



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

Tema:

**“SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO
DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS DE AGUA
SANTA.”**

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

AUTOR: Herrera Barros Vanessa Catalina

TUTOR: Ing. Salcedo Carlos

Ambato-Ecuador

2011

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, nombrado por el H. Consejo Superior de Pregrado de la Universidad Técnica de Ambato:

CERTIFICO:

Que el trabajo de investigación: **“SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS DE AGUA SANTA”**, presentado por la Srta. Vanessa Catalina Herrera Barros, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato; reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador que el H. Consejo de Pregrado designe.

Ambato, Octubre 28 2011

EL TUTOR

.....
Ing. Carlos Salcedo

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: **“SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS DE AGUA SANTA.”** Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Octubre 28 2011

.....

Vanessa Catalina Herrera Barros

C.I. 180402854-4

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Juan Pablo Pallo e Ing. Mario García, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado **“SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS DE AGUA SANTA”**, presentado por la señorita Vanessa Catalina Herrera Barros de acuerdo al Art. 18 del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

.....
Ing. Oswaldo Paredes
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
Ing. Juan Pablo Pallo
DOCENTE CALIFICADOR

.....
Ing. Mario García
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a:

Mis padres

por su gran esfuerzo, para darnos siempre lo mejor,

gracias a ellos pude culminar esta etapa,

porque me han dado la mejor herencia,

una profesión

A ti Mamá Celinda,

te llevo en el corazón, ejemplo de mujer,

de gran fortaleza ante la vida,

gracias por tus años junto a nosotros.

Estas viva en mi corazón.

Vanne Herrera

AGRADECIMIENTO

*A mi familia, por el ánimo y fuerza que me brindan,
a mi mamá Sara por toda su paciencia, amor incondicional y por su gran corazón.*

*A mi papá Oswaldo por su ejemplo de superación, porque para él
no hay imposibles en esta vida.*

A mi hermana Karina, por ser amiga y hermana, por todo su apoyo.

*A mi hermano Enrique gracias
por toda la presión y preocupación por mí,*

*A mi hermano Edwar
que a pesar de la distancia siempre está presente.
a través de la tecnología y lo más importante,
por medio de los lazos de amor que unen a mi familia.*

A mi profesor Carlos Salcedo, gracias por toda su paciencia.

Gracias

Vanne Herrera

ÍNDICE GENERAL

Portada	i
Aprobación del Tutor	ii
Autoría del Trabajo de Grado	iii
Aprobación de la Comisión Calificadora	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice General	vii
Índice de Figuras	x
Índice de Tablas	xii
Resumen Ejecutivo	xiv
Introducción	1

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.	Tema	2
1.2.	Planteamiento del problema	2
1.2.1.	Contextualización	2
1.2.2.	Análisis Crítico	3
1.2.3.	Prognosis	4
1.3.	Formulación del Problema	4
1.3.1.	Preguntas directrices	4
1.3.2.	Delimitación del objeto de investigación	5
1.4.	Justificación	5
1.5.	Objetivos de la investigación	6
1.5.1.	Objetivo General	6
1.5.2.	Objetivos Específicos	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes Investigativos	7
2.2.	Fundamentación Legal	7
2.3.	Categorías Fundamentales	11
2.3.1.	Gráfico de inclusión de variables	11
2.3.2.	Energía	11

2.3.2.1.	Tipos de fuentes	13
2.3.2.1.1.	El Sol	14
2.3.2.1.1.a.	Radiación solar	15
2.3.2.1.1.b.	Medida e instrumentos de radiación.	19
2.3.2.1.1.c.	Cálculo de irradiancia	20
2.3.2.1.1.d.	Cálculo de sombras	24
2.3.2.1.1.e.	Irradiación en el plano horizontal	25
2.3.2.1.1.f.	Irradiación en planos inclinados	26
2.3.2.2.	Energías Renovables	28
2.3.2.3.	Sistemas Híbridos	33
2.3.2.3.1.	Sistema Solar Fotovoltaico con Energía Eólica	34
2.3.3.	Electrostática	35
2.3.3.1.	Electricidad	36
2.3.4.	Electrodinámica	38
2.3.4.1.	Corriente Eléctrica	38
2.3.4.1.1.	Magnitudes Eléctricas	39
2.3.4.1.2.	Generación de Energía Eléctrica	42
2.4.	Hipótesis	54
2.5.	Variables	54
2.5.1.	Variable Independiente	54
2.5.2.	Variable Dependiente	54

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.	Enfoque	55
3.2.	Modalidad básica de la investigación	55
3.2.1.	Investigación de Campo	55
3.2.2.	Investigación documentada bibliográfica	55
3.2.3.	Proyecto de intervención social	55
3.2.4.	Proyecto factible	55
3.3.	Nivel o tipo de investigación	56
3.4.	Población y muestra	56
3.5.	Operacionalización de variables	57
3.6.	Recolección de Información	59
3.7.	Procesamiento y Análisis de la Información	59

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Análisis de los resultados	60
4.1.1.	Análisis de las entrevistas	60
4.1.2.	Verificación de la hipótesis	63
4.1.3.	Requerimiento energético	65
4.1.4.	Ubicación Geográfica del Proyecto	67
4.1.5.	Estudio solar de la zona	68
4.1.6.	Estudio eólico de la zona	72

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	75
5.2.	Recomendaciones	76

CAPITULO VI PROPUESTA

6.1.	Datos Informativos	77
6.2.	Antecedentes de la Propuesta	77
6.3.	Justificación	78
6.4.	Objetivos	78
6.4.1.	Objetivo General	78
6.4.2.	Objetivos Específicos	78
6.5.	Análisis de Factibilidad	79
6.5.1.	Factibilidad Técnica	79
6.5.2.	Factibilidad Operativa	79
6.5.3.	Factibilidad Económica	79
6.6.	Fundamentación	80
6.6.1.	Datos	80
6.6.1.1.	Carga instalada y energía necesaria	80
6.6.1.2.	Días de autonomía	80
6.6.1.3.	Tensión Nominal de la Instalación	80
6.6.1.4.	Datos de radiación solar	80
6.6.1.5.	Datos de velocidad del viento	85
6.6.2.	Dimensionamiento del sistema	85

6.6.2.1.	Capacidad del sistema	85
6.6.2.2.	Subsistema de acumulación	86
6.6.2.3.	Subsistema eólico	88
6.6.2.4.	Subsistema fotovoltaico	91
6.6.2.5.	Subsistema de inversión	97
6.6.3.	Ubicación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico	99
6.6.4.	Diagramas de conexión de equipos	102
6.7.	Conclusiones	107
6.8.	Recomendaciones	107
6.9.	Bibliografía	108

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Inclusión de Variable Independiente	11
Figura 2.2	Inclusión de Variable Dependiente	11
Figura 2.3.	Utilización de las diferentes fuentes energéticas	12
Figura 2.4.	Tipos de Energía	13
Figura 2.5.	Fuentes de Energía	14
Figura 2.6.	Características físicas del sol	15
Figura 2.7.	Radiación Solar	15
Figura 2.8.	Componentes de la radiación solar	19
Figura 2.9.	Movimiento de rotación de la tierra alrededor del sol	20
Figura 2.10.	Coordenadas horarias	21
Figura 2.11.	Coordenadas horizontales	23
Figura 2.12.	Distancia mínima entre captadores	24
Figura 2.13.	Energía geotérmica	29
Figura 2.14.	Energía Solar Fotovoltaica	30
Figura 2.15.	Energía Eólica	31
Figura 2.16.	Aerogenerador	31
Figura 2.17.	Energía Hidráulica	33
Figura 2.18.	Sistema Híbrido	33
Figura 2.19.	Esquema de un sistema híbrido eólico-solar	35
Figura 2.20.	Fenómeno eléctrico	36
Figura 2.21.	Clases de electricidad	37
Figura 2.22.	Movimiento de electrones	38

Figura 2.23.	Efecto Joule	41
Figura 2.24	Esquema de una central eléctrica	42
Figura 2.25.	Central Hidroeléctrica	43
Figura 2.26.	Central Térmica	44
Figura 2.27.	Central Nuclear	45
Figura 2.28.	Central Eólica	46
Figura 2.29.	Partes de un aerogenerador	47
Figura 2.30.	Ejemplo de aerogenerador de alta potencia	49
Figura 2.31.	Aerogenerador vertical	50
Figura 2.32.	Central Solar Térmica	51
Figura 2.33.	Central Fotovoltaica	51
Figura 2.34.	Efecto Fotovoltaico	52
Figura 2.35.	Módulo Solar	53
Figura 2.36.	Central de Biomasa	53
Figura 4.1.	Gráfico de retraso de labores	61
Figura 4.2.	Pérdida de información	62
Figura 4.3.	Molestias al usuario	63
Figura 4.4	Curva de Ji cuadrado para comprobación de hipótesis	64
Figura 4.5.	Ubicación Geográfica de Baños de Agua Santa	67
Figura 4.6.	Grafica de la insolación global	69
Figura 4.7.	Grafica de heliofanía desde el año 2004 al 2008 de la estación Querochaca expresado en horas/meses	70
Figura 4.8.	Grafica de heliofanía desde el año 2004 al 2008 de la estación Querochaca expresado en horas/día	71
Figura 4.9.	Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa de dirección de viento	73
Figura 4.10.	Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa velocidad máxima del viento	73
Figura 4.11.	Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa Velocidad media del viento	73
Figura 4.12	Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa velocidad mínima del viento	74
Figura 6.1.	Dimensiones y peso de la batería SUNLIGH 2V OPzS 2250	87
Figura 6.2.	Gráfica de la potencia del aerogenerador EXMORK 1kW	90
Figura 6.3.	Controlador de carga EXMORK	91
Figura 6.4	Regulador Outback FM 80 MPPT	97
Figura 6.5.	Inversor MK modelo MK-4000P	99
Figura 6.6.	Fotografía de las instalaciones del Departamento de	99

	Turismo en remodelación	
Figura 6.7.	Fotografía de porción de terreno detrás del Departamento de Turismo	100
Figura 6.8.	Modelo de cuarto de equipos	100
Figura 6.9.	Diagrama eléctrico unifilar de montaje	102
Figura 6.10.	Diagrama de conexión de los paneles fotovoltaicos	103
Figura 6.11.	Diagrama de conexión de las baterías	104
Figura 6.12.	Diagrama de conexión de los reguladores al inversor	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Albedo de distintas superficies	17
Tabla 3.1.	Variable independiente	57
Tabla 3.2.	Variable dependiente	57
Tabla 4.1.	Retraso de labores	61
Tabla 4.2.	Pérdida de información	62
Tabla 4.3.	Molestias a usuarios	63
Tabla 4.4.	Trámites realizados conectados a la red convencional	64
Tabla 4.5.	Trámites realizados conectados al sistema híbrido	64
Tabla 4.6.	Unificación de resultados	64
Tabla 4.7.	Cálculo de J_i cuadrado	64
Tabla 4.8.	Valores de J_i tabulado y sin tabular	65
Tabla 4.9.	Requerimiento diario de energía eléctrica (CA)	66
Tabla 4.10.	Datos Geográficos de Baños de Agua Santa	67
Tabla 4.11.	Población de la ciudad de Baños de Agua Santa	68
Tabla 4.12.	Insolación global para la zona de Baños de Agua Santa	68
Tabla 4.13.	Estadística mensual y anual de heliofanía de la estación Querochaca	70
Tabla 4.14.	Estadística mensual y anual – estación Querochaca expresada en horas/día	71
Tabla 6.1.	Recursos materiales	79
Tabla 6.2.	Cálculo de R_B para el mes de enero	83
Tabla 6.3.	Resultados obtenidos del cálculo de insolación sobre un plano inclinado	84
Tabla 6.4.	Características técnicas de la batería SUNLIGH 2V OPzS 2250	87
Tabla 6.5.	Dimensiones y peso de la batería SUNLIGH 2V OPzS 2250	87
Tabla 6.6.	Aerogeneradores marca EXMORK	89

Tabla 6.7.	Características técnicas del aerogenerador EXMORK 1kW	89
Tabla 6.8.	Cálculo de I _{max} máxima al día que debe suministrar el campo de paneles	92
Tabla 6.9.	Paneles fotovoltaicos marca Kyocera	93
Tabla 6.10.	Paneles fotovoltaicos marca EXMORK	93
Tabla 6.11.	Paneles fotovoltaicos marca SUNTECH	94
Tabla 6.12.	Paneles fotovoltaicos marca SANYO	94
Tabla 6.13.	Características eléctricas típicas módulo SUNTECH STP195S-24/Ad+	95
Tabla 6.14.	Características mecánicas del módulo SUNTECH STP195S-24/Ad+	95
Tabla 6.15.	Características técnicas regulador Outback FM 80MPPT	97
Tabla 6.16.	Características técnicas inversor MK modelo MK-4000P	98
Tabla 6.17.	Presupuesto de equipos del sistema	101
Tabla 6.18.	Presupuesto total	101
Tabla 6.19.	Recurso Humano	101

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como tema: Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, la misma que está estructurado por seis capítulos.

El primer capítulo contiene el Planteamiento del Problema que enfoca la necesidad de tener un sistema de generación de energía confiable y menos contaminante, que garantice el continuo suministro de energía eléctrica.

El capítulo II se refiere al Marco Teórico en el cual consta la fundamentación basada en la investigación documental bibliográfica.

La hipótesis planteada fue: “El diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, proporcionará la alternativa de no depender totalmente de los sistemas tradicionales de generación de energía eléctrica, además fomentaría el uso de energías renovables limpias.”

De aquí se desprenden las variables dependientes e independientes, con su respectiva operacionalización.

Los capítulos III y IV comprenden la metodología y el análisis de resultados; para lograr los objetivos propuestos se realizó la investigación descriptiva, con el fin de recolectar la información a través de la observación de las instalaciones y de los diferentes equipos eléctricos. Los datos obtenidos sirvieron para el análisis e interpretación de resultados.

El capítulo V se encuentra las conclusiones y recomendaciones, las cuales dan una orientación directa al planteamiento de la propuesta.

El capítulo VI contiene la propuesta, que consiste en el Diseño de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.

INTRODUCCIÓN

La difícil situación energética que atravesó país, es uno de los factores más significativos para la búsqueda de alternativas en cuanto a producción de energía eléctrica se refiere.

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 producidos por los métodos tradicionales de producción de energía.

El área geográfica en la cual se sitúa la ciudad de Baños de Agua Santa, posee características climáticas óptimas, debido a la irradiación solar que recibe, así como los vientos existentes por el encañonado del Río Pastaza, lo cual nos permitirá el aprovechamiento de los recursos eólicos y solares.

La utilización de estos recursos en el diseño de un sistema híbrido optimizará las mejores condiciones del viento y el sol, complementándose entre sí. Los días nublados, no permiten el aprovechamiento adecuado de la 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 tecnologías limpias renovables, está orientado a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá al Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa no depender totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen energía al país.

Esperando por medio de la investigación cumplir los objetivos propuestos, también despertar el interés de la comunidad universitaria respecto a esta área del conocimiento.

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.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.Tema: Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Contextualización

Las principales centrales eléctricas del país son instalaciones que emplean en determinada cantidad una fuente de energía primaria limitada en el planeta o que su utilización causa un impacto ambiental importante en sus alrededores.

Las centrales termoeléctricas, liberan dióxido de carbono CO₂ (dióxido de carbono) ya que emplean la combustión del carbón, petróleo (aceite) o gas natural para generar energía eléctrica. Son consideradas económicas y rentables, por lo que su utilización está muy extendida en el mundo, pero tienen un elevado impacto medioambiental.

Las centrales hidroeléctricas en un principio no pueden parecer muy perjudiciales, pero su instalación en la naturaleza, obstaculizando el flujo de un río, aunque regulando el caudal de este, puede hacer cambiar el ecosistema de su alrededor, y puede ocasionar la muerte de varias especies que vivan en él.

El daño al medio ambiente producido por los sistemas tradicionales y el uso de los recursos no renovables es un problema que va en aumento, por tal motivo es necesaria la búsqueda de alternativas menos perjudiciales y que satisfagan las necesidades de consumo.

La última crisis energética de nuestro país en el año 2009, nos condujo a racionamientos energéticos como medida de ahorro, los cuales causaron pérdidas

estimadas en 1000 millones de dólares a nivel nacional, según María Gloria Alarcón, Presidenta del Comité Empresarial Ecuatoriano de esa temporada, pero las pérdidas de pequeños empresarios y de los ciudadanos que sufrieron tropiezos en sus trabajos y actividades cotidianas, fueron difíciles de cuantificar.

Muchos de los sectores productivos de nuestro país no cuentan con plantas auxiliares, que les permita cumplir su trabajo a totalidad. Este es el caso de varios municipios de ciudades pequeñas, pero que sus labores tienen igual importancia que las de entidades de mayor tamaño.

El Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa como varias entidades del país, posee el suministro eléctrico de la red convencional, sin embargo los apagones que causaron la crisis retrasaron su trabajo, y se requiere un sistema confiable, menos costoso y que posea conciencia ecológica.

1.2.2. Análisis crítico

El crecimiento de nuestra población y por ende de las ciudades, está causando un incremento en el consumo de energía eléctrica del país, el cual ha variado de 4.800 GWh hora facturados en el año 1990 a 12. 200GWh en el 2008.

La falta de previsión, incumplimiento de obras planificadas de nuestros gobernantes y el desperdicio de energía por causa de la inconsciencia humana, llevó al país a un déficit energético a finales del año 2009 e inicios del 2010, afectando de esa manera la economía del mismo.

Las inestables condiciones climáticas en la zona de la planta hidroeléctrica de Paute, la más grande del país, provocó un severo estiaje. Según el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en el Austro ecuatoriano no llovía constantemente desde hace varios meses, además se recalcó que este periodo concluiría más o menos en el mes de Marzo del 2010.

El problema de la contaminación y la deforestación existente en las laderas de la cuenca de los ríos que abastecen el embalse, no solo hace que llueva menos donde normalmente debe llover, sino que erosiona la tierra y hace que miles de toneladas de sedimentos se depositen en los cauces de los ríos y eventualmente se almacenen en la presa de Paute, contribuyendo así, a la menor eficiencia de la central.

Es decir, nuestro país le apuesta a las hidroeléctricas para conseguir su energía, sin embargo poco o nada se hace para que los bosques que son los que proveen de lluvias y agua los ríos no sean incendiados, contaminados o convertidos en pastizales.

Debemos explotar nuestros recursos renovables para la generación de energía eléctrica con procedimientos de producción menos contaminantes para nuestro medio ambiente.

1.2.3. Prognosis

Si el alto consumo de energía eléctrica, y la falta de confiabilidad por los sistemas convencionales de suministro de energía en el Departamento de Turismo del Ilustre municipio de Baños de Agua Santa por causa de los apagones que se presentaron en los últimos tiempos, no se soluciona, el Departamento no podría brindar los servicios turísticos de una manera eficiente a propios y extranjeros, lo cual repercutiría en la afluencia de turistas en el cantón. Además se perdería la oportunidad de crecer tecnológicamente, aprovechando diferentes recursos renovables y protegiendo nuestro patrimonio natural.

1.3. Formulación del Problema

¿Qué incidencia tendría el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, de forma que la entidad tenga cierta independencia en cuanto al suministro de energía eléctrica, y no se vea afectada por apagones o fallas en la red convencional, además se cree una conciencia de protección ambiental hacia la comunidad en general, aprovechando los recursos renovables que la zona nos proporciona?

1.3.1. Interrogantes de la investigación

- ¿Cuáles son las características de las energías limpias renovables eólica y fotovoltaica?
- ¿Qué parámetros físicos son necesarios para el diseño del sistema híbrido eólico-fotovoltaico?
- ¿Cómo determinar el potencial eólico y solar de la zona?

- ¿Cuáles son los requerimientos energéticos del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños?
- ¿Cuáles son las características, costos e instalación de los diferentes equipos necesarios para el diseño del sistema?

1.3.2. Delimitación del objeto de investigación

Campo: Energía Eléctrica

Área: Energías Renovables

Aspecto: Producción de Energía Eléctrica aprovechando los recursos renovables

- **Delimitación espacial**

La investigación se desarrolló para el nuevo espacio físico del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, ubicado en las calles Montalvo y 16 de Diciembre, del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua.

- **Delimitación Temporal**

La investigación o trabajo de grado se desarrolló durante el periodo 2010 - 2011.

1.4. Justificación

El Diseño de un Sistema Híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, brinda la posibilidad de utilizar energías alternativas además de proporcionar la energía requerida, permite un ahorro monetario y aporta con el medio ambiente.

El área geográfica en la cual se encuentra la ciudad de Baños de Agua Santa, proporciona los recursos solares y eólicos necesarios para la implementación de sistemas que permitan su aprovechamiento en este caso un sistema híbrido.

La ventaja de diseñar un sistema híbrido eólico-fotovoltaico es que nos permite garantizar la continuidad del servicio eléctrico, ya que posee dos fuentes de energía renovables.

El presente estudio despertará el interés de varias entidades, y fomentará la el estudio e implementación de tecnologías limpias en sus edificaciones e incluso

solucionar el problema de falta de energía eléctrica en lugares inaccesibles para la red eléctrica nacional.

La realización de este proyecto permitió la recopilación de información necesaria para realizar el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento dependiendo de las características climáticas y consumo de energía del mismo, con lo cual podemos determinar los costos de equipos e instalación.

El avance tecnológico relacionado a producción eléctrica es enorme, el estudio de las energías limpias renovables se vienen dando e implementando ya en varios países, así mismo se requiere de recursos económicos, que costeen los gastos de implementación de estos sistemas, pero debemos tomar en cuenta que a largo plazo una inversión de este tipo puede representar un ahorro significativo en las planillas que paga mensualmente un municipio, por el consumo de energía eléctrica, y así mismo podemos contribuir con el medio ambiente ya que con estas energías la contaminación es menor.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar y definir los parámetros físicos necesarios para el diseño del sistema híbrido eólico-fotovoltaico.
- Analizar los requerimientos energéticos del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños.
- Realizar un estudio de las características, costos e instalación de los diferentes equipos necesarios para el diseño del sistema.
- Diseñar el sistema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

En la biblioteca de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, de nuestra Universidad no se registra trabajos relacionados con este tema. Sin embargo en la Facultad fue implementado un sistema fotovoltaico.

2.2. Fundamentación Legal

En estos últimos años, Ecuador ha tenido, importantes cambios a nivel legislativo y regulatorio, como fue, en 2008, la aprobación de una nueva Constitución, que posee varios artículos que sirven de apoyo a la investigación, los cuales son:

TÍTULO II

DERECHOS

Capítulo segundo

Derechos del buen vivir

Sección Segunda

Ambiente sano

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Capítulo séptimo

Derechos de la naturaleza

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

TÍTULO VII

RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR

Capítulo segundo

Biodiversidad y recursos naturales

Sección primera

Naturaleza y ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Sección séptima

Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

También hay que destacar, la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en 2007; ministerio que tiene su origen en la Subsecretaría de Electricidad del antiguo Ministerio de Energía y Minas. Con la actual estructura administrativa, queda patente la apuesta del gobierno ecuatoriano en el sector de las energías renovables.

Hasta el momento, sólo en el sector eléctrico existen normativas relativas al uso de energías renovables:

- **Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE)**

La Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE), data del año 1996 aunque ha tenido modificaciones posteriores, contiene las normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento. En el capítulo IX de la Ley se hace una mención específica sobre el fomento al desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales. Se establece este tipo de recurso energético como prioritario a la hora de asignar los fondos del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) a proyectos de electrificación rural.

Además, es el Consejo Nacional de Electrificación quien dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad.

- **Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico**

Establece las normas y los procedimientos generales para la aplicación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, en la actividad de generación y en la prestación de los servicios públicos de transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, necesarios para satisfacer la demanda nacional, mediante el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales.

- **Regulación N° CONELEC – 009/06**

Vigente desde 2007, establece los precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales.

- **Electrificación Rural**

La normativa relativa a la electrificación rural vienen marcada fundamentalmente por la LRSE, en la que se especifica que el Estado promoverá los proyectos de desarrollo de electrificación rural y urbano - marginal, y las obras de electrificación destinadas a la provisión de agua potable.

Además se establece el Fondo de Electrificación Rural y Urbano - Marginal (FERUM). Las normas generales que deben observarse para la planificación y aprobación de proyectos y para la ejecución de obras que se financien con los recursos económicos del FERUM están definidas en el “Reglamento para la Administración del Fondo de Electrificación Rural-Urbano Marginal”.

- **Marco Regulatorio del Sector**

Ley de Régimen del Sector Eléctrico (1996 modificada en 2006) y su Reglamento, que regula el sector eléctrico y las funciones de las instituciones que regulan este sector. A continuación se destacan las características más importantes que afectan al uso de recursos no convencionales para la producción de electricidad:

- Exime de aranceles a la importación de equipos y materiales, que no se produzcan en Ecuador, y reducción de impuestos durante 5 años a las empresas que inviertan en sistemas que utilicen energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras, previo informe favorable del CONELEC.

Aunque en esta ley se establece al estado como responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, contempla la inversión privada en generación, transmisión y distribución.

- Ninguna persona jurídica o particular podrá controlar más del 25% del total de la potencia instalada en Ecuador.
- Autorización de centrales de generación para autoconsumo o de potencia igual o menor a 50 MW requiere únicamente un permiso del CONELEC.

2.3. Categorías fundamentales

2.3.1. Gráfico de inclusión de Variables

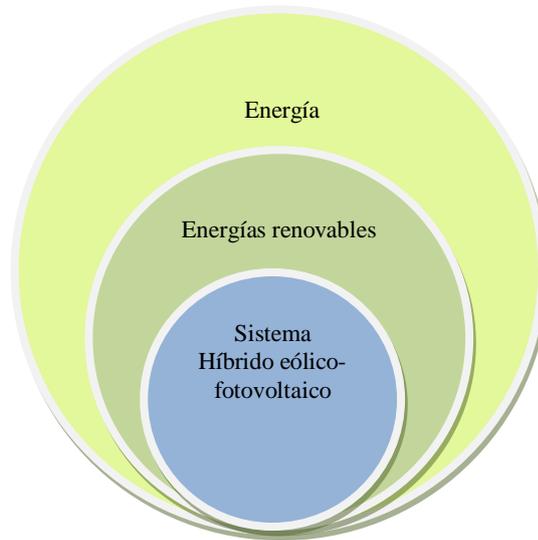


Figura 2.1: Inclusión de Variable Independiente
Realizado por: Vanessa Herrera

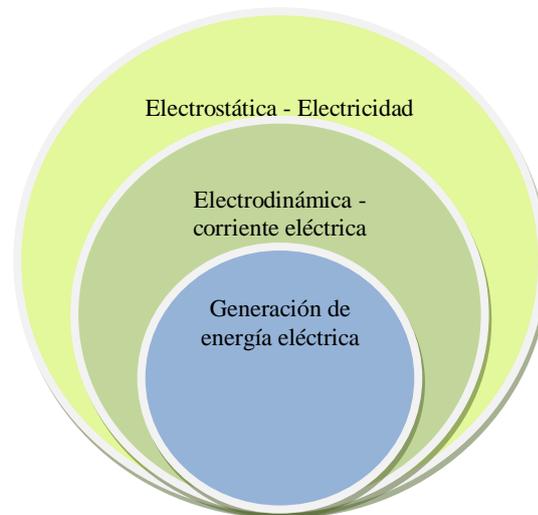


Figura 2.2: Inclusión de Variable Dependiente
Realizado por: Vanessa Herrera

2.3.2. Energía

✓ Historia¹

La necesidad de energía es una constatación desde el comienzo de la vida.

Un organismo para crecer y reproducirse necesita energía. Los primeros

¹ <http://www.jmarcano.com/educa/curso/energia.html>

organismos obtenían la energía directamente del sol, eran organismos fotosintéticos, y además la mayoría eran capaces de fijar el CO₂ eran organismos autótrofos. Posteriormente surgieron los organismos heterótrofos, que se alimentaban de sustancia orgánica sintetizada por los autótrofos.

Como vemos en los seres vivos toda la energía procede directamente o indirectamente del sol, y actualmente vemos que sigue siendo así excepto en algunos casos. El ser humano en sus orígenes utilizaba la energía procedente de su propia fuerza procedente de los alimentos, ya que somos organismos heterótrofos. Y esta fue la única fuente de energía durante mucho tiempo.

Gracias al uso y conocimiento de las formas de energía ha sido capaz de cubrir necesidades básicas: luz, calor, movimiento fuerza, y alcanzar mayores cotas de confort para tener una vida más cómoda y saludable. En la figura 2.3 podemos ver la utilización de las diferentes fuentes energéticas a través del tiempo.

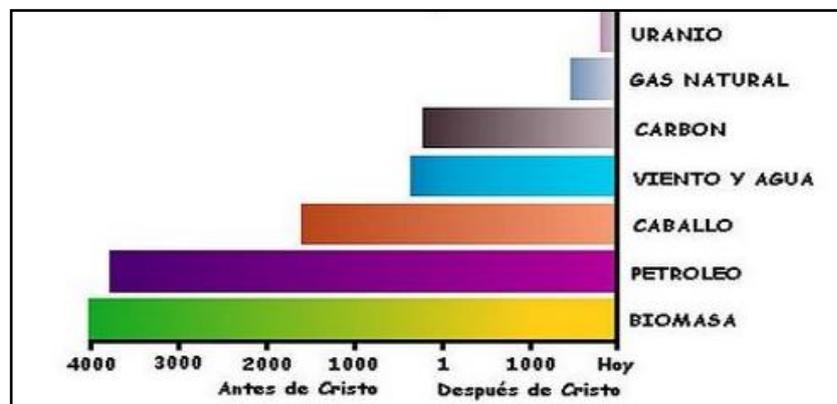


Figura 2.3: Utilización de las diferentes fuentes energéticas²

✓ Definición³

El movimiento de los constituyentes de la materia, los cambios químicos y físicos y la formación de nuevas sustancias se originan gracias a cambios en la energía del sistema; conceptualmente, la energía es la capacidad para realizar un trabajo o transferir calor; la energía a su vez se presenta como

² <http://www.todomonografias.com/tecnologia/carbon-parte-2/>

³ <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Materiayenergia.htm>

energía calórica, energía mecánica, energía química, energía eléctrica y energía radiante; estos tipos de energía pueden ser además potencial o cinética.

La energía *potencial* es la que posee una sustancia debido a su posición espacial o composición química y la energía *cinética* es la que posee una sustancia debido a su movimiento.

La figura 2.4 muestra los tipos de energía con sus respectivas definiciones.

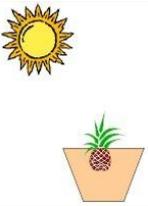
<p>Energía Mecánica: El movimiento de las hélices del molino de viento es transferido a un sistema mecánico de piñones, para producir energía eléctrica o lograr la ascensión de agua de un pozo subterráneo</p>	
	<p>Energía Química: La combustión de hidrocarburos como el petróleo, liberan gran cantidad de energía.</p>
<p>Energía Eléctrica: El movimiento de electrones libres, produce la energía eléctrica, usada para hacer funcionar electrodomésticos, trenes, y artefactos industriales.</p>	
	<p>Energía Calórica o radiante: El calor o la luz emitida desde el sol son aprovechadas por las plantas para producir energía química en forma de carbohidratos.</p>

Figura 2.4: Tipos de Energía

2.3.2.1. TIPOS DE FUENTES⁴

La energía es una magnitud física que asociamos con la capacidad que tiene los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, generar calor, etc.

Para obtener energía se tendrá que partir de un cuerpo que la tenga y pueda experimentar una transformación. A estos cuerpos se les llama fuentes de energía.

⁴ <http://www.mitecnologico.com/Main/GeneracionTransformacionUsoYTiposDeEnergia>

De una forma más amplia se llama fuente de energía a todo fenómeno natural, artificial o yacimiento que puede suministrarnos energía. La figura 2.5 muestra las diversas fuentes de energía existentes en nuestro planeta.

Las cantidades disponibles de energía de estas fuentes, es lo que se conoce como recurso energético. La Tierra posee cantidades enormes de estos recursos, sin embargo uno de los problemas que tiene planteada la humanidad es la obtención y transformación de los mismos.

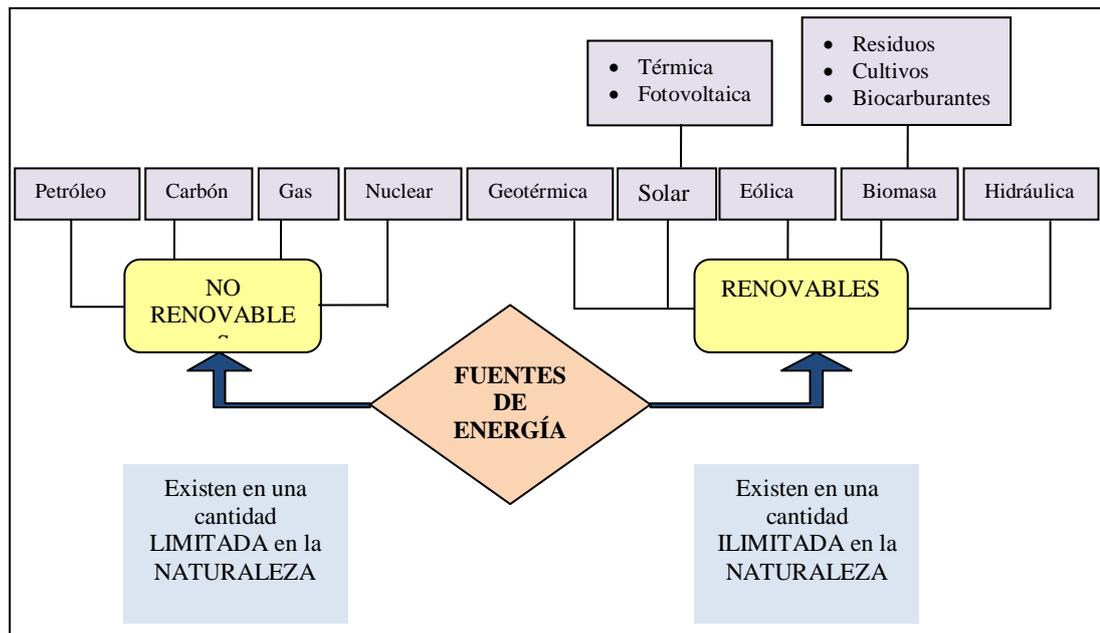


Figura 2.5: Fuentes de Energía⁵

2.3.2.1.1. EL SOL⁶

El sol es una fuente inagotable de energía, debido a la fusión de átomos de deuterio que producen átomos de helio. 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 3×10^5 km/s; la otra parte irradia el exterior de la atmósfera con una potencia de 1.73×10^{14} kW. El sol, visto desde la tierra, rota alrededor de su eje cada cuatro semanas y tiene una

⁵ <http://www.juanjoromero.es/blog/2010/12/u-4-la-actividad-industrial/>

⁶ IBAÑEZ PLANA, M – ROSELL POLO, J.R- ROSELL URRUTIA, J.I (2004). *Tecnología Solar*. Mundi-Prensa. Madrid. España.

edad estimada de 5 mil millones de años; tiene un diámetro de 1.39×10^9 m y está situado a 1.5×10^{11} 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 2.6.

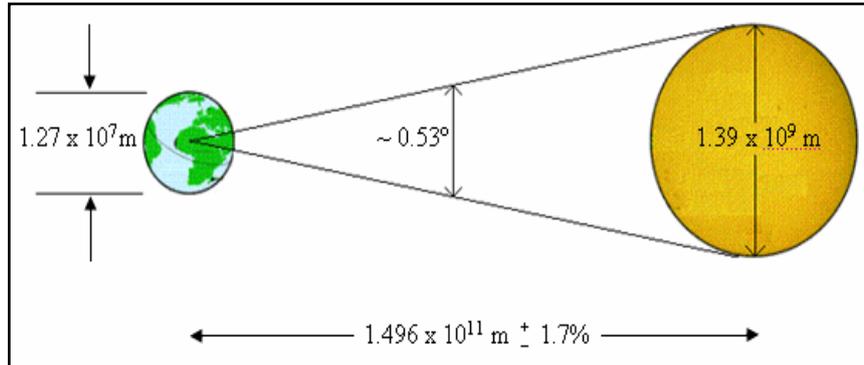


Figura 2.6: Características físicas del sol

2.3.2.1.1.a. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta).

En el sol existe una fusión nuclear, donde el hidrogeno se convierte en helio a una temperatura de 5000 a 5800 grados centígrados en la superficie solar, este calor al llegar a la Tierra lo hace con una energía de aproximadamente 1365 W/m^2 para ser aprovechada.

La energía solar al pasar las diferentes capas de la atmosfera, se ve expuesta a diferentes fenómenos (absorción, reflexión y refracción); llegando a la superficie terrestre en forma efectiva entre 100 y 400 W/m^2 como muestra la figura 2.7.

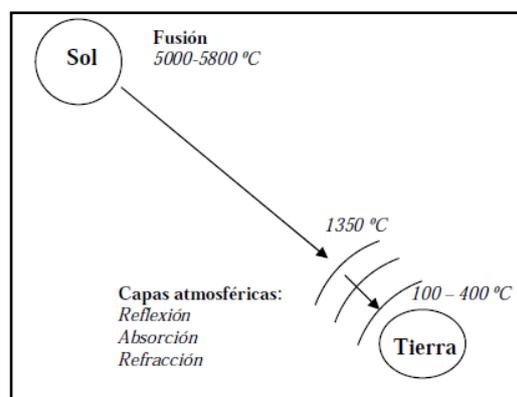


Figura 2.7. Radiación Solar⁷

⁷ <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8843/11/T10115CAP2.pdf>

La energía solar que alcanza la superficie de la tierra es muy irregular variando no tan solo su insolación máxima diaria sino 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.

- **Heliofanía.**⁸

La heliofanía representa la duración del brillo solar u horas de sol, y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Por lo tanto, si bien hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de la misma no es suficiente para ser registrada. A pesar de lo expresado, la duración del brillo solar está muy relacionada con la radiación solar global incidente.

- **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 del Espacio) el valor de la constante solar es de $1.3535 W/m^2 (\pm 1.6\%)$.

- **Componentes de la radiación.**

Los distintos constituyentes de la atmósfera tales como: gases, nubes y partículas sólidas en suspensión atenúan la radiación solar debido a distintos procesos de absorción, reflexión y refracción que sufre ésta al momento que atraviesa la masa de aire.

- **Componentes de la radiación solar**

⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Heliofanía>

- ✓ *Radiación estratosférica* fuera de la atmósfera.
- ✓ *Radiación directa*: 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 difusa o dispersa*: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.
- ✓ *Radiación reflejada*: es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. Una superficie inclinada puede recibir, además, 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 2.1. 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	ago-14
Bosque coníferas	may-15
Bosque tropical	15-20
Cultivos verdes	15-25
Desierto	25-30
Agua	05-oct
Nieve	80-95
Hielo	50-70
Nube	36-90
La Tierra	30

Tabla 2.1: Albedo de distintas superficies⁹

⁹ http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_29/112/112_371_382.pdf

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 como muestra la figura 2.8. Si llamamos I_D a la radiación directa, I_S a la dispersa y R a la reflejada, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$I_T = I_D + I_S + R$$

Fórmula 1: Radiación total

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 sólo 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.

Un parámetro importante a considerarse es el índice de claridad (KT) que es el porcentaje de irradiación global en superficie

respecto a la que alcanza la cima de la atmósfera en el plano horizontal.

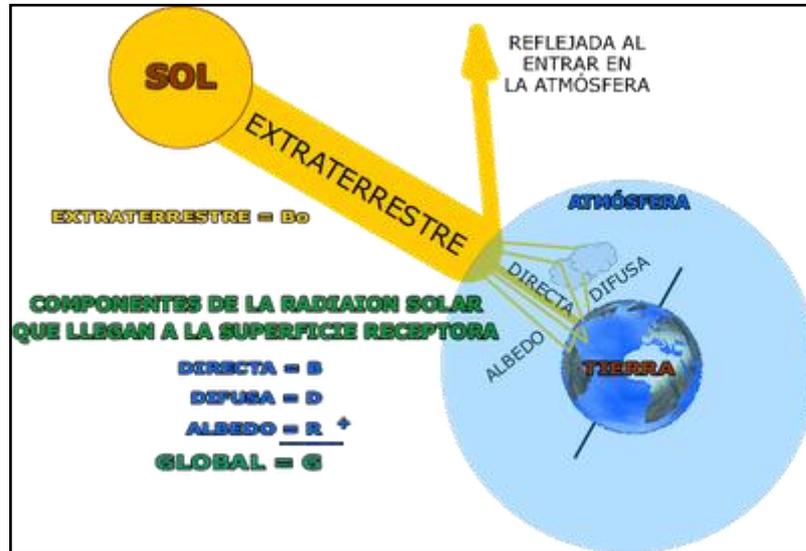


Figura 2.8: Componentes de la radiación solar¹⁰

2.3.2.1.1.b. Medida e instrumentos de radiación.

La irradiación (H_s) corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un intervalo de tiempo determinado. Esta magnitud por su importancia es la de mayor interés al momento de dimensionar los SAF. La medida de esta magnitud se lo puede realizar a través de redes de estaciones meteorológicas, que existen en cada país; o también mediante varias ecuaciones matemáticas que permiten el cálculo de esta importante magnitud. También existen atlas de radiación y bases de datos meteorológicos, que disponen de larga serie de datos de irradiación; sin embargo estas fuentes de información son muy escasas, subdesarrollados.

Existen dos tipos de dispositivos básicos para la medida de la radiación solar, el *piranómetro* y el *pirheliómetro*. El primero mide la radiación global, es decir, recibe la radiación en todas las direcciones del hemisferio. El segundo mide la radiación difusa empleando una banda oscura al instrumento para no permitir la entrada de la radiación directa.

Para la medición de heliofanía se utilizan Heliofanógrafos o Heliógrafos. El heliógrafo más utilizado es del tipo Campell - Stokes que concentra los rayos de luz incidentes; estos atraviesan su estructura produciéndose una quemadura en la

¹⁰ <http://profelectrico.blogspot.com/2008/11/tipos-de-radiacin.html>

faja heliográfica formando un semicírculo que se ubica en un extremo del equipo, inscribiéndose en ella la información que indica la duración de la insolación con una periodicidad diaria. La ventaja que ofrece este equipo es que no requiere de calibraciones periódicas ni tampoco de alimentación eléctrica para su funcionamiento.

2.3.2.1.1.c. Cálculo de irradiancia

Existe otro factor, aparte de las condiciones atmosféricas, que determina la radiación solar sobre un captador, por ende su irradiancia; es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y del año.

La tierra describe un movimiento de traslación alrededor del sol que sigue una trayectoria en forma de elipse. La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama elíptica. En este movimiento el eje de rotación terrestre forma un ángulo de 23.45° , conocido como declinación, con la perpendicular al plano de la elíptica y varía entre -23.45° , en invierno, a 23.45° en verano como muestra la figura 2.9.

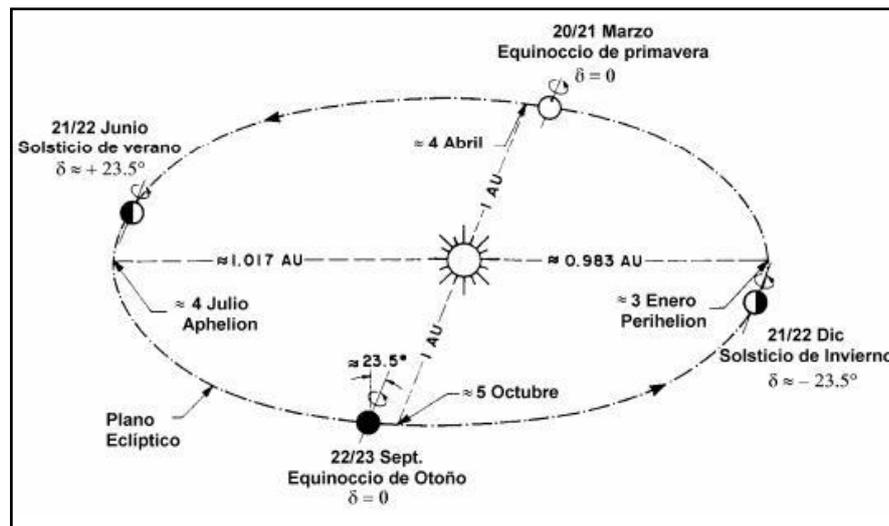


Figura 2.9: Movimiento de la tierra alrededor del sol¹¹

La posición del sol es fundamental debido a que determina la irradiancia solar en la superficie terrestre, por ende, la determinación de este factor es de vital importancia para el cálculo posterior de radiación global. Para determinar la

¹¹ <http://www.monografias.com/trabajos67/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar2.shtml>

posición de sol se utiliza dos sistemas de coordenadas centradas en el observador: Coordenadas horarias y coordenadas horizontales.

✓ **Coordenadas horarias.**

Las coordenadas horarias son:

1. La **declinación solar** (δ_s).- Posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del Ecuador terrestre.
2. El **ángulo horario solar** (ω_s).- Desplazamiento angular del sol sobre el plano de la trayectoria solar. El origen del ángulo horario es el mediodía solar y cada hora equivale a 15° .

Se denomina zenit, observado en la figura 2.10, a la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es decir, si se imagina una recta que pasa por el centro de la Tierra y por nuestra ubicación en su superficie, el zenit se encuentra sobre esa recta, por encima de nuestras cabezas. Es el punto más alto del cielo. En cambio el punto diametralmente opuesto de la esfera celeste al zenit se denomina nadir.

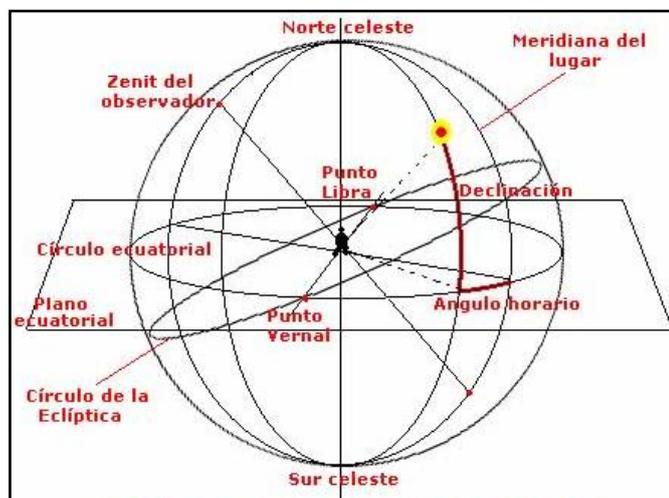


Figura 2.10: Coordenadas horarias¹²

La determinación de las coordenadas horarias es muy fácil hacerlo debido a que la declinación depende, tan solo, del día del año y del ángulo horario de la hora. Para obtener estos dos valores se debe, primeramente, calcular la hora solar a partir de:

$$hora\ solar = hora\ solar\ local + 4(min/^{\circ})(L_{ref} - L_{loc}) + \Delta t$$

Fórmula 2: Hora solar

¹² <http://personales.ya.com/casanchi/ast/sistecor.htm>

Dónde:

L_{ref} = Longitud geográfica del meridiano de referencia ($^{\circ}$).

L_{loc} = Longitud del meridiano local ($^{\circ}$).

Debido a que el sol se adelanta y retrasa respecto a la hora solar media, se debe hacer una corrección mediante la ecuación de tiempo:

$$\Delta t(\text{min}) = 9,87 \text{sen}^2 B - 7,53 \cos B - 1,5 \text{sen} B$$

Donde

$$B(^{\circ}) = \frac{360(J - 81)}{364}$$

J corresponde al día juliano del año (1-365).

Una vez conocida la hora solar se procede a calcular el ángulo horario mediante la siguiente fórmula:

$$\omega_s = (\text{hora solar} - 12h) \times 15^{\circ}$$

Fórmula 3: Ángulo horario

Dónde:

ω_s Es el ángulo horario.

El ángulo horario resulta negativo en las mañanas y positivo en las tardes. Para el cálculo de la declinación del sol se utiliza la siguiente fórmula:

$$\delta_s = 23,45 \times \text{sen}\left(360 \times \frac{284 + J}{365}\right)$$

Fórmula 4: Declinación del sol

Dónde:

δ_s Es la declinación del sol

J Es el día juliano del año

✓ **Coordenadas horizontales.**

Las coordenadas horizontales son:

1. La **altura solar (h_s)**.- Ángulo que forma la radiación solar directa y el plano horizonte. El ángulo complementario es el llamado ángulo cenital solar.

2. El **azimut solar** (a_s).- Ángulo que forma la radiación solar directa y el meridiano del observador. El origen de acimuts es el mediodía solar.

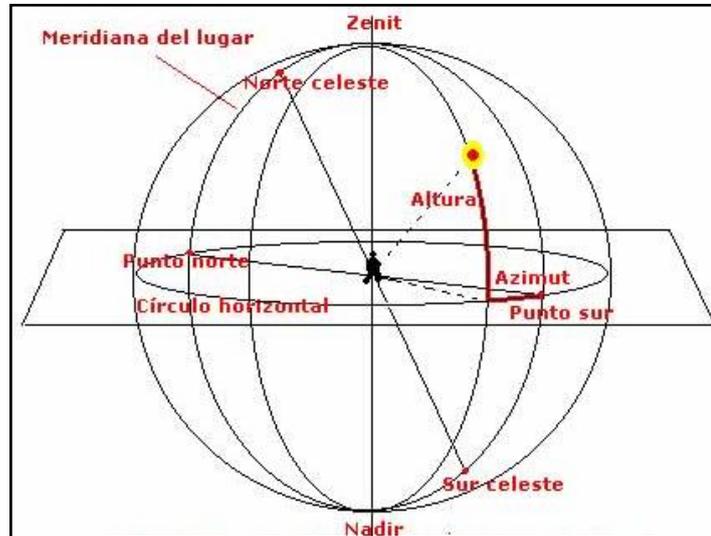


Figura 2.11: Coordenadas horizontales¹³

Para el cálculo de las coordenadas horizontales se debe partir de las coordenadas horarias, por tanto la altura solar (h_s) será:

$$\begin{aligned} \text{sen}(h_s) &= \text{sen}\phi \times \text{sen}\delta_s + \text{cos}\phi \times \text{cos}\delta_s \times \text{cos}\omega_s \\ \text{sen}(a_s) \times \text{sen}(h_s) &= \text{cos}\phi \times \text{sen}\omega_s \end{aligned}$$

Donde

h_s Es la altura solar.

δ_s Es la declinación solar.

Φ Es la latitud del lugar.

ω_s Es el ángulo horario.

a_s Es el azimut solar.

Para el cálculo de la altura solar máxima ($h_{s,max}$), al mediodía solar, el ángulo horario y el acimut del sol es cero, $\omega_s = 0^\circ$ y $a_s = 0^\circ$, por tanto:

$$h_{s,max} = 90^\circ - \phi + \delta_s$$

¹³ <http://personales.ya.com/casanchi/ast/sistecor.htm>

2.3.2.1.1.d. Cálculo de sombras

Las sombras causadas por obstáculos circundantes varían a lo largo del día, dependiendo de la latitud del lugar, la fecha y la hora; causando pérdidas de radiación solar en los captadores. Existen distintos tipos de sombreados:

1. Entre captadores de la instalación solar.
2. Por edificios, árboles, montañas, etc.

La distancia mínima entre líneas de colectores debe de ser la adecuada para que la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como mucho, sobre la arista inferior de la siguiente. Este cálculo se lo debe realizar al mediodía solar del día más desfavorable cuando la altura solar sea mínima. Habitualmente en el día más desfavorable del periodo de utilización, la instalación no ha de tener más del 5% de la superficie útil de captadores cubierta por sombras. Un equipo de energía solar térmica resultara inoperante cuando el 20% de su superficie de captación esté en sombra.

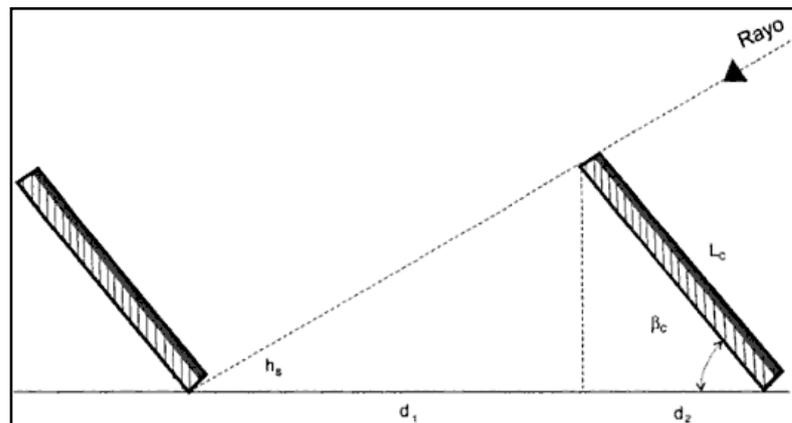


Figura 2.12: Distancia mínima entre captadores¹⁴

Según la figura 2.12 la distancia mínima entre captadores es la siguiente:

$$L = d_1 + d_2 = L_c \times \left[\frac{\text{sen } \beta}{\tan(h_s)} + \cos \beta \right]$$

Fórmula 5: Distancia mínima entre captadores

Dónde:

L_c = altura del captador.

¹⁴ IBAÑEZ PLANA, M – ROSELL POLO, J.R- ROSELL URRUTIA, J.I (2004). *Tecnología Solar*. Mundi-Prensa. Madrid. España.

β = su inclinación.

L = longitud de la sombra.

La relación básica entre la longitud de la sombra (L_{sombra}), la altura del obstáculo (H_{obst}) y la altura solar (h_s) es:

$$\tan h_s = \frac{H_{obst}}{L_{sombra}}$$

La metodología usada para el cálculo de sombras provocadas por distintos obstáculos consta de dos pasos:

- *Obtención del perfil de obstáculos.*- Utilizando como referencia la arista N-S se observa el entorno, a ambos lados de ésta línea, del captador desde el punto medio de su arista inferior, y se determina las altura angulares (H_{obst}) de los obstáculos definiendo la posición de estos de acuerdo a su ángulo acimutal.
- *Representación del perfil de obstáculos.*- Se analiza la altura angular y la dirección de los árboles y edificios, que se encuentran cerca de la instalación solar, los cuales interrumpen los rayos solares.

2.3.2.1.1.e. Irradiación en el plano horizontal

Para el cálculo de irradiación en cualquier plano horizontal en la superficie terrestre, se debe primeramente analizar la irradiancia que incide a lo largo de un día sobre un plano tangente a la superficie del planeta exterior a la atmósfera, llamada *irradiación extraterrestre*.

La irradiancia de la constante solar es perpendicular al sol, y el ángulo que forma los rayos solares con el plano tangente varía diariamente y anualmente debido al constante movimiento del sol, por tanto, se afirma que ambas magnitudes están relacionadas directamente y que la irradiancia incidente en el plano tangente es siempre menor o igual a la constante solar. Matemáticamente, la irradiancia extraterrestre, se expresa de la siguiente forma:

$$I_{SO}^e = S_s \times F_{TS} \times \cos(\theta_z) = S_s \times \text{sen } h_s$$
$$I_{SO}^e = S_s \times F_{TS} \times \text{sen}(\text{sen } \phi \times \text{sen } \delta_s + \cos \phi \times \cos \delta_s \times \cos \omega_s)$$

Dónde:

S_s Es la constante solar que es aproximadamente $4,9256 \text{ J/m}^2$.

F_{TS} es el movimiento de la tierra alrededor del sol en una órbita elíptica, esto hace que la distancia tierra-sol varíe a lo largo del año. La irradiancia que llega a la cima de la atmósfera depende de esta distancia.

$$F_{TS} = 1 + 0,034 \times \cos\left(\frac{360 \times J}{365,25}\right)$$

Fórmula 6: Factor FTS

Integrando la ecuación de la irradiancia extraterrestre para las 24 horas de un día determinado, se obtiene la ecuación:

$$H_{SO}^e = \frac{24}{\pi} \times S_s \times F_{TS} \times (\omega_{s,p} \times \text{sen } \phi \times \text{sen } \delta_s + \cos \phi \times \cos \delta_s \times \text{sen } \omega_{s,p})$$

Fórmula 7: Irradiación extraterrestre diaria

Donde

$\omega_{s,p}$ Es el ángulo horario de la puesta del sol y se lo expresa en radianes:

$$\omega_{s,p} = \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta_s)$$

Fórmula 8: Ángulo horario en la puesta del sol

2.3.2.1.1.f. Irradiación en planos inclinados

La irradiancia recibida por un captador inclinado en superficie es la combinación de la irradiancia directa ($I_{s,b}$), la difusa ($I_{s,d}$) y la reflejada en las superficies frente al captador ($I_{s,re}$).

$$I_s = I_{s,b} + I_{s,d} + I_{s,re}$$

Fórmula 9: Irradiancia sobre un plano inclinado

La irradiancia en el plano del captador se evalúa a partir de medidas de la radiación directa y difusa, pero en las localidades que son disponibles datos medidos de irradiación, se refieren a la magnitud global sobre el plano horizontal ($H_{s,o}$). Es importante saber que para el diseño de instalaciones solares se debe convertir los datos medidos en el plano horizontal al plano inclinado.

Con el algoritmo de Liu y Jordan, desarrollado en 1962, se puede aproximar el cálculo de las componentes directa, difusa y reflejada de la irradiación global. La irradiación global diaria sobre un plano inclinado se expresa como:

$$H_s = R_A \times H_{s,o}$$

Fórmula 10: Irradiación global diaria sobre un plano inclinado

Dónde:

R_A es el cociente entre la media mensual de irradiación global diaria sobre el plano inclinado y sobre el horizontal y se lo expresa de la siguiente forma:

$$R_A = \underbrace{\left[(1 - H_{s,d}/H_s) R_B \right]}_{\text{Radiación directa}} + \underbrace{\left[\frac{H_{s,d}/H_s (1 + \cos \beta_c)}{2} \right]}_{\text{Radiación difusa}} + \underbrace{\left[\frac{\rho' (1 - \cos \beta_c)}{2} \right]}_{\text{Radiación reflejada}}$$

En esta última ecuación, R_B es el análogo a R_A , $H_{s,d}$ es la irradiación difusa diaria; la cual no se tiene a disposición medidas de su media mensual y por tanto relacionaron, Liu y Jordan, esta componente con el índice de claridad. Esto se expresa como:

$$\frac{H_{s,d}}{H_s} = 1,39 - 4,03K_T + 5,53K_T^2 - 3,11K_T^3$$

$$K_T = \frac{H_{s0}}{H_{s0}^e}$$

Fórmula 11: Índice de claridad

Existe otra ecuación que correlaciona la irradiación difusa y global con la puesta del sol. Esta fue determinada en 1979 por Collares-Pereira y se expresa como:

$$\frac{H_{s,d}}{H_s} = 0,775 + 0,347 \left(\omega_{s,p} - \frac{\pi}{2} \right) - \left[0,505 + 0,0261 \left(\omega_{s,p} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \cos (2K_T - 1,8)$$

Dónde:

$\omega_{s,p}$ se expresa en radianes.

Por el método de Klein, desarrollado en 1977, se obtiene el cociente R_B , para planos orientados al sur:

$$R_B = \frac{\cos(\phi - \beta_c) \times \cos(\delta_s) \times \text{sen}(\omega'_{s,p}) + (\pi/180) \times \omega'_{s,p} \times \text{sen}(\phi - \beta_c) \times \text{sen} \delta_s}{\cos \phi \times \cos \delta_s \times \text{sen} \omega_{s,p} + (\pi/180) \omega_{s,p} \times \text{sen} \phi \times \text{sen} \delta_s}$$

Dónde:

$\omega_{s,p}$ Es el ángulo horario del ocaso del sol en el plano horizontal (radianes)

$\omega'_{s,p}$ Es el ángulo horario del ocaso del sol en el plano inclinado.

ϕ es la latitud del lugar y

β_c el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico.

Para planos con cualquier otra orientación R_B se expresa como:

$$\begin{aligned} R_B = & (\cos \beta_c \cdot \text{sen } \delta_s \cdot \text{sen } \phi \cdot \frac{\pi}{180} (\omega'_{s,sal} - \omega'_{s,p}) \\ & - \text{sen } \beta_c \cdot \text{sen } \delta_s \cdot \cos \phi \cos a_c \cdot \frac{\pi}{180} (\omega'_{s,sal} - \omega'_{s,p}) \\ & + \cos \beta_c \cdot \cos \delta_s \cdot \cos \phi \cdot (\text{sen } \omega'_{s,sal} - \text{sen } \omega'_{s,p}) \\ & + \text{sen } \beta_c \cdot \cos \delta_s \cdot \text{sen } \phi \cdot \cos a_c \cdot (\text{sen } \omega'_{s,sal} - \text{sen } \omega'_{s,p}) \\ & - \text{sen } \beta_c \cdot \cos \delta_s \cdot \text{sen } a_c \cdot (\cos \omega'_{s,sal} \\ & - \cos \omega'_{s,p}) \\ & / (\cos \delta_s \cdot \cos \phi \cdot \text{sen } \omega_{s,sal} + \frac{\pi}{180} \omega_{s,sal} \cdot \text{sen } \delta_s \cdot \cos \phi) \end{aligned}$$

Dónde:

$\omega_{s,sal}$ y $\omega'_{s,sal}$ son ángulos horarios en la salida del sol para el plano horizontal e inclinado (radianes)

$\omega_{s,p}$ y $\omega'_{s,p}$, p s son ángulos para la puesta de sol para el plano horizontal e inclinado.

2.3.2.2. ENERGÍAS RENOVABLES

“La energía renovable, también llamada energía alternativa, engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo, pero que en sentido estricto ni son renovables, como es el caso de la geotermia, ni se utilizan de forma blanda.”¹⁵

“La principal fuente de energía renovable es el Sol. El Sol envía a la Tierra energía radiante, es decir, luz visible, radiación infrarroja y algo de ultravioleta. Sin embargo en la atmosfera se convierte en una variedad de efectos, algunos de los cuales tiene importancia como recurso energético, tal es el caso de la energía

¹⁵ <http://html.rincondelvago.com/energias-alternativas.html>

eólica, la energía de biomasa, la diferencia de temperaturas oceánicas y la energía de las olas.”¹⁶

El extensivo desarrollo de fuentes de energía alternativas como la energía solar, termal y eólica, ha sido un positivo resultado de la escasez de fuentes de energía convencionales.

a) Energía Geotérmica¹⁷

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre.

En la figura 2.13 podemos observar que en algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radio génico. Geotérmico viene del griego *geo*, "Tierra"; y de *thermos*, "calor"; literalmente "calor de la Tierra".

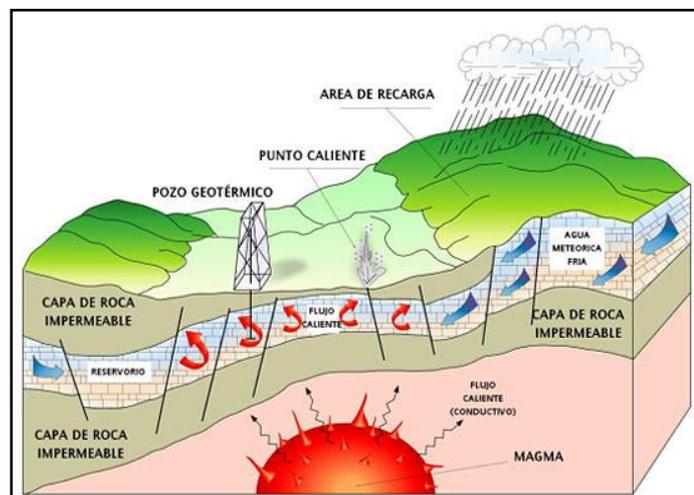


Figura 2.13: Energía geotérmica¹⁸

La energía geotérmica no solo se encuentra muy restringida geográficamente sino que algunas de sus fuentes son consideradas contaminantes. Esto debido

¹⁶ <http://www.quimica.urv.es/~w3siiq/DALUMNES/99/siiq51/Ere.html>

¹⁷ <http://normasambientales-co.blogspot.com/2010/03/energia-geotermica-parte-del-calor.html>

¹⁸ <http://tecnolowikia.wikispaces.com/Energ%C3%ADa+Geot%C3%A9rmica>

a que la extracción de agua subterránea a alta temperatura genera el arrastre a la superficie de sales y minerales no deseados y tóxicos.

b) **Energía Solar**¹⁹

La energía solar es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

- La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama *energía solar térmica*. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.
- La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama *energía solar fotovoltaica*. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos, tal como muestra la figura 2.14.



Figura 2.14: Energía solar fotovoltaica²⁰

La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.

c) **Energía Eólica**²¹

¹⁹ <http://energia-solar-si.blogspot.com/2007/11/energia-solar-fotovoltaica.html>

²⁰ <http://www.biodisol.com/medio-ambiente/beneficios-del-uso-de-la-energia-solar-fotovoltaica-inlusa-energias-limpias-crisis-energetica-inversiones/>

La energía eólica es la que se obtiene por medio del viento, es decir mediante la utilización de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire.

El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento.

La energía eólica es aprovechada por nosotros básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este. En la figura 2.15 se puede ver como diversos molinos aprovechan la energía del viento.

La potencia del viento depende principalmente de 3 factores:

1. Área por donde pasa el viento (rotor)
2. Densidad del aire
3. Velocidad del viento



Figura 2.15: Energía Eólica²²

El *aerogenerador* es un generador de corriente eléctrica a partir de la energía cinética del viento.

El aerogenerador consta de varias partes como muestra la figura 2.16:

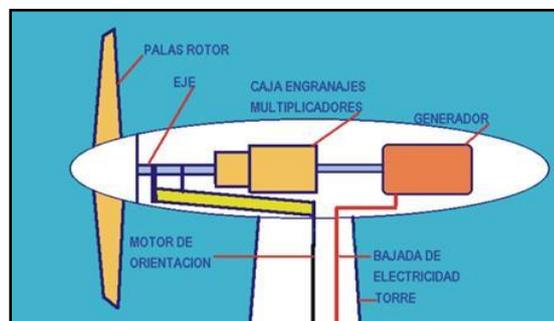


Figura 2.16: Aerogenerador²³

²¹ <http://www.slideshare.net/olap967/generacin-elica>

²² <http://www.energiayrenovable.es/todo-a-favor-para-la-energia-eolica/>

²³ <http://www.jenijos.com/AEROGENERADORES/aerogeneradores.htm>

d) Energía Biomasa

La energía de biomasa es generada por la combustión o la fermentación de materiales orgánicos.

El proceso de fermentación, tiene dos grupos esenciales de bacteria:

- El primer grupo licúa y transforma los compuestos en ácidos.
- El segundo grupo fermenta los ácidos convirtiéndolos en gas metano.

En el caso de combustión, los desechos se queman en parrillas produciendo gases muy calientes. El calor de estos hace hervir el agua en una caldera, produciendo vapor, que es usado para hacer funcionar los turbogeneradores (igual que en las otras centrales). Los gases pasan por aparatos controladores de la polución antes de ser liberados.

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez desencadena de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos.

La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

e) Energía Hidráulica²⁴

Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable. La figura 2.17 muestra la represa de una central hidroeléctrica.

²⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_hidr%C3%A1ulica



Figura 2.17: Energía Hidráulica

2.3.2.3. SISTEMAS HÍBRIDOS²⁵

Un sistema de energía renovable híbrido es un sistema en el cual dos o más fuentes de energía renovable (solar-térmica, solar-fotovoltaica, el viento, la biomasa, la hidroeléctrica etc.) se integran para proveer electricidad o calor, o ambos, a la misma demanda, como se puede observar la figura 2.18 el aprovechamiento de la energía solar y eólica.

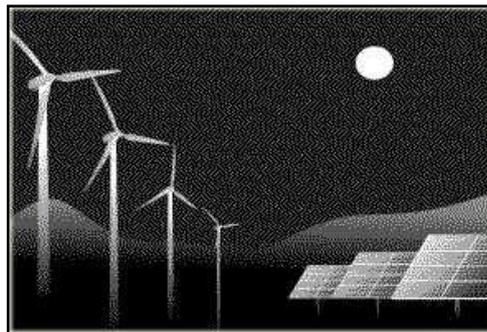


Figura 2.18: Sistema Híbrido²⁶

✓ 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:

1. Una o más unidades de generación de fuentes renovables: eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica
2. Una o más unidades de generación convencional: diesel
3. Sistema de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico
4. Sistemas de acondicionamiento de la potencia: inversor, rectificadores, reguladores de carga

²⁵ <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8843/7/T10115CAP4.pdf>

²⁶ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia18/HTML/articulo03.htm>

5. Sistema de regulación y control

✓ Principio

La fuente de las diversas energías renovables puede ser intermitente pero con diversos patrones de intermitencia. Por ello es a menudo posible alcanzar una posición más óptima integrando dos o más fuentes, a veces también incluyendo una forma de almacenaje de la energía. De esta manera la fuente de energía se puede hacer menos intermitente, o más estable.

Un sistema con dos fuentes de energía se llama bivalente. Un sistema con muchas fuentes se llama polivalente.

✓ Dimensionamiento de un sistema híbrido

Antes de construir un sistema con varias fuentes de energía intermitentes y consumo variable, se han de dimensionar los componentes individuales simulando la operación de sistema bajo condiciones locales, incluyendo como apropiado el tiempo, la insolación, la fuente de la biomasa, el viento etc.

En general un objetivo es utilizar la proporción máxima de energía renovable, pero hay que tener en cuenta otros factores como la inversión financiera, los aspectos sociales, la infraestructura local, la durabilidad etc.

Los sistemas híbridos deben de dimensionarse con apoyo de fuentes de energía convencional que nos aseguren suministro en caso de excesiva intermitencia en la oferta de energía renovable.

2.3.2.3.1. 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.

Los sistemas híbridos optimizan las mejores condiciones del viento y el sol, complementándose entre sí. Los días fríos y de viento, normalmente nubosos, apenas permiten aprovechar la luz solar, mientras que son ideales para los aerogeneradores. Por su parte, los días de anticiclón suelen provocar cielos despejados con poco viento, y por tanto, más adecuados para las placas fotovoltaicas.

✓ Esquema de la instalación

En la figura 2.19 se puede observar el esquema de un sistema híbrido donde, 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.

Requiere un controlador más complejo, ya que su fiabilidad total es superior a la de los otros dos sistemas, y, por consiguiente, el regulador de carga a utilizar no será el mismo que si a usarse en una instalación fotovoltaica o eólica únicamente.

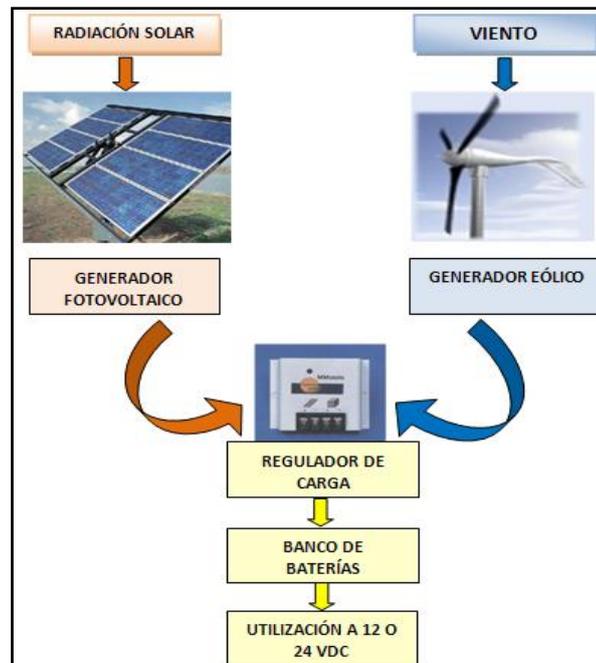


Figura 2.19: Esquema de un sistema híbrido eólico-solar

2.3.3. ELECTROSTÁTICA²⁷

La electrostática es la rama de la física que estudia los fenómenos resultantes de la distribución de cargas eléctricas en reposo, esto es, del campo electrostático. Los fenómenos electrostáticos son conocidos desde la antigüedad. Los griegos del siglo V a. C. ya sabían que al frotar ciertos objetos estos adquirían la propiedad de

• ²⁷ Guía práctica de Electricidad y Electrónica. Tomo II. Brosnac. Madrid. España.

atraer cuerpos livianos. En 1785 el físico francés Charles Coulomb publicó un tratado donde cuantificaba las fuerzas de atracción y repulsión de cargas eléctricas estáticas y describía, por primera vez, cómo medirlas usando una balanza de torsión. Esta ley se conoce en su honor con el nombre de ley de Coulomb.

Durante el siglo XIX se generalizaron las ideas de Coulomb, se introdujo el concepto de campo eléctrico y potencial eléctrico, y se formuló la ecuación de Laplace, que determina el potencial eléctrico en el caso electrostático.

2.3.3.1. ELECTRICIDAD

✓ **Electrización por frotamiento**

Si después de peinarnos en un día seco y teniendo el cabello también seco, aproximamos el peine a pequeños pedacitos de papel observaremos que son atraídos por el peine. Se dice entonces que debido a la fricción del cabello con el peine, éste se ha electrizado.

Este fenómeno fue observado por primera vez en el ámbar, que los griegos llamaban elektro, cuando una varilla de este material se frotaba con una piel de conejo por ejemplo, y de ahí el nombre de fenómenos eléctricos. También fue observado primitivamente en el vidrio al frotarlo con una tela, por ejemplo de seda. Así al aproximar a una bolita de un material ligero, como el corcho, suspendida por un hilo, una barra de ámbar o de vidrio que ha sido frotada previamente, se observa que la bolita es atraída por la barra y una vez en contacto con ella es repelida como muestra la figura 2.20.

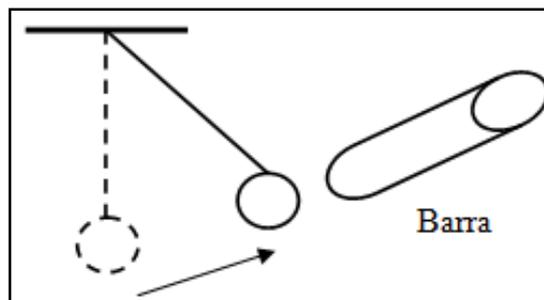


Figura 2.20: Fenómeno eléctrico

Algunos cuerpos, como los metales, solo se electrizan por frotamiento cuando se observan ciertas precauciones especiales. Estos cuerpos se llaman *conductores* porque la electricidad puede desplazarse fácilmente a través de su masa. Los cuerpos que se electrizan fácilmente por frotamiento se llaman *aisladores* o *dieléctricos* porque es difícil el movimiento de la electricidad a través de su masa. Para poder electrizar un conductor por frotamiento es necesario aislarlo, o sea, rodearlo de un dieléctrico. Entre los cuerpos conductores se encuentran los metales, especialmente Ag y Cu, las soluciones de ácidos, bases y sales, el aire húmedo, el cuerpo humano, el carbón, etc., y entre los dieléctricos se hallan diversas resinas, la porcelana, el vidrio, el ámbar, la madera, la gutapercha, el aire seco, casi todos los no metales, etc.

Existen dos clases de electricidad. En efecto, si acercamos una barra de vidrio electrizada a una bolita de corcho suspendida, observamos que la atrae, si acercamos después una de ámbar también la atrae, pero si acercamos simultáneamente la de vidrio y la de ámbar no hay atracción o es mucho menor indicando que las acciones del vidrio y del ámbar tienden a oponerse, como se puede ver en la figura 2.21. En un principio se llamó *vítrea* a la electricidad adquirida por el vidrio y *resinosa* a la adquirida por el ámbar. Posteriormente a sugerencia del estadista e inventor norteamericano Benjamín Franklin (1706 - 1790) se introdujo el nombre de *positiva* (+) para la electricidad vítrea y el de *negativa* (-) para la resinosa.

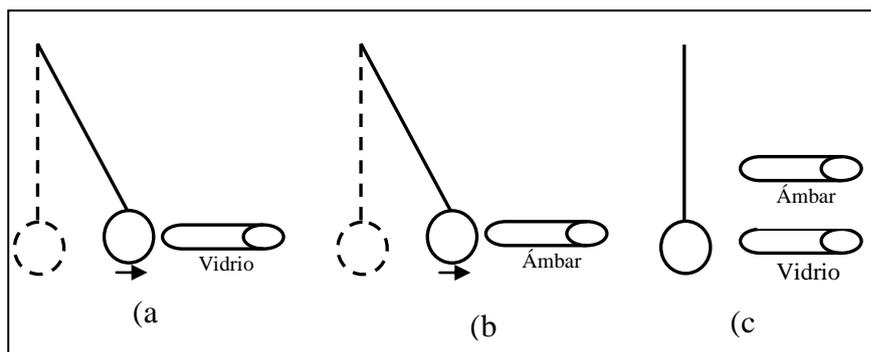


Figura 2.21: Clases de electricidad

Cuando dos cuerpos se electrizan por fricción ambos adquieren la misma carga eléctrica pero de naturaleza diferente: una positiva y otra negativa. Esto se comprueba fácilmente: si electrizamos una barra de vidrio frotándolo con un paño

de seda y acercamos la barra envuelta en al paño a una bolita de corcho no hay atracción, pero si acercamos la barra sola o el paño solo cada uno de ellos ejerce su propia atracción. En el primer caso las acciones de la barra y el paño, electrizados con cargas de signos opuestos, se compensan mutuamente. Cuando un cuerpo está electrizado se dice que posee una *carga eléctrica*.

2.3.4. ELECTRODINÁMICA

La Electrodinámica estudia los fenómenos eléctricos producidos por cargas en movimiento. En estos fenómenos aparecen campos magnéticos, que pueden ser ignorados en el caso de circuitos con corriente eléctrica estacionaria, pero deben ser tomados en cuenta en el caso de circuitos de corriente alterna.

2.3.4.1. CORRIENTE ELÉCTRICA

La *corriente eléctrica* es una corriente de electrones que atraviesa un material. Algunos materiales como los "*conductores*" tienen electrones libres que pasan con facilidad de un átomo a otro.

Estos electrones libres, como se observa en la figura 2.22 si se mueven en una misma dirección conforme saltan de un átomo a átomo, se vuelven en su conjunto, una corriente eléctrica. Para lograr que este movimiento de electrones se dé en un sentido o dirección, es necesaria una fuente de energía externa.

El sentido de una corriente eléctrica es el sentido en el cual se mueven las cargas positivas y que es contrario al sentido del movimiento de las cargas negativas o electrones. Como en un conductor metálico los que realmente se desplazan son los electrones, resulta que el sentido escogido convencionalmente para la corriente es contrario al sentido del movimiento real de las cargas (negativas) en el conductor.

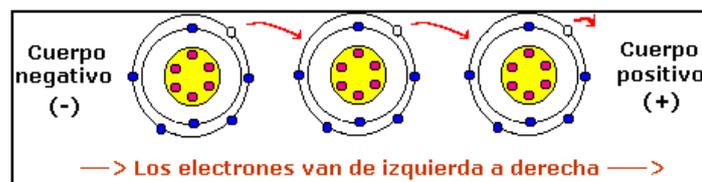


Figura 2.22: Movimiento de electrones ²⁸

²⁸ <http://ernestronika.wordpress.com/2009/09/19/guia-4/>

2.3.4.2. MAGNITUDES ELÉCTRICAS

a) **Fuerza electromotriz (*f.e.m.*)**

Es la causa que origina que los electrones circulen por un circuito eléctrico. La unidad que la define es el voltio (v).

b) **Diferencia de potencial (d.d.p.)**

Se le conoce también como tensión eléctrica o como voltaje. Es el desnivel eléctrico que existe entre dos puntos determinados de un circuito. Su unidad es el voltio (V).

c) **Cantidad de Electricidad (*Q*)**

Es la cantidad total de electrones que recorren un conductor en un circuito eléctrico.

El electrón tiene un tamaño muy reducido, por lo que en la práctica se toma como unidad el columbio (C); siendo éste:

$$1 \text{ columbio} = 6,3 \times 10^{18} e^{-}$$

d) **Intensidad de corriente eléctrica (*I*)**

Es la cantidad de electricidad que atraviesa un conductor en un tiempo igual a un segundo. Su unidad es el amperio (A).

$$I(\text{intensidad de corriente}) = \frac{Q(\text{cantidad de electricidad})}{t(\text{tiempo})}$$

$$1 A(\text{amperio}) = \frac{1 C(\text{culombio})}{1 s(\text{segundo})}$$

e) **Densidad de corriente eléctrica (δ)**

Es el número de amperios que circula por cada milímetro cuadrado de conductor, esto es: la intensidad que circula por unidad de sección. Su unidad es el A/mm² y su fórmula:

$$\delta(\text{densidad}) = \frac{I(\text{intensidad})}{S(\text{sección})}$$

f) **Resistencia Eléctrica (R)**

Es la dificultad que presenta un material al paso de la corriente eléctrica. Su unidad es el ohmio (Ω). Dicha dificultad responde a que los núcleos de los átomos del material resistente atraen a los electrones que se desplazan a través suyo. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Siendo:

R: Resistencia (Ω)

P: Resistividad (mm^2/m)

l: Longitud del conductor (m)

S: Sección del conductor (mm)

o **Ley de Ohm**

En un circuito eléctrico, la intensidad de corriente que lo recorre es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia que presenta éste.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$1 A = \frac{1 V}{1 \Omega}$$

g) **Potencia eléctrica (P)**

Es la cantidad de trabajo desarrollado en una unidad de tiempo. Su unidad es el Watio (w). Su fórmula es:

$$P = V \times I$$

$$1 w = 1 v \times 1 A$$

h) **Energía Eléctrica**

Se define como energía eléctrica al trabajo desarrollado en un circuito eléctrico durante un tiempo determinado. La energía eléctrica se representa con la letra *E* y su unidad es el julio, que a su vez se representa en forma abreviada con la letra *J*. La fórmula que la relaciona es la siguiente:

$$E = P \times t$$

$$1 J = 1 w \times 1 s$$

Siendo:

E : Energía eléctrica (J)

P : Potencia eléctrica (w)

t : Tiempo (s)

Al ser el julio una unidad demasiado pequeña, otra de valor más elevado nos servirá para tomar medidas; este es el kilovatio por hora (Kwh).

$$1Kw \times h = 1000w \times 3600 s = 3,6 \times 10^6$$

El coste de la energía es igual a su valor multiplicado por el precio unitario.

$$Coste = E \times Pu$$

$$Coste = (\# \text{ de } Kwh) \times (\text{precio de cada } Kwh)$$

✓ Efecto Joule

El efecto Joule es el calentamiento experimentado por un material conductor al ser atravesado por la corriente eléctrica. Este calentamiento se debe a que los electrones al trasladarse rozan con los átomos del conductor.

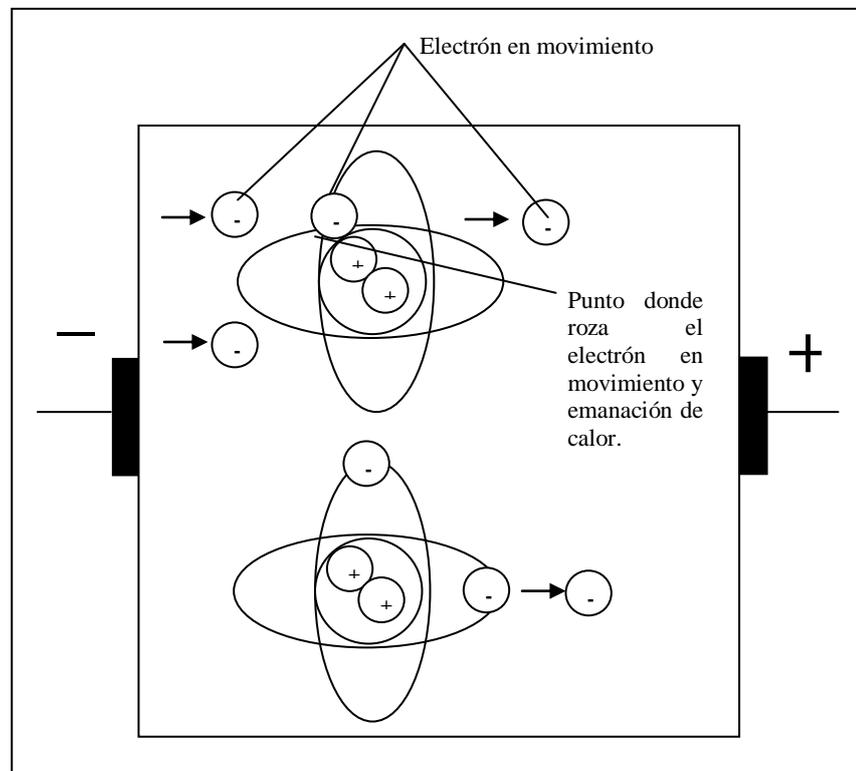


Figura 2.23: Efecto Joule

Las unidades caloríficas son dos:

- *Caloría (cal)*: Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado, en condiciones normales de presión.
- *Kilocaloría (Kcal)*: Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado centígrado, en condiciones normales de presión.

Existe una equivalencia entre la unidad de energía eléctrica (julio) y la unidad calorífica, y esta es:

$$1 \text{ julio} = 0,24 \text{ cal}$$

La energía eléctrica y la energía calorífica están determinadas por la fórmula que Jules determinó:

$$Q = 0,24 \times E$$

Siendo:

Q : Cantidad de calor (cal)

E : Energía eléctrica (w x s)

0,24: Constante de equivalencia

2.3.4.2.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA²⁹

✓ Central eléctrica

Una central eléctrica es una instalación capaz de convertir la energía mecánica, obtenida mediante otras fuentes de energía primaria, en energía eléctrica, como muestra la figura 2.24.

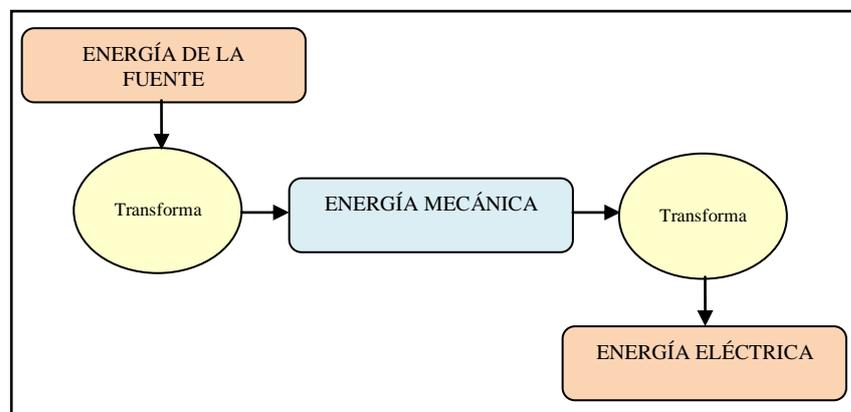


Figura 2.24: Esquema de una central eléctrica³⁰

²⁹ http://pdf.rincondelvago.com/energia-electrica_7.html

Existen diversos tipos de centrales eléctricas que vienen determinados por la fuente de energía que utilizan.

✓ **Centrales Hidráulicas o Hidroeléctricas**

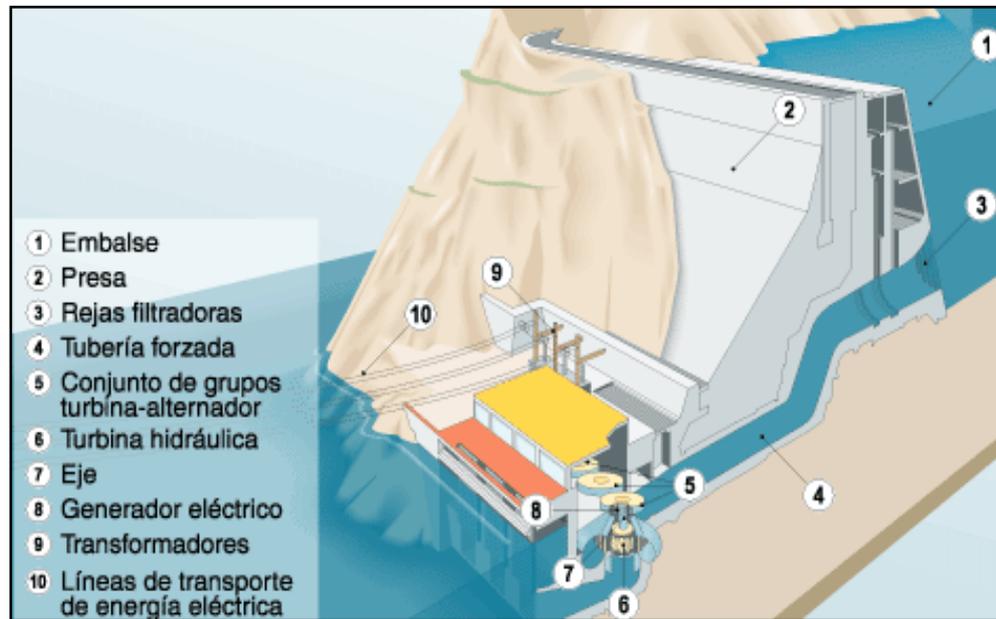


Figura 2.25: Central Hidroeléctrica

En este tipo de centrales se aprovecha la energía potencial debida a la altura del agua, haciéndola caer, para convertirla en energía cinética. Esta energía moverá los álabes (paletas curvas) de una turbina situada al pie de la presa, cuyo eje está conectado al rotor de un generador, el cual se encarga de transformarla en energía eléctrica.

Si el agua desciende hasta un embalse situado a menor altura para, con posterioridad, ser bombeada hasta que alcance el embalse superior, con objeto de utilizar de nuevo, nos encontramos frente a una central hidráulica de bombeo. Este tipo de central se construye en zonas donde existe la posibilidad de que en ciertas épocas del año no llegue suficiente agua al embalse superior y, por tanto se necesite un aporte del inferior.

³⁰ <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo2.html>

✓ Centrales Térmicas

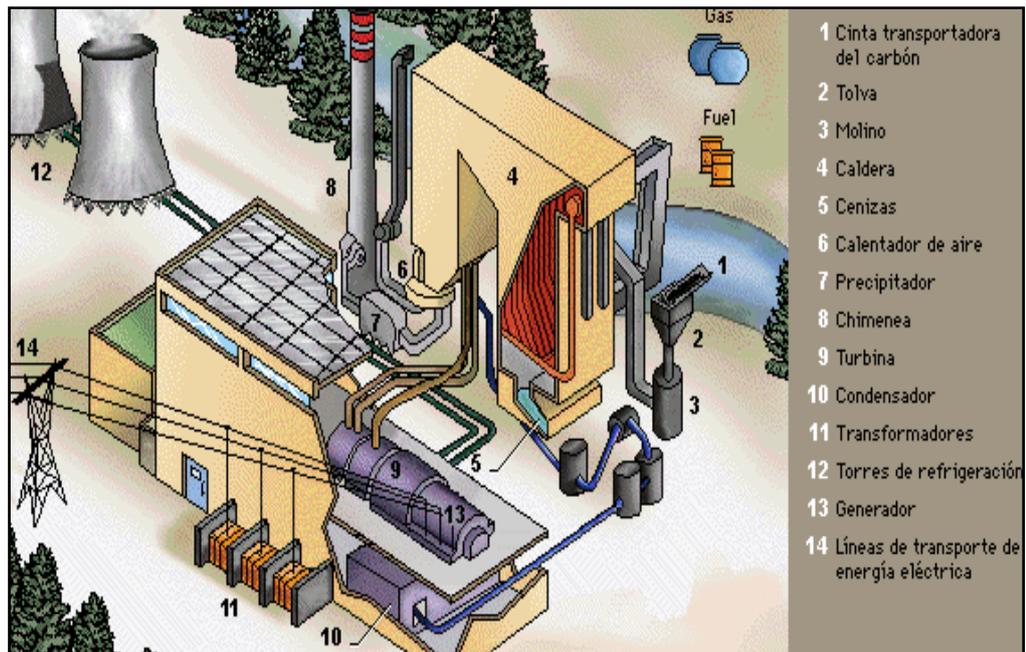


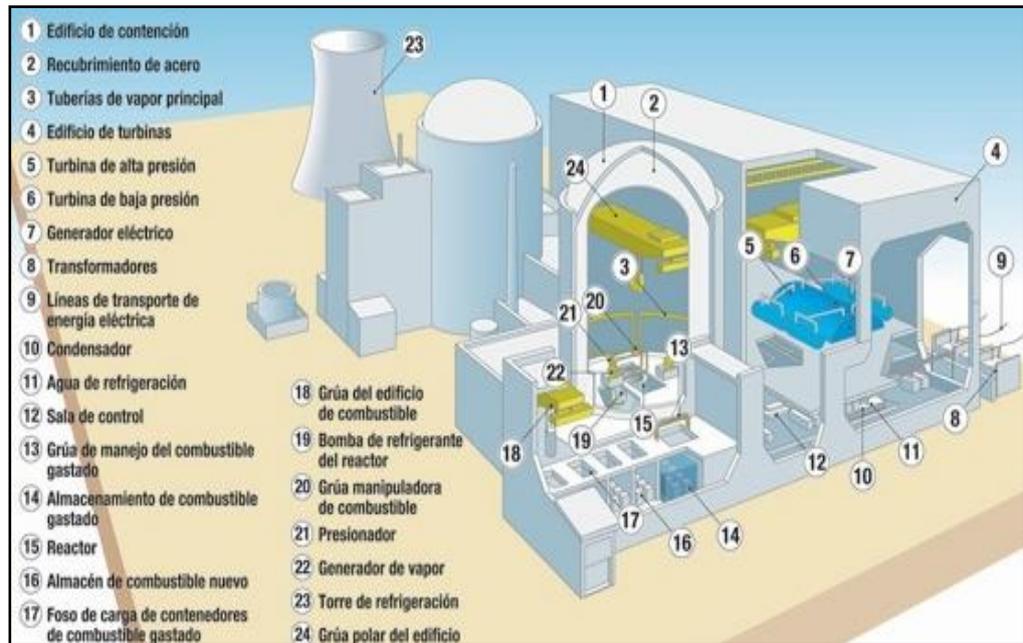
Figura 2.26: Central Térmica

En estas centrales, la energía mecánica, necesaria para mover las turbinas que están conectadas al rotor del generador, proviene de la energía térmica (debida al movimiento de moléculas) contenida en el vapor de agua a presión, resultado del calentamiento del agua en una gran caldera.

El combustible que se utiliza para producir vapor de agua determina el tipo de central térmica: de petróleo (fuel), de gas natural o de carbón.

El proceso, en términos generales, es el siguiente: se utiliza uno de los combustibles citados para calentar el agua. A continuación, el vapor de agua producido se bombea a alta presión para que alcance una temperatura de 600°C . Acto seguido, entra en una turbina a través de un sistema de tuberías, hace girar la turbina y produce energía mecánica, la cual se transforma en energía eléctrica por medio de un generador que está acoplado a la turbina.

✓ Centrales Nucleares



2.27: Central Nuclear

Se trata de centrales térmicas en las que la caldera ha sido sustituida por un reactor nuclear. Este, por reacciones de fisión (rotura) de los núcleos atómicos del combustible nuclear, generalmente uranio enriquecido (isótopo de uranio, 235 y 238), libera el calor necesario para calentar el agua y transformarla en el vapor que moverá las turbinas de un generador.

La ventaja principal de las centrales nucleares es su rentabilidad en la producción de energía; sin embargo, sus inconvenientes primordiales son la gestión y almacenamiento de los residuos radiactivos, así como el riesgo que para la población conlleva los posibles accidentes nucleares.

✓ Centrales Eólicas

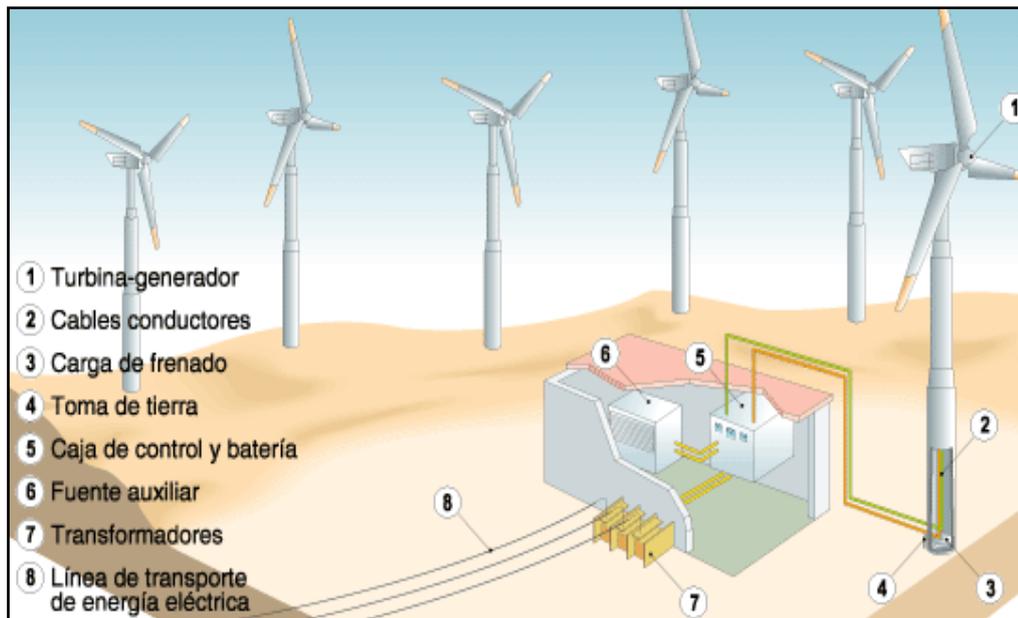


Figura 2.28: Central Eólica

En las centrales eólicas o parques eólicos se aprovecha la energía cinética del viento para mover las palas de un rotor situado en lo alto de una torre (aerogenerador).

La potencia total y el rendimiento de la instalación depende de dos factores: la situación del parque (velocidad y cantidad de horas de viento) y el número de aerogeneradores de que dispone.

Los aerogeneradores actuales alcanzan el máximo rendimiento con vientos de unos 45 Km. /h de velocidad mínima necesaria para comenzar a funcionar de unos 20 Km. /h, y la máxima, por razones de seguridad, de 100 Km. /h.

Existe un tipo de centrales eólicas denominadas aisladas. Se trata de instalaciones de reducido tamaño que las pequeñas industrias, estaciones de bombeo en explotaciones agrarias, viviendas, etc., utilizan para su autoconsumo.

a. Aerogeneradores³¹

Los aerogeneradores son equipos que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Los aerogeneradores pueden tener varias aplicaciones,

✓ **Funcionamiento:**

Es muy simple: el viento incide sobre las aspas del aerogenerador y lo 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.

Partes

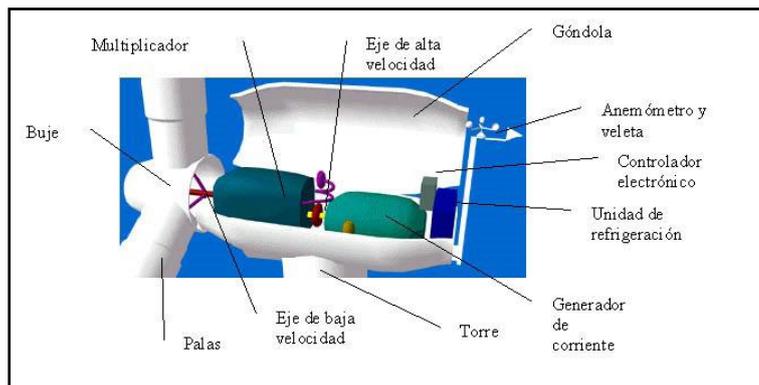


Figura 2.29: Partes de un aerogenerador

Se puede observar las partes en la figura 2.29 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

³¹ <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/energiaeolicaygeotermica.pdf>

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.

Tipos

Hay diferentes aerogeneradores:

1. Aerogeneradores de eje horizontal: son las más utilizadas. Deben mantenerse paralelas al viento, lo que exige una orientación previa, de modo que este incida sobre las palas y haga girar el eje. Estos aerogeneradores pueden ser:

- *De potencia baja o media (0 a 50 kW):* Suelen tener muchas aspas (hasta veinticuatro).se utilizan en el medio rural y como complemento para viviendas.

-*De alta potencia (más de 50 kW):* Suelen tener como máximo cuatro aspas de perfil aerodinámico, aunque normalmente tienen tres. Necesitan vientos de más de 9 m/s. Tiene uso industrial, disponiéndose en parques o centrales eólicas, en la figura 2.30 se muestra un ejemplo de aerogenerador de alta potencia.

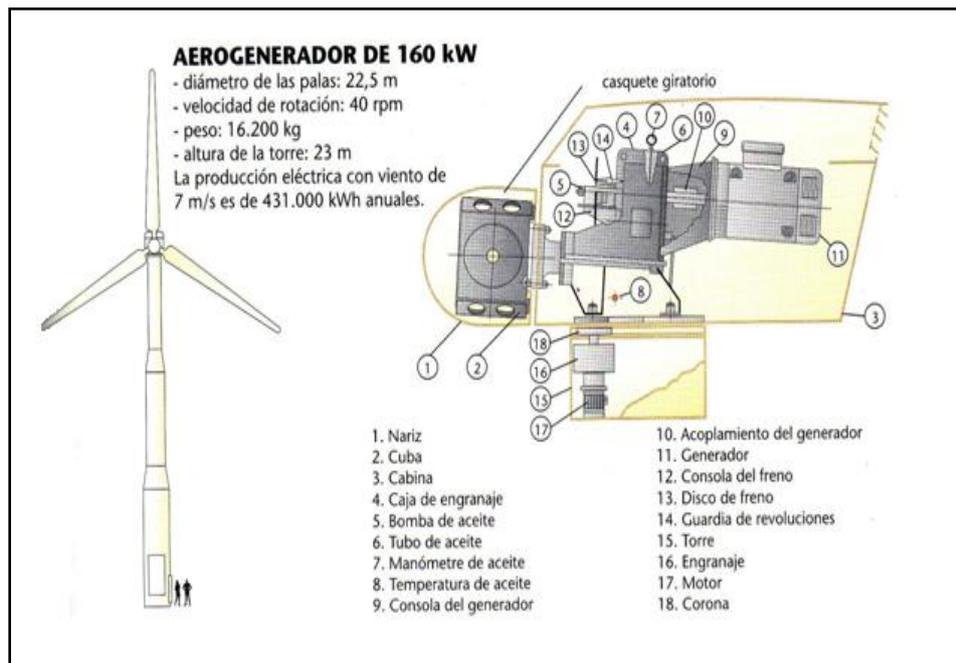


Figura 2.30: Ejemplo de aerogenerador de alta potencia

2. Aerogeneradores de eje vertical: Su desarrollo tecnológico está menos avanzado que las anteriores y su uso es escaso, aunque tiene perspectivas de crecimiento. No necesitan orientación y ofrecen menos resistencia al viento, se lo puede observar en la figura 2.31.

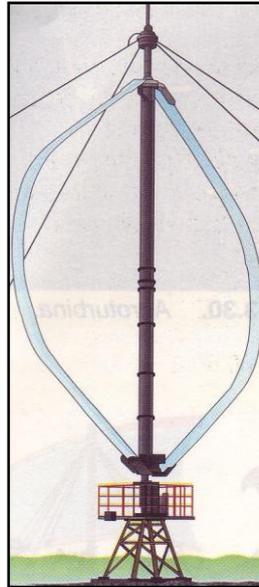


Figura 2.31: Aerogenerador vertical

✓ Centrales Solares

Son instalaciones en las que se utiliza la energía procedente del sol. Existen dos clases principales de instalaciones, según el proceso de transformación usado: centrales fototérmicas y centrales fotovoltaicas.

• Centrales Fototérmicas

En las centrales fototérmicas, la radiación solar se aprovecha de dos formas: con colectores solares, que absorben las radiaciones solares para producir calor, o con helióstatos, que reflejan la luz solar y la concentran en un punto para su utilización calorífica; en concreto para calentar el agua de una caldera. En ambos casos, el vapor de agua producido se emplea para mover el rotor de un generador.

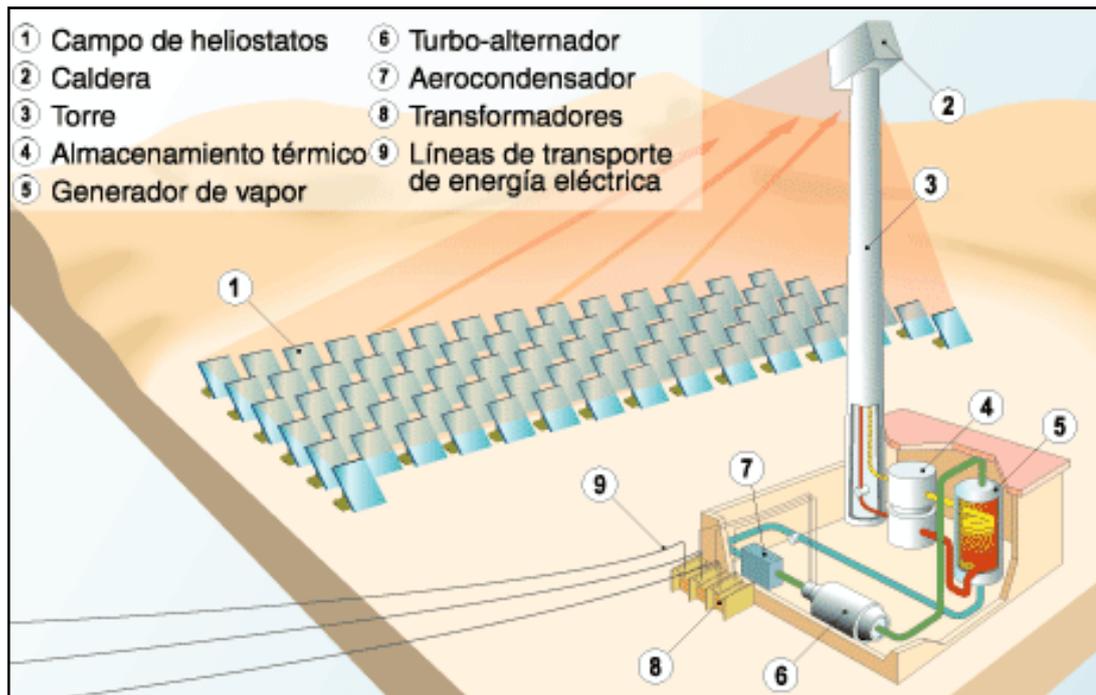


Figura 2.32: Central Solar Térmica

- **Centrales Fotovoltaicas**

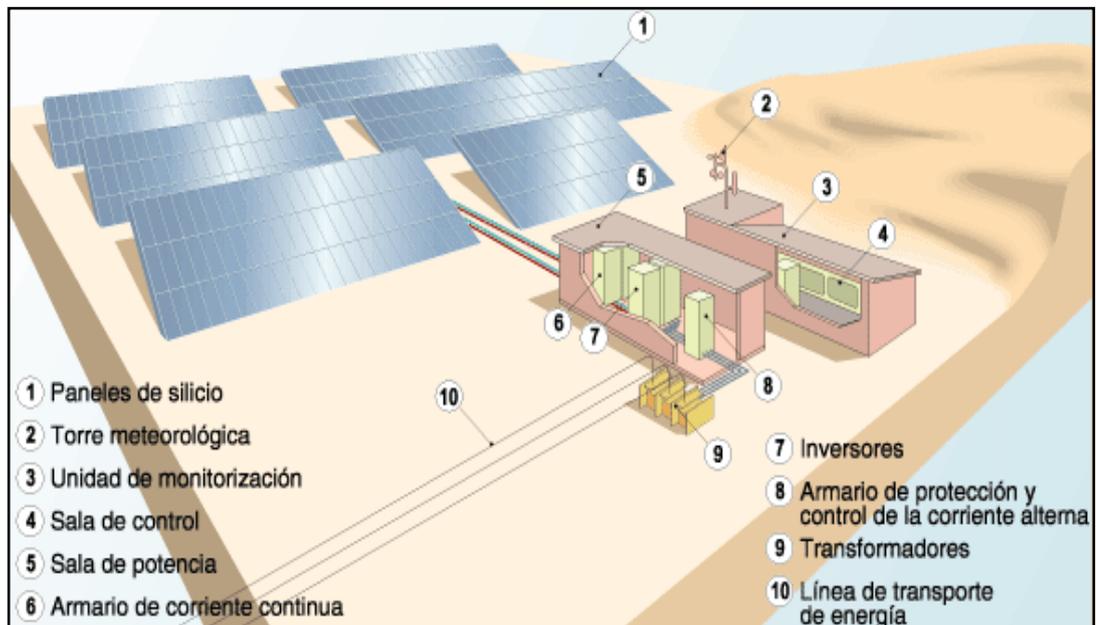


Figura 2.33: Central Fotovoltaica

En las centrales fotovoltaicas se transforman en energía eléctrica mediante paneles de células fotovoltaicas, las radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol.

Al igual que ocurre con la energía eólica, también existen centrales aisladas.

Las aplicaciones de la energía solar son muy variadas: desde alimentación de pequeñas calculadoras de bolsillo hasta el uso en automoción y astronáutica.

a. 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.

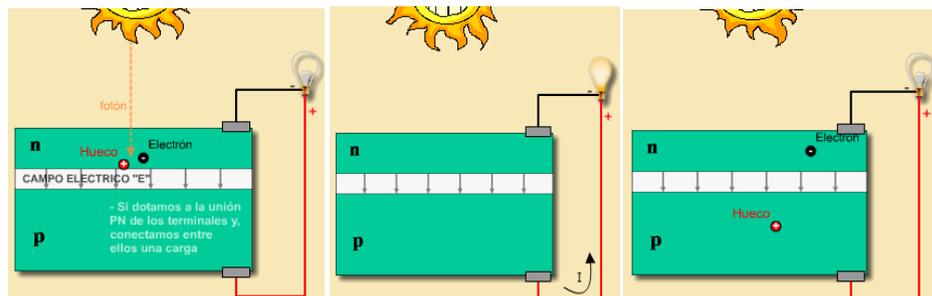


Figura 2.34: Efecto Fotovoltaico

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 2.34.

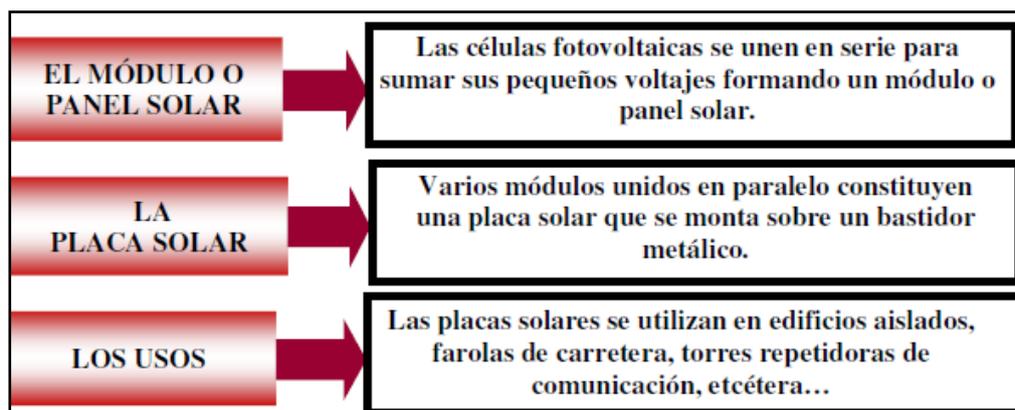


Figura 2.35: Módulo Solar

✓ Centrales de Biomasa

La biomasa está constituida por todos los compuestos orgánicos producidos por procesos naturales. La energía de la biomasa se puede obtener a partir de vegetación natural, residuos forestales y agrícolas (restos de poda, pajas, rastrojos) o cultivos específicos, como el girasol y la remolacha (cultivos energéticos). La central de biomasa quema este tipo de combustible para producir vapor de agua, el cual mueve una turbina que, conectada a un generador, produce electricidad.

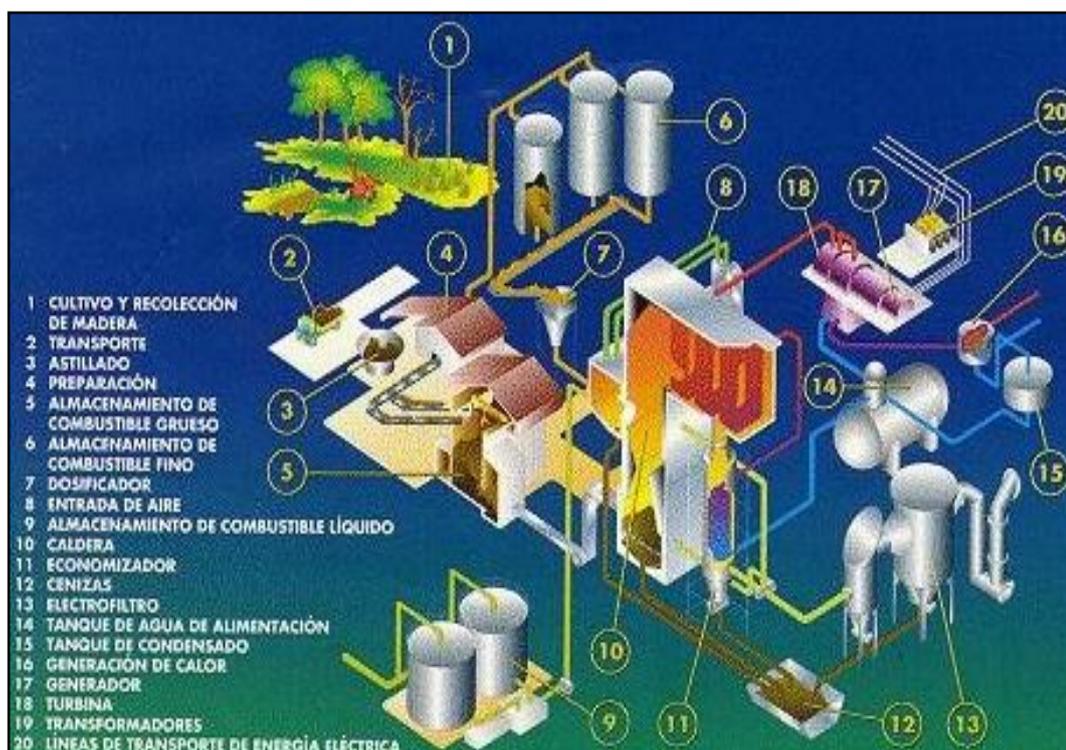


Figura 2.36: Central de Biomasa

2.4. HIPÓTESIS

El diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, proporcionará la alternativa de no depender totalmente de los sistemas tradicionales de generación de energía eléctrica, además fomentaría el uso de energías renovables limpias.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable independiente

Sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

2.5.2. Variable dependiente

Generación de energía eléctrica.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo debido a que en el proceso se trabajó en base a datos de investigadores y técnicos, y esto ayudó en la toma de decisiones, pero también es cuantitativo ya que las decisiones que tomé también satisfacen las necesidades del grupo al que va destinado el proyecto. Por tal razón es una investigación cualicuantitativa.

3.2. Modalidad Básica de la Investigación

3.2.1. Modalidad de campo

La investigación realizada es de campo, porque el estudio fue realizado en las instalaciones del Departamento de Turismo de la ciudad de Baños de Agua Santa, verificando los equipos que consumen energía eléctrica y también en los posibles sitios donde se podría instalar dicha tecnología.

3.2.2. Investigación documental bibliográfica

La investigación también está marcada en la investigación bibliográfica porque se investigó en la biblioteca la existencia de algún trabajo referente a este tema, para realizar el marco teórico se recurrió a libros, tesis, monografías, etc.

3.2.3. Proyecto de intervención social

La investigación se orienta hacia el campo social en razón que el proyecto propende a satisfacer las necesidades eléctricas para la operatividad del edificio del Departamento de Turismo de Baños de Agua Santa, e incentivar el uso de energías limpias.

3.2.4. Proyecto Factible

La investigación se encuentra dentro de un proyecto factible porque pretendo plantear un modelo alternativo de solución a la falta de energía eléctrica

convencional, además de proporcionar una alternativa de producción menos contaminante.

3.3. Nivel o Tipo de Investigación

El nivel de investigación al cual se llega en la presente investigación es el descriptivo, puesto que fue necesario conocer los requerimientos energéticos de la entidad, y de la manera en que el sistema híbrido pueda contribuir con las necesidades del Departamento.

3.4. Población y Muestra

La población son las personas que utilizarán el recurso es decir la comunidad y el personal que labora en la institución, mientras que no existe muestra debido a que el universo es muy reducido.

3.5. Operacionalización de Variables

a. Variable Independiente: Sistema híbrido eólico-fotovoltaico

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Es el conjunto de elementos, que aprovechan de las fuentes de energía solar y eólica integradas en un mismo sistema para proveer de electricidad o calor, a la misma demanda</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos • Energía Solar y Eólica • Demanda 	<ul style="list-style-type: none"> - Conectados para trabajar conjuntamente. - Dimensionamiento - Fuentes de energía renovable. - Cantidad de energía que es requiere generar. - Cantidad de equipos eléctricos. 	<p>¿Cuáles son los componentes que se requieren para un sistema híbrido?</p> <p>¿Cuáles son los parámetros que se deben tomar en cuenta para dimensionar el sistema?</p> <p>¿De qué manera se integran los componentes para aprovechar las energías solar y eólica?</p> <p>¿Cuánta energía eléctrica se requiere para cubrir las necesidades energéticas?</p>	<p>OBSERVACIÓN INVESTIGACIÓN</p>

Tabla 3.1 Variable Independiente
Realizado por: Vanessa Herrera

b. Variable Dependiente: Generación de Energía Eléctrica.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Consiste en la transformación, de alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Se realiza, básicamente, mediante un generador, varían en función a la fuente de energía primaria que utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Generar 	<ul style="list-style-type: none"> - Energía eléctrica - Potencia - Demanda 	<p>¿Cuáles son los cálculos que nos ayudan a determinar la potencia a la que se debe dimensionar un sistema?</p>	<p>INVESTIGACIÓN</p>

Tabla 3.2 Variable Dependiente
Realizado por: Vanessa Herrera

3.6. Recolección de la Información

En la recolección de la información se emplearon cuadernos de notas para registrar las características luminarias del edificio es decir su carga instalada para iluminación.

3.7. Procesamiento y Análisis de la Información

La información obtenida se registra y analiza, su interpretación de resultados se realizan en función del marco teórico establecido.

Se procede a comprobar la hipótesis y por último se plantea las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Análisis de las entrevistas

Hipótesis

El diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, proporcionará la alternativa de no depender totalmente de los sistemas tradicionales de generación de energía eléctrica, además fomentaría el uso de energías renovables limpias.

Análisis de la entrevista al director del Departamento

En conversaciones con el Director del Departamento Ing. Enrique Mayorga, se propuso realizar la investigación de este tema, quien expresó un gran interés en el tema propuesto, ya que este puede ser un proyecto piloto, que fomente el uso de energías renovables, como ciudad turística se debe promover el cuidado del medio ambiente.

En el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños, realiza funciones muy importantes para la ciudad, y como muchas entidades públicas no cuenta con un sistema de generación eléctrica que le sirva de soporte cuando exista déficit energético en el país como pasó en el 2009 o cuando existen fallas en el suministro de energía de la empresa distribuidora.

En vista del gran trabajo y alta responsabilidad que tiene este departamento es necesario que siempre esté operativo, para que brinde la atención y trámites necesarios a los ciudadanos.

Por ser una ciudad eminentemente turística, y poseer un clima con características de viento y sol para aprovecharla en la generación de energía, se propone realizar esta investigación para proveer de energía alternativa al edificio del Departamento de Turismo de la ciudad.

Situación actual de la Institución

La Institución se encuentra actualmente ubicada en las calles T.Halflans y Maldonado, en el Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, la Empresa Eléctrica Ambato S.A es la encargada de suministrar energía eléctrica, posteriormente este departamento se cambiará a instalaciones remodeladas ubicadas en las calles Montalvo y 16 de Diciembre, para el cual se diseña este sistema híbrido de generación de electricidad.

Análisis

El Departamento de Turismo, desea suministrar de energía eléctrica a sus instalaciones físicas utilizando energías renovables, para de esa manera asegurar que el suministro de energía no sea interrumpido, y a su vez promover la utilización de energías limpias

Análisis de las entrevistas al personal y usuarios

Datos obtenidos mediante entrevista al: Personal que labora en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.

- *Retraso de labores cotidianas*

En la entrevista efectuada al personal la mayoría supo manifestar que existió retraso de sus labores cotidianas, cuando se presentaron los cortes de energía eléctrica debido al déficit energético que atravesó el país.

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	6	75%
NO	2	25%
Total:	8	100%

Tabla 4.1. Retraso de Labores

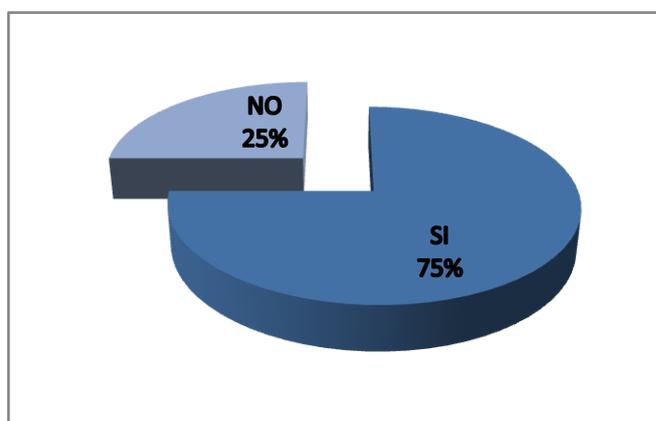


Figura 4.1. Gráfica de retraso de labores.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Mediante las entrevistas realizadas al personal se obtiene que el 75% presentó algún tipo de inconveniente y retraso en sus labores, mientras que el 25% no tuvo dicho inconveniente.

Podemos deducir que a la mayoría del personal que labora en el Departamento se vieron afectadas sus labores por los cortes de energía.

- **Pérdida de información**

Varias personas que laboran en el departamento supieron manifestar que se pierde información cuando existen cortes de energía eléctrica de manera esporádica.

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	5	63%
NO	3	37%
Total:	8	100%

Tabla 4.2. Pérdida de información

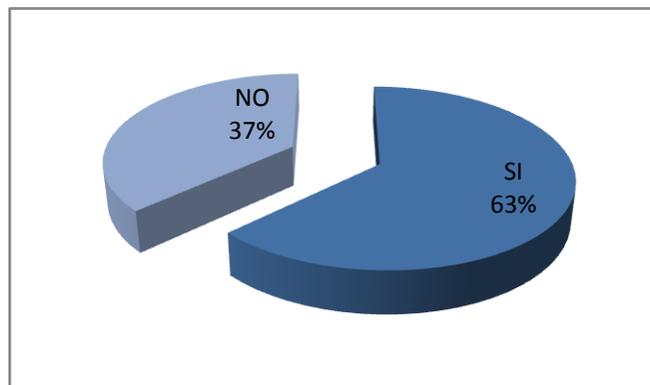


Figura 4.2. Pérdida de información

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la entrevista realizada al personal se obtiene que el 63%, perdió información debido a los cortes esporádicos de energía eléctrica.

- **Molestias a usuarios**

Datos obtenidos por observación a los usuarios y personas que realizan diversos trámites en el Departamento.

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	14	70%
NO	6	30%
Total:	20	100%

Tabla 4.3. Molestias a usuarios

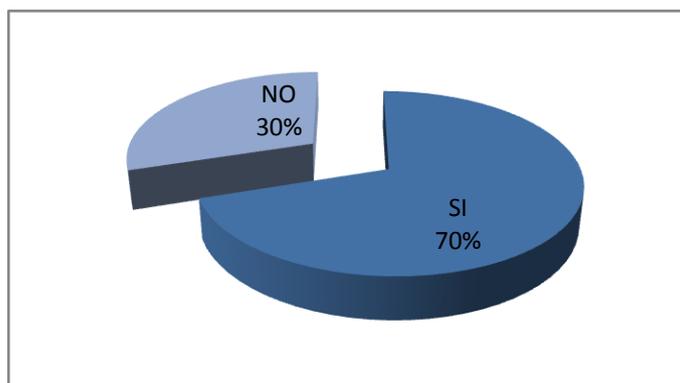


Figura 4.3. Molestias al usuario

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Mediante la observación a los diversos usuarios del Departamento se obtiene que al 70% de los usuarios le causa molestias y pérdida de tiempo, mientras que el 30% no se ve afectado.

4.1.2. Verificación de la Hipótesis

Para la verificación de la hipótesis, trabajaremos con los datos de la cantidad de trámites que realiza el Departamento de Turismo semanalmente, relacionándolos con las semanas normales de trabajo y las semanas anteriores a días feriados donde el número de trámites realizados es mucho mayor.

Uno de los principales problemas para el retraso de trámites fue los cortes de energía de 3 horas debido al déficit en el 2009.

Verificaremos si nuestra hipótesis soluciona este problema.

- *En una semana de cortes de energía*

En una emergencia energética se hacen cortes de 3 horas diarias. En el Departamento de Turismo del Municipio de Baños de Agua Santa, se laboran los 7 días de la semana, de los cuales los días de realización de trámites son de Lunes a Viernes.

Conectados a la red convencional de energía eléctrica

Conectados a la red convencional	
	# tramites
Semana normal	20
Semana anterior a feriado	40

Tabla 4.4. Trámites realizados conectados a la red convencional

Conectados a un sistema híbrido eólico-fotovoltaico cuando

Conectados al sistema híbrido	
	# tramites
Semana normal	35
Semana anterior a feriado	70

Tabla 4.5. Trámites realizados conectados al sistema híbrido

	Sin Sistema híbrido	Con sistema Híbrido
Semana normal	20	35
Semana anterior a feriado	40	70

Tablas 4.6. Unificación de resultados

Fo	Fe	(fo-fe)	(fo-fe)²	(fo-fe)²/fe
20	35	-15	225	6,42857143
40	70	40	1600	22,8571429
			X²	29,2857143

Tabla 4.7. Cálculo de Ji cuadrado

- **Definición del nivel de significación**

Este valor hace referencia al nivel de confianza que deseamos que tengan los cálculos de la prueba; es decir, si queremos tener un nivel de confianza del 95%, el valor de alfa debe ser del 0.05, lo cual corresponde al complemento porcentual de la confianza.

El nivel de significación escogido para la investigación es del 5%.

$\alpha = 0.05$

- **Grado de libertad**

Grado de libertad = (Renglones - 1) (columna -1)

$$Gl = (r-1) (c-1)$$

$$Gl = (2 - 1)(2 - 1)$$

$$Gl = 1$$

Con el nivel de significación y grado de libertad obtenidos, tomamos el valor del Anexo 1.

χ^2	
	# tramites
tabulado	3,84
sin tabular	29,28

Tabla 4.8. Valores de Ji tabulado y sin tabular

Decisión:

El valor de $X^2_t = 3,84$ (Anexo Nro12) $< X^2_c = 29,28$

Por consiguiente se acepta la hipótesis alterna. Y se rechaza la hipótesis nula.

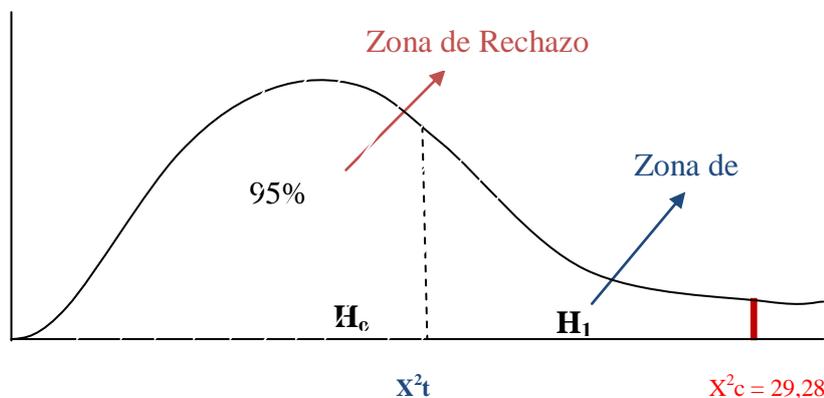


Figura 4.4. Curva de Ji Cuadrado para comprobación de hipótesis

4.1.3. Requerimiento energético

Cálculo de la energía eléctrica diaria requerida.

Para el cálculo de carga del Departamento de Turismo, se realiza un registro de los equipos eléctricos que posee el Departamento en su actual ubicación, más la cantidad de luminarias de las instalaciones que ocuparán posteriormente.

En el Anexo Nro.1 se puede apreciar los planos de las próximas instalaciones del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños, del cual pudimos obtener la cantidad de luminarias.

Cargas del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa

CARGAS AC					
Carga	Cantidad	Potencia c/u (W)	Potencia Total (W)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo kWh/día
1	Secadora de manos	100	100	1	100
1	Impresora	47,7	47,7	2	95,4
4	Computadoras	300	1200	8	9600
1	DVD	300	300	1	300
1	TV	300	300	2	600
2	Teléfono inalámbrico	6,6	13,2	12	158,4
1	Fax	150	150	2	300
46	iluminación interna	15	690	8	5520
19	iluminación externa	30	570	5	2850
	TOTAL		3370,9		19523,8

Tabla 4.9: Requerimiento diario de energía eléctrica (CA)

Realizado por: Vanessa Herrera

Con la información de las tablas de Requerimiento diario de energía, podemos determinar el consumo diario total y el total de carga instalada.

$$\text{Consumo diario total} = \text{consumo de cargas CA} + \text{consumo de cargas DC}$$

$$\text{Consumo diario total} = 19523,8 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Carga instalada} = 3370,9\text{W}$$

Análisis

El Departamento de Turismo posee solo cargas de AC, conformada por la partes de iluminación y por equipos de cómputo y Tv que posee la Institución, conociendo la

potencia que requieren estos equipos y la hora de uso diaria hemos determinado que el consumo diario de potencia es de *19523,8 Wh/día*.

4.1.4. Ubicación Geográfica del Proyecto

- **Descripción de la zona**

Baños de Agua Santa

La ciudad de Baños de Agua Santa se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua solamente a 180 Km de Quito y 35 Km de Ambato. La ciudad turística de Baños está ubicada en un valle con cascadas y aguas termales junto al volcán Tungurahua con una altura de 5.016 metros, ubicado a 25 km al este de la ciudad de Ambato.

- **Datos geográficos:**

Altitud	1.820 metros sobre el nivel del mar
Coordenadas	1°23'51,21'' S - 78°25'27,5'' W
Superficie	1.073 kilómetros cuadrados.
Clima	Templado – húmedo
Temperatura promedio	16 a 24 grados centígrados

Tabla 4.10: Datos Geográficos de Baños de Agua Santa

Fuente: Google Earth



Figura 4.5: Ubicación Geográfica de Baños de Agua Santa

Fuente: Google Earth

- **Situación social:**

POBLACIÓN		EXTENSIÓN	DENSIDAD	HOMBRES	MUJERES
Total	%	Km ²	Hab/ Km ²		
16112	3,7	1064,60	15,1	8041	8071

Tabla 4.11: Población de la ciudad de Baños de Agua Santa

Fuente: INEC: Resultados definitivos del VI Censo de Población (año2001)

- **Situación económica:**

La ciudad de Baños de Agua Santa es uno de los centros turísticos más completos del Ecuador, posee una importante oferta turística, naturaleza única y biodiversa, gente amable y acogedora, el lugar ideal para visitar. Por tal motivo los ingresos económicos de la mayor parte de pobladores de la ciudad es de manera directa o indirecta fruto del trabajo en el sector turístico.

4.1.5. 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 mismo consta de atlas mensuales del año 2008, los cuales se pueden ver en el Anexo Nro. 2

.INSOLACIÓN GLOBAL	
AÑO 2008 [Wh/m² día]	
Enero	4350
Febrero	4200
Marzo	4200
Abril	3900
Mayo	3750
Junio	3750
Julio	3900
Agosto	3900
Septiembre	4650
Octubre	4650
Noviembre	4800
Diciembre	4650
PROMEDIO	4225

Tabla 4.12: Insolación global para la zona de Baños de Agua Santa

Realizado por: Vanessa Herrera



Figura 4.6. Grafica de la insolación global
Realizado por: Vanessa Herrera

Como otra fuente hemos tomado datos del INAMHI, como no se registran datos de heliofanía de la estación Baños, tomaremos los datos de la Estación-Querochaca (UTA), que es una de las más cercanas y a su vez tiene todos los datos de Heliofanía mensuales requeridos para el análisis, las mediciones de los anuarios de pueden ver en el Anexo Nro. 3.

Datos de Heliofanía de la Estación-Querochaca (UTA)

En el siguiente cuadro se presentan datos recopilados desde el año 2004 hasta el 2008. Expresado en número de horas de brillo solar al mes.

ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL					
ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEROCHACA (UTA)					
HELIOFANÍA (horas/meses)					
MES	AÑO				
	2004	2005	2006	2007	2008
Enero	232,0	179,0	129,5	109,2	132,2
Febrero	110,7	125,9	130,5	167,1	103,8
Marzo	118,6	106,5	109,3	80,8	106,7
Abril	128,7	112,3	134,7	97,2	141,0
Mayo	124,0	134,9	161,5	148,2	115,1
Junio	116,2	129,3	101,2	80,2	128,5
Julio	117,1	194,8	114,1	171,1	111,6
Agosto	138,6	140,2	121,6	122,3	112,9
Septiembre	126,2	150,5	142,0	73,6	128,9
Octubre	144,9	143,8	159,7	147,5	150,5
Noviembre	146,4	168,4	101,4	129,7	152,1
Diciembre	190,5	134,9	113,2	107,8	145,7
Valor Anual	1693,9	1720,5	1518,7	1434,7	1529,0

Tabla 4.13. Estadística mensual y anual de heliofanía estación Querochaca
Realizado por: Vanessa Herrera

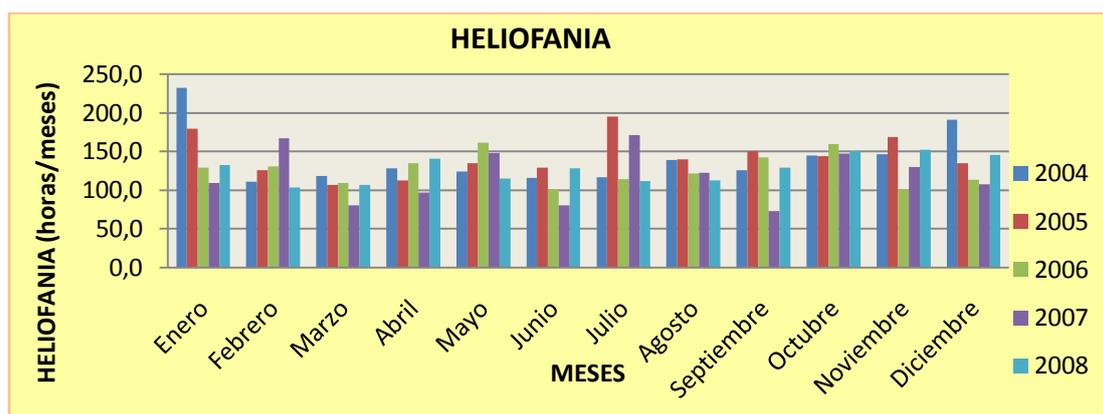


Figura 4.7. Grafica de heliofanía desde el año 2004 al 2008 de la estación Querochaca expresado en horas/meses
Realizado por: Vanessa Herrera

La siguiente tabla muestra el número de horas promedio diarias de brillo solar, de cada mes.

ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL						
ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEROCHACA (UTA)						
HELIOFANÍA (horas/día)						
MES	AÑO					PROMEDIO
	2004	2005	2006	2007	2008	
Enero	7,5	5,8	4,2	3,5	4,3	5,0
Febrero	4,0	4,5	4,7	6,0	3,7	4,6
Marzo	3,8	3,4	3,5	2,6	3,4	3,4
Abril	4,3	3,7	4,5	3,2	4,7	4,1
Mayo	4,0	4,4	5,2	4,8	3,7	4,4
Junio	3,9	4,3	3,4	2,7	4,3	3,7
Julio	3,8	6,3	3,7	5,5	3,6	4,6
Agosto	4,5	4,5	3,9	3,9	3,6	4,1
Septiembre	4,2	5,0	4,7	2,5	4,3	4,1
Octubre	4,7	4,6	5,2	4,8	4,9	4,8
Noviembre	4,9	5,6	3,4	4,3	5,1	4,7
Diciembre	6,1	4,4	3,7	3,5	4,7	4,5

Tabla 4.14. Estadística mensual y anual-estación Querochaca expresada en horas/día
Realizado por: Vanessa Herrera

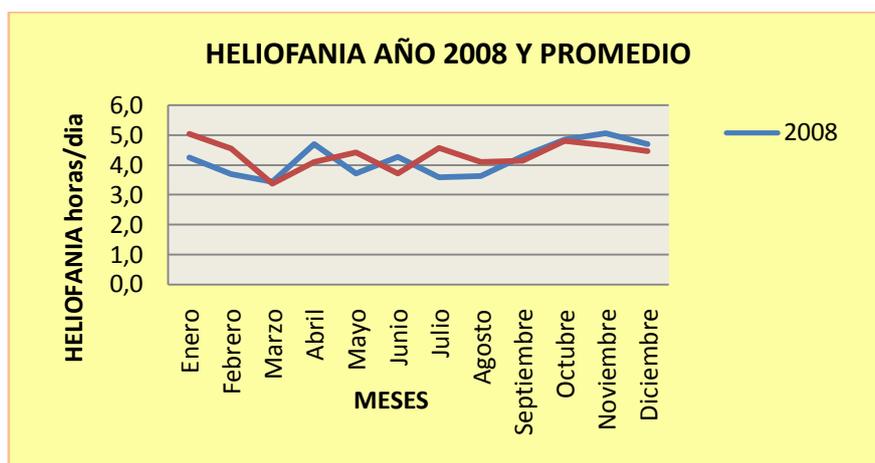


Figura 4.8. Grafica de heliofanía desde el año 2004 al 2008 de la estación Querochaca expresada en horas/día
Realizado por: Vanessa Herrera

Análisis

Para el siguiente análisis contamos con datos recogidos por el INAMHI y por el CONELEC, de los cuales podemos deducir:

- Irradiación global promedio del año 2008 es igual a 4225 Wh/m²/día
- Heliofanía desde el año 2004 hasta 2008, cuyo promedio es 4,3 (horas/día)

Introducimos el concepto de horas pico solar HPS (h), definido como las horas luz solar por días equivalentes, en base a una irradiación I (KW/m²) constante de 1 KW/m², a cual está siempre medida la potencia de los paneles solares.

La irradiación H (KWh/m²) es igual al producto de la irradiación I (KW/m²) por las horas HPS (h), como $I \text{ (KW/m}^2\text{)} = 1 \text{ KW/m}^2$, los valores numéricos de la irradiación y las horas de pico HPS (h) son iguales.

Como disponemos de los datos de irradiación solar los dividimos para la constante y obtenemos las HPS.

$$HPS (h) = \frac{\left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{I \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}$$
$$HPS (h) = \frac{4225 \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{1000 \left(\frac{Wh}{m^2}\right)} = 4,23 \text{ h.}$$

Tenemos un valor de HPS=4,23 h resultado de procesar datos del CONELEC, que se asemeja a los 4,3 h del INAMHI, por lo cual para próximos cálculos podemos tomar el valor de HPS=4 horas.

4.1.6. Estudio eólico de la zona

La representación de los recursos eólicos disponibles se logra a través de los mapas eólicos o mapas de viento. Generalmente estos mapas se suelen presentar de dos formas: mediante líneas de isoviento o isodensidad de potencia y mediante zonas coloreadas en función de la velocidad media del viento o la densidad de potencia media.

Lamentablemente en nuestro país aún no contamos con un mapa eólico que contribuya al estudio de tecnologías de energías renovable.

Para la realización de la investigación, se consideró el mapa eólico diseñado por los Ingenieros Chamorro Quitama Edmundo Javier y Muyulema Mazaquiza Braulio David en su trabajo de investigación.

Los mapas de vientos del Ecuador se pueden ver en el ANEXO Nro. 4.

Dirección del viento

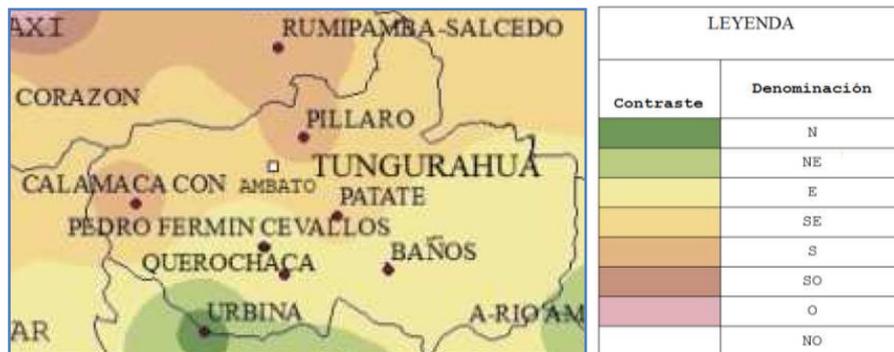


Figura 4.9. Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa de dirección de viento

Velocidad máxima del viento

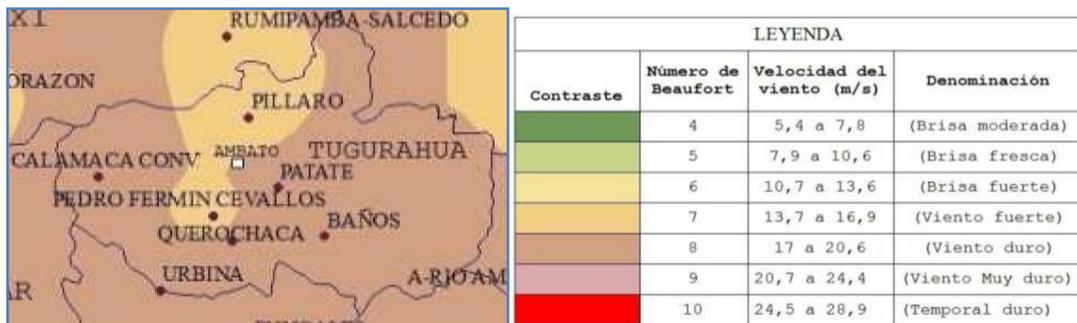


Figura 4.10. Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa velocidad máxima del viento

Velocidad media del viento

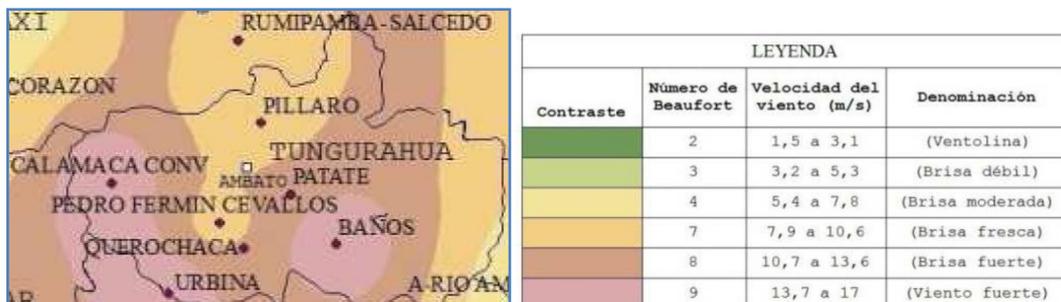


Figura 4.11. Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa Velocidad media del viento

Velocidad mínima del viento

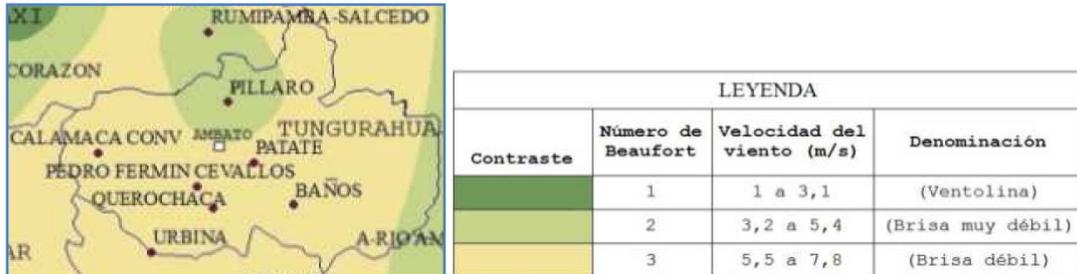


Figura 4.12. Acercamiento a la provincia de Tungurahua del mapa velocidad mínima del viento

Análisis

De los mapas de viento podemos deducir lo siguiente:

- Dirección del viento al Este
- Velocidad máxima del viento desde 17 a 20,6 m/s denominado como viento duro según la escala de Beaufort.
- Velocidad media del viento desde 13,7 a 17 m/s considerado como viento fuerte.
- Velocidad mínima del viento desde 5,5 a 7,8 denominada como brisa débil.

Estos parámetros muestran que la zona de Baños de Agua Santa posee un gran recurso eólico que se puede aprovechar

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, pronto se cambiará de instalaciones físicas, apartadas del Municipio, requiriendo que esta edificación remodelada cuente con un suministro de energía sin interrupciones, para realizar un trabajo eficiente.

- Como Departamento de Turismo, tiene gran trascendencia la de impulsar proyectos con responsabilidad ambiental, por tal motivo se propone la utilización de energías renovables, en este caso el aprovechamiento del recurso solar y eólico de la zona.

- La utilización de estos dos recursos en un sistema híbrido nos proporcionará energía eléctrica sin interrupción, además fomentará el uso de energías renovables y cuidado del medio ambiente.

- Los estudios eólicos y solares del cantón Baños de Agua Santa, indican que son aptos para su aprovechamiento.

5.2. Recomendaciones

- Para obtener independencia de energía eléctrica de la red convencional se recomienda el uso de energías renovables.
- Realizar el estudio del recurso renovable que se desea aprovechar es de gran importancia y es el primer paso a realizar para dimensionar de manera adecuada y hacer confiable al sistema.
- La demanda energética del Departamento de Turismo es elevada, por lo cual se recomienda el uso de dos generadores de energía para que se complementen dándole más confiabilidad al sistema de generación de energía eléctrica.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Datos Informativos

Tema:

Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa

La siguiente propuesta se diseñó para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa, cuya dirección es Montalvo y 16 de Diciembre, en el cantón Baños de Agua Santa de la provincia de Tungurahua.

6.2. Antecedentes de la Propuesta

El principal problema que se ha encontrado en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa cuando existen cortes en energía eléctrica debido al déficit que sufrió el país y a fallas en el sistema, es el retraso en la reserva de paquetes turísticos, además de la paralización de los diversos trámites que se realizan en el mismo, los cuales son de gran importancia para el desarrollo turístico del cantón.

Esta situación se presenta porque no se posee un sistema auxiliar de generación de energía eléctrica que pueda abastecer a la entidad y le permita trabajar y atender a los usuarios de la mejor manera.

Luego de haber realizado la investigación acerca del problema podemos darnos cuenta de la actualmente no se han realizado cortes de energía, pero eso no garantiza que en el futuro volvamos a tener problemas de déficit en esta área, además los cortes por problemas en el sistema suelen darse.

6.3. Justificación

Es importante realizar esta propuesta porque brinda la posibilidad de analizar la utilización energías renovables para la generación de energía eléctrica, que además de proporcionar la energía requerida, permite un ahorro monetario y aporta con el medio ambiente.

Esta investigación nos permite analizar las condiciones climáticas de la zona, que es de gran importancia para determinar si existen los recursos solares y eólicos necesarios para la implementación de sistemas que permitan su aprovechamiento en este caso un sistema híbrido.

Diseñar un sistema híbrido eólico-fotovoltaico es importante porque nos permite demostrar que estas dos fuentes de energía al trabajar de manera integrada nos garantiza la continuidad del servicio eléctrico en las instalaciones del Departamento de Turismo.

Es de gran importancia que el presente estudio despierte el interés de varias entidades, y fomente el estudio e implementación de tecnologías limpias en sus edificaciones e incluso solucionar el problema de falta de energía eléctrica en lugares inaccesibles para la red eléctrica nacional.

Es importante realizar este proyecto ya que no daría una solución a la paralización de trámites causada por los cortes de energía eléctrica, permitiendo así el correcto funcionamiento del Departamento y la mejor prestación de servicios a la comunidad.

6.4. Objetivos

6.4.1. Objetivo general

Diseñar de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.

6.4.2. Objetivos específicos

- Demostrar que las condiciones físicas del lugar; los recursos eólicos y solares son aptos para la realización del diseño del sistema híbrido eólico-fotovoltaico.
- Determinar cuáles son los requerimientos energéticos del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños.
- Calcular los diferentes parámetros necesarios para la correcta elección de equipos, que pueden ser parte del sistema.

- Estudiar las características, costos e instalación de los diferentes equipos necesarios para el diseño del sistema.

6.5. Análisis de Factibilidad

6.5.1. Factibilidad Técnica

La propuesta proyectada sobre el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico 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 para la institución.

6.5.2. Factibilidad Operativa

Desde el punto de vista operativo es factible la propuesta debido a que el Departamento de Turismo de Baños de Agua Santa cuenta con instalaciones físicas suficientes para la implementación del sistema.

6.5.3. Factibilidad Económica

La propuesta planteada tiene factibilidad económica, ya que el Municipio de la ciudad cuenta con un presupuesto anual para cumplir proyectos. Además este proyecto se puede ver como una inversión que a largo plazo beneficiará al Municipio.

6.5.4. Factibilidad Administrativa

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)	12	35	420
2	Flash Memory de 2GB	1	10	10
3	Impresiones	1000	0,1	100
4	Copias	500	0,03	15
5	Carpetas	8	0,3	2,4
6	Anillado	3	2	6
7	Transporte urbano	200	0,2	40
8	Transporte intercantonal	50	0,8	40
9	Transporte interprovincial	10	3,5	35
10	Alimentación	30	2	60
11	Varios	1	80	80
			TOTAL	808,40

Tabla 6.1. Recursos Materiales
Realizado por: Vanessa Herrera

6.6. Fundamentación

6.6.1. Datos

Para que el sistema híbrido sea fiable, obtuvimos los datos de radiación solar y de velocidad del viento de la zona en el capítulo IV, con estos datos determinamos el peor mes y dimensionamos el sistema para que trabaje en las condiciones eólicas y solares menos favorables.

6.6.1.1. Carga Instalada y Energía Necesaria

Calculados en el capítulo IV:

$$\text{Consumo diario total} = 19523,8 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Carga instalada} = 3370,9\text{W}$$

6.6.1.2. Días de Autonomía

Se denominan días de autonomía a los 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 en las baterías.

Días de autonomía $n=3$

Se toma este valor ya que en días de sombra no se podrá obtener toda la energía requerida, los tres días de autonomía garantiza el suministro continuo de energía de nuestro sistema.

6.6.1.3. Tensión Nominal de la Instalación

La tensión nominal de nuestro sistema es de 48V, en vista de que nuestro sistema excede los 3kW

6.6.1.4. Datos de radiación solar

Radiación Solar para la ciudad de Baños de Agua Santa

Realizando varios cálculos, obtuvimos la radiación solar sobre un plano inclinado, de los 12 meses del año. Tomamos datos del Instituto de Electrotecnia y Energía del Instituto Especializado de la Universidad de Sao Paulo y del Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad.

- **Cálculo de promedio de la radiación diaria disponible**

Calcularemos la Irradiación extraterrestre (H_{so}^e) y la Irradiación del plano inclinado (H_s) de la zona, mediante el siguiente procedimiento:

* Para los cálculos se debe considerar los días medios de cada mes del año.

Cálculos para el mes de Enero:

Declinación del sol

$$\delta_s = 23,45 \times \text{Sen} \left(360 \times \frac{284 + J}{365} \right)$$

$$\delta_s = 23,45 \times \text{Sen} \left(360 \times \frac{284 + 15}{365} \right)$$

$$\delta_s = 23,45 \times (-0,907)$$

$$\delta_s = -21.2695^\circ$$

Angulo horario de la puesta del sol

$$\omega_{s,p} = \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta_s)$$

Donde ϕ es la latitud de Baños de Agua Santa igual a $1^\circ 23' 51,21''$ S, para este cálculo, debemos convertirla a grados:

$$\text{total min} = \frac{\text{seg de la latitud}}{60} \text{min} + 23 \text{min} = 23,8535$$

$$\text{total min} = \frac{51,21}{60} + 23 = 23,8535$$

$$\text{total grados} = \frac{\text{total min}}{60} + 1$$

$$\text{total grados} = \frac{23,8535}{60} + 1 = 1,3975^\circ$$

$$\omega_{s,p} = \cos^{-1}[-\tan 1,3975 \times \tan (-21.2695^\circ)]$$

$$\omega_{s,p} = 89,4559^\circ$$

Factor FTS

$$F_{TS} = 1 + 0,034 \times \cos \left(\frac{360 \times J}{365,25} \right)$$

$$F_{TS} = 1 + 0,034 \times \cos \left(\frac{360 \times 15}{365,25} \right)$$

$$F_{TS} = 1,0329$$

Irradiación en la cima de la atmósfera

$$H_{so}^e = \frac{24}{\pi} \times S_s \times F_{TS} \times [(\omega_{s,p} \times \text{sen}\phi \times \text{sen}\delta_s) + (\text{cos}\phi \times \text{cos}\delta_s \times \text{sen}\omega_{s,p})]$$

Donde S_s es la constante solar que es aproximadamente $4,9256 \text{ J/m}^2$.

$$H_{so}^e = \frac{24}{\pi} \times 4,9256 \times 1,0329 \\ \times \left\{ \left[\left(89,3559 \times \frac{\pi}{180} \right) \times \text{sen}(1,3975) \times \text{sen}(-21,2695) \right] \right. \\ \left. + [\text{cos}(1,3975) \times \text{cos}(-21,2695) \times \text{sen}(89,3559)] \right\}$$

$$H_{so}^e = 35,6692 \text{ MJ/m}^2 \text{ dia}$$

Para transformar a KWh/m^2 , partimos de:

$$\text{Energia} = \text{Potencia} \times \text{tiempo}$$

$$E(J) = P(W) \times t(s)$$

$$1\text{kW} \times h = 1000W \times 3600s$$

$$1\text{kW} \times h = 3,6 \times 10^6 \text{Julios} = 3,6\text{MJ}$$

$$1\text{MJ} = \frac{1\text{kWh}}{3,6}$$

$$35,6692\text{MJ} = \frac{35,6692\text{kWh}}{3,6} = 9,9081 \text{ kWh}$$

$$H_{so}^e = 9,9081 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia}$$

Irradiación en el plano inclinado

Se utilizara una inclinación ($\beta_c = 15^\circ$) y un albedo ($\rho' = 0.2$)

$$\omega'_{s,p} = \min\{\omega_{s,p}, \cos^{-1}[-\tan(\phi - \beta_c) \times \tan(\delta_s)]\}$$

$$\omega'_{s,p} = \min\{89,4559^\circ, \cos^{-1}[-\tan(1,3975 - 15) \times \tan(-21,2695)]\}$$

$$\omega'_{s,p} = \min\{89,4559^\circ, 95,4048^\circ\}$$

$$\omega'_{s,p} = 89,4559^\circ$$

ϕ es la latitud del lugar y β_c el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico.

$$K_T = \frac{H_{so}}{H_{so}^e}$$

Donde H_{so} es la radiación global en el cantón para el mes de enero

$$K_T = \frac{4,350}{9,9081} = 0,4390$$

$$\frac{H_{s,d}}{H_s} = 0,775 + 0,347 \left(\omega_{s,p} - \frac{\pi}{2} \right) - \left[0,505 + 0,0261 \left(\omega_{s,p} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \cos (2K_T - 1,8)$$

$$\frac{H_{s,d}}{H_s} = 0,775 + 0,347 \left(89,4559 - \frac{\pi}{2} \right) - \left[0,505 + 0,0261 \left(89,4559 - \frac{\pi}{2} \right) \right] \cos (2(0,4390) - 1,8)$$

$$\frac{H_{s,d}}{H_s} = 0,4667$$

Para el cálculo de R_B no hemos basado en las siguientes tablas del ANEXO 5.

Obteniendo los siguientes resultados:

$\varphi(^{\circ}), \beta(^{\circ})$	10	15	20
0,0	0,880	0,810	0,740
1,3	0,885	0,818	0,750
2,5	0,890	0,825	0,760
3,8	0,895	0,833	0,770
5,0	0,900	0,840	0,780

Tabla 6.2. Cálculo de R_B para el mes de Enero
Realizado por: Vanessa Herrera

Los resultados obtenidos de R_B de los 11 meses restantes se muestran en el ANEXO Nro. 6.

$$R_A = \left[(1 - H_{s,d}/H_s) R_B \right] + \left[\frac{H_{s,d}/H_s (1 + \cos \beta_c)}{2} \right] + \left[\frac{\rho' (1 - \cos \beta_c)}{2} \right]$$

$$R_A = \left[(1 - 0,4667) 0,818 \right] + \left[\frac{0,4667 (1 + \cos 15)}{2} \right] + \left[\frac{0,2 (1 - \cos 15)}{2} \right]$$

$$R_A = \frac{H_s}{H_{s0}} = 0,8984$$

$$H_s = R_A \times H_{s0}$$

$$H_s = 0,8984 \times 4,35 = 3,9080 \text{ KWh/m}^2$$

La tabla elaborada en Excel se puede apreciar los valores de insolación en el plano inclinado de todos los meses.

Para estos cálculos nos basamos en el libro *Tecnología Solar* de IBÁÑEZ PLANA, M

	J	Declinación $\delta_s(^{\circ})$	Angulo horario puesta del sol $\omega_{s,p}(^{\circ})$	Factor F_{TS}	Irradiación cima de atmósfera H_{so}^e [KWH/m2 día]	Coefficiente corrección R_B	Radiación Global plano Horizontal H_{so}	Radiación Global plano inclinado H_s [KWH/m2 dia]
Enero	15	-21,2695	89,4559	1,0329	9,9081	0,818	4,35	3,9080
Febrero	46	-13,2892	89,6699	1,0239	10,3185	0,876	4,2	3,9156
Marzo	76	-2,0159	89,9508	1,0089	10,5211	0,955	4,2	4,0843
Abril	107	10,1486	90,2502	0,9909	10,2626	1,036	3,9	3,9460
Mayo	137	19,2636	90,4885	0,9759	9,7563	1,111	3,75	3,9301
Junio	168	23,3873	90,6045	0,9671	9,4293	1,143	3,75	3,9944
Julio	198	21,1837	90,5417	0,9672	9,5639	1,123	3,9	4,1206
Agosto	229	13,1224	90,3258	0,9763	10,0238	1,066	3,9	4,0044
Septiembre	259	1,8147	90,0443	0,9914	10,3664	0,985	4,65	4,5917
Octubre	290	-10,3302	89,7452	1,0093	10,3029	0,901	4,65	4,3803
Noviembre	320	-19,3780	89,5084	1,0242	9,9603	0,833	4,8	4,3269
Diciembre	351	-23,4012	89,3951	1,0330	9,7424	0,803	4,65	4,1151

Tabla 6.3. Resultados obtenidos del cálculo de insolación sobre un plano inclinado.

Realizado por: Vanessa Herrera

Determinación del mes más desfavorable.

Basándonos en los datos obtenidos de la tabla. Podemos deducir que el mes más desfavorable es mes de enero con un valor de irradiación de 3,9080 [KWH/m² día].

6.6.1.5. Datos de velocidad del viento

- Velocidad máxima desde 17 a 20,6 m/s
- Velocidad media desde 13,7 a 17 m/s
- Velocidad mínima desde 5,5 a 7,8 m/s

6.6.2. Dimensionamiento del Sistema

6.6.2.1. Capacidad del Sistema

Energía TOTAL=19523,8 Wh/día

Carga instalada= 3370,9 W

Voltaje nominal del sistema= 48V

Degradación del Sistema=10%

Reserva futura=10%

La capacidad necesaria del sistema es igual a la energía total necesaria para el voltaje nominal del sistema:

$$Cap = \frac{E_T \text{ [Wh/día]}}{V_n \text{ [V]}}$$
$$Cap = \frac{19523,8 \text{ Wh/día}}{48V}$$
$$Cap = 406,75 \text{ Ah/día}$$

Capacidad Efectiva:

$$Cap_{efec} = \frac{Cap}{(1 - D)}$$
$$Cap_{efec} = \frac{406,75 \text{ Ah/día}}{(1 - 10\%)}$$
$$Cap_{efec} = 451,95 \text{ Ah/día}$$

Capacidad Total:

$$Cap_T = \frac{Cap_{efec}}{(1 - R_{fut})}$$

$$Cap_T = \frac{451,95 \text{ Ah/día}}{(1 - 10\%)}$$

$$Cap_T = 502,16 \text{ Ah/día}$$

6.6.2.2. Subsistema de Acumulación

Banco de Baterías

Días de autonomía n=3

Capacidad del Banco de Baterías

$$Cap_{BAT} = \frac{Cap_T \times n}{PDD}$$

$$Cap_{BAT} = \frac{502,16 \times 3}{0,6}$$

$$Cap_{BAT} = 2510,8 \text{ Ah}$$

Donde PDD es la profundidad de descarga de la batería

Existe una gran variedad de marcas de baterías en el mercado, siendo las más adecuadas para este sistema las baterías estacionarias ya que están diseñadas para poder ser descargadas lentamente y volver a recargarse cuando existan disponibilidades energéticas.

De las diversas marcas existentes, recomendamos elegir la batería que más se ajuste al sistema, para que no tengamos un número excesivo de baterías, y para que el costo tampoco se exceda mucho.

Para este diseño se seleccionó la MARCA SUNLIGHT.

Datos Técnicos de baterías SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250³²

³² http://www.sunlight.gr/uploads/2V_18_OPZS_2250.pdf

Características técnicas	
Capacidad (Ah)	2574
Voltaje nominal (V)	2
Eficiencia de batería	95%
Profundidad de descarga	60%
Temperatura de operación	25°
Vida de diseño	>15 años

Tabla 6.4. Características Técnicas de la batería SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250

Dimensiones y peso	
Longitud (mm)	487
Anchura (mm)	212
Altura (mm)	797
Peso (Kg)	184

Tabla 6.5. Dimensiones y peso de la batería SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250

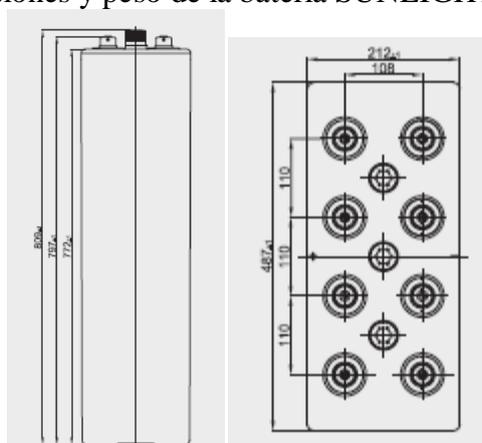


Figura 6.1. Dimensiones y peso de la batería SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250

Dimensionamiento:

Número de baterías en serie

$$NB_s = \frac{V_n}{Vn_{BAT}}$$

$$NB_s = \frac{48 V}{2 V}$$

$$NB_s = 24$$

Número de baterías en paralelo

$$NB_p = \frac{Cap_{BAT}}{AH_{BAT}}$$

$$NB_p = \frac{2510,8 Ah}{2574 Ah}$$

$$NB_p = 0,975 \approx 1$$

Número total de baterías

$$NB_T = NB_s \times NB_p$$

$$NB_T = 24 \times 1$$

$$NB_T = 24$$

Capacidad total del banco de baterías

$$Cap_{bancoT} = NB_p \times AH_{bat}$$

$$Cap_{bancoT} = 1 \times 2574$$

$$Cap_{bancoT} = 2574Ah$$

Se debe cumplir

$$Cap_{bancoT} \geq Cap_{BAT}$$

$$2574Ah \geq 2510,8Ah$$

6.6.2.3. Subsistema 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. Buscaremos, por tanto, un aerogenerador que nos ofrezca los mejores rendimientos a la velocidad media de viento. Considerando el valor obtenido del mapa eólico del Ecuador:

- Velocidad mínima del viento desde 5,5 a 7,8 m/s
- Velocidad media del viento desde 13,7 a 17 m/s
- Velocidad máxima del viento desde 17 a 20,6 m/s

Hemos 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	Pmax	Voltaje nominal	Velocidad de arranque (m/s)	Velocidad Potencia nominal (m/s)
Horizontal	500 W	12 V	3	8
Horizontal	1500 W	24V	4	9
Horizontal	1500 W	48 V	4	9

Tabla 6.6: Aerogeneradores marca EXMORK³³

Recomendamos el aerogenerador EXMORK, ya que existen varios proyectos realizados en el Perú y 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 lo deseamos instalar.

Características técnicas del Aerogenerador EXMORK de 1kW³⁴

Características técnicas	
Potencia nominal	1000 W
Potencia máxima	1500 W
Voltaje nominal	48 V
Diámetro de rotor	2,8 m
Velocidad de Potencia Nominal	8 m/s
Velocidad de arranque	2,5 m/s
Velocidad de trabajo	3-25m/s
Altura de la torre	9 m
Vida útil	15 años

Tabla 6.7. Características Técnicas de Aerogenerador EXMORK 1kW

³³ www.proviento.com.ec

³⁴ <http://www.proviento.com.ec/HM2.8-1KW%20Operation%20manual.pdf>

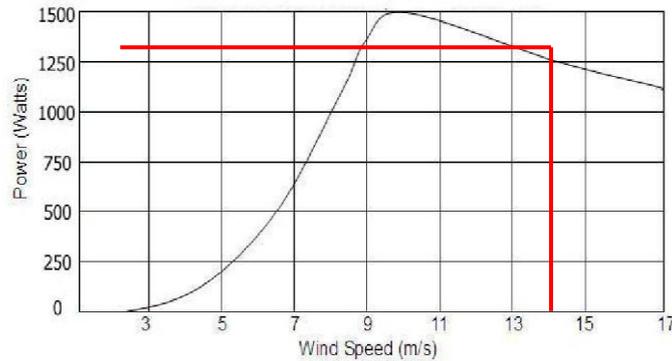


Figura 6.2. Grafica de la potencia del aerogenerador EXMORK 1kW

En el CAPITULO IV deducimos que velocidad media del viento en Baños de Agua Santa es de 13 m/s, el aerogenerador elegido una potencia de 1kW y a los 13m/s da una potencia de unos 1300W

Energía que genera el aerogenerador

Si tenemos 1300w/h tenemos que multiplicar por 24 horas del día para saber cuánta potencia podemos conseguir al día.

Considerando que existirán horas de poco viento, asumiremos que el aerogenerador funcionara 11h.

$$E_{aero} = Pot_{aero} \times horas$$

$$E_{aero} = 1300W \times 11h$$

$$E_{aero} = 14300Wh/día$$

Controlador para el Aerogenerador

Selección del controlador

Se recomienda un controlador marca EXMORK, tomando en cuenta el voltaje nominal del sistema de 48 V, 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
- Tecnología PWM (Pulse Wide Modulation)
- Posee disipador de energía

- Visores de voltaje y corriente
- Voltaje constante 48V
- Banca de batería mínima: 800Ah



Figura 6.3. Controlador de carga EXMORK

6.6.2.4. Subsistema Fotovoltaico

Paneles Fotovoltaicos

El aerogenerador producirá 14300Wh/día del consumo total que es 19523,8 Wh/día. Esto es un 70% del consumo, entonces deberíamos generar el 30% restante con los paneles fotovoltaicos.

Para asegurar y garantizar nuestro sistema dimensionaremos los paneles para el 40% del consumo total que es 7809,52 Wh/día.

$$E_{\text{paneles}} = 7809,52 \text{ Wh/día}$$

En los datos de radiación solar, deducimos que el mes de peor radiación solar global sobre un plano inclinado es Enero con 3,9080 [KWH/m² día].

Cálculo de I_m , la corriente máxima al día que debe suministrar el campo de paneles para la instalación con voltaje nominal de 48 V y con radiación global sobre el plano inclinado, obtenidos en la tabla 10 para una inclinación de p de 15° y albedo de 0,2.

Meses	H _s (kWh/m ² día)	Energía Total (Wh/día)	Corriente Máxima (A)
Enero	3,908	7809,52	41,63
Febrero	3,9156	7809,52	41,55
Marzo	4,0843	7809,52	39,84
Abril	3,946	7809,52	41,23
Mayo	3,9301	7809,52	41,40
Junio	3,9944	7809,52	40,73
Julio	4,1206	7809,52	39,48
Agosto	4,0044	7809,52	40,63
Septiembre	4,5917	7809,52	35,43
Octubre	4,3803	7809,52	37,14
Noviembre	4,3269	7809,52	37,60
Diciembre	4,1151	7809,52	39,54

Tabla 6.8. Cálculo de Imax máxima al día que debe suministrar el campo de paneles
Realizado por: Vanessa Herrera

Im para el mes de Enero:

$$Im = \frac{E_{total} \times 1kW/m^2}{H_s \times Vn}$$

$$Im = \frac{7809,52W/m \times 1kW/m^2}{3,9080kW/m^2 \times 48V}$$

$$Im = 41,63A$$

Para el cálculo de los diferentes equipos se trabaja con la Im del peor mes en este caso con 41,63 A, obtenidos del mes enero.

Para compensar las pérdidas que se dan en el regulador y acumulador, debemos multiplicar Im por 1,2 que equivale al 12 %, que será el valor que estimamos se perdería en los demás equipos.

$$Im_{max} = Im \times 1,2$$

$$Im_{max} = 41,63 \times 1,2$$

$$I_{m_{max}} = 49,96 A$$

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	Pmax	Vmax sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Policrst.	KD135 GH-2PU	12V	135W	1000V	1500	668	46	12.5
Policrst.	FC130G X-2P	12V	130W	750V	1468	695	22.5	10.5

Tabla 6.9. Paneles fotovoltaicos marca Kyocera

Realizado por: Vanessa Herrera

Marca: EXMORK							
Tipología	Voltaje nominal	Pmax	Vmax sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Policrst.	24V	150W	1000V	1190	992	35	35

Tabla 6.10. Paneles fotovoltaicos marca EXMORK

Realizado por: Vanessa Herrera

Marca: SUNTECH								
Tipología	Modelo	Voltaje nominal	Pmax	Vmax 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	15.5
Monocrst.	STP195S-24/Ad+	24V	195W	1000V	1580	808	35	15.6
Policrst.	STP275-24/Vd	24V	275W	1000V	1956	992	50	27
Policrst.	STP280-24/Vd	24V	280W	1000V	1956	992	50	27

Tabla 6.11. Paneles fotovoltaicos marca Suntech

Realizado por: Vanessa Herrera

Marca:SANYO								
Tipología	Modelo	Voltaje nominal	Pmax	Vmax sistema	Largo (mm)	Ancho (mm)	Prof. (mm)	Peso (kg)
Monocrst.	HIT-H245E01	24V	245W	1000V	1610	861	35	16.5
Monocrst.	HIT-H250E01	24V	250W	1000V	1610	861	35	16.6

Tabla 6.12. Paneles fotovoltaicos marca SANYO

Realizado por: Vanessa Herrera

Recomendamos los paneles de la marca Suntech 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 nuestras condiciones es SUNTECH STP195S-24/Ad+.

Características Técnicas de los Paneles SUNTECH STP195S-24/Ad+³⁵

³⁵ www.technosun.com/es/descargas/SUNTECH-catalogo-instalaciones-conexion-a-red-2010.pdf

Características eléctricas	
Potencia máxima (Pmax)	195 Wp
Tensión nominal (Vn)	24 V
Eficiencia del modulo	15,3 %
Tensión optima de operación (Vmp)	36,6 V
Corriente optima de operación (Imp)	5,33 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	45,4 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	5,69 A
Temperatura de operación	-40°C hasta +85°C
Tensión máxima de sistema	1000VDC
Corriente máxima por fusible	15 A
Tolerancia de potencia	0/+5%

Tabla 6.13: Características eléctricas típicas módulo SUNTECH STP195S-24/Ad+

Características mecánicas	
Célula solar	Monocristalina 125x125 mm
Número de células	72(6x12)
Dimensiones	1580x808x35 mm
Peso	15,5 kgs (34,1 lbs.)
Vidrio frontal	Vidrio templado de 3,2 mm
Marco	Aleación de aluminio

Tabla 6.14: Características mecánicas módulo SUNTECH STP195S-24/Ad+

En el Anexo Nro.8 podemos ver más datos técnicos del módulo escogido.

Número de paneles en serie

$$NP_{serie} = \frac{Vn}{Vp_{max}}$$

$$NP_{serie} = \frac{48 V}{36,6 V}$$

$$NP_{serie} = 1,31 \approx 2$$

Número de paneles en paralelo

$$NP_{paralelo} = \frac{Im_{max}}{Ip_{max}}$$

$$NP_{paralelo} = \frac{49,96 A}{5,33 A}$$

$$NP_{paralelo} = 9,37 \approx 10$$

Número de paneles totales

$$NP_{totales} = NP_{serie} \times NP_{paralelo}$$

$$NP_{totales} = 2 \times 10$$

$$NP_{totales} = 20$$

Colocaremos 2 series de 10 paneles lo cual nos proporciona 48 V de tensión que es el valor nominal del sistema.

Potencia de arreglo de paneles fotovoltaicos

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

$$Pp_{total} = 195W \times 20$$

$$Pp_{total} = 3900W$$

Controlador para los paneles fotovoltaicos

Capacidad nominal del controlador

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

$$Cap_{control} = \frac{NP_{totales} \times I_{sc} \times 1,25}{NP_{serie}}$$

$$Cap_{control} = \frac{20 \text{ paneles} \times 5,69A \times 1,25}{2 \text{ paneles}}$$

$$Cap_{control} = 71,13 A$$

Selección del controlador

Se recomienda la marca Flexmax porque son reguladores de carga sofisticados y potentes, obtienen el máximo aprovechamiento de la energía de los paneles 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

Características técnicas Outback FM 80 MPPT³⁶

Características técnicas	
Voltajes de batería nominal	12, 24, 36, 48 o 60 VCC
Corriente máxima de salida	80 A
Potencia máxima	5000 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 6.15: Características técnicas regulador Outback FM 80 MPPT

Fuente:



Figura 6.4. Regulador Outback FM 80 MPPT

En el Anexo Nro. 9, se puede ver la ficha técnica del regulador escogido.

6.6.2.5. Subsistema de inversión

Factor de demanda: 100%

³⁶ <http://www.solarmania.es/Regulador-Outback-Fm80>

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

Capacidad del inversor

$$Cap_{inv} = \frac{C_{Inst} \times 100\%}{\text{eficiencia del inversor}}$$

$$Cap_{inv} = \frac{3370,9W \times 100\%}{80\%}$$

$$Cap_{inv} = 4213,66 \approx 4300W$$

Selección del inversor

La carga que es totalmente AC, elegimos un inversor de DC a AC, que nos da una señal sinusoidal pura. 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 requieren una onda sinusoidal pura.

Se recomienda un inversor MK modelo MK-4000P

Características técnicas Inversor MK modelo MK-4000P³⁷

Características técnicas	
Potencia nominal	4000 W
Potencia máxima	8000 W
Voltaje de entrada DC	48V
Voltaje de salida AC	110 V
Frecuencia de salida	60 Hz
Señal de salida	Onda Senoidal pura
Eficiencia	>90%

Tabla 6.16: Características técnicas Inversor MK modelo MK-4000P

³⁷ http://www.alibaba.com/product-gs/355547344/DC_to_AC_Pure_Sine_Wave.html



Figura 6.5. Inversor MK modelo MK-4000P

En el Anexo Nro. 10 se puede ver más detalles del inversor.

6.6.3. Ubicación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico

Paneles solares

Las instalaciones para el cual se diseña el sistema no poseen terraza, y tampoco mucho espacio libre en terreno, entonces se cree conveniente colocar los paneles fotovoltaicos en el tejado de las instalaciones.



Figura 6.6. Fotografía de las instalaciones del Departamento de Turismo en remodelación

Realizado por: Vanessa Herrera

Aerogenerador y cuarto de equipos

El aerogenerador se lo puede ubicar en este pequeño espacio de terreno, ubicado en la parte lateral del edificio, en donde también se puede construir la caseta de equipos.



Figura 6.7. Fotografía del porción de terreno detrás del Departamento de Turismo
Realizado por: Vanessa Herrera



Figura 6.8. Modelo de cuarto de equipos
Realizado por: Vanessa Herrera

En la caseta de equipos se colocaran las baterías, reguladores e inversor, para que estén protegidos de las condiciones climáticas y para seguridad de los equipos.

Propuesta Económica

Equipos	Cantidad	Precio unitario USD	Precio total
Batería SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250	24	1200,00	28800,00
Aerogenerador EXMORK de 1kW + controlador	1	1176,00	1176,00
Paneles Fotovoltaicos SUNTECH STP195S-24/Ad+	20	665,17	13303,40
Controlador para paneles Outback FM 80 MPPT	1	520,00	520,00
Inversor MK modelo MK-4000P	1	600,00	600,00
Total			44399,40

Tabla 6.17. Presupuesto de equipos del sistema
Realizado por: Vanessa Herrera

Presupuesto total USD	
Equipos	44399,40
Instalación	10000,00
Caseta	500,00
Total	54899,40

Tabla 6.18. Presupuesto total
Realizado por: Vanessa Herrera

RECURSO HUMANO				
Nº	Detalle	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL \$
1	Estudiante (por horas)	700	3	2100
			TOTAL	2100

Tabla 6.19. Recurso Humano
Realizado por: Vanessa Herrera

Recursos Materiales= \$ 811,5

Recurso Humano= \$ 2100

Recurso total necesario para el desarrollo de la propuesta = \$2911,5

6.6.4. Diagramas de conexión de equipos

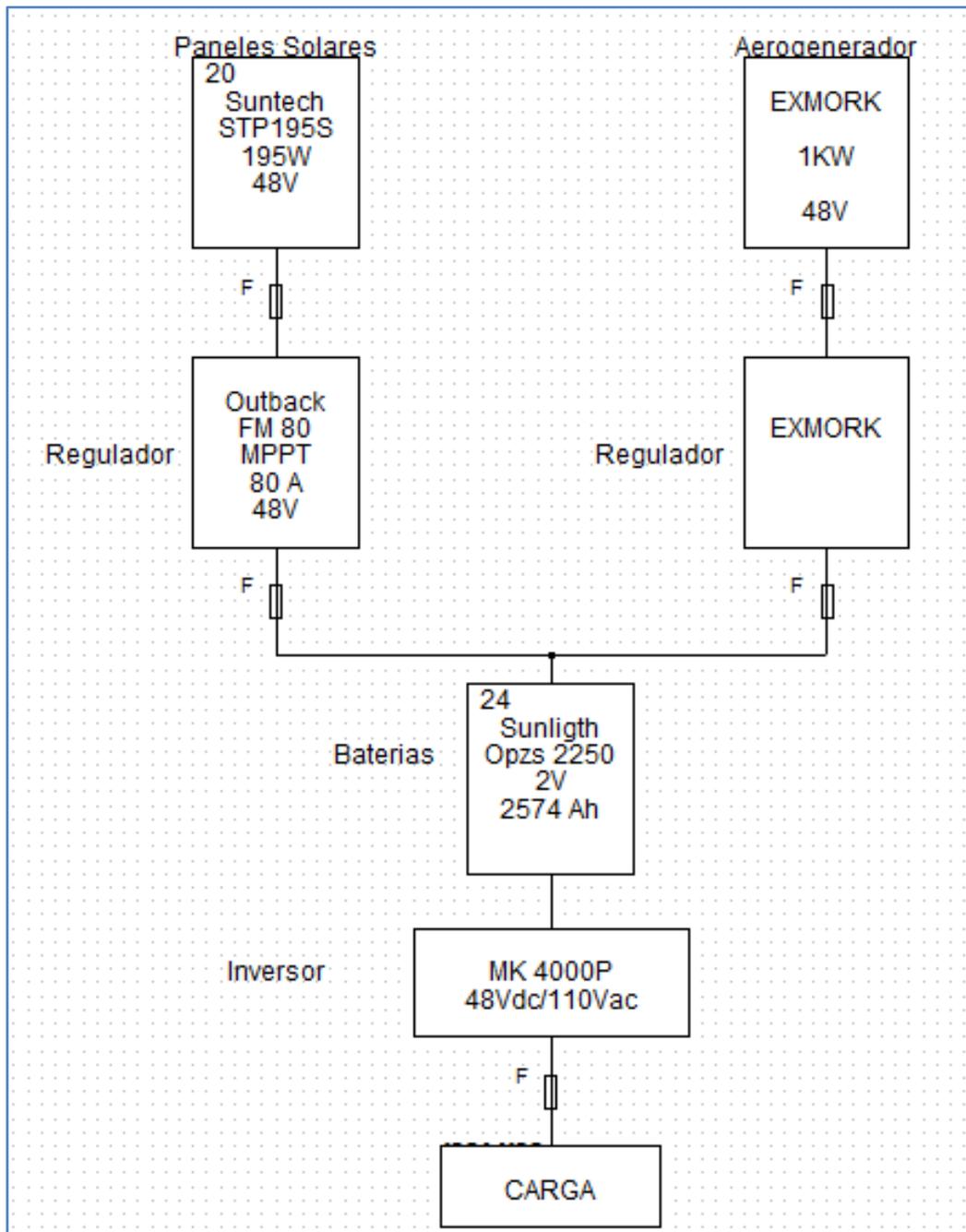


Figura 6.9. Diagrama eléctrico unifilar de montaje
Realizado por: Vanessa Herrera

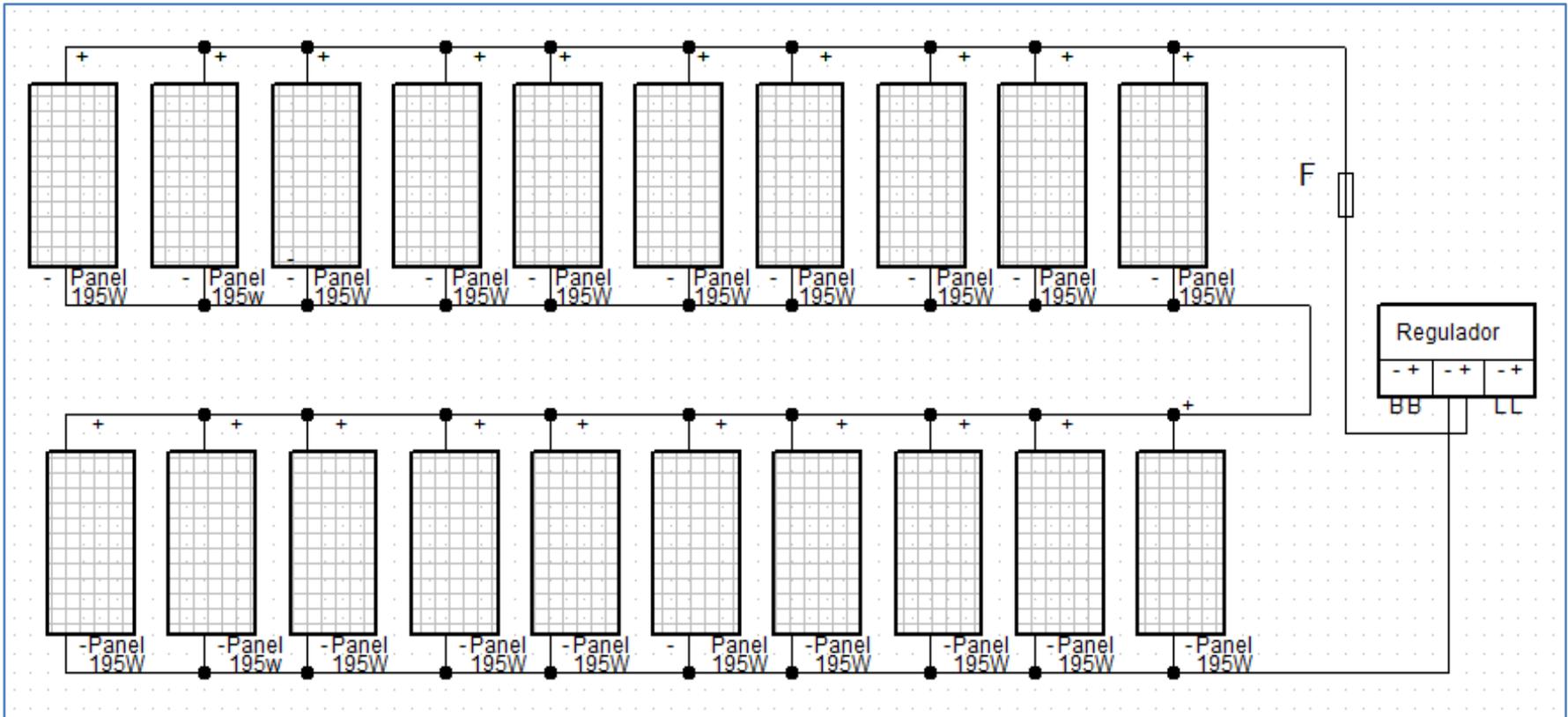


Figura 6.10. Diagrama de conexión de los paneles fotovoltaicos
Realizado por: Vanessa Herrera

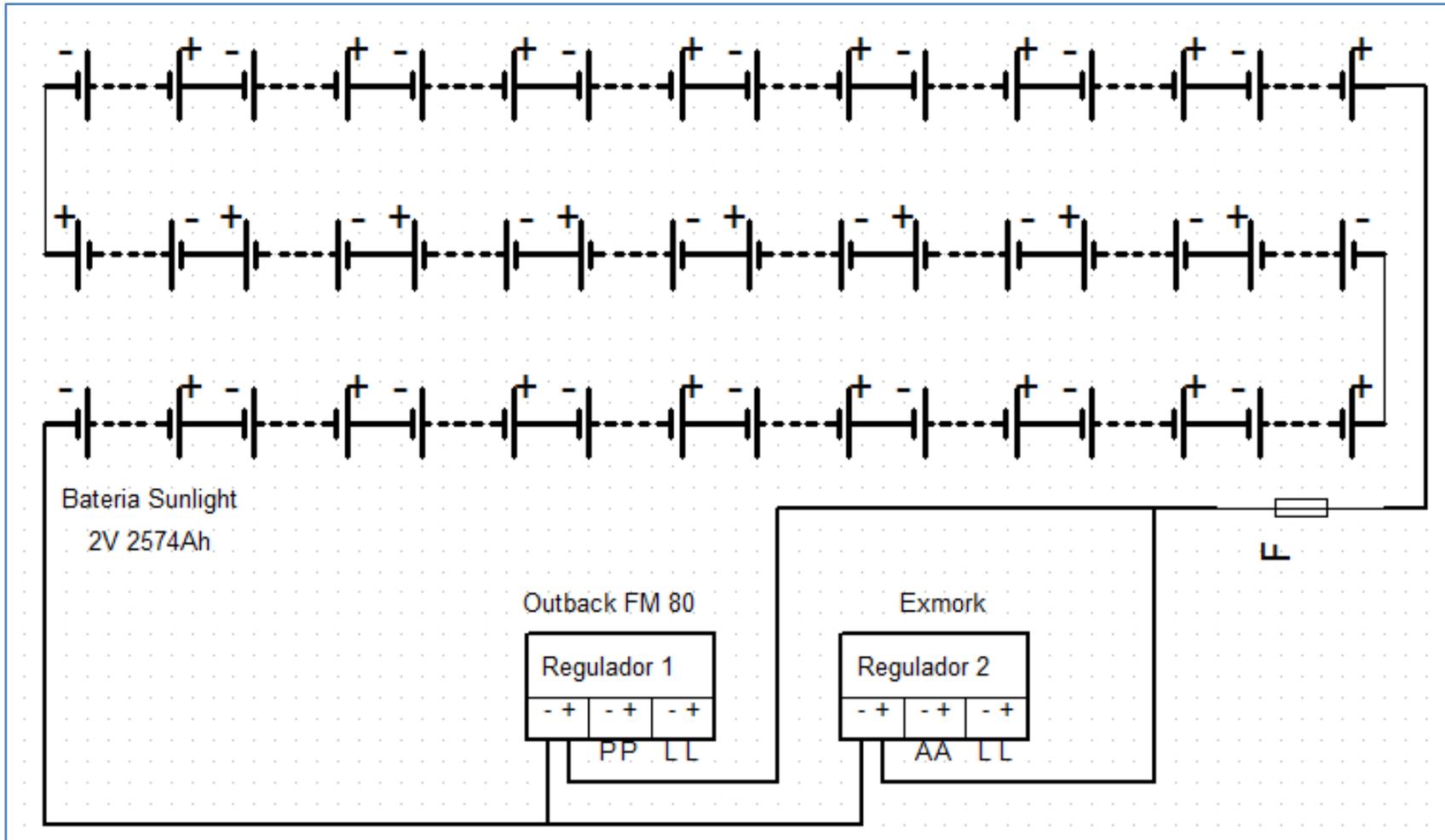


Figura 6.11. Diagrama de conexión de las baterías
Realizado por: Vanessa Herrera

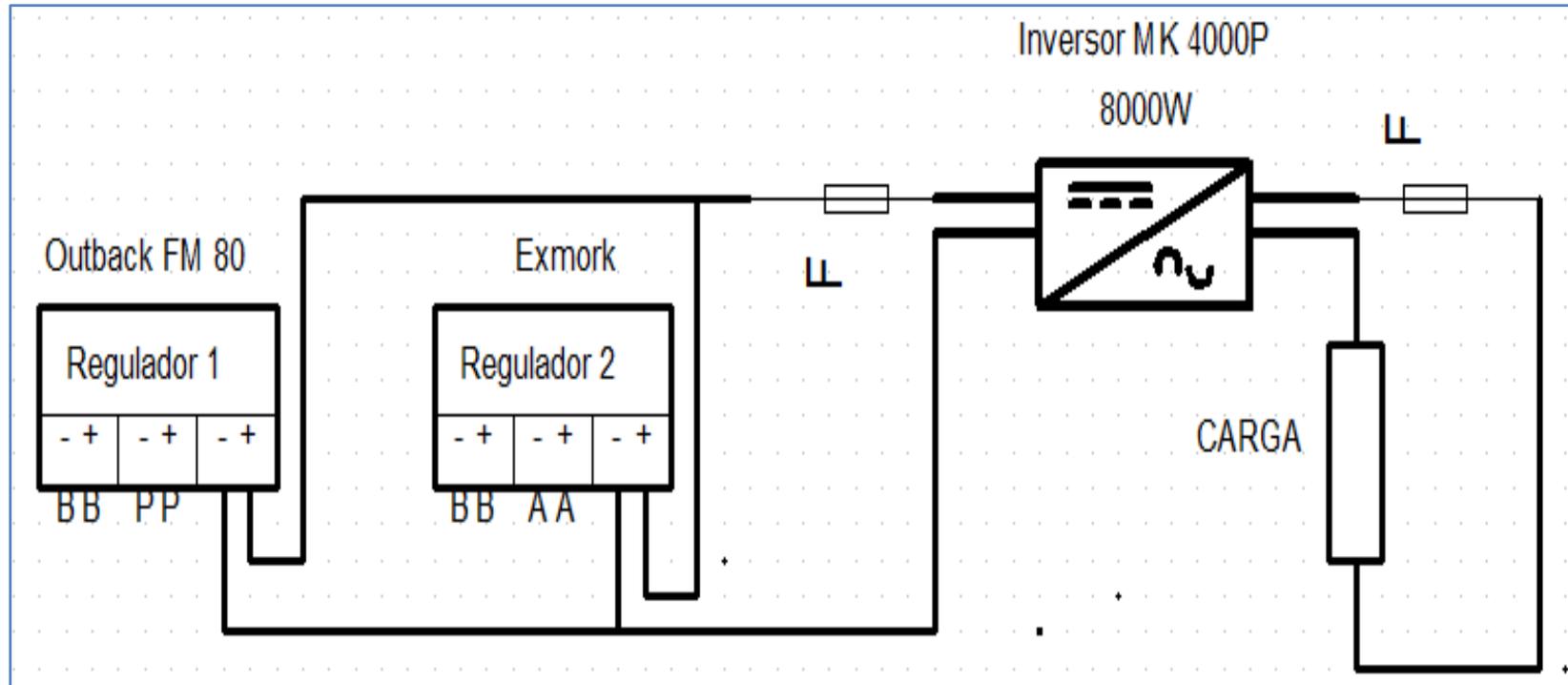


Figura 6.12. Diagrama de conexión de los reguladores al inversor
Realizado por: Vanessa Herrera

6.7. Conclusiones

- Basado en el análisis realizado y en los cálculos de radiación solar y velocidad de viento se concluye que los recursos eólicos y solares de la zona son aptos para la realización del diseño del sistema.
- Se concluye que el requerimiento energético del Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa es de 19523,8 Wh/día.
- Basado en los cálculos realizados en la propuesta se pudo elegir equipos que cumplen los requerimientos energéticos beneficiándose de los recursos eólico y solar de la zona.
- En el mercado internacional y nacional existen una gran diversidad de equipos, con diversas características, marcas y precios, en el cual encontramos los que más se adaptan a nuestro sistema.

6.8. Recomendaciones

- Se debe recolectar la mayor cantidad de datos de radiación solar y velocidad de viento para aprovechar de mejor manera estos recursos.
- Se recomienda la utilización de paneles fotovoltaicos monocristalinos ya que por su composición más pura y su mejor rendimiento, aprovechan de mejor manera la radiación solar.
- En vista de que el tamaño de un aerogenerador es directamente proporcional a la energía que este produce, en el diseño se debe tomar en cuenta el espacio que se tiene disponible para la colocación del mismo.
- Se recomienda utilizar paneles no tan grandes, ya que los paneles de gran tamaño son más difíciles de transportar.

6.9. Bibliografía

Referencias bibliográficas:

- IBAÑEZ PLANA, M – ROSELL POLO, J.R- ROSELL URRUTIA, J.I (2004). *Tecnología Solar*. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- ESCUDERO LOPEZ, José María (2008). *Manual de Energía Eólica*. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- CARTA GONZALES, José Antonio (2009). *Centrales de Energías Renovables*. Pearson Educación. Madrid. España.
- CULTURA S.A (2002). *Guía práctica de Electricidad y Electrónica*. Tomo II. Brosnac. Madrid. España.
- MAESTRE GAYA, Abel (2007-2008). *Energía Eólica-Aerogeneradores*. Sevilla. España.

Direcciones electrónicas utilizadas.

- Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica (2008, Agosto). Consultado el 20 de junio del 2010 de: CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- Anuarios meteorológicos desde el año 2000 al 2008. Consultado el 12 de agosto del 2010 de: INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) <http://www.inamhi.gob.ec/html/inicio.htm>INAMHI
- Paneles solares fotovoltaicos y térmicos (n.d). Consultado el 03 de mayo del 2010 de: CODESO (Corporación para el Desarrollo Sostenible) <http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Energias-Renovables/Paneles-Solares-Modulos-Celdas.html>

- Red de estaciones meteorológicas a nivel provincial (2010, Agosto). Consultado el 01 agosto 2010 de: INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) <http://www.inamhi.gob.ec/html/inicio.htm>INAMHI
- Turbinas eólicas – aerogeneradores (n.d). Consultado el 11 de enero de 2011 de: http://www.proviento.com.ec/Aerogeneradores%20Exmork_ec_nuevo2.pdf
- Productos-Módulos Fotovoltaicos. Consultado el 23 de febrero del 2011 de: ATERSA (Aplicaciones Técnicas de la Energía) <http://www.atersa.com/categoriaproductos.asp?param=1>
- Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar (n.d). Consultado el 17 junio del 2010 de: <http://ampliadas2ciencia.blogspot.com/2010/09/que-es-la-radiacion-solar.html>
- Energía solar información instalación ventajas (n.d). Consultado el 20 de julio del 2010 de: <http://www.instalacionenergiasolar.com/energia/definicionenergiasolar.html>
- Energía solar (n.d). Consultado el 15 de julio del 2010 de: WIKIPEDIA http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar
- Energías alternativas (n.d). Consultado el 04 de abril del 2010 de: <http://html.rincondelvago.com/energias-alternativas.html>
- Guía de energía solar (2006). Consultado el 29 de mayo del 2010 de http://www.obrasocialcajamadrid.es/Ficheros/CMA/ficheros/OSMedio_GuiaEnergiaSolar.PDF
- Los componentes de una estación meteorológica (n.d). Consultado el 26 de julio del 2010 de: INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/estacion%20meteorologica.htm>
- Instrumentos meteorológicos (2005). Consultado el 27 de julio del 2010 de: <http://www.freewebs.com/tormenta/instrumentos.htm>
- Baños de Agua Santa (n.d). Consultado el 02 de mayo del 2010 de: <http://www.banios.com/>

- Manuales sobre energía renovable, solar fotovoltaica (n.d). Consultado el 06 de octubre del 2010 de: <http://www.bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>
- El viento (2004). Consultado el 01 de agosto del 2010 de: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/eolica_y_molinos/capitulo_1/cap_1_2.htm
- Listado de módulos fotovoltaicos (n.d). Consultado el 30 de marzo del 2011 de: <http://www.technosun.com/es/productos/listado-modulos-fotovoltaicos.php>
- Productos para instalaciones fotovoltaicas (2007). Consultado el 03 de abril del 2011 de: http://www.eremo.es/docs/solar_fotovoltaica.pdf
- Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad (n.d). Consultado el 15 de junio del 2010 de: http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf

ANEXOS

ANEXO Nro. 1

**PLANOS ELÉCTRICOS DEL EDIFICIO EN
REMODELACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE
TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS
DE AGUA SANTA**

ANEXO Nro. 2.
ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES
DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL
CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD
(CONELEC)

ANEXO Nro. 3

**TABLAS DE HELIOFANIA RECOLECTADA DEL
LOS ANUARIOS DEL INAMHI DE LA ESTACIÓN
METEOROLÓGICA QUEROCHACA UTA**

ANEXO Nro. 4
MAPAS EÓLICOS DEL ECUADOR

ANEXO Nro. 5
TABLAS PARA EL CÁLCULO
DEL COEFICIENTE CORRECCIÓN
RB DE TODOS LOS MESES

ANEXO Nro. 6
CÁLCULO DEL COEFICIENTE CORRECCIÓN
RB PARA TODOS LOS MESES.

ANEXO Nro. 7
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
DE LA BATERÍA
SUNLIGHT 2V 18 OPzS 2250

ANEXO Nro. 8
MANUAL DE OPERACIÓN DEL
AEROGENERADOR DE 1KW MARCA EXMORK

ANEXO Nro. 9
CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO SOLAR
SUNTECH STP195S-24/Ad+

ANEXO Nro. 10
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL
CONTROLADOR OUTBACK FM 80 MPPT

ANEXO Nro. 11
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
DEL INVERSOR MK-4000P

ANEXO Nro. 12
TABLA DEL JI CUADRADO