad será para un rango de velocidades del viento de entre 1.15 a 4.6 m/s y de un rango de irradiación solar de entre 3 a 4.5 kWh/m²d, ambos parámetros como promedios anuales. Así mismo se varían las condiciones económicas en 5, 8.5 y 12% de interés anual.

4.3. Descripción del Sistema de Generación

El sistema de generación consiste de paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas y generadores diesel. Las conexiones de los paneles se realizan en cada casa, esto con el fin de evitar pérdidas de voltaje por largas conexiones en el cableado si se hace un arreglo más grande. Las turbinas eólicas alimentan a varias casas, es decir,

suministra energía a la comunidad por sectores. El generador es el único componente que se encuentra de forma centralizada en el sistema de generación. La Figura 4.4 describe las conexiones del sistema y sus componentes de generación. Las líneas rojas indican líneas AC y las líneas negras indican líneas DC.

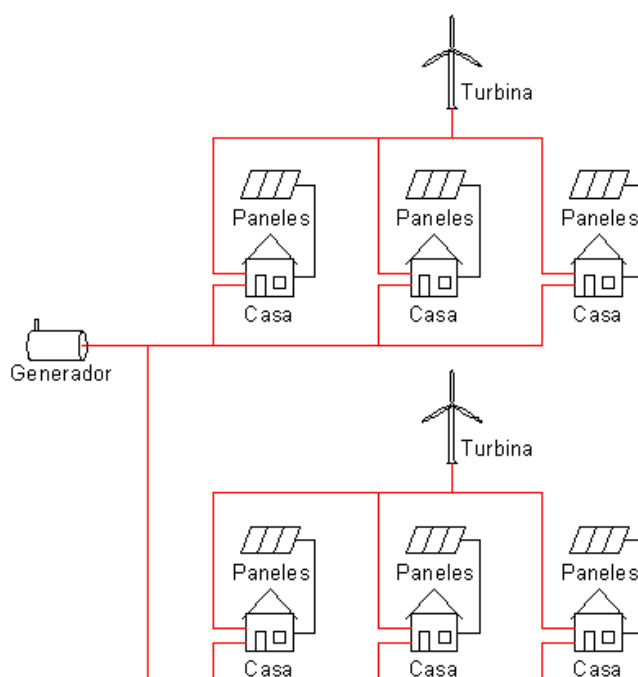


FIG. 4.4. ESQUEMA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

Las conexiones de los inversores, reguladores y banco de baterías están dentro de cada casa, como lo describe la Figura 4.5, las flechas describen las posibles direcciones en la que la energía eléctrica puede recorrer.

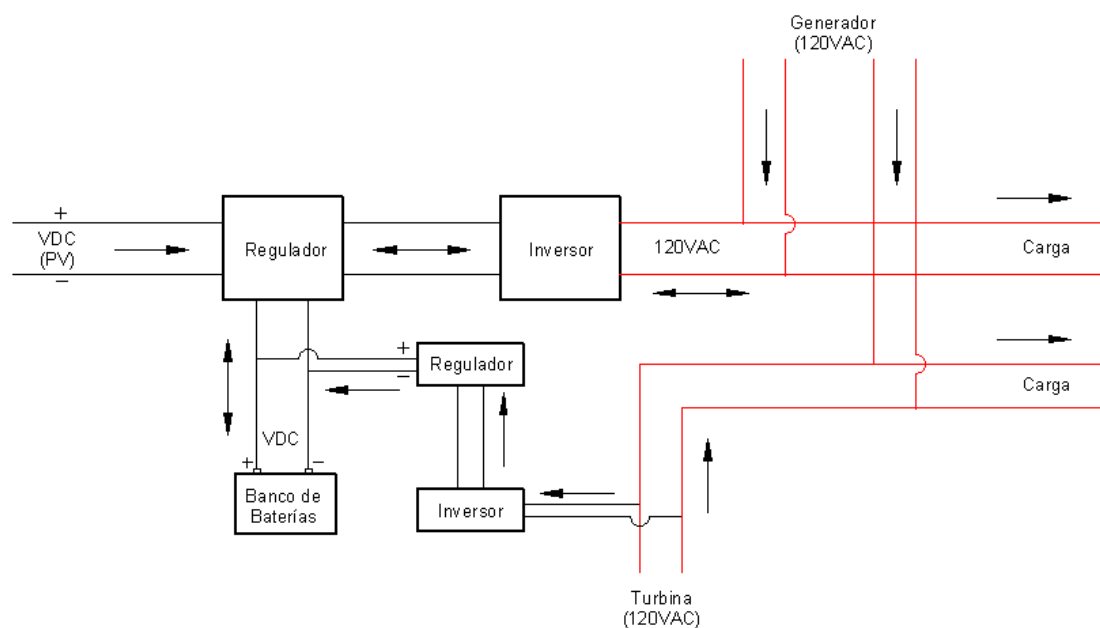


FIG. 4.5. CONEXIONES INTERIORES

Como se muestra en la Figura 4.5, en las conexiones existen 2 inversores: el principal es bidireccional, es decir, alimenta a la carga y también carga las baterías cuando hay energía del generador; y el secundario sólo recarga las baterías con la energía proveniente de la turbina.

El sistema de control deberá permitir el paso de la corriente a ciertos equipos bajo ciertas circunstancias según si existe recurso renovable o no. A continuación se muestran los diferentes escenarios posibles para el correcto funcionamiento del sistema de control.

Primero, el sistema de control deberá verificar si hay energía solar y/o eólica, y si existe demanda de energía. Segundo, verificará si las

baterías están totalmente cargadas y si hay algún exceso en la producción de energía. Así se tienen los siguientes escenarios:

1. Hay energía solar y/o eólica y también demanda.

- a. **Si hay exceso y las baterías están cargadas:** Las resistencias de los reguladores empiezan a funcionar. Se envía la energía a la carga. El generador está apagado. Se abre el circuito de las baterías (para evitar sobrecargarlos).
- b. **Si no hay exceso, baterías cargadas:** Las resistencias de reguladores no funcionan. Las baterías se conectan a la carga. Se envía energía a la carga. El generador está apagado.
- c. **Si hay exceso, baterías descargadas:** Las resistencias de reguladores funcionan. Se cargan las baterías. Se envía energía a la carga. El generador está apagado.
- d. **Si no hay exceso, baterías descargadas:** Las resistencias no funcionan. Se cargan las baterías. Se envía energía a la carga. Se enciende el generador.

2. No hay ninguna de las 2 energías (ni solar ni eólica), hay demanda.

- a. **Si las baterías están cargadas:** Se envía la energía a la carga. Se abre el circuito de las baterías. Se enciende el generador.

- b. **Si las baterías están descargadas:** Se envía energía a la carga. Se cargan las baterías. Se enciende el generador.
- 3. **No hay ninguna de las 2 energías (ni solar ni eólica), no hay demanda:** Aquí no sucede nada, los circuitos se encuentran abiertos.

Este sistema tiene la ventaja de aumentar o disminuir la cantidad de paneles solares de una casa sin que otra sea afectada, o también, de aumentar la cantidad y/o potencia de los paneles de una casa haciendo que el beneficio sea únicamente para esa vivienda. El incremento de paneles solares dentro de una o varias casas se considera solamente si el número de casas modeladas es mayor que el de las construidas, porque sólo así habrá un excedente en la proyección y adquisición de paneles que se pueden instalar en varias viviendas como ampliación de sus arreglos fotovoltaicos. El cambio de paneles a otro más potentes está fuera de este estudio.

4.4. Selección de los Componentes

4.4.1. Selección de Paneles Solares

Esta selección se realizó mediante la comparación de área, peso y potencia pico de distintos paneles, es decir, el que poseía la menor área y el menor peso posible pero que produzca más energía. El panel seleccionado tiene las

características mostradas en la Tabla 6 (19). La vida útil de los paneles es de 25 años.

TABLA 6. ESPECIFICACIONES DE LOS PANELES SOLARES

Marca	Zytech
Panel	100S
Pot (Wp)	100
V nom (VDC)	24
I cort. (A)	4.74
Dimensiones (m)	1.08x0.81x0.04
W (kg)	10.5

Estos paneles fueron seleccionados según la más alta relación entre la potencia pico, área y peso de los paneles según la Ecuación 4.1.

$$CSP = \max\left(\frac{P}{Ar \times W}\right) \quad (4.1)$$

$$CSP = \frac{100W}{0.87m^2 \cdot 10.5kg} = 10.94 \frac{W}{m^2kg}$$

Para el dimensionado de los componentes, se hace uso de la ecuación 3.7, mostrada en el capítulo anterior. Para los paneles solares se escoge un factor de potencia del 80% de la demanda, entonces:

$$n_p = \frac{0.8 \cdot 2250Wh}{3.75h \cdot 100W} = 4.8 \Rightarrow n_p = 5$$

$$n_p = \frac{0.8 \cdot 4000Wh}{3.75h \cdot 100W} = 8.53 \Rightarrow n_p = 9$$

Se obtiene un resultado de 5 paneles para las casas de baja demanda, y 9 paneles para las casas de alta demanda, en promedio, 7 paneles.

4.4.2. Selección de Turbinas Eólicas

Para la instalación de las turbinas eólicas se escogen 3 tipos de turbinas para todo el proyecto. Las turbinas seleccionadas poseen las especificaciones que se muestran en la Tabla 7 (16, 27, 28). Su vida útil estimada es de 20 años.

TABLA 7. ESPECIFICACIONES DE LAS TURBINAS EÓLICAS

Modelo (Abr.)	Whisper 500 (W500)	Excel-R (XLR)	Jacobs 31-20 (J31)
P (kW)	3.3	7.5	20
Diám Rot. (m)	4.5	7	9.4
V arr. (m/s)	3.5	3	3.5
V salida (V)	24VDC	24VDC	120VAC

En cuanto a las 2 primeras turbinas, se conectará un inversor a la salida de la turbina y que alimente directamente a la

carga (línea AC). Para aprovechar la energía eólica en la localidad, las turbinas se situarán en la cumbre del cerro.

Para el caso de las turbinas, la energía necesaria debe cubrir el 20% restante, es decir:

$$D_t = 0.2 \cdot 2250Wh = 450Wh$$

$$D_t = 0.2 \cdot 4000Wh = 800Wh$$

Usando las ecuaciones 3.5, 3.6, 3.7, la energía media diaria de cada turbina a 2.3 m/s de velocidad media y a 70 m de altura se muestran a continuación:

$$E_{w500} = 7.44 kWh$$

$$E_{XLR} = 13.17 kWh$$

$$E_{J29} = 29.78 kWh$$

4.4.3. Selección de las Baterías

El banco de baterías está instalado en cada casa, y cada banco consta de 4 baterías. Las baterías seleccionadas tienen las características mostradas en la Tabla 8 (26). Las baterías se estiman con una vida útil de 10 años.

TABLA 8. ESPECIFICACIONES DE LAS BATERÍAS

Marca	Trojan
Modelo	T-105
C_b (Ah)	225
V nom (V)	6
Dimensiones (cm)	26.4x18.1x29.9
I_x carg (A)	11
W (kg)	30

La conexión de las baterías en cada casa constará de 4 baterías, esto con el fin de igualar el voltaje de trabajo de las baterías con el del regulador y los paneles. Con este criterio se estima la autonomía del sistema para cada tipo de casa.

$$A_{bc} = \frac{4 \cdot 6 \text{ V} \cdot 225 \text{ Ah}}{2250 \text{ Wh/día}} = 2.4 \text{ días}$$

$$A_{ac} = \frac{4 \cdot 6 \text{ V} \cdot 225 \text{ Ah}}{4000 \text{ Wh/día}} = 1.35 \text{ días}$$

4.4.4. Selección del Inversor

El dimensionado del inversor se estima usando la ec. 3.10, con un factor de potencia de 5. Las potencias máximas de

consumo para las casas de bajo y alto consumo son de 225 y 300W respectivamente.

$$P_{ac} = 5(300W) = 1500W$$

$$P_{bc} = 5(225W) = 1125W$$

En la instalación, cada casa contará con un inversor de corriente, dependiendo de su consumo (alto o bajo), las características operacionales de los inversores seleccionados se muestran en la Tabla 9 (19). Su vida útil estimada es de 10 años.

El inversor secundario se dimensiona en base a la máxima corriente de carga de las baterías.

$$P_s = 4 \cdot 6V \cdot 11A = 264W$$

Las especificaciones de cada inversor se muestran en la tabla 9.

TABLA 9. ESPECIFICACIONES DE LOS INVERSORES

	Alto Consumo	Bajo Consumo	Secundario
Marca	Studer	Studer	Studer
Modelo	AJ 1300-24	AJ 2400-24	AJ 600-24
P (W)	700	1400	350
Px (W)	1960	3640	720
V ent (VDC)	24	24	24
V sal (VAC)	120	120	120
f (Hz)	60	60	60
%ef (%)	94	92	94
Dimensiones (cm)	14.2x42.8x8.4	27.3x39.9x11.7	14.2x24x8.4
W (kg)	8.5	19	4.5

Las potencias mostradas en la tabla corresponden a la potencia continua del inversor (P) y una potencia máxima de 5 s de duración (Px). Estas potencias son estimadas a 25°C ambiente.

4.4.5. Selección del Regulador

El regulador se selecciona en base al voltaje nominal de salida de los paneles y al voltaje nominal del banco de baterías como se explicó anteriormente. La corriente del regulador se

selecciona según el producto entre la corriente de cortocircuito de los paneles multiplicado por el número de paneles en paralelo. Con un regulador conectado a 4 paneles, la corriente nominal de trabajo del regulador deberá ser como se muestra a continuación:

$$I_{reg} = 4 \cdot 4.74A = 18.96A$$

Las características del regulador seleccionado son mostradas en la Tabla 10 (19). Su vida útil se estima en 25 años.

TABLA 10. ESPECIFICACIONES DEL REGULADOR

Marca	Isofotón
Modelo	Isoler 20
I (A)	20
Dimensiones (cm)	15.6x15.7x2.69
W (kg)	0.54

4.5. Costos

Los costos utilizados para el análisis económico son los que se muestran en la Tabla 11. Estos costos representan los valores de compra, reemplazo, operación y mantenimiento de los equipos (16, 21, 22, 24, 28, 37). Cada costo inicial contiene un 5% más del costo de inversión que cubriría el valor de la instalación del equipo (4).

TABLA 11. COSTOS

	Tam (kW)	CI (\$)	RP (\$)	O&M (\$/yr)
PV	0.1	1300	1250	2
Inv	1	1,260	1,200	18
	No.	IC (\$)	RP (\$)	O&M (\$/yr)
XLR	1	35,440	24,750	67
W500	1	11,8200	7,900	28
J31	1	52,730	37,700	167
Bat	1	180	170	12
	Tam (kW)	IC (\$)	RP (\$)	O&M (\$/h)
Gen	10	10,500	10,000	2.2

Los costos iniciales de las turbinas incluyen también el valor de la torre. Para las turbinas XLR y W500 incluyen el valor del inversor que entrega energía AC directamente a la carga.

4.6 Crecimiento Poblacional

El crecimiento poblacional se lo asume como un modelo exponencial. Con los datos de los 2 últimos censos realizados en el sitio mostrados en la Tabla 12 (1), se obtiene la Ecuación 4.2 como el modelo exponencial del crecimiento poblacional.

TABLA 12. POBLACIÓN Y VIVIENDA

Año	Población	Viviendas
2001	519	65
2010	650	85

$$P(t) = 519e^{0.028(t-2001)} \quad (4.2)$$

Asumiendo una razón constante de 7 a 8 personas por vivienda, el modelo de aumento de viviendas se modela con la Ecuación 4.3.

$$V(t) = 68e^{0.028(t-2001)} \quad (4.3)$$

En las Tabla 13 y 14 se muestran la demanda de energía diaria y el pico de potencia demandada en los años mostrados.

TABLA 13. DEMANDA COMUNAL DIARIA DE ENERGÍA (KwH)

Modelo de Demanda

Año	Viviendas	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
2010	85	191.25	228	266.5	303.25	340
2015	96	216	258	300	342	384
2020	109	245.25	292.5	341.5	388.75	436
2025	124	279	333.25	387.5	441.75	496
2030	140	315	376.25	437.5	498.75	560
2035	159	357.75	427.75	497.75	566	636

TABLA 14. PICOS DE DEMANDA (Kw)

Modelo de Demanda

Año	Viviendas	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
2010	85	19.13	20.70	22.35	23.93	25.50
2015	96	21.60	23.40	25.20	27.00	28.80
2020	109	24.53	26.55	28.65	30.68	32.70
2025	124	27.90	30.23	32.55	34.88	37.20
2030	140	31.50	34.13	36.75	39.38	42.00
2035	159	35.78	38.78	41.78	44.70	47.70

4.7. Expansión del Sistema

Para la expansión del sistema, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) La ampliación de los paneles fotovoltaicos se realiza cada vez que se construya una casa. Todas las casas contarán con el mismo número de paneles solares. La ampliación de los paneles también amplía los inversores, reguladores y bancos de baterías a la misma razón; uno de cada uno por cada nueva casa.
- b) La ampliación de las turbinas se realiza en períodos de entre 5 a 10 años, cambiando y/o reemplazando las instaladas en el primer año.

- c) El generador Diesel se amplía cada 5 años.
- d) El sistema instalado al final del proyecto no se dismantelará, permanecerá instalado, sólo la ampliación termina a los 25 años.

El hecho de que el sistema al final del proyecto no se dismantela quiere decir que seguirá proveyendo de energía a la comunidad aún después de su instalación. La ampliación del sistema será como se muestra en la Figura 4.6.

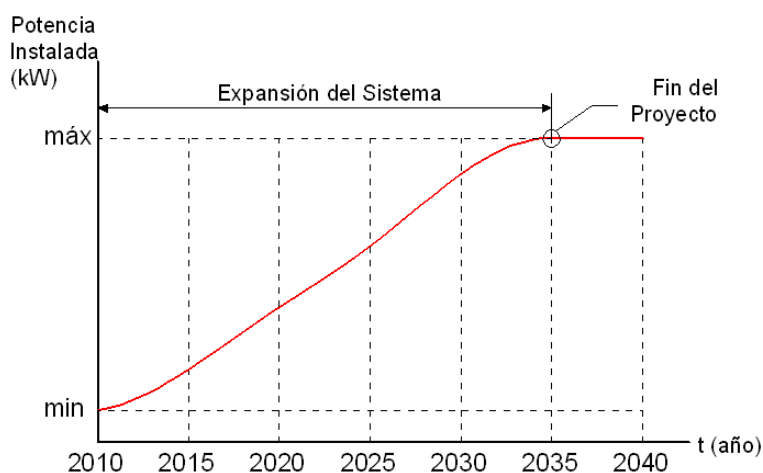


FIG 4.6. INCREMENTO DE LA POTENCIA INSTALADA

La Tabla 15 muestra la planeación para la ampliación de generadores eólicos y diesel del sistema.

TABLA 15. PLANEACIÓN DE AMPLIACIÓN

		Año				
		2010	2015	2020	2025	2030
Turbinas (no.)	XLR	2	0	0	-2	0
	W500	1	0	1	-1	1
	J29	0	0	0	1	0
Generador (kW)	0-100	29	33	37.5	42.5	48
	25-75	25	28	32	36	41
	50-50	23	26	30	33.5	38
	75-25	22.5	25.5	29	32.5	37
	100-0	21.5	24.5	28	32	36

En cuanto a las turbinas y generador se sigue con la planeación mostrada en la siguiente tabla. Los signos negativos en la planeación de las turbinas significa un reemplazo o cambio de las mismas. Las únicas turbinas a ser desensambladas son las instaladas al primer año del proyecto.

El generador se amplía según el modelo de demanda que se estudie, pues cada modelo de demanda posee un pico de potencia distinto.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA

A pesar de que el software HOMER ofrece grandes ventajas al momento de estudiar y diseñar sistemas híbridos, esta herramienta no permite diseñar sistemas en expansión como el estudiado en este proyecto, por lo que se realizará el análisis de los datos de forma separada en 2 secciones.

a) **Análisis Energético**

En el análisis energético, se simulan los sistemas en HOMER año a año, asumiendo que la ampliación del sistema ocurre cada primero de Enero de cada año.

Los datos más relevantes tomados de las simulaciones en HOMER son la “fracción renovable” (RF por sus siglas en inglés), el “porcentaje de exceso de energía” y las “horas anuales de

operación del generador Diesel”. La fracción renovable es la razón entre la energía producida por fuentes renovables y la energía total producida y es una representación de la reducción del uso del diesel.

Los datos son clasificados en 4 tipos diferentes de sistemas: solar-eólico-diesel (S-W-D), solar-diesel (S-D), eólico-diesel (W-D) y diesel (D); tomando como sistema objetivo el sistema solar-eólico-diesel.

b) Análisis Económico

El análisis económico fue realizado en una hoja de cálculo durante los 25 años del proyecto y con un análisis económico similar al que HOMER realiza. La hoja de cálculo fue editada para evaluar sistemas con ampliaciones en combinación con los resultados obtenidos en el análisis energético.

Los principales datos obtenidos en este análisis con el “Valor Presente Neto” (NPV por sus siglas en inglés) y el “Costo de la Energía” (LCOE por sus siglas en inglés).

Como fue explicado anteriormente, el sistema instalado al final del proyecto no será desmantelado. Económicamente hablando esto significa que no habrá valor de salvamento para dicho equipo instalado hasta ese año, a excepción de las 3 primeras turbinas instaladas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las simulaciones.

5.1. Análisis Energético

Realizando las simulaciones como fue descrito anteriormente, los resultados muestran que las demandas críticas a ser analizadas son las de más alto consumo y la de más bajo consumo. Los valores obtenidos para la fracción renovable, porcentaje de exceso de energía y horas de trabajo del generador diesel para cada tipo de sistema se muestran de la Tabla 16 a la Tabla 18.

TABLA 16. RESULTADOS ENERGÉTICOS PARA EL SISTEMA S-D

		Ir (kWh/m²d)		
		3.75	4.25	4.75
Fracción Renovable	Bajo Consumo	0.361	0.402	0.436
	Alto Consumo	0.402	0.447	0.484
Porcentaje de Exceso de Energía	Bajo Consumo	0	0	0
	Alto Consumo	0	0	0
Horas de Trabajo del Generador	Bajo Consumo	7856	7782	7711
	Alto Consumo	7861	7530	7301

TABLA 17 RESULTADOS ENERGÉTICOS PARA EL SISTEMA S-W-D

			Ir (kWh/m²d)		
		v (m/s)	3.75	4.25	4.75
Fracción Renovable	Bajo Consumo	2.3	0.466	0.506	0.539
		3	0.554	0.593	0.624
		4.5	0.735	0.768	0.794
	Alto Consumo	2.3	0.522	0.571	0.611
		3	0.57	0.618	0.656
		4.5	0.674	0.718	0.753
Porcentaje de Exceso de Energía	Bajo Consumo	2.3	0	0	0
		3	0.01	0.03	0.04
		4.5	0.42	0.86	1.28
	Alto Consumo	2.3	0.07	0.22	0.35
		3	0.61	0.43	0.19
		4.5	0.52	0.98	1.41
Horas de Trabajo del Generador	Bajo Consumo	2.3	7110	6180	3906
		3	6180	5966	5777
		4.5	3906	3587	3362
	Alto Consumo	2.3	6996	6585	6245
		3	6532	6124	5728
		4.5	5287	4804	4363

TABLA 18 RESULTADOS ENERGÉTICOS PARA EL SISTEMA W-D

		v (m/s)		
		2.3	3	4.5
Fracción Renovable	Bajo Consumo	0.116	0.213	0.416
	Alto Consumo	0.0654	0.121	0.242
Porcentaje de Exceso de Energía	Bajo Consumo	0	0	0
	Alto Consumo	0	0	0
Horas de Trabajo del Generador	Bajo Consumo	7451	6804	5361
	Alto Consumo	8501	8249	7467

Para el sistema Diesel se sabe que tanto la fracción renovable y el exceso de energía son 0 y las horas de trabajo son en las que existe demanda energética, es decir, 8030 para la demanda de bajo consumo y 8760 para la de alto consumo. Los sistemas analizados tienen una ampliación de 3 paneles por casa de bajo consumo, y de 7 paneles por casa de alto consumo.

Durante cada ampliación del sistema se presenta un cambio en los valores del análisis energético. La variación depende del tipo de sistema que se analiza. Esta variación es estable en el tipo de sistema S-D, en el que los valores del análisis energético no varían en absoluto. El sistema S-W-D presenta una variación media, pues durante un año presenta una variación de hasta el 5.5% con relación

al anterior. El sistema W-D presenta la variación más alta: hasta un 11% anual. Los gráficos 5.1 y 5.2 muestran la tendencia de esta variación para los sistemas S-W-D y W-D.

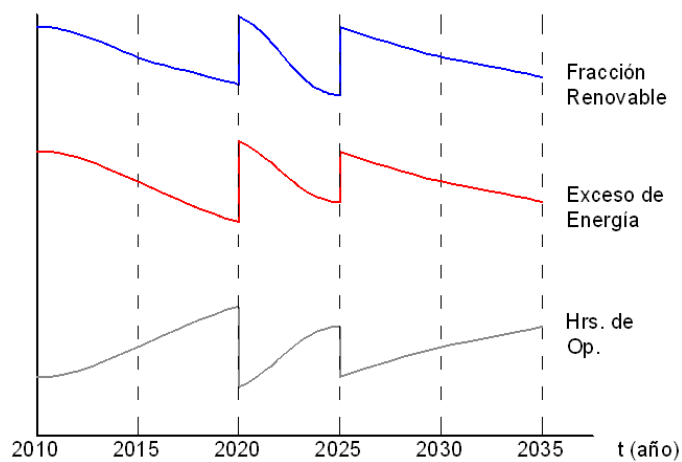


FIGURA 5.1. VARIACIÓN DE LOS VALORES ENERGÉTICOS
PARA EL SISTEMA S-W-D

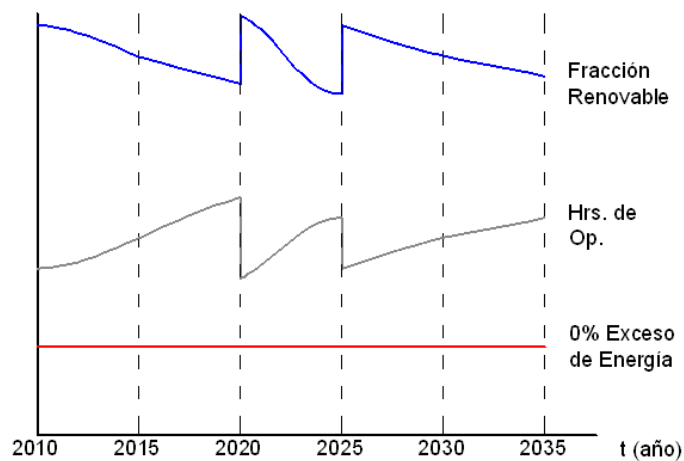


FIGURA 5.2. VARIACIÓN DE LOS VALORES ENERGÉTICOS
PARA EL SISTEMA W-D

Nótese que en cada ampliación la variación es brusca y se aproxima al valor del primer año, esta es la razón por la que estos valores se asumen constantes durante todo el proyecto. La forma en la variación de la fracción renovable y las horas anuales de operación del generador Diesel son muy similares entre los 2 tipos de sistemas, pero el exceso de energía en el sistema W-D es siempre del 0%.

5.2. Análisis Económico

Al igual que en el análisis energético, económicamente hablando, las demandas críticas son las de más bajo y más alto consumo. Los resultados obtenidos de NPV y LCOE para los diferentes sistemas se muestran de la Tabla 19 a la Tabla 25. Los valores de LCOE no incluyen la energía de exceso producida por el sistema.

TABLA 19. VALORES DE NPV Y LCOE PARA SISTEMA D

	i (%)	NPV	LCOE
Bajo	5	1,568,525.77	0.70
Consumo	12	1,408,952.46	0.72
Alto	5	2,377,429.81	0.59
Consumo	12	2,151,575.28	0.61

TABLA 20. VALORES DE NPV PARA EL SISTEMA S-W-D

		Ir (kWh/m²d)				
		i (%)	v (m/s)	3.75	4.25	4.75
Bajo Consumo	5	2.3	3,176,458.6	3,135,797.99	3,103,442.88	
		3	2,978,835	2,927,132.34	2,882,604.34	
		4.5	2,507,326.58	2,438,894.36	2,389,728.15	
	12	2.3	2,811,812.39	2,774,837.03	2,745,323.08	
		3	2,640,406.16	2,594,321.12	2,554,830.12	
		4.5	2,233,784.33	2,174,301.93	2,131,388.37	
	Alto Consumo	5	2.3	4,383,763.63	4,280,708.11	4,195,722.16
			3	4,271,633.75	4,169,844.19	4,075,933.44
			4.5	3,985,216.36	3,872,375.91	3,772,265.17
12		2.3	3,973,706.75	3,881,189.71	3,804,939.51	
		3	3,873,755.33	3,782,461.58	3,699,063.59	
		4.5	3,621,940.59	3,521,073.7	3,432,968.47	

TABLA 21. VALORES DE LCOE PARA EL SISTEMA S-W-D

		Ir (kWh/m ² d)				
		i (%)	v (m/s)	3.75	4.25	4.75
Bajo Consumo	5	2.3	0.75	0.73	0.72	
		3	0.66	0.64	0.62	
		4.5	0.45	0.42	0.4	
	12	2.3	0.77	0.76	0.74	
		3	0.68	0.66	0.64	
		4.5	0.47	0.44	0.42	
	Alto Consumo	5	2.3	0.44	0.41	0.39
			3	0.41	0.39	0.36
			4.5	0.34	0.31	0.29
12		2.3	0.45	0.43	0.41	
		3	0.43	0.4	0.38	
		4.5	0.35	0.33	0.3	

TABLA 22. VALORES DE NPV PARA SISTEMA W-D

		v (m/s)		
i (%)		2.3	3	4.5
Bajo Consumo	5	2,724,238.56	2,574,815.09	2,246,003.21
	12	2361296.9	2229317.03	1939705.92
Alto Consumo	5	3455110.17	3376555.85	3163329.36
	12	3027420.22	2954302.99	2759984.8

TABLA 23. VALORES DE LCOE PARA SISTEMA W-D

		v (m/s)			
		i (%)	1.15	2.3	4.6
Bajo Consumo	5	0.85	0.78	0.64	
	12	0.57	0.55	0.5	
Alto Consumo	5	0.85	0.78	0.64	
	12	0.59	0.57	0.52	

TABLA 24. VALORES DE NPV PARA SISTEMA S-D

		Ir (kWh/m²d)		
i (%)		3	3.75	4.5
Bajo Consumo	5	3,200,516.03	3,173,456.93	3,149,274.17
	12	2,813,447.34	2,787,718.74	2,764,931.16
Alto Consumo	5	4,346,910.23	4,252,504.47	4,174,925.58
	12	3,924,432.77	3,838,981.91	3,768,768.86

TABLA 25. VALORES DE LCOE PARA SISTEMA S-D

		Ir (kWh/m ² d)			
		i (%)	3	3.75	4.5
Bajo Consumo	5	0.83	0.81	0.8	
	12	0.85	0.84	0.83	
Alto Consumo	5	0.47	0.44	0.42	
	12	0.48	0.46	0.44	

5.3. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad realizado por HOMER sólo hace referencia al mínimo NPV que posee un sistema dado con variación en las condiciones iniciales, dejando de lado el criterio de “seleccionar” otro tipo de sistema con mayor NPV pero que energéticamente puede resultar mejor. El seleccionar un sistema contrastando la economía con la energía depende del o los criterios que el diseñador impone en su selección. El criterio de selección del sistema óptimo para este caso será el sistema que produzca una mayor reducción del uso del diesel (representado por la Fracción Renovable), al menor costo de energía y valor neto presente posible. La Ecuación 5.1 muestra esta relación.

$$FEE = \max \left(\frac{FR}{NPV \times LCOE} \right) \quad (5.1)$$

Para el caso más crítico, los valores de LCOE no incluyen el exceso de energía generado por el sistema. Nótese que esta relación sólo permite analizar los sistemas híbridos, de los cuales se escoge el de mayor factor.

Realizando este análisis se obtiene que el sistema S-D-W posee el mayor factor FEE. Los resultados se muestran en la tabla 26.

TABLA 26. FACTOR FEE ($\times 10^7$ Kwh/\$²)

		Ir (kWh/m ² d)			
i (%)	v (m/s)	3.75	4.25	4.75	
Bajo Consumo	5	2.3	1.96	2.21	2.41
		3	2.82	3.17	3.49
		4.5	6.51	7.5	8.31
	12	2.3	2.15	2.4	2.65
		3	3.09	3.46	3.82
		4.5	7	8.03	8.87
Alto Consumo	5	2.3	2.71	3.25	3.73
		3	3.25	3.8	4.47
		4.5	4.97	5.98	6.88
	12	2.3	2.92	3.42	3.92
		3	3.42	4.08	4.67
		4.5	5.32	6.18	7.31

Comparando este sistema con el sistema Diesel, económicamente representaría una inversión en hasta un 100% más para una demanda de bajo consumo y de hasta un 84% más para una demanda de alto consumo, es decir, casi el doble que un sistema Diesel. Por esta razón se comparan los sistemas que representen una inversión superior de hasta un 60% en comparación con el sistema Diesel. Los gráficos 5.3 y 5.4 muestran el tipo de sistema optimizado según los criterios usados en este estudio.

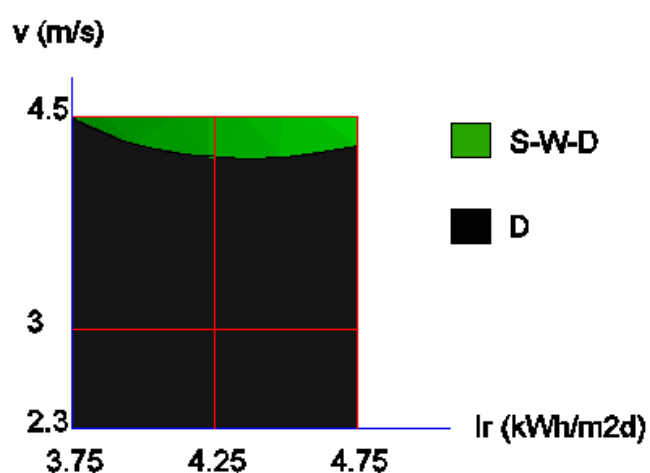


FIG. 5.3 SISTEMA ÓPTIMO PARA DEMANDA DE BAJO CONSUMO

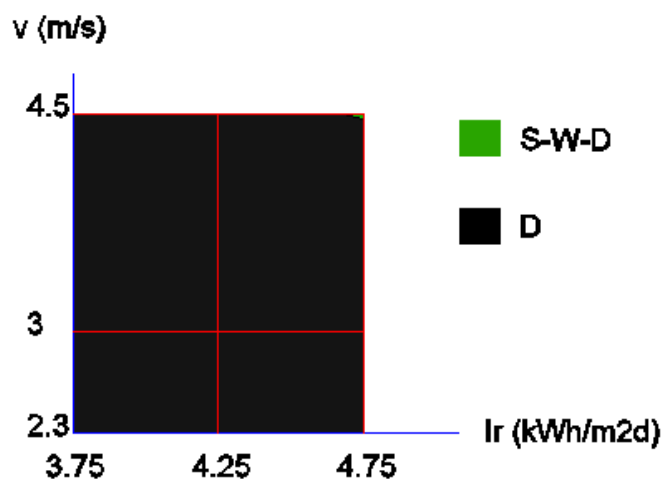


FIG. 5.4. SISTEMA ÓPTIMO PARA DEMANDA DE ALTO CONSUMO

Variando el interés anual se obtienen gráficos muy similares para cada demanda. Nótese que para una demanda de bajo consumo es factible instalar un sistema híbrido eficiente tanto energéticamente como económicamente. Por otro lado, una demanda de alto consumo no resulta de la misma forma, pues se necesitaría un recurso alto para poder instalar dicho sistema.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. El sistema híbrido de energía solar-eólico-diesel es óptimo en condiciones de irradiación solar y velocidad de viento media-altas, aproximadamente condiciones iguales o superiores a los 4.75 kWh/m²d y 4 m/s respectivamente como valores referenciales.
2. En cuanto a la energía, el sistema híbrido de generación diseñado es muy eficiente, con niveles inferiores al 1.5% de exceso.
3. En el ámbito ambiental, representa una disminución alta en el uso del Diesel y de sus emisiones al ambiente. Se presenta una

reducción del uso del diesel del 80% máximo, es decir, casi en su totalidad.

4. En lo económico, el sistema híbrido presenta Valores Presentes Netos menores a los \$2'500,000 aproximadamente, y con costos de energía de hasta \$0.45/kWh
5. En lo experimental, ya se cuenta con un desarrollo en el manejo del software HOMER para análisis de sistemas híbridos en la comunidad ecuatoriana.

6.2. Recomendaciones

Las principales recomendaciones de este estudio es saber educar y concientizar a la comunidad en cuanto al uso de las energías renovables, tanto en la operación y manejo de los equipos, su mantenimiento, y mayormente del uso racional de la energía que este tipo de sistemas produce; además de las implicaciones, ventajas y desventajas que representan en el aspecto socio-económico de la comunidad.

En cuanto al estudio de los recursos, se recomienda también estudiar las condiciones geográficas del sector, específicamente en cuanto al estudio de sombras y de las condiciones del suelo para la instalación de turbinas eólicas, aspectos que no se mencionan dentro del Proyecto AndEnergy.

APÉNDICES

APENDICE A

A. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE RECURSOS SOLAR Y EÓLICO

Antes de cualquier planeación para construir un sistema con energías renovables, es necesario saber con cuantos recursos cuenta el lugar donde se instalaría el sistema. Así como para cuando se desea saber si un sitio es apropiado para construir una central hidroeléctrica, así mismo es necesario saber con cuanta energía se podría contar a futuro en una instalación solar o eólica.

Normalmente el estudio de este tipo de recursos debe tomar al menos un año, período en el cual se adquieren datos de los principales parámetros de ambos tipos de energías. Estas variables son:

- Radiación Solar Directa (W/m^2)
- Velocidad del viento (m/s)

- Dirección del viento ($^{\circ}$)
- Velocidad máxima del viento (m/s), este parámetro es útil al momento de diseñar la torre del generador eólico.

Aparte de estos, los equipos de adquisición de datos también pueden contar con la medición de otros tipos de parámetros meteorológicos, tales como:

- Presión Atmosférica (mmHg, atm)
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Nivel de Precipitación (mm)
- Humedad (absoluta y/o relativa)

En el presente trabajo nos enfocaremos en los métodos y aparatos que sirven para medir los 3 principales recursos: la radiación solar, la velocidad y dirección del viento.

A.1. Radiación Solar (10)

La radiación solar es un recurso que no es tan sencillo de medir, pues el único método conocido es mediante instrumentos, sean éstos de tipo casero, manual o digital, y hablando de estos últimos se los puede conectar a un sistema de adquisición de datos. Los instrumentos para medir la radiación solar se dividen en 3 tipos diferentes, cada tipo mide una variable que está relacionada a la

radiación solar. Estas 3 variables son: duración de luz solar, radiación directa y difusa, y reflexión. A continuación mostramos los principales instrumentos de medición.

A.1.1. Heliógrafos

Estos instrumentos miden la duración de la luz solar, que se define como el tiempo en períodos durante el día en que la luz del sol está presente con una radiación directa estándar mínima de 120W/m^2 . Los heliógrafos más usados son los de Campbell-Stokes y de Denis-Jordan (Figura A.1).

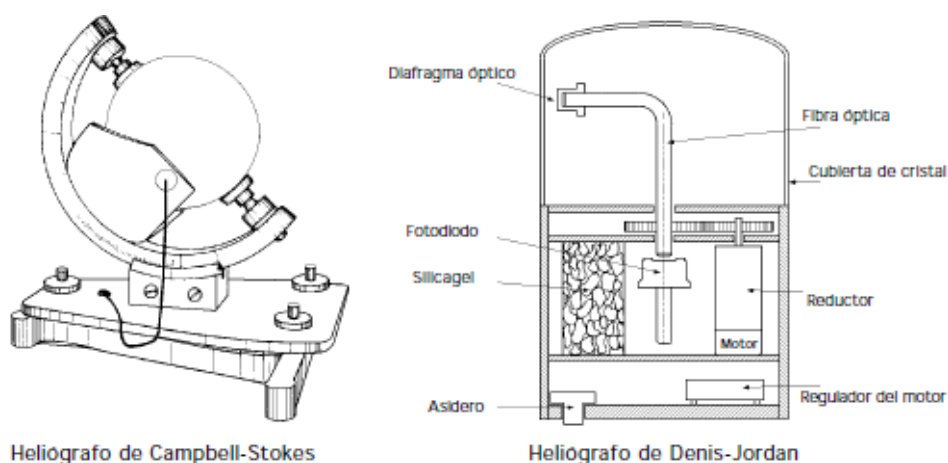


FIGURA A.1 TIPOS DE HELIÓGRAFOS

A.1.2. Pirheliómetros

Estos instrumentos miden la cantidad de radiación directa. Estos aparatos cuentan con un seguidor solar que permite apuntar directamente al sol. Uno de los más comunes es el pirheliómetro de Abbot (Figura A.2).

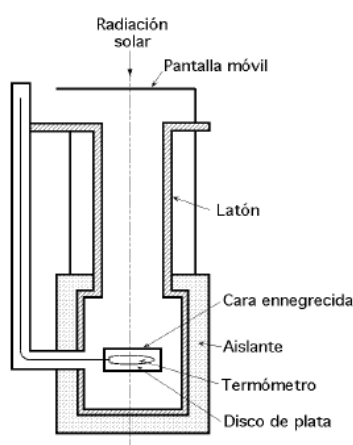


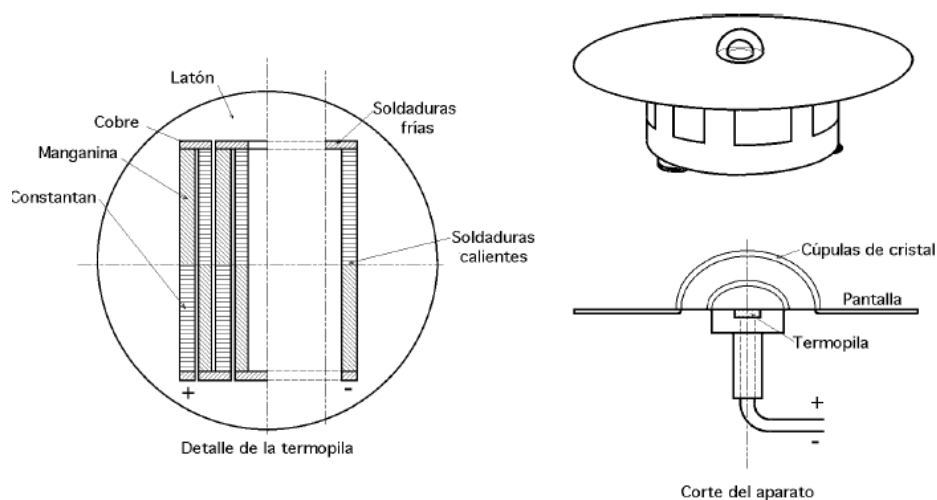
FIGURA A.2 PIRHELIÓMETRO DE ABBOT

A.1.3. Piranómetros

Este tipo de instrumentos sirven para medir la radiación tanto directa como difusa, la cual se recibe en todas direcciones. Por lo general en estaciones de adquisición de datos se suelen instalar 2 de estos piranómetros, uno apuntando hacia el suelo y el otro hacia el cielo, el primero mide la cantidad de

radiación reflejada por el suelo y el segundo la que viene directo del sol.

Los piranómetros detectan la diferencia de temperaturas entre una superficie negra y una blanca con conexiones a termopilas o células fotovoltaicas. También se debe compensar la temperatura ambiental y evitar la convección. Un ejemplo de piranómetro es el mostrado en la Figura A.3.



FIGURA

A.3 PIRANÓMETRO DE KIPP

A.2. Velocidad del Viento (35)

El recurso del viento se basa en la medición de 2 parámetros principales: la velocidad del viento y su dirección. Para este tipo de estimación existen métodos de tipo empírico, como de tipo digital.

Aquí mostramos los principales métodos y herramientas para la obtención de datos de tipo eólico.

A.2.1. Información Empírica

Este tipo de estimaciones se basan en aproximaciones de tipo visual. Se basa en la observación de la deformación de los árboles de pino para determinar de una forma casi “rústica” la velocidad del viento en el lugar. Esta deformación se mide gracias a una tabla en la que se muestra la clase de los vientos, divididos en rangos. Esta metodología se muestra en las Figuras A.4 y A.5.

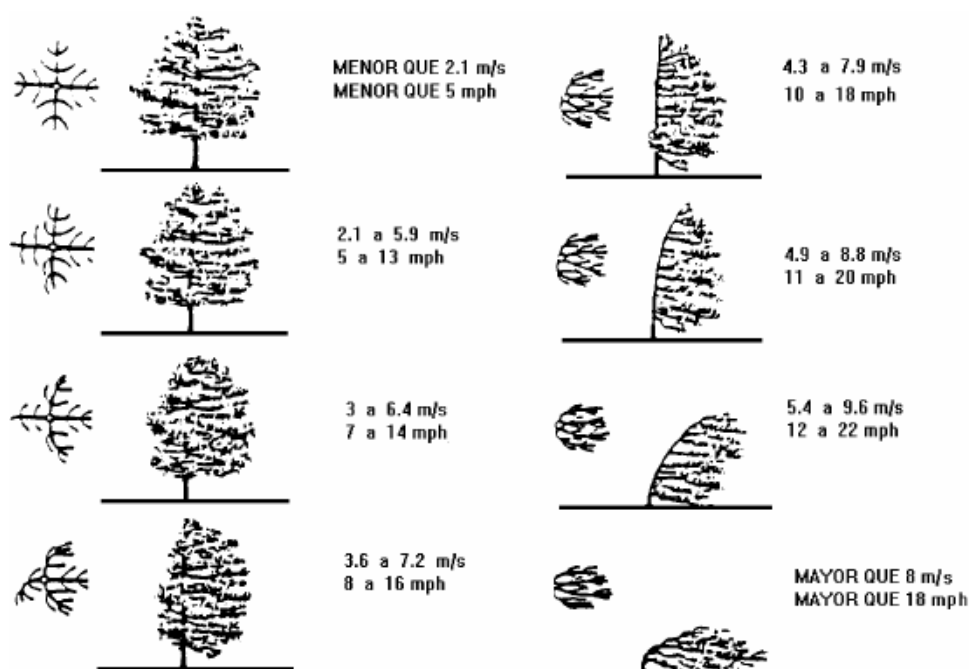


FIGURA A.4 DEFORMACIÓN DEL ÁRBOL DE PINO

<i>Numero Beaufort</i>	<i>Velocidad de Viento (m/s)</i>	<i>Efectos observados en tierra</i>
0	0 - 0.2	Calma, humo asciende verticalmente
1	0.3 - 1.5	El humo indica la dirección del viento, aspas de molinos no se mueven
2	1.6 - 3.3	Se siente el viento en la cara; se mueven las hojas de los árboles; aspas de molinos se empiezan a mover
3	3.4 - 5.4	Hojas y ramas pequeñas se mueven constantemente; banderas livianas se extienden
4	5.5 - 7.9	Polvo, hojas y papel en el piso se levanta; ramas se mueven
5	8.0 - 10.7	Pequeños árboles comienzan a bambolear
6	10.8 - 13.8	Ramas grandes de los árboles en movimiento, silbido emana de cuerdas
7	13.9 - 17.1	Todo el árbol se mueve; resistencia fuerte al caminar contra el viento
8	17.2 - 20.7	Ramitas y ramas de los árboles se rompen; caminar es difícil

La escala de Beaufort va hasta el número 17 donde se indican velocidades de viento hasta de 60 m/s.

FIGURA A.5 ESCALA DE BEAUFORT

A.2.2. Anemómetros

Este tipo de instrumentos mide con mejor precisión la velocidad del viento, y estos se pueden conectar con un sistema de adquisición de datos en tiempo real. En el mercado, estos instrumentos vienen de variadas formas: propelas, copa, plato, tubo, radar acústico Doppler y hasta láser (13). Estos instrumentos producen una señal digital proporcional a la velocidad del viento. Un ejemplo de estos equipos se muestran en la Figura A.6.

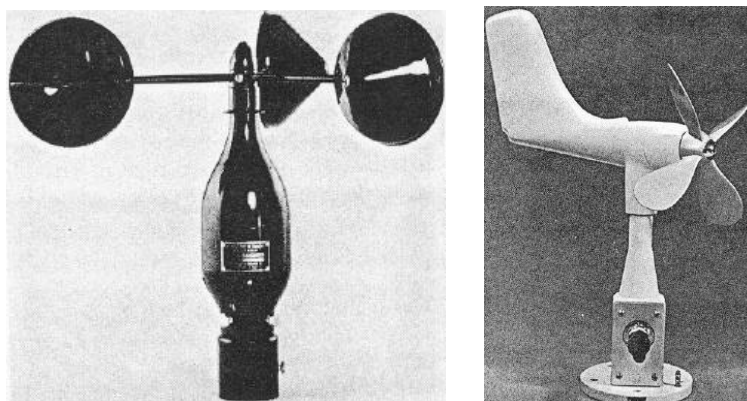


FIGURA A.6 TIPOS DE ANEMÓMETROS

A.2.3. Veleta

La principal función de las veletas es medir la dirección del viento. Este parámetro es esencial en el diseño del sistema para dar la dirección a las turbinas. Las veletas se basan en un funcionamiento de transformación de una señal analógica a una digital. Cabe recalcar que la dirección del viento toma la dirección norte como 0° y su sentido de giro es de norte a oeste. Una muestra de veleta y su circuito eléctrico de medición se muestra en la Figura A.7.

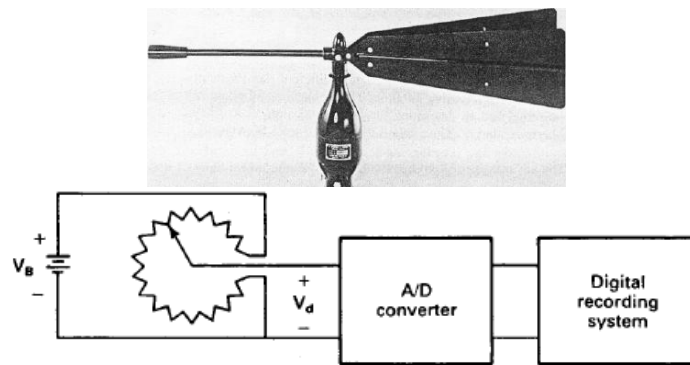


FIGURA A.7 VELETA Y CIRCUITO ELÉCTRICO

A.2.4. Medición con Globos Meteorológicos

A grandes alturas, construir una torre de mediciones de velocidad y dirección del viento puede ser sumamente costoso, por lo que se recomienda hacer mediciones con globos meteorológicos. Globos grandes cuentan con instrumentos dentro de los mismos y con transmisores de datos a tierra, mientras que los pequeños son jalados por el viento y la velocidad del viento se mide por relaciones trigonométricas.

APENDICE B

B. CONSIDERACIONES GENERALES DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Desde la planificación hasta la propia operación del sistema, existen varias consideraciones de tipo mecánica, eléctrica, e incluso de tipo civil que hay que tomar en cuenta, incluso desde antes de recibir los equipamientos. A continuación, es el presente trabajo se mostrarán aspectos básicos dentro de lo que es la instalación y mantenimiento del sistema desde la recepción de los equipamientos hasta que se pone en marcha el mismo.

B.1. Paneles Solares

B.1.1. Ubicación

Previa a la colocación de los paneles es necesario evaluar el terreno en el cual se piensa colocar los paneles fotovoltaicos. Durante este período se evaluarán los siguientes aspectos (2):

- Disponibilidad del área en fachadas y/o tejados.
- Orientación e inclinación de las estructuras disponibles.
- Características de la estructura y sub-estructura
- Aberturas en tejados (chimeneas, ventilación, etc.)
- Localización de los paneles, las cajas de conexión, interruptores, y demás elementos del cableado.
- Acceso a los equipos (para la instalación, mantenimiento y reemplazo de los mismos)
- Áreas sombreadas en el terreno

Éste último aspecto es necesario evaluarlo con precaución, porque un panel ubicado en zonas con sombra disminuirá su eficiencia y su vida útil. Por esta razón es necesario evaluar el terreno con cálculo de sombras, el cual determina que

zonas del terreno en estudio producen sombras en 1 día durante todo el año.

El método de estudio de sombras es muy variado, desde la utilización de instrumentos simples, hasta uso de software informático. Uno de los métodos más usados es el trazado de trayectoria solar. Este trazado muestra de forma gráfica la trayectoria del sol con respecto a un lugar determinado durante los días de un año completo en forma horaria. Sobre este trazado se pueden colocar las sombras que se producen a distintas horas y distintas fechas en el año. Este tipo de trazado puede ser realizado mediante un respectivo estudio anual, o también por medio de software informático. Cada trayectoria dependerá del sitio de estudio, especialmente de su latitud.

B.1.2. Recepción

Durante la recepción es necesario evaluar los paneles en forma visual, para detectar posibles defectos dentro de los paneles. La Tabla 30 enumera los principales aspectos dentro de esta evaluación (30).

TABLA 27. INSPECCIÓN FÍSICA DE PANELES

Defecto	Criterio de Rechazo
Células rotas o agrietadas	Rotura o fractura que suponga la separación de más del 10% del área de la célula
Células desalineadas	Células en contacto físico
Cara frontal de las células	Restos notables de la metalización
Impurezas en el laminado	Cobertura de más del 1% del área de la célula
Burbujas en el encapsulado	Establecen comunicación entre el marco o el borde del módulo
Vidrio frontal	Rotura
Cinta de conexión	Rotura
Etiquetas	Ilegibilidad o borrado del texto
Módulo sucio	manchas de silicona o encapsulante
Tedlar	Dañado o perforado
Caja de conexión	Rota o desprendida (parcial o totalmente)

B.1.3. Soportes

Los soportes son las estructuras que fijarán los paneles para su posterior funcionamiento, algo muy parecido a una

cimentación. Tomando en cuenta su función existen ciertas consideraciones que hay que tener en cuenta (29):

- Las estructuras deberán ser capaces de soportar al menos 10 años en el ambiente.
- Deberán soportar vientos de al menos 120km/h
- En caso de contar con módulos con marco, su fijación será mediante tornillería de acero inoxidable.
- El diseño de los soportes deberá facilitar las tareas de mantenimiento y limpieza de los paneles.

Existen varias formas de soportes, pero los más comunes son los siguientes:

- Sobre Postes: Fijada sobre un tubo empotrado al suelo.
- Sobre-Tejado: Fijación unida a la estructura del tejado (8).
- En Paredes.
- Sobre el Suelo.
- Con Seguimiento Solar

B.1.4. Mantenimiento (31)

Por lo general, el mantenimiento de los paneles solares es escaso, esta es una ventaja de estos sistemas. Pero a pesar de eso, las inspecciones periódicas, la limpieza de los paneles y revisión de cableados, conexiones, etc., es necesario.

La limpieza de los módulos evita la presencia de suciedad en la superficie de los mismos, puesto que el polvo produce un efecto similar a las sombras pero de menor intensidad. La periodicidad de la limpieza depende exclusivamente de cuán frecuentemente se ensucian los paneles. En zonas de lluvias, la limpieza puede llegar a ser innecesario. En el caso del lavado, el mismo deberá hacerse con una mezcla de agua y detergente no abrasivo, y no usar agua a presión. En todo caso se deberá evitar también la acumulación de agua sobre los paneles.

En la inspección visual se realizarán tareas de revisión física de los paneles y conexiones, tanto mecánicas como eléctricas. En el caso de roturas o daños se podrá realizar el respectivo reemplazo.

En la inspección eléctrica se revisarán las conexiones, corrientes y voltajes de los paneles para asegurar su correcto funcionamiento. Ese tipo de inspección se recomienda hacerlo cada 6 meses.

B.1.5. Operación y Monitoreo

Durante el funcionamiento de los paneles se estará chequeando varios parámetros que involucren el buen trabajo de los mismos. Las variables más importantes a ser monitoreadas son la corriente, el voltaje y temperatura del panel, ya que el buen funcionamiento del panel depende de estas 3 variables. Adicionalmente se puede obtener datos de la radiación solar y temperatura ambiental, los cuales pueden estar en una misma torre con los equipos de adquisición de datos de tipo eólico, ambos unidos a un mismo sistema. También se puede contar con software de análisis de datos dentro del sistema de adquisición de datos. Normalmente para el control de cantidades grandes de paneles se recomienda separar por grupos los paneles, para facilitar el control de los mismos.

B.1.6. Sistema de Protección (2)

Estos sistemas de protección permiten al arreglo de paneles trabajar en condiciones favorables y deseadas, evitando daños al mismo. Estos tipos de protección suelen estar dentro del propio controlador de carga, o pueden ser instalados aparte como circuitos eléctricos. El sistema de protección más común es el siguiente:

Protección contra descargas atmosféricas: Las descargas atmosféricas son de 2 tipos: directas e indirectas. Las descargas directas son los propios rayos que pueden ocasionar graves daños al sistema, y las descargas indirectas son los efectos del rayo en la región circundante. Es importante tener esto en cuenta, pues un rayo puede llegar a afectar de forma indirecta un área de 1km a la redonda de donde haya caído, además que es más probable que un arreglo sea afectado por el efecto del rayo que por el propio rayo. También es importante saber la historia climática del sitio y saber cuántas veces al año el sitio es afectado por tormentas eléctricas.

Un requisito de este sistema es la conexión de elementos conductores (como canales metálicos, tuberías metálicas,

etc.) cercanos al arreglo deberán contar con una conexión a tierra.

B.2. Turbinas Eólicas

B.2.1. Ubicación

La ubicación de las turbinas es uno de los primeros aspectos a estudiar en una instalación eólica, pues de esta parte dependerá qué tan eficiente será la extracción de la energía en la zona donde se ubiquen los generadores eólicos. Para la ubicación primarán 5 aspectos básicos (9):

Intensidad y dirección del viento en el área: Este es el principal parámetro. Existen varios métodos de evaluación del potencial eólico en un lugar determinado, dichos métodos serán estudiados más adelante.

Topografía: La forma del sitio es también muy importante dentro del futuro funcionamiento del sistema, especialmente por la presencia de edificios, vegetación, bosques, planicies, valles, montañas, colinas, etc., cosas que afectan al viento.

Distancias de transmisión y distribución de la red: Es muy importante hacer que la instalación quede lo más

cercana posible a la planta generadora, y a su vez a la localidad, principalmente para evitar pérdidas de energía por el cableado del sistema.

Propósito de la Instalación: Para nuestro caso, suplir energía eléctrica a una comunidad.

Acceso a la Instalación: La instalación debe contar con un acceso sencillo para facilitar las tareas de instalación, mantenimiento y operación, e incluso en el caso de reemplazar o cambiar una de las turbinas es necesario transportar el equipamiento necesario para hacerlo, especialmente si se trata de equipos pesados. Este aspecto es necesario para instalaciones medianas o grandes.

Otro factor importante en la ubicación de las turbinas es la turbulencia provocada por las mismas. La separación entre una y otra turbina es necesaria para no afectar a la eficiencia del sistema completo. Una forma estandarizada de separar las turbinas es como la mostrada en la Figura B.1. La dirección de las turbinas deberá ser en la dirección predominante del viento.

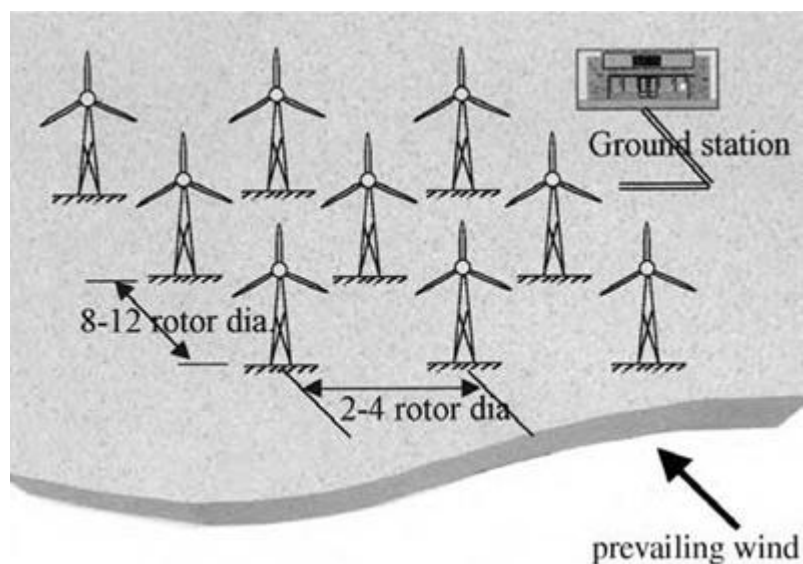


FIGURA B.1 SEPARACIÓN ÓPTIMA DE GENERADORES EÓLICOS (33)

B.2.2. Obra Civil

Antes de realizar cualquier montaje se debería realizar la obra civil, la cual es la construcción de las cimentaciones de la torre y anclajes de cables principalmente, teniendo en cuenta que la torre deberá quedar en una forma completamente vertical para que opere de forma eficiente. La torre deberá soportar el empuje del viento y las ráfagas (35).

Existen 2 tipos básicos de cimentaciones: terrestres y marinas

B.2.2.1. Cimentaciones Terrestres (15)

Existen 2 tipos básico de cimentaciones terrestres: cimentaciones de losas (Figura B.2) y cimentaciones pilotadas (Figura B.3).

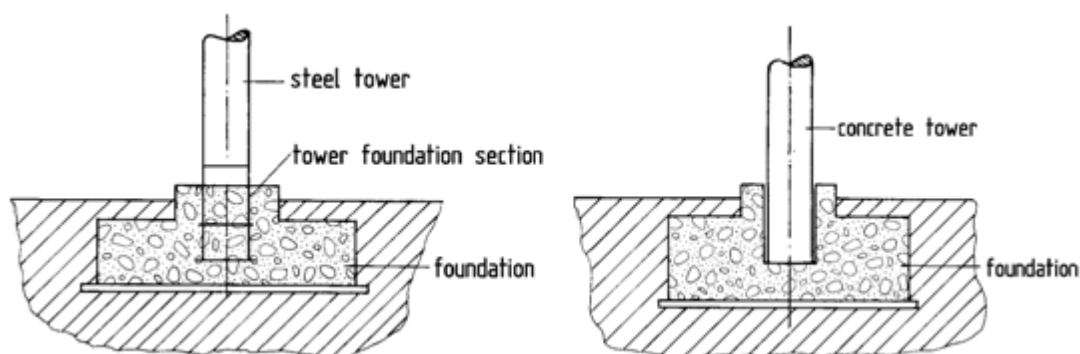


FIGURA B.2 CIMENTACIONES ESTÁNDARES PARA TORRES DE ACERO Y DE CONCRETO

Las cimentaciones pilotadas son normalmente construidas sobre suelos de tipo arcilloso o arenoso (suelos débiles). Pilotes de más de 20m son requeridos para turbinas medianas.

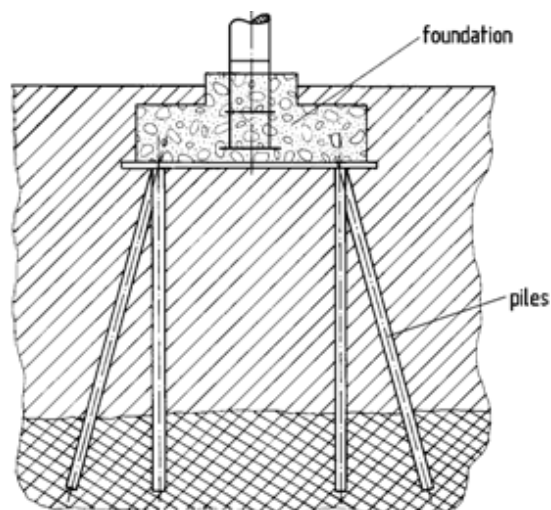


FIGURA B.3 CIMENTACIÓN PILOTADA

B.2.2.2. Cimentaciones Marinas

Este tipo de cimentaciones son construidos sobre el lecho marino, pero hay que recalcar que es un lecho de baja y media profundidad, es decir, en zonas costeras (no más de 25-30m de profundidad). Una de las ventajas de parques construidos en estas zonas es el bajo efecto de cizallamiento y la poca turbulencia del viento, lo que puede llegar a producir más energía que en parques sobre suelo. Los tipos de cimentaciones son usados según la profundidad del lecho marino.

Para zonas de una profundidad de hasta 5m se usan cimentaciones por gravedad, como la de la Figura B.4. En

zonas de alta erosión se recomienda proteger con cantos rodados o rocas (6). Una gran desventaja de estas cimentaciones es que el suelo marino deberá ser previamente nivelado y posiblemente reforzado (15).

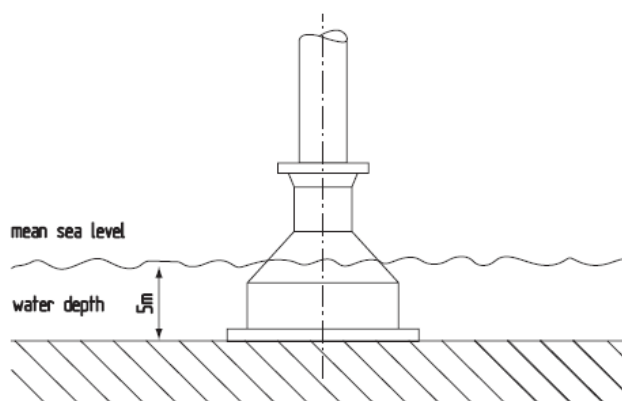


FIGURA B.4 CIMENTACIÓN POR GRAVEDAD

La estructura de monopilote (Figura B.5) se usa en profundidades de hasta 15m. Es simplemente una extensión de la propia torre. Las ventajas de esta estructura es que no existe acondicionamiento previo del suelo marino, pero debe ser de tipo arenoso para evitar altos costes por taladrado del suelo (15). Los diámetros típicos de estas estructuras son de entre 3.5 a 4.5m (6).

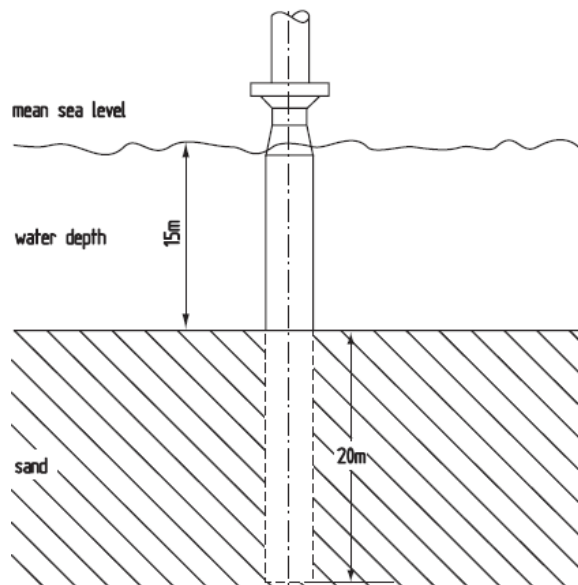


FIGURA B.5 CIMENTACIÓN DE MONOPILOTE

Para aguas de media profundidad (entre 20 a 50m de profundidad) se utilizan las estructuras de trípode como la mostrada en la Figura B.6. Este tipo de estructuras requieren de poca preparación del suelo marino. En ocasiones se la puede construir como una base por gravedad. Las desventajas son la dificultad de transporte y el alto gasto de producción en tierra (15).

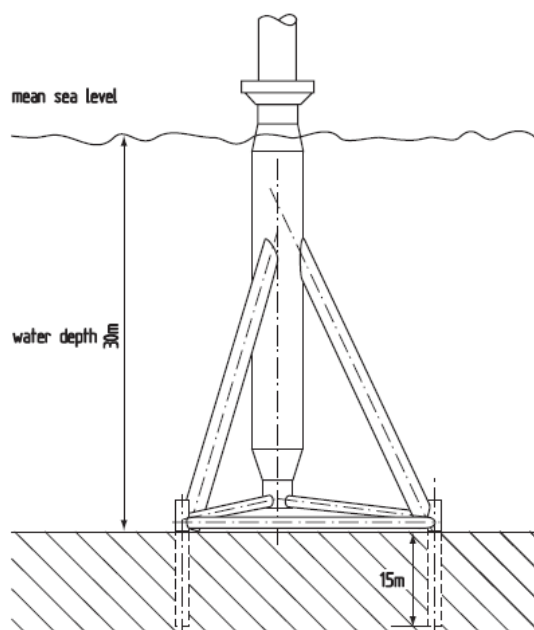


FIGURA B.6 CIMENTACION TRÍPODE

B.2.3. Levantamiento o Izamiento

El levantamiento de la torres suele ser un trabajo de tipo especializado, y que puede diferir de un tipo de las condiciones del terreno, accesibilidad y maniobrabilidad de los equipos (35), y también del tamaño de los generadores.

Para generadores de tamaños pequeños y medianos (torres menores de 100m) existen 2 métodos de izamientos comunes (Figura B.7):

1. Ensamblado del generador en suelo, luego elevación a posición vertical.

2. Ensamblado de la torre y generador en posición vertical.

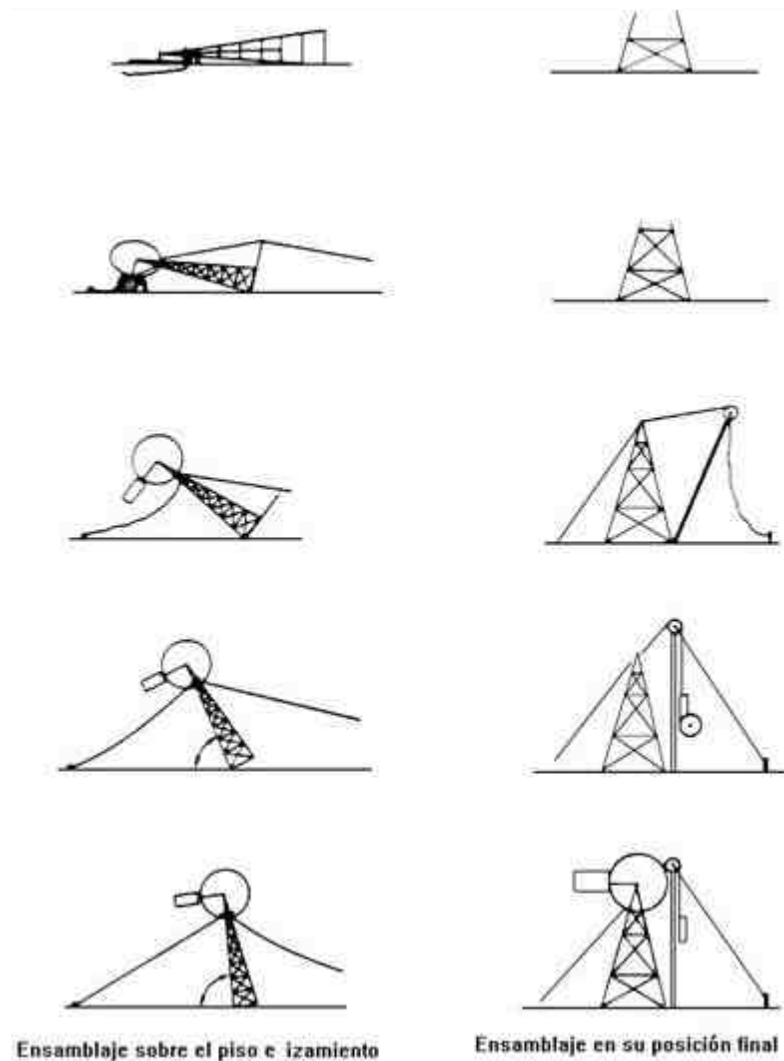


FIGURA B.7 MÉTODOS DE IZAMIENTO DE TORRES EÓLICAS

B.2.4. Monitoreo y Operación (15)

Durante la operación de los diversos generadores, éstos serán controlados mediante equipamientos de control y

sistemas de adquisición de datos. Los datos más comunes a controlar son de tipo mecánico, eléctrico, e incluso ambientales. Se recomienda tener una torre con un equipo de adquisición de datos para las condiciones ambientales.

Tales variables son:

- Velocidad del viento
- Temperatura
- Potencia de salida
- Voltaje
- Velocidad del rotor/generador
- Frecuencia
- Corriente
- Dirección (ángulo acumulado)

A este equipamiento es posible conectarlo a un equipo de análisis de datos, o software específicos de control de generadores eólicos. Algunos de estos programas poseen paquetes estadísticos para el análisis de la potencia del generador.

B.2.5. Mantenimiento y Reparación (15)

Normalmente, los manuales entregados por los fabricantes contienen una valiosa información acerca del mantenimiento de los generadores. Pero muy aparte de esto, la rutina básica del mantenimiento consistiría en una revisión cada 6 meses,

en cuyo chequeo se verificarán los componentes y funciones del generador. Una revisión de cada uno o dos años requeriría de una inspección más minuciosa.

Las diferentes áreas del mantenimiento rutinario son:

1. Chequeo de los componentes principales (rotor, eje, engranajes, motor, etc.)
2. Cambio de aceite en los engranajes y partes hidráulicas.
3. Tests operacionales (presión hidráulica, apagado de emergencia)

A pesar del constante monitoreo del sistema, del correcto mantenimiento y una construcción de alta calidad, el sistema no está libre de fallas o daños, esta es una condición que mayormente recae sobre la responsabilidad del operador.

Los daños durante la operación surgen normalmente por 2 causas comunes:

1. Evaluación incorrecta de las cargas actuantes en el sistema, dimensionado inadecuado de los componentes o la falta de interacción entre los componentes en un

sistema complejo que puede llevar al diseño sobredimensionado de un material en un componente.

2. Falla individual de un componente con respecto al material usado, manufactura o ensamblado, algo que no ser evitado estadísticamente.

En el caso de alguna falla, las políticas con la compañía aseguradora deberán ser fijadas en el previo contrato. Esto tomando en cuenta la parte económica, ya que una falla o rotura de algún componente puede ser algo costoso.

Las partes que mayormente sufren un daño son las siguientes:

- Cojinetes del rotor, motor y engranajes
- Engranajes
- Aceite de engranajes
- Embrague
- Góndola
- Sistema de dirección
- Paletas
- Eje del rotor
- Mecanismos electrónicos

B.2.6. Sistemas de Protección

Los sistemas de protección dentro de las turbinas eólicas se encargan de proteger al sistema de diversas causas que puedan afectar tanto a la propia turbina como al sistema eléctrico. Estos sistemas por lo general son equipamientos separados de las turbinas. Estos sistemas cuentan con protecciones de diferentes tipos, entre ellos:

- Protección contra sobre-voltajes
- Protección contra sobre-corrientes
- Protección contra rayos (al igual que los paneles, las turbinas también pueden sufrir daños por este tipo de descargas)
- Protección contra cambios de la frecuencia (en casos de que la turbina entregue una corriente AC)
- Protección contra cambios de dirección en la corriente (turbinas de corriente AC)

Por lo general, cada turbina contará con su propio sistema de protección, de los cuales todos estarán conectados a la subestación de energía, de donde se podrán monitorear.

Muy aparte de este sistema también es importante recalcar un subsistema de protección, el cual controla la velocidad del rotor. Los objetivos básicos de este control son evitar daños al eje del rotor y del generador, a los engranajes y demás componentes móviles de la turbina (33).

B.2.7. Sistemas de Dirección

Análogamente al seguidor solar, las turbinas cuentan con un sistema de “seguimiento”, también llamado sistema de dirección. Este sistema le permite a la turbina girar para poder obtener una mayor obtención de la energía eólica, ya que conocemos que el viento no siempre va en la misma dirección. Cuando las turbinas son pequeñas, el sistema no requiere de tantos componentes para direccionar la turbina al viento, puesto que el propio viento puede ayudar a re-direccionarlo, por medio de una veleta por ejemplo. Pero cuando la turbina es un poco más pesada se hace más complicado direccionarla con el propio viento, es aquí cuando es necesario un sistema de dirección.

B.3. Baterías

A pesar de que las baterías tienen una instalación y operación netamente de orden eléctrica, el mantenimiento de los mismos es importante conocerlo para cualquiera que diseñe el sistema, pues también existen consideraciones especiales que no sólo los eléctricos deberían conocer, porque a pesar de su poca potencia de alimentación es el elemento que más peligro representa dentro del sistema. A continuación les mostramos algunas de las más importantes consideraciones (17):

- Al momento de manipular las baterías se recomienda quitarse todo objeto de tipo metálico, tales como cadenas, relojes, etc., los mismos que pueden ocasionar lesiones al hacer contacto con los bornes de la batería
- Usar herramental con aislamiento.
- Procurar una ventilación adecuada en el sitio de colocación de las baterías para evitar concentración de gases explosivos. Además de que el lugar no debe ser húmedo ni ser afectado por los rayos del sol.
- No encender ninguna fuente de ignición cerca de las baterías.
- Evite el cortocircuito de los bornes de la batería, pues puede hacer estallar el hidrógeno de producen las mismas al cargarse.

- Revisar el nivel del electrolito periódicamente, y en el caso de ser necesario reponer el electrolito perdido por efecto de la gasificación.
- Limpiar la cubierta de los bornes para evitar la sulfatación.

Es importante tener en cuenta estas reglas, ya que la vida de cualquier persona puede depender de ello. De ser necesario, se recomienda que a la entrada del sitio donde se encuentran las baterías se coloquen letreros con estas advertencias.

B.4. Inversores

Este es otro elemento de tipo eléctrico, el cuyo caso la instalación, mantenimiento y operación se sujetan a consideraciones de tipo eléctrico. Pero esta condición no lo hace imprescindible de un acondicionamiento de tipo mecánico. A continuación veremos los principales aspectos que rodean la instalación y operación de un inversor (23).

B.4.1. Aspectos Ambientales

- Temperatura de operación: entre 0 y 40°C
- Humedad relativa: en un rango entre 5 y 95%, no condensado, a temperaturas de entre 10 a 40°C

- Altitud: el sistema podrá operar hasta una altitud de 2500 msnm.

B.4.2. Especificaciones Mecánicas

- Gabinete: se recomienda colocar una base de al menos 3pulg de altura, y deberá evitar estar cerca de paredes a los lados, para facilitar tareas de reparación.
- Ventilación: las entradas y salidas de aire deberán contar con una malla, para evitar la entrada de objetos que puedan afectar a los equipos.
- Cable de entrada: deberá estar arriba o abajo del gabinete.
- Cambio de partes: todos los componentes internos de los inversores deberán ser accesibles para su mantenimiento o reemplazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDENERGY, “Documentación Detallada de los Casos de Estudio”, Proyecto No. EIE/05/141/SI2.420262, 2006.
2. ALTENER, Energía Fotovoltaica: Manual sobre tecnologías, proyecto e instalación, Río de Janeiro-Brasil, 2004.
3. Ayuda del Software HOMER
4. BARLEY, C. D., FLOWERS, L. T., BENAVIDEZ, P. J., ABERGAS, R. L., BARRUELA, R. B., Feasibility of Hybrid Retrofits to Off-Grid Diesel Power Plants in the Phillipines, NREL, USA, 1999.
5. CASARAVILLA G. & CHAER R., “Hybrid 95: Software de Diseño de Sistemas Híbridos, Potrerillo de Santa Teresa”, Cancún – México, 1997.
6. COSTEJÓN DE CASTRO C., Los Parques Eólicos Marinos (II/III), Anales de Mecánica y Electricidad, 2008.
7. Estación Meteorológica Lab-FREE, FIMCP, Campus Gustavo Galindo, ESPOL.

8. FAHLENBOCK B. & HAUPT S., "Quality Standars for Solar Home Systems and Rural Health Power Supply; Environmental management, Water, Energy, Transport", 93.2042.5, 2000.
9. FARRET F. & GODOY SIMOES M., Integration of Alternative Sources of Energy, Wiley-Interscience, Hoboken – NJ - USA, 2006.
10. FERNÁNDEZ DÍEZ P., Procesos Termosolares en baja, Media y Alta Temperatura, Universidad de Cantabria, 2003.
11. FOCER, Manual sobre Energía Renovable: Eólica, San José - Costa Rica, 1ra ed., 2002.
12. FOCER, Manual sobre Energía Renovable: Solar Fotovoltaica, San José - Costa Rica, 1ra ed., 2002.
13. GARY L. JOHNSON, Wind Energy Systems, Manhattan - KS, 2001.
14. GASQUET H., Manual de Energía Solar, Austin-Texas
15. HAU E., Wind Turbines: Fundamental, Technologies, Applications, Economics, 2da ed., Berlín-Alemania, 2006.
16. <http://www.bergey.com>
17. <http://www.cubasolar.cu>
18. <http://www.iie.org.mx>
19. <http://www.isofoton.com>
20. www.nrel.gov
21. <http://www.solardyne.com>
22. <http://www.solarenergyalliance.com>

23. <http://www.solidstatecontrolsinc.com>
24. <http://www.technihost.com>
25. <http://www.textoscientificos.com>
26. <http://www.trojan-battery.com>
27. <http://www.windenergy.com>
28. <http://www.windturbine.net>
29. INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR, Universal Technical Standar for Solar Home Systems (traducido), Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.
30. INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR: UNIVERSIDAD DE MADRID, Procedimientos de Medida de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos, Madrid-España, 2004.
31. ISOFOTÓN, Manual de Instalación, Uso y Mantenimiento de los Módulos Fotovoltaicos Isofotón Gama Estándar.
32. MERA J., “Estudio de sistemas híbridos (eólico-solar) de energía para iluminación y bombeo en la escuela y viviendas de la comunidad Pitiur del oriente ecuatoriano”, Quito, 2004.
33. MUKUND R. PATEL, Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis and Operation, 2nd ed., 2006.
34. NREL, Getting Started Guide for HOMER Version 2.1, 2005.
35. PINILLA A., Manual de Aplicación de la energía Eólica, Colombia, 1997.

36. SÁNCHEZ MIÑO S., Energías Renovables, Conceptos y Aplicaciones, 2003.
37. UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI, “Model-Based Optimization of Stand Alone Hybrid Power Systems”, World Renewable Energy Congress 2009 – Asia, Bangkok – Thailand, 2009.