



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TÍTULO:

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE
GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDO SOLAR-EÓLICO
PARA ELECTRIFICACIÓN DOMICILIARIA.**

AUTOR:

Diego Javier Bermeo Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Daniel Enrique Mahuad Ortega, Mg. Sc.

Loja- Ecuador

2013-2014

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO



CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

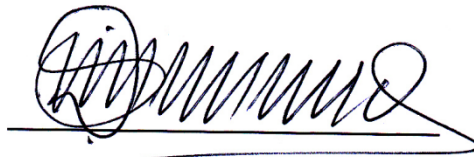
Daniel Enrique Mahauad Ortega, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **"Diseño de un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar – eólico para la electrificación domiciliaria"**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el profesional en formación: **Diego Javier Bermeo Jiménez**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 14 de Mayo del 2014

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and flourishes, positioned above a horizontal line.

Ing. Daniel Enrique Mahauad Ortega, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Diego Javier Bermeo Jiménez declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 

Autor: Diego Javier Bermeo Jiménez

Cedula: 190051740-8

Fecha: 08/05/2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo Diego Javier Bermeo Jiménez declaro ser autor de la tesis titulada: “Diseño de un Sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico para electrificación domiciliaria”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Electromecánico; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de Mayo del dos mil catorce, firma el autor.

Firma: 

Autor: Diego Javier Bermeo Jiménez

Cedula: 190051740-8

Dirección: Loja (Santa Rosa y Balsas)

Correo Electrónico: javierbj@hotmail.es

Teléfono: 3037268

Celular: 0993841538

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Daniel Enrique Mahuad Ortega, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc.

Ing. Jorge Enrique Carrión Gonzáles, Mg. Sc.

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

PENSAMIENTO

“No podemos elegir los tiempos en los que nos toca vivir, lo único que podemos hacer es decidir qué hacer con el tiempo que se nos ha dado” (GANDALF)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios sin cuya intervención no hubiera sido posible el presente trabajo. Todo lo que soy y lo que anhelo ser te lo debo a ti Señor.

A mi madre, por su cariño, consejos, comprensión y apoyo incondicional en los momentos difíciles. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mis hermanos por sus consejos y apoyarme con los recursos necesarios para poder culminar con mis estudios.

A mi esposa por su confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente. A mi hijo Geovany quien ha sido y es motivación, inspiración y felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

Al Ing. Daniel Mahauad, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis hermanos, quienes con sus consejos y comprensión me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado siendo parte fundamental en mi vida.

Agradezco a mi esposa, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con ella.

Gracias a mi suegra y a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
<i>PENSAMIENTO</i>	IV
<i>DEDICATORIA</i>	V
<i>AGRADECIMIENTO</i>	VI
SIMBOLOGÍA	XII
I.-TÍTULO	1
II.-RESUMEN	2
III.- INTRODUCCIÓN	4
IV.- OBJETIVOS	5
V.- REVISIÓN DE LITERATURA	6
CAPÍTULO I: LAS ENERGÍAS RENOVABLES	6
1.1Clasificación de las energías renovables	8
1.1.1 Energía Solar	8
1.1.2 Energía Eólica	13
1.1.3 Energía Minihidráulica	18
1.1.4 Energía de la Biomasa	20
1.1.4 Energía Mareomotriz y de las Olas	20
1.1.5 Energía Geotérmica	21
1.2 Sistemas Híbridos	22
1.2.1 Configuración de los Sistemas Híbridos	22
1.2.2 Ventajas comparativas	22
1.2.3 Aplicaciones de los Sistemas Híbridos	23
1.2.4 Clases de Sistemas Híbridos	23
1.2.4.1 Sistema Solar Fotovoltaico con Mini hidráulica	24
1.2.4.2 Sistema Solar Fotovoltaico con un grupo electrógeno de pequeña potencia	24
1.2.4.3 Sistema Solar Fotovoltaico con Energía Eólica	24
1.2.4.4 Sistema Solar Fotovoltaico con Energía Eólica y Grupo Electrógeno	25
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS SOBRE AEROGENERADORES Y PANELES FOTOVOLTAICOS	27
2.1 Fundamentos sobre aerogeneradores	27
2.1.1 Partes de un aerogenerador	28
2.1.2 Diferentes Tipos de Aerogeneradores	29

2.1.2.1 Aerogeneradores de Eje Horizontal	29
2.1.2.2 Aerogenerador de Eje Vertical	30
2.1.3 Potencia del Aerogenerador	31
2.1.4 Torre de soporte del Aerogenerador.....	33
2.2 Fundamentos sobre Paneles Fotovoltaicos	36
2.2.1 Estructura de una Celda Solar	37
2.2.2. El efecto fotovoltaico.	40
2.2.3 Características Eléctricas	40
2.2.4 Orientación e Inclinación de los Paneles Fotovoltaicos	41
2.2.4.1 Orientación de los Paneles Fotovoltaicos.....	42
2.2.4.2 Inclinación.....	42
2.2.4.3 Latitud del Lugar	44
2.2.5 Estructura de Soporte y Anclaje.....	44
2.3 Sistema de Almacenamiento	44
2.3.1 Características de las Baterías.....	45
2.3.2 Banco de Baterías	47
2.3.3.1 Conexión en Paralelo.....	47
2.3.3.2 Conexión en Serie.....	47
2.3.3.3 Conexiones Mixtas	48
2.4 Regulador de Carga	48
2.4.1 Regulador en Serie.	49
2.4.1 Regulador Paralelo	49
2.4.2 Datos Técnicos del Equipo.....	50
2.5 Inversor o Convertidor	50
2.5.1 Instalación de Inversores e Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas.....	51
2.5.2 Datos del Equipo Comercial	51
2.6 Instrumentos de Medición Eólicos y Fotovoltaicos.....	52
2.6.1 Instrumentos de Medición (anemómetros)	52
2.6.1.1 Anemómetros de Copas	52
2.6.1.2 Anemómetros Ultrasónicos y Digitales	53
2.6.2 Medidores Fotovoltaicos.....	54
2.6.2.1 Medidor fotovoltaico 2 en 1 PCE-SPM 2.....	54

2.7 Proveedores de sistemas eólicos a pequeña escala existentes en el Ecuador.....	55
CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA	56
3.1 Generalidades.....	56
3.2 Dimensionamiento de un sistema autónomo híbrido solar-eólico aislado	56
3.2.1 Cálculo de la Potencia Máxima Diaria	57
3.2.2 Cálculo del consumo de corriente máxima diaria	58
3.2.3 Cálculo de la energía generada por el sistema híbrido solar-eólico	59
3.2.3.1 Cálculo del Sistema Fotovoltaico	60
3.2.3.2 Cálculo del Sistema Eólico	62
3.2.4 Capacidad del Banco de Baterías.	63
3.2.5 Selección del Inversor.....	64
3.2.6 Cálculos del cableado de la instalación	65
3.3 Ubicación Geográfica del Proyecto	66
3.3.1 Características Generales de la Vivienda	66
3.4 Estudio Climatológico de la zona de estudio	68
3.4.1 Estudio Solar de la zona	68
3.4.2 Presentación de Datos Eólicos sector “Catamayo”	70
3.4.3 Extrapolación espacio-temporal de datos.....	71
3.4.3.1 Extrapolación temporal de los datos de la velocidad de la estación meteorológica del Aeropuerto de Catamayo “Ciudad de Catamayo”.	71
3.4.3.2 Extrapolación espacial de los datos de la velocidad de viento del Aeropuerto de Catamayo a la zona de estudio.	73
3.4.4 Determinación de los Parámetros de Weibull	74
3.5 Determinación del Potencial Eólico disponible en la zona rural de estudio del Cantón Catamayo.....	76
3.5.1 Evaluación del potencial eólico promedio de una zona rural del cantón Catamayo.77	77
CAPÍTULO IV	79
4.1 Materiales y Métodos	79
4.1.1 Materiales Utilizados.....	80
4.2 Análisis del Sistema Híbrido Solar-Eólico para la Electrificación Domiciliaria	82
4.2.1 Descripción y Cálculo de las Cargas en la Vivienda	82
4.2.2 Cálculo del Consumo de Corriente Diario de la Vivienda	85

4.2.3 Voltaje Nominal del Sistema	86
4.3 Cálculo de la Capacidad de Generación de Energía del Aerogenerador y de los paneles fotovoltaicos	86
4.3.1 Selección del Aerogenerador	86
4.3.2 Fundamentos para el cálculo de los Paneles Fotovoltáicos.....	90
4.3.2.1 Subsistema Fotovoltáico	90
4.3.2.2 Selección del Panel Fotovoltáico	92
4.3.2.3 Cálculo de la Energía Generada por un Módulo Fotovoltáico	94
4.3.2.4 Orientación e Inclinación de los Paneles Fotovoltáicos.....	95
4.3.2.5 Estructura de Soporte de los Paneles Fotovoltáicos	96
4.3.2.6 Montaje de Módulos Fotovoltáicos.....	96
4.3.2.7 Cálculo del Regulador de Carga.....	97
4.3.2.8 Verificación de Funcionamiento del Sistema	98
4.4 Cálculo de la Capacidad del Banco de Baterías	99
4.4.1 Selección de las baterías	99
4.5 Cálculo del Convertidor o Inversor	100
4.5.1 Selección del Inversor.....	101
4.6 Dimensionamiento del Sistema Eléctrico de la Vivienda.....	102
4.6.1 Cálculo del tipo de conductor en la conexión de los equipos del Sistema Híbrido Solar-Eólico	102
4.6.2 Distribución de Potencias en la Vivienda	105
4.6.3 Especificaciones THW	109
4.6.4 Dimensionamiento de las Protecciones	109
4.7 Esquemas de conexión de los equipos del Sistema Híbrido solar-eólico.	110
VI.- RESULTADOS.....	114
6.1 El Sistema Híbrido.....	114
6.2 El Aerogenerador.....	115
6.3 Energía producida con las dos fuentes de energía renovables.....	118
6.3.1 Elección de la potencia nominal instalada para el sistema FV	118
6.3.2 Elección de la altura de la torre.	118
6.4 Elección de la tensión nominal del sistema híbrido	118
6.5 Módulo FV seleccionado	118

6.6 El Acumulador Eléctrico.....	119
6.7 El Regulador FV.....	119
6.8 El Inversor	120
6.9 Análisis Económico del Sistema.....	121
VII.- DISCUSIÓN	123
VIII.-CONCLUSIONES	124
IX.- RECOMENDACIONES.....	125
X.- BIBLIOGRAFÍA.....	126
XI. ANEXOS.....	127

SIMBOLOGÍA

I_T : Radiación Global

I_D : Radiación Directa

I_S : Radiación Dispersa

R : Radiación Reflejada

λ : Latitud del lugar

θ_{zs} : Angulo zenital

Ψ_s : Angulo acimutal

ρ = Densidad

P = Presión

T = Temperatura

V: Voltaje (tensión)

I: Intensidad (corriente)

CC: Corriente Continua

CA: Corriente Alterna

H_m = Altura sobre el nivel del mar

ρ_0 = Densidad del aire a nivel del mar

E_c : Energía Cinética

m: Masa de aire

A: Área

v: Velocidad

r: Radio

t: Tiempo

D: Diámetro

C_p : Coeficiente de Potencia

P_v : Potencia extraíble del viento

λ : Relación de velocidad de punta

ω : Velocidad angular

α : Ángulo Azimut.

B: Ángulo de Inclinación del Panel

n: Es el número de palas

C_T : Valor del torque

V_w : Velocidad de giro del rotor

η_E : Eficiencia electromagnética del sistema

P_E : Potencia de un aerogenerador

I_{sc} : Corriente de Cortocircuito

V_{oc} : Tensión de circuito abierto

V_n : Tensión Nominal

P_M : Potencia Máxima

V_M : Tensión Máxima

I_{mp} : Corriente Máxima

β_{opt} : Inclinación optima

ϕ : Latitud del lugar

C: Capacidad

P_d : Profundidad de descarga

P_{Tn} : Potencia total nominal

$FFUn$: Factor de la frecuencia de funcionamiento Unitario

CIR : Carga instalada

FSn : Factor de simultaneidad

DMU : Demanda máxima unitaria

P : Potencia

I_{diaria} : Consumo de corriente diario

E_{diaria} : Energía máxima diaria

$V_{bateria}$: Tensión de la batería

K_T : Pérdidas totales

K_A : Pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería.

K_B : Pérdidas debido al rendimiento de la batería

K_C : Pérdidas debido al rendimiento del convertidor.

K_R : Pérdidas debido al rendimiento del regulador.

D_{aut} : Días de autonomía

C_{panel} : Capacidad que suministra el panel fotovoltaico.

$I_{campo_fotovoltaico}$: Corriente generada por todo el campo fotovoltaico

I_{Tmax} : Consumo total de corriente máximo

HPS: Horas Pico Solar

I_m = Irradiación medida

I_C = Irradiación constante

η_{Panel} : Rendimiento del panel

N_{panel} : Número de paneles

$I_{regulador}$: Máxima intensidad nominal a la que trabajara el regulador.

C_{BB} : Capacidad del banco de baterías

V_S : Voltaje del Sistema

VB : Voltaje de la Batería

N_{TB} : Número total de baterías

N_{BS} : Número de baterías en Serie

C_{BU} : Capacidad de batería unitaria

N_{BP} : Número de baterías en Paralelo

Cap_{bancoT} : Capacidad total del banco de baterías

P_{equipo} : Potencia de todos los equipos

Cap_{inv} : Capacidad del Inversor

S : Sección del conductor

l : Longitud

k : Conductividad del cobre o aluminio

e : Caída de tensión

V_n : Voltaje nominal

V_0 : Velocidad en el sitio a la altura Z_0 .

Z : Altura a extrapolar.

Z_0 : Altura de medición.

Z_1 : Parámetro de rugosidad

α : Coeficiente de la función exponencial

V_Z = Es la velocidad del viento en el sitio de emplazamiento, a la altura Z

V_{Zr} = Es la velocidad del viento en la estación de referencia, a la altura Z_r

Z = Altura de emplazamiento del aerogenerador.

Z_r = Altura del anemómetro con respecto al suelo en la estación de referencia.

Z_o = Altura de la rugosidad en el sitio de emplazamiento.

Z_1 = Longitud de rugosidad del terreno de la zona de estudio

Z_{or} = Altura de la rugosidad superficial en la estación de referencia.

k : Factor de forma (adimensional)

c : Factor de escala

\bar{V} : Velocidad media

P_d : Potencia disponible

\dot{m} : Masa de aire

ρ : Densidad

F_e : Factor de Potencia eólica

$p(v)$: Probabilidad estadística de que ocurra una velocidad v

A : Superficie de área

h : Altura

P_n : Potencia nominal

FP : Factor de potencia

T_i : Tasa de incremento de las cargas eléctricas

CEU : Consumo Promedio de Energía eléctrica

DET : Demanda Energética

$E_{aerogen}$: Energía generada por el aerogenerador.

P_{Aerg} : Potencia del aerogenerador

$P_{p_{total}}$: Potencia de los paneles total

P_{panel} : Potencia del panel fotovoltaico

$NP_{totales}$: Numero de paneles totales

F_i : Factor de utilización solar del mes

$P_{T_{generadores}}$: Potencia total de los generadores eléctricos

P_{DMU} : Potencia total de la Demanda Máxima Unitaria

I.-TÍTULO

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDO SOLAR –EÓLICO PARA ELECTRIFICACIÓN DOMICILIARIA.

II.-RESUMEN

En la presente investigación se realiza un estudio sobre la implementación de un sistema híbrido de suministro de energía eléctrica, de origen fotovoltaico y eólico, para la alimentación de una vivienda aislada de la red de suministro de energía eléctrica.

En el punto V Revisión de Literatura los dos primeros capítulos consta la fundamentación basada en la investigación documental bibliográfica.

Su desarrollo se basó en base al análisis de las características y funcionamiento de los diferentes equipos solares y eólicos, en los distintos mercados existentes principalmente en nuestro país se determinó cuál de ellos presenta el mejor rendimiento a lo largo del año.

Los capítulos III y IV de Revisión de Literatura comprenden la metodología y el análisis de resultados. En los cuales evaluamos los requerimientos de consumo energético en la vivienda objeto de estudio además, se desarrolló la extrapolación espacio –temporal de datos, es decir se ajustó los datos a las circunstancias de altura, tiempo condiciones de viento y entorno del lugar de estudio. Teniendo los datos de la velocidad del viento, ajustados a las condiciones reales de la zona de estudio se determina los parámetros de la ley de densidad de probabilidad de Weibull, la misma que facilita una expresión matemática para predecir el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo y a partir de esto determinar el potencial eólico disponible en la zona de estudio.

En base de la determinación del potencial energético del sol y el viento de la localidad, proyectamos el sistema híbrido solar-eólico que por parte del aerogenerador de 300 W de potencia generara 2400 Wh/día, esto es un 74% del consumo del consumo total que es 3250 Wh/día, y la energía diaria a generar con los paneles fotovoltaicos es del 26% siendo 850Wh/día, con el uso de 5 paneles fotovoltaicos, un banco de 5 baterías conectadas en paralelo, 1 inversor de 12V-2500W y un controlador para evitar la sobre carga y descarga total de las baterías de almacenamiento las que no deben sobrepasar de un 60% en su descarga con la finalidad de tener una vida útil de 25 años. Los datos obtenidos sirvieron para el análisis e interpretación de resultados.

Con este proyecto se presenta una solución al suministro de energía eléctrica a viviendas rurales aisladas con potencial eólico y fotovoltaico, que minimice el impacto ambiental y se adapte a la normativa vigente.

ABSTRACT

In the present investigation a study on the implementation of a hybrid system of electric power supply, photovoltaic and wind power, for supplying housing isolated from the mains electricity is made.

Section V Literature Review the first two chapters has the merits based on documentary research literature.

Its development was based on the basis of analysis of the characteristics and performance of different solar and wind equipment in the various existing markets mainly in our country which one has the best performance over the year was determined.

Chapters III and IV of Literature Review include the methodology and analysis of results. In which we evaluate the energy consumption requirements in housing objective study also spatiotemporal data extrapolation developed data the circumstances of height , weather conditions and wind environment of the study site was adjusted. Taking data from wind speed adjusted to the actual conditions of the study area the parameters of the law of Weibull probability density is determined , it facilitates a mathematical expression to predict the behavior of the wind speed at over a certain period of time and from this determine the wind potential available in the study area.

Based on the determination of the energy potential of the sun and wind of the town , we project the solar-wind hybrid system by the wind turbine will generate power 300 W 2400 Wh / day , 74 % of consumption in total consumption which is 3250 Wh / day, and daily energy with photovoltaic panels generate is 26% being 850Wh/day, with the use of 5 photovoltaic panels , a bank of 5 batteries connected in parallel, use 1 de12v 2500W investors , we use a controller to prevent over charging and deep discharge storage batteries which must not exceed 60% on your download in order to have a useful life of 25 years. The data obtained were used for the analysis and interpretation of results.

With this project a solution to the supply of electricity to isolated rural homes with wind and photovoltaic potential that minimizes environmental impact and meets current regulations energy is presented.

III.- INTRODUCCIÓN

La necesidad de energía es una constatación desde el comienzo de la vida. El ser humano requiere de determinados servicios para satisfacer sus necesidades, para obtenerlos hace uso de la energía la cual es obtenida a través de diversas fuentes, como son energía renovable y no renovable, las mismas de forma periódica se ponen a disposición del hombre, este es capaz de aprovechar y transformar en energía útil.

El estudio de tecnologías limpias nos permite al aprovechamiento de los recursos renovables para satisfacer las necesidades energéticas requeridas en este proyecto, disminuyendo los daños y la contaminación de nuestro medio ambiente provocados por los métodos tradicionales de producción de energía.

Por lo que el principal objetivo es diseñar un sistema autónomo de electrificación híbrido para suministro de energía doméstica con recursos eólicos y solares como principales fuentes de energía y además fomentar el uso de energías limpias, ya que se ha tenido en cuenta que el área geográfica en la cual se sitúa la ciudad de Catamayo, provincia de Loja, posee características climáticas óptimas.

La utilización de estos recursos en el diseño de un sistema híbrido optimizará las mejores condiciones del viento y el sol, siendo una excelente alternativa en la zona, por cuanto existe una buena incidencia de rayos solares y vientos prolongados, complementándose entre sí. Los días nublados, no permiten el aprovechamiento adecuado de luz solar, mientras que son ideales para los aerogeneradores. En cambio, los días soleados con poco viento, son adecuados para las placas fotovoltaicas.

La aplicación de tecnologías limpias renovables, está orientado a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá a una vivienda ubicada en la ciudad de Catamayo, que no cuenta con el suministro de energía eléctrica, debido a que las redes de distribución de energía eléctrica de la E.E.R.S.S.A se encuentran retiradas de dicha vivienda. Para hacer uso del suministro de la E.E.R.S.S.A se tendría que hacer un gasto significativo, por lo que se piensa en el diseño de un sistema de electrificación híbrido solar-eólico para dicha vivienda.

Este trabajo está encaminado al diseño y selección de equipos para un sistema híbrido aprovechando los recursos eólicos y solares de la zona, el mismo que servirá de apoyo para trabajos de investigación futuros.

IV.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico para la electrificación domiciliaria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la demanda energética que es necesaria satisfacer en la vivienda objeto de estudio.
- Determinar por diferentes métodos el potencial solar y eólico en la zona de estudio.
- Dimensionar los diferentes componentes del sistema híbrido solar-eólico.

V.- REVISIÓN DE LITERATURA

CAPÍTULO I: LAS ENERGÍAS RENOVABLES

A medida que una sociedad es más desarrollada consume más energía. Pero la energía que se obtiene del carbón, del petróleo y del gas no se renueva y se va agotando año tras año.

Lo inteligente es ir aprovechando otras fuentes de energía que están a nuestro lado: viento, sol, residuos, etc. las cuales son renovables año tras año, no se agotan y además no contaminan el ambiente, lo que significa una doble ventaja para los ciudadanos.

Energías Renovables: SOLAR – HIDRÁULICA – EÓLICA – BIOMASA – MAREOMOTRIZ Y ENERGÍA DE LAS OLAS – GEOTÉRMICA
Energías no Renovables: CARBÓN – PETRÓLEO – GAS NATURAL

Tabla 1.1: Clasificación de las energías renovables y no renovables
Fuente: Autor

El consumo de energía es necesario para el desarrollo económico y social. Por lo que se recomienda, utilizar fuentes energéticas diferentes de las tradicionales por diversas razones, como por ejemplo:

- ❖ Las energías no renovables se van agotando
- ❖ Pueden producir impactos negativos en el medio ambiente
- ❖ No aseguran el abastecimiento energético desde el exterior

Las energías renovables proceden del sol, del viento, del agua de los ríos, del mar, del interior de la tierra, y de los residuos. Hoy por hoy, constituyen un complemento a las energías convencionales fósiles(carbón, petróleo, gas natural) cuyo consumo actual, cada vez más elevado, está provocando el agotamiento de los recursos y graves problemas ambientales.



Figura 1.1: Energías Renovables

Se pueden destacar las siguientes ventajas de las energías renovables respecto a las energías convencionales:

	E. Renovables	E. Convencionales
Ventajas medioambientales	Las energías renovables no producen emisiones de CO_2 y otros gases contaminantes a la atmósfera.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) si los producen.
	Las energías renovables no generan residuos de déficit tratamiento.	La energía nuclear y los combustibles fósiles generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medioambiente.
	Las energías renovables son inagotables.	Los combustibles fósiles son finitos.
Ventajas estratégicas	Las energías renovables son autóctonas. Las energías renovables disminuyen la dependencia exterior.	Los combustibles fósiles existen sólo en un número limitado de países. Los combustibles fósiles son importados en un alto porcentaje.
Ventajas socioeconómicos	Las energías renovables crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.	Las energías tradicionales crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio.
	Las energías renovables han permitirán a Ecuador desarrollar tecnologías propias.	Las energías tradicionales utilizan en su gran mayoría tecnología importada.

Tabla 1.2: Ventajas de las energías renovables

1.1 Clasificación de las energías renovables

Dependiendo de los recursos naturales utilizados, se distinguen distintos tipos de energías renovables.

1.1.1 Energía Solar

Casi toda la energía disponible en el planeta tiene tres fuentes fundamentales: el sol en forma directa o indirecta (combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares); el proceso de formación cósmica que precedió a la formación del sistema solar actual (energía nuclear y geotermia) y, finalmente, una pequeña parte de la energía disponible proviene de los movimientos lunares.

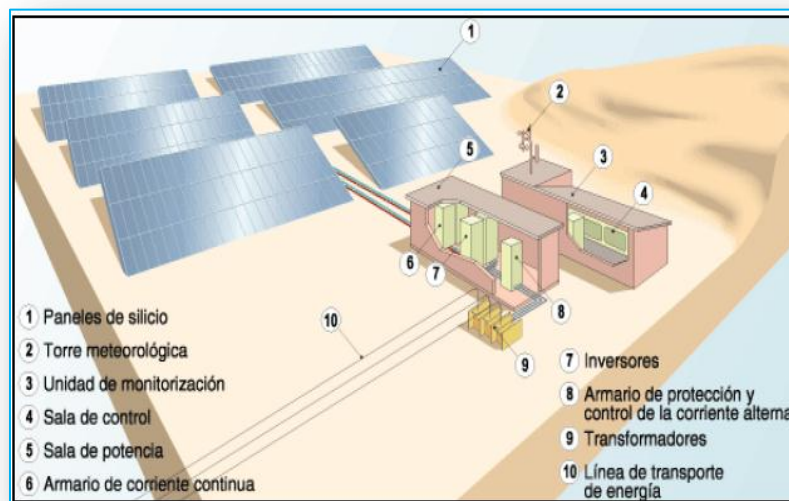


Figura 1.2 Central Fotovoltaica

Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar:

- **Energía Solar Térmica.**

El aprovechamiento de la Energía Solar Térmica consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.

- **Energía Solar Fotovoltaica**

El aprovechamiento de la Energía Solar Fotovoltaica se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico. Esta transformación se lleva a cabo mediante “células solares” que están fabricadas con materiales semiconductores (por ejemplo, silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar.

Para este proyecto es de gran importancia la energía solar fotovoltaica ya que es la que obtenemos por medio de paneles solares fotovoltaicos expuestos al Sol. Esta energía es a nivel mundial la más difundida para electrificación en zonas remotas donde la red pública no ha llegado. La energía solar fotovoltaica en un enfoque económico, es la más viable para la generación de electricidad en zonas remotas como las que existen en Ecuador específicamente en la provincia de Loja.

Un sistema fotovoltaico consta de los siguientes elementos:

- ❖ **Un generador solar**, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la insolación luminosa del sol y la transforma a corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- ❖ **Un acumulador**, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- ❖ **Un regulador de carga**, cuya misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- ❖ **Un inversor** (opcional), que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en el acumulador, en corriente alterna de 120/220V.
- ✓ Una instalación solar fotovoltaica sin inversor, utiliza una tensión de 12VCC.
- ✓ Una instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 120/220 VCA.

- **El Sol**

El sol es una fuente inagotable de energía, siendo el mismo la fuente de casi toda la energía terrestre. Él permite la fotosíntesis que transforma la energía de los rayos solares en energía química, indispensable para la vida vegetal y animal. La fotosíntesis también ha permitido la formación de los combustibles fósiles. El sol está en la génesis de los vientos y es el motor que mueve los ciclos hidrológicos. En forma directa, la energía solar aparece bajo la forma de energía solar propiamente dicha, hidráulica o de energía eólica.

Es sorprendente el hecho que la irradiación solar en tan solo un segundo, es mucho mayor a toda la energía consumida por la humanidad en toda su historia. Una parte de toda esta energía llega a la tierra en forma de radiación electromagnética, compuesta de rayos de diferentes longitudes de onda, que viajan a una velocidad de $3 \times 10^5 \text{ Km/s}$; la otra parte irradia el exterior de la atmosfera con una potencia de $1.73 \times 10^{14} \text{ kW}$. El sol, visto desde la tierra, rota alrededor de su eje cada cuatro semanas y tiene una edad estimada de 5 mil millones de años; tiene un diámetro de $1.39 \times 10^9 \text{ m}$ y está situado a $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ de distancia a la tierra, que equivale a 8 minutos de trayecto a velocidad luz. Estas características físicas se pueden observar en la figura:

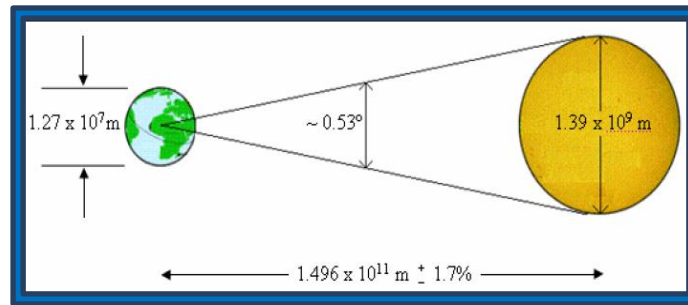


Fig. 1.3: Características físicas del sol

- **La Radiación Solar**

Es la energía electromagnética (del sol) emitida, transmitida o recibida, podemos considerarla también como una lluvia de pequeñas partículas llamadas fotones. Los fotones viajan a la velocidad de la luz ($c = 300.000\text{Km/s}$).

La energía solar que alcanza la superficie de la tierra es muy irregular variando no tan solo su insolación máxima diaria si no también la radiación solar que se atenúa según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa, siendo así, que solo un 47% de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie de la tierra, un 31% lo hace directamente y el 16% después de ser dispersada por polvo, vapor de agua y moléculas de aire. El 53% de energía restante es reflejada al espacio o absorbida por la atmósfera.

La energía solar al pasar las diferentes capas de la atmósfera, se ve expuesta a diferentes fenómenos (absorción, reflexión y refracción); llegando a la superficie terrestre en forma efectiva entre 100 y $400\text{ W} / \text{m}^2$

- **Irradiancia y Constante Solar**

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como irradiancia (I_s). Esta magnitud se expresa en W / m^2 . Se conoce como constante solar (S_s) al valor de Irradiancia en un plano exterior a la atmósfera y perpendicular a los rayos del sol para una distancia media tierra sol. Según mediciones hechas por la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) el valor de la constante solar es de $1.3535\text{ W} / \text{m}^2 (\pm 1.6\%)$

Para especificar la Radiación Solar Terrestre, se define los siguientes componentes:

- **Radiación estratosférica:** Fuera de la atmósfera.
- **Radiación Solar Directa (HD):** Es aquella que incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

- **Radiación Solar Difusa (Hd):** Parte de la radiación que atraviesa la atmosfera es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes si no de las partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.
- **Radiación Solar Reflejada Hr (albedo):** Es la radiación reflejada por la superficie terrestre. Una superficie inclinada puede recibir, demás, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales , fenómeno conocido como albedo, cuyos porcentajes dependiendo del terreno se puede ver en la tabla: 1.3. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

Superficie	Albedo %
Suelo negro	14
Bosque coníferas	15
Bosque tropical	15-20
Cultivos verdes	15-25
Desierto	25-30
Agua	05
Nieve	80-95
Hielo	50-70
Nube	36-90
La Tierra	30

Tabla 1.3: Albedo de distintas superficies

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

1. De las condiciones meteorológicas.
2. De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal.
3. De la presencia de superficies reflectantes.

En función del lugar, varía también, la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

- ✓ **Radiación Global:** es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones; Si llamamos (*HD*) a la radiación directa, (*Hd*) a la dispersa y *Hr* a la reflejada, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$HG = HD + Hd + Hr$$

Ecuación 1.1

En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Los distintos tipos de colectores solares aprovechan de forma distinta la radiación solar. Los colectores solares planos, por ejemplo, captan la radiación total (directa + difusa), sin embargo, los colectores de concentración solo captan la radiación directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, en el interior, alejadas de las costas. Los colectores solares planos pueden colocarse en cualquier lugar, siempre que la insolación sea suficiente.

(Herrera, 2011)

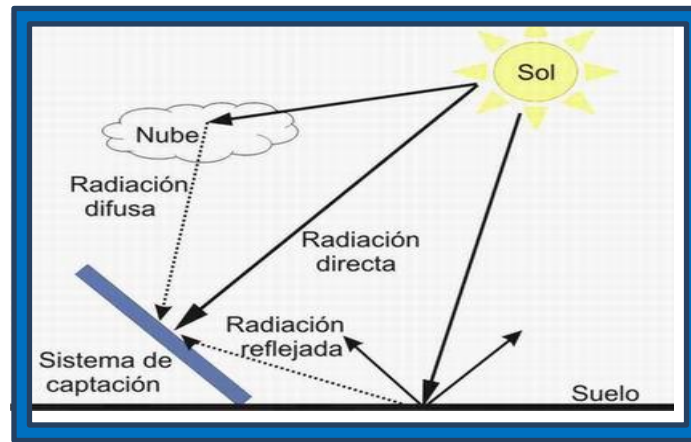


Fig. 1.4: Componentes de la radiación solar terrestre total.

En función del lugar varía la relación entre los tipos de radiación. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente reflejada.

Para estudiar la inclinación más adecuada con la que se debe orientar las superficies que captan la energía solar es necesario precisar la trayectoria solar y la irradiación en el lugar para diferentes temporadas. El sistema habitual para definir la trayectoria solar es la de coordenadas polares que tiene el origen en la posición de la superficie captadora. El plano fundamental es el horizontal, tangente a la superficie terrestre. La perpendicular a este plano en dirección a la semiesfera celeste superior define la posición del lugar o zenit local. En la dirección opuesta, a través de la Tierra, se sitúa el nadir local. Las direcciones principales sobre el plano horizontal son la Norte-Sur, intersección con el plano meridiano del lugar, y la perpendicular a ella Este-Oeste, intersección con el plano denominado primer vertical. En este sistema se puede definir los siguientes parámetros que se pueden observar en la Figura 1.5.

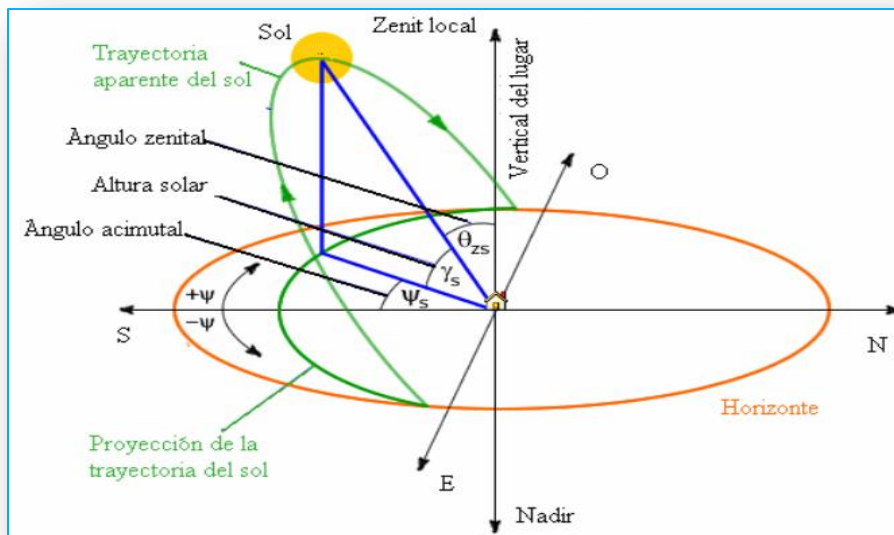


Figura1.5: Posición del Sol

- ✓ Latitud del lugar (λ). Es la complementaria del ángulo formado por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. Es positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur.
- ✓ Meridiano del lugar. Circulo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir.
- ✓ Horizonte. Lugar geométrico de los puntos con altura 0
- ✓ Ángulo zenital (θ_{zs}). Es el ángulo formado por la recta vector Sol-Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.
- ✓ altura solar (γ_s). Ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. Ángulo complementario del ángulo zenital.
- ✓ ángulo acimutal (ψ_s): Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección Sur y es positivo de 0° a 180° hacia el Oeste y negativo hacia el Este de 0° a -180° .

La posición óptima se obtiene cuando la superficie está orientada hacia el ecuador, con ángulo de inclinación a la latitud del lugar. La orientación hacia al ecuador maximiza la radiación solar captada recibida durante el día. La inclinación igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de la dirección de rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie recorrida.

1.1.2 Energía Eólica

Desde hace mucho tiempo el hombre ha aprovechado la energía del viento, “energía eólica” para muy diversas aplicaciones: para molinos, mover barcos, sacar agua de pozos, aventar el grano y más. Con el transcurso del tiempo y el avance de la tecnología la energía eólica se ha convertido en una de las energías renovables más competitivas, en la actualidad. Los sistemas eólicos utilizan

la energía cinética contenida en el viento para producir electricidad mediante los denominados aerogeneradores.

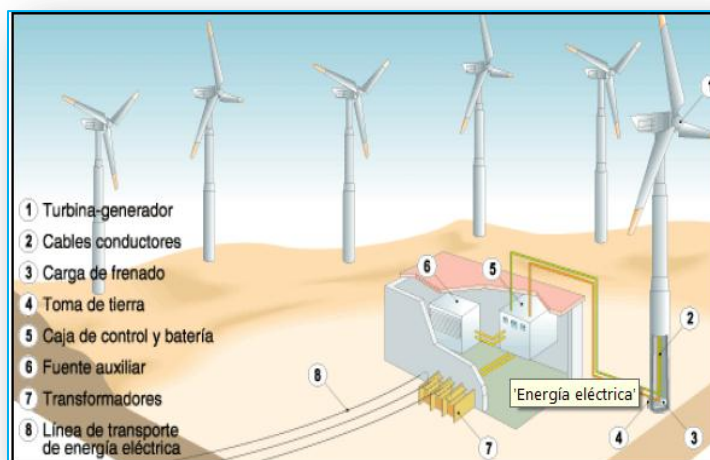


Figura 1.6: Central Eólica

Existen dos tipos de instalaciones eólicas:

- ❖ Aisladas, para generar electricidad en lugares remotos para autoconsumo. Es muy común que estas instalaciones vayan combinadas con paneles fotovoltaicos
- ❖ Parques eólicos, formados por un conjunto de aerogeneradores, para venta a la red de la electricidad generada.

El desarrollo tecnológico actual, así como un mayor conocimiento de las condiciones del viento en las distintas zonas, está permitiendo la implantación de parques eólicos conectados a la red eléctrica en algunas regiones del Ecuador.

El uso de toda fuente energética presenta tanto ventajas como desventajas, por lo que es importante, antes de emprender una utilización, efectuar un balance entre los pros y contras de una u otra posible fuente de energía.

La energía eólica, por supuesto, no puede escapar a esta premisa. Como principales ventajas se pueden mencionar:

- Es inagotable
- No es contaminante
- Es de libre acceso (gratuita)
- Se puede aprovechar en la medida de las necesidades del momento

En cambio las mayores desventajas indican:

- Se encuentra dispersa
- Es intermitente y aleatoria (no continua)

La condición que se puede considerar normal en la mayor parte del planeta es que las características del viento no resulten suficientemente adecuadas para su utilización como fuente energética importante, salvo para aprovechamientos de pequeña potencia. No obstante, existen regiones donde las condiciones de ocurrencia del recurso energético son constantes.

Desde el punto de vista económico, aun cuando la inversión inicial necesaria para la instalación de los sistemas de captación eólica es mayor que la requerida para un sistema diesel, los equipamientos eólicos tienen bajos costos de mantenimiento, "combustible" gratis y una vida útil prolongada (20 años o más), lo que les permite competir cada vez más eficazmente con otras fuentes energéticas.

- **Fuerza del Viento**

Los vientos tienen su origen en la diferencia de temperatura y presión que se produce cuando el aire caliente sobre la zona ecuatorial se mueve hacia los trópicos donde se encuentran los aires más fríos. Cuando el aire llega a las latitudes de 30 grados en los trópicos, se detiene debido al movimiento de la tierra y se crean diferencias de presión que aceleran el aire en la atmósfera y lo hacen descender hacia la superficie creando los vientos.

Estos fenómenos meteorológicos se producen a los 11 km de altura sobre la superficie de la tierra, en la tropósfera y los vientos se llaman globales. La dirección del viento en las diferentes latitudes de la Tierra se muestra en la Fig. 1.7. Para el estudio de un aerogenerador el principal interés son los vientos de superficie que se producen por efecto de la rugosidad de la superficie de la tierra hasta los 100 metros de altitud.

(Iván Montalvo, 2011)

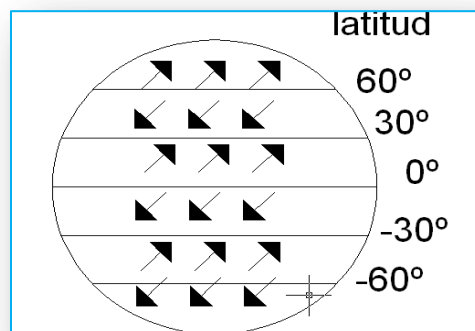


Fig. 1.7 Dirección del viento en la tierra

Fuente:(Iván Montalvo, 2011)

- **Densidad del Aire, Presión y Temperatura.**

La fuerza que toma un aerogenerador proviene del aire; mientras más pesado el aire más fuerza se podrá entregar. El aire cambia de densidad de acuerdo con la temperatura y la presión según la relación:

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

ρ = Densidad del aire en kg/m³ **Ecuación 1.2**

R = Constante del gas = 8,31 [J K⁻¹ mol⁻¹] = 287 [J kg⁻¹ K⁻¹]

T = Temperatura absoluta en °K

P = Presión en Pascal [Pa]

La densidad y la temperatura cambian con la altura sobre el nivel del mar H_m de acuerdo a las relaciones empíricas:

Densidad:

$$\rho = \rho_0 - 1.194 * 10^{-4} * H_m \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$
Ecuación 1.3

Temperatura:

$$T = 15.5 - \frac{19.83}{3.048} * H_m [^{\circ}C]$$
Ecuación 1.4

Dónde:

H_m = Altura sobre el nivel del mar en metros

ρ_0 = Densidad del aire a nivel Del mar = 1,225 kg/m³

ρ = Densidad del aire a la altura H_m en kg/m³

T = Temperatura a la altura H_m en °C

(Iván Montalvo, 2011)

- **Potencia del Viento**

Tomando en cuenta una masa de aire m de área A y densidad ρ que se desplaza a una velocidad v . La masa de aire por unidad de tiempo es $m/t = \rho A v$ y su energía viene dada por su energía cinética $E_c = 1/2(m \times v^2)$. Reemplazando m en E_c =tenemos:

$$E_c = \frac{1}{2}(\rho A v v^2)$$
Ecuación 1.5

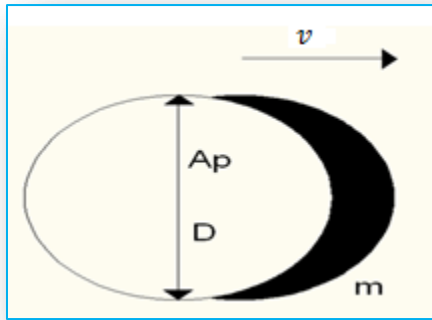


Fig. 1.8 Energía cinética del viento

Fuente: (Iván Montalvo, 2011)

Como Potencia = Energía / tiempo ($P = E_c/t$), entonces la potencia total extraíble del viento es:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Ecuación 1.6

Dónde:

P_v = Potencia extraíble del viento en W

ρ = Densidad del aire en kg/m^3

A = Área en m^2

v = Velocidad del viento en m/s

Podemos observar que la potencia del viento es una función del *cuadro de la velocidad*; es decir, que si la velocidad se duplica, la potencia es ocho veces más ($2 \times 2 \times 2 = 8$).

Igualmente, si escribimos el área como función del diámetro $A = \pi D^2 / 4$ podemos ver que la potencia es proporcional al cuadrado del diámetro. Al incrementar el diámetro al doble, la potencia es cuatro veces más. La velocidad del viento y el diámetro del rotor son los dos parámetros que se maneja en la producción de energía de un aerogenerador.

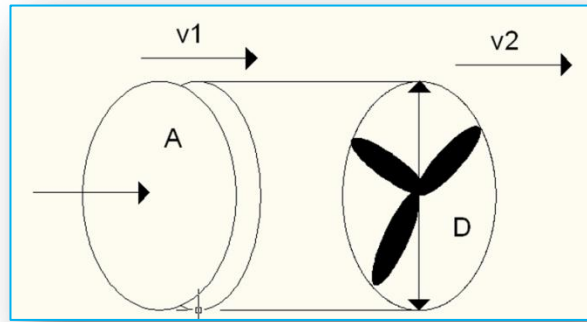


Fig. 1.9: Cambio de velocidad del aire en el rotor

Fuente:(Iván Montalvo, 2011)

Si toda la energía cinética se convierte en movimiento del rotor el viento se pararía. Y, en este caso, ¿el aire a donde se va? Sabemos que esto no es posible, así es que debe haber un límite a la cantidad de energía que puede entregarse al rotor, y viene determinado por la *Ley de Betz*. Si en el camino del viento a velocidad v_1 se interpone un aerogenerador de diámetro D , se produce un frenado del viento reduciendo su velocidad a v_2 ya que el volumen se debe mantener constante a ambos lados del rotor. El flujo de viento toma una forma de botella con la estela o parte más ancha atrás del rotor. Se define un *Coficiente de Potencia* C_p que es una función de (v_2/v_1) , cuando $C_p = 1/3$ la relación P_T/P_v es máxima y podemos concluir que la máxima potencia que el viento puede entregar a un aerogenerador de rotor giratorio es $16/27$ o $0,5926$.

La ecuación de la potencia del aerogenerador es:

$$P_T = C_p P_v = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad \text{Ecuación 1.7}$$

Valores de C_p para aerogeneradores comerciales están en el orden de $0,4$.

(Iván Montalvo, 2011)

1.1.3 Energía Minihidráulica

El aprovechamiento de la energía potencial del agua procedente de un salto para producir energía eléctrica es lo que se conoce como Energía Hidráulica.

El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Se considera que este tipo de energía es renovable cuando la potencia es inferior a 10 MW.

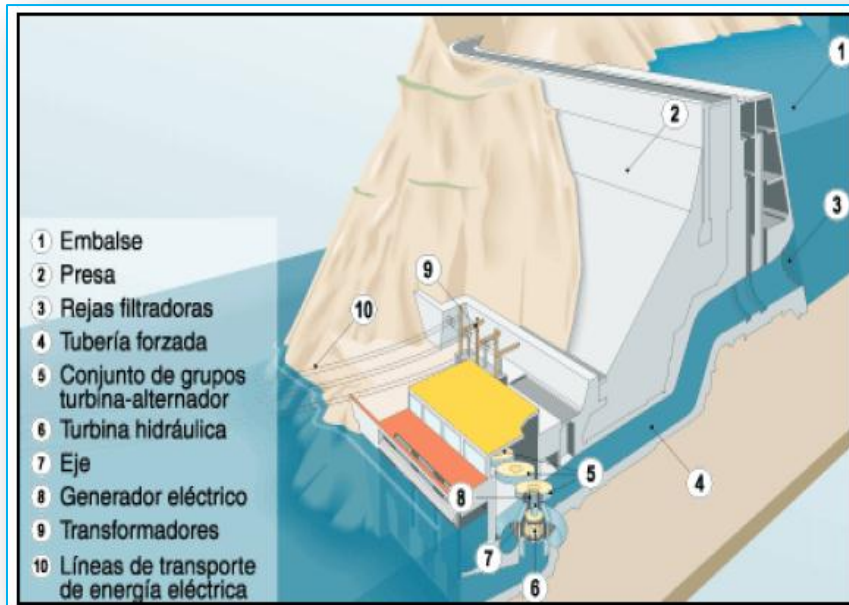


Figura 1.10: Central Hidroeléctrica

Existen fundamentalmente dos tipos de centrales hidroeléctricas:

- ❖ Centrales de agua fluyente: Aquellas que captan una parte del caudal circulante por un río y lo conducen a la central para ser turbinado. Después, este caudal es devuelto al cauce del río.
- ❖ Centrales a pie de presa: Aquellas situadas aguas abajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines como abastecimiento de agua a poblaciones o riegos. Tienen la ventaja de almacenar la energía (el agua) y poder emplearla en los momentos en los que más se necesite.

Los principales elementos que componen una central de generación minihidráulica son:

- **Captación:** Punto donde se deriva el agua que se utilizará con fines energéticos.
- **Filtro y reja:** Para impedir la entrada de hojas y otros residuos a la tubería.
- **Tubo de presión:** Tubo o manguera de diámetro adecuado según el caudal y capaz de resistir la presión del desnivel.
- **Válvula de paso:** Sirve para regular la carga; En instalaciones pequeñas (unifamiliares) el único sistema válido para regular la carga es el manual (cerrando la válvula de paso), o bien la disipación del excedente a través de una resistencia adecuada (mediante un dispositivo electrónico automático).
- **Turbina:** De distintas tipologías, pero provista de rodete, inyectores y generador.

1.1.4 Energía de la Biomasa

La biomasa es una fuente energética basada en el aprovechamiento de materias orgánicas de origen vegetal o animal, incluyendo los productos y subproductos resultantes de su transformación.

Bajo la denominación de biomasa se recogen materiales energéticos de muy diversas clases: residuos forestales, residuos agrícolas leñosos y herbáceos, residuos de procesos industriales diversos, cultivos energéticos, materiales orgánicos contenidos en los residuos sólidos urbanos, biogás procedente de residuos ganaderos o de residuos biodegradables de instalaciones industriales, de la depuración de aguas residuales urbanas o de vertedero, etc. Pueden también incluirse bajo la denominación de biomasa, los biocombustibles, que tienen su principal aplicación en el transporte.



Figura 1.11 Central Biomasa

Las aplicaciones de la biomasa se pueden englobar en dos grupos:

- ❖ Aplicaciones domésticas e industriales que funcionan mediante la combustión directa de la biomasa.
- ❖ Aplicaciones vinculadas a la aparición de nuevos recursos y nuevas técnicas de transformación, como la gasificación y la pirolisis de la biomasa.

1.1.4 Energía Mareomotriz y de las Olas

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos (oleaje, mareas y gradientes térmicos).

La energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo) se aprovecha en las centrales mareomotrices, haciendo pasar el agua a través de turbinas hidráulicas.

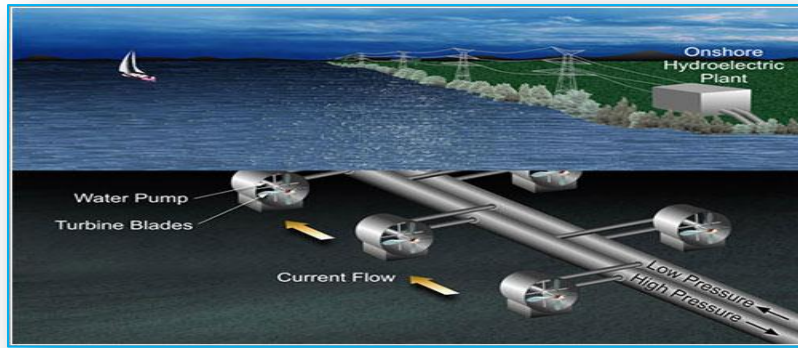


Figura 1.12: Central Mareomotriz

La energía de las olas es producida por los vientos y resulta muy irregular. Esto ha llevado a multitud de tipos de máquinas para su aprovechamiento.

Por último, la conversión de energía térmica oceánica es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a 100 m de profundidad. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20 °C. Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista medioambiental.

1.1.5 Energía Geotérmica

La energía geotérmica es la manifestación de la energía térmica acumulada en rocas o aguas que se encuentran a elevada temperatura en el interior de la tierra.

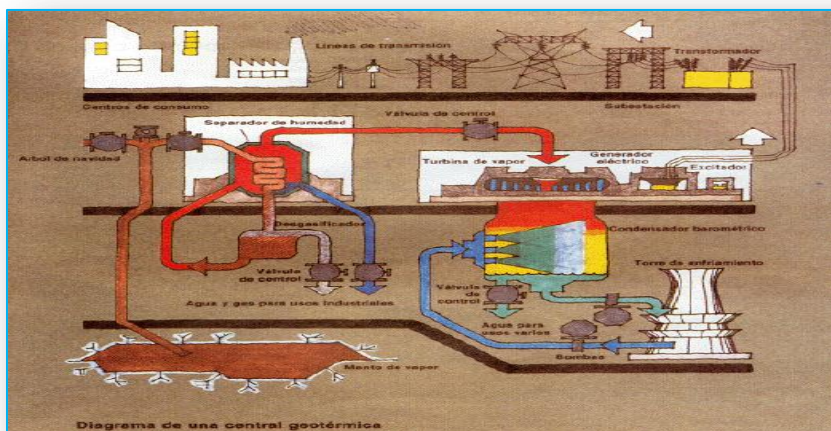


Figura 1.13: Central Geotérmica

Para el aprovechamiento en zonas con condiciones térmicas especiales, por ejemplo las zonas volcánicas, se hace circular en ellas un fluido que transporta hasta la superficie el calor acumulado en las zonas calientes.

La energía generada en función de su temperatura (alta, media o baja) es aprovechada, bien para producir electricidad, o bien para el calentamiento de agua y calefacción.

La energía geotérmica tiene la principal ventaja de que su impacto ambiental es mínimo, y tiene rendimientos que le permiten competir con el petróleo. Pero sus principales desventajas son que requieren de grandes inversiones y que los campos geotérmicos son relativamente escasos y muchas veces se ubican en zonas desfavorables

1.2 Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos para la generación de energía pueden ser definidos como la asociación de dos o más fuentes de energía con el objetivo básico de generar energía eléctrica, para una determinada carga aislada de la red o integrada al sistema.

Los sistemas híbridos son normalmente compuestos por fuentes renovables cuyos recursos son prácticamente inagotables, cuando la interconexión a la red eléctrica de una distribución es distante, se complementan con grupos de generación con motores a combustión constituyéndose en una concreta opción, compatible a nivel medio ambiental y social.

Actualmente se proyectan sistemas híbridos en los que las fuentes renovables y el almacenamiento proporcionan hasta un 80–90 % de la necesidad energética, dejando al diesel solo la función de emergencia.

1.2.1 Configuración de los Sistemas Híbridos

Los sistemas híbridos nacen de la unión de dos o más sistemas de generación, uno convencional y uno que utilice fuentes renovables, para garantizar una base de continuidad del servicio eléctrico. La configuración típica de un sistema híbrido es la siguiente:

- Una o más unidades de generación de fuentes renovables: eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica
- Una o más unidades de generación convencional: diesel
- Sistema de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico
- Sistemas de condicionamiento de la potencia: inversor, rectificadores, reguladores de carga
- Sistema de regulación y control

1.2.2 Ventajas comparativas

La principal ventaja de un sistema híbrido es la posibilidad del aprovechamiento conjunto y optimizado de los recursos locales disponibles, pudiendo garantizar altos niveles de calidad, confiabilidad y rendimiento. Con reducción de costos en la instalación y operación del sistema.

Los sistemas híbridos representan actualmente una solución viable para las exigencias de energía eléctrica en áreas aisladas o no electrificadas. En el pasado, de hecho, se utilizaban solo generadores diesel, que, en la modalidad operativa de baja carga, muestran una eficiencia reducida en el funcionamiento, altos costes de mantenimiento y un breve tiempo de vida de la instalación. Los sistemas híbridos permiten reducir esos problemas y aprovechar los recursos renovables existentes en el territorio, constituyendo una opción viable y favorable tanto ambiental como socialmente.

1.2.3 Aplicaciones de los Sistemas Híbridos

Las aplicaciones más importantes de los sistemas híbridos, se las puede resumir en las siguientes:

- ❖ Sistemas para usuarios o comunidades aisladas

Se trata de sistemas hasta un máximo de 100 kW de potencia

- ❖ Sistemas híbridos insertados a redes

Se trata de sistemas renovables instalados en redes locales de media tensión, para potencias más o menos elevadas, con el fin de reducir las horas de funcionamiento de los generadores diesel existentes, ahorrando combustible y reduciendo las emisiones contaminantes.

- ❖ Sistemas combinados completamente renovables

Considerando las características intermitentes de las fuentes utilizadas estos sistemas se pueden utilizar en aplicaciones conectadas a la red. Estos sistemas unen las tecnologías fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica.

1.2.4 Clases de Sistemas Híbridos

La siguiente clasificación se la realiza en función del objetivo final de la presente tesis.

A menudo el dimensionado de la instalación fotovoltaica o de la instalación eólica, por si sola, está por debajo del margen de seguridad que garantizaría la cobertura del suministro eléctrico todo el año, ya sea por razones económicas o bien porque se dispone de otra fuente de generación eléctrica que complementará la generada por la instalación.

Aun siendo el dimensionado de las instalaciones correcto, se producen puntas de consumo muy por encima de lo habitual, hay un período anormalmente largo de tiempo nublado o sin aire para mover el aerogenerador o simplemente existe necesidades inaplazables como el bombeo de agua, que hay que garantizar en cualquier situación. Por tanto, es recomendable disponer de algún sistema de generación auxiliar que permita hacer frente con seguridad a los períodos anteriormente citados, garantizando un estado de carga aceptable de las baterías y una prolongación de su vida útil.

En relación con lo indicado anteriormente, se puede clasificar a los sistemas híbridos de la siguiente manera:

- Los sistemas fotovoltaicos con sistemas hidráulicos
- Los sistemas fotovoltaicos con grupos electrógenos de motor a combustión.
- Los sistemas fotovoltaicos con sistemas eólicos.

1.2.4.1 Sistema Solar Fotovoltaico con Mini hidráulica

Cuando se plantea la posibilidad de un sistema mixto fotovoltaico e hidráulico es porque el potencial hidráulico por sí solo no es suficiente para cubrir toda la demanda de energía, ya sea porque es pequeño o bien porque es de régimen estacional o fluctuante.

En gran número de zonas, la disponibilidad de agua corriente varía según la época del año, soliendo ser abundante durante el período invierno. Por ello, la energía hidráulica se complementa perfectamente con la fotovoltaica, que tiene su máxima disponibilidad en verano.

Para poder utilizar la energía hidráulica no hay que estar situado necesariamente al lado de un río. A veces basta con un pequeño torrente, riachuelo o incluso una fuente. Un caudal pequeño puede ser suficiente, siempre que se disponga de un desnivel adecuado.

Hay modelos de turbinas que están diseñadas para determinadas combinaciones de desnivel y caudal. Las máquinas más pequeñas (y por tanto, más baratas) son las que trabajan con poco agua y con grandes desniveles.

1.2.4.2 Sistema Solar Fotovoltaico con un grupo electrógeno de pequeña potencia

Este sistema no utiliza solo fuentes renovables, pero también es el único que puede generar electricidad en cualquier momento, en cualquier lugar donde se necesite y con una gama de potencias muy amplia, cuando no existe posibilidad de conexión a la red eléctrica normal de una distribuidora.

Es el sistema idóneo para funcionar como sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación diseñada únicamente con un sistema fotovoltaico, o bien para cubrir determinados consumos que, por su elevada potencia, se prefiere que no pasen a través del mismo.

La potencia del grupo electrógeno dependerá de la función a la que va destinado. Siendo la potencia mínima, la suma de las potencias de los aparatos que son su carga.

1.2.4.3 Sistema Solar Fotovoltaico con Energía Eólica

Se contempla esta posibilidad, cuando en el lugar de la instalación hay presencia de viento y sol. Estas condiciones no se dan en todas partes, por lo que es necesario conocer con detalle el potencial eólico y solar de un lugar antes de decidirse por esta opción.

❖ Esquema de la instalación

Uno de los sistemas de generación está formado por un aerogenerador que, a través de un regulador de carga, se encarga de suministrar la energía producida a las baterías. En paralelo, se encuentra un sistema modular de paneles fotovoltaicos que mediante su regulador de carga se conectan también a la batería, donde esta energía acumulada pasa por el inversor cambiando el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario

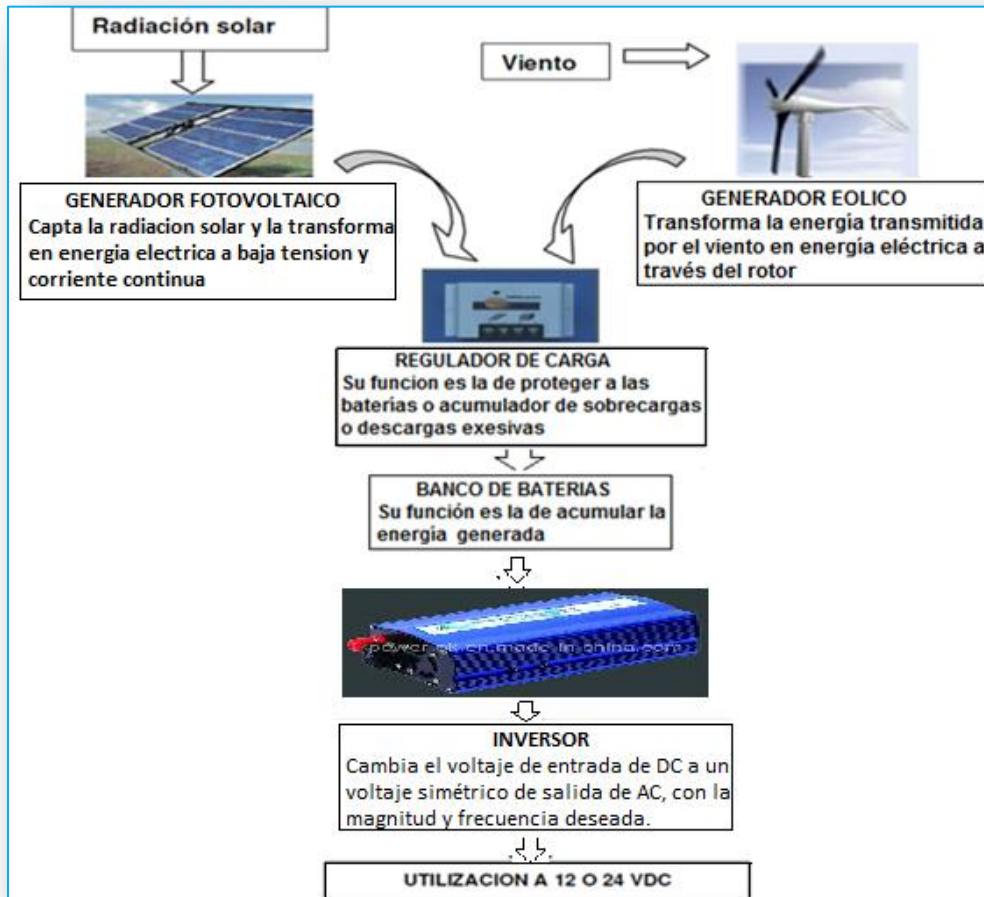


Fig. 1.14 Esquema de un sistema híbrido eólico-solar

1.2.4.4 Sistema Solar Fotovoltaico con Energía Eólica y Grupo Electrónico

Este tipo de sistema sigue los lineamientos del sistema anterior con el incremento también en paralelo de un grupo de generación de emergencia electrónico con motor de gasolina, mediante

un rectificador/cargador, se conecta a las baterías para, en casos extremos, poder cargar los acumuladores.

❖ Esquema de la instalación

Las tres formas de generación hablemos de: los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador y el grupo electrógeno están conectados en paralelo al regulador de carga, pero adicionalmente el grupo electrógeno puede ser conectado a la demanda parcial o totalmente.

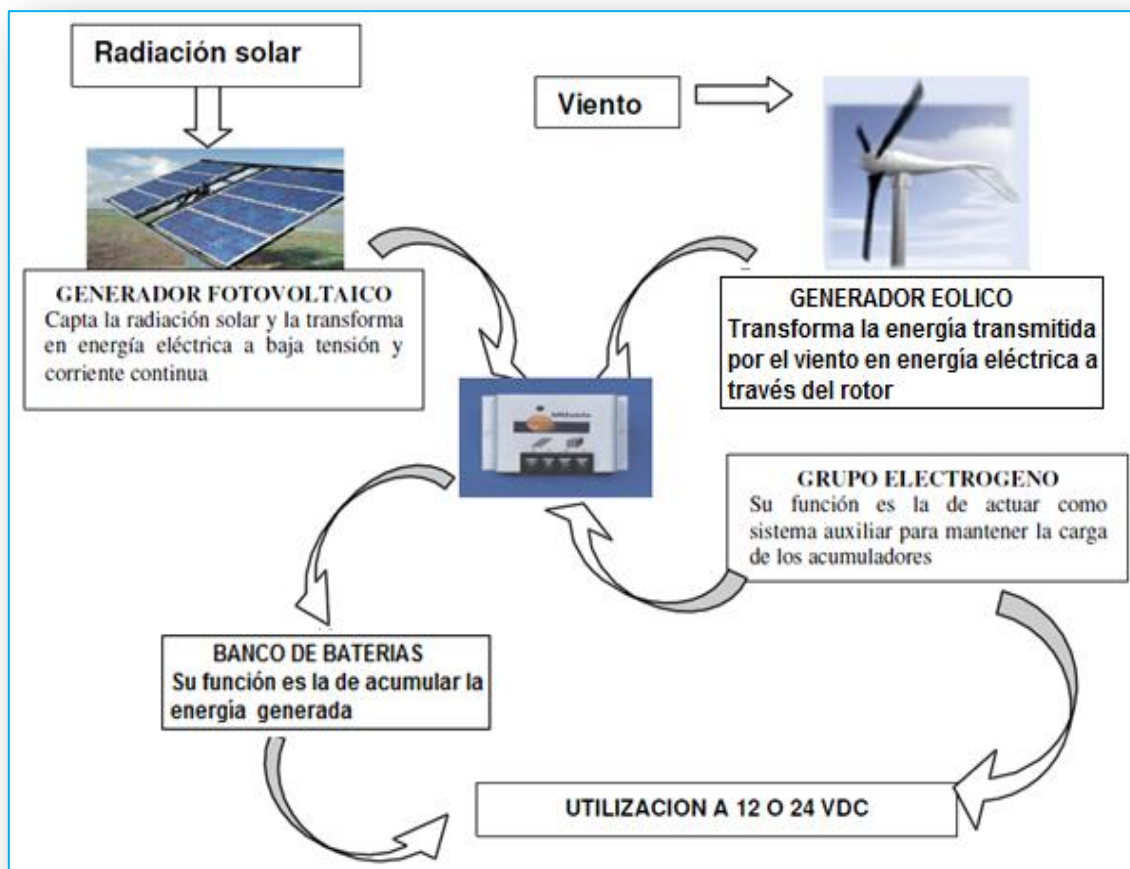


Fig. 1.15: Esquema de un sistema híbrido eólico-solar-grupo electrógeno

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS SOBRE AEROGENERADORES Y PANELES FOTOVOLTAICOS

2.1 Fundamentos sobre aerogeneradores.

Es conveniente exponer unos mínimos fundamentos sobre energía eléctrica para producir electricidad.

Las maquinas empleadas para transformar la fuerza cinética del viento en electricidad reciben el nombre de turbinas eólicas o aerogeneradores. Los aerogeneradores, tiene diversas aplicaciones específicas, ya sea eléctricas o de bombeo de agua, mediante el aprovechamiento y transformación de energía eólica en energía mecánica.

Esta energía, es inagotable, no contamina y aunque la instalación de algún aparato es relativamente costosa y lenta, a la larga se sentirán los resultados positivos, especialmente en el campo económico.

Las consideraciones fundamentales en el diseño y funcionamiento de un aerogenerador están en los componentes estructurales, el peso del rotor, el diseño aerodinámico, el sistema de conversión eléctrica y el sistema de control.

La función del aerogenerador empieza cuando el viento incide sobre las aspas del aerogenerador y las hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores.

En general las maquinas eólicas o aerogeneradores se dividen en dos tipos: las de rotor vertical (rotor Savonius, rotor Darrieux, Ciclogiro) y las de rotor horizontal las cuales presentan las siguientes ventajas sobre las primeras:

- a) Mayor rendimiento.
- b) Mayor velocidad de giro.
- c) Menos superficie de la pala a igualdad de área barrida
- d) Se pueden instalar a mayor altura donde es más elevada la velocidad del viento

Un aerogenerador se compone básicamente de un rotor movido por el viento y un generador eléctrico. Además en el caso de las máquinas de eje horizontal deben disponer de estructura giratoria con un sistema de orientación cara al viento y un soporte (mástil o torre) que eleve a cierta altura el sistema para aprovechar al máximo la velocidad del aire. Hay que tener en cuenta que en las proximidades del suelo el aire es frenado por los accidentes geográficos, los árboles y las construcciones.

La energía que transmite el aire en movimiento a una máquina eólica de eje horizontal depende de varias cosas: de la superficie barrida por las palas del rotor, de la densidad del aire (aproximadamente 1,225 Kg/m³), de la velocidad del viento y de los detalles constructivos inherentes a la máquina.

Al decir rotor nos referimos al rotor eólico o conjunto de palas que giran sobre un eje perpendicular al plano formado por ellas.

El número de palas puede variar desde rotores contruidos con una sola pala que debían llevar un contrapeso al otro lado del eje para equilibrar los pesos, hasta los llamados rotores multipala con una docena de palas o más, como los utilizados en los típicos molinos para bombear agua.

Los materiales empleados en la construcción de palas también son muy variados: estructuras de madera revestidas de tela en modelos antiguos, madera solamente, chapas metálicas, combinados de varios materiales y más modernamente materiales estratificados compuestos de resinas y telas de fibras, como resina de poliéster-fibra de vidrio y resinas epoxi-fibra de carbono, poliéster o kevlar. Hay que tener en cuenta que las palas están sometidas a grandes esfuerzos debido a las potencias que deben transmitir al eje. Ello hace que sufran deformaciones debidas a flexión y torsión, además de estar sometidas a una gran fatiga, a las inclemencias atmosféricas y a los rayos solares, por lo que deben tener la suficiente resistencia.

(Quezada, 2008)

2.1.1 Partes de un aerogenerador

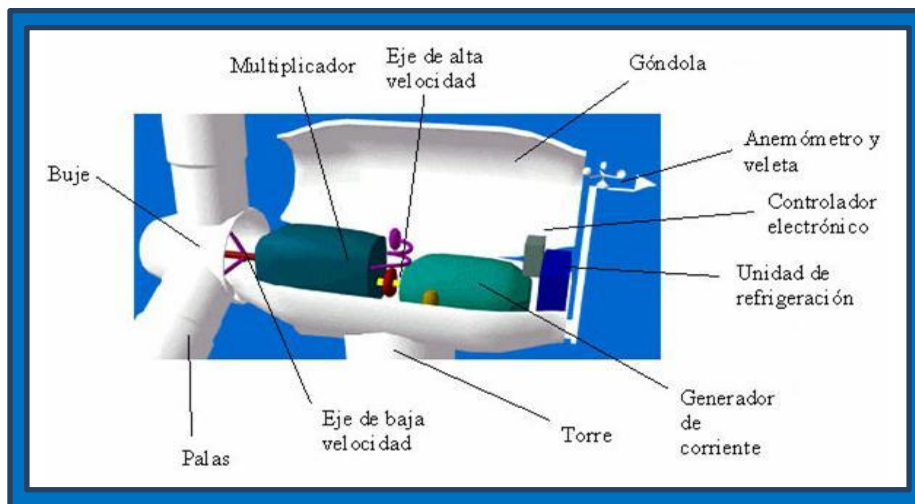


Figura. 2.1: Partes de un aerogenerador

Se puede observar las partes en la figura las cuales se detallan a continuación:

- **El Rotor.**-Es el elemento que transforma la energía del viento en energía mecánica. A su vez, el rotor se compone de tres partes fundamentales: las palas, el eje (que transmite el movimiento giratorio de las palas al aerogenerador) y el buje (que fija las palas al eje).

Las Palas son los elementos más importantes, pues son las que reciben la fuerza del viento y se mueven gracias a su diseño aerodinámico. Están fabricadas con resina de poliéster y fibra de vidrio sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento.

- **Multiplicador.**-Es un elemento conectado al rotor que multiplica la velocidad de rotación del eje para alcanzar el elevado número de revoluciones que necesitan las dinamos y los alternadores.

Dentro de los multiplicadores se distinguen dos tipos: los de poleas dentadas y los de engranaje.

- ✓ **Multiplicadores de poleas dentadas.** Se utilizan para rotores de baja potencia
- ✓ **Multiplicadores de engranaje.** En este tipo de multiplicadores los engranajes están protegidos en cajas blindadas para evitar su desajuste y desengrasado

Aunque la mayoría de los aerogeneradores tienen multiplicador, existen algunos rotores que no lo necesitan.

- **Generador.**-La función del generador es transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En función de la potencia del aerogenerador se utilizan dinamos (son generadores de corriente continua y se usan en aerogeneradores de pequeña potencia, que almacenan la energía eléctrica en baterías) o alternadores (son generadores de corriente alterna).
- **Góndola.**- La góndola es la estructura en la que se resguardan los elementos básicos de transformación de energía, es decir: eje del rotor, multiplicador, generador y sistemas auxiliares.
- **Torre.**-La torre es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea. Está construida sobre una base de hormigón armado (cimentación) y fijado a ésta con pernos. La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para aguantar todo el peso y los esfuerzos del viento, la nieve, etc. En su base está generalmente el armario eléctrico, a través del cual se actúa sobre los elementos de generación y que alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola, así como el transformador que eleva la tensión. En el exterior tiene escalas para acceder a la parte superior.

(Herrera, 2011)

2.1.2 Diferentes Tipos de Aerogeneradores

Los aerogeneradores se pueden clasificar de muchas maneras, en el presente proyecto se describirán dos formas de clasificación según la posición del eje.

2.1.2.1 Aerogeneradores de Eje Horizontal

La mayor parte de la tecnología se refiere a aerogeneradores de eje horizontal (es decir, de eje principal horizontal), debido a que la potencia generada por estos es mayor que la generada por los de eje vertical. El movimiento de rotación se origina por la incidencia del viento sobre unas

palas orientadas con un cierto ángulo respecto del aerogenerador. La fuerza del viento se descompone en dos vectores, uno axial que tiene a empujar el aerogenerador y otro tangencial que es el que hace girar el aerogenerador. Por supuesto, la finalidad del rotor es la de convertir el movimiento lineal del viento en energía rotacional que pueda ser utilizada para que funcione el generador.

Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre, que tiene que orientarse hacia el viento de alguna manera. Los aerogeneradores pequeños se orientan mediante una veleta, mientras que los más grandes utilizan un sensor de dirección y se orientan por servomotores o motor reductores.

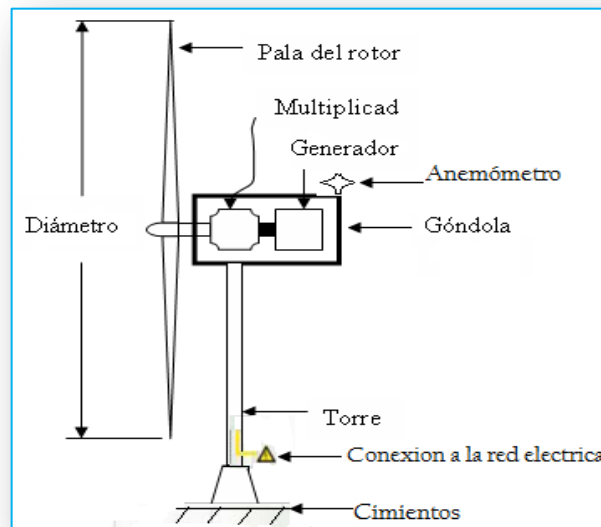


Fig.2.2 Aerogenerador de eje horizontal

2.1.2.2 Aerogenerador de Eje Vertical

El generador se localiza en la base de la torre y aunque es más sencillo de mantener, son apenas capaces de mejorar la eficiencia de una turbina mediana de tipo hélice.

Las principales desventajas de una máquina de eje vertical son:

1. Las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas. Por lo que, a pesar de que puede ahorrarse la torre, sus velocidades de viento serían mínimas en la parte inferior de su rotor.
2. La eficiencia promedio de las máquinas de eje vertical no es impresionante. Dicho en otras palabras no compiten con la eficiencia de las de eje horizontal.
3. La máquina no es de arranque automático; es decir, una máquina Darrieus necesitaría un “empuje” antes de arrancar. Sin embargo, esto es solo un inconveniente sin importancia, ya que se puede utilizar el generador como motor al absorber corriente de la red para arrancar la máquina.

4. La máquina puede necesitar cables tensores que la sujeten, y esta solución no es práctica en áreas muy cultivadas.
5. Para sustituir el cojinete principal del rotor se necesita desmontar el rotor, tanto en las máquinas de eje horizontal como las de eje vertical. En el caso de las últimas, esto implica que toda la máquina deberá ser desmontada.

Algunas ventajas de eje vertical son:

1. Puede situar el generador, el multiplicador, etc. en el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la máquina.
2. No necesita un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.
3. Mayor rendimiento.
4. Mayor velocidad de giro.
5. Menos superficie de la pala a igualdad de área barrida.
6. Se pueden instalar a mayor altura donde es más elevada la velocidad del viento.

(Recinos, 2003)

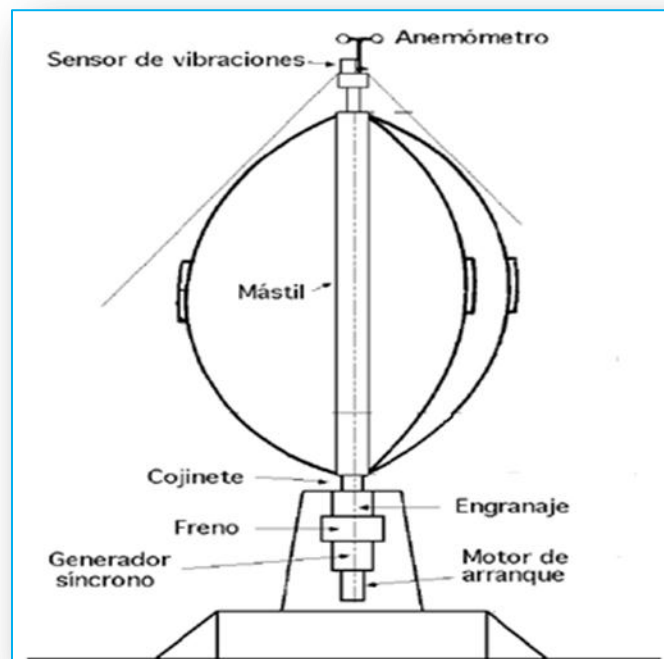


Fig. 2.3 Aerogenerador de eje Vertical

2.1.3 Potencia del Aerogenerador

La potencia del aerogenerador depende de la potencia aprovechable del viento, dando lugar a un coeficiente de potencia C_p : El coeficiente de potencia es un elemento muy importante dentro del

modelo del aerogenerador, es el factor que determina la cantidad de energía cinética que se puede extraer del viento. Tiene un límite teórico (límite de Betz) dado por $C_p \leq 0.59$, es decir, indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad, para el óptimo aprovechamiento del aerogenerador, debe aproximarse a 0,59 de acuerdo a la figura 2.4.

Pero para lograr alcanzar este valor óptimo de C_p y para comparar el aprovechamiento del viento de diferentes máquinas eólicas, se necesita otro coeficiente conocido como la “Relación de velocidad de punta (λ)”, valor que se obtiene mediante la relación entre la velocidad tangencial en la punta del aerogenerador y la velocidad no perturbada del viento incidente, como se lo muestra en la ecuación (2.1).

$$\lambda = \frac{V_w}{v} = \frac{r\omega}{v}$$

Ecuación 2.1

Dónde:

λ = Relación de velocidad de punta, adimensional

V_w = velocidad de giro del rotor en m/s

r = radio de la pala en m

ω = velocidad angular en radian/segundo

v = velocidad del viento antes (no perturbada) del rotor en m/s

En la siguiente gráfica se presenta la curva de eficiencia de los diferentes tipos de aerogeneradores, comparadas con la curva ideal en relación a los valores del coeficiente de potencia C_p y la relación de la velocidad de punta λ .

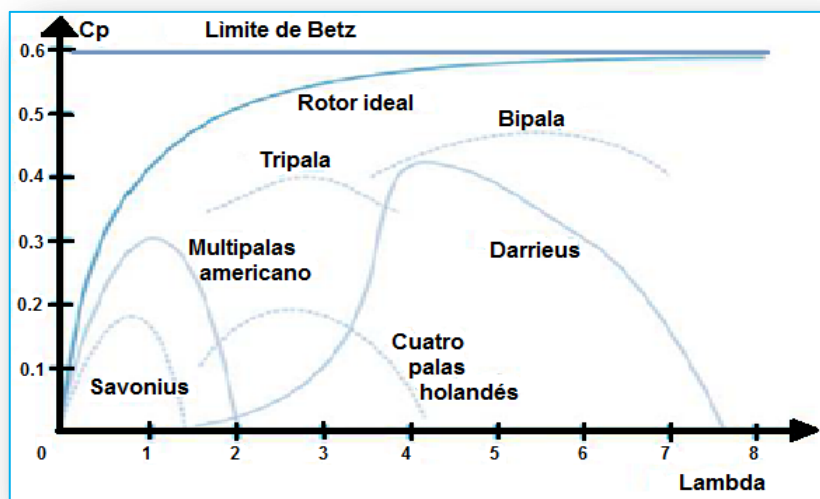


Figura. 2.4 Coeficientes de potencia en función de λ para varios aerogeneradores.

Como se puede ver en la figura (2.4), los aerogeneradores de eje vertical como el Savonius es el menos eficiente y funciona a velocidades de viento muy bajas; mientras que, la curva del aerogenerador con una configuración tripala es la que más se aproxima al comportamiento de la curva idealizada y por ende es el más eficiente.

Hay que tomar muy en cuenta que, si la velocidad que se produce en el rotor, la energía entregada del viento hacia el sistema no es óptima y no se la aprovecha en su totalidad; aunque si la velocidad del rotor es demasiado grande, se puede llegar a crear un efecto de barrera que no deje pasar el flujo de aire, lo que se constituiría en un problema igual o de mayor magnitud que el anteriormente mencionado. Estos inconvenientes presentes en el funcionamiento del rotor se los conoce como la “solidez del rotor”, dependiendo esta de la velocidad que se genera cuando el rotor está en movimiento, lo que a su vez depende del número de palas que se encuentran ligadas al rotor. Existe una expresión que nos permite encontrar el número de palas óptimo para un sistema de generación eólica propuesto, la fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{4\pi}{\lambda} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde n es el número de palas necesarias para el óptimo funcionamiento del aerogenerador.

Debido a que el rotor se encuentra conectado directamente al generador eléctrico, el rotor necesita producir un cierto torque para permitir que el generador comience su funcionamiento. Es así, que el valor del torque es otra variable que se debe tomar muy en cuenta, debido a que si no existe el suficiente torque del rotor hacia el generador eléctrico, este no generara energía eléctrica. La fórmula que permite calcular el valor del torque (C_T) es:

$$C_T = \frac{C_p}{\lambda} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Entonces, para poder obtener la potencia de un aerogenerador únicamente se necesita multiplicar la potencia del viento (P_V) por el coeficiente de la eficiencia electromagnética del sistema (η_E), valor propio de cada sistema de generación eólica.

$$P_E = P_V \times \eta_E \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

(Iván Montalvo, 2011)

2.1.4 Torre de soporte del Aerogenerador.

Es importante su construcción por varias razones, la principal es que el generador debe estar situado por encima de las perturbaciones causadas por el terreno.

Cualquier máquina giratoria es siempre asiento de vibraciones, es por tanto esencial que, la frecuencia de oscilación propia de la torre sea muy diferente a la frecuencia de las vibraciones (fundamentales y armónicas), engendradas por el generador eólico.

Se utilizan comúnmente tres tipos de torre:

- a. Torre tubular de acero
- b. Torre tubular de acero con tensores
- c. Torre estructural (con perfiles de acero)

❖ **Tipos de torre:**

a. Torre tubular

Una torre tubular consiste de tubos de acero, conectados rígidamente a la base, generalmente construida de un bloque de concreto.



Figura 2.5: Torre de hierro Tubular

Ventajas

- ✓ La construcción es fácil de fabricar.
- ✓ Prevención contra corrosión y pintura toman poco tiempo.
- ✓ Los cables pueden colocarse dentro de la torre.
- ✓ La torre puede construirse por partes que pueden unirse en el lugar elegido.

Desventajas

- ✓ Si el mismo tamaño de tubo es utilizado para toda la torre, el stress de doblez (fatiga) más alto se da cerca a la base. Por lo tanto, las torres para aerogeneradores grandes se hacen siempre de forma cónica, tienen menor diámetro a medida que suben
- ✓ La carga de viento en la torre es alta.
- ✓ Subir por la torre puede ser difícil.
- ✓ Los tubos pueden ser costosos.

b. Torre tubular con tensores

Si la torre tubular está sujeta por tensores (tres o más) ya no tendrá que ser tan pesada porque los tensores toman fuerza. Sin embargo usar tirante requiere de bloques de concreto extra y más espacio. También los tensores generalmente deben revisarse para asegurarse de que no se hayan aflojado.



Figura 2.6: Torre con Tensores

c. Torre Estructural

Una torre estructural consiste en perfiles de fierro o de palos tubulares conectados. Puede ser triangular o cuadrada.



Figura 2.7: Torre Estructural

Ventajas

- ✓ Es fácil de fabricar
- ✓ Se requiere de pocos materiales (porque la torre puede tener la forma deseada)

- ✓ Puede ensamblarse en el lugar y es fácil de transportar
- ✓ Las cargas de viento en la torre pueden ser menores
- ✓ La torre puede escalarse fácilmente

Desventajas

- ✓ La construcción es una labor intensa, tanto para fabricarla como para ensamblarla
- ✓ Prevención de corrosión y pintado toman tiempo
- ✓ Se requiere de inspección continua de cerradura
- ✓ Los cables no pueden colocarse dentro.

2.2 Fundamentos sobre Paneles Fotovoltaicos

Los paneles o módulos fotovoltaicos están compuestos por dispositivos semiconductores tipo diodo (células fotovoltaicas) que, al recibir la radiación solar, se estimulan y generan saltos de electrones, generando diferencias de potencial en sus extremos.

La interconexión de varias células solares en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente, puesto que cada célula puede suministrar del orden de 0.5 voltios. Para los paneles solares de uniones de silicio y con conexiones de células en serie, los valores de tensión por número de células rondan las 36 células para 12 voltios y 72 células para 24 voltios.

En la figura 2.8 se presenta, de forma esquematizada, la estructura más convencional de un módulo fotovoltaico.

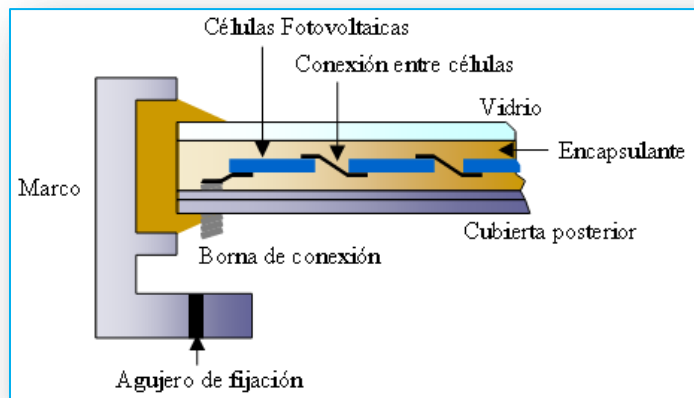


Figura 2.8 Sección transversal de un módulo fotovoltaico

La sección transversal muestra los siguientes elementos:

- **El Marco Metálico:** Esta fabricado de aluminio anodizado o de acero inoxidable, para evitar su oxidación, envuelve a todo el conjunto del módulo.

Tiene que ser una estructura que asegure rigidez y estanqueidad al conjunto y que lleva los elementos necesarios (generalmente taladrado) para el montaje del panel sobre la estructura del soporte o bastidor.

- **Cubierta Exterior de Vidrio Templado:** es el encargado de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar los cambios bruscos de temperatura.
- **Cubierta Posterior:** Dota al módulo de protección y sirve de cerramiento. Suele ser de vidrio. En ocasiones este recubrimiento es de color claro lo que supone una ventaja, ya que la radiación solar que ha pasado entre las células es reflejada por esa superficie y vuelve hacia el recubrimiento exterior, el cual vuelve a reflejar la radiación y es absorbida por las células.
- **Encapsulante:** Actúa como protección de las células. Para este fin se utiliza productos a base de siliconas que son muy transparentes a la radiación solar, no se degradan fácilmente con el tiempo y protegen las células contra la acción de humedad.
- **Caja de Terminales:** Se sitúan en la parte posterior del módulo, incorpora los bornes para la conexión del módulo y con otros módulos o con el conductor exterior.

La alta calidad de los paneles ofrecidos a la venta se refleja en las amplias garantías ofrecidas por los fabricantes, las que se extienden entre 20 y 25 años de uso.

2.2.1 Estructura de una Celda Solar

Hoy en día, la mayor parte de celdas solares utilizadas a nivel comercial son de silicio (Si). El silicio es lo que se conoce como un semiconductor. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que en un metro cuadrado puede proveer aproximadamente unos 150 W, este elemento químico se encuentra en todo el mundo bajo la forma de arena, que es dióxido de silicio (SiO₂), también llamado cuarcita.

Las celdas solares de silicio pueden ser de tipo monocristalinas, policristalinas o amorfas. La diferencia entre ellas radica en la forma como los átomos de silicio están dispuestos, es decir, en la estructura cristalina.

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalinas y policristalinas tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior y, luego, dos capas de silicio. En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de antireflexión, que da a la celda solar su típico color azul.

Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y (CdTe) (teluro de cadmio). Éstas están comenzadas a ser comercializadas.

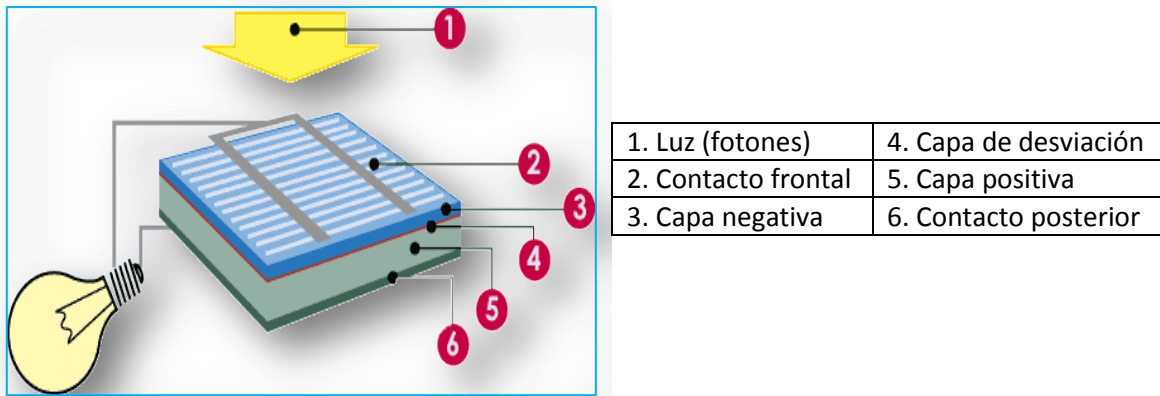


Fig. 2.9 Las diferentes partes de una celda solar

➤ **Celda Solar Monocristalina**

Este tipo de celda tiene una estructura cristalina ordenada, con cada átomo idealmente situado en una posición pre-ordenada y muestra un comportamiento predecible y uniforme.

El silicio pasa a través de varios ciclos de filtración intensiva lenta con la energía y los procesos de separación y por lo tanto es el tipo más costoso de silicio, estas celdas normalmente se crean en una forma circular o un "cuadrado-sin-esquinas. Esto es porque, cuando se cultivan a partir de un lingote, la única manera de crear estructuras cristalinas de alta pureza es extruido del líquido fundido y la gravedad hace el resto, con respecto a la creación de un bloque cilíndrico de que las celdas más pequeñas se cortan. Por lo general, los fabricantes dejan las células en una forma circular sin embargo, debido a los avances en el reciclaje, las células se están cortadas en cuadrados-sin-esquinas para maximizar la densidad de empaquetamiento de los módulos.

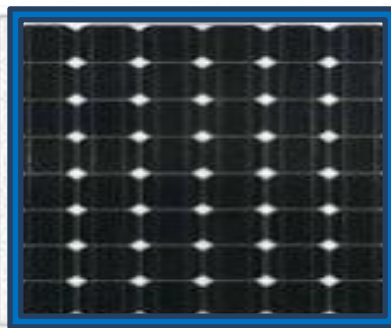


Fig. 2.10 Panel solar con celdas Monocristalinas

➤ **Celda Solar Policristalino**

Este tipo de celda contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente y separados por 'límites de grano.

El silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de las células monocristalinas y por lo tanto son un material menos costoso para los fabricantes, estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido o ir a través de otro proceso, sino para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las pequeñas células son cortadas. (Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar).

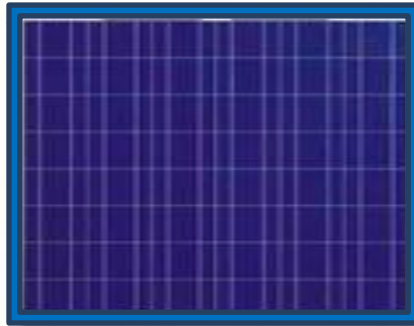


Fig.2.11 Panel solar con celdas Policristalinas

➤ **Celda Solar Amorfo**

Presenta un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química, en la cual no hay red cristalina alguna y el material es depositado sobre finas capas que se unen entre sí. La potencia que se obtiene es inferior a las células que utilizan silicio monocristalino o policristalino.

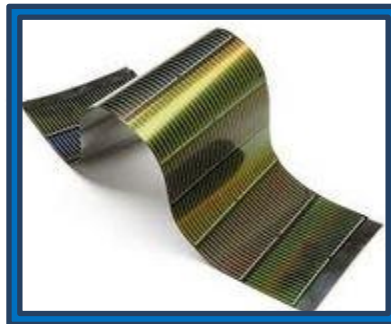


Fig.2.12 Celda solar tipo Amorfo

Las más utilizadas en instalaciones aisladas son las de silicio monocristalino y policristalino por ofrecer un mejor rendimiento en la tabla 2.1 se indica el rendimiento de los diferentes módulos de acuerdo al material construido.

CELDA SOLAR	EFICIENCIA
Monocristalina	12-15%
Poli cristalina	11-14%
Amorfa	6-7%

Tabla 2.1 Eficiencia de las celdas solares

Fuente: podersolarmx.tripod.com/id11.html

2.2.2. El efecto fotovoltaico.

Es un fenómeno físico, que consiste en la conversión de energía luminosa en energía eléctrica.

Para que se produzca es necesaria la existencia de una estructura heterogénea que produzca un campo eléctrico (unión PN), y la radiación solar capaz de romper enlaces entre los átomos para liberar los electrones.

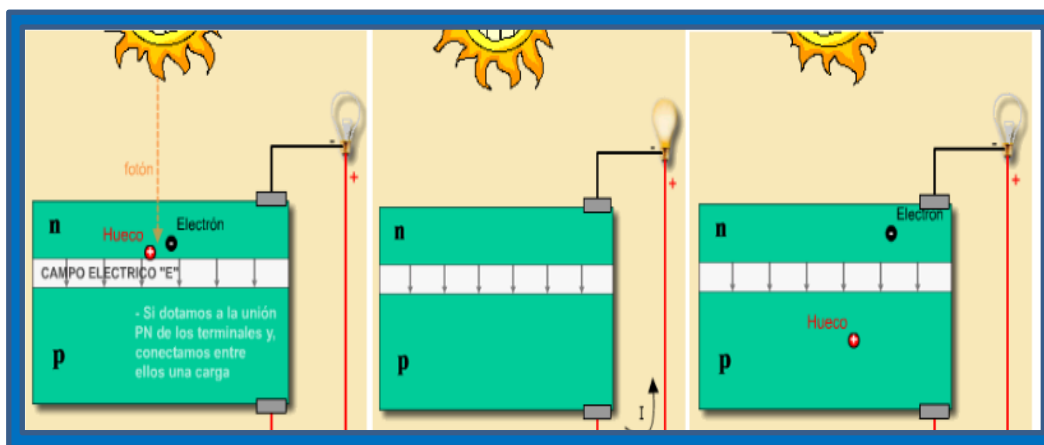


Figura.2.13: Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se produce cuando la radiación solar incide sobre la unión PN del material semiconductor, se rompen los enlaces y el campo eléctrico E orienta a las cargas del electrón y del hueco estableciéndose la diferencia de potencia que alimenta a la carga.

Las células fotovoltaicas están construidas de un material semiconductor que reacciona al incidir la luz del Sol sobre su capa superior mediante la excitación de sus electrones originando una pequeña corriente eléctrica, como se puede ver en la figura 2.13.

2.2.3 Características Eléctricas

Para la realización de los cálculos y en especial para poder determinar las condiciones de trabajo de una instalación se debe tener en cuenta las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos como son:

- **Corriente de Cortocircuito:** Denominado como I_{sc} , es la máxima intensidad que se puede obtener en un panel. Se calcula midiendo la corriente entre los bornes del panel cuando se provoca un cortocircuito (tensión de salida de 0 voltios).
- **Tensión de circuito abierto:** Denominado como V_{oc} , es el valor máximo de voltaje que se medirá en un panel si no hubiese paso de corriente entre los bornes del mismo (intensidad de 0 amperios).
- **Tensión Nominal:** Denominado como V_n , es el valor de diseño al que trabaja el panel. Por ejemplo 12, 24, 48 voltios.
- **Potencia Máxima:** Denominado como P_M , es el valor máximo de potencia que se obtiene entre el producto de la corriente por la tensión.
Se trata del valor máximo que se puede obtener del panel. También se denomina potencia pico del panel este término es el más utilizado para los cálculos.
- **Tensión Máxima:** Denominado V_M , se corresponde como el valor de tensión para la potencia máxima. Se trata aproximadamente del 80% de la tensión en circuito abierto. En algunos casos se indica como V_{mp} , (de potencia máxima)
- **Corriente Máxima:** denominada como I_M , se corresponde con el valor de corriente para la potencia máxima. En algunos casos se indica como I_{mp} .

En la figura 2.14 se muestran las indicaciones de los parámetros descritos indicados sobre la curva $V - I$.

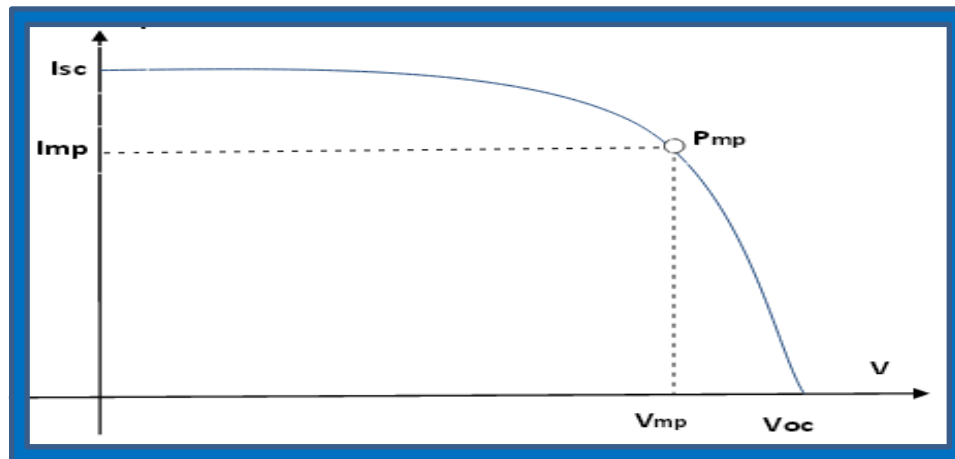


Figura 2.14 Curva característica $V - I$ de un Panel Fotovoltaico

2.2.4 Orientación e Inclinación de los Paneles Fotovoltaicos

La radiación solar que incide sobre una placa variará con el ángulo que forme la misma con la radiación. La captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación.

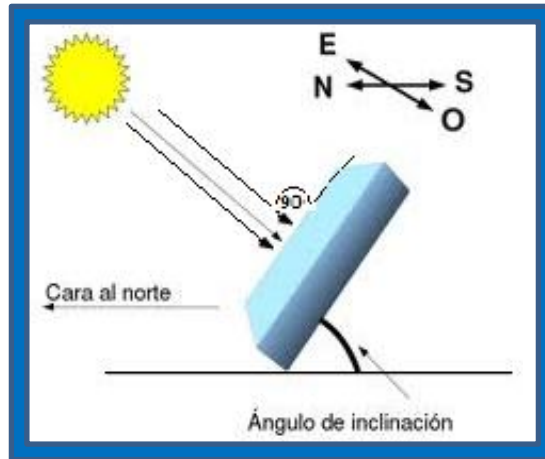


Figura 2.15 Panel Perpendicular a los Rayos del Sol

Para realizar una instalación efectiva, es importante tener presente la orientación y la inclinación del módulo fotovoltaico en función de uso anual, en verano o en invierno y de la latitud del lugar de la instalación.

2.2.4.1 Orientación de los Paneles Fotovoltaicos.

Como norma general los paneles fotovoltaicos deben orientarse hacia el norte geográfico, ya que nos encontramos en el hemisferio sur, si nos encontramos en el hemisferio norte había que orientarlos hacia el sur geográfico. La orientación es el ángulo de desviación respecto al norte o sur geográfico de una superficie.

El norte o sur geográfico no debe confundirse con el norte o sur magnético. En la figura 2.16 se muestra la desviación con un ángulo (α) respecto al sur geográfico. A este ángulo se lo denomina Azimut.

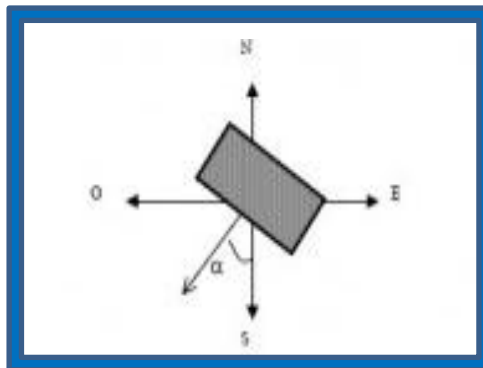


Figura 2.16 El Ángulo Azimut

2.2.4.2 Inclinación

La radiación solar que incide sobre el panel puede variar en función del ángulo que forme con la horizontal β (inclinación). Así en función de la inclinación, la captación de energía solar puede variar y será máxima cuando la posición del panel sea perpendicular con la radiación.

Se define la inclinación como el ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie horizontal.

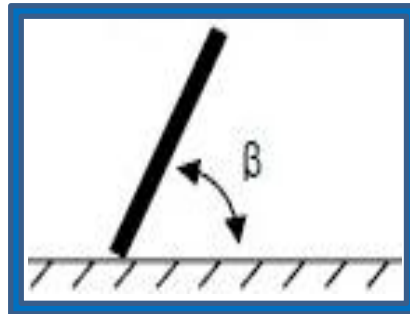


Figura 2.17 Ángulo de Inclinación del Panel

La inclinación óptima puede variar a lo largo del año, (máxima en verano, mínima en invierno) por lo tanto, para una instalación de módulos fijos, en instalaciones aisladas se suele escoger un valor de inclinación para la máxima potencia media recibida anualmente.

Esto puede variar si se diseña para una instalación de uso solo en verano, en este caso se escogerá un valor de inclinación para la máxima potencia media recibida en esos meses.

En función de su uso se tomara una inclinación u otra. En función de la latitud del lugar, si su uso es invierno o verano. Tal como se observa en la tabla 2.2

Latitud del lugar	Ángulo de inclinación	Ángulo de inclinación
Instalación (en grados)	INVIERNO	VERANO
0 a 15°	15°	15°
15 a 25°	IGUAL QUE LATITUD	IGUAL QUE LATITUD
25 a 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30 a 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35 a 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
> 40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°

Tabla 2.2 Inclinación en función de la latitud.

Fuente: (Aparicio, 2010)

Para uso anual se suele tender a escoger un valor aproximado a la latitud, para que haya una mejor captación en invierno respecto al verano, teniendo como ventaja en nuestra zona de estudio un ángulo de inclinación igual en invierno y verano.

Existe la ecuación que permite el cálculo del valor de inclinación óptima (β_{opt}) en función de la latitud del lugar (ϕ) utilizando la siguiente ecuación:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.67 \times \phi(^{\circ})$$

Ecuación 2.5

2.2.4.3 Latitud del Lugar

Se define la latitud como la distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al ecuador, tomando valores de 0° a 90° (hacia el norte) y 0° a - 90° (hacia el sur) así por ejemplo el Ecuador está 2° al norte y 5° al sur de latitud, y 79° al oeste de longitud.

2.2.5 Estructura de Soporte y Anclaje

La estructura de soporte, que sujeta el batidor del panel, y el sistema de sujeción es tan importante como el propio panel. El principal factor a la hora de fijar la estructura no es el peso de los paneles al ser estos ligeros sino la fuerza del viento que dependiendo de la zona, puede llegar a ser considerable. Y esto tiene una influencia directa en la longevidad del sistema fotovoltaico.

En terrazas o suelos la estructura deberá estar a una altura mínima del panel de 30 cm. Además los paneles deben estar lo más cerca posible del banco de baterías, con el propósito de usar cables de interconexión de menor sección transversal posible, evitando pérdidas por efecto de Joule y caídas de voltaje

Se debe poner especial atención en los puntos de apoyo de la estructura, a nivel del suelo donde descansa, se debe construir bases de cemento, en tejados es conveniente reforzar sus extremos con tirantes de acero acoplados a la estructura del tejado.

A continuación se describen las funciones y características generales de una estructura de soporte.

❖ Funciones

- Servir de soporte y fijación segura de los paneles, facilitando el montaje de los mismos y la alineación de los paneles.
- Dotar a los módulos de la inclinación y la orientación adecuada.
- Evitar sombras en los módulos, arrojadas por elementos artificiales o naturales, existentes en las proximidades de los mismos.

❖ Características

- Deben ser actas para su colocación a la intemperie, con materiales protegidos contra fenómenos de corrosión principalmente.
- Deben estar bien anclados para soportar las cargas máximas producidas por los vientos previstos en el lugar.
- Los materiales más habituales empleados en las estructuras son el acero galvanizado, el acero y el aluminio.

2.3 Sistema de Almacenamiento

Para sistemas renovables eólicos o fotovoltaicos el sistema de almacenamiento está formado por un conjunto de baterías, generalmente de plomo-acido, que almacenas la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación (en la noche o durante periodo prolongados de mal tiempo).

Las baterías almacenan la energía eléctrica que reciben convirtiéndola en energía química, capaz de ser convertida nuevamente en electricidad cuando lo demandemos.

Están formadas por placas de plomo alternadas por otras de dióxido de plomo, separadas por un elemento empapado de ácido sulfúrico diluido en agua destilada llamado electrolito. Cada pareja de placas genera 2 voltios por eso cada batería tiene 6 pares de placas que alcanzan los 12 voltios.

Una de las funciones importantes de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Las más utilizadas son las baterías denominadas estacionarias, que se utilizan también como sistema de alimentación ininterrumpida (alumbrado de emergencia, señalización, etc.). La principal característica es que son capaces de permanecer largos periodos de tiempo totalmente cargadas y además son capaces de resistir descargas profundas de forma esporádica.

2.3.1 Características de las Baterías

- **Rendimiento:** Es la relación entre la energía suministrada durante la descarga y la que se necesita para cargar plenamente la batería. Las pérdidas en una batería se deben sobre todo a una producción de energía calorífica en los procesos químicos que tienen lugar durante la carga y descarga.
- **Capacidad:** es la cantidad de electricidad que puede entregar cuando se descarga y su tensión disminuye por debajo de su nivel mínimo en aproximadamente un 10% del voltaje nominal. La capacidad en Amperios-hora(A/h) es simplemente el número de A que la batería puede descargar, multiplicando por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga.
Su símbolo es **C** y se expresa en amperios hora **Ah**.
- **Capacidad de Régimen:** La capacidad de la batería varía según el régimen de descarga, aumenta a medida que la descarga es más lenta, y disminuye cuando esta es más rápida. En teoría una batería de 200 Ah podría entregar 200 A durante 1 hora, 100 A durante 2 horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente.

Sin embargo, en realidad este no es el caso ya que en las baterías siempre se debe especificar el régimen en horas. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada en el régimen, la capacidad en Ah puede variar.

Generalmente, si la batería se descarga a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor.

Por ejemplo una batería que está diseñada con una capacidad de 100 Ah a un régimen de 8 horas puede descargar 12,5 A durante 8 horas ($C = 12.5 \times 8 = 100 \text{ Ah}$), mientras que si la misma batería se

descarga a un régimen de 20 horas podría proporcionar 5.8 A durante 20 horas ($C=5.8 \times 20 = 116$ Ah).

Por esta razón la capacidad C hace referencia con el tiempo de descarga, así una batería de 200 Ah/C 20, indica una intensidad o régimen adecuado de descarga de 10 A durante 20 h, si la hora se descarga más rápido la capacidad se ve afectada.

La temperatura influye en la capacidad de la batería, si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si baja la temperatura la vida se prolonga.

Para instalaciones fotovoltaicas, se supone una descarga gradual y no brusca por ello para los cálculos se utiliza valores de la descarga así en horas C 100 (Ah).

- **Profundidad de descarga:** Este parámetro describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. La profundidad de descarga (P_d) es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga y descarga. Dependiendo de este valor existen dos grupos de batería de ciclo ligero o automotriz y ciclo profundo.
- **Descargas ligero o automotriz:** Aceptan descargas del 20% de la capacidad nominal, (arranque de un motor) sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería, por lo tanto estas son más grandes y robustas.
- **Descargas de ciclo profundo:** Aceptan descargas del 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería, por lo tanto estas son más grandes y robustas.
- **Vida útil:** la vida útil se mide en ciclos, que se define como el número de veces que se produce la carga y descarga. Es decir, con cada carga y descarga (ciclo) la batería va perdiendo propiedades así pues contra más ciclos entonces más envejece la batería. Cuanto mayor sea la descarga (disminuciones la capacidad) menor será el número de ciclos y en consecuencia menor será la vida útil.



Figura 2.18: Baterías

2.3.2 Banco de Baterías

En la mayoría de las instalaciones, dependiendo de la potencia, capacidad y tensión de la instalación, será necesario asociar varias baterías de acuerdo al diseño en serie, paralelo o combinado, para obtener los niveles de tensión y capacidad adecuados.

Como norma general no se conectarán entre sí baterías de distintas características y, en la medida de lo posible, serán del mismo fabricante. Para la conexión de baterías existen tres tipos:

2.3.3.1 Conexión en Paralelo.

Se conectan todos los polos positivos y por separado todos los negativos. Con ello se consigue aumentar la capacidad y mantener un mismo valor de tensión. La capacidad es igual a la suma de todas las capacidades de cada batería.

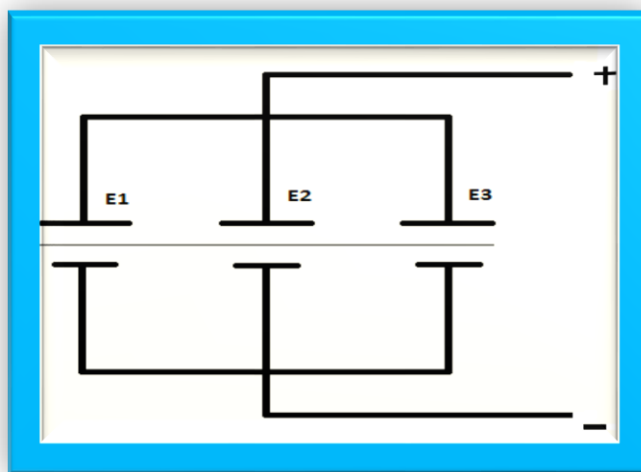


Figura 2.19: Esquema de una Conexión en Paralelo

2.3.3.2 Conexión en Serie

Se conecta un polo positivo de una batería con el polo negativo del siguiente, con ello se logra aumentar la tensión y se mantiene el mismo valor de la capacidad. La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones de cada batería o lo mismo que es el producto de la tensión de cada batería por el número de baterías.

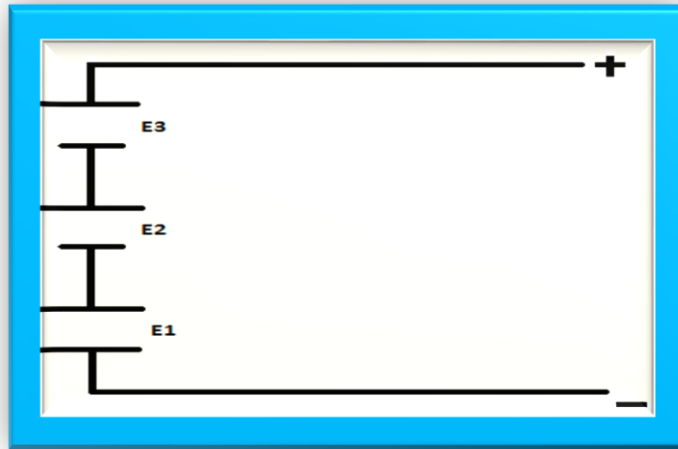


Figura 2.20: Esquema de una Conexión en Serie

2.3.3.3 Conexiones Mixtas

Se encuentran conectadas tanto en serie como en paralelo. Con este tipo de conexión incrementamos la capacidad total y la tensión total.

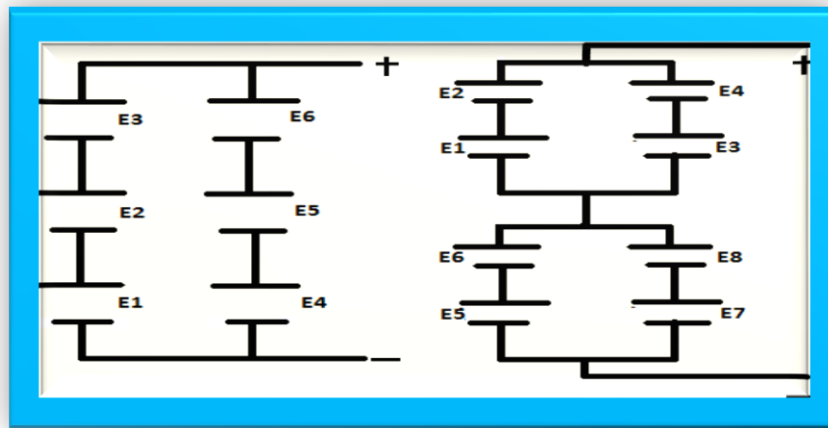


Figura 2.21: Esquema de una Conexión Mixta.

2.4 Regulador de Carga

El regulador es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería. La supervisión automática de esos procesos no la puede realizar el modulo fotovoltaico o el aerogenerador, que se limitan a generar energía eléctrica se hace necesario la inclusión el sistema de este dispositivo. Las principales tareas que realiza son:

- Proteger a la batería contra la sobrecarga. Esto tendría lugar si con la batería a plena capacidad, el campo fotovoltaico sigue inyectando corriente en la misma.
- Controla el proceso de sobrecarga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo cuando se está consumiendo la energía almacenada.
- Es una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación. Puede proporcionar datos de la tensión, intensidad, estado de la carga de las baterías, etc. asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

Existen básicamente dos clases de reguladores de carga, la principal diferencia entre ellos es la posición del dispositivo de corte empleado para limitar la sobrecarga en la batería. Los reguladores “serie” interrumpen la conexión entre el generador solar y la batería, mientras que los reguladores “paralelo” o (shunt) cortocircuitan al generador solar. En instalaciones de baja potencia se utilizan los reguladores paralelo o shunt y para potencias mayores los reguladores serie.

2.4.1 Regulador en Serie.

Las características básicas son las siguientes:

- El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la línea campo Fotovoltaico – batería.
- El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la línea batería con el consumo.

En la figura 2.22 se puede ver el circuito básico de control serie con interruptores, los cuales se encargan que se esté cargando la batería o no (interruptor de sobrecarga) y otro de que la batería entregue la energía o no (interruptor de sobrecarga).

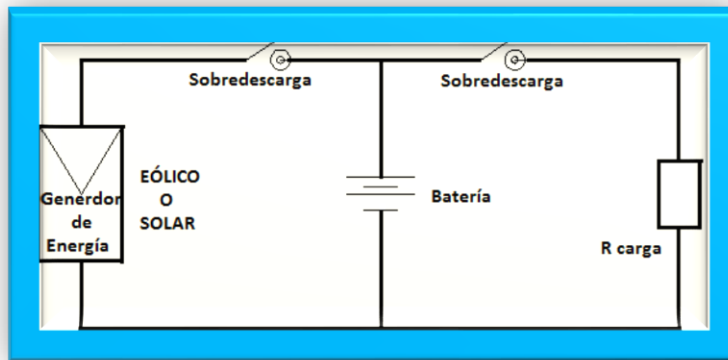


Figura 2.22: Regulador Serie

2.4.1 Regulador Paralelo

Las características básicas son las siguientes:

- El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo fotovoltaico.
- El control de sobre descarga se efectúa interrumpiendo la línea batería con el consumo.

El funcionamiento de este regulador es disipar potencia, con el fin de eliminar el exceso de energía generada. Consiste en un transistor situado en paralelo con el generador fotovoltaico, tal como podemos observar en la figura

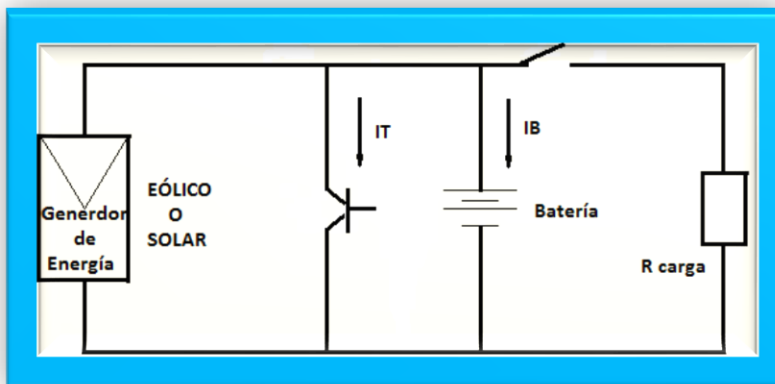


Figura 2.23: Regulador Paralelo

2.4.2 Datos Técnicos del Equipo

El regulador de carga deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información:

- **Tensión Nominal.**- Indica el valor de la tensión de trabajo (12,24 o 48 voltios).
- **Corriente Máxima.**- La máxima intensidad que soporta el regulador.
- **Fabricante.**- Nombre o logotipo y número de serie.
- **Polaridad y Conexiones.**- En la parte externa del regulador se puede ver las conexiones, las cuales van enumeradas por nombres seguido de la polaridad de la conexión son:
 - ✓ **M±:** Conexión del módulo fotovoltaico al regulador(M de módulo fotovoltaico)
 - ✓ **A±:** Conexión de la batería reguladora (A de acumulador)
 - ✓ **V±:** Conexión de carga o consumo (V de voltaje)

2.5 Inversor o Convertidor

La naturaleza continua de la tensión y la corriente de origen fotovoltaico, junto al uso en instalaciones autónomas o aisladas de la red, en la que existen equipos específicos para alterna, se hace necesario la inclusión en el sistema de un elemento que se encargue de acondicionar las características eléctricas del generador de corriente continua CC a las del receptor de corriente alterna. Su función es adecuar las características de la energía generada a las demandadas por las aplicaciones de la instalación.

Un sistema de conmutación electrónico llamado Inversor, transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna.

Existen diferentes clases de convertidores: **cc/cc**, **ca/cc**, **cc/ca**. El más utilizado en una instalación fotovoltaica aislada es el tipo **cc/ca**, que convierte la tensión del banco de baterías a consumos 110 - 220 voltios de la corriente alterna.

2.5.1 Instalación de Inversores e Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas

En instalaciones fotovoltaicas aisladas se utilizan los convertidores que convierten la corriente continua proveniente de las placas solares, en energía aceptada por los consumidores finales, es decir, convierten la tensión de 12 o 24 voltios de corriente continua en 110 o 220 voltios de corriente alterna.

Como la tensión de entrada suele ser de la batería también se denomina convertidores de conexión a batería. Se suelen llegar a conectar directamente a la salida de consumo del regulador para potencia pequeñas y para potencias elevadas se conectan directamente a la batería. La tensión de alimentación tiene valores típicos de 12, 24 o 48 voltios, aunque para requisitos de potencia elevada se puede recurrir a equipos que requieran una tensión de entrada de hasta los 120 voltios.

Las principales características que deben considerarse son:

- **Tensión Nominal:** Es la tensión que se debe aplicar a los terminales de entrada del inversor.
- **Potencia Nominal:** Es la potencia que puede suministrar el inversor de forma continua. Su rango comercial oscila normalmente entre los 100 y 500 vatios.
- **Capacidad de Sobrecarga:** Se refiere a la capacidad del inversor para suministrar una potencia considerablemente superior a la normal así como el tiempo que puede mantener esta situación.
- **Forma de Onda:** En los terminales de salida del inversor aparece una señal alterna caracterizada principalmente por su forma de onda y los valores de tensión eficaz y frecuencia de la misma.
- **Eficiencia o Rendimiento:** Es la relación expresada en tanto por ciento, entre las potencias presentes a la salida y a la entrada del inversor.

2.5.2 Datos del Equipo Comercial

Todos los convertidores deberían estar etiquetados con al menos la siguiente información:

- Potencia Nominal expresada en voltios amperios (VA)
- Tensión Nominal de Entrada, que será tensión continua en voltios
- Tensión de Salida corriente alterna CA en voltios
- Frecuencia de salida, valor de frecuencia en hercios (Hz)
- Fabricante, nombre , logotipo número de cedula
- Polaridad y conexiones

Para el cálculo se tomara el valor de la potencia de la instalación eligiendo el convertidor cuya potencia nominal sea inmediatamente superior a la de la instalación, es decir si la instalación tiene consumo de 500 vatios se podrá escoger un convertidor de 550 vatios.

Por lo general los inversores tiene la capacidad para soportar una mayor potencia que la nominal durante ciertos intervalos de tiempo que en alguna documentaciones corresponde con la potencia máxima o la capacidad de sobrecarga y corresponde con el pico de consumo que puede producir en el arranque de ciertos electrodomésticos (la televisión , un motor , etc.)

2.6 Instrumentos de Medición Eólicos y Fotovoltaicos.

2.6.1 Instrumentos de Medición (anemómetros)

Con el objetivo de eliminar en lo posible los efectos producidos por el rozamiento del suelo, incluso sobre el viento medio, los instrumentos que miden la velocidad y la dirección del viento, los anemómetros y las veletas, se ubican a una altura estándar de 10m sobre una porción plana y despejada del suelo. Los anemómetros se clasifican en dos tipos: Anemómetros de Copas y El Ultrasónico.

2.6.1.1 Anemómetros de Copas

Los anemómetros rotativos o de Copas (Figura 2.24), poseen rotores que el viento hace girar a una frecuencia proporcional a la velocidad del viento perpendicular a su eje. La dirección de donde sopla el viento se determina por medio de la veleta, se muestra en la (Figura 2.25). Un defecto de estos instrumentos es la inercia de sus piezas móviles, que retarda la reacción a los cambios rápidos en la velocidad o dirección del viento. Otra limitación de estos instrumentos es que solo pueden realizar mediciones bidimensionales del viento, lo cual es suficiente en la mayoría de las investigaciones, donde solo interesa la velocidad horizontal.



Fig. 2.24 Anemómetros de Copas

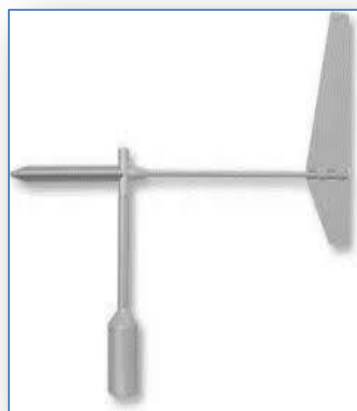


Fig. 2.25 Veleta

2.6.1.2 Anemómetros Ultrasónicos y Digitales

Los ultrasónicos (Figura 2.26) miden la velocidad del viento a partir de la velocidad de propagación del sonido en el flujo de aire que pasa entre sus emisores y sensores. Son insensibles al polvo, la contaminación y la lluvia. Carecen de partes móviles y por tanto de inercia, y miden simultáneamente la velocidad y la dirección de donde sopla el viento. Además, actúan como termómetros sin inercia para determinar la temperatura del aire. En cambio, son difíciles de calibrar y consumen más energía eléctrica para su operación. Los digitales (Figura 2.27) son de elevada precisión, trabajan con niveles de vientos de vientos bajos, en cualquier posición sin necesidad de ser ajustados a la dirección del viento arrojando medidas con intervalo de una hora, con capacidad de almacenar hasta 80 datos.



Fig. 2.26 Anemómetro Ultrasónico



Fig. 2.27 Anemómetro Digital

Las señales eléctricas producidas por los sensores de los anemómetros y las veletas pueden mostrar en indicadores analógicos o digitales, para su lectura por el observador meteorológico, con periodicidad de una a tres horas.

Si las mediciones son muy frecuentes se utiliza un registrador de datos (fig. 2.28) que conserva en su memoria las lecturas automáticas de varios días, hasta su registro.

(Silva, 2010)



Fig. 2.28 Registrador de Datos

2.6.2 Medidores Fotovoltaicos

Los medidores fotovoltaicos son una gran ayuda en la planificación y el mantenimiento de parques fotovoltaicos. Los medidores fotovoltaicos son muy valiosos a la hora de establecer la mejor ubicación y en la comprobación de módulos fotovoltaicos, a continuación describimos algunos medidores fotovoltaicos para determinar la radiación solar.

2.6.2.1 Medidor fotovoltaico 2 en 1 PCE-SPM 2

El medidor fotovoltaico PCE-SPM 2, es un medidor de mano multifuncional 2 en 1. Se encuentra instalado en el medidor fotovoltaico un multímetro y un medidor de energía solar con un sensor externo. El sensor externo de radiación solar le mide la intensidad de radiación solar de forma instantánea en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Por otra parte el medidor de energía solar ofrece la posibilidad de mostrar los valores máximo y mínimo, así como la función HOLD del valor de medición actual. Los valores de medición obtenidos le permitirán valorar correctamente el rendimiento energético y eficiencia de las células fotovoltaicas. El multímetro integrado en el medidor fotovoltaico permite realizar otros tipos de mediciones. El multímetro integrado en el medidor fotovoltaico facilita obtener el valor de medición de los paneles solares con tensiones AC/DC hasta 600 V, corriente AC/DC y resistencias hasta $20.00M\Omega$. Por tanto, el medidor fotovoltaico le permite detectar fallos al realizar mediciones de control, que a su vez ayuda a prevenir costosas reparaciones.



Fig. 2.29 El medidor fotovoltaico en una medición de control

2.6.2.2 Piranómetro MP-200

Los piranómetros son sensores que miden la radiación de onda corta o infrarroja, factor muy importante en muchos tipos de aplicaciones por ejemplo para en el balance energético en edificios y sistemas de aprovechamiento o protección solar, la radiación neta, así como el control de paneles de energía solar.

Piranómetro portátil con display digital para medida de la radiación total de onda corta. El MP-200 incluye un datalogger interno con capacidad para almacenar hasta 99 muestras de forma manual o medias cada 30 minutos de los últimos 99 días con conexión a PC por cable USB.

Este medidor incorpora el sensor remoto con cable SP-110 para medida de radiación solar global W/m^2 con salida en milivoltios con una excelente respuesta cosenoidal con soporte de montaje y velación. Este piranómetro también incorpora un fotodiodo de células de silicio que mide la radiación total de onda corta con un diseño de carcasa del sensor que cuenta con una cabeza en forma de cúpula que lo hace totalmente resistente a la intemperie y auto-limpiante.



Figura 2.30: Piranómetro MP-200

2.7 Proveedores de sistemas eólicos a pequeña escala existentes en el Ecuador

Este análisis tiene un alcance de carácter nacional, propone a los ciudadanos una tecnología de abastecimiento por medios limpios y renovables y busca satisfacer las necesidades de energía del país.

Dentro de una economía globalizada, la competitividad de un país es uno de los parámetros más importantes que debemos tratar de mejorar. Esta puede realizarse a través de la reducción de los costos y consumos energéticos, lo cual permitirá prolongar la duración de nuestras reservas energéticas y preservar el ambiente.

Se ha considerado necesario que la ciudadanía en general cuente con una alternativa en momentos de escasez. El proyecto que se presenta cumple con este fin: informa, provee y satisface la demanda; unifica conceptos entre demanda y oferta y sugiere técnicas de uso eficientes de energía.

Consideramos que el proyecto descrito ha demostrado una posibilidad real de lograr en forma sostenible una opción técnica y limpia de generación eléctrica eólica, razón por la cual el gobierno debe especialmente considerarlo como una alternativa en planes de vivienda y desarrollo.

En nuestro país se tiene muchas empresas comprometidas a brindarnos de la mejor tecnología en sistemas de energía renovable, así como también tenemos varios sistemas representativos instalados alrededor de nuestro país. En las empresas de mayor renombre a nivel nacional nos presentan una variedad de sistemas eólicos y fotovoltaicos, en cuanto a marcas, modelos, tipos y la capacidad de generación.

Entre las empresas más representativas de nuestro país tenemos.

Empresa	Lugar	Proveedores en:
Proviento	Quito-Ecuador	EXMORK
RENOVAENERGIA S.A.	Quito-Ecuador	Lakota y Long-Bow
Enerpro	Quito-Ecuador	Air-X

Tabla2.3: Proveedores de sistemas eólicos y fotovoltaicos a nivel nacional

Existen tres clases de aerogeneradores de acuerdo a su rango de Potencia (kW), denominada como: pequeña potencia de 0.1 – 10 kW; mediana potencia de 11 – 1000kW; y gran potencia más de 1000kW

CAPÍTULO III: FUNDAMENTOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA

3.1 Generalidades

En este capítulo el proceso de cálculo del número módulos fotovoltaicos, número de baterías y del aerogenerador, y se lo denomina dimensionamiento de una instalación híbrida solar-eólica.

Para realizar el proceso de dimensionamiento de una instalación híbrida solar-eólica son necesarios conocer una serie de datos:

- ❖ Dimensionamiento de un sistema híbrido solar-eólico aislado: Demanda Energética
- ❖ Datos climatológicos: Radiación y velocidad del viento disponible
- ❖ Datos geográficos: Latitud el lugar de ubicación de la vivienda

3.2 Dimensionamiento de un sistema autónomo híbrido solar-eólico aislado

El cálculo de la instalación vendrá dado por la relación entre la demanda de energía del sistema y la energía que puede aportar el sol y el viento. Se denomina sistema híbrido dimensionado porque en función de una instalación a la que se tiene que suministrar energía, se calcula el número de módulos fotovoltaicos y su generación, la capacidad de generación de energía del aerogenerador y la capacidad del banco de baterías. A continuación se describe el proceso general del dimensionamiento mostrando las ecuaciones que se requieren para el diseño.

El proceso del cálculo del sistema consiste en los siguientes pasos:

- ✓ Cálculo de la potencia máxima.
- ✓ Cálculo del consumo de corriente máxima diaria.
- ✓ Cálculo de la energía generada por el sistema híbrido solar-eólico.
- ✓ Cálculo de la capacidad del banco de baterías.
- ✓ Calculo del convertidor o inversor.
- ✓ Cálculos del cableado de la instalación

3.2.1 Cálculo de la Potencia Máxima Diaria

En primer lugar para la obtención del consumo, en función del número de equipos, su potencia y el tiempo que estarán en marcha, se obtendrá el valor de la potencia máxima diaria.

Para facilitar la tarea se propone un formato de tabla donde se muestran los datos sobre, los tipos y cantidad de cargas conectadas en la vivienda, se procede a realizar un cálculo del consumo de energía eléctrica en la vivienda.

DEMANDA ENERGETICA EN LA VIVIENDA								
NOMBRE DEL PROYECTO: "Diseño de un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico para la electrificación domiciliaria."								
LOCALIZACIÓN: BARRIO INDIUCHO/ CANTÓN - CATAMAYO / PROVINCIA – LOJA								
USUARIO: Tipo Residencial								
N°	APARATOS ELECTRICOS Y DE ALUMBRADO			P_{Tn}	$FFUn$	CIR	FSn	DMU
	DESCRIPCIÓN UBIC/ELECT	CANT	$P_n (W)$ (Potencia nominal)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)
1								
2								
3								
	TOTAL							

Tabla 3.1 Formato de tabla de datos de la demanda energética en la vivienda.

Fuente: Autor

La vivienda cuenta con los siguientes tipos de cargas:

- 1 punto de luz de 120 voltios y 20 vatios con uso diario de 4 horas, que corresponde con la iluminación de la sala.
- 1 punto de luz de 120 voltios y 20 vatios con uso diario de 3 horas, que corresponde con la iluminación de la cocina.
- 2 puntos de luz de 120 voltios y 20 vatios con uso diario de 3 horas, que corresponde con la iluminación del dormitorio de los padres y de los hijos.
- 1 punto de luz de 120 voltios y 20 vatios con uso diario de 2 horas, que corresponde con la iluminación del patio.
- 1 punto de luz de 120 voltios y 20 vatios con uso diario de 1 hora, que corresponde con la iluminación del baño.
- 1 refrigerador de 120 voltios y 300 vatios con un uso diario de 12 horas.
- 1 radiograbadora de 120 voltios y 20 vatios un uso diario de 3 horas.

- 1 televisor de 20" de 100 vatios y un uso diario de 4 horas.
- 1 DVD de 120 voltios y 20 vatios con un uso diario de ½ hora.
- 1 licuadora de 120 voltios y 300 vatios con un uso diario de 0.08 horas (5 minutos).
- 1 ventilador de 120 voltios y 50 vatios con un uso diario de 1 hora (10 minutos).
- 1 plancha de 120 voltios y 1000 vatios con un uso diario de 0.08 horas (5 minutos).
- 1 computador de 120 voltios y 200 vatios con un uso diario de 3 horas.

Mediante la tensión que va a tener la instalación se obtiene el consumo expresado en A amperios. Para obtener este valor tenemos que considerar la tensión del banco de baterías que se va a utilizar si el consumo va a ser corriente continua o corriente alterna.

Para lo cual utilizamos la ecuación que relaciona la potencia con la tensión y la corriente como se indica en la siguiente expresión

$$P = V * I \quad (W) \qquad \text{Ecuación (3.1)}$$

En este caso se calcula el consumo de corriente diario de la vivienda (I_{diaria} en Ahd), como el cociente entre la energía máxima diaria en Whd (E_{diaria}) y la tensión de la batería ($V_{batería}$ en voltios V con valores típicos de 12, 24 o 48 V) se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$I_{diaria} = \frac{E_{diaria}}{V_{batería}} \quad (Ahd) \qquad \text{Ecuación(3.2)}$$

También se deberá tener en cuenta si la instalación es de corriente alterna, es necesario utilizar un convertidor que adapte los niveles de tensión para los equipos a instalar.

En este caso la expresión anterior se podría dividir para 120V en sustitución a la tensión de la batería, quedando:

$$I_{diaria} = \frac{E_{diaria}}{12V} \quad (Ahd)$$

3.2.2 Cálculo del consumo de corriente máxima diaria

Una vez conocida la corriente diaria que va a consumir nuestra instalación, procedemos a calcular el consumo máximo, teniendo en cuenta las posibles pérdidas.

Para ello hay que calcular las pérdidas totales (K_T), del sistema por medio de la siguiente expresión:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \times \left[1 - \frac{(K_A \times D_{aut})}{P_d} \right] \qquad \text{Ecuación(3.3)}$$

❖ Pérdidas existentes en el sistema

Los coeficientes de pérdidas y días de autonomía que se han considerado, para la realización de este proyecto son los siguientes:

- K_A : son las pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería, dada a los 20°C. Esta pérdida suele venir en los catálogos de las baterías dadas por los fabricantes, su valor por defecto es del 0.5%.
- K_B : pérdidas debido al rendimiento de la batería que por lo general tiene un valor del 5%, pero puede escogerse un valor del 10% para viejos acumuladores o fuertes descargas o bajas temperaturas.
- K_C : pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado los valores por defecto suelen oscilar entre el 80 y el 95% por lo que las pérdidas oscilan entre el 20 y el 5%.
- K_R : pérdidas debido al rendimiento del regulador empleado, suele depender de la tecnología empleada el valor del rendimiento por defecto es del 90%, por lo que las pérdidas serán del 10%.
- K_x : Otras pérdidas no contempladas (por efecto Joule, caídas de tensión, etc.); se escoge un valor por defecto del 10%
- D_{aut} : Días de autonomía; días con baja o nula insolación entre 2 y 5 días, es decir días en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra mediante la acumulación de la cantidad de energía necesaria de las baterías.
- P_d : profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías, por defecto se escoge un valor del 60% o 70%.

Nota: Aunque se han dado los valores en tanto por ciento, para el cálculo en la ecuación de K_T , se utiliza el tanto por uno (en vez de 50% se utiliza 0,5 y un 5% se utiliza 0.05).

Una vez, calculadas las pérdidas, hay que calcular el consumo total de corriente máximo (I_{Tmax}) en función de la corriente máxima diaria requerida en la instalación (I_{diaria}) y las pérdidas totales (K_T), tal como se indica en la siguiente ecuación.

$$I_{Tmax} = \frac{I_{diaria} (Ah)}{K_T (d)} \quad \text{Ecuación(3.4)}$$

3.2.3 Cálculo de la energía generada por el sistema híbrido solar-eólico

Para satisfacer de energía eléctrica a la vivienda en estudio, ubicada en una zona rural de la ciudad de Catamayo se ha planteado como objetivo principal, diseñar un sistema autónomo de electrificación híbrido para suministro de energía doméstica con recursos eólicos y solares como principales fuentes de energía y además fomentar el uso de energías limpias, ya que se ha tenido en cuenta que el área geográfica en la cual se sitúa la ciudad de Catamayo, provincia de

Loja, siendo una excelente alternativa en la zona, por cuanto existe una buena incidencia de rayos solares y vientos prolongados, complementándose entre sí. Los días nublados, no permiten el aprovechamiento adecuado de luz solar, mientras que son ideales para los aerogeneradores. En cambio, los días soleados con poco viento, son adecuados para las placas fotovoltaicas.

Siendo este sistema híbrido solar-eólico, generaremos energía eléctrica con paneles fotovoltaicos y un aerogenerador. Para ello calcularemos el número de paneles o módulos fotovoltaicos y su capacidad de generación como también la capacidad de generación del aerogenerador.

3.2.3.1 Cálculo del Sistema Fotovoltaico

❖ Energía Generada por un Módulo o Panel Fotovoltaico.

Conocida la energía que va a consumir la instalación (I_{Tmax}) y las características del módulo, se calcula el número de módulos fotovoltaicos necesarios. Es decir se va a calcular la cantidad de amperios que puede suministrar a la instalación y que ese valor se ajuste a los amperios necesarios para que funcione la instalación de forma totalmente autónoma.

La capacidad que suministra el módulo fotovoltaico en amperios (C_{Panel}) se calcula teniendo en cuenta la capacidad de generación de un panel solar durante un día, en amperios hora día, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$C_{Panel} = I_{Panel} \times HPS \times \eta_{Panel} [Ahd] \quad \text{Ecuación(3.5)}$$

Siendo:

I_{Panel} : Corresponde a la corriente de pico o corriente máxima I_{mp}

HPS: Horas de pico solar. El cálculo se describe en el numeral 3.4.1

η_{Panel} : Rendimiento del panel.

En el rendimiento del panel se puede escoger valores típicos entre el 85% al 95%. Como norma general se escoge un rendimiento general del 90%, por lo que se multiplica por 0.9 quedando la ecuación como:

$$C_{Panel} = 0.9 \times I_{mp} \times HPS [Ahd] \quad \text{Ecuación(3.5.1)}$$

Siendo:

I_{mp} : Corriente de pico o máxima del panel.

Para el cálculo de la capacidad que suministra el módulo fotovoltaico (C_{panel}) se tendría en cuenta la corriente generada de todo el campo fotovoltaico ($I_{campo_fotovoltaico}$), quedando la ecuación como:

$$C_{panel} = 0.9 \times I_{campo_fotovoltaico} \times HPS \text{ [Ah/d]} \quad \textbf{Ecuación(3.5.2)}$$

Siendo:

$I_{campo_fotovoltaico}$: La corriente de pico o corriente máxima I_{mp} , tras la asociación de todos los módulos fotovoltaicos que forman la instalación.

❖ **Número de Paneles Fotovoltaicos**

Conocida la capacidad que suministra el módulo fotovoltaico (C_{panel}) y el consumo máximo (I_{Tmax}), se calcula el número de paneles (N_{panel}) utilizando la siguiente ecuación:

$$N_{panel} = \frac{I_{Tmax}}{C_{panel}} \quad \textbf{Ecuación(3.6)}$$

❖ **Selección del Regulador**

El regulador debe asegurar las siguientes funciones:

- Proteger a la batería frente a la sobrecarga y a la sobredescarga.
- Disponer de alarmas de baja carga de la batería y de aumento de la carga.
- Reconexión automática o manual.

El regulador deberá estar preparado para que se desconecte de la carga cuando se alcance la máxima profundidad de descarga.

Para elegir el regulador adecuado se calcula, como el producto de la intensidad de cortocircuito del panel, este dato lo obtenemos de la hoja de características técnicas del panel por el número de paneles y aumentarle el factor 1,25 lo utilizamos para prever el aumento de intensidades y tensiones que podrían suministrar los paneles fotovoltaicos en determinadas condiciones climáticas. Este producto será la máxima intensidad nominal a la que trabajara el regulador ($I_{regulador}$), por lo que es necesario conocer la corriente que podrá soportar el circuito de control de potencia, además de la tensión de trabajo.

El regulador de carga debe ser dimensionado siguiendo la siguiente ecuación:

$$I_{regulador} = NP_{totales} \times I_{SC} \times 1.25 \text{ [A]} \quad \textbf{Ecuación(3.7)}$$

3.2.3.2 Cálculo del Sistema Eólico

➤ Selección del Aerogenerador

Un método para decidir que generador se adapta mejor a nuestras necesidades es empezar por seleccionar aquellos modelos cuya potencia nominal tenga lugar a velocidades cercanas a las del estudio eólico de la zona.

Para la selección del aerogenerador se consideró lo siguiente:

1. Datos de la velocidad del viento en la zona de estudio

Datos tomados de la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo “Camilo Ponce Enrique”. En el presente estudio se realizó una extrapolación tanto temporal como espacial de los datos del viento de la estación meteorológica a la zona de estudio, ubicada a 5 Km del aeropuerto de Catamayo en una zona rural del cantón Catamayo.

2. Elección de la capacidad de generación del aerogenerador que satisfaga la demanda energética en la vivienda

En este sistema híbrido solar-eólico el aerogenerador generara un cierto porcentaje del consumo de energía total de la vivienda en estudio, por lo que se considerara algunos modelos existentes en el mercado, que se pueden adaptar a nuestro sistema por sus características de velocidad de arranque, velocidad nominal y velocidad de parada.

3. Tipo de Aerogenerador de eje horizontal o eje vertical

Los aerogeneradores se pueden clasificar de muchas maneras, en el presente proyecto se describen dos formas de clasificación según la posición del eje ya sea horizontal o vertical. Se seleccionó el aerogenerador de eje horizontal son más comunes y tienen una eficiencia mayor que los de eje vertical.

4. Selección del Regulador

Como el regulador-rectificador es el dispositivo encargado de proteger al banco de baterías de sobrecargas por parte del generador eléctrico, la selección del regulador depende de la intensidad de corriente que entra al banco de baterías, es decir la cantidad de corriente que produce el generador a máxima potencia.

3.2.4 Capacidad del Banco de Baterías.

Los sistemas autónomos que utilizan como fuente primaria un tipo de fuente renovable de energía como la solar y eólica, por lo regular contienen un dispositivo acumulador de energía, donde se utilizan las baterías. La capacidad del banco de baterías se determina por la siguiente expresión:

$$C_{BB} = \frac{E_{diaria} \times D_{aut}}{V_S \times Pd} (Ah) \quad \text{Ecuación(3.8)}$$

Para el cálculo de la capacidad del banco de baterías (C_{BB}) se deben tener en cuenta:

- Los días de autonomía (D_{aut}) que mantendrá el suministro
- La profundidad de descarga (Pd) de la batería.
- El Consumo Promedio de Energía eléctrica diaria (E_{diaria}) de la vivienda.
- El Voltaje del Sistema (V_S)

El concepto de “Día de Autonomía” resulta importante para garantizar y satisfacer los niveles de energía requeridos por la carga. Los días de autonomía, no dependen esencialmente, del número de paneles fotovoltaicos o aerogeneradores, solo depende de la demanda y la reserva que decida. Para el presente estudio se ha considerado 2 días de autonomía.

Además es importante considerar en el dimensionamiento de las baterías lo siguiente:

- ❖ No resulta conveniente llevar el nivel de descarga de las baterías por debajo de cierto límite que establece el fabricante, por lo regular cercano al 50%, pues en caso contrario, se reduce el tiempo de vida de las baterías. En este estudio se ha considerado una profundidad de descarga del 60%.
- ❖ Es inapropiado someter a las baterías a un proceso de carga (inyección de corriente) cuando ha alcanzado el 100% de carga, pues también reduce el tiempo de vida de las baterías.
- ❖ Para la protección de las baterías contra los inconvenientes señalados anteriormente, se utilizan los reguladores (automáticos) de carga.
- ❖ El voltaje para el sistema híbrido eólico-solar se determinó en 12V, porque este es el requerimiento de tensión de entrada del inversor (alimentación DC).

El número total de baterías N_{TB} , se determina por:

$$N_{TB} = N_{BS} \times N_{BP} \quad \text{Ecuación(3.9)}$$

Donde:

N_{BS} : Número de baterías en Serie

N_{BP} : Número de baterías en Paralelo

Las baterías en serie se determinan por la siguiente expresión:

$$N_{BS} = \frac{V_S}{V_B} \quad \text{Ecuación(3. 10)}$$

Donde:

V_S : Voltaje del Sistema

V_B : Voltaje de la Batería

Las baterías en paralelo se determinan por la siguiente expresión:

$$N_{BP} = \frac{C_{BB}}{C_{BU}} \quad \text{Ecuación(3. 11)}$$

Donde:

C_{BU} : Capacidad de batería unitaria

3.2.5 Selección del Inversor.

Por último seleccionamos el inversor necesario cuya potencia nominal o de salida sea el valor inmediatamente superior al de todo el consumo de corriente alterna de la instalación. Se calcula como la suma algebraica de todas las potencias de todos los equipos ($P_{equipos}$), para así conocer la capacidad del Inversor (Cap_{inv}), se debe tener en cuenta la tensión del banco de baterías que determinara la tensión de entrada y la tensión de salida.

- Factor de demanda: 100%

Algunos inversores trabajan con una eficiencia de 80%, tomaremos este valor para calcular la capacidad de inversor requerida para este sistema.

Capacidad del inversor:

$$Cap_{inv} = \frac{P_{equipos} \times 100\%}{\text{eficiencia del inversor}} \quad \text{Ecuación(3. 12)}$$

Seleccionamos un inversor que pueda hacer frente al valor calculado en W , hay que tener presente que los inversores son equipos con bajo rendimiento a bajas cargas de trabajo, por lo que no es de utilidad aplicar un gran sobredimensionamiento en su elección.

3.2.6 Cálculos del cableado de la instalación

Elegir la sección adecuada del conductor es importante, ya que una mala elección puede suponer una caída de tensión más elevada que el conductor, lo que se traduce en un aumento de la corriente y correspondiente aumento de la temperatura.

Primero hay que calcular el valor de la sección matemáticamente, donde se debe conocer el material que lo componen (cobre o aluminio y su conductividad k), la longitud de cable (l) en metros, la corriente que atravesara (I) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos (V) en voltios. La sección del cable se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S = 2 \times \frac{l \times I}{k \times V} (\text{mm}^2) \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$I = I_{sc} \times N_{panel} (A)$$

Donde:

S : Sección del conductor.

I_{sc} : La corriente del cortocircuito.

El valor de la conductividad (k) dependerá del material utilizado:

- Cobre: $56/\Omega\text{mm}^2$

La caída de tensión (V) se calcula para un porcentaje de la tensión nominal utilizando la siguiente ecuación:

$$V = V_n \frac{\%e}{100} (V) \quad \text{Ecuación 3.14}$$

- $\%e$ = Porcentaje de caída de tensión permitida (1 a 3% máx.)
- V_n = Voltaje nominal

El siguiente paso es elegir una sección normalizada. Para ello se consulta las tablas de los fabricantes de conductores.

Los componentes de la instalación se ubican en la parte norte de la vivienda, fijas a la pared externa donde se alojaron en el interior de un gabinete, como el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor. El mismo que garantizara las condiciones de seguridad y ventilación de los equipos.

La longitud de cableado entre los paneles el aerogenerador, el regulador, el banco de baterías y el inversor deberá ser la mínima posible, con el propósito de usar cables de menor sección, evitar pérdidas por efecto joule y caídas de voltaje.

➤ **Calculo de la sección de los conductores en la parte de corriente continua.**

Para la corriente que va del campo generador al gabinete donde se encuentra el regulador, las baterías e inversor, hay que tener en cuenta la corriente máxima que puede generar el campo fotovoltaico (I), la misma que será calculada de acuerdo a la ecuación:

$$I = \frac{P}{V_S} \times F_S \quad \text{Ecuación 3.15}$$

3.3 Ubicación Geográfica del Proyecto

▪ **Descripción de la Zona**

La ciudad de Catamayo está ubicada hacia la parte Nor-Este de la provincia de Loja a 36 Km de la misma es agradable para vivirlo y muy productivo en recursos agropecuarios. Siendo un Cantón con recursos renovables medios, debido a su posición geográfica.

La producción de energía eléctrica utilizando dichos recursos se puede incluir en el sistema eléctrico nacional o se puede utilizar en la alimentación de cargas aisladas de la red eléctrica. Como la utilización de las energías renovables es cada vez más apoyada y estimulada por Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en la provincia de Loja se buscan aplicaciones adecuadas para su uso.

ALTITUD	1000 metros sobre el nivel del mar
CORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD: S 4° 0' / S 3° 50' (-3.98333)
	LONGITUD: W 79° 30' / W 79° 15' (-79.35)
CLIMA	Cálido seco y subtropical
TEMPERATURA	25 grados centígrados

Tabla.3.2: Datos Geográficos de Catamayo

3.3.1 Características Generales de la Vivienda

La vivienda objeto de proyecto se encuentra en el Cantón Catamayo a 5 Km del aeropuerto llamado "Ciudad de Catamayo" vía a Gonzanamá, la vivienda se encuentra aislada física y eléctricamente de la zona urbana. El objeto del proyecto consiste en diseñar un sistema híbrido que genere energía eléctrica a partir de dos fuentes de energía renovables: eólica y solar.

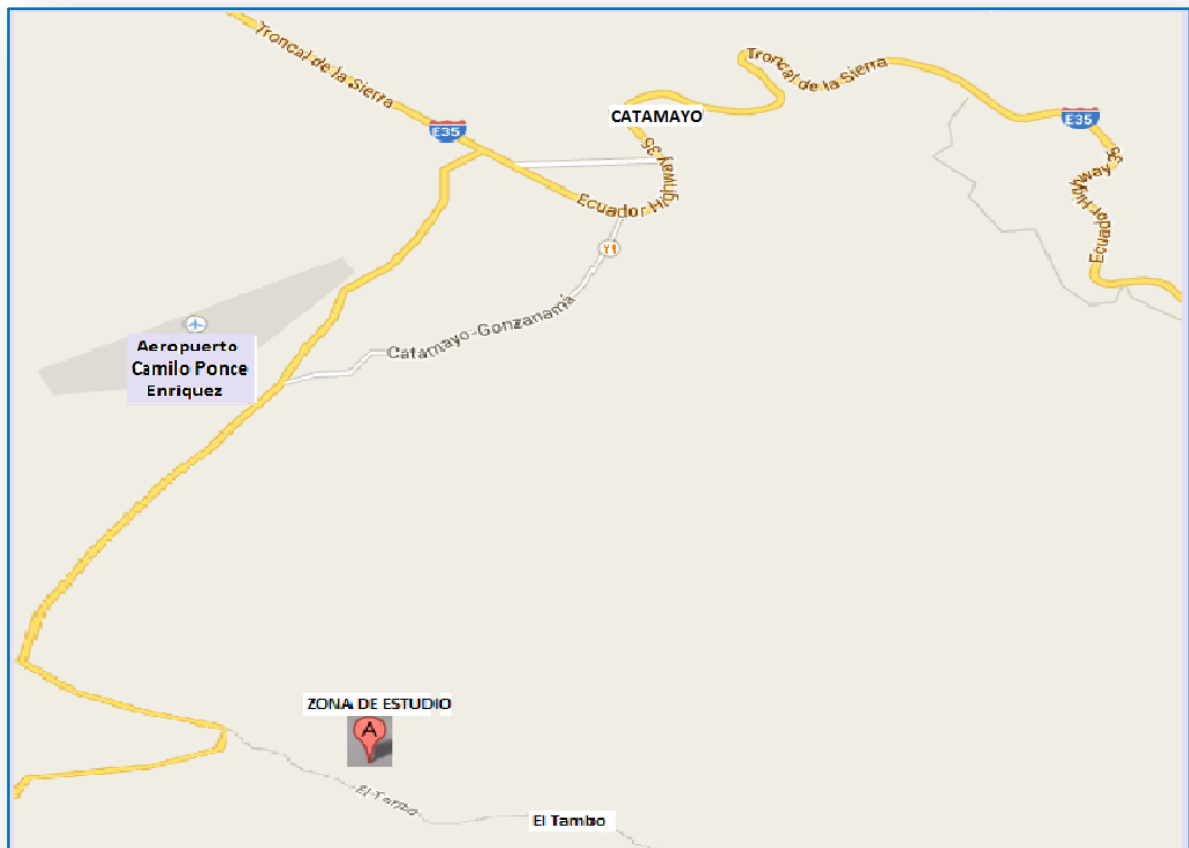


Figura3.1: Mapas del cantón y la ubicación de la vivienda rural.

Fuente: www.verfotosde.org

La vivienda está ubicada en una finca dedicada a la producción agropecuaria y avícola. Estas tareas son llevadas a cabo por una familia conformada por cuatro personas. La vivienda consta de dos dormitorios, sala-comedor y cocina, con una superficie de $50 m^2$ aproximadamente, como se puede observar en la figura 3.2.



Figura 3.2: Vivienda de estudio

La vivienda está ocupada durante todo el año y el sistema híbrido debe suministrar energía eléctrica para las necesidades diarias de las personas que viven en ella.

3.4 Estudio Climatológico de la zona de estudio

3.4.1 Estudio Solar de la zona

Para los estudios solares hemos tomado como referencia el Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cuál ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE. Con fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética. Este documento técnico, que incluye la cuantificación del potencial solar disponible y en base a mapas mensuales de insolación directa, global y difusa, con el fin de ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar esta tecnología para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones como fabricar colectores térmicos y módulos fotovoltaicos.

El Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), consta de atlas mensual del año 2008.

Para el siguiente análisis contamos con los datos recogidos por el CONELEC, del cual podemos deducir:

INSOLACION GLOBAL AÑO 2008	
MES	Wh/m² día
ENERO	4500
FEBRERO	4800
MARZO	4650
ABRIL	4650
MAYO	4500
JUNIO	4650
JULIO	4950
AGOSTO	5100
SEPTIEMBRE	5550
OCTUBRE	5400
NOVIEMBRE	5550
DICIEMBRE	5550
PROMEDIO	4950

Tabla.3.3: Insolación global para la zona de Catamayo

Fuente: Autor

- Irradiación global promedio del año 2008 es igual a 4950 Wh/m² día

Introducimos el concepto de las “Horas de Sol Pico” o HPS (h). Se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m². Es decir consiste en trasladar toda la energía que llega a un emplazamiento a su equivalente, suponiendo que la irradiancia es de 1000 W/m².

En este punto, hay que hacer un apunte importante:

- ❖ Irradiación: Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²/día o unidades equivalentes.
- ❖ Irradiancia: Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m² o unidades equivalentes.

Se define como el valor de la radiación total incidente sobre una superficie horizontal de 1m² pero expresado en kWh. De otra manera, es saber el número de horas que se tiene una irradiancia equivalente de 1000 W/m²

Es decir, dividimos la radiación total incidente I_m (kWh/m²) para la irradiancia equivalente I_c 1(kWh/m²).

Donde:

HPS = Horas Pico Solar

I_m = Radiación incidente (energía anual)

I_c = Irradiancia equivalente (constante)

$$HPS(h) = \frac{I_m}{I_c} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$HPS(h) = \frac{\left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{\left(\frac{W}{m^2}\right)}$$

$$HPS(h) = \frac{4950 \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)} = 4.95h$$

Tenemos un valor de $HPS = 4.95 h$ resultado de procesar datos del CONELEC, por lo cual para próximos cálculos podemos tomar el valor de $HPS = 5 \text{ horas}$.

3.4.2 Presentación de Datos Eólicos sector “Catamayo”

La estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo llamado “Ciudad de Catamayo” me ha proporcionado los datos eólicos (m/s), ya que dicha estación cuenta con un anemómetro marca YOUNG.

Velocidad del viento (m/s) Estación Meteorológica Aeropuerto “Ciudad de Catamayo” 2013				
MES	Velocidad Promedio (m/s)	Dirección Dominante	Velocidad Máxima (m/s)	Dirección Dominante
Enero	4.99	E	15.94	W
Febrero	3.55	W	12.34	W
Marzo	3.55	SW	14.40	NW
Abril	6.74	ENE	18.52	ENW
Mayo	3.50	NNW	15.94	ENW
Junio	5.55	ENE	19.55	ENE
Julio	6.58	ENE	17.50	ESE

Tabla.3.4 Datos de la velocidad y dirección del viento

Fuente: Estación Meteorológica “Aeropuerto de Catamayo”.

Se puede deducir lo siguiente:

- ✓ Velocidad máxima del viento desde 12.34 a 19.55 m/s.
- ✓ Velocidad media del viento desde 3.5 a 7 m/s

Estos parámetros muestran que la zona de Catamayo posee un recurso eólico que se puede aprovechar, además los meses de Agosto, Septiembre y Octubre existen vientos fuertes prolongados, no se obtiene los datos de los meses antes mencionados debido a remodelaciones

existentes en la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo, por personas nativas de la zona afirman los vientos prolongados existentes de los meses de Agosto a Octubre.

3.4.3 Extrapolación espacio-temporal de datos.

En el presente estudio se realizó una extrapolación tanto temporal como espacial de los datos del viento de la estación meteorológica del Aeropuerto de Catamayo “Ciudad de Catamayo” a la zona de estudio, ubicado dicho aeropuerto a 5 Km de la zona de estudio.

3.4.3.1 Extrapolación temporal de los datos de la velocidad de la estación meteorológica del Aeropuerto de Catamayo “Ciudad de Catamayo”.

Se utilizan varios métodos para correlacionar los datos medidos en un lugar en un corto periodo de tiempo (de varios meses a un año) con datos de una estación de referencia. Esta estación de referencia, que puede ser meteorológica, debe encontrarse lo más cerca posible del sitio de emplazamiento y se recomienda que deba encontrarse como máximo entre 20 y 50 km, en un sitio con características físico-geográficas similares.

El viento crece con la altura por encima del nivel del suelo, las características de este cambio depende de muchos parámetros. El comportamiento de este cambio depende primeramente de las características del terreno y también van a influir las condiciones atmosféricas. Para estimar la variación de la velocidad del viento con la altura, se utilizan una ecuación de tipo estadístico, conocida como Ley Exponencial de Hellmann, que se expresa como:

$$v = V_o \left(\frac{Z}{Z_o} \right)^\alpha \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde:

v : Velocidad del viento en el sitio a la altura Z .

V_o : Velocidad en el sitio a la altura Z_o .

Z : Altura a extrapolar (15m).

Z_o : Altura de medición (10m).

α : Coeficiente de la función exponencial, una buena aproximación para α esta dada por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{15.25}{Z_1}\right)} \quad \text{Ecuación 3.17.1}$$

Z_1 : Parámetro de rugosidad, esta expresado en metros y es definido como la altura donde la velocidad promedio del viento es cero.

En la tabla 3.5 se puede encontrar algunos valores de Z_1 .

Clases de rugosidad	Longitud de Rugosidad (Z_1) (m)	Índice de Energía (%)	Tipo de Terreno
0	0.0002	100	Superficie de agua. Terreno abierto, superficie lisa.
0.5	0.0024	73	Pistas de hormigón (aeropuertos), césped
1	0.030	52	Campos abiertos ni cercados ni setos. Edificios muy dispersos. Colinas suavemente redondeadas
1.5	0.055	45	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado mínimo 1250m
2	0.1	39	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 500m
2.5	0.2	31	Campo con muchas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 250m
3	0.4	24	Pueblos, bosques y terreno accidentado y desigual
3.5	0.8	18	Ciudades con edificios altos
4	1.6	13	Grandes ciudades con edificios muy elevados

Tabla 3.5. Valores de rugosidad para diferentes tipo de superficie

Fuente: Miguel Villarubia. Energía Eólica 2004

Según las condiciones del terreno de la zona de estudio, se aplica una longitud de rugosidad $Z_1 = 0.030$; entonces resolviendo la ecuación anterior se tiene:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{15.25}{0.030}\right)} = 0.16$$

Aplicando la ecuación de la Ley Exponencial de Hellmann, para las condiciones antes establecidas, se determinó la velocidad del viento a corto plazo a una altura de 10 metros, que es la altura del anemómetro ubicado en la estación meteorológica de referencia. Los resultados obtenidos, se muestran para cada mes en la siguiente tabla.

MES 2013	Velocidad Promedio del viento en (m/s) a corto plazo a 10 m	Velocidad Promedio del viento en (m/s) a corto plazo a 15 m
Enero	4.99	5.32
Febrero	3.55	3.78
Marzo	3.55	3.78
Abril	6.74	7.19
Mayo	3.50	3.73
Junio	5.55	5.92
Julio	6.58	7.02

Tabla 3.6 Valores de la velocidad del viento del "Aeropuerto de Catamayo" extrapolados a 15m

Fuente: Estación Anemométrica Aeropuerto de Catamayo

3.4.3.2 Extrapolación espacial de los datos de la velocidad de viento del Aeropuerto de Catamayo a la zona de estudio.

Una de las fórmulas que realiza ambas extrapolaciones a la vez, cuando se trata de terrenos llanos y en un entorno cercano a la estación de referencia de medición es:

$$V_z = V_{zr} \frac{\ln\left(\frac{60}{z_{or}}\right) \ln\left(\frac{z}{z_1}\right)}{\ln\left(\frac{60}{z_o}\right) \ln\left(\frac{z_r}{z_{or}}\right)} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Donde:

V_z = Es la velocidad del viento en el sitio de emplazamiento, a la altura Z

V_{zr} = Es la velocidad del viento en la estación de referencia, a la altura Z_r

Z = Altura de emplazamiento del aerogenerador.

Z_r = Altura del anemómetro con respecto al suelo en la estación de referencia.

Z_o = Altura de la rugosidad en el sitio de emplazamiento.

Z_1 = Longitud de rugosidad del terreno de la zona de estudio

Z_{or} = Altura de la rugosidad superficial en la estación de referencia.

El sitio de emplazamiento es la zona ubicada a 5 km del Aeropuerto de Catamayo (lugar rural del Cantón Catamayo) y la estación de referencia es la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Catamayo "Ciudad de Catamayo", en este contexto, se utilizó los siguientes datos:

$$Z = 15m$$

$$Z_r = 10m$$

$$Z_o = 0.030m$$

$$Z_1 = 0.030$$

$$Z_{or} = 0.055m$$

La siguiente tabla muestra los resultados de la extrapolación de datos de la velocidad del viento medida desde 10m a 15m

MES 2013	Velocidad Promedio del viento en (m/s) (Aeropuerto de Catamayo a 10 m)	Velocidad Promedio del viento en (m/s) Zona de estudio a 15 m
Enero	5.32	5.80
Febrero	3.78	4.12

Marzo	3.78	4.12
Abril	7.19	7.84
Mayo	3.73	4.07
Junio	5.92	6.45
Julio	7.02	7.65

Tabla 3.7: Valores de la velocidad del viento en la Zona de Estudio extrapolados a 15m de altura

Fuente: Estación Anemométrica Aeropuerto de Catamayo

3.4.4 Determinación de los Parámetros de Weibull

Para la caracterización del viento se usa la ley de densidad de probabilidad de Weibull, que permite modelar la distribución de la velocidad de viento, es decir, facilita una expresión matemática para predecir, con una aproximación razonable, el comportamiento de la velocidad de viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo.

Se ha comprobado experimentalmente que la velocidad de viento sigue aproximadamente una densidad de probabilidad para la velocidad del viento de un periodo y que se ajusta bastante bien a una distribución de la función densidad de probabilidad de Weibull.

La función densidad de probabilidad $p(v)$ corresponde a ley de Weibull es de dos parámetros (k, c) y viene dada por la expresión:

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \times \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \times \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Donde:

$p(v)$: Probabilidad estadística de que ocurra una velocidad v .

k : Factor de forma (adimensional)

c : Factor de escala, (m/s), cuyo valor es cercano a la velocidad media.

v : Velocidad promedio anual.

Para determinar los parámetros de k y c , en el sitio de estudio, se empleó el método de variabilidad del viento, que se emplea cuando no se posee de una medición en el lugar en donde se va instalar el aerogenerador. Este método permite una solución aproximada de la velocidad del viento.

Se establecen tres tipos de mediciones entre k y la velocidad media anual, en función del tipo de varianza o índice de variabilidad, así se tiene:

Para una variabilidad pequeña:

$$k = 1.05 \times \sqrt{V}$$

Para una variabilidad mediana:

$$k = 0.94 \times \sqrt{\bar{V}}$$

Para una variabilidad alta:

$$k = 0.73 \times \sqrt{\bar{V}}$$

Debido a que la variabilidad del viento en la región sur del Ecuador es mediana, según el CONELEC, para determinar el parámetro k se utilizó la ecuación (para una variabilidad mediana), así se tiene:

$$k = 0.94 \times \sqrt{\bar{V}} \quad \text{Ecuación 3.19.1}$$

Mientras que el parámetro c , se determinó mediante la siguiente expresión:

$$c = \left(\frac{\bar{V}}{r(1 + \frac{1}{k})} \right) \quad \text{Ecuación 3.19.2}$$

Donde:

\bar{V} : Velocidad media

$Vr(1 + \frac{1}{k})$: Función Gamma evaluada en $1 + \frac{1}{k}$

El valor del parámetro k se encuentra resumido en la siguiente tabla para una altura de 15 metros.

MES 2013	Velocidad Promedio del viento en (m/s) Zona rural de estudio del Cantón Catamayo a 15 m	Parámetro de Weibull
		k
Enero	5.80	2.26
Febrero	4.12	1.90
Marzo	4.12	1.90
Abril	7.84	2.63
Mayo	4.07	1.89
Junio	6.45	2.38
Julio	7.65	2.59

Tabla 3.8: Parámetro de Weibull a 15m de altura

3.5 Determinación del Potencial Eólico disponible en la zona rural de estudio del Cantón Catamayo.

La potencia disponible (Pd) asociada al caudal de aire que atraviesa dicha sección es:

$$Pd = \frac{1}{2} \dot{m} \times v^2 = \frac{1}{2} \rho \times A \times v^3 \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Una masa de aire \dot{m} , de densidad (ρ) que fluye a través de una superficie de área (A) perpendicular a la dirección del flujo, viene dado por la ecuación de la mecánica de fluidos:

$$\dot{m} = \rho \times A \times v \quad \text{Ecuación 3.20.1}$$

La expresión 3.19 indica que la potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área expuesta perpendicular al flujo de viento y al cubo de la velocidad del mismo. También se define la densidad de potencia o potencia por unidad de área (Pd/A) como:

$$\frac{Pd}{A} = \frac{1}{2} \rho \times v^3 \quad \text{Ecuación 3.20.2}$$

De la expresión anterior, se puede concluir lo siguiente:

- Que la potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire.
- Uno de los aspectos determinantes en la potencia disponible es la velocidad ya que la misma crece al cubo, esto indica que mientras mayor sea la velocidad, la potencia se incrementará al cubo.
- Es la máxima potencia que podríamos extraer del viento si pudiésemos convertir toda su energía cinética en energía útil; es decir, realiza un ciclo de conversión de energía ideal. Es conversión ideal ya que el Teorema o Limite de Betz, expresa que la potencia máxima que teóricamente puede ser aprovechada de un flujo de viento es tan solo un 59.3% de la potencia disponible en el mismo. A esto se suman las pérdidas por rozamiento aerodinámico y mecánico, así como las pérdidas eléctricas.

(Villarubia, 2004)

Para el cálculo del potencial eólico en la zona de estudio se consideró la variabilidad de la velocidad. En tal sentido la potencia eólica se determinó a través de la siguiente expresión:

$$\frac{(Pd)}{A} = \frac{1}{2} \times \rho \times Fe \times (v)^3 \quad \text{Ecuación 3.20.3}$$

Donde:

(v): Velocidad media del viento en m/s.

Fe : Factor de Potencia eólica

ρ : Densidad de aire es:

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{T + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435}\right)} \frac{Kg}{m^3}$$

Ecuación 3.20.4

En donde la altura (h) es de 1000 msnm y 25°C la temperatura (T) media anual de la zona de estudio.

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{25 + 273} \right) e^{-\left(\frac{1000}{8435}\right)} \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho = 1.04 \frac{kg}{m^3}$$

$$Fe = \frac{(v^3)}{(v)^3} = \frac{r(1 + \frac{3}{k})}{r^3(1 + \frac{3}{k})}$$

Con los valores mostrados en la tabla anterior 3.8 se calculó la potencia eólica en la zona de estudio, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

MES 2013	Velocidad Promedio del viento en (m/s) Zona rural de estudio del Cantón Catamayo a 15 m	Parámetro <i>k</i>	Factor de Potencia eólica (<i>Fe</i>)	Potencia eólica disponible (<i>P/A</i>)W/m ²
Enero	5.80	2.26	1.61	163.41
Febrero	4.12	1.90	1.68	61.11
Marzo	4.12	1.90	1.68	61.11
Abril	7.84	2.63	1.55	388.42
Mayo	4.07	1.89	1.70	60.54
Junio	6.45	2.38	1.60	223.21
Julio	7.65	2.59	1.56	363.17
Promedio	5.72	2.22	1.62	188.71

Tabla 3.9: Potencia Eólica disponible en zona de estudio a 15m de altura

En la tabla anterior, se evidencia que el mes de mayo, es el que dispone de menor potencia eólica por unidad de área.

3.5.1 Evaluación del potencial eólico promedio de una zona rural del cantón Catamayo.

Es necesario conocer el potencial eólico promedio que se puede obtener en la zona de estudio, a partir de los datos proporcionados por la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo "Ciudad de Catamayo" los mismos que fueron extrapolados del aeropuerto de Catamayo a la zona de estudio. Es así como los datos presentados en este trabajo, incluyen el período de Enero a Julio del 2013, cuyos promedios son: velocidad del viento 5.72 m/s, temperatura 25°C, sus coordenadas geográficas se muestran en la tabla 3.2.

Para la obtención del potencial eólico en cierta área circular específica, se requiere del conocimiento de tres factores importantes:

1. Velocidad. Debido a que la velocidad del viento no es constante, se realizaron mediciones de velocidad en función del tiempo.
2. Densidad del aire seco, tomada como 1.225 medida en kg/m^3 .
3. Tamaño del rotor. Para efectos del cálculo del potencial eólico, se supone un aerogenerador marca EXMORK con un rotor de 2.2 m de diámetro.

Para la variación de la densidad se considera la siguiente ecuación:

$$\rho = 1.225 e^{\left[\frac{-Z}{8435} \frac{(T-15)}{288}\right]} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

$$\rho = 1.225 e^{\left[\frac{-1000}{8435} \frac{(25-15)}{288}\right]}$$

$$\rho = 1.051 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

Z : Valor de la altura en metros sobre el nivel del mar (m snm)

T : Temperatura en °C

La ecuación general para el potencial eólico es:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times \pi \times r^2 \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Donde:

P : Potencia expresada en W

ρ : Densidad del aire en kg/m^3

v : Velocidad media en m/seg

r : Es el tamaño del rotor del aerogenerador en m

π : Constante = 3.1415926535

La potencia eólica para un aerogenerador de 2.2 m de diámetro, así como la velocidad promedio calculada de los datos experimentales, es:

$$P = \frac{1}{2} \times 1.05 \text{ kg/m}^3 \times (5.72 \text{ m/seg})^3 \times \pi \times (1.1 \text{ m})^2$$

$$P = 373.83 \text{ W}$$

Con esto la potencia eólica alcanzada es de 373.83 W , lo cual es lo suficientemente potente para abastecer una parte de las cargas existentes en la vivienda ya que es un sistema híbrido solar-

eólico. No obstante, la potencia del aerogenerador depende en gran medida de la velocidad del viento.

CAPÍTULO IV

4.1 Materiales y Métodos

El objetivo principal de este trabajo consistió en diseñar un sistema híbrido solar-eólico aprovechando la energía solar y eólica, para poder satisfacer las necesidades energéticas que existen en una vivienda ubicada en una zona rural del Cantón Catamayo.

Uno de los propósitos principales es presentar una metodología basada en cálculos y análisis para el diseño del sistema híbrido solar-eólico, por tanto esta actividad se desarrolló en primera instancia, de forma investigativa, buscando bibliografía sobre el presente tema de investigación, con lo cual se determinó y se elaboró un marco teórico conceptual, mediante la revisión de normas técnicas, manuales de instalación, catálogos y modelos que permitieron conocer y asimilar bases teóricas para el diseño del aerogenerador de eje horizontal.

A partir de la información bibliográfica previamente analizada, se realiza la recolección de datos de la velocidad del viento, estos datos necesarios para el diseño del sistema de generación eléctrica fueron tomados por los anemómetros ubicados en la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo llamado "Ciudad de Catamayo".

Los datos recolectados sobre la velocidad del viento y radiación del sol, fueron tomados en distintos intervalos de tiempo, como se detalla a continuación:

- Los datos obtenidos por anemómetro portátil, facilitado por el AEIRNNR, fueron recolectados en la zona de estudio ubicada a 5 km del aeropuerto de Catamayo en una zona rural del Cantón, del 15 de Mayo al 28 de Julio del 2013 datos tomados un día por semana. En este proceso de recolección se puede apreciar que estos datos no son útiles para el diseño, por esta razón es que se utiliza los datos de las estaciones de referencia.
- Los datos que se obtuvieron con el anemómetro ubicado en la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo "Ciudad de Catamayo", fueron recolectados en un corto periodo de tiempo, comprendido en un lapso de siete meses de Enero a Julio del 2013, no existe registro de datos después del mes de Julio debido a que se culminaba el tiempo de presentación del proyecto de Tesis y tampoco de años anteriores por cuestión de remodelaciones existentes en el aeropuerto.
- Para los estudios de la radiación solar hemos tomado como referencia el Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cuál ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE. Con fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética. Este documento técnico, que incluye la cuantificación del potencial solar disponible y en base a

mapas mensuales de Enero a Diciembre del año 2008 especificando además, la insolación directa, global y difusa.

Utilizando los datos ya recolectados de la velocidad del viento y radiación solar, se realiza el estudio del potencial eólico y solar en la zona de estudio. Como primer paso para el diseño de un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico, debemos conocer la demanda de consumo de energía eléctrica en la vivienda. La demanda de energía se establece a partir del levantamiento de los equipos (electrodomésticos) de la vivienda objeto de estudio.

Una vez establecidos los equipos que dispone la vivienda en estudio, se procede a realizar un cálculo del consumo de energía eléctrica de los mismos. Además, se estimó las horas de uso de los mismos durante el día con lo que estableció el consumo diario para estimar el consumo anual en el lugar de estudio.

Siendo este sistema híbrido solar-eólico, la demanda energética de la vivienda será generada un 70% con un aerogenerador y el 30% con los paneles fotovoltaicos, ya que la zona posee características climáticas óptimas.

Con respecto al diseño del sistema eólico primeramente, se desarrolló la extrapolación espacio – temporal de datos, es decir se ajustó los datos a las circunstancias de altura, tiempo condiciones de viento y entorno del lugar de estudio. Teniendo los datos de la velocidad del viento, ajustados a las condiciones reales de la zona de estudio se determina los parámetros de la ley de densidad de probabilidad de Weibull, la misma que facilita una expresión matemática para predecir el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo y a partir de esto determinar el potencial eólico disponible en la zona de estudio.

4.1.1 Materiales Utilizados

Los materiales que se utilizaron para la obtención de datos que se requiere para el proceso de cálculo son:

➤ Equipos de medición Anemómetro y Piranómetro

Los equipos utilizados para la toma de datos meteorológicos fueron el anemómetro climático de bolsillo tipo BRUNTON figura 4.1, equipo para medir la velocidad del viento en el lugar de emplazamiento y el piranómetro MP-200 figura 4.2, con el cual se midió la radiación solar en la zona de estudio, equipos con los que el centro de investigación de energías alternativas del AEIRNNR, me facilitaron para la recolección de datos.

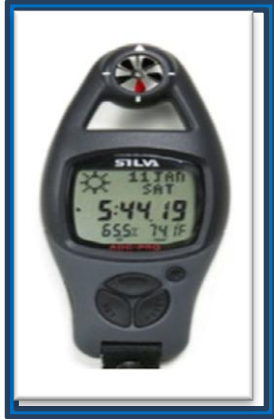


Fig 4.1: Anemómetro BRUNTON



Fig 4.2 Piranómetro MP-200

Además de estos equipos, el anemómetro marca YOUNG colocado en una torre estructural a 10m de altura, ubicado en la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo “Ciudad de Catamayo” fue el anemómetro principal que se encarga de la recolección constante de los datos de viento.



Figura 4.3: Torre del anemómetro



Figura 4.4: Anemómetro (YOUNG)

➤ Recursos Informáticos

Se utilizó computadora portátil ASUS, para digitar los datos de la velocidad del viento, cálculos y textos bibliográficos como también, una cámara digital marca Sony para una mejor apreciación de los anexos respectivos.

4.2 Análisis del Sistema Híbrido Solar-Eólico para la Electrificación Domiciliaria

El método de cálculo propuesto evalúa la demanda y fija el tiempo de reserva para calcular el número y características de los componentes, que deberán utilizarse en el sistema, si estos valores obtenidos son óptimos, el sistema resultante tendrá el menor costo y el mayor grado de fiabilidad posible.

El proceso de cálculo para lograr optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica es la de llegar a obtener un balance equilibrado entre la energía generada y la consumida por la carga, más las pérdidas del sistema.

4.2.1 Descripción y Cálculo de las Cargas en la Vivienda

En la vivienda no se incluyen cargas en CC y se tomara en cuenta un grupo de cargas de CA de un hogar de clase media en sectores rurales.

La demanda de energía se establece a partir del levantamiento de los aparatos eléctricos y de alumbrado de la vivienda objeto de estudio, como se muestra en la siguiente tabla:

APARATOS ELECTRICOS Y DE ALUMBRADO	CANTIDAD	h/día
Dormitorio padres Iluminación LFC	1	3
Dormitorio hijos Iluminación LFC	1	3
Sala Iluminación LFC	1	4
Cocina Iluminación LFC	1	3
Patio Iluminación LFC	1	2
Baño Iluminación LFC	1	1
Televisor	1	4
Licuada	1	0.08 (5 min)
DVD	1	0.5 (30min)
Ventilador	1	1
Radiograbadora	1	4
Plancha	1	0.08 (5 min)
Computadora	1	3
Refrigeradora	1	12
Promedio de hora de uso al día		2.9

Tabla 4.1: Aparatos eléctricos y de alumbrado existentes en la vivienda

Fuente: Autor

Una vez establecidos los equipos que dispone la vivienda en estudio, se procede a realizar un cálculo del consumo de energía eléctrica en la vivienda, multiplicando la potencia total nominal (P_{Tn}) por el factor de la frecuencia de funcionamiento Unitario ($FFUn$) para hallar la carga

instalada(*CIR*) y esta multiplicada por el factor de simultaneidad (*FSn*) hallaremos la demanda máxima unitaria (*DMU*) que es el valor que nos interesa.

DEMANDA ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA								
NOMBRE DEL PROYECTO: "Diseño de un sistema autónomo de generación eléctrica híbrido solar-eólico para la electrificación domiciliaria."								
LOCALIZACIÓN: BARRIO INDIUCHO/ CANTÓN - CATAMAYO / PROVINCIA – LOJA								
USUARIO: Tipo Residencial								
N°	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO			P_{Tn}	$FFUn$	CIR	FSn	DMU
	DESCRIPCIÓN UBIC/ELECT	CANT	$P_n (W)$ (Potencia nominal)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)
1	Dormitorio padres Iluminación LFC	1	20	20	85	17	0.9	15.3
2	Dormitorio hijos Iluminación LFC	1	20	20	85	17	0.9	15.3
3	Sala Iluminación LFC	1	20	20	70	14	0.9	12.6
4	Cocina Iluminación LFC	1	20	20	80	16	0.8	12.8
5	Patio Iluminación LFC	1	20	20	80	16	0.7	11.2
6	Baño Iluminación LFC	1	20	20	70	14	0.4	5.6
7	Televisor	1	100	100	85	85	0.5	42.5
8	Licuadaora	1	300	300	85	255	0.3	76.5
9	DVD	1	20	20	85	17	0.3	5.1
10	Ventilador	1	50	50	80	40	0.3	12
11	Radiograbadora	1	20	20	90	18	0.3	5.4
12	Plancha	1	1000	1000	80	800	0.3	240
13	Computadora	1	200	200	85	170	0.3	51
14	Refrigeradora	1	300	300	90	270	1	270
	TOTAL			2110		1749		775.3

Tabla 4.2: Cálculo del consumo eléctrico de la vivienda.

Fuente: Autor

Continuando, se divide la demanda máxima unitaria (*DMU*), por el factor de potencia (*FP*) de la Empresa Eléctrica (EERSSA) para consumo residencial.

$$DMU (kVA) = DMU (W)/FP$$

Ecuación 4.1

$$DMU = 775.3/0.92$$

$$DMU = 842.72(VA) = 0.84kVA$$

Calculando la proyección de la carga a 10 años (Pr) con la fórmula: $(1 + \frac{Ti}{100})^{10}$

Dónde: Ti (%) = Tasa de incremento de las cargas eléctricas = 3.00

$$(1 + \frac{Ti}{100})^{10} = (1 + \frac{3}{100})^{10} = 1.34$$

Por tanto calculamos la demanda máxima unitaria promedio $DMUp$

$$DMUp = DMU(kW) \times Pr$$

Ecuación 4.2

$$DMUp = 0.84 \times 1.34 = 1.12(kW)$$

Por lo tanto el Consumo Promedio de Energía eléctrica (CEU) de la vivienda por día es de:

$$CEU = DMUp (kW) \times h/día$$

Ecuación 4.3

$$CEU = 1.12(kW) \times 2.9h/día$$

$$CEU = 3.25(kWh/día)$$

En este contexto, la demanda energética a satisfacer en el lugar de estudio para el sistema híbrido eólico-solar, se establece por (DET)

➤ En un mes

$$DET = CEU (kWh/día) \times dias del mes$$

Ecuación 4.4

$$DET = 3.25 (kWh/día) \times 30$$

$$DET = 97.5(kWh/mes)$$

➤ En un año

$$DET = CEU (kWh/día) \times dias del año$$

$$DET = 3.25 (kWh/día) \times 365$$

$$DET = 1186.25(kWh/año)$$

La vivienda posee solo cargas de AC, conformada por la partes de iluminación y por electrodomésticos, conociendo la Demanda Máxima Unitaria promedio ($DMUp$) de la vivienda y el Promedio de hora de uso al día hemos determinado el Consumo Promedio de Energía eléctrica (CEU) de la vivienda por día es de 3.25(kWh/día).

Donde:

E_{diaria} = Energía diaria consumida.

$$E_{diaria} = 3250 \text{ Wh/día} = 3.25(\text{kWh/día})$$

4.2.2 Cálculo del Consumo de Corriente Diario de la Vivienda

En este caso se calcula la energía máxima de la instalación de acuerdo a la ecuación 3.2 tenemos:

$$I_{diaria} = \frac{E_{diaria}}{V_{batería}} (\text{Ah/d})$$

$$I_{diaria} = \frac{3250(\text{Wh})}{12\text{V}} = \frac{3250(\text{V A h/día})}{12\text{V}}$$

$$I_{diaria} = 270.83 (\text{Ah/d})$$

Se calculara el consumo máximo, teniendo en cuenta las posibles pérdidas. Para ello hay que calcular las pérdidas totales K_T del sistema por medido de la ecuación 3.3 siendo:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \times \left[1 - \frac{(K_A \times D_{aut})}{P_d}\right]$$

Los coeficientes de pérdidas y días de autonomía que se han considerado, de acuerdo al literal 3.2.2, para la realización de este proyecto son los siguientes:

$$K_A = 0.005, K_B = 0.05, K_C = 0.05, K_R = 0.1, K_X = 0.1, D_{aut} = 2, P_D = 0.6$$

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \left(\frac{K_A \times D_{AUT}}{P_D}\right)\right]$$

$$K_T = [1 - (0.05 + 0.05 + 0.1 + 0.1)] * \left[1 - \left(\frac{0.005 \times 2}{0.6}\right)\right]$$

$$K_T = 0.6883$$

Se calculara el consumo total de corriente máximo (I_{Tmax}) en función de la corriente máxima diaria requerida en la instalación (I_{diaria}) y las pérdidas totales (K_T), tal como se indica en la ecuación 3.4.

✓ **Consumo total de corriente máxima.**

$$I_{Tmax} = \frac{I_{diaria} (Ah)}{K_T (d)}$$

$$I_{Tmax} = \frac{270.83}{0.6883} (Ah/d)$$

$$I_{Tmax} = 393.47 (Ah/d)$$

Una vez encontrado el valor de corriente real o máxima que va a consumir la instalación, es necesario conocer los datos de radiación del sol y velocidad del viento, y las características de los generadores (paneles fotovoltaicos y aerogenerador).

4.2.3 Voltaje Nominal del Sistema

Es el nivel de voltaje al que operan las cargas que se van a alimentar con el sistema híbrido solar-eólico. En este caso todas las luminarias y artefactos a conectarse funcionan con 120 voltios, 60 Hz CA, la cual será provista por el inversor que forma parte del diseño a implementarse. Los paneles fotovoltaicos como el aerogenerador tendrá un voltaje de 12 voltios cada uno y serán conectados en paralelo, con ello se consiguen aumentar la corriente generada y mantener el mismo valor de voltaje, que alimenta el banco de baterías. Las distancias a cubrirse con los cables conductores son menores a 20 m se puede usar 12 voltios DC, tomando en cuenta que si se tienen valores de longitud mayores habría mayores caídas de voltaje por lo que los conductores deberían ser de mayor sección para compensar las más elevadas caídas de voltaje.

4.3 Cálculo de la Capacidad de Generación de Energía del Aerogenerador y de los paneles fotovoltaicos

4.3.1 Selección del Aerogenerador

Buscaremos, un aerogenerador que nos ofrezca los mejores rendimientos a la velocidad media de viento. Considerando los valores obtenidos de la estación meteorológica del aeropuerto de Catamayo “Ciudad de Catamayo”.

- ✓ Velocidad máxima del viento desde 12.34 a 19.55 m/s.
- ✓ Velocidad promedio del viento es de 7 m/s
- ✓ Velocidad mínima del viento desde 3.5 a 6.74 m/s

Se ha elegido algunos modelos que se pueden adaptar a nuestro sistema por sus características de velocidad de arranque, velocidad nominal y velocidad de parada.

Debemos también tomar en cuenta las velocidades máximas que soportan los Aerogeneradores, tomando como base la velocidad de viento máxima de la zona.

Marca: EXMORK				
Tipología	P_n	Voltaje nominal	Velocidad de arranque (m/s)	Velocidad Potencia nominal (m/s)
Horizontal	300 W	12 V	2.5	8
Horizontal	500 W	12 V	3	8
Horizontal	1500 W	48 V	4	9

Tabla.4.3: Aerogeneradores marca EXMORK

Recomendamos el aerogenerador EXMORK, ya que existen varios proyectos realizados en Ecuador con este producto que demuestra su calidad, además que se lo puede encontrar en el mercado Ecuatoriano y se adapta a las condiciones eólicas de la zona donde se desea instalar.

Características técnicas del Aerogenerador EXMORK de 300 W

Características Técnicas	
Potencia nominal	300 W
Potencia máxima	500 W
Voltaje nominal	12V DC
Diámetro del rotor	2.2 m
Velocidad de potencia nominal	8m/s
Velocidad de arranque	2.5m/s
Velocidad de trabajo	3-25 m/s
Altura de la torre	6 m
Vida útil	15 años

Tabla 4.4: Características Técnicas de Aerogenerador EXMORK 300W

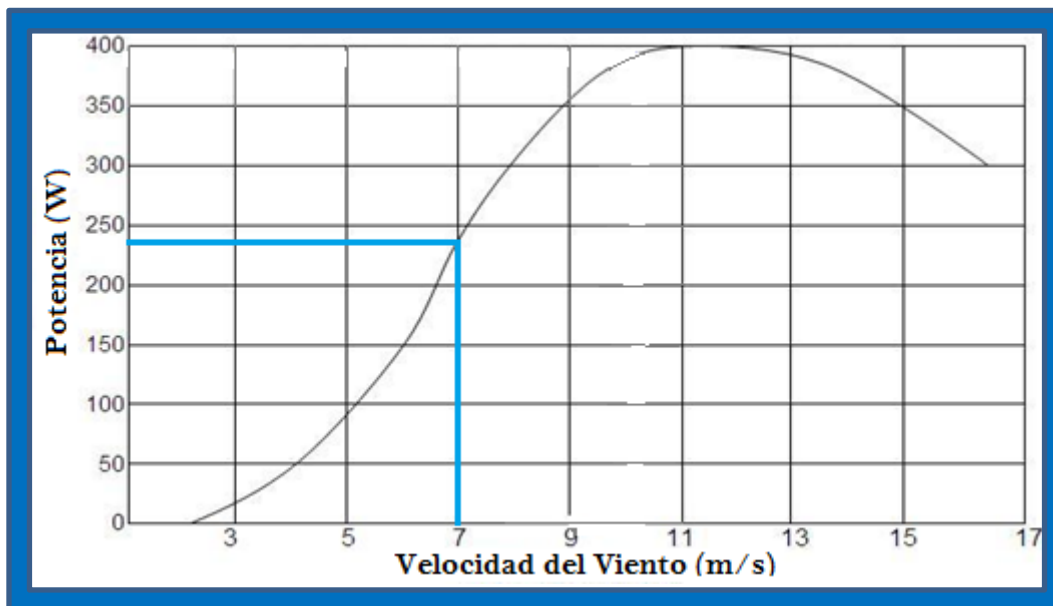


Figura 4.5: Grafica de la potencia del aerogenerador EXMORK 300W

De acuerdo a la Figura 4.5 muestra la potencia producida de acuerdo a la intensidad del viento del sector donde se coloque el aerogenerador EXMORK 300W. Tiene una producción máxima de 400W a una velocidad de 11m/s, (existe la relación en la figura, entre la velocidad del viento en (m/s) y la potencia en vatios (W) donde se aprecia que a medida que el viento se eleva la potencia producida disminuye, esto es porque a cierta velocidad del viento se activa automáticamente el freno mecánico que tiene incorporado la turbina para que el rotor de la turbina no se embale y preservar la turbina.

En el Capítulo III deducimos que velocidad media del viento en Catamayo es de 7 m/s, el aerogenerador elegido tiene una potencia de 300W y a los 7m/s obtenemos una potencia de unos 240W de acuerdo a la figura 4.1.

- **Energía que genera el Aerogenerador**

Si tenemos 240W tenemos que multiplicar por 24 horas del día para saber cuánta energía podemos conseguir al día (en caso de que exista viento constante).

Considerando que existirán horas de poco viento, asumiremos que el aerogenerador tendrá un funcionamiento de 10h.

$$E_{aerogen} = P_{Aerg} * horas \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 4.5}$$

$$E_{aerogen} = 240 W * 10 h$$

$$E_{aerogen} = 2400 \frac{Wh}{día}$$

Donde:

$E_{aerogen}$: Energía generada por el aerogenerador.

P_{Aerg} : Potencia del aerogenerador

- **Selección del Controlador para el Aerogenerador**

Para la selección del controlador se calculara la intensidad de corriente que entra al banco de baterías, es decir la selección del controlador depende de la intensidad de corriente.

- **Cálculo de la Intensidad diaria**

Calculamos la corriente diaria del sistema eólico ($I_{diaria\ S.E}$) que va a consumir nuestra instalación de acuerdo a la ecuación 3.2 por lo que.

$$I_{diaria\ S.E} = \frac{E_{diaria}}{V_{batería}} (Ah/d)$$

$$I_{diaria\ S.E} = \frac{2400}{12} (Ah/d)$$

$$I_{diaria\ S.E} = 200 (Ah/d)$$

Una vez conocida la corriente diaria que va a consumir nuestra instalación, procedemos a calcular el consumo máximo, teniendo en cuenta las posibles pérdidas ya especificadas en la ecuación (3.3), donde los coeficientes de pérdidas y días de autonomía que se han considerado para la realización de este proyecto, siendo:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \left(\frac{K_A * D_{AUT}}{P_D} \right) \right]$$

$$K_T = [1 - (0.05 + 0.05 + 0.1 + 0.1)] * \left[1 - \left(\frac{0.005 * 2}{0.6} \right) \right]$$

$$K_T = 0.6883$$

Una vez, calculadas las pérdidas, hay que calcular el consumo total de corriente máxima.

- **Consumo total de corriente máxima**

$$I_{Tmax} = \frac{I_{diaria\ S.F}}{K_T} (Ah/d)$$

$$I_{Tmax} = \frac{200}{0.6883} (Ah/d)$$

$$I_{Tmax} = 290.57 (Ah/d)$$

Una vez encontrado el valor de energía real o máxima que va a consumir la instalación por parte del sistema eólico. Se recomienda un controlador marca EXMORK, tomando en cuenta el voltaje nominal del sistema de 12V, como trabajamos con un aerogenerador de la misma marca, se

garantiza su adecuado funcionamiento. Además de la experiencia de los instaladores de esta marca.

- ✓ Electrónico
- ✓ Externo
- ✓ Posee disipador de energía
- ✓ Visores de voltaje y corriente
- ✓ Voltaje constante 12V
- ✓ Banco de batería mínima: 800Ah



Figura 4.6: Controlador de carga EXMORK

Fuente: www.proviento.com.ec

4.3.2 Fundamentos para el cálculo de los Paneles Fotovoltaicos

Para los estudios de radiación solar, de los 12 meses del año hemos tomado como referencia el Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cuál ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE. Con fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética.

4.3.2.1 Subsistema Fotovoltaico

El aerogenerador producirá 2400 Wh/día del consumo total que es 3250 Wh/día. Esto es un 74% del consumo total, entonces la energía diaria (E_{diaria}) a generar con los paneles fotovoltaicos es el 26%(850Wh/día).

El proceso de cálculo del sistema fotovoltaico consiste en los siguientes pasos:

- Cálculo de la Intensidad diaria
- Cálculo del consumo máximo diario
- Cálculo del número de módulos fotovoltaicos
- Cálculo del regulador de carga

- Cálculo de la capacidad del banco de baterías
- Cálculo del convertidor o inversor

✓ **Cálculo de la Intensidad diaria**

Calculamos la corriente diaria del sistema fotovoltaico ($I_{diaria\ S.F}$) que va a consumir nuestra instalación de acuerdo a la ecuación 3.2 por lo que.

$$I_{diaria\ S.F} = \frac{E_{diaria}}{V_{batería}} (Ah/d)$$

$$I_{diaria\ S.F} = \frac{850}{12} (Ah/d)$$

$$I_{diaria\ S.F} = 70.83 (Ah/d)$$

Procedo a calcular el consumo máximo, teniendo en cuenta las posibles pérdidas, donde los coeficientes de pérdidas y días de autonomía que se han considerado para la realización de este proyecto están considerados anteriormente, siendo:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \left(\frac{K_A * D_{AUT}}{P_D} \right) \right]$$

$$K_T = [1 - (0.05 + 0.05 + 0.1 + 0.1)] * \left[1 - \left(\frac{0.005 * 2}{0.6} \right) \right]$$

$$K_T = 0.6883$$

Una vez, calculadas las pérdidas, hay que calcular el consumo total de corriente máxima (I_{Tmax}) como el cociente de la energía máxima diaria requerida en la instalación ($I_{diaria\ S.F}$) entre las pérdidas totales (K_T), tal como se indica en la siguiente ecuación.

✓ **Consumo total de corriente máxima**

$$I_{Tmax} = \frac{I_{diaria\ S.F}}{K_T} (Ah/d)$$

$$I_{Tmax} = \frac{70.83}{0.6883} (Ah/d)$$

$$I_{Tmax} = 103 (Ah/d)$$

Una vez encontrado el valor de energía real o máxima que va a consumir la instalación, es necesario conocer los datos de radiación incidente, y las características del módulo.

✓ **Datos del Nivel de Radiación Solar**

Para los estudios solares hemos tomado como referencia el Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cuál ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE. Para los cálculos se toma el valor de insolación global (kWh/m² día) mensual del año 2008.

Este dato nos permitirá la estimación de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para generar la energía máxima calculada, requerida por la instalación.

INSOLACION GLOBAL AÑO 2008	
MES	Wh/m² día
ENERO	4500
FEBRERO	4800
MARZO	4650
ABRIL	4650
MAYO	4500
JUNIO	4650
JULIO	4950
AGOSTO	5100
SEPTIEMBRE	5550
OCTUBRE	5400
NOVIEMBRE	5550
DICIEMBRE	5550
PROMEDIO	4950

Tabla 4.5: Insolación global para la zona de Catamayo

Fuente: Atlas Solar del Ecuador (CONELEC)

4.3.2.2 Selección del Panel Fotovoltaico

En el mercado mundial existe una gran variedad de paneles fotovoltaicos, un parámetro que debemos tomar en cuenta para la elección de un modelo es que mientras mayor sea su potencia mayor será el tamaño del mismo y por ende mayor la dificultad para su transporte y manipulación.

Existen paneles desde los 5W hasta unos 300W aproximadamente y de diversos voltajes nominales.

Las siguientes tablas son de módulos entre los 130W y 280W con voltajes nominales 12V y 24V. En estas nos podemos dar cuenta del que el tamaño es proporcional a la potencia que genera.

Marca: KYOCERA								
Tipología	Modelo	Voltaje nominal	P_{max}	V_{max} sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Policrst.	KD135 GH-2PU	12V	135 W	1000V	1500	668	46	12.5
Policrst.	FC130G	12V	130 W	750V	1468	695	22.5	10.5

Tabla 4.6: Paneles fotovoltaicos marca Kyocera

Marca: EXMORK							
Tipología	Voltaje nominal	P_{max}	V_{max} Sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Policrst.	12V	150W	1000V	1190	992	35	35
Policrst.	12V	100w	600V	1130	670	35	12

Tabla 4.7: Paneles fotovoltaicos marca EXMORK

Marca: SUNTECH								
Tipología	Modelo	Voltaje nominal	P_{max}	V_{max} sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Policrst.	STP130D-12/TEA	12V	130W	1000V	1482	676	35	12.0
Policrst.	STP135D-12/TEA	12V	135W	1000V	1482	676	35	12.1
Policrst.	STP144D-12/TEA	12V	140W	1000V	1482	676	35	12.2
Monocrst.	STP190S-24/Ad+	24V	190W	1000V	1580	808	35	12.5
Monocrst.	STP195S-24/Ad+	24V	195W	1000V	1580	808	35	12.6
Policrst.	STP275-24/Vd	24V	275W	1000V	1956	992	50	27
Policrst.	STP280-24/Vd	24V	280W	1000V	1956	992	50	27

Tabla 4.8: Paneles fotovoltaicos marca SUNTECH

Marca: SANYO								
Tipología	Modelo	Voltaje nominal	P_{max}	V_{max} sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Monocrst.	HIT-H245EO 1	24V	245W	1000V	1610	861	35	16.5
Monocrst.	HIT-H250EO 1	24V	250W	1000V	1610	861	35	16.6

Tabla 4.9: Paneles fotovoltaicos marca SANYO

Se recomienda los paneles de la marca EXMORK por su experiencia en el mercado, por la garantía que ofrecen sus módulos, por su tiempo de vida, y su variedad en módulos de diversas potencias y voltajes nominales.

En este caso el que se ajusta a las condiciones del sector es EXMORK 100W/12V

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia máxima (P_{max})	100 Wp
Tensión nominal (Vn)	12 V
Tensión optima de operación (Vmp)	17.5 V
Corriente optima de operación (Imp)	4.61 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22 V
Corriente de corto circuito (Isc)	6.14 A
Temperatura de operación	-40°C hasta + 85°C
Tensión máxima del sistema	600 VDC

Tabla 4.10: Características eléctricas típicas módulo EXMORK 100W/12V

4.3.2.3 Cálculo de la Energía Generada por un Módulo Fotovoltaico

Para el cálculo de la energía generada por un campo fotovoltaico (C_{panel}) de acuerdo al punto 3.2.3.1. Se tendría en cuenta la corriente generada por todo el campo fotovoltaico ($I_{campo_fotovoltaico}$), también escogemos un rendimiento general del panel del 90%, por lo que se multiplica por 0.9 quedando la ecuación como:

$$C_{panel} = 0.9 \times I_{campo_fotovoltaico} \times HPS \text{ [Ah/d]}$$

$$C_{panel} = 0.9 \times 4.61 \times 5$$

$$C_{panel} = 20.75 \text{ [Ah/d]}$$

❖ Cálculo del número de Paneles Fotovoltaicos

Conocida la capacidad que suministra el módulo fotovoltaico (C_{panel}) y el consumo máximo (I_{Tmax}), se calcula el número de paneles utilizando la ecuación 3.5 siendo:

$$N_{panel} = \frac{I_{Tmax}}{C_{panel}}$$

$$N_{panel} = \frac{103}{20.75}$$

$$N_{panel} = 4.96 \approx 5$$

✓ Potencia de arreglo de paneles fotovoltaicos

$$Pp_{total} = P_{panel} \times NP_{totales}$$

Ecuacion 4.6

$$Pp_{total} = 100W \times 5$$

$$Pp_{total} = 500 W$$

Siendo:

Pp_{total} : Potencia de arreglo de los paneles total

P_{panel} : Potencia del panel fotovoltaico

$NP_{totales}$: Numero de paneles totales

4.3.2.4 Orientación e Inclinación de los Paneles Fotovoltaicos.

La vivienda se encuentra en la ciudad de Catamayo su ubicación geográfica es:

- **Latitud:** 3° 50'S (-3.98333)
- **Longitud:** 79° 15' W (-79.35)
- **Altitud:** 1000 msnm

La cubierta de la vivienda tiene cuatro vertientes orientadas al norte, sur, este y oeste, los paneles se situaran con dirección hacia el norte de la vivienda, la superficie ocupada por estos será 3.78 m^2 y con una inclinación de 15° siguiendo lo indicado en la tabla 2.2 de inclinación en función de la latitud, cabe indicar que no es necesario variar el ángulo de inclinación en invierno como en verano, ya que todo el territorio Ecuatoriano Nacional está ubicado entre los 2° norte y los 5° sur de latitud, por lo que los paneles deben ser instalados con una inclinación máxima de 15° en cualquier punto del mismo, de preferencia utilizando el ángulo de inclinación a la latitud del proyecto utilizando la ecuación 2.5.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.67 \times \phi (^{\circ})$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.67 \times 3.98(^{\circ})$$

$$\beta_{opt} = 17.39 (^{\circ})$$

El ángulo calculado β_{opt} se encuentra dentro de la tabla 2.2 de inclinaciones.

4.3.2.5 Estructura de Soporte de los Paneles Fotovoltaicos

La estructura de soporte tendrá un ángulo de 15 grados de inclinación, con orientación hacia el norte. El mismo que se compone enteramente de perfiles en aluminio y pernos en acero, entonces no necesita mantenimiento. Será ubicado en el tejado de la vivienda.

Se hará la instalación en la cubierta de la vivienda usando uno de los métodos más empleados a la hora de realizar el montaje de un equipo solar, ya que normalmente siempre podremos disponer del lugar adecuado para garantizar la perfecta orientación, además de suficiente espacio.

Los puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.

Contamos con 5 paneles fotovoltaicos los mismos que deben ser acoplados a la estructura sus dimensiones son:

- **Largo:** 1130 (mm)
- **Ancho:** 670 (mm)
- **Profundidad:** 35 (mm)

La superficie ocupada por estos será $3.78 m^2$

Donde las dimensiones de la estructura serán:

- **Largo:** 1130 (mm)
- **Ancho:** 3350 (mm)

Todos los elementos de la estructura están prefabricados según el tipo de panel elegido y la configuración del campo de paneles. Se llevará a cabo la inserción de los ganchos de tejado bajo las tejas para la colocación de los perfiles de aluminio donde se fijarán los paneles fotovoltaicos con marco adecuados.

4.3.2.6 Montaje de Módulos Fotovoltaicos.

La instalación de módulos solares requiere un alto grado de conocimiento y deberá ser realizado exclusivamente por personal calificado. El instalador asumirá el riesgo de cualquier accidente ocurra durante la instalación o mantenimiento, incluyendo el riesgo de shock eléctrico.

El riesgo de shock eléctrico y de quemaduras se evitará siendo necesario realizar la instalación cumpliendo los siguientes puntos:

- Será necesario cubrir toda la superficie del módulo con un material opaco durante la instalación y transporte de los módulos.

- Se evitará llevar acabo la instalación durante periodos de lluvia, nieve, niebla o alta humedad y se requerirá el uso de los módulos y herramientas secos.
- Estará asegurada la de conexión de todos los módulos a tierra de forma completa y adecuada.

Los paneles fotovoltaicos se fijarán a la estructura sobre el tejado de forma que se deje el espacio necesario entre el marco del módulo y la superficie de montaje para permitir que el aire circule y rebaje la temperatura. Esto también permitirá que la humedad desaparezca más rápido.

❖ **Mantenimiento de los Módulos**

Para mantener un rendimiento óptimo los módulos se recomienda un mantenimiento mínimo. Si la superficie del módulo está sucia, puede perderse potencia de salida. Se recomienda limpiar la superficie con agua y un paño suave o una esponja. Un detergente suave y no abrasivo se puede usar para quitar la suciedad más persistente.

También se recomienda examinar las conexiones eléctricas y mecánicas varias veces anualmente. Para esta inspección eléctrica y mecánica se recomienda que se acuda a personal profesional para reducir el riesgo de lesiones o shock eléctrico.

4.3.2.7 Cálculo del Regulador de Carga

El dimensionado del regulador consistirá en elegir un equipo en el mercado que se adapte al resto de parámetros eléctricos de los componentes de la instalación.

El regulador de carga debe ser dimensionado siguiendo la ecuación (3.6):

$$I_{regulador} = NP_{totales} \times I_{SC} \times 1.25 \text{ [A]}$$

$$I_{regulador} = 5 \text{ paneles} \times 6.14\text{A} \times 1.25 \text{ [A]}$$

$$I_{regulador} = 38.37 \text{ [A]}$$

Se aumenta el factor 1,25 lo utilizamos para prever el aumento de intensidades y tensiones que podrían suministrar los paneles fotovoltaicos en determinadas condiciones climáticas.

- **Selección del Regulador**

Se recomienda la marca Flexmax porque son reguladores de carga sofisticados y potentes, obtienen el máximo aprovechamiento de la energía tanto de los paneles como del aerogenerador gracias a la tecnología MPPT y dispone de un completo display con toda la información de producción, estado de la batería, historiales, etc.

Escogimos el modelo Outback FM 80 MPPT

CARACTERISTICAS TECNICAS	
Voltaje de batería nominal	12, 24, 33, 48 o 60 VCC
Corriente máxima de salida	80 A
Potencia máxima	2500 W
Consumo en espera	Menor a 1W
Eficiencia de conversión	97.5 %
Puntos de ajuste de voltaje	De 10 a 60 VCC
Peso	5.56 – 12.20 lbs
Dimensiones (alto, ancho, profundo)	41.3, 14, 10 (cm)
Garantía	5 años

Tabla 4.11: Características técnicas regulador Outback FM 80 MPPT



Figura 4.7: Regulador Outback FM 80 MPPT

4.3.2.8 Verificación de Funcionamiento del Sistema

Para comprobar el funcionamiento adecuado de los módulos implementados calculamos el factor de utilización o cobertura solar del mes (Fi) de la instalación.

Este factor es la relación entre la energía fotovoltaica disponible y la energía máxima consumida.

$$Fi = \frac{C_{panel} \times N_p}{I_{Tmax}}$$

Ecuación 4.7

Mes	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Año	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	
HPS	4.5	4.8	4.65	4.65	4.5	4.65	4.95	5.1	5.55	5.4	5.55	5.55	4.95
F	0.9	0.96	0.94	0.94	0.9	0.94	1	1.03	1.12	1.1	1.12	1.12	1

Tabla 4.12: Factor de Cobertura Solar de cada Mes

Fuente: Autor

De los resultados obtenidos comprobamos que cumplimos plenamente con la demanda energética necesaria durante todos los meses del año, logrando un factor de cobertura medio anual (F) del 100%.

4.4 Cálculo de la Capacidad del Banco de Baterías

La capacidad del banco de baterías se calcula de acuerdo a la ecuación 3.8 quedando:

$$C_{BB} = \frac{E_{diaria} \times D_{aut}}{V_s \times Pd} (Ah)$$

$$C_{BB} = \frac{3250 \times 2}{12 \times 0.6}$$

$$C_{BB} = 902.77(Ah)$$

4.4.1 Selección de las baterías

La batería seleccionada es una batería sellada de ciclo profundo marca VICTRON ENERGY AGM 12-220, DE 220 Amperios hora y de 12 VCD.

Son de baja autodescarga, gracias a la utilización de rejillas de plomo-calcio y materiales de gran pureza, se pueden almacenar durable largo tiempo sin necesidad de recarga. El índice de autodescarga es inferior al 2% mensual, con una temperatura de 20°C. Esta autodescarga se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. En condiciones óptimas, las baterías Victron se pueden almacenar durante un año sin necesidad de recargarlas.

Modelo	Victron GEL 12/220
Tensión Nominal Vcc	12
Capacidad (Ah)	220
Medidas (mm)	522 × 238 × 240
Peso(Kg)	66

Tabla 4.13: Características de las baterías Victron GEL 12/220

Esta batería debe ser colocada con la cubierta hacia arriba, y puede ser configurada en serie o en paralelo, según el requerimiento de voltaje y profundidad de descarga.

Dimensionamos el banco de baterías de acuerdo al punto 3.2.4 obteniendo:

✓ **Número de baterías en serie:**

$$N_{BS} = \frac{V_s}{VB}$$

$$N_{BS} = \frac{12}{12}$$

$$N_{BS} = 1$$

✓ **Número de baterías en paralelo:**

$$N_{BP} = \frac{C_{BB}}{C_{BU}}$$

$$N_{BP} = \frac{902.77 \text{ Ah}}{220 \text{ Ah}}$$

$$N_{BP} = 4.10 \approx 5$$

✓ **Número total de baterías:**

$$N_{TB} = N_{Bs} \times N_{Bp}$$

$$N_{TB} = 1 \times 5$$

$$N_{TB} = 5$$

✓ **Capacidad total del banco de baterías:**

$$Cap_{bancoT} = N_{Bp} \times C_{BU}$$

$$Cap_{bancoT} = 5 \times 220$$

$$Cap_{bancoT} = 1100 \text{ Ah}$$

✓ **Se debe cumplir**

$$Cap_{bancoT} \geq C_{BB}$$

$$1100 \text{ Ah} \geq 902.77 \text{ Ah}$$

4.5 Cálculo del Convertidor o Inversor

Para la elección del convertidor tomaremos en cuenta la potencia máxima, es decir, la suma de toda la potencia que debe soportar en un instante o lo que es igual a la suma de la potencia de todos los posibles consumos y no la potencia máxima en un día.

La capacidad del inversor se calcula de acuerdo a la ecuación 3.12 siendo:

$$Cap_{inv} = \frac{P_{equipos} \times 100\%}{\text{eficiencia del inversor}}$$

$$Cap_{inv} = \frac{2110W \times 100\%}{80\%}$$

$$Cap_{inv} = 2637.5 \approx 2700(W)$$

Luego seleccionamos un inversor que pueda hacer frente al valor calculado en W , hay que tener presente que los inversores son equipos con bajo rendimiento a bajas cargas de trabajo, por lo que no es de utilidad aplicar un gran sobredimensionamiento en su elección.

4.5.1 Selección del Inversor

La carga que es totalmente AC, elegimos un inversor de DC a AC. Dependiendo el modelo del inversor, la salida AC es una onda modificada o sinusoidal pura. La onda sinusoidal modificada es adecuada para algunas cargas excepto aquellas que requieren ondas limpias como aparatos electrónicos: computadoras, sistemas de alta fidelidad, TV de alta definición. Estos tipos de carga al no existir en la vivienda se selecciona un inversor de onda sinusoidal modificada.

Se recomienda un Inversor de corriente 12V 2500W continuos 5000W picos

CARACTERISTICAS TECNICAS	
Marca	AIMS
Tipo de Onda	Onda Sinoidal Modificada
Potencia nominal	2500 W
Potencia máxima	5000 W
Voltaje de entrada DC	12 A 30 V DC
Voltaje de salida AC	120 V AC
Frecuencia de salida	60 Hz
Medida	15.5"X 10.25" X 3.5"
Eficiencia	>90%

Tabla 4.14: Características técnicas Inversor MK modelo MK-4000P



Figura 4.8: Inversor de corriente 24v 2500w continuos 5000w picos

4.6 Dimensionamiento del Sistema Eléctrico de la Vivienda

Esta instalación fue diseñada de manera que cumpla con las necesidades de una familia tipo del sector rural de nuestra provincia. La vivienda consta de dos dormitorios, cocina, sala-comedor, patio y baño como se puede observar en el anexo 1.

Con respecto a los elementos fundamentales de la instalación, este diseño consta de un tablero principal con su respectivo interruptor. El tablero principal es surtido o alimentado de energía eléctrica por medio de una acometida subterránea monofásica (una fase y un neutro) 120V.

En base a la carga total de la planta habitacional en vatios, calcularemos cada uno de los calibres de los cables, ya sean estos alimentadores o circuitos derivados. Se asignará un interruptor termo magnético para la protección de cada uno de los circuitos.

Todo lo anterior se lleva a cabo y se plantea nuevos puntos con el fin de lograr una instalación eléctrica de calidad en apego a la norma vigente como son:

- La alimentación se tomará de un inversor del sistema híbrido solar-eólico formado por tres conductores que serán una fase, un neutro y de protección puesta a tierra la tensión del servicio será 120V y 60Hz.
- Los distintos puntos de alumbrado y tomas corriente se repartirán en dos circuitos independientes, estando cada uno de ellos protegidos por un interruptor o breaker.
- Lo más cerca posible de la entrada a la vivienda se dispondrá del tablero de distribución.
- Los conductores serán de cobre electrolítico con un nivel de aislamiento de 600V. todos ellos con la sección por cálculo que les corresponda.

La corriente transportada por un conductor produce, por el llamado efecto Joule, energía térmica. Esa energía se gasta en parte para elevar la temperatura del conductor y el resto se disipa como calor.

Luego de cierto tiempo de circular corriente la temperatura del conductor se estabiliza produciéndose el “equilibrio fotovoltáico”. La corriente que circulando continuamente por el conductor produce el equilibrio térmico a la temperatura máxima de servicio continuo es denominada “capacidad de conducción de corriente”

Una vez conocida esta se determina la sección por el criterio de “Intensidad máxima admisible por calentamiento” o bien, dada la complejidad de estos cálculos se recurre a las tablas incluidas en las hojas técnicas de los fabricantes de cables.

4.6.1 Cálculo del tipo de conductor en la conexión de los equipos del Sistema Híbrido Solar-Eólico

Se calculará la corriente que va del campo generador al gabinete donde se encuentra el regulador, las baterías e inversor, siendo este sistema híbrido solar-eólico hay que tener en cuenta la corriente máxima (I) que puede generar el campo fotovoltáico y el aerogenerador.

1 Cálculo del conductor para la salida de los Paneles Fotovoltaicos

Los paneles marca EXMORK tienen las siguientes características:

$$P_{panel} = 100W$$

$$V_S = 12V$$

Calculamos la intensidad máxima prevista.

$$P_{panel} = V_S \times I \times F_S$$

Siendo:

P_{panel} : Potencia del panel fotovoltaico ($P_{total} = 500W$ Potencia total, siendo 5 paneles)

V_S : Voltaje del sistema

I : Intensidad que debe soportar el conductor.

F_S : Factor de sobrecarga y compensación de caída de voltaje (1.3)

Hallaremos la Intensidad I la misma que será calculada de acuerdo a la ecuación 3.15 siendo:

$$I = \frac{P_{total}}{V_S} \times F_S$$

$$I = \frac{500}{12V} \times 1.3$$

$$I = 54.16 (A)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar el conductor # 8 AWG sea de hasta 60A, de acuerdo a la tabla 4.14.

2 Cálculo del conductor para la salida del Aerogenerador

El Aerogenerador marca EXMORK tienen las siguientes características:

$$P_{Aerg} = 300W$$

$$V_S = 12V$$

Calculamos la intensidad máxima prevista.

$$P_{Aerg} = V_S \times I \times F_S$$

Siendo:

P_{Aerg} : Potencia del Aerogenerador

$$I = \frac{P_{Aerg}}{V_S} \times F_S$$

$$I = \frac{300}{12V} \times 1.3$$

$$I = 32.5 (A)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar el conductor # 10 AWG sea de hasta 40A, de acuerdo a la tabla 4.13.

3 Cálculo del conductor del tramo Banco de Baterías - Inversor

Siendo un sistema híbrido, por parte de los paneles fotovoltaicos existe una potencia de 500W y por parte del aerogenerador una potencia de 300W, obteniendo una potencia total de 800W que entregan los generadores eléctricos. Por lo que dicha potencia circula en el tramo Baterías-Inversor.

$$P_{T \text{ generadores}} = 800W$$

$$V_S = 12V$$

Calculamos la intensidad máxima prevista.

$$P_{T \text{ generadores}} = V_S \times I \times F_S$$

Siendo:

$P_{T \text{ generadores}}$:Potencia total de los generadores eléctricos.

$$I = \frac{P_{T \text{ generadores}}}{V_S} \times F_S$$

$$I = \frac{800}{12V} \times 1.3$$

$$I = 86.66 (A)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar el conductor #2 AWG sea de hasta 90A.

4 Cálculo del conductor tramo Inversor-Centro de Carga

Teniendo en la vivienda de estudio una demanda máxima unitaria (DMU) de 775.3W, teniendo el inversor la función de transformar la corriente de DC a AC, calcularemos el tipo de conductor que resistirá el paso de dicha corriente en el tramo Inversor - Centro de Carga teniendo:

$$P_{DMU} = 775.3W$$

$$V_S = 12V$$

Calculamos la intensidad máxima prevista.

$$P_{DMU} = V_S \times I \times F_S$$

Siendo:

P_{DMU} :Potencia total de la Demanda Máxima Unitaria.

$$I = \frac{P_{DMU}}{V_S} \times F_S$$

$$I = \frac{775.3}{12V} \times 1.3$$

$$I = 83.99 (A)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar el conductor # 2 AWG sea de hasta 90A.

4.6.2 Distribución de Potencias en la Vivienda

La potencia máxima a satisfacer en la vivienda de estudio es de **1749 W**. De esta potencia asignamos 100W para el circuito de alumbrado y 1649W para tomas de corrientes.

➤ Circuito de Alumbrado

Datos:

- Potencia: $P = 100W$
- Longitud: $L = 20m$ al punto más lejano
- Conductividad del cobre: $k = 56m/\Omega mm^2$
- Tensión: $V = 120V$
- Caída de tensión: $e = 1.5\%$ de la tensión = 1.8V
- Sección: $S =$ Sección del conductor

Cálculo de la sección por caída de tensión

$$S = \frac{(2 \times P \times l)}{(k \times e \times V)}$$

$$S = \frac{(2 \times 100W \times 20m)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times 1.8V \times 120V)}$$

$$S = 0.33 (mm^2)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT023) la sección mínima a instalar en el circuito de alumbrado será de $3.31 \text{ (mm}^2\text{)}$ lo que equivale a un conductor de calibre # 12 de Cu tipo THW.

➤ **Comprobación de la sección por densidad de corriente**

Para ello calculamos la intensidad máxima prevista

$$P = V \times I \times \cos\varphi$$

$$I = \frac{P}{V} \times \cos\varphi$$

$$I = \frac{100}{120V} \times 1$$

$$I = 0.83 \text{ (A)}$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar la sección de 3.31 mm^2 sea de hasta 25°

➤ **Cálculo de la caída de tensión con la sección adoptada**

Comprobaremos que la máxima caída de tensión para la sección adoptada es menor que la permitida, esto es un 1.5% del voltaje en el punto más desfavorable:

$$e = \frac{1.5 \times V}{100}$$

$$e = \frac{1.5 \times 120V}{100}$$

$$e = 1.8V$$

$$e = \frac{(2 \times P \times l)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times S \times V)}$$

$$e = \frac{(2 \times 100W \times 20m)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times 3.31mm^2 \times 120V)}$$

$$e = 0.18$$

De donde obtenemos que $0.18 \rightarrow 0.22$, siendo por tanto válida la sección comercial adoptada de $3.31mm^2$.

➤ **Reparto de Cargas Prevista**

Se supone una simultaneidad del 66% y una potencia de 20W por cada punto de iluminación de donde obtenemos:

$$P = 0.66 \times n \times 20 \frac{W}{P}$$

$$P = 0.66 \times 6 \times 20 \frac{W}{P}$$

$$P = 79.2 (W)$$

Siendo:

P : Potencia de puntos de alumbrado del circuito;

n : Número de puntos de alumbrado previstos: y 0.66 factor de simultaneidad.

De esta forme tendremos disponibles para la toma de corrientes de alumbrado:

$$100W - 79.2W = 20.8 (W)$$

➤ **Circuito de Tomas de Corriente**

Datos:

- Potencia: $P = 1649W$
- Longitud: $L = 20m$ al punto más lejano
- Conductividad del cobre: $k = 56m/\Omega mm^2$
- Tensión: $V = 120V$
- Caída de tensión: $e = 1.5\%$ de la tensión = 1.8V
- Sección: $S =$ sección del conductor

➤ **Cálculo de la sección por caída de tensión**

$$S = \frac{(2 \times P \times l)}{(k \times e \times V)}$$

$$S = \frac{(2 \times 1649W \times 20m)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times 1.8V \times 120V)}$$

$$S = 5.45 (mm^2)$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT023) la sección mínima a instalar para los circuitos de tomas de corriente será de 5.26 (mm^2) lo que equivale a un conductor de calibre # 10 de Cu tipo THW.

➤ **Comprobación de la sección por densidad de corriente:**

Calculamos la intensidad máxima prevista:

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

$$I = \frac{P}{V} \times \cos\phi$$

$$I = \frac{1649}{120V} \times 1$$

$$I = 13.74 \text{ (A)}$$

Respetando las normas REBT (MIE-BT017) obtenemos que la intensidad máxima que pueda soportar la sección de 5.26 (mm^2) sea de hasta 30A

➤ **Cálculo de la caída de tensión con la sección adoptada**

Comprobaremos que la máxima caída de tensión para la sección adoptada es menor que la permitida, esto es un 1.5% del voltaje en el punto más desfavorable:

$$e = \frac{1.5 \times V}{100}$$

$$e = \frac{1.5 \times 120V}{100}$$

$$e = 1.8V$$

$$e = \frac{(2 \times P \times l)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times S \times V)}$$

$$e = \frac{(2 \times 1649W \times 20m)}{(56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times 5.26mm^2 \times 120V)}$$

$$e = 1.86$$

Los conductores de cobre tipo TW son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operaciones es de 60°C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es de 600V

4.6.3 Especificaciones THW

Los conductores de cobre tipo TW fabricados por CABLEC, cumple con las siguientes especificaciones y normas:

- ASTM B-3: Alambres de cobre recocido o suave.
- ASTM B-8: Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas, duro, semiduro o suave
- UL – 83: alambres y cables aislados con material termoplástico.
- NEMA WC – 5: Alambres y cables aislados con material termoplástico (ICEA S-61-402) para transmisión y distribución de energía eléctrica. Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

CALIBRE AWG O MCM	SECCION <i>mm</i> ²	FORMACION No. De hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIE NTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduitAm.	TIPO DE CABLE
20	0.52	1 X 0.813	0.76	2.33	9.81	6	7	TF
18	0.82	1 X 1.02	0.76	2.54	13.16	6	7	TF
16	1.31	1 X 1.29	0.76	2.81	18.10	10	8	TF
14	2.08	1 X 1.63	0.76	3.15	26.10	20	15	TW
12	3.31	1 X 2.05	0.76	3.57	38.30	25	20	TW
10	5.26	1 X 2.59	0.76	4.11	57.40	40	30	TW
8	8.34	1 X 3.26	1.14	5.54	95.20	60	40	TW

Tabla 4.15: Cables de Cobre Tipo THW -600 -75°C

Fuente: Fábrica de Cables Cablec SA (Ecuador).

4.6.4 Dimensionamiento de las Protecciones

Si bien el reglamento admite el empleo del conjunto interruptor con fusibles, en la práctica se emplean protectores automáticos que deben verificar que su corriente nominal (I_n) sea menor que la corriente admisible del conductor (I_c) y mayor que la corriente total del circuito (I_p).

Se admiten dos variantes:

- Un interruptor diferencial para el corte general y tantos interruptores automáticos como circuitos existan. Es el más sencillo y económico pero ante una falla a tierra saca de servicio a todos los circuitos.
- Un interruptor automático o manual como corte general y para cada circuito un interruptor automático.

4.7 Esquemas de conexión de los equipos del Sistema Híbrido solar-eólico.

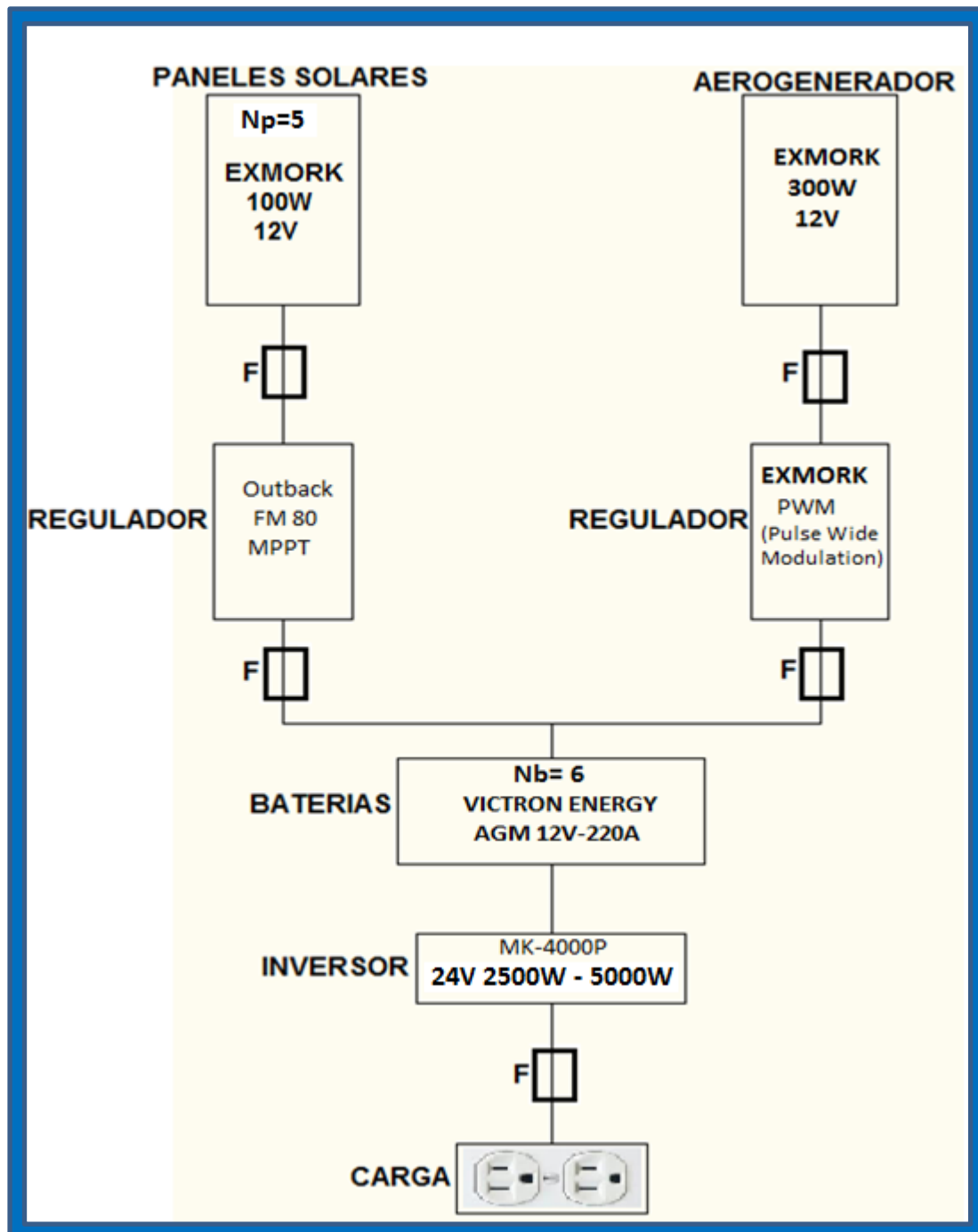


Figura 4.9: Esquema de montaje del Sistema Híbrido

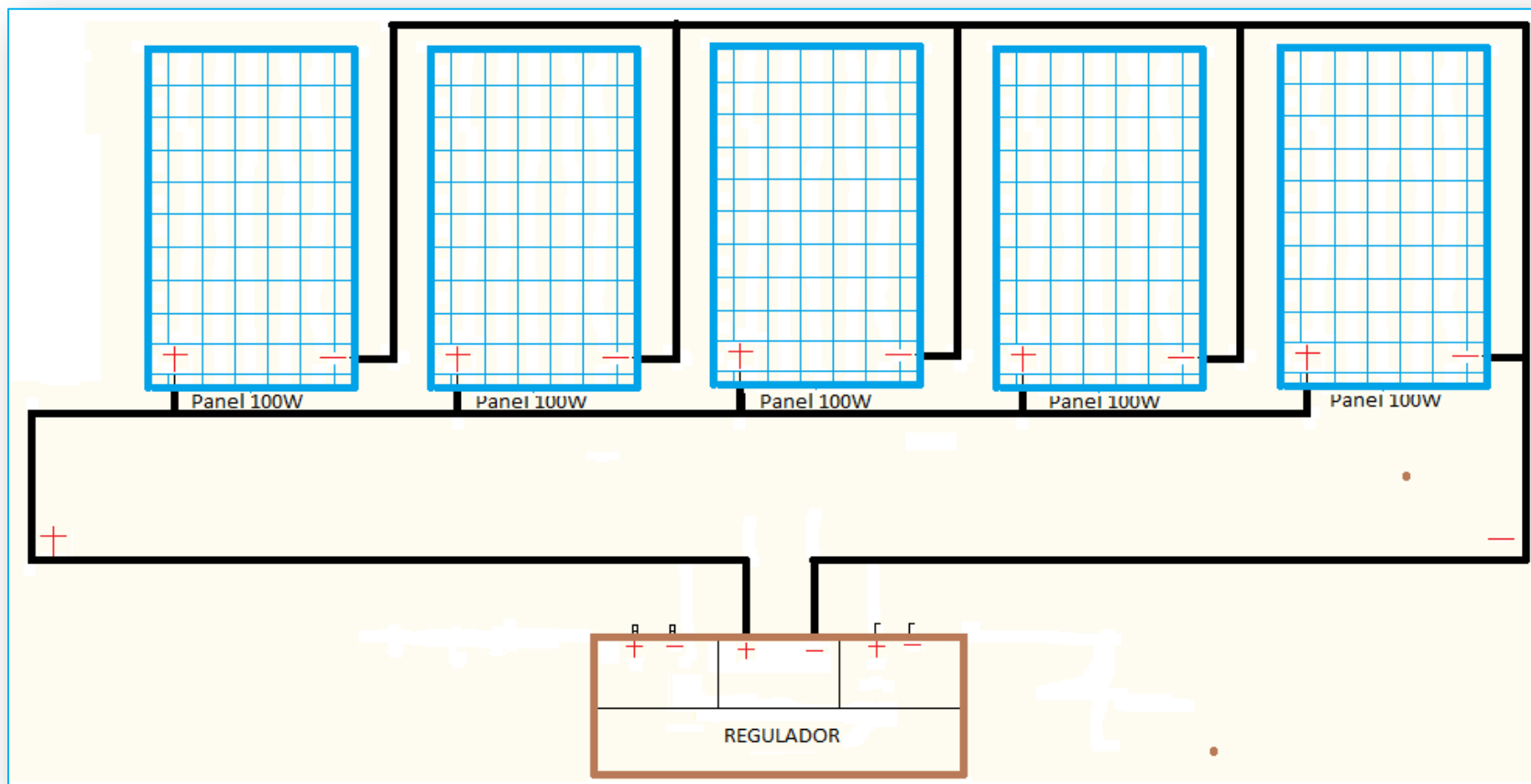


Figura 4.10: Esquema de conexión de los Paneles Fotovoltaicos

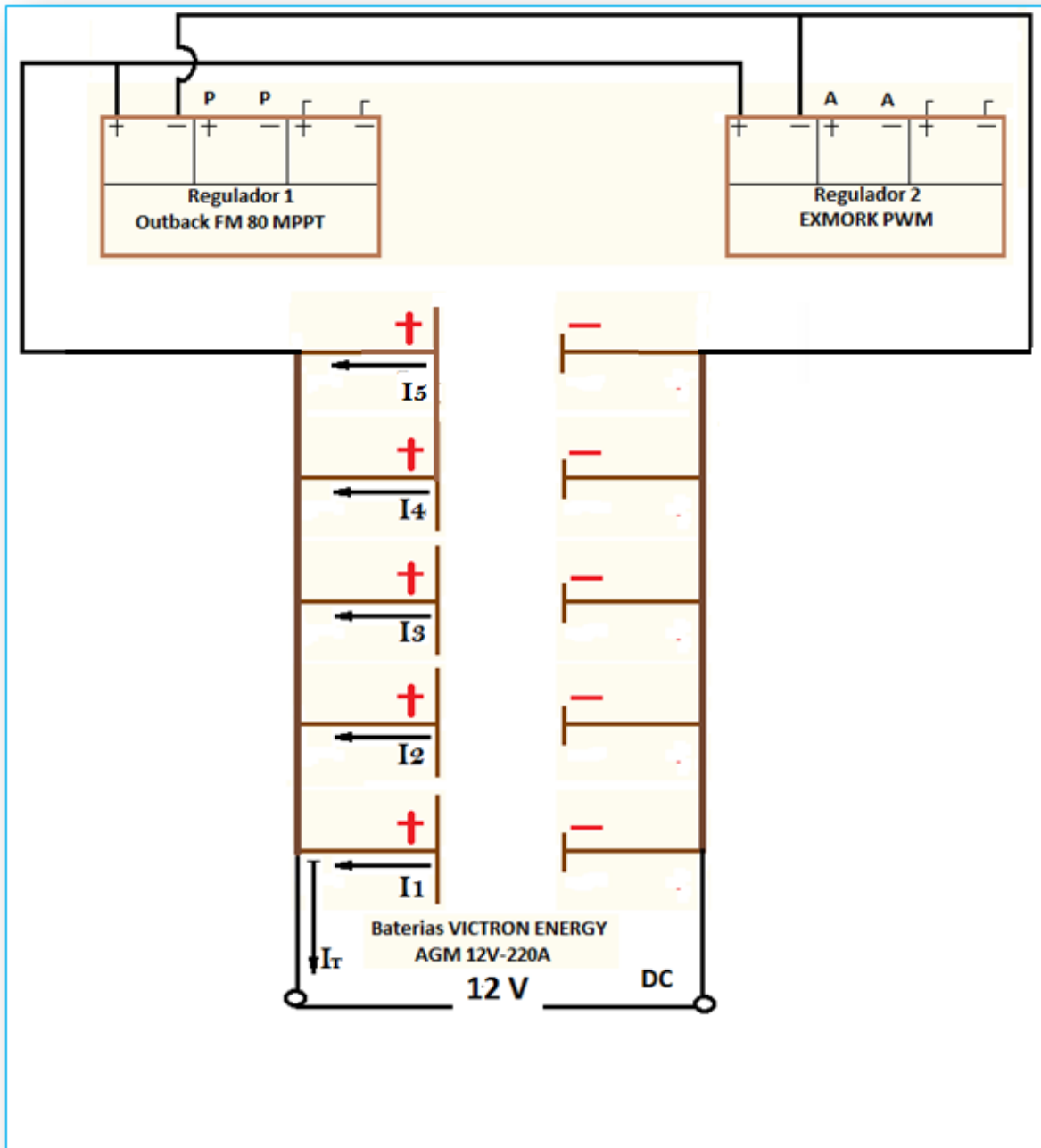


Figura 4.11: Esquema de conexión de las Baterías

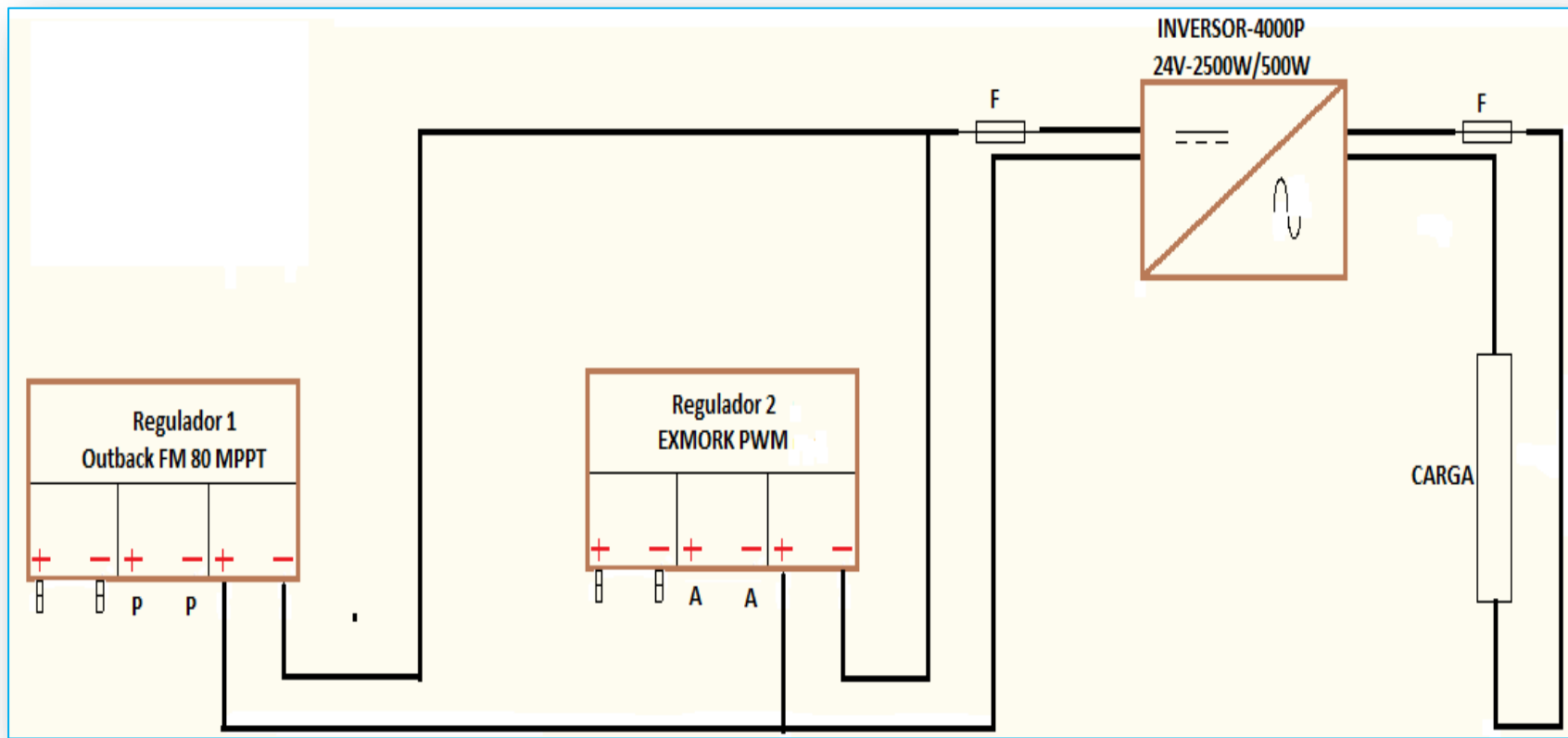


Figura 4.12: Esquema de conexión de los Reguladores al Inversor

VI.- RESULTADOS

6.1 El Sistema Híbrido

La complejidad de un sistema híbrido y sus componentes, varía dependiendo del suministro de energía eléctrica, de la potencia y de las características de los consumos. En este caso, para el suministro de energía eléctrica en la vivienda es necesario utilizar un sistema fotovoltaico y un sistema eólico que asegure la captación de energía, un sistema de regulación que realiza la función de control de las baterías y el control de los procesos de conexión y desconexión de las cargas alimentadas y un sistema de adaptación del suministro que ajuste los parámetros de las dos fuentes de energía eléctrica.

Como se puede observar en el Anexo 2, que presenta el diagrama eléctrico unifilar de montaje del sistema híbrido, el sistema FV transforma la energía solar en corriente continua que fluye a través de líneas de alimentación y del regulador de carga para su almacenamiento en el acumulador eléctrico. Los consumos de la casa funcionan con corriente alterna y por eso el abastecimiento eléctrico se realiza desde el acumulador. El nivel de tensión nominal de la corriente continua de este sistema es de 12 V y la potencia nominal de todo el sistema FV es de 500W.

El sistema eólico transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica, mediante un alternador trifásico de imanes permanentes, que proporciona tensión alterna trifásica. Esta tensión alterna trifásica se transforma en tensión continua de 12 V mediante un rectificador que se halla en la góndola. La potencia nominal del aerogenerador es de 300W. El centro de control del aerogenerador hace la conexión entre este sistema y el acumulador eléctrico y también funciona como un regulador de carga eólico que asegura el correcto funcionamiento de las baterías.

Tanto el regulador de carga como el centro de conexión sirven para prolongar la vida útil del acumulador eléctrico, obtener el mayor grado de eficiencia posible ajustando de forma óptima la energía eléctrica para la carga de la batería proporcionada por los dos sistemas de captación de energía. Es preferible incluir los dos dispositivos para asegurar que en caso de que uno de los sistemas de captación de energía no funciona, se garantiza un funcionamiento correcto del acumulador eléctrico.

En los sistemas aislados resulta imprescindible almacenar la energía eléctrica generada durante el día (el caso del sistema FV), o durante periodos con velocidades del viento que garantiza la operación del aerogenerador, para cubrir la demanda nocturna y los momentos de escasa producción de energía eléctrica. La seguridad de suministro y también la vida útil de todo el sistema depende decisivamente de la función de almacenamiento. En este caso el acumulador eléctrico debe resistir bien a los ciclos de carga y descarga diaria, debe tener una buena eficiencia de carga, incluso con pequeñas intensidades de la misma, y una baja autodescarga. El acumulador eléctrico está formado por 5 baterías de Pb-ácido con electrolito inmovilizado en forma de gel, de 12 V cada una, que asegura una tensión continua de salida de 12 V (conectadas en paralelo) y una capacidad de 220 A. La carga del acumulador eléctrico se realiza generando una tensión mayor que la tensión nominal. En esta operación, la tensión aumenta gradualmente con la carga. Es

deseable que esta tensión no exceda la tensión de fin de carga del fabricante y de este se encarga el regulador FV y el centro de control del aerogenerador.

Los módulos FV, el aerogenerador y el acumulador eléctrico proporcionan tensión continua, con la que los consumidores de esta vivienda no pueden funcionar. Para poder suministrar energía eléctrica a estos se requiere el uso de un inversor que presente una corriente alterna de salida lo más sinusoidal posible, una tensión de salida de 120V y una frecuencia estable de 60Hz. La potencia del inversor del sistema ha sido establecida en función de la demanda de energía eléctrica simultánea de los consumos y tiene el valor de 2500 a 5000 W. El inversor admite breve admisión de sobrecarga para los picos de carga y arranque de motores.

6.2 El Aerogenerador

Se ha escogido el aerogenerador EXMORK de 300 W, de eje horizontal, diseñado para condiciones de velocidades del viento bajas. Presenta las características siguientes:

Características Técnicas	
Potencia nominal	300 W
Potencia máxima	500 W
Voltaje nominal	12V
Diámetro del rotor	2.2 m
Velocidad de potencia nominal	8m/s
Velocidad de arranque	2.5m/s
Velocidad de trabajo	3-25 m/s
Altura de la torre	6;10;15 m
Vida útil	15 años

Tabla 6.1: Características Técnicas de Aerogenerador EXMORK 300W

Fuente: www.exmork.com

El rotor es a barlovento: el viento incide primero sobre el plano del rotor y posteriormente sobre la torre de sustentación, con lo cual se minimiza la influencia de su sombra sobre el rotor.

El alternador convierte la energía cinética del rotor en energía eléctrica.

Utiliza imanes permanentes y ha sido especialmente diseñado para producir energía a bajas velocidades. La salida del alternador es de corriente alterna trifásica (que varía en el voltaje y frecuencia con la velocidad del rotor), pero se rectifica a corriente continua en el interior de la góndola. Como utiliza imanes permanentes, el alternador genera mayor tensión cuando la velocidad del rotor aumenta, y viceversa.



Figura 6.1: Aerogenerador EXMORK 300W

Fuente: www.exmork.com/300w-wind-turbine.htm

La góndola es de fibra de vidrio y protege todo el cuerpo principal de la máquina.

Contiene la estructura principal: el eje de la turbina (buje), el rectificador, el montaje de anillos, los rodamientos de orientación, y la parte de montaje de la torre. Los rodamientos de orientación permitirán a la turbina eólica que se mueva libremente en la parte superior de la torre para que el rotor se encare al viento. El deslizamiento del anillo es la conexión eléctrica entre los elementos móviles y los elementos fijos: la turbina eólica y el cableado de la torre (se utiliza dado que el aerogenerador se orienta con la dirección del viento). Para el sistema de orientación este modelo de aerogenerador dispone de veleta de cola. La orientación del rotor se realiza de forma mecánica, al incidir el viento y ejerciendo sobre este un par de fuerzas que hace que se mantenga siempre el plano de giro del rotor perpendicular a la dirección del viento.

Funcionamiento Normal

El rotor del aerogenerador va comenzar a girar cuando la velocidad del viento alcanza aproximadamente 3 m/s. La carga de la batería debería comenzar poco después de que el rotor gira a esta velocidad. Una vez arrancado, el rotor continuará girando para velocidades del viento superiores a 2.5 m/s. La velocidad del rotor se incrementará con el aumento de la velocidad del viento y el sistema ofrecerá una mayor energía eléctrica. Esta energía producida aumenta rápidamente debido a la energía disponible en el viento varía con el cubo de la velocidad del viento.

Funcionamiento para Altas Velocidades de Viento

Este aerogenerador presenta un mecanismo denominado (side furling). Cuando haya vientos muy fuertes el aerogenerador vira su hélice afuera del viento. Esto debido a su diseño especial no simétrico de la colocación de la cola del aerogenerador. Es decir su principio es reducir el área de captación o área del rotor en posición perpendicular a la corriente de aire incidente cuando la velocidad de este supere cierto valor crítico (como se puede ver en la Figura 6.2). El rotor oscila lateralmente (alrededor de un eje vertical). Sin embargo, no gira completamente de lado del viento y esto permite que el aerogenerador continúe produciendo energía con vientos fuertes.

Cuando los fuertes vientos disminuyan en intensidad el sistema automáticamente restaura la turbina a la posición normal.

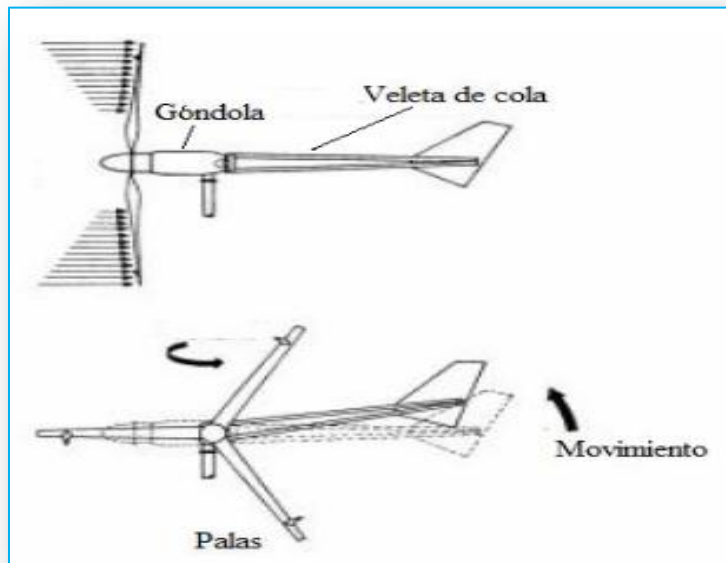


Figura 6.2: Sistema de orientación side furling

6.3 Energía producida con las dos fuentes de energía renovables

6.3.1 Elección de la potencia nominal instalada para el sistema FV

Una vez obtenidos los datos sobre el aporte eólico (estimación de la energía producida por el aerogenerador, obtenido en el punto 4.3.1) y teniendo en cuenta los datos del consumo que necesita la vivienda se puede analizar el aporte de la sistema fotovoltaico con estructura fija.

Las dos fuentes de energía renovables contribuirán para garantizar el consumo de energía eléctrica en la vivienda. La potencia nominal instalada de 850 W_p para el sistema FV no realiza un aporte de energía eléctrica significativo, aporta una proporción de energía inferior al sistema eólico. Para asegurar un funcionamiento seguro de todo el sistema fotovoltaico se elige una potencia instalada de 1kWp

6.3.2 Elección de la altura de la torre.

Se elige el valor de 15 m para la altura de la torre, que es la altura máxima que oferta el fabricante. A esta altura se captará la mayor cantidad de viento posible y el rendimiento del aerogenerador aumentara. El aerogenerador viene con un acople para un tubo de 3 pulgadas exterior para poder montarlo en una torre.

6.4 Elección de la tensión nominal del sistema híbrido

Los módulos fotovoltaicos y el aerogenerador van a asegurar simultáneamente la carga del acumulador eléctrico. Dado que la tensión nominal del aerogenerador es de 12 V se elige la tensión de trabajo del sistema FV con el mismo valor

6.5 Módulo FV seleccionado

La potencia nominal que se tiene que instalar para el sistema FV es de 850 Wp.

El módulo FV a utilizar en este caso es el EXMORK 100W/12V, con estructura policristalina, sus características se presentan en la Tabla 6.2.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia máxima (Pmax)	100 Wp
Tensión nominal (Vn)	12 V
Tensión optima de operación (Vmp)	17.5 V
Corriente optima de operación (Imp)	4.61 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22 V
Corriente de corto circuito (Isc)	6.14 A
Temperatura de operación	-40°C hasta + 85°C
Tensión máxima del sistema	600 VDC
Tolerancia de potencia	0/+5%

Tabla 6.2: Características eléctricas típicas módulo EXMORK 100W/12V

Para asegurar la potencia y la tensión nominal de funcionamiento del sistema FV se hace la conexión de los módulos FV que pueden ser en serie o/y paralelo.

Para obtener una potencia de 850Wp y trabajar con una tensión de 12 V, será necesario utilizar 5 módulos fotovoltaicos, conectados en paralelo.

6.6 El Acumulador Eléctrico

El acumulador eléctrico elegido es de la marca VICTRON ENERGY y tiene las características que se pueden observar en la Tabla 6.3.

Modelo	Victron GEL 12/220
Tensión Nominal Vcc	12
Capacidad (Ah)	220
Medidas (mm)	522 × 238 × 240
Peso (Kg)	66

Tabla 6.3: características de las baterías Victron GEL 12/220

Fuente: www.sumsol.es

En este tipo de baterías, el electrolito se inmoviliza en forma de gel. Las baterías de gel tienen por lo general una mayor duración y una mejor capacidad de ciclos que las baterías con electrolito líquido. Para asegurar la capacidad nominal y la tensión nominal de funcionamiento del acumulador eléctrico se hace la conexión de los baterías que pueden ser en serie o/y paralelo. La carga del acumulador eléctrico se realiza generando una tensión mayor que la tensión nominal. En esta operación, la tensión aumenta gradualmente con la carga. Es deseable que esta tensión no exceda la tensión de fin de carga del fabricante. El número total de baterías es 5 será necesario conectar en paralelo y así la capacidad de la acumulador eléctrico es de 1100 Ah.

6.7 El Regulador FV

El regulador de carga tiene la misión de regularla corriente que absorbe la batería con el fin de que en ningún momento pueda sobrecargarse peligrosamente pero, al mismo tiempo, evitando en lo posible que deje de aprovechar la energía captada ya sea por el sol o el viento. Para ello, el regulador debe detectar y medir constantemente el voltaje, que será una indicación del estado de carga de la batería y si éste llega al valor previamente establecido (la tensión máxima admisible), debe actuar de forma que impida que la corriente siga circulando hacia la batería.

Los valores que se usan para la elección de un regulador son la máxima corriente que permite que circule a través de él (debe ser un 20% superior a la máxima corriente del sistema generador) y la tensión de trabajo del acumulador eléctrico 12V. Como la tensión de salida del aerogenerador es de 12 V se elige una tensión nominal del acumulador eléctrico igual a ésta. Por tanto, la tensión a la salida del regulador se debe adaptar a este valor.

Se ha elegido el regulador Outback FM 80 MPPT cuyos parámetros se observa en la siguiente tabla

CARACTERISTICAS TECNICAS	
Voltaje de batería nominal	12, 24, 33, 48 o 60 VCC
Corriente máxima de salida	80 A
Potencia máxima	2500 W
Consumo en espera	Menor a 1W
Eficiencia de conversión	97.5 %
Puntos de ajuste de voltaje	De 10 a 60 VCC
Peso	5.56 – 12.20 lbs
Dimensiones (alto, ancho, profundo)	41.3, 14, 10 (cm)
Garantía	5 años




Tabla 6.4: Características técnicas regulador Outback FM 80 MPPT

El regulador MPPT, (seguidor del punto de máxima potencia) se encarga de optimizar la curva I-V de los módulos FV para conseguir la máxima potencia posible bajo diferentes situaciones de irradiación, temperatura o sombras.

6.8 El Inversor

El inversor es el equipo que transforma la tensión continua que proporcionan las baterías en tensión alterna (en este caso 120 V).

Para evitar sobredimensionar el inversor hay que tener en cuenta, no la potencia instalada, sino la potencia que ha de entregar a las cargas que puedan funcionar simultáneamente.

La carga que es totalmente AC, elegimos un inversor de DC a AC. Dependiendo el modelo del inversor, existiendo inversores de salida AC de onda sinoidal modificada y sinusoidal pura. La onda sinusoidal modificada es adecuada para algunas cargas excepto aquellas que requieren ondas limpias como aparatos electrónicos.

El inversor escogido es el MK modelo MK-4000P. Las características más importantes se pueden observar en la Tabla 6.5

CARACTERISTICAS TECNICAS	
Marca	AIMS
Tipo de Onda	Onda Sinoidal Modificada
Potencia nominal	2500 W
Potencia máxima	5000 W
Voltaje de entrada DC	12 A 30 V DC
Voltaje de salida AC	120 V AC
Frecuencia de salida	60 Hz
Medida (m)	0.40 X 0.26 X 0.10"
Eficiencia	>90%



Tabla 6.5: Características técnicas Inversor MK modelo MK-4000P

6.9 Análisis Económico del Sistema.

El costo del desarrollo de la investigación se detalla en el siguiente cuadro:

RECURSOS MATERIALES				
Nº	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Internet (valor mensual)	9	\$25.00	\$225.00
2	Flash Memory de 4GB	1	16.00	16.00
3	Impresiones	1000	0.10	100.00
4	Copias	400	0.05	20.00
5	Carpetas	6	0.40	2.40
6	Anillados	4	2.00	8.00
7	Transporte Urbano	216	0.25	54.00
8	Transporte Inter Cantonal	72	1.25	90.00
9	Alimentación	36	2.00	72.00
10	Varios	1	120.00	120.00
			TOTAL	\$707.40

Tabla 6.6 Recursos Materiales

Fuente: Autor

En la tabla 6.7 se detalla la propuesta económica de los equipos utilizados en el diseño de un sistema híbrido solar-eólico para generar energía eléctrica es factible desde el punto de vista técnico ya que los equipos a utilizarse y los recursos tecnológicos existen en el mercado local y tienen acceso viable.

Equipos	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Batería Victron Energy AGM 12V-220A	5	\$250.00	\$1250.00
Aerogenerador EXMORK de 300W + controlador	1	800.00	800.00
Paneles fotovoltaicos EXMORK 100W-12V	5	200.00	1000.00
Controlador para paneles	1	210.00	210.00
Inversor MK- modelo MK-4000P	1	450.00	450.00
			TOTAL
			\$3710.00

Tabla 6.7: Presupuesto de Equipos del Sistema

Fuente: Autor

Presupuesto para la Implementación del Sistema Híbrido	
Detalle	Valor Total
Equipos	3710.00
Instalación	300.00
Caseta	200.00
TOTAL	\$4210.00

Tabla 6.8: Presupuesto Total

Fuente: Autor

RECURSO HUMANO				
Nº	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Estudiante (por horas)	320	\$2	\$640.00
TOTAL				\$640.00

Tabla 6.9: Recurso Humano

Fuente: Autor

PRESUPUESTO TOTAL		
Nº	Detalle	Valor Total
1	Recursos Materiales	\$ 707.40
2	Recurso Humano	\$ 640.00
3	Presupuesto para la Implementación del Sistema Híbrido	\$4210.00
TOTAL		\$ 5557.40

Tabla 6.10: Presupuesto Total

Fuente: Autor

VII.- DISCUSIÓN

Los cálculos efectuados en este documento permiten justificar un estudio sobre la implementación de un sistema híbrido para el suministro de energía eléctrica de origen fotovoltaico y eólico, para la alimentación de una vivienda aislada de la red de suministro de energía eléctrica. Considerando los resultados obtenidos se estableció un modelo de diseño en cuanto a validez y confiabilidad.

Para buscar el aporte óptimo del sistema FV y del aerogenerador es necesario conocer en primer lugar las cargas eléctricas conectadas al sistema y, de ser posible, su clase de servicio, donde, para el cálculo de la potencia instalada en la vivienda, el consumo de los aparatos y luminarias ha sido extraído de los diferentes catálogos de fabricantes.

Los datos necesarios para los cálculos sobre el aporte fotovoltaico han sido tomados del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Y los datos necesarios para la realización de los cálculos sobre el aporte eólico han sido proveídos por la estación meteorológica del aeropuerto “Ciudad de Catamayo”.

En el Capítulo IV se indica de forma detallada y precisa el procedimiento de cálculo referente al aprovechamiento de la energía solar-eólica, su captación, generación y conversión en energía eléctrica, siendo en este estudio la radiación solar promedio de 4950W y la velocidad del viento promedio es de 7 m/s.

En cuanto a la eficiencia del sistema se puede manifestar que se cumplió plenamente con la demanda energética necesaria durante todos los meses del año, logrando un factor de cobertura medio anual del 96%, este factor indica que la vivienda sostenible contará con el servicio de energía eléctrica durante todo el año, sin restricciones.

VIII.-CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se diseñó un sistema híbrido solar-eólico para lo cual fue necesario conocer los datos de la velocidad del viento tomados de la estación meteorológica del aeropuerto “Ciudad de Catamayo” y los datos de la radiación solar fueron tomados, del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), para aprovechar estas fuentes de energía en la electrificación de una vivienda.
- El aprovechamiento de la radiación solar y de la velocidad del viento en un sistema híbrido solar-eólico proporcionará energía eléctrica, además fomentará el uso de energías renovables y cuidado del medio ambiente.
- Los estudios eólicos y solares de la zona, indican que son aptos para su aprovechamiento, debido a que existe una velocidad media del viento desde 3.5 a 7 m/s y una insolación global promedio de 4950 $Wh/m^2/día$. Ya que con ambos sistemas se garantiza el suministro de energía eléctrica, siendo sistemas que se complementan entre sí.
- La demanda de energía se estableció a partir del levantamiento de los equipos electrodomésticos de la vivienda. La demanda energética a satisfacer en el lugar de estudio por parte del sistema híbrido solar-eólico en el año (*DET*), es de 1186 $KWh/año$.
- Los datos obtenidos de la velocidad del viento y ajustados a las condiciones reales de la zona de estudio se determinó los parámetros de la ley de densidad de probabilidad de Weibull, la misma que facilita una expresión matemática para predecir el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo y a partir de esto determinar el potencial eólico disponible en la zona de estudio.
- Las características del sistema híbrido solar-eólico son: por parte del aerogenerador de 300 W de potencia generará 2400 $Wh/día$, esto es un 74% del Consumo Promedio de Energía eléctrica (*CEU*) que es 3250 $Wh/día$, y la energía diaria a generar con los paneles fotovoltaicos es del 26% siendo 850 $Wh/día$, con el uso de 5 paneles fotovoltaicos, un banco de 5 baterías conectadas en paralelo, se utiliza 1 inversor y utilizamos en cada uno de los equipos de generación un controlador para evitar la sobrecarga y descarga total de las baterías de almacenamiento las que no deben sobrepasar de un 60% en su descarga con la finalidad de tener una vida útil de 25 años.

IX.- RECOMENDACIONES

- Considerando las características técnicas de los equipos, y las condiciones meteorológicas del medio, en especial en el cantón Catamayo, es necesario continuar con las mediciones del viento, temperatura, radiación solar y más parámetros para futuros proyectos similares.
- En el cálculo de la demanda energética se recomienda especificar correctamente la potencia de cada artefacto eléctrico ya que esto nos ayudara a no sobredimensionar el sistema de generación eléctrica hibrido solar-eólico ni tampoco a dejar cargas eléctricas sin abastecer en la vivienda.
- La suciedad en la superficie de los módulos afecta el rendimiento de los mismos, es recomendable limpiar la superficie de manera periódica para evitar la acumulación de polvo.
- Para futuros estudios similares se recomienda analizar los diferentes tipos de equipos eólicos y solares existentes en el mercado, obtener sus características para garantizar la producción de energía, su eficiencia y su calidad.
- Concientizar a la sociedad en general que la implementación de sistemas fotovoltaicos y eólicos, son fuentes alternativas que dan soluciones integrales con beneficios particulares y sociales que deberían ser aprovechados y utilizados responsablemente.
- Para el ahorro de energía se recomienda utilizar equipos o artefactos de nuevas tecnologías y amigables con el medio ambiente ya que disminuirá la demanda de energía para la vivienda.
- Buscar medios para implementar el sistema hibrido con tecnología nacional, de manera que esto abarate los costos de inversión y el precio se reduzca de los precios internacionales.

X.- BIBLIOGRAFÍA

❖ SITIOS WED

Herrera, Vanessa. 2011. [En línea] 24 de 10 de 2011. [Citado el: 26 de Agosto de 2013.] <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/energiaeolicaygeotermica.pdf>.

instrumentos, PCE. 2010. PCE instrumentos. *PCE instrumentos*. [En línea] 2 de 05 de 2010. [Citado el: 9 de Abril de 2013.] <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/medidores-fotovoltaicos.htm>.

Iván Montalvo, José Luis Cabezas. 2011. [En línea] 16 de Mayo de 2011. [Citado el: 13 de Julio de 2012.] <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/982/1/99852.pdf>.

Quezada, Roberto Carlos Chumioque. 2008.

www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogenferr.pdf.

www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogenferr.pdf. [En línea] 9 de 8 de 2008. [Citado el: 5 de 6 de 2012.] www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogenferr.pdf.

Ramírez, Karina Lucy del Pilar Pacco. 2008. monografias .com. *monografias.com*. [En línea] 6 de Julio de 2008. [Citado el: 9 de 04 de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml>.

Recinos, Hugo Roberto Sosa. 2003. <http://www.tesis.ufm.edu.gt/pdf/3579.pdf>.

<http://www.tesis.ufm.edu.gt/pdf/3579.pdf>. [En línea] Febrero de 2003. [Citado el: 11 de Junio de 2012.] <http://www.tesis.ufm.edu.gt/pdf/3579.pdf>.

❖ TESIS

Silva, Luis Rafael Carrión Pazmiño y Pablo Alejandro Puchaicela. 2010. *Diseño y simulación de un aerogenerador de eje vertical con rotor tripala para el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR*. Loja : s.n., 2010.

Quinde, Oscar Ivan Cabrera Gonzales y Darwin Rigoberto Cuenca. 2008. *Diseño y construcción de un aerogenerador experimental y modular por la aplicación rural*. Loja : Universidad Nacional de Loja, 2008.

❖ LIBROS

Aparicio, Miguel Pareja. 2010. *Energía Solar Fotovoltaica Segunda Edición. Energía Solar Fotovoltaica Segunda Edición*. Barcelona : MARCOMBO, S.A, 2010.

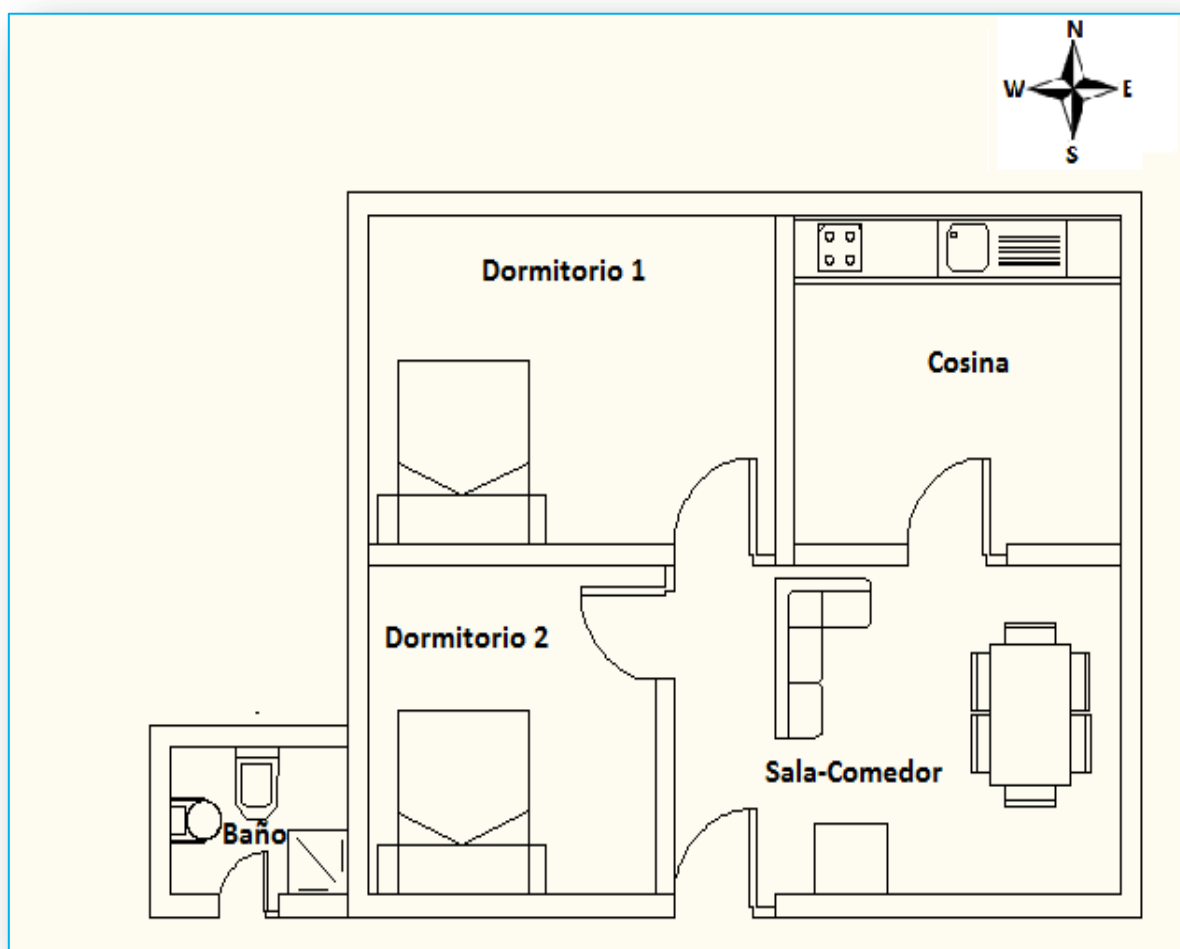
Villarubia, Miguel. 2004. *Energía Eólica. Energías Alternativas. Energía Eólica. Energías Alternativas*. s.l. : CEAC, 2004.

ALVARADO, José y ROMERO, Edgar. 2009. *Energías Renovables*. Bogotá : CEAC, 2009.

XI. ANEXOS

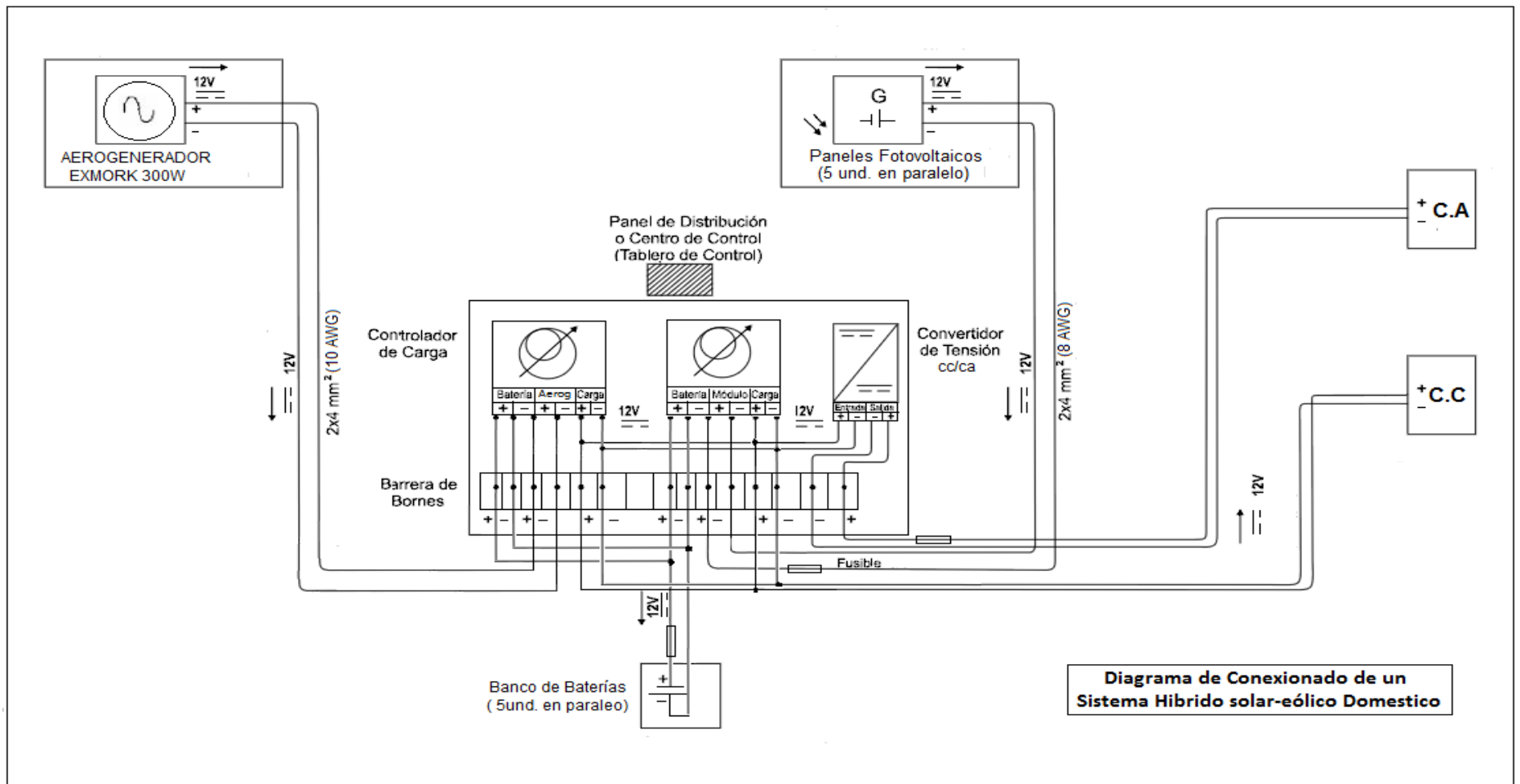
ANEXO Nro. 1

VIVENDA SOSTENIBLE



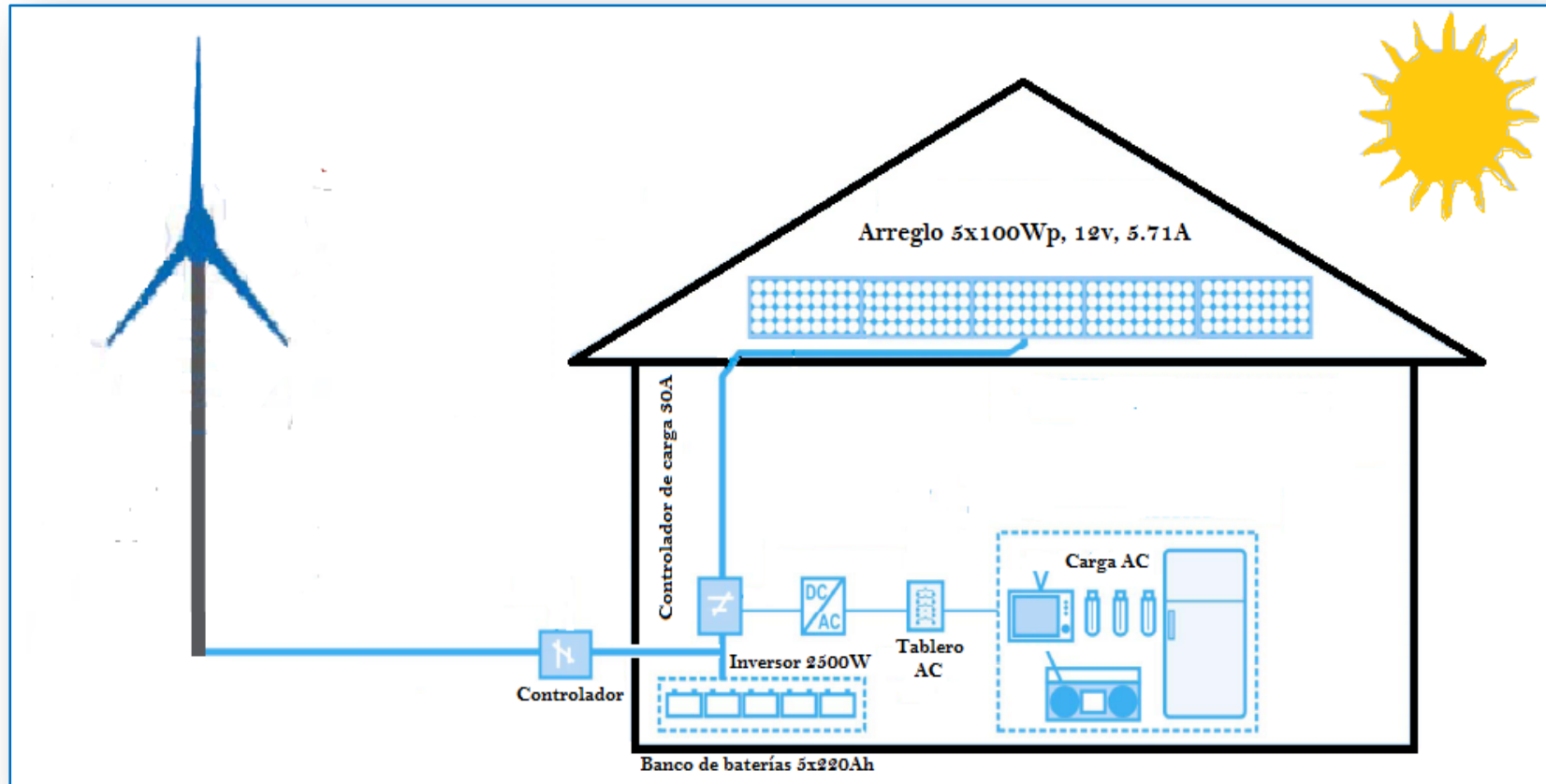
ANEXO Nro. 2

DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR DE MONTAJE DEL SISTEMA HÍBRIDO SOLAR EÓLICO



ANEXO Nro. 3

Sistema híbrido Solar-Eólico para generación eléctrica de la vivienda



ANEXO Nro. 4

**ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL
CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC)**



1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La información base que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, fue generada por el National Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética.

Dentro de este marco, el NREL desarrolló el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), que permite conocer la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40 km x 40 km alrededor del mundo y cuyos resultados han sido validados a través de la medición de datos efectuados por estaciones, estableciéndose que el error de los datos es del 10%. Utiliza información sobre traza de gases, vapor de agua atmosférico, nubosidad, cantidad de aerosoles (Figura 1). El NREL publica, en forma periódica, los valores de insolación promedio, para una locación dada usando colectores fijos con cinco ángulos de inclinación: horizontal: 0°, latitud del lugar menos 15°, latitud, latitud más 15°, y vertical (90°). Estos datos son complementados con mediciones tomadas usando superficies colectoras móviles, las que son montadas en aparatos que, automáticamente, siguen la trayectoria del sol.

La información disponible, corresponde al período entre el 1 de Enero de 1985 y el 31 de Diciembre de 1991, y fue publicado en Julio del 2006. Los datos representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales (dentro del período mencionado) de cada una de ellas, expresados en Wh/m²/día.

La Corporación para la Investigación Energética - CIE, utiliza la información generada por el modelo CRS, filtrando en primera instancia el amplio volumen de información proveniente de este modelo, hasta seleccionar aquellos que corresponden únicamente al territorio continental ecuatoriano, y mediante códigos, ser exporados a una base de datos para que sean compatibles con la plataforma de trabajo que se escogió, en este caso, un Sistema de Información Geográfica (SIG). A través del SIG se convirtió las referencias geográficas al Sistema de proyección y coordenadas escogidas para el país, en este caso Universal Transverse de Mercator, WGS84, Zona 17 Sur.

La filtración de celdas, dio una cobertura de 472 puntos sobre el territorio continental Ecuatoriano en

FIGURA 2
RED NREL DE PUNTOS

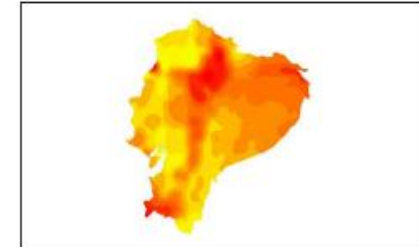


Fuente: CIE, 2008

celdas de 40 km x 40 km, que provienen de los datos originales (Figura 2). Esta versión del Atlas contiene al momento información sobre el Ecuador continental, se está trabajando para en una futura versión, incorporar a la región insular del país.

Los datos así, a través de su base de datos de respaldo, fueron analizados estadísticamente para conocer su comportamiento y de esta manera escoger el interpolador que se asemeje de mejor manera al fenómeno analizado, una vez escogido el interpolador,

FIGURA 3
GRILLA DE INSOLACIÓN SOLAR

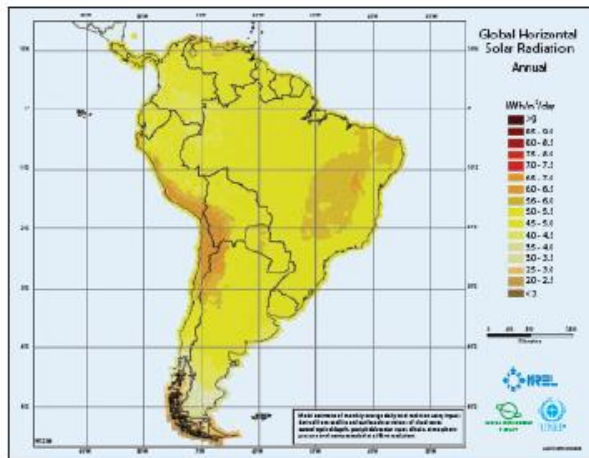


Fuente: Atlas de Insolación - CIE, 2008

se obtuvieron celdas de información con una resolución de 1 Km² (Figura 3).

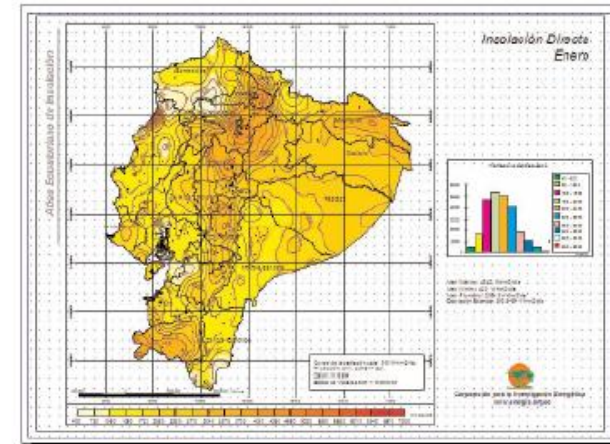
Este proceso se repitió para cada mes dentro de las insolaciones directa, difusa y global, obteniéndose un total de 36 mapas mensuales, más 3 que corresponden a los promedios anuales, dando un juego de 39 mapas. Cada grilla obtenida a través de este proceso, generó una base de datos de aproximadamente 246 000 puntos para cada cobertura en celdas de 1 Km², dando un total de 9 600 000 registros con información de los tres tipos de insolaciones (Figura 4).

FIGURA 1
NREL, INSOLACIÓN GLOBAL HORIZONTAL EN SUDAMÉRICA



Fuente: NREL

FIGURA 4
MAPA SOLAR DEL ECUADOR



Fuente: Atlas de Insolación - CIE, 2008

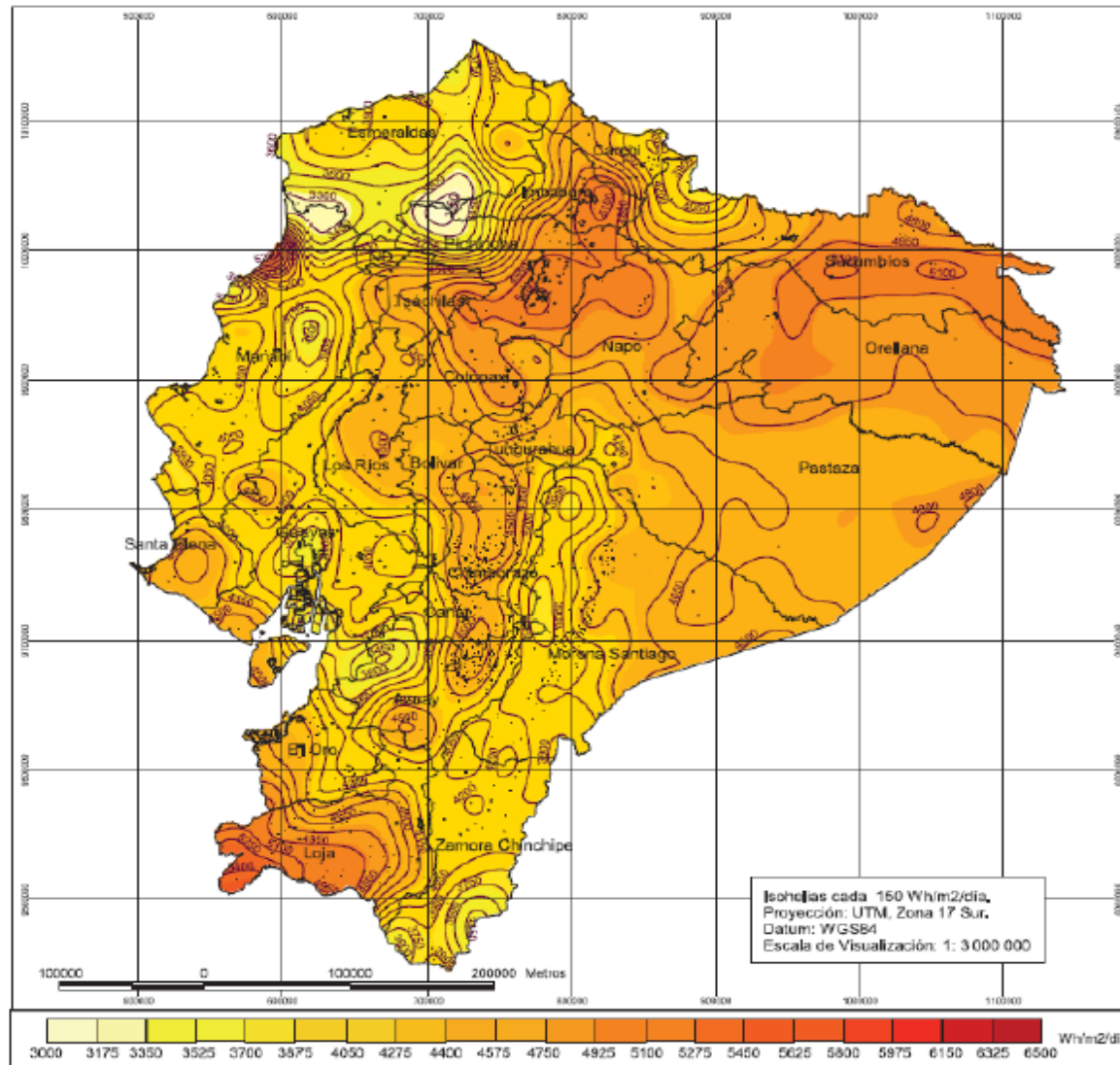
UNIDADES UTILIZADAS EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La insolación, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En la siguiente tabla se da una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión.

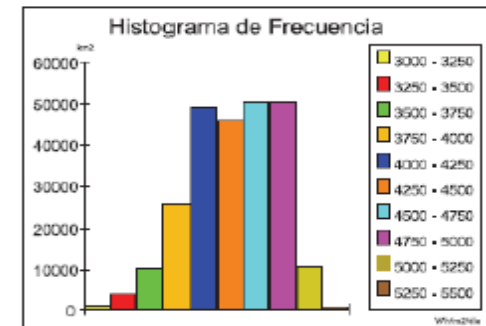
UNIDAD	EXPLICACIÓN	CONVERSIÓN
Potencia Solar		
Wp	Vatio pico	-
W	Vatio	-
KW	Kilovatio (1000 w)	-
W/m ²	Vatio por metro cuadrado	
Energía Solar		A kWh/m²
kWh/m ²	kWh por metro cuadrado	1
kJ/cm ²	kJ por centímetro cuadrado	2,778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0,2778
kcal/cm ²	1000 calorías por centímetro cuadrado	11,67
BTU/pie ²	Unidades Térmicas británicas por pie cuadrado	0,0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0,0116

IMPORTANTE:

Cuando queremos comprar un módulo FV, lo que debemos indicarle al proveedor es la potencia que necesitamos. La potencia eléctrica de un módulo FV se expresa en Vatio Pico (Wp). Esta medida nos dice que, en un día despejado y soleado, a las 12 del mediodía, un módulo de 50 Wp produce 50 W a luz solar plena, indiferentemente de dónde sea instalado. Esta potencia es medida en los laboratorios del fabricante y debe garantizar ese valor.



Insolación Global Enero

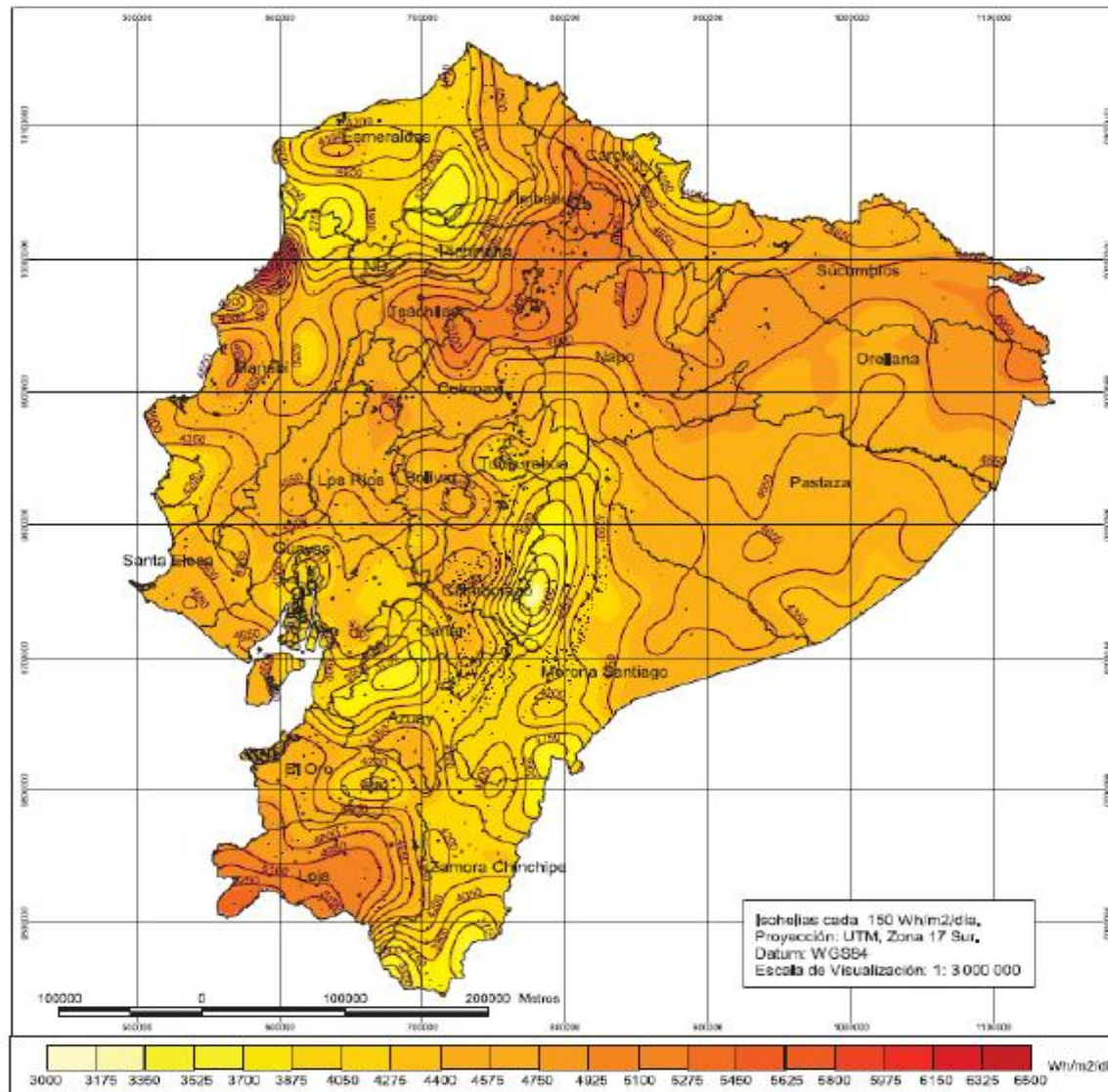


Valor Máximo: 5 523 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 089 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 411,16 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 415,7527 Wh/m²/día

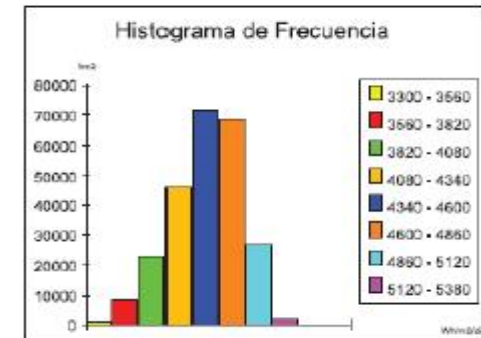
CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Continúa: Insolación Global para el mes de Enero	Fecha: Agosto del 2008
---	---------------------------



Insolación Global Febrero

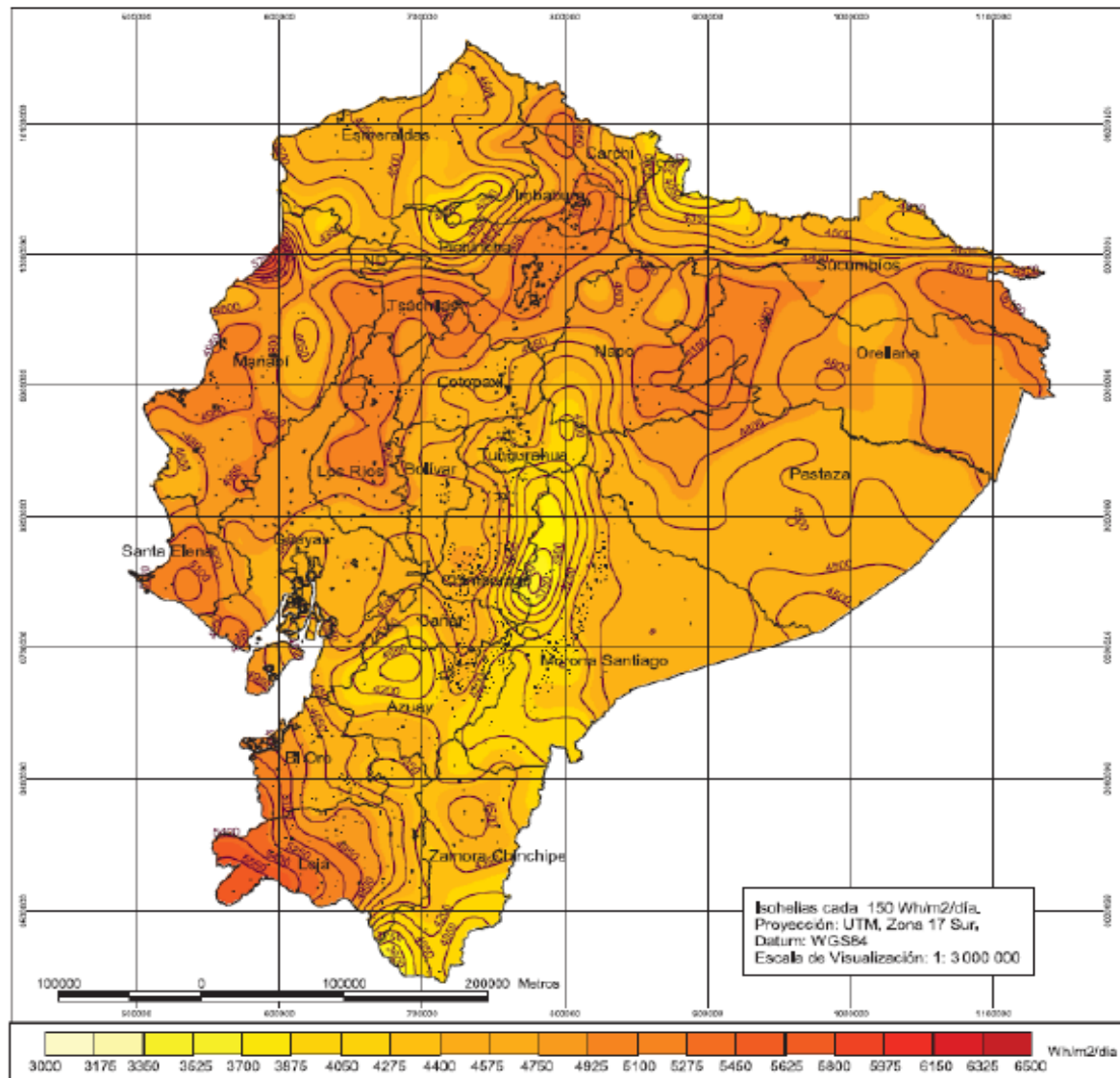


Valor Máximo: 5 817 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 315 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 480,31 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 334,7997 Wh/m²/día

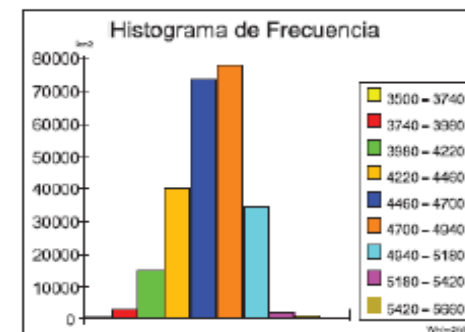
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Global para el mes de Febrero	Fecha: Agosto del 2000
--	---------------------------



Insolación Global Marzo



Valor Máximo: 5 855 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 572 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 655,19 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 291,5249 Wh/m²/día

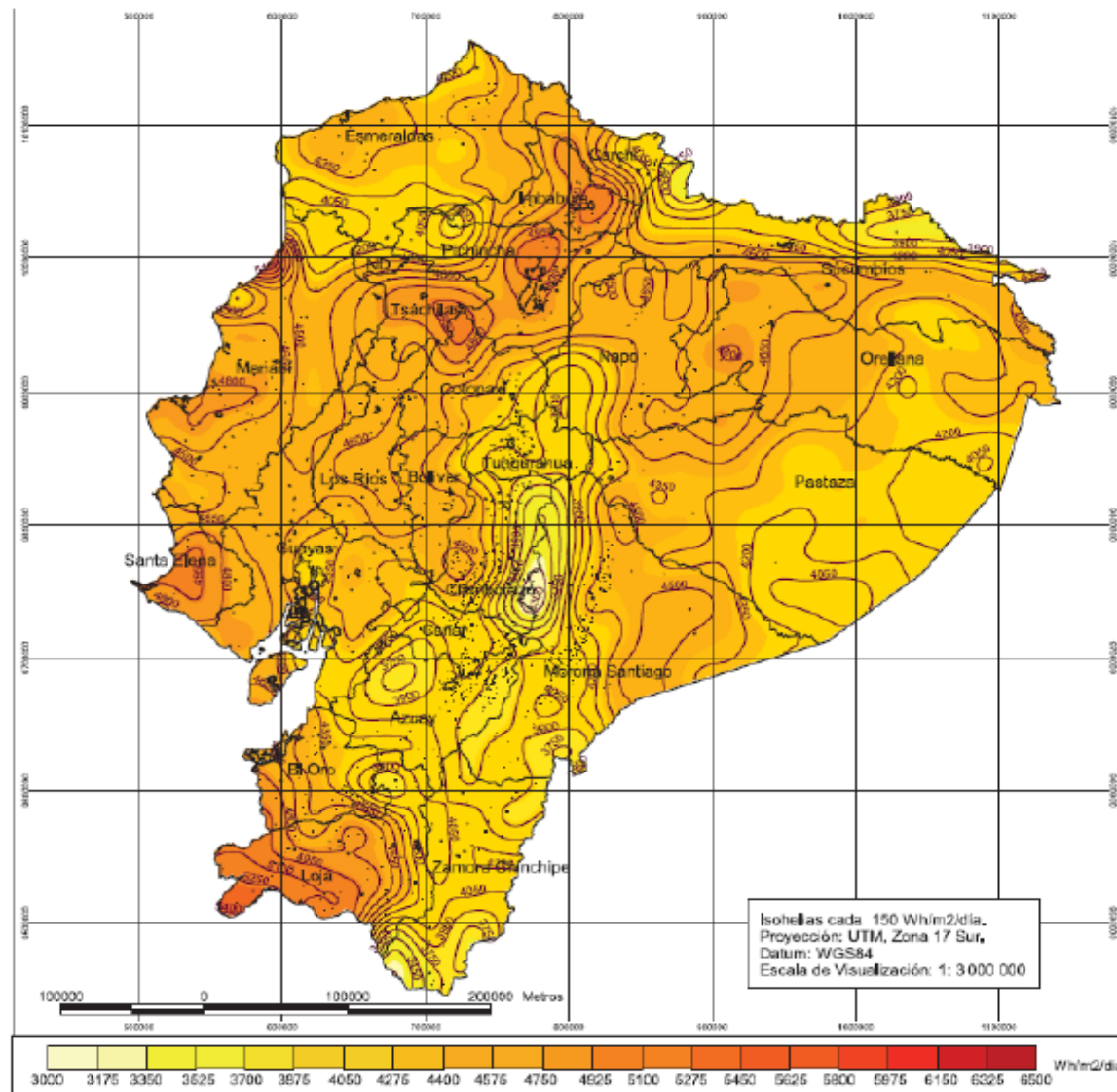


CONELEC
Comisión Nacional de Electricidad

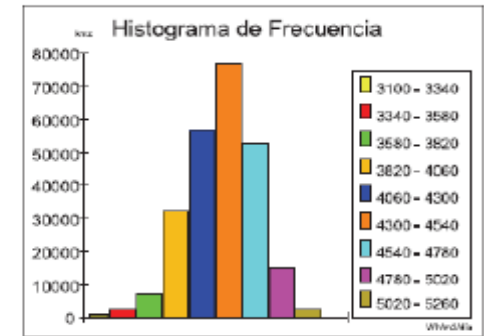
CIE
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

contiene: Insolación Global para el mes de Marzo	fecha: Agosto 14, 2008
---	---------------------------



Insolación Global Abril

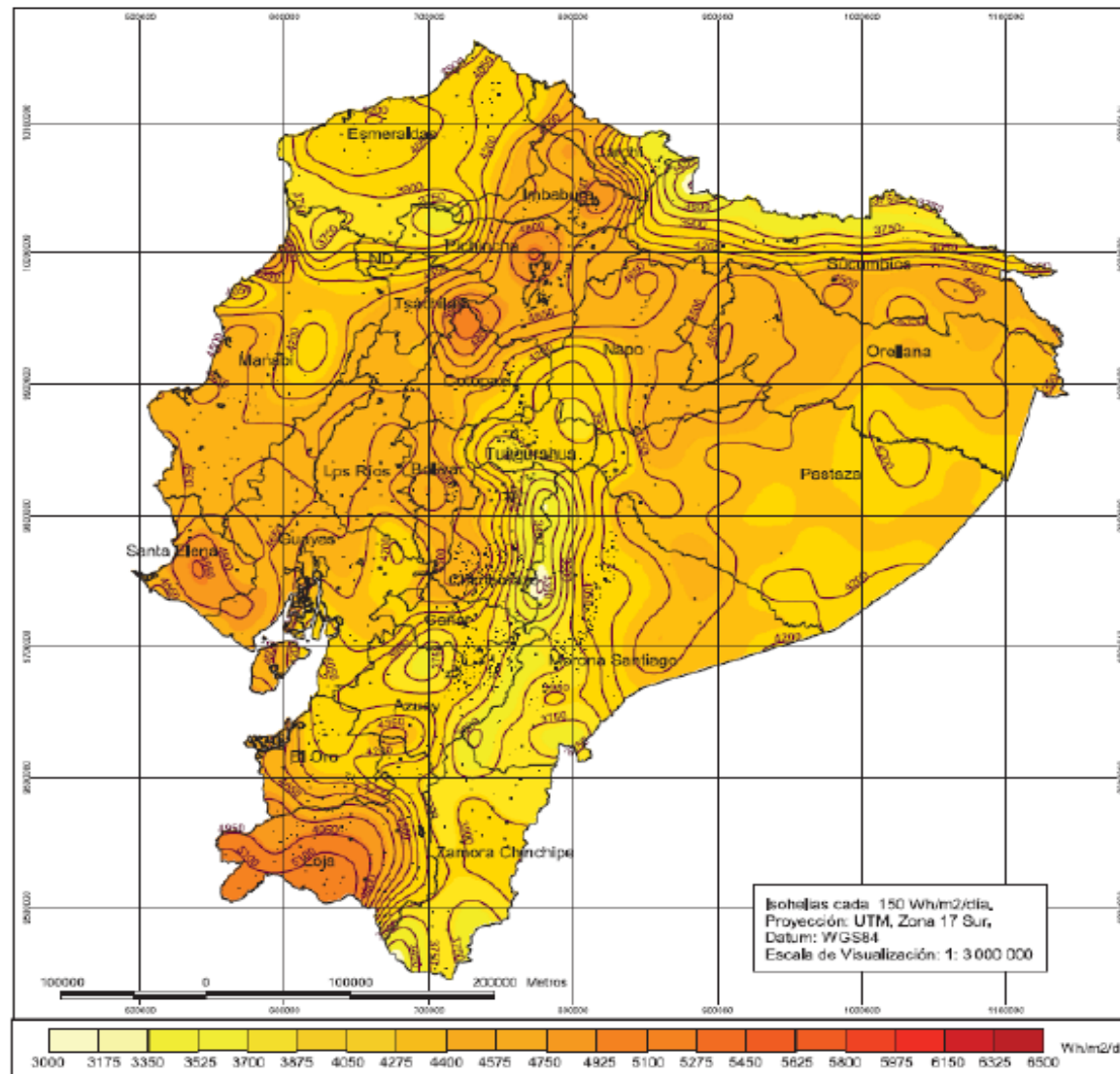


Valor Máximo: 5 421 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 168 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 360,2057 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 315,9972 Wh/m²/día

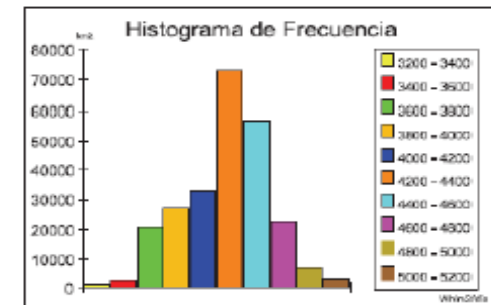
CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contiene: Insolación Global para el mes de Abril Fecha: Agosto-Jul 2009



Insolación Global Mayo

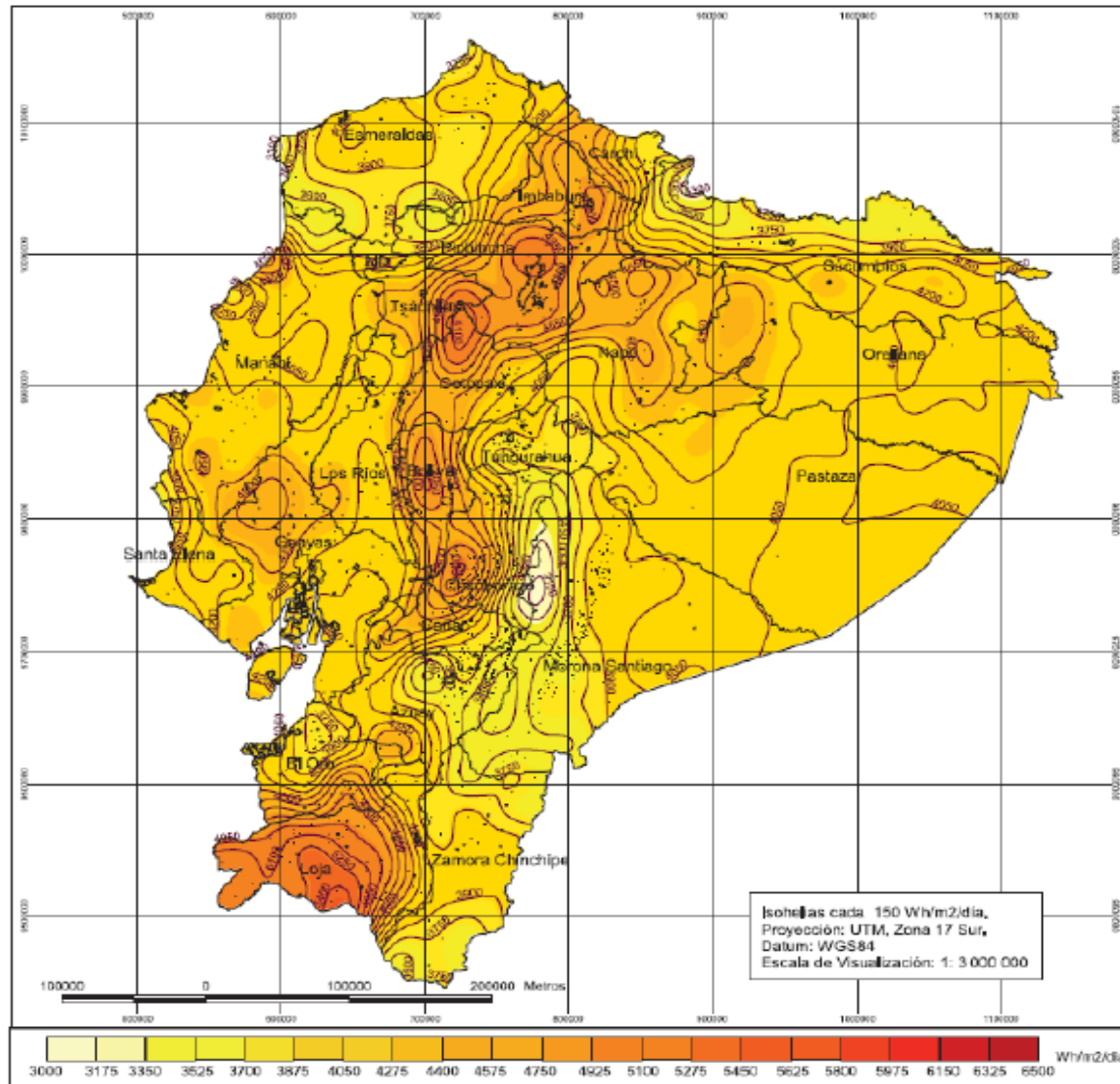


Valor Máximo: 5 213 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 288 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 276,06 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 325,6587 Wh/m²/día

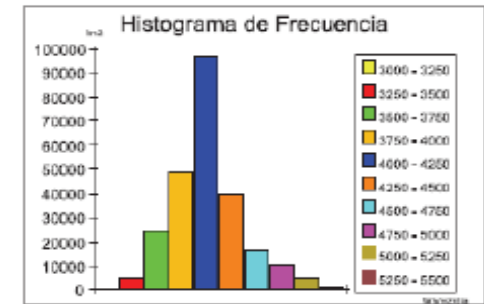
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Global para el mes de Mayo Fecha: Agosto del 2008



Insolación Global Junio

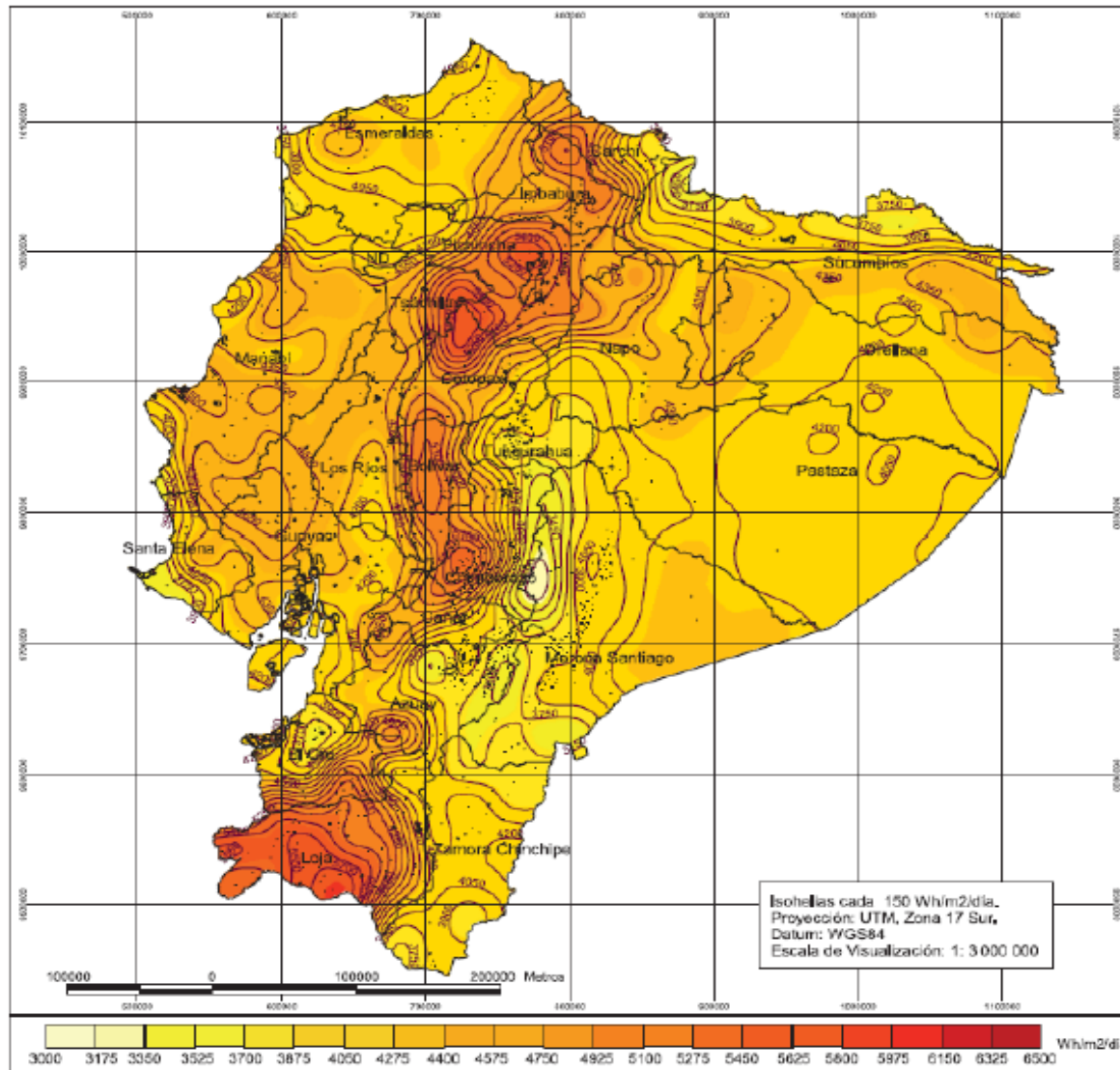


Valor Máximo: 5 474 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 107 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 140,13 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 351,9731 wh/m²/día

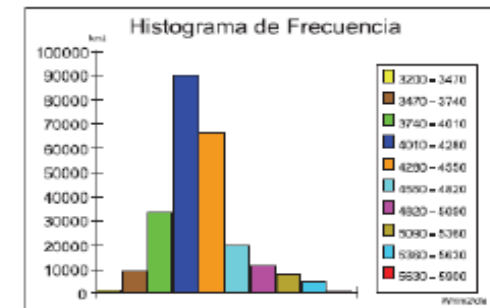
CONELEC
 Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Global para el mes de Junio
 Fecha: Agosto del 2008



Insolación Global Julio

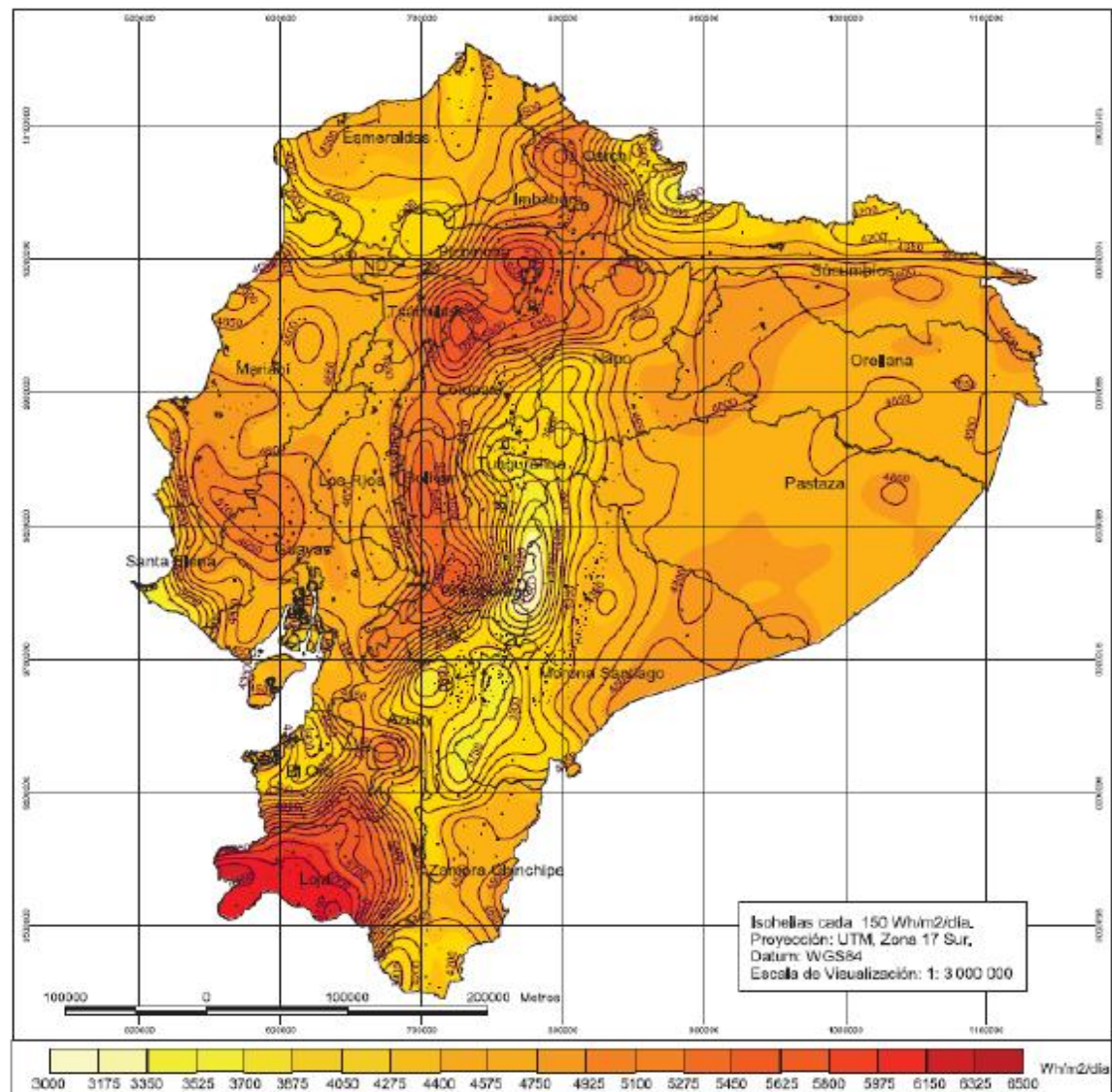


Valor Máximo: 5 842 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 216 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 308,48 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 392,6003 Wh/m²/día

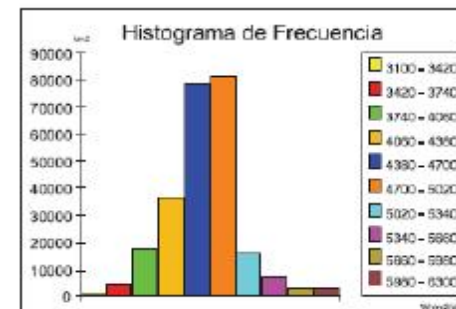
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

tema: Insolación Global para el mes de Julio fecha: Agosto del 2009



Insolación Global Agosto

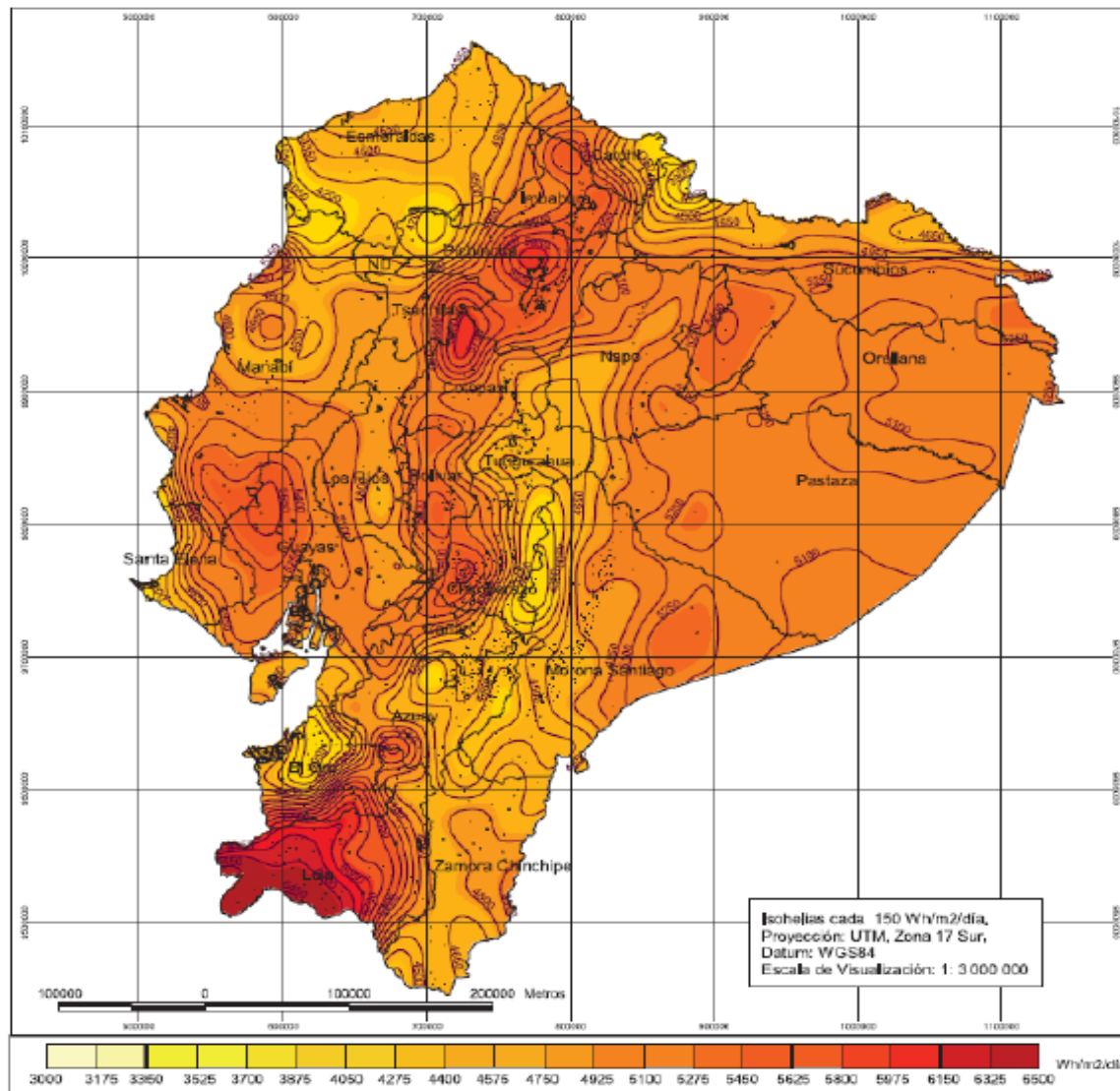


Valor Máximo: 8 254 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 117 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 624,62 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 429,5265 Wh/m²/día

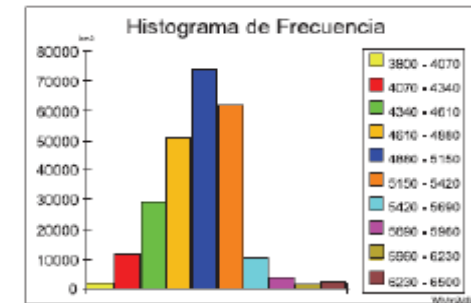
CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Confine: Insolación Global para el mes de Agosto	Fecha: Agosto del 2000
---	---------------------------



Insolación Global Septiembre

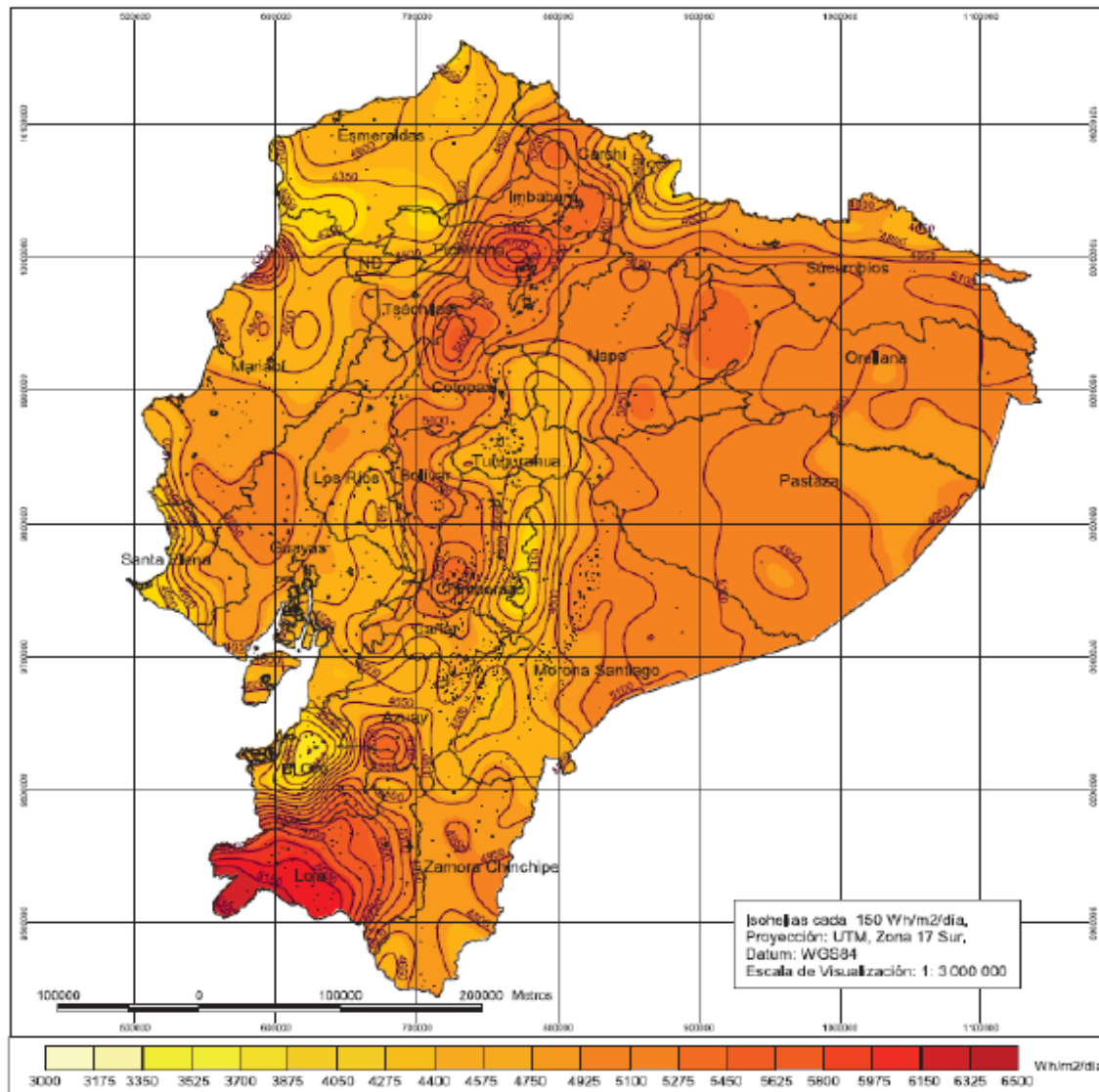


Valor Máximo: 6 492 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 835 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 974,44 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 390,9649 Wh/m²/día

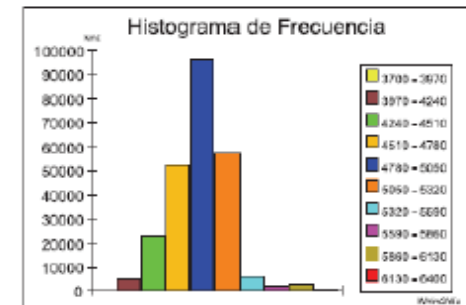
CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contiene: Insolación Global para el mes de Septiembre	Fecha: Ago del 2006
---	-------------------------------



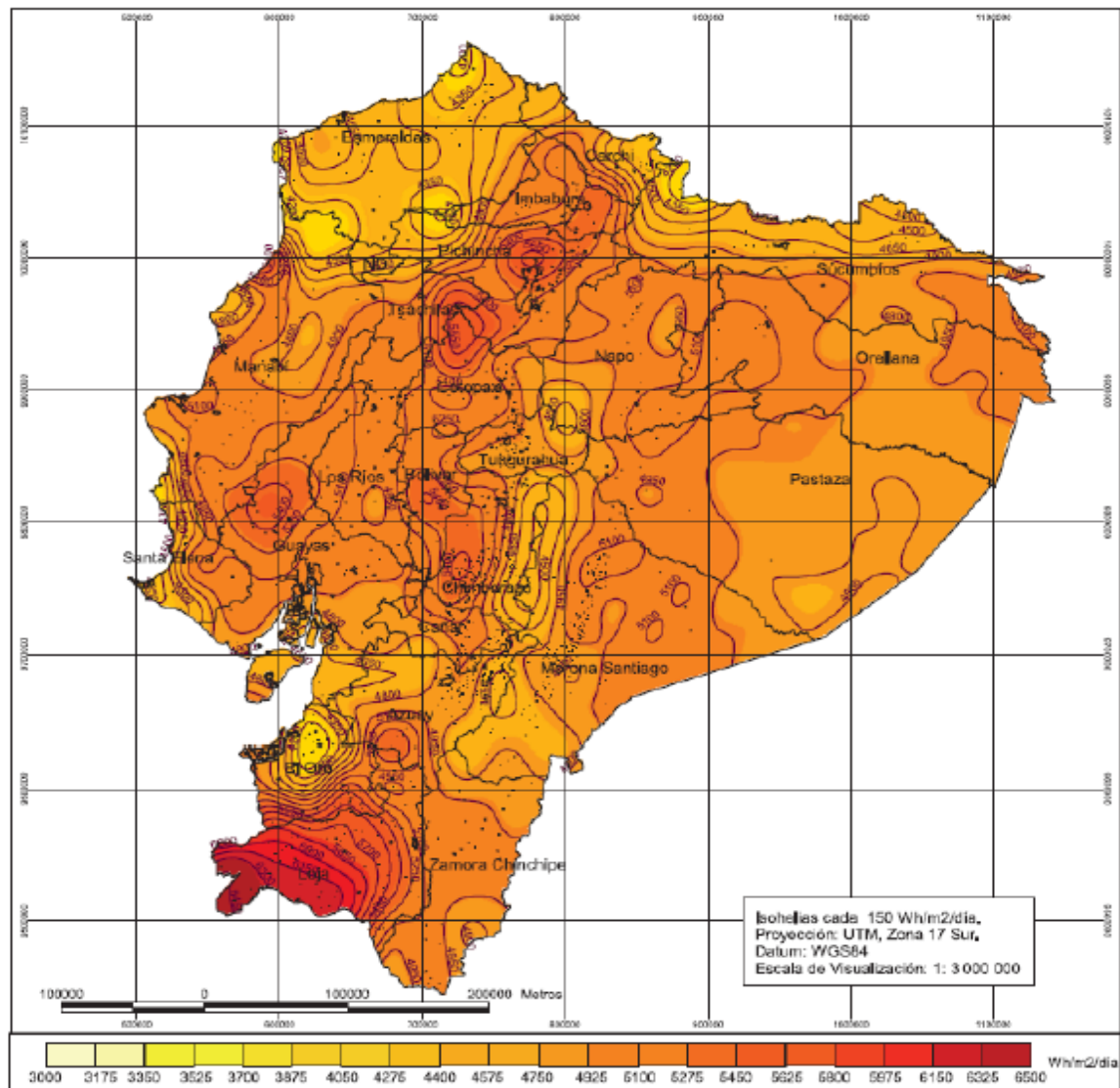
Insolación Global Octubre



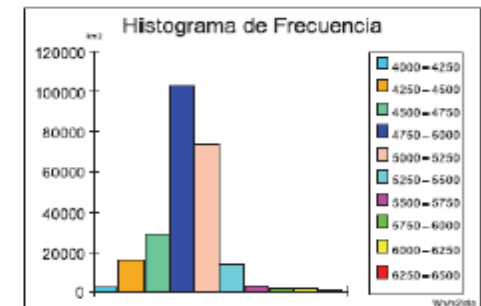
Valor Máximo: 6 323 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 748 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 898,34 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 324,2121 wh/m²/día

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Global para el mes de Octubre Fecha: Agosto del 2008



Insolación Global Noviembre



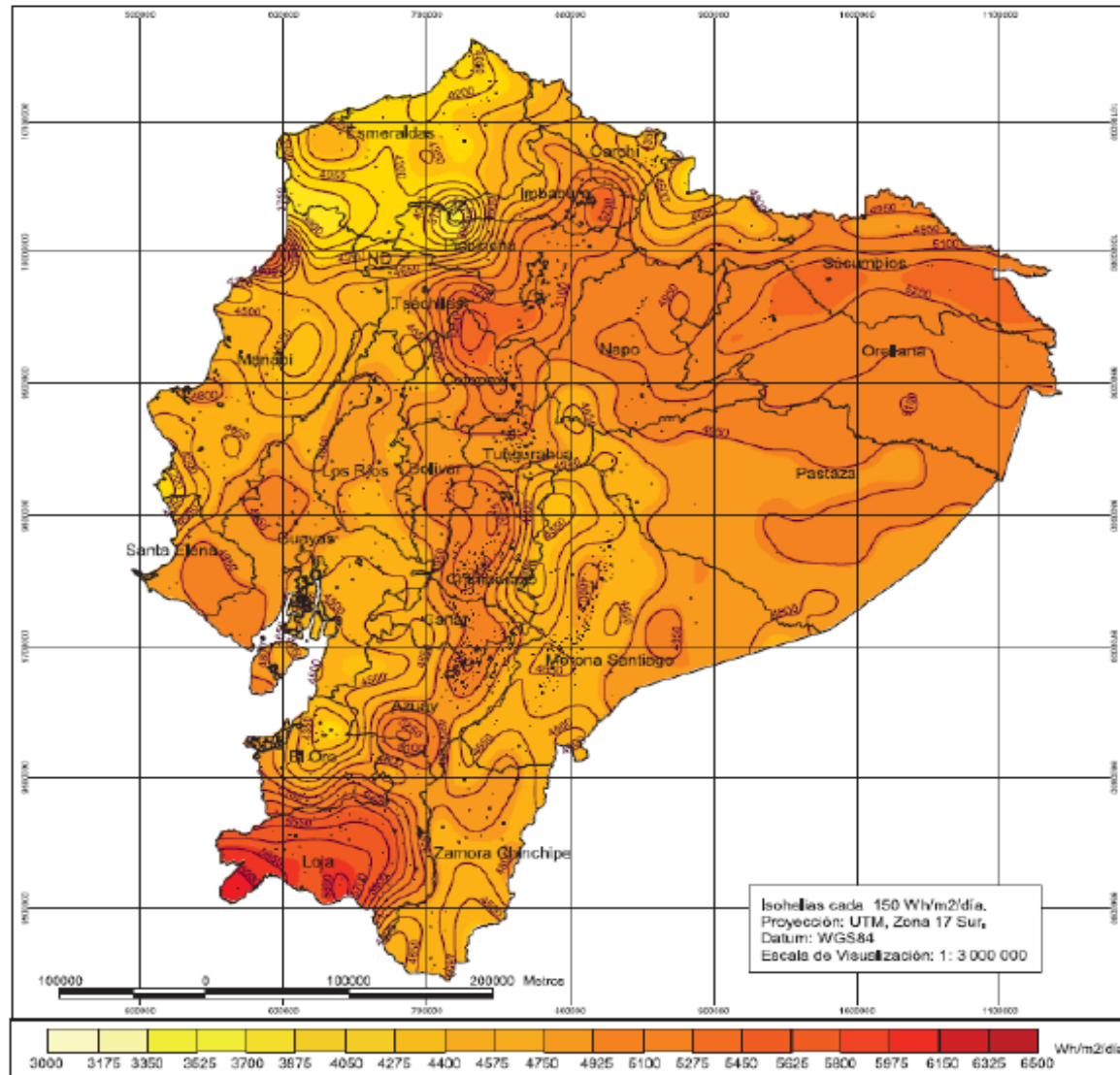
Valor Máximo: 6 486 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 4 059 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4 943,48 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 306,6717 Wh/m²/día

CONELEC
 CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA

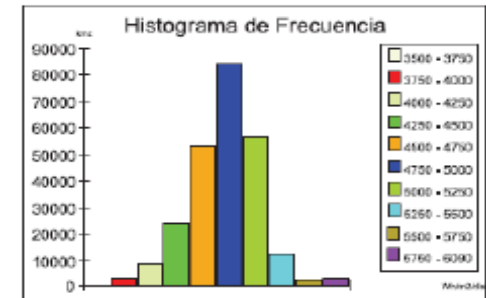
CI E
 Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Orden: Insolación Global para el mes de Noviembre
 Fecha: Agosto del 2008



Insolación Global Diciembre

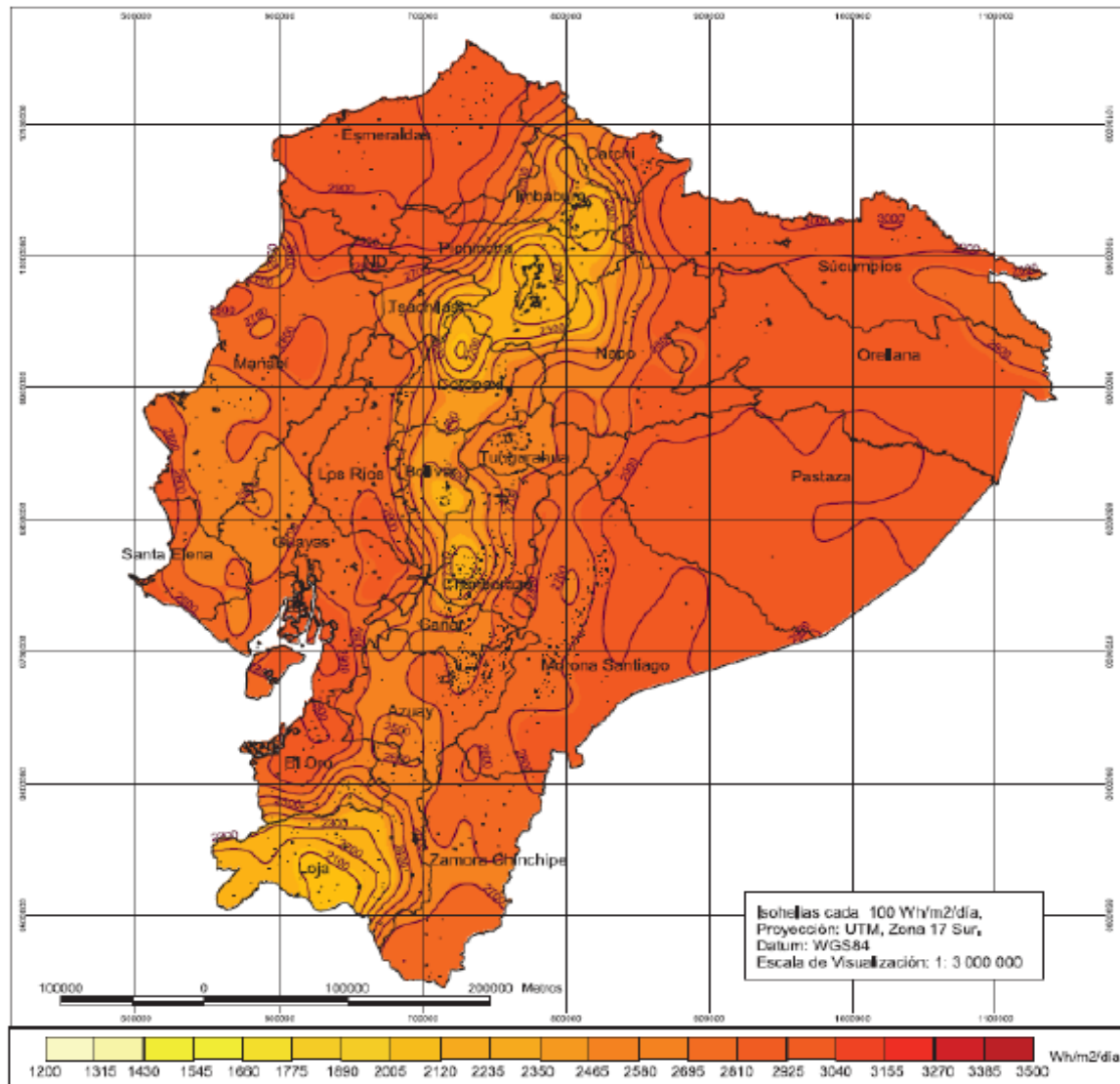


Valor Máximo: 6 088 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 3 537 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 4837,51 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 333,9528 Wh/m²/día

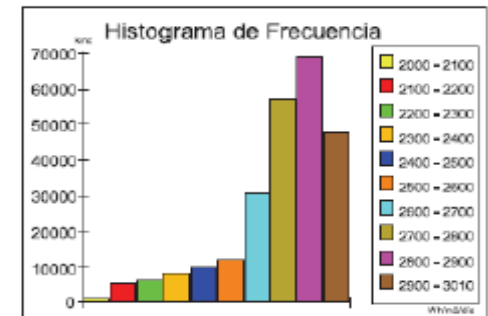
Comisión para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Colores: Insolación Global para el mes de Diciembre	Fecha: Agosto del 2008
--	---------------------------



Insolación Difusa Promedio



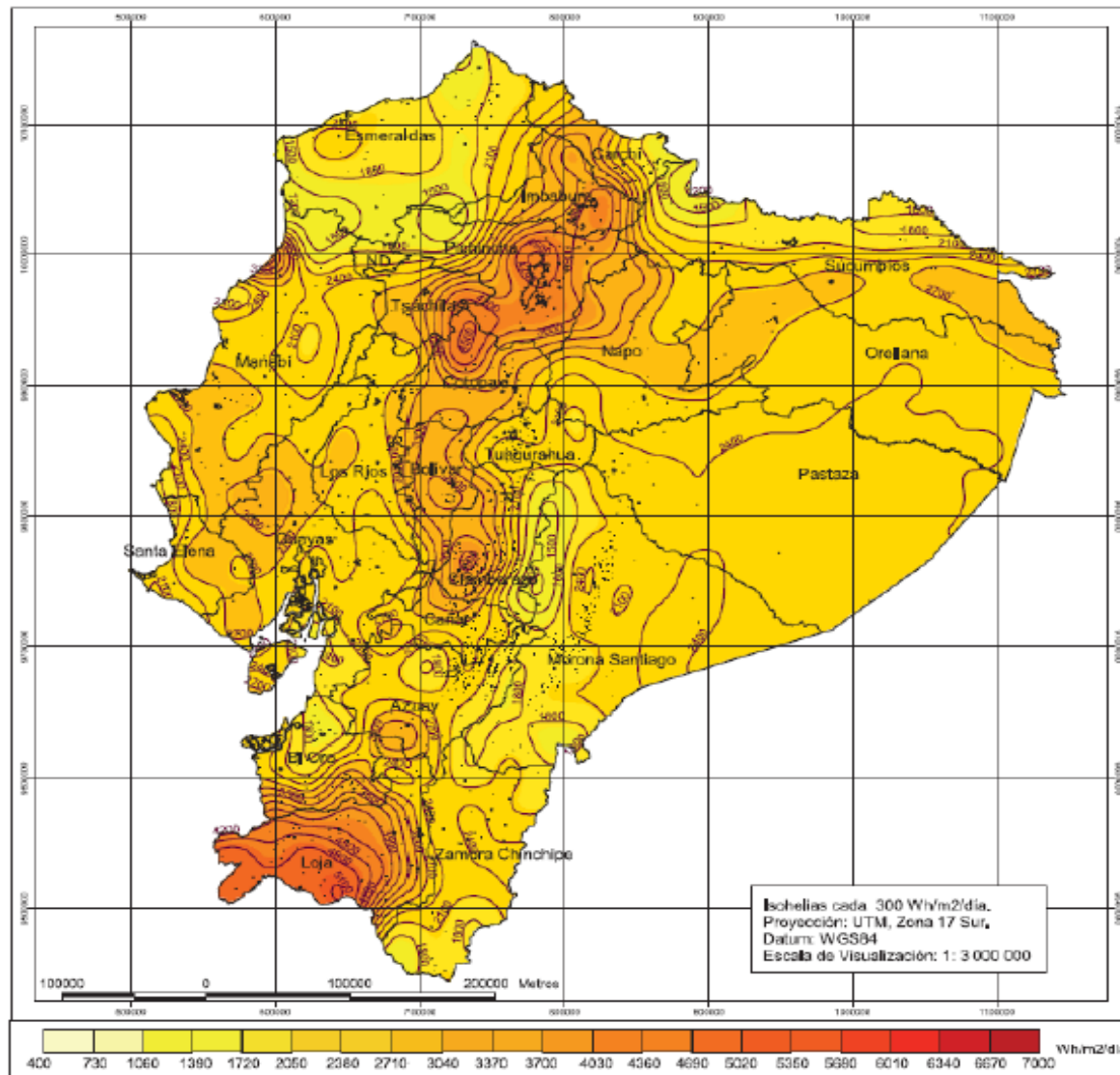
Valor Máximo: 3 105 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 2 032 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 2737,05 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 196,8432 Wh/m²/día



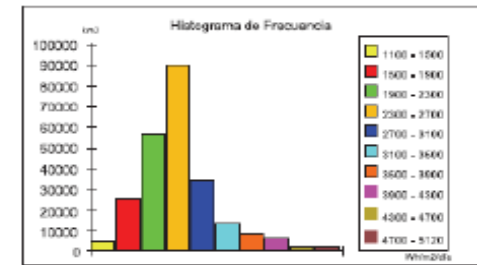
CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Tema: Insolación Difusa Anual Promedio	Fecha: Agosto del 2009
--	------------------------



Insolación Directa Promedio

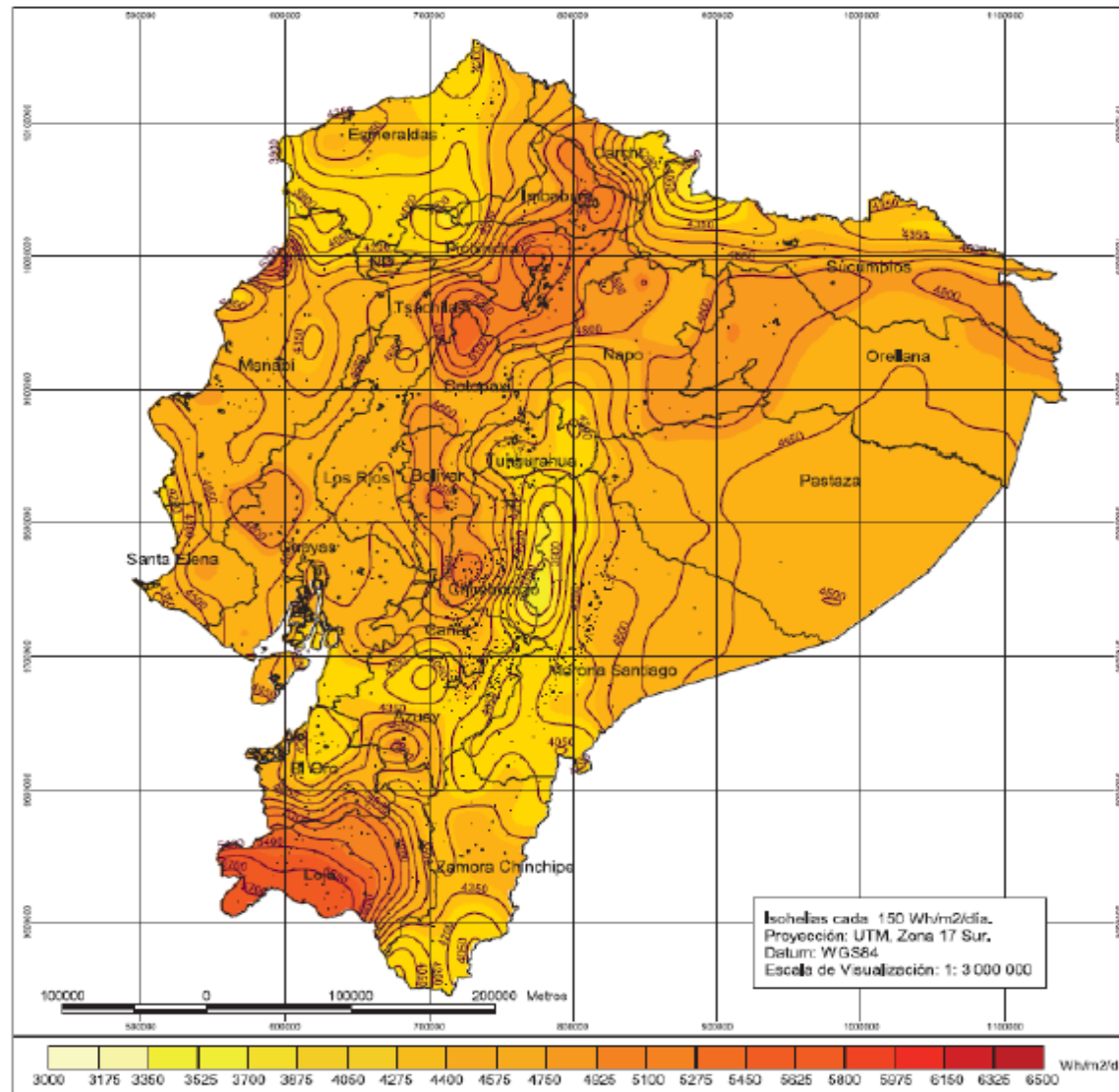


Valor Máximo: 5 119 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 1 147 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 2543,01 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 643,1827 Wh/m²/día

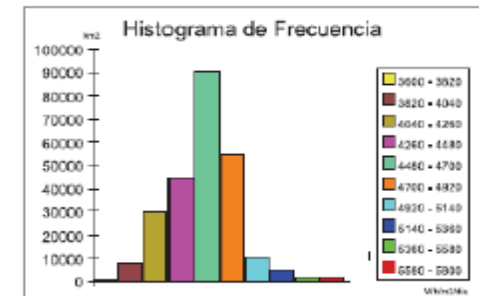
CONELEC
 Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contiene: **Insolación Directa Anual Promedio** Fecha: Agosto del 2008



Insolación Global Promedio



Valor Máximo: 5 748 Wh/m²/dia
 Valor Mínimo: 3834 Wh/m²/dia
 Valor Promedio: 4574,99 Wh/m²/dia
 Desviación Estándar: 301,4093 Wh/m²/dia

CONELEC
Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Global Anual Promedio	Fecha: Agosto del 2008
--	---------------------------



Av. Naciones Unidas E7-71 y Av de Los Shyris

www.conelec.gov.ec

Quito - Ecuador



CIE

Corporación para la
Investigación Energética

www.energia.org.ec