

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR, EN EL EDIFICIO
TÉCNICO - ADMINISTRATIVO “LEONA”, PDVSA PETRORITUPANO,
MUNICIPIO FREITES - ANZOÁTEGUI**

REALIZADO POR:

BRUZUAL RODRIGUEZ, SULIMA MARÍA

C.I. 17.902.979

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Barcelona, Octubre de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR, EN EL EDIFICIO
TÉCNICO - ADMINISTRATIVO “LEONA”, PDVSA PETRORITUPANO,
MUNICIPIO FREITES - ANZOÁTEGUI**

ASESORES:

**Ing. Santiago Escalante
Asesor Académico**

**Ing. José Feria
Asesor Industrial**

Barcelona, Octubre de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR, EN EL EDIFICIO
TÉCNICO - ADMINISTRATIVO “LEONA”, PDVSA PETRORITUPANO,
MUNICIPIO FREITES - ANZOÁTEGUI**

JURADOS:

El Jurado hace constar que le asigno a esta Tesis la calificación de:

Ing. Santiago Escalante
Asesor Académico

Ing. Daniel Velásquez
Jurado Principal

Ing. Manuel Maza
Jurado Principal

Barcelona, octubre de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajo grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al consejo universitario”.

DEDICATORIAS

Lograr alcanzar esta meta no solo fue gracias a mi constancia y dedicación, sino también, gracias al esfuerzo de Seres humanos Maravillosos que **Dios Padre Todopoderoso** me regalo, es por ello que la realización de ésta tesis está dedicada a ustedes:

Papá y Mamá, **Luis Alberto y María**, los mejores Padres que alguien pudiese desear, personas que con sacrificio y perseverancia dieron todo por el todo por sacar a sus hijos adelante, ustedes son un ejemplo a seguir!!.

A mis hermanos, **Ana Liz, Josaira, Mayerlin, y José Alberto**, juntos hemos crecido y nos hemos apoyado, cada uno con sus propios sueños. Recibir el apoyo de cada uno de ustedes me ha ayudado a ser más fuerte.

Y a todos mis familiares de quienes siempre he tenido apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el fruto de un gran esfuerzo, es el cumplimiento de una meta muy anhelada que comenzó hace más de 5 años.

Primeramente le doy gracias a Dios Padre Todopoderoso y a la Virgencita del Valle, por las experiencias buenas, y las no tan buenas, pero las cuales me enseñaron a crecer. Padre Celestial gracias por acompañarme en cada momento, por darme fuerza y fortaleza, por llenarme de entendimiento, y regalarme todas las virtudes principales para alcanzar esta meta tan importante. Madre Divina, gracias por cubrirme con tu manto protector y protegerme en cada paso realizado.

Le agradezco infinitamente a mis Padres, *María y Luis*, gracias a ellos he logrado ver materializado un sueño. La base principal de una pirámide llena de metas y sueños, las forman ustedes, que con esfuerzo, constancia, sacrificio y dedicación, nos educaron y formaron a mis hermanos y a mí. Gracias por estar disponibles en todo lo que he necesitado, por su confianza, sus consejos, y su apoyo incondicional.

A mis hermanos, Ana, Josa, Maye, y José, gracias por su disponibilidad en todo momento, juntos hemos aprendido a no caer ante las adversidades. La fuerza, comprensión, optimismo y apoyo que recibí de cada uno, fue un impulso para alcanzar esta meta.

A todos mis familiares, de quienes he recibido apoyo incondicional en todo el transcurrir de mi vida y carrera, son muchos, pero especialmente le

agradezco a Luisa, Margarita, José Luis, Juanita, Nancy, Nilda, y Alcira (quien desde el cielo está presente), Gracias Tíos por siempre estar pendiente de cada paso que he realizado. A mi Abuela Josefina, y a mis primos queridos, especialmente a: Yohana, Nany, José Daniel, Franklin, Ariana y Guillermo.

Desde el principio de mi carrera, Dios me dio la oportunidad de conocer a personas maravillosas, mis grandes amigos, Zoraima, Karen, Sobeida, Rogelio, Rafael, Luis, y quienes luego se unieron para conformar un gran grupo: Diana, María José, Víctor, Dianita, Esteban, Valeria, amigos gracias por siempre estar allí disponibles ante cualquier cosa, y por todos los momentos gratos vividos, estudiamos, reímos, compartimos experiencias tan agradables, ustedes han sido un gran apoyo, Mil gracias!!. Igualmente le agradezco a Jackmelin y a Cesar por su ayuda y conocimientos aportados.

A Octavio, su apoyo, cariño y comprensión ha sido muy fortificante, Gracias mi flaquito!!

Le agradezco a todo el personal que labora en el Departamento de Electricidad de la Universidad de Oriente, especialmente a quienes fueron mis maestros, de cada uno aprendí claves para formarme y así poder llevar a cabo esta tesis. Especialmente le doy las gracias a mi tutor académico, el Ing. Santiago Escalante, gracias por sus enseñanzas, sus consejos y por todo su apoyo y disponibilidad en el transcurrir de mi carrera, y por su orientación en el desarrollo de este trabajo. Igualmente debo agradecerle a los profesores: Hernán Parra, Manuel Maza, Luis Parraguéz, Melquíades Bermúdez, Verena Mercado, en general, a todos Gracias!!.

A quien fue mi tutor industrial, Ing. José Feria mil gracias por seleccionarme para la realización de este proyecto y por todos los consejos

que en cuanto al tema se referían.

Gracias a todo el personal que labora en la empresa Petroritupano, especialmente a: El Ing. Juan Larreal, porque a pesar de no estar estrechamente ligado con el tema de esta tesis, buscó la forma de ayudarme, sus consejos y sabiduría fueron de mucha ayuda, para llevar a cabo una parte esencial de este proyecto. El Ing. Harlen Segura: gracias a sus consejos aclaré muchas dudas con respecto al tema, fue un gran maestro. En general agradezco a todas las personas quienes conforman Gerencia Técnica, la oficina de desarrollo sustentable, y la Gerencia de AIT.

A todos mis compañeros de pasantías, Ranmerys, Yorvan, Miguel y Yenniré, gracias por siempre estar pendiente, y por todos los momentos amenos en el transcurrir de las pasantías.

Gracias a la Sra. Zuly y a todas mis compañeras de residencia, ustedes hicieron que mi estadía en el Tigre durante el tiempo de cumplimiento de las pasantías, fuera más agradable, y eso sirvió de ayuda para poder alcanzar esta meta.

Al personal que labora en las estaciones meteorológicas de San Tomé y el Tigre, gracias por aportarme los datos requeridos y por toda su disponibilidad en ayudarme.

Le agradezco a una persona que sin conocerme me prestó toda su colaboración, y gracias a eso llevé a cabo una parte importante en el desarrollo de esta tesis, gracias al Ing. Oscar Antonio Moreno.

En fin gracias a todos las personas que hicieron posible el cumplimiento de esta Meta, **Logro es sinónimo de perseverancia!!**

RESUMEN

El presente proyecto está basado en el estudio de factibilidad técnico – económica sobre la implementación de energías renovables (eólica y/o solar) en el área de La Leona, del estado Anzoátegui, con la finalidad de encontrar una solución a la problemática energética que está atravesando la empresa Petroritupano S.A. en cuanto a la generación de electricidad. Como paso principal se realiza un análisis de las condiciones climáticas y ambientales, topografía y vegetación del área específica, pues los factores radiación solar y velocidad del viento, dependen de ello. La observación es la técnica primordial para cumplir este objetivo, además se recurre a estaciones meteorológicas cercanas, y con los datos registrados en ellas, se cuantifica la cantidad de radiación solar incidente, mediante métodos de estimación, y utilizando métodos de correlación se evalúa el recurso eólico, comparando dichos datos con las mediciones de la velocidad y dirección del viento realizadas en la zona por un periodo de tres meses. Así se establece la potencialidad de cada recurso. Luego de analizar la factibilidad ambiental, se dimensiona el sistema eléctrico alternativo, tomando en cuenta la demanda eléctrica a abastecer, y seguidamente se evalúa la rentabilidad y beneficios que tiene su implementación dentro de la empresa.

CONTENIDO

| | |
|---|-------------|
| RESOLUCIÓN | IV |
| DEDICATORIAS | V |
| AGRADECIMIENTOS | VI |
| RESUMEN | IX |
| CONTENIDO | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XVII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XX |
| CAPÍTULO I. EL PROBLEMA | |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 22 |
| 1.1.1 Petroritupano S.A..... | 23 |
| 1.1.1.1 Reseña Histórica..... | 23 |
| 1.1.1.2 Ubicación Geográfica de la Empresa | 24 |
| 1.1.1.3 Sede Administrativa | 24 |
| 1.1.1.4 Sedes Operativas..... | 24 |
| 1.1.1.5 Bases Legales..... | 24 |
| 1.1.1.6 Objetivos de la Empresa | 25 |
| 1.1.1.7 Misión y Visión | 25 |
| 1.1.1.8 Valores | 25 |
| 1.1.1.9 Funciones de la Empresa..... | 26 |
| 1.1.1.10 Estructura Organizativa..... | 26 |
| 1.1.2 Sistema interconectado de la Región Oriental..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 30 |
| 1.3 OBJETIVOS | 33 |
| 1.3.1 Objetivo General | 33 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 33 |
| CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | |
| 2.1 GENERALIDADES | 34 |
| 2.2 FUENTES NATURALES DE ENERGÍA | 34 |
| 2.2.1 Energía Hidroeléctrica | 35 |
| 2.2.2 Biomasa | 35 |
| 2.2.3 Energía Solar | 36 |
| 2.2.4 Energía Eólica | 36 |
| 2.3. ASPECTOS TEÓRICOS DE LA ENERGÍA SOLAR | 37 |
| 2.3.1. El Sol | 37 |
| 2.3.2 La radiación solar | 38 |
| 2.3.2.1. Factores de incidencia de la radiación solar | 38 |
| 2.3.2.2. Medición de la radiación solar | 41 |
| 2.3.2.2.1. Unidades de medida | 42 |
| 2.3.2.3. Estimación de la radiación solar | 42 |
| 2.3.3. Energía solar fotovoltaica | 43 |
| 2.3.3.1. Efecto fotovoltaico | 44 |
| 2.3.4. Sistemas fotovoltaicos | 44 |
| 2.3.4.1. Subsistema de captación | 46 |
| 2.3.4.1.1. Célula Fotovoltaica | 46 |
| 2.3.4.1.2. Módulo o panel fotovoltaico | 49 |
| 2.3.4.1.3 Instalación de los módulos fotovoltaicos | 51 |
| 2.3.4.2. Subsistema de acumulación | 52 |
| 2.3.4.3. Subsistema de regulación | 53 |
| 2.3.4.3.1. Regulador de carga | 53 |
| 2.3.4.4. Subsistema de adaptación del suministro eléctrico | 54 |

| | |
|---|----|
| 2.3.4.4.1. Inversores | 55 |
| 2.3.4.5. Subsistema de componentes auxiliares | 56 |
| 2.3.4.5.1. Cableado de los campos fotovoltaicos | 57 |
| 2.3.4.5.2 Desconexión de los sistemas fotovoltaicos | 57 |
| 2.3.4.6 Protección de los sistemas fotovoltaicos | 59 |
| 2.3.4.6.1 Puesta a tierra | 59 |
| 2.3.4.6.2. Protección contra sobrecorriente | 60 |
| 2.3.5. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos | 61 |
| 2.3.5.1. Datos generales a considerar | 61 |
| 2.3.5.2. Procedimiento de cálculo | 62 |
| 2.3.5.2.1 Estimación del consumo | 62 |
| 2.3.5.2.2. Cálculo de las Horas Pico Solar (H.S.P)..... | 63 |
| 2.3.5.2.3. Cálculo del rendimiento global del sistema..... | 64 |
| 2.3.5.2.4. Cálculo del banco de baterías | 65 |
| 2.3.5.2.5. Cálculos del generador fotovoltaico | 67 |
| 2.3.5.2.6. Cálculos para el regulador de carga | 70 |
| 2.3.5.2.7. Cálculos para el Inversor | 70 |
| 2.3.5.3. Selección de conductores para cada tramo del sistema | 72 |
| 2.3.5.4. Selección de las protecciones para cada tramo | 72 |
| 2.4. ASPECTOS TEÓRICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA | 73 |
| 2.4.1. El Viento | 73 |
| 2.4.1.1. Circulación general..... | 73 |
| 2.4.1.2. Efectos locales | 75 |
| 2.4.1.2.1 Origen térmico | 75 |
| 2.4.1.2.2 Origen geográfico | 76 |
| 2.4.1.3 Estabilidad atmosférica | 76 |
| 2.4.1.4 Velocidad del viento | 77 |
| 2.4.1.5 Variaciones del viento | 77 |
| 2.4.1.5.1 Variaciones temporales del viento | 78 |
| 2.4.1.5.2. Variaciones espaciales del viento..... | 78 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2 Cálculo de la potencia del viento | 81 |
| 2.4.2.1. Densidad del aire | 83 |
| 2.4.2.2 Potencia eólica aprovechable | 84 |
| 2.4.3. Datos Meteorológicos Requeridos para evaluar el uso de la energía eólica | 84 |
| 2.4.3.1 Velocidad de Viento Promedio Anual | 85 |
| 2.4.3.2 Variaciones Estacionales | 85 |
| 2.4.3.3 Variaciones Diurnas | 85 |
| 2.4.3.4 Borrascas, vientos extremos | 85 |
| 2.4.3.5 Períodos de Calma..... | 86 |
| 2.4.3.6 Distribución de Frecuencia de Velocidades de Viento | 86 |
| 2.4.4. Métodos utilizados para evaluar y medir la velocidad del viento . | 86 |
| 2.4.4.1. Información Empírica | 87 |
| 2.4.4.2. Anemómetros Totalizadores | 87 |
| 2.4.4.3. Método de Correlación | 87 |
| 2.4.4.4. Instalación de Pequeños Equipos eólicos | 89 |
| 2.4.4.5. Adquisición de Datos en Tiempo Real | 90 |
| 2.4.5. Medida del Recurso eólico..... | 90 |
| 2.4.5.1 Anemómetros | 91 |
| 2.4.5.2 Medida de la dirección del viento | 91 |
| 2.4.5.3 Medida de la temperatura | 91 |
| 2.4.5.4 Medida de la presión atmosférica..... | 92 |
| 2.4.5.5 Ubicación de los equipos de medición | 92 |
| 2.4.6. Tratamiento de los datos eólicos (análisis matemático de la energía eólica) | 92 |
| 2.4.6.1 Rosa de los vientos | 92 |
| 2.4.6.2. Análisis matemático del comportamiento del viento..... | 93 |
| 2.4.7. Estimación de la energía eólica | 95 |
| 2.4.8. Evaluación de la energía producida..... | 96 |
| 2.4.9. Aerogeneradores | 96 |

| | |
|--|----|
| 2.4.10 Características de funcionamiento de los generadores eólicos .. | 97 |
| 2.4.11. Selección de emplazamientos | 98 |
| 2.5. SISTEMAS HÍBRIDOS..... | 98 |
| 2.6. REQUERIMIENTOS DE LAS FUENTES RENOVABLES PARA LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL | 99 |

CAPÍTULO III. POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR EN EL ÁREA DE LA LEONA

| | |
|---|-----|
| 3.1. GENERALIDADES..... | 100 |
| 3.2 VIENTOS Y RADIACIÓN SOLAR EN VENEZUELA | 100 |
| 3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA Y UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO (EDIFICIO TÉCNICO ADMINISTRATIVO “LEONA”) | 103 |
| 3.3.1. Ubicación geográfica | 103 |
| 3.3.2 Situación del Sistema eléctrico actual..... | 104 |
| 3.3.2.1 Generación eléctrica a partir de gas combustible..... | 105 |
| 3.3.2.1.1 Suministro de Gas Combustible | 106 |
| 3.3.3. Caracterización ambiental | 107 |
| 3.3.3.1. Geología..... | 108 |
| 3.3.3.2. Geomorfología..... | 108 |
| 3.3.3.3. Vegetación | 109 |
| 3.3.3.4 Fauna | 110 |
| 3.3.3.5 Hidrografía y clima | 110 |
| 3.4. EL RECURSO EÓLICO Y SOLAR EN EL ÁREA DE LA LEONA | 111 |
| 3.5. ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR DEL ÁREA LA LEONA | 113 |
| 3.5.1 Datos aportados por distintas fuentes..... | 114 |
| 3.5.1.1 Estación meteorológica de San Tomé..... | 115 |
| Horas Promedio..... | 115 |
| 3.5.1.2 Estación Agrometeorológica El Tigre | 116 |
| 3.5.1.3. Agencia de Administración Espacial (NASA) | 117 |

| | |
|---|-----|
| 3.6 VERIFICACIÓN DE LA EXISTENCIA DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR DENTRO DEL ÁREA EN ESTUDIO | 118 |
| 3.6.1 Evaluación y medición de la radiación solar | 119 |
| 3.6.1.1 Registros de estaciones meteorológicas cercanas al área de La Leona | 120 |
| 3.6.1.1.1 Datos de la estación meteorológica de San Tomé | 120 |
| 3.6.1.1.2 Datos de la estación agrometeorológica El Tigre | 122 |
| 3.6.1.2 Comparación de datos aportados por las estaciones meteorológicas..... | 124 |
| 3.6.2. Evaluación y medición de la velocidad del viento | 125 |
| 3.6.2.1. Estación climatológica..... | 126 |
| 3.6.2.1.1 Recurso eólico en el mes de Junio | 128 |
| 3.6.2.1.2 Recurso eólico en el mes de Julio | 130 |
| 3.6.2.1.3 Recurso eólico en el mes de Agosto | 132 |
| 3.6.2.1.4 Resultado de los registros en los meses de las mediciones | 134 |
| 3.6.2.2 Registros de la estación agrometeorológica El Tigre | 135 |
| 3.6.2.2.1 Correlación de datos..... | 136 |
| 3.7. USO DEL POTENCIAL SOLAR EN LA ZONA LA LEONA, PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA | 137 |
| 3.8. USO DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA ZONA LA LEONA, PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA | 138 |

CAPÍTULO IV. DIMENSIONADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ALTERNATIVO

| | |
|--|-----|
| 4.1. GENERALIDADES..... | 139 |
| 4.2 EQUIPOS Y ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO | 139 |
| 4.2.1 Demanda eléctrica del Edificio Leona..... | 140 |
| 4.2.1.1 Demanda total..... | 143 |
| 4.3. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO..... | 144 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| H.S.P | 145 |
| 4.3.1 Rendimiento global del sistema | 145 |
| 4.3.2 Escenario 1 | 146 |
| 4.3.3 Escenario 2 | 150 |
| 4.3.4 Escenario 3 | 153 |
| CAPÍTULO V. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO | |
| 5.1 GENERALIDADES | 156 |
| 5.2 GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA EN EL EDIFICIO ADMINISTRATIVO “LEONA” | 156 |
| 5.2.1 Costo asociado a cada equipo del sistema..... | 157 |
| 5.2.2 Evaluación técnica y de Rentabilidad del sistema fotovoltaico a proponer | 158 |
| 5.2.2.1 Relación Rentabilidad – Beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico | 163 |
| 5.2.2.1.1 Operación y mantenimiento | 163 |
| 5.2.2.1.2 Disponibilidad de los recursos para el funcionamiento de la instalación..... | 165 |
| 5.2.2.1.3 Impacto ambiental | 169 |
| CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 6.1 CONCLUSIONES | 171 |
| 6.2 RECOMENDACIONES..... | 175 |
| BIBLIOGRAFÍA | 178 |
| APÉNDICE | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Organigrama de la empresa | 27 |
| Figura 1.2 Sistema Interconectado Nacional | 28 |
| Figura 2.1 Relación de tamaños y distancia tierra – sol..... | 37 |
| Figura 2.2 Curva característica de las H.S.P. | 39 |
| Figura 2.3 Componentes de la radiación solar..... | 40 |
| Figura 2.4 Movimiento de la tierra alrededor del sol | 41 |
| Figura 2.5. Esquema de bloques de la energía solar fotovoltaica. | 45 |
| Figura 2.6 Sistema Fotovoltaico..... | 46 |
| Figura 2.7 Efecto fotovoltaico en una celda solar..... | 47 |
| Figura 2.8 Incidencia solar sobre la celda..... | 47 |
| Figura 2.9. Curva característica I-V de una célula solar fotovoltaica. | 49 |
| Figura 2.10. Efecto de la intensidad de la radiación | 50 |
| Figura 2.11. Dependencias de la curva I-V con la temperatura. | 50 |
| Figura 2.12. Esquema del modo de funcionamiento de los diodos (a. Diodo de paso, b. Diodo de bloqueo)..... | 51 |
| Figura 2.13. Distancia mínima entre módulos..... | 69 |
| Figura 2.14. Representación del patrón global de circulación de vientos | 75 |
| Figura 2.15. a) Efecto del viento durante el día. b) Efecto del viento durante la noche | 76 |
| Figura 2.16 Escala de rugosidades..... | 80 |
| Figura 2.17 Influencia de un obstáculo de pendientes suaves | 81 |
| Figura 2.18 Influencia de un obstáculo de pendientes abruptas..... | 81 |
| Figura 2.19 Influencia de un obstáculo en forma de cresta | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.20 Potencia eólica específica en función de las velocidades para condiciones normales de presión y temperatura..... | 82 |
| Figura 2.21 Rosa de los vientos..... | 93 |
| Figura 3.1. Incidencia de Vientos en Venezuela..... | 101 |
| Figura 3.2 Mapa de potencial eólico en Venezuela | 102 |
| Figura 3.3 Mapa de potencial solar en Venezuela | 102 |
| Figura 3.4. Mapa Geográfico del Estado Anzoátegui..... | 103 |
| Figura 3.5 Ubicación de La Leona en el Municipio Freitas – Anzoátegui.... | 104 |
| Figura 3.6. Superficie oficial de la Empresa Petroritupano S.A. | 104 |
| Figura 3.7. Área de Operaciones indicando los campos de producción | 105 |
| Figura 3.8 Comportamiento de la producción de gas asociado. | 106 |
| Figura 3.9. Estimado de producción de gas del área Oritupano Leona para el período de producción 2010 – 2025. | 107 |
| Figura 3.10 Mapa de velocidad promedio anual en la zona..... | 112 |
| Figura 3.11 Mapa de radiación solar anual en la zona | 113 |
| Figura 3.12. Ubicación de las estaciones Meteorológicas aledañas..... | 114 |
| Figura 3.13 Comparación entre los resultados utilizando los distintos Métodos | 122 |
| Figura 3.14 Promedios de radiación solar, estación El Tigre (1999-2005) . | 123 |
| Figura 3.15 Comparación de los registros de radiación solar | 124 |
| Figura 3.16 Radiación Solar promedio en las distintas estaciones | 125 |
| Figura 3.17. Estación climatológica | 126 |
| Figura 3.18 Ubicación del equipo de medición | 127 |
| Figura 3.19 Ejemplo de los datos guardados en el historial del programa.. | 128 |
| Figura 3.20 Variabilidad horaria-mensual del viento (Junio) | 129 |
| Figura 3.21 Promedio de Velocidad del viento (Junio 2010)..... | 129 |
| Figura 3.22 Rosa de los vientos del Mes de Junio 2010..... | 130 |
| Figura 3.23 Variabilidad horaria-mensual del viento (Julio) | 131 |
| Figura 3.24 Promedio de Velocidad del viento (Junio 2010)..... | 131 |
| Figura 3.25 Rosa de los vientos del Mes de Julio 2010..... | 132 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.26 Variabilidad horaria-mensual del viento (Agosto) | 133 |
| Figura 3.27 Promedio de velocidad del viento (Agosto 2010)..... | 133 |
| Figura 3.28 Rosa de los vientos del Mes de Agosto 2010 | 134 |
| Figura 3.29. Representación de la Velocidad del Viento, estación El Tigre (1999-2009) | 135 |
| Figura 3.30. Espacio libre para posible instalación de sistemas solares | 137 |
| Figura 4.1 Porcentajes de demanda equivalente a cada equipo | 144 |
| Figura 5.1. Distancia de separación entre filas de grupos de módulos..... | 161 |
| Figura 5.2 Niveles de operación del embalse Guri | 167 |
| Figura 5.3 Diferencia entre lo aportado y lo turbinado por las maquinas del complejo. | 167 |
| Figura 5.4 Predicción de demanda 2008 – 2026. | 168 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.1 Unidades equivalentes de medición de la radiación solar..... | 42 |
| Tabla 2.2. Tipos de Células solares..... | 48 |
| Tabla 2.3. Unidades equivalentes de medición de la Velocidad del Viento .. | 77 |
| Tabla 2.4 Variación de la Potencia Eólica Especifica | 82 |
| Tabla 2.5 Valores del parámetro “k” considerados en la Industria Eólica. ... | 94 |
| Tabla 2.6 Relaciones generales entre viabilidad y velocidad del viento para su uso como fuente de energía..... | 95 |
| Tabla 2.7. Operación de los Aerogeneradores de acuerdo a la velocidad del Viento..... | 97 |
| Tabla 2.8 Requerimientos para la factibilidad ambiental..... | 99 |
| Tabla 3.1. Datos de la estación meteorológica de San Tomé..... | 115 |
| Tabla 3.2. Datos de la estación Agrometeorológica El Tigre | 116 |
| Tabla 3.3 Datos de radiación solar y velocidad del viento aportados por la NASA. | 118 |
| Tabla 3.4 Valores de la radiación extraterrestre e insolación teórica..... | 119 |
| Tabla 3.5. Radiación solar utilizando la ecuación propuesta por Trezzas, y Samani..... | 121 |
| Tabla 3.6. Datos de radiación solar aportados por la estación El Tigre | 122 |
| Tabla 3.7. Radiación solar utilizando la ecuación propuesta por Samani ... | 123 |
| Tabla 3.8. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Junio,2010) .. | 128 |
| Tabla 3.9. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Julio,2010) ... | 130 |
| Tabla 3.10. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Agosto ,2010)..... | 132 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.11. Datos de Velocidad del Viento (m/s) aportados por la estación El Tigre..... | 135 |
| Tabla 3.12 Correlación de datos mediante los distintos métodos | 136 |
| Tabla 4.1 Equipos de aire acondicionado en el edificio Leona | 140 |
| Tabla 4.2. Consumo de aires acondicionados en el edificio Leona | 141 |
| Tabla 4.3. Consumo eléctrico de los equipos refrigeradores | 142 |
| Tabla 4.4 Consumo eléctrico del área de Iluminación | 143 |
| Tabla 4.5 Demanda eléctrica total del Edificio Leona | 143 |
| Tabla 4.6. Hora solares pico (h)..... | 145 |
| Tabla 4.7. Equipos que conforman la sala de control del servidor..... | 153 |
| Tabla 5.1. Costo de inversión requerido en equipamiento..... | 157 |
| Tabla 5.2 Área de ocupación de cada componente de la instalación | 162 |

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Introducción

La energía ha estado presente desde los inicios del mundo, pues todas las actividades que realiza el hombre son gracias a ella. Con el pasar del tiempo científicos e investigadores fueron descubriendo formas de aplicar la energía de manera más eficientemente, aprovechando al máximo la capacidad energética de la materia. Una de estas formas, es la electricidad, y es ella la que mejor se adapta a las necesidades de las personas, pues está presente en el ritmo de vida de cada persona.

El aprovechamiento de Energías Renovables ha sido un tema de interés desde comienzos del siglo XX, y en Venezuela se pone de manifiesto con la utilización de la energía hidroeléctrica como fuente de generación de electricidad de aproximadamente el 68% del consumo del país, según datos aportados por la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS). Sin embargo las investigaciones en cuanto al uso de otros tipos de energía han tomado mayor importancia una vez iniciado el siglo XXI, poniendo en práctica experiencias en la utilización de energía eólica en diferentes proyectos puestos en marcha en estados costeros del país, y la energía solar en poblaciones rurales alejadas de la Red Eléctrica Nacional. Algunos de estos proyectos han sido impulsados por Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA) como parte del plan Nacional Simón Bolívar.

1.1.1 Petroritupano S.A

Petroritupano, S.A. Empresa Mixta creada a través Del Decreto 5.200, que lleva a cabo la conformación de los convenios Operativos, dándole oportunidad a la participación ciudadana.

1.1.1.1 Reseña Histórica

En el año 1993, se crea la segunda ronda de la apertura petrolera en Venezuela, donde existió la participación de muchas empresas petroleras tanto nacionales e internacionales que conjuntamente con el estado venezolano conformaron asociaciones estratégicas para la explotación de áreas petroleras denominadas campos marginales. Dentro de estas empresas se encontraba el Consorcio Pérez Companc APC. Corod, el cual inicia sus actividades en el año 1994 para trabajar en las áreas de Oritupano-Leona. En 1997, éste consorcio pasa a ser una empresa llamada PETROBRAS, y continuaría sus operaciones posicionándose como una de las más estables en el mercado venezolano.

Por instrucciones del Ministerio de Energía y Petróleo, la Corporación Venezolana de Petróleo inició la migración a Empresas Mixtas de 32 Convenios Operativos en el año 2005. Los 32 campos petroleros pasaron a control venezolano, en los cuales se encontraba el campo Oritupano-Leona, donde se procedió, por instrucciones del Ministerio de Energía y Minas y la Presidencia de PDVSA a la Nacionalización Petrolera mediante la terminación de los convenios operativos.

Para el año 2006, se estaría consolidando así, las empresas mixtas coordinadas por Petróleos de Venezuela. Así se dio lugar al establecimiento y creación de tres nuevas empresas que representarían gran parte de los

convenios con PDVSA como empresas mixtas, estas son **PETRORITUPANO, PETROVENBRAS Y PETROKARIÑA**, donde la matriz es **PETRORITUPANO, S.A**, la cual, entra en vigencia legalmente a partir del 12 de Junio de 2006.

PETRORITUPANO S.A, conforma una de las más importantes dentro de estas divisiones, debido a que, es una empresa que consolida gran parte de las ganancias y se estabiliza bajo las normas y los convenios que fueron decretados por el gobierno nacional en un plano de estabilidad social y nacionalización del petróleo venezolano.

1.1.1.2 Ubicación Geográfica de la Empresa

Está situada en el Campo Oritupano – Leona, ubicado al Sur-Este del Estado Anzoátegui, Municipio Pedro María Freites.

1.1.1.3 Sede Administrativa

Avenida Veracruz con calle Cali, Urbanización Las Mercedes, Edificio Pawa, piso, 5, Caracas – Venezuela.

1.1.1.4 Sedes Operativas

Campo Leona, Estado Anzoátegui, y Campo Oritupano, Estado Monagas.

1.1.1.5 Bases Legales

- ✓ Ley de Hidrocarburos
- ✓ Ley de Hidrocarburos Gaseosos

- ✓ LOPCYMAT
- ✓ Reglamento de la LOPCYMAT
- ✓ Ley Orgánica del Trabajo
- ✓ Lineamientos corporativos de nuestra casa matriz PDVSA
- ✓ Guías Administrativas de nuestra casa matriz PDVSA.

1.1.1.6 Objetivos de la Empresa

- ✓ Crecer en producción de Reservas de Petróleo y Gas.
- ✓ Optimizar el portafolio balanceando proyectos de riesgo con proyectos de desarrollo.
- ✓ Desarrollar relación proactiva con los entes gubernamentales y con las comunidades orientadas al negocio.

1.1.1.7 Misión y Visión

Actuar de forma segura, rentable e integrada con responsabilidad social y ambiental, en las actividades de la Industria del petróleo, el gas y la energía, ofreciendo productos y servicios adecuados a las necesidades de los clientes, contribuyendo al desarrollo de nuestra gente y de los países donde actúa.

Esta empresa tiene como meta principal la integridad de la energía con fuerte presencia nacional, actuando con foco en la rentabilidad y en la responsabilidad social y ambiental.

1.1.1.8 Valores

- ✓ Ética y honestidad.
- ✓ Puntualidad en los tiempos de entrega.

- ✓ Óptima calidad de los procesos, productos y servicios.
- ✓ Fiel cumplimiento de las normas nacionales e internacionales.
- ✓ Seguridad basada en el comportamiento.

1.1.1.9 Funciones de la Empresa

- ✓ **Exploración y Producción.** Iniciándose en el campo petrolero, Petroritupano, produce petróleo a precios competitivos tratando de mantener la producción y calidad de la empresa anterior, haciendo mejoras en las instalaciones petroleras, plantas, tuberías, entre otras.
- ✓ **Gas Natural.** El gas natural es un combustible limpio, un producto sin restricciones ambientales y que reduce significativamente los índices de polución. En cuanto a este combustible la empresa mixta Petroritupano tiene como objetivo evaluar los diferentes escenarios operacionales, utilizando la infraestructura existente, con la finalidad de mejorar la calidad y volumen de gas combustible distribuido en la Unidad de Oritupano.

1.1.1.10 Estructura Organizativa

Dentro de la estructura organizativa de Petroritupano S.A., se puede observar las unidades de desarrollo que operan dentro de la organización, presentando a su vez la Gerencia donde se realizó las pasantías. (Ver figura 1.1)

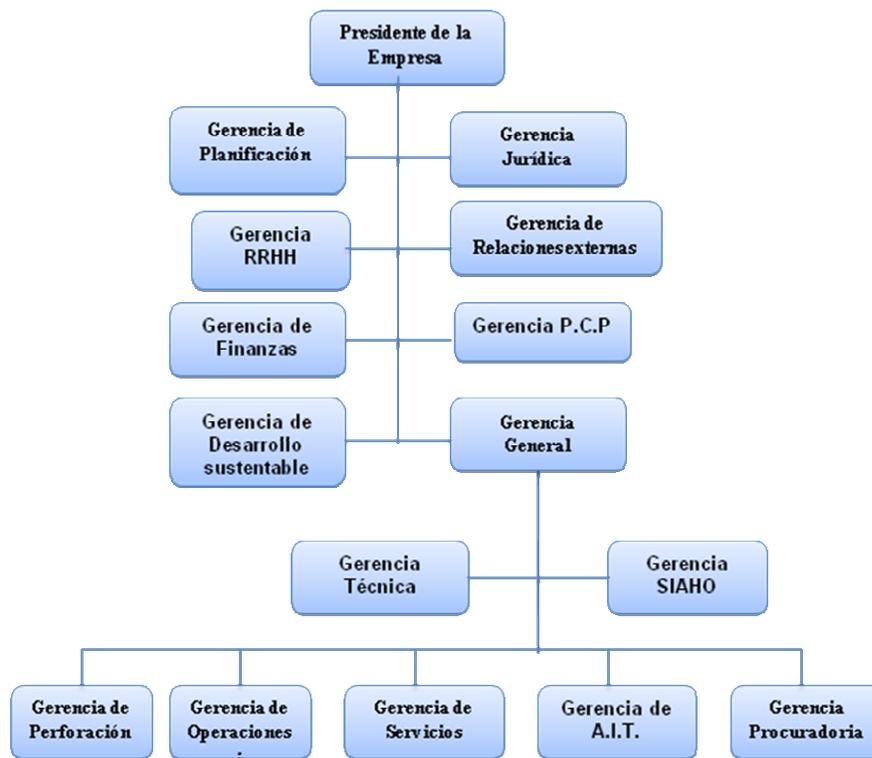


Figura 1.1 Organigrama de la empresa (Petroritupano S.A)

1.1.2 Sistema interconectado de la Región Oriental

El Sistema Interconectado Nacional (S.I.N) está regido por CORPOELEC, la cual se encuentra conformada por las siguientes empresas de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica: Electrificación del Caroní, C.A. (EDELCA), Energía Eléctrica de Venezuela, S.A. (ENELVEN), Empresa Nacional de Generación C.A: (ENAGER), Compañía de Administración y Fomento Eléctrico S.A. (CADAFE), Energía Eléctrica de la Costa Oriental del Lago C.A: (ENELCO), Energía Eléctrica de Barquisimeto S.A. (ENELBAR), Sistema Eléctrico del Estado Nueva Esparta (SENECA) y La Electricidad de Caracas (La EDC). La oficina encargada de coordinar la operación del S.I.N. es la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OP SIS). Las áreas que conforman

el S.I.N. están unidas a través de un sistema de transmisión que alcanza niveles de tensión de 115 KV, 138 KV, 230 KV, 400 KV y 765 KV.

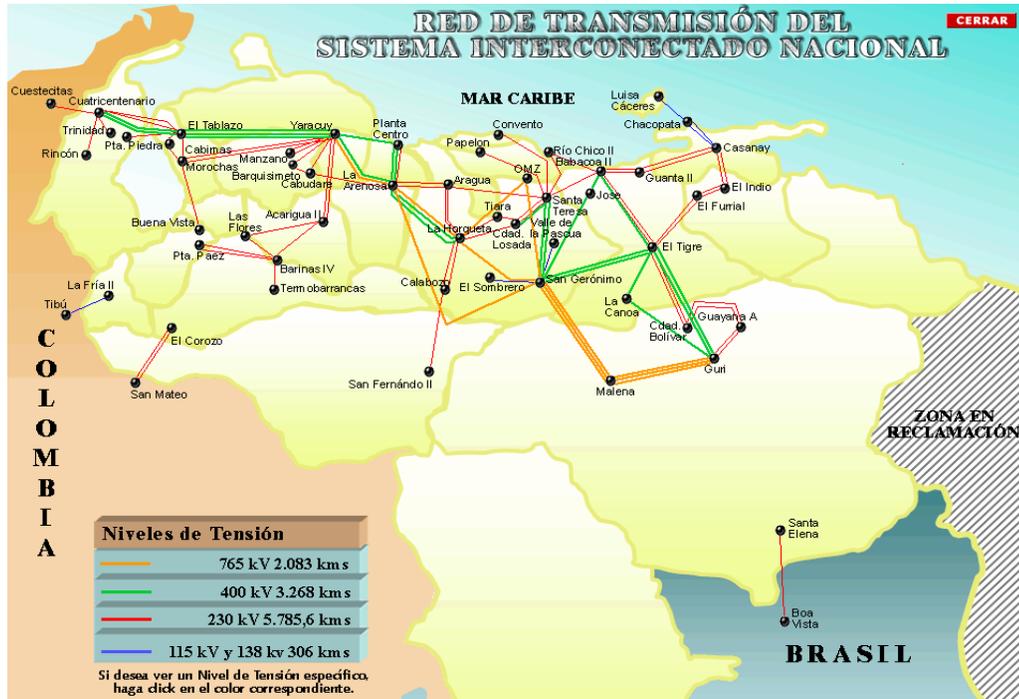


Figura 1.2 Sistema Interconectado Nacional. (CVG Edelca)

El suministro de energía al sistema oriental se realiza a través de una red a 230 y 400 KV. La red a 230 KV inicia su recorrido en la subestación Guayana a 230/115 KV y se extiende hasta la subestación Barbacoa 230/115 KV pasando por las subestaciones Bolívar 230/115 KV y El Tigre 230/115 KV respectivamente. A su vez, desde la subestación El Tigre se presenta otro sistema conformado por dos líneas de 230 KV que llegan hasta la subestación Casanay 230/115 KV ubicada en la región Nor-Oriental pasando previamente por la subestación El Indio 230/115 KV. A nivel de 400 KV la red parte desde Guri y se prolonga hasta la zona central del país en la subestación San Gerónimo pasando por la subestación El Tigre 400/230 KV. Entre ambas subestaciones se encuentra un anillo a 400 KV que da suministro a las cargas correspondientes al sector petrolero. Otra parte del

sistema a 400 KV que da suministro al sistema oriental parte desde el Sistema Regional de CVG Edelca a 400 KV y llega hasta la subestación El Furrial 400/115 KV pasando por la subestación Palital 400/115 KV.

1.2 Planteamiento del Problema

La empresa Mixta Petroritupano S.A (filial de PDVSA) se encuentra ubicada en el Oriente del país, y su área de operación cubre parte de los estados Anzoátegui y Monagas. En la población rural La Leona (Anzoátegui) se encuentra situada la sede principal de la empresa, y tiene una segunda base en Oritupano (Monagas). Su sistema eléctrico proviene de la conexión con la red Eléctrica Nacional y en su mayoría por generadores eléctricos a base de gas combustible.

En los campos petroleros operados por la Empresa Mixta Petroritupano, la producción de gas asociado ha ido declinando con el tiempo, debido al agotamiento en los yacimientos. Este gas es utilizado como combustible para los generadores eléctricos empleados como fuente de energía para el funcionamiento de equipos, plantas y oficinas encargados de generar y vigilar la producción de petróleo. Si a esto se suma la actual crisis energética que está atravesando el país en cuanto a la generación de electricidad, caracterizada por la creciente demanda eléctrica en los últimos tiempos, y los cambios climáticos, producto del aumento del consumo de combustibles fósiles que contribuyen al calentamiento global del planeta, se puede deducir que el sistema eléctrico de la empresa está siendo afectado por dos situaciones distintas, que de continuar, ponen en riesgo la continuidad de las operaciones tanto en el campo como a nivel administrativo.

La realización de este trabajo busca la forma de obtener conocimientos acerca de un tema que actualmente está adquiriendo mucha importancia en el entorno social y empresarial, como lo es la búsqueda de alternativas de solución ante la crisis energética que actualmente presenta el país y el mundo. En este proyecto solo se llegará al estudio de la factibilidad

técnico-económica, para la implementación de energías renovables, haciendo énfasis en la eólica y la solar, como sistema de generación de electricidad, incluyendo propuestas de aplicación y de posibles diseños que le puedan ser útiles a futuros proyectistas, de manera que se continúe con el desarrollo de trabajos de esta magnitud.

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente se estudiarán y explicarán de manera detallada los conceptos, características y factores que se deben tener en cuenta para el aprovechamiento de la energía eólica con el uso de aerogeneradores, y de la energía solar utilizando paneles solares, con el fin de establecer la factibilidad de implementarlos y crear un sistema de generación de electricidad eficiente y confiable. Para cumplir con éste propósito, es necesario emplear herramientas de recolección de datos, siendo la observación y la entrevista las utilizadas en este proyecto, y la tabulación y estadística las técnicas de análisis.

Para la ejecución de un proyecto que contemple el uso de energías renovables (eólica y solar), lo principal es analizar la posibilidad que tiene su ejecución en una zona determinada. Por ello se promueve el estudio en un área de menor dimensión, siendo ésta, el Edificio Técnico Administrativo “Leona”. Analizando la ubicación geográfica donde se encuentra, y las condiciones climáticas características de su alrededor, se estudiará la rentabilidad que tiene la aplicación de dichas energías en el área de generación de electricidad. Si lo proyectado arroja resultados ventajosos se incrementaría la posibilidad de crear un sistema híbrido que contemple el uso de los dos tipos de energía.

Para la Empresa Mixta Petroritupano se ha tornado necesario indagar sobre medios alternativos para encontrar una salida positiva ante la problemática existente, y por ello se toman como guía los proyectos

energéticos emprendidos por PDVSA en cuanto al aprovechamiento del recurso eólico y solar, los cuales buscan contribuir en el equilibrio ecológico aportando beneficios y teniendo claro la incorporación de Venezuela al protocolo de Kyoto. He allí la importancia de inquirir más a fondo en el tema, pues no solo se contribuiría en el desarrollo energético utilizando fuentes renovables como medio de generación eléctrica, sino que también se estaría ayudando a la conservación y mejoramiento del medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Estudiar la factibilidad técnico – económica para la implementación de Energía Eólica y Solar, en el Edificio Técnico – Administrativo “Leona”, PDVSA Petroritupano, Municipio Freites - Anzoátegui.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un análisis del potencial eólico y solar aprovechable tomando como base las condiciones climáticas y ambientales, topografía y vegetación que posee la zona en estudio.
2. Aplicar los métodos o modelos disponibles para la verificación del potencial eólico y solar dentro del área en estudio.
3. Obtener la carga eléctrica del área donde serían aplicados los sistemas eléctricos basados en energías alternativas (eólica y/o solar).
4. Caracterizar los equipos que utilicen la energía eólica y/o solar como fuente de generación eléctrica dentro de la zona en estudio.
5. Analizar la rentabilidad que tiene la implementación de sistemas que generen electricidad mediante energía eólica y/o solar, en el área en estudio.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Generalidades

La electricidad es la forma de energía que la mayoría de los equipos utilizan para funcionar. Debido al crecimiento de la población y con ella el aumento de la demanda eléctrica, se ha emprendido la búsqueda de nuevas fuentes de energía, y nuevos sistemas de producción eléctrica, basados fundamentalmente en el uso de energías renovables, las cuales son las que se derivan de la energía que el sol envía de forma continua a la tierra, se pueden recuperar bajo diferentes formas: radiación solar, viento, movimiento de aguas, etc. Actualmente países pertenecientes a la Unión Europea, y algunos del continente Americano, han llevado a cabo proyectos de energías limpias, en búsqueda de que el aprovechamiento de éstas, sea factible tanto técnica como económicamente, lo que ha motivado a otros países, incluyendo Venezuela.

En el presente capítulo se presentan las características de dos energías limpias, como lo son la energía eólica y la energía solar.

2.2 Fuentes naturales de energía

Méndez y Cuervo (2007) dicen: Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana.

Además tienen la ventaja de poder complementarse entre sí, son respetuosas con el medio ambiente, y aunque ocasionen efectos negativos en el entorno, son mucho menores que los impactos ambientales de las energías convencionales como combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), energía nuclear, etc. Las energías renovables son parte de la energía que el sol aporta a la tierra en cada momento.

Dentro del marco de las energías renovables se pueden destacar las que tienen mayor desarrollo tecnológico, como lo son la energía eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y la energía solar. Con ellas se pueden obtener las dos formas de energía más utilizadas: calor y electricidad.

2.2.1 Energía Hidroeléctrica

Se encargan de generar electricidad mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua es conducida mediante una tubería de descarga a la sala de máquinas, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores cuya potencia puede ser de varios centenares de megavatios. Tiene la cualidad de renovable, pues no agota la fuente primaria al explotarla, y es limpia, ya que no produce en su explotación sustancias contaminantes de ningún tipo. (Salazar, 2006)

2.2.2 Biomasa

Se encargan básicamente, de la transformación de materia orgánica en energía térmica o eléctrica. La biomasa permite producir electricidad mediante dos técnicas:

- ✓ **Combustión.** Consiste en quemar materiales leñosos, paja o cultivos energéticos. En cualquier caso, el proceso consiste en una combustión integrada en un ciclo de vapor.
- ✓ **Gasificación.** A partir de la fermentación natural de determinados materiales (por ejemplo, la basura de un vertedero) se produce biogás, éste es canalizado hasta una central térmica próxima, donde se transforma a energía eléctrica que, a su vez, puede conectarse a la red eléctrica.

2.2.3 Energía Solar

El autor (Mujal, 2003) dice: “La energía solar, en sus diversas variantes, intenta aprovechar el potencial calorífico que el sol emite de forma constante y que llega a nuestro planeta en forma de radiación solar”.

2.2.4 Energía Eólica

Mujal (2003) establece lo siguiente: La fuente de energía eólica es el viento, o mejor dicho la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

Para que la energía eólica sea susceptible de ser aprovechada en la actualidad, su fuente primaria, el viento, debe cumplir unos requisitos mínimos, sin los cuales su generación arroja rendimientos muy bajos, estos requisitos son:

- Existencia de viento con velocidades que permita obtener unas densidades de potencias que cumplan con los siguientes valores:
 - *1000 W / m^2 ; el aprovechamiento es bueno.
 - *200 W / m^2 ; el aprovechamiento es normal.

* 50 W/m^2 ; el aprovechamiento es de bajo rendimiento.

*Por debajo de los 50 W/m^2 ; no tiene interés el emplazamiento de estas centrales.

- La dirección del viento deberá ser lo más estable posible.
- Su continuidad deberá ser alta.

2.3. Aspectos teóricos de la energía solar

2.3.1. El Sol

Ibáñez y Rosell (2004) exponen: El sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares. La energía irradiada por el sol procede de la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. El astro irradia en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda su historia, una parte de ésta llega a la tierra en forma de radiación electromagnética. Bajo perspectiva humana, la fuente de energía solar se puede considerar inagotable. Con respecto a las características físicas, el sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de $1,39 \times 10^9 \text{ m}$ y situado a la distancia media de $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ de la tierra, unos 8 minutos de viaje a la velocidad de la luz.

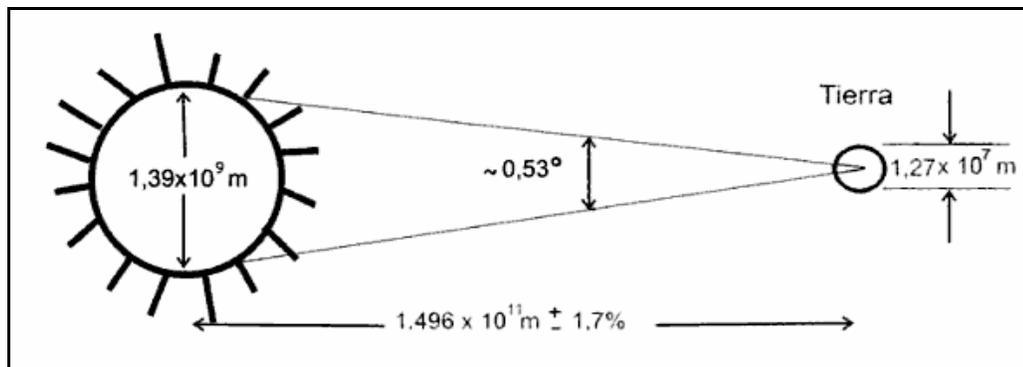


Figura 2.1 Relación de tamaños y distancia tierra – sol. (Ibáñez y Rosell, 2004)

2.3.2 La radiación solar

(Heras, 2008) la define como: “Es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenidos en el Sol”.

(Méndez y Cuervo, 2007) ratifican: “La radiación recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar (1.353 W/m^2), variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre”.

2.3.2.1. Factores de incidencia de la radiación solar

a) *Efecto atmosférico*

Ibáñez y Rosell (2004) lo definen como: “La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular, no solamente varía la insolación máxima diaria, sino que la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa”.

Según Guevara (2003), la radiación solar tiene dos elementos principales como lo son la irradiancia y la insolación. La primera se define como la tasa a la cual la radiación es recibida por una superficie por unidad de área, se expresa en unidades de potencia por unidad de área W/m^2 . Y la Insolación (irradiación) definida como la cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período, se expresa en unidades de energía por unidad de área, kWh/m^2 ó, en algunos casos, MJ/m^2 . A lo largo de un día tendrá unidades de $\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

La superficie captadora, recibe una irradiancia cuando se orienta directamente al sol, y no hay obstáculos que hagan sombra como nubes y

árboles. Una hora solar pico es la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de $1 \text{ kW} / \text{m}^2$, tal como se muestra en la figura 2.2.

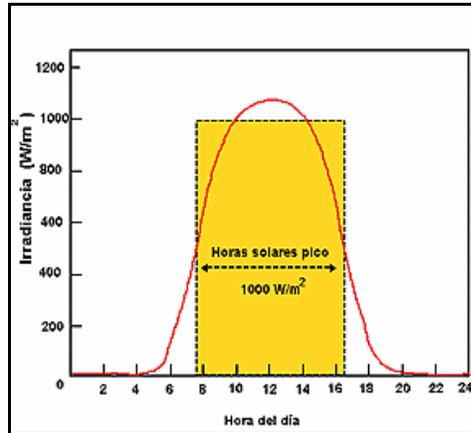


Figura 2.2 Curva característica de las H.S.P. (Suárez, 2008)

b) Componentes de la radiación en la superficie

Según Ibáñez y Rosell (2004) La atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes y partículas sólidas en suspensión. Los diversos constituyentes de la atmósfera provocan la atenuación de la radiación. A medida que la radiación solar atraviesa la masa de aire sufre procesos de absorción, reflexión y refracción. En referencia a la absorción: los rayos x y tras radiaciones de onda corta del espectro solar son absorbidos en la ionosfera por el N_2 y O_2 . La irradiancia se atenúa disminuyendo su valor respecto al lado en la cima de la atmósfera. En cuanto a la transmisión atmosférica la atenuación de la radiación hasta la superficie es de un 25%. Por ello una irradiancia de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ se utiliza como valor estándar de referencia en la ingeniería relacionada con la energía solar. La reflectividad es el tanto por ciento de la energía solar que se refleja en una superficie respecto al total incidente, y depende de la longitud de onda de la radiación y de la naturaleza de la superficie.

(Méndez y Cuervo, 2007) definen los tipos de radiación solar como:

- ✓ **Radiación directa:** “Es la radiación recibida por el sol sin que se desvíe su paso por la atmósfera. Es la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas”.
- ✓ **Radiación difusa:** “Es la que sufre cambios en la dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera”.
- ✓ **Radiación solar reflejada o Albedo:** “Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas”.

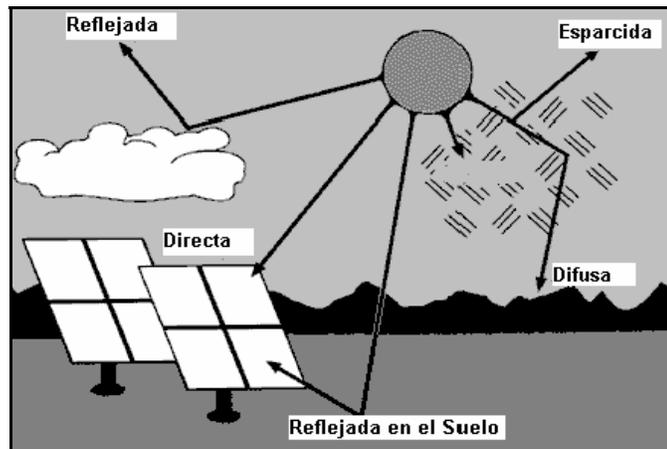


Figura 2.3 Componentes de la radiación solar (Sánchez, 2003)

“Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen: de las condiciones meteorológicas, de la declinación de la superficie respecto al plano horizontal, y de la presencia de superficies reflectantes”. (Heras, 2008)

c) Posición del sol

Ibáñez y Rosell (2004) expresan que: La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama eclíptica. En su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo de 23.45° con la perpendicular al plano de la eclíptica. El ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador varía a lo largo del año (ver figura 2.4). Este ángulo conocido como declinación, varía entre -23.45° el día del solsticio de invierno y 23.45° el día de solsticio de verano.

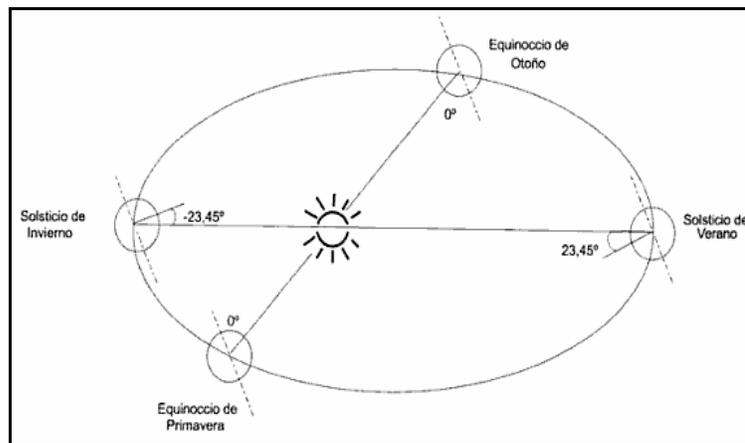


Figura 2.4 Movimiento de la tierra alrededor del sol. (Ibáñez y Rosell, 2004)

d) Geometría del movimiento del sol

Ibáñez y Rosell (2004) exponen: La posición del sol se puede referir en dos sistemas de coordenadas centradas en el observador según el sistema de referencia escogido: horarias (δ_s declinación, w_s ángulo horario) y horizontales (h_s altura solar, a_s acimut). Estas coordenadas determinan el vector solar entendido como un vector con origen en el observador y extremo en el sol.

2.3.2.2. Medición de la radiación solar

Para Ibáñez y Rosell (2004) existen dos tipos de dispositivos básicos para la medida de la radiación solar, el piranómetro y el pirheliómetro. Otro que es comúnmente usado es el actinógrafo.

El Piranómetro, recibe la radiación en todas direcciones del hemisferio y por lo tanto mide la radiación global, también se puede aplicar a la medida de la radiación difusa empleando una banda opaca que sombreo el instrumento a la radiación directa.

Los Pirheliómetros, son instrumentos usados para la medición de la radiación solar directa. Tiene una abertura colimada que restringe su visión de la bóveda celeste, habitualmente a 5°.

En las estaciones meteorológicas más sencillas no disponen de medidas de irradiancia, y en ocasiones, emplean otros equipos, como heliógrafos que permiten estimar la irradiancia en forma indirecta, miden el intervalo de tiempo durante el cual se tiene radiación solar directa superior a un umbral de 120 W/m^2 .

2.3.2.2.1. Unidades de medida

Tabla 2.1 Unidades equivalentes de medición de la radiación solar

| Equivalencias de las unidades de Radiación Solar |
|--|
| $1 \text{ MJ/m}^2 \times \text{dia} = 0.27778 \text{ kWh/m}^2 \times \text{dia}$ |
| $1 \text{ MJ/m}^2 \times \text{dia} = 23.88 \text{ Cal/cm}^2 \times \text{dia}$ |
| $1 \text{ Cal/cm}^2 \times \text{dia} = 0.017 \text{ mm/dia}$ |

2.3.2.3. Estimación de la radiación solar

Para llevar a cabo un proyecto de energía solar es necesario contar con datos de radiación solar diarios, mensuales y/o anuales. Es común que existan estaciones que no posean estos datos, pues solo poseen equipos de medición de la insolación. Diferentes autores obtienen la radiación solar utilizando diferentes fórmulas presentadas a continuación:

(Trezza), desarrolló una guía meteorológica donde expone lo siguiente: “De no contarse con los registros de radiación se puede recurrir a las mediciones de insolación, a través de la siguiente ecuación”:

$$R_s = R_a \times (0.25 + 0.50 \times n/N) \quad (2.1)$$

donde: R_a es la radiación extraterrestre (MJ / m^2), N la insolación media mensual teórica y n el valor de insolación registrado con el heliofanógrafo. Los valores de R_a y N se pueden observar en el apéndice A.

Samani (2000) propone la siguiente fórmula:

$$R_s = R_o \times KT \times (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (2.2)$$

siendo: R_s la radiación solar incidente, R_o la radiación solar extraterrestre, KT un coeficiente Empírico, T_{\max} la temperatura diaria máxima, y T_{\min} la temperatura diaria mínima.

El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, y el autor recomienda para regiones del interior $KT= 0,162$, y para regiones costeras sea $KT=0,19$.

2.3.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es un claro ejemplo de aprovechamiento, consiste en transformar la energía luminosa procedente del sol en energía eléctrica, mediante la exposición al sol de ciertos materiales convenientemente tratados (silicio purificado a partir de arena mediante complejos procedimientos fundamentalmente), y la posterior recogida de la electricidad generada. (García, 1999)

2.3.3.1. Efecto fotovoltaico

También llamado efecto fotoeléctrico, consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. (Mendez y Cuervo, 2007)

Para Sánchez (2003) El efecto fotoeléctrico explicado por Albert Einstein en 1905, se produce al incidir la luz en un metal. Al impactar en el metal, los fotones liberan electrones y se genera una corriente eléctrica en un circuito. La cantidad de electrones liberados es función de la frecuencia de los fotones que inciden más que de la intensidad de la luz.

2.3.4. Sistemas fotovoltaicos

“Es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica” (Mendez y Cuervo, 2007).

En el Código Eléctrico Nacional lo definen como todos los componentes o sistemas que, combinados, convierten la energía solar en energía eléctrica adecuada para conectarla a un equipo de medición.

García (1999) aporta lo siguiente: A grandes rasgos los sistemas que aprovechan la ESF constan de un generador (paneles fotovoltaicos, responsables de la producción de electricidad), un acumulador (para poder almacenar energía sobrante y utilizarla cuando sea necesaria). La energía producida por un generador fotovoltaico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{GFV} = G \times A \times \eta \quad (2.3)$$

Siendo **G** la Irradiación global, **A** el Área de los módulos y η la Eficiencia de conversión.

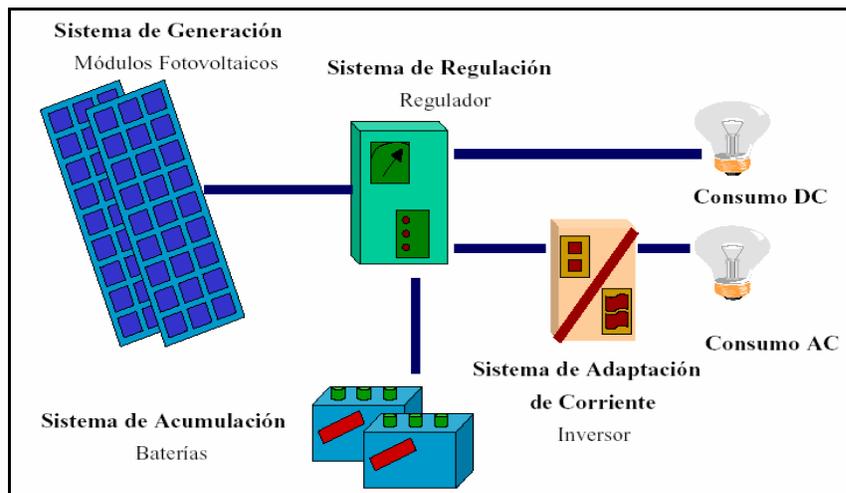


Figura 2.5. Esquema de bloques de la energía solar fotovoltaica. (Aguilera)

Una instalación fotovoltaica consta, o puede constar de los siguientes componentes o subsistemas:

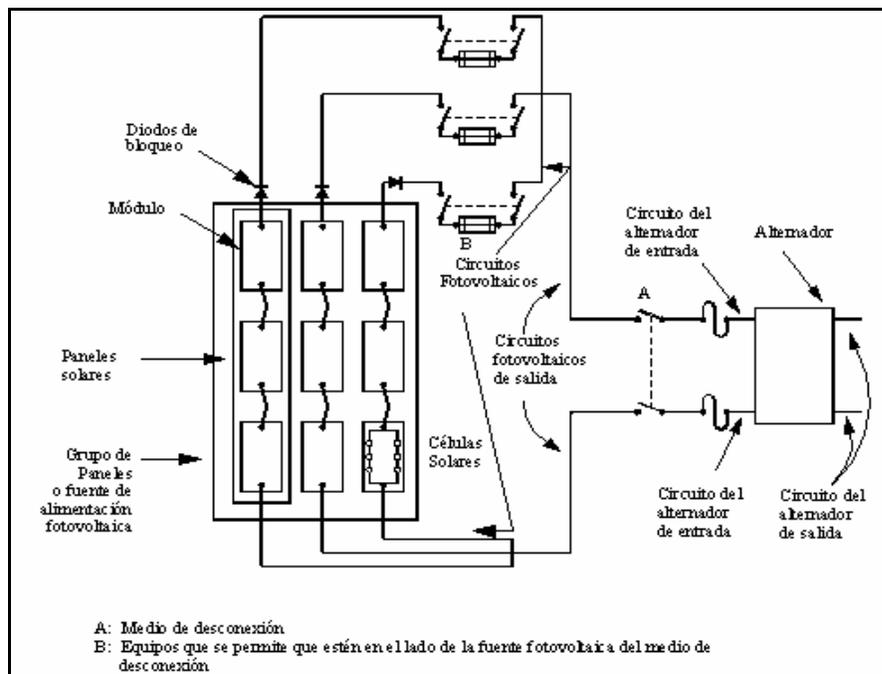


Figura 2.6 Sistema Fotovoltaico. (C.E.N. Sección 690)

2.3.4.1. Subsistema de captación

“Está formado por un conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos, conectados convenientemente, que realizan la captación de la energía procedente del sol y la transforman, directamente en energía eléctrica en forma de tensión y corriente continua”. (Ibáñez y Rosell, 2004)

2.3.4.1.1. Célula Fotovoltaica

Méndez y Cuervo (2007) dicen que: Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los 0.25mm y los 0.35mm, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100 cm^2 . Se compone de una delgada capa de material tipo “N” y otra de mayor espesor de material tipo “P” (ver

figura 2.7). Ambas capas separadas son eléctricamente neutras, y al juntarlas se generará un campo eléctrico en la unión “P-N”.

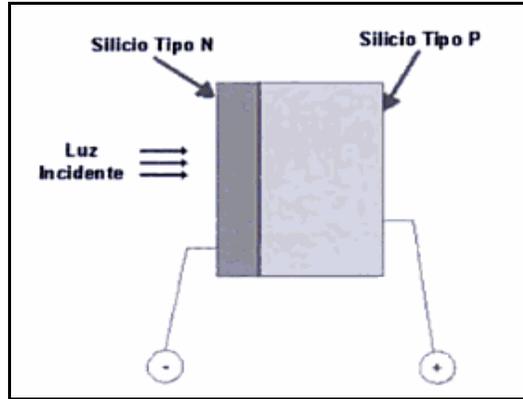


Figura 2.7 Efecto fotovoltaico en una celda solar. (Méndez y Cuervo, 2007)

Cuando la luz incide sobre la célula los fotones rompen el par electrón-hueco. El campo eléctrico de la unión los separa para evitar que se recombinen, llevando los electrones a la zona “N” y los huecos a la zona “P”. Mediante un conductor externo se conecta la capa negativa a la positiva, generándose así un flujo de electrones (corriente eléctrica) de la zona “P” a la zona “N”. La superficie de la zona “N” es la cara que se ilumina, tal como se muestra en la figura 2.8, mientras la luz siga incidiendo habrá corriente eléctrica, y su intensidad será proporcional a la cantidad de luz que reciba la célula.

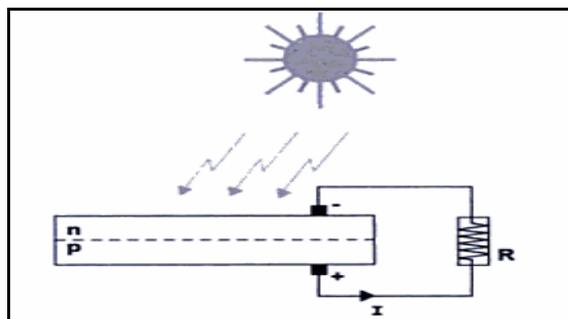


Figura 2.8 Incidencia solar sobre la celda. (Méndez y Cuervo, 2007)

La parte más importante de una célula solar son las capas del semiconductor, ya que es en ellas donde se liberan los electrones y se produce la corriente eléctrica. Para hacer las capas de las distintas células solares se utilizan diferentes materiales semiconductores, y cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus inconvenientes, tal como muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tipos de Células solares. (Méndez y Cuervo, 2007)

| Células de Silicio | |
|------------------------------|--|
| <i>Monocrystalino</i> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Presenta una estructura completamente ordenada. ✓ Su comportamiento uniforme lo hace buen conductor. ✓ Es de fácil fabricación. ✓ Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. ✓ Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica. ✓ Su rendimiento oscila entre 15 – 18 %. |
| <i>Policristalino</i> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Presenta una estructura ordenada por regiones separadas. ✓ Los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la célula. ✓ Se obtiene de igual forma que la de silicio monocrystalino pero con menos fases de cristalización. ✓ Su superficie está estructurada en cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos. ✓ Su rendimiento oscila entre 12 – 14 %. |
| <i>Amorfo</i> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Presenta un alto grado de desorden. ✓ Contiene un gran número de defectos estructurales y de enlaces. ✓ Su proceso de fabricación es más simple que en los anteriores y menos costoso. ✓ Se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico. ✓ Son eficientes bajo iluminación artificial. ✓ Tiene un color marrón homogéneo. ✓ Su rendimiento es menor del 10 %. |

Ibáñez y Rosell (2004) exponen: En la curva característica de corriente vs tensión (curva I-V), se observa el comportamiento de los parámetros eléctricos que definen el funcionamiento de la célula solar.

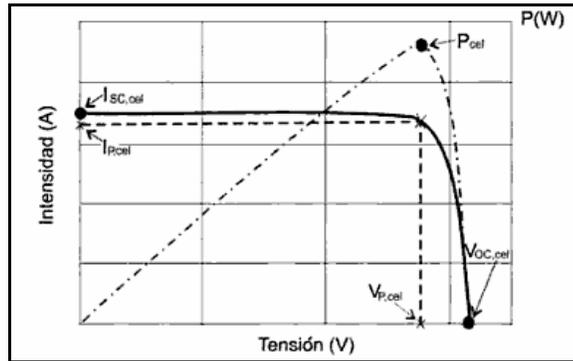


Figura 2.9. Curva característica I-V de una célula solar fotovoltaica. (Ibáñez y Rosell, 2004)

La definición de cada parámetro se puede encontrar en el libro Tecnología Solar.

2.3.4.1.2. Módulo o panel fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico es un dispositivo en el que un conjunto de células solares se conectan convenientemente para conseguir las condiciones óptimas para su integración en un sistema de generación de energía, siendo compatibles en tensión y en potencia con las necesidades y los equipos normalizados disponibles en el mercado. Generalmente es el nivel de voltaje el que determina la unión de celdas en serie, hasta llegar a valores estandarizados de 6V, 12V, 24V, 36V, o 48V de tensión nominal, debiéndose resaltar que su tensión de trabajo a potencia máxima está por encima de las citadas. La salida de los paneles fotovoltaicos depende en gran medida de los factores ambientales, estos efectos son:

a) Efecto de la incidencia de radiación solar.

La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional. La tensión se mantiene prácticamente constante, lo cual demuestra su estabilidad frente a los cambios de iluminación.

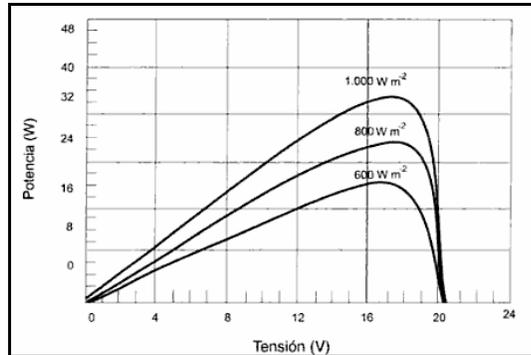


Figura 2.10. Efecto de la intensidad de la radiación. (Ibáñez y Rosell, 2004)

b) Efecto de la temperatura

Al aumentar la temperatura, la tensión de circuito abierto disminuye del orden de unos pocos milivoltios por cada grado centígrado que aumente la temperatura (ver figura 2.11). (Ibáñez y Rosell, 2004)

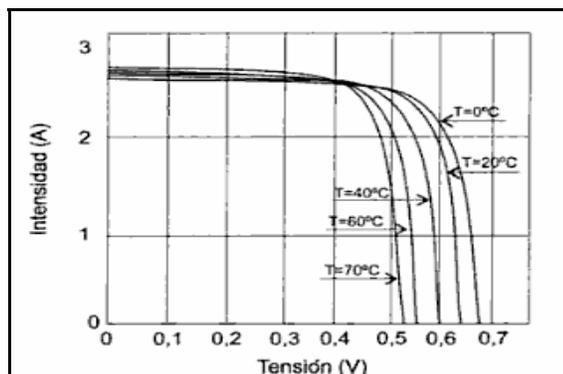


Figura 2.11. Dependencias de la curva I-V con la temperatura. (Ibáñez y Rosell, 2004)

c) Utilización de Diodos

Ferichola (2009) recalca que: Para evitar los problemas que puede ocasionar una iluminación no uniforme, la presencia de sombras u otros factores que pueden hacer que una parte del generador fotovoltaico trabaje en distintas condiciones que el resto, se recurre al empleo de protecciones mediante diodos. Siendo los diodos de paso los que se colocan en paralelo en asociaciones de células FV en serie, para impedir que todos los elementos de la serie se descarguen sobre una célula que resulte sombreada. Y los diodos de bloqueo para controlar los flujos de corriente con el fin de prevenir las corrientes inversas desde la batería hasta el campo de módulos fotovoltaicos y/o proteger las ramas débiles o deterioradas.

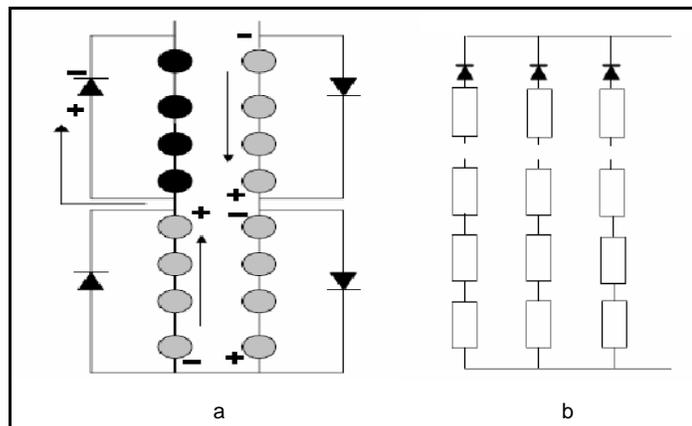


Figura 2.12. Esquema del modo de funcionamiento de los diodos (a. Diodo de paso, b. Diodo de bloqueo). (Ferichola, 2009)

2.3.4.1.3 Instalación de los módulos fotovoltaicos

a) Orientación de los paneles

El autor Ferichola (2009) investigó lo siguiente: La orientación óptima sería que los módulos fotovoltaicos estuvieran en todo momento perpendicular a la “línea imaginaria” que una el sol con la instalación

fotovoltaica. En las instalaciones fijas deben orientarse para tratar de aprovechar al máximo la energía recibida del sol. La instalación de los módulos fotovoltaicos está determinada por dos ángulos, el acimut " α " y la inclinación o elevación " β ". Se recomienda que la inclinación del panel nunca sea menor que 15° debido a que acumulan polvo y/o humedad.

b) Conexión de los módulos fotovoltaicos

Suarez (2008) en su proyecto de grado expone: la conexión de los módulos puede efectuarse previa a su fijación en la estructura, o bien con estos ya instalados. En cualquier caso, el objetivo principal es preparar eléctricamente el campo FV, dejando dispuestos los terminales principales: positivos y negativos, que identifican el circuito generador FV principal.

En la sección 690-A del C.E.N. se establece que: Las conexiones de un módulo o panel deben estar hechas de modo que sí se quita dicho módulo o panel del circuito de la fuente fotovoltaica no se rompa la continuidad de ningún conductor puesto a tierra de cualquier otro circuito fotovoltaico.

2.3.4.2. Subsistema de acumulación

La fiabilidad global de la instalación fotovoltaica depende en gran medida del buen funcionamiento del subsistema de acumulación, por lo que debe prestársele una especial atención. Una batería almacena electricidad para ser utilizada durante la noche o para satisfacer la demanda energética de las cargas cuando los módulos no están generando suficiente potencia para ello. (Ibáñez y Rosell, 2004).

En la tesis presentada por Suárez (2008) se expone lo siguiente: La incorporación de baterías en un sistema FV permite dotar al sistema de una fuente eléctrica independiente de las condiciones de radiación solar existente, así como también dar autonomía al servicio eléctrico durante los periodos de inactividad de los módulos.

Las baterías deben ubicarse en un lugar cerrado, protegido de la intemperie, evitando la exposición directa al sol. Su conexión obedece a los requerimientos de tensión y capacidad de acumulación particulares de cada instalación (serie, paralelo o mixto).

La energía que se emplea para la recarga del banco de baterías es la diferencia entre la energía total generada por el conjunto de paneles solares y la energía consumida por las cargas en un momento determinado. Si se aumenta el número de baterías sin ampliar el generador y manteniendo el mismo consumo eléctrico, el sistema necesitará de más días para lograr la recarga del banco.

2.3.4.3. Subsistema de regulación

En este sistema se regula la entrada de energía procedente del campo de captación.

2.3.4.3.1. Regulador de carga

Es un dispositivo electrónico que tiene la misión de proteger a la batería contra las sobrecargas y sobredescargas. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.

Con el fin de proteger las baterías contra descargas excesivas, el suministro de electricidad a las cargas debe interrumpirse cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral, llamado “voltaje de desconexión de carga”. Y no debe reanudarse hasta que el voltaje de la batería no haya superado otro umbral más alto, llamado “voltaje de reconexión de carga”. Para definir o caracterizar completamente un regulador se debe especificar la tensión nominal, la intensidad nominal, el tipo de regulación, sea éste serie o paralelo, y la estrategia de regulación.

Los reguladores modernos basados en microprocesadores posibilitan: la selección del tipo de batería; el ajuste de los niveles de tensión; protección contra inversión de la polaridad y secuencia de conexión; duración de las etapas de regulación y la adquisición de datos, convirtiéndose en verdaderos gestores y supervisores del sistema fotovoltaico.

La principal consideración en la ubicación del regulador, es la longitud del cableado y del circuito regulador – batería (por ser el más exigente en cuanto a caída de la tensión máxima admisible). Así pues, el regulador debe situarse lo más cerca posible de la batería. Existen reguladores aptos para su ubicación tanto en el interior como a la intemperie.

2.3.4.4. Subsistema de adaptación del suministro eléctrico

Ibáñez y Rosell (2004) exponen en su texto lo siguiente:

La misión del subsistema de adaptación consiste en hacer compatibles entre sí las características eléctricas (tensión, intensidad, frecuencia) de los diferentes subsistemas que componen la instalación fotovoltaica, incluido los receptores.

2.3.4.4.1. Inversores

Son dispositivos que transforman la corriente continua (CC) suministrada por los sistemas fotovoltaicos y demás fuentes de energía renovables o sus componentes de almacenamiento, en corriente alterna (CA), necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos e industriales. La mayoría de los inversores aceptan tensiones continuas de entrada de 12, 24, 32, o 48V y suministran en la salida tensión alterna de 230V y 50Hz, y de 120V y 60Hz en Norteamérica y algunos otros países. Según el procedimiento para convertir CC en CA y las aplicaciones en las que se emplean, los inversores se clasifican en:

Inversores rotativos. En éstos, la tensión continua alimenta un motor de CC que, a su vez, mueve un generador de tensión alterna. Este tipo de inversores es muy fiable produciendo, además, una tensión senoidal pura, adaptándose automáticamente a la demanda.

Inversores electrónicos. La transformación de CC a CA se realiza mediante componentes de estado sólido, alcanzándose rendimientos entre el 60 y el 90%, o incluso, superiores.

Atendiendo a su relación con la red eléctrica, los inversores se clasifican en:

Inversores autónomos: también denominados inversores estáticos, están diseñados para funcionar en sistemas sin conexión con la red pública de distribución, obteniendo la energía de un sistema de acumuladores.

Inversores conectados a la red: también denominados inversores síncronos, se utilizan en instalaciones conectadas a la red de distribución de

una compañía eléctrica.

El aspecto más importante a considerar a la hora de ubicar el inversor, en una instalación FV, es la longitud del cableado en el circuito de la batería – Inversor, o campo FV – inversor de red, ambos caracterizados por ser las líneas que maneja más intensidad de corriente. Así que al igual que sucede con el regulador (a efecto de caída de tensión máxima admisible), el inversor debe situarse lo más cerca posible de las baterías y del campo FV, según se trate de un sistema aislado o conectado a la red. Al igual que con el regulador, el inversor puede colocarse dentro de una caja o armario especial para su uso en intemperie.

Deben dimensionarse según los vatios de potencia eléctrica que podrá suministrar, durante su funcionamiento normal o de forma continua, o mediante la potencia de arranque. La eficiencia de los inversores disminuye cuando se utilizan a un porcentaje bajo de su capacidad; por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la de consumo. En general la potencia del inversor no debe ser superior a la potencia pico del generador fotovoltaico, ya que éste no funcionará a su potencia nominal, debido a que en condiciones climáticas reales, un generador fotovoltaico nunca produce la potencia pico ya que la temperatura normal de funcionamiento del modulo es mayor de 25°C cuando la irradiancia es de 1000 W / m^2 .

2.3.4.5. Subsistema de componentes auxiliares

Incluye al cableado, y a los sistemas de desconexión y protección del sistema.

2.3.4.5.1. Cableado de los campos fotovoltaicos

Para Ferichola (2009) la correcta selección del tipo y calibre del cableado aumentará el rendimiento y la fiabilidad del sistema fotovoltaico, evitando situaciones de riesgo. El tipo de cable dependerá de las conexiones que va a realizar, pero en general deben estar aislados de la intemperie y ser resistentes a la humedad, los cables utilizados para interconectar módulos deben estar especificados como resistentes a la luz solar, los cables que vayan a ser enterrados se colocarán en una zanja de al menos 40 cm de profundidad, y llevarán un revestimiento de combustión lenta, resistente a la humedad, corrosión y formación fúngica.

Además, la sección del cable ha de ser tal que asegure que la caída de tensión en el generador y entre éste y el resto de los componentes del sistema no supere el 1% de la tensión nominal.

La sección 690-A del Código Eléctrico Nacional C.E.N establece que: Los circuitos de los sistemas fotovoltaicos y los circuitos de salida fotovoltaica no deben instalarse en las mismas canalizaciones, bandejas de cables, cables, cajas de tomas de corriente o de bornes u otra aparamenta similar, como las acometidas, circuitos de suministro o circuitos derivados de otras instalaciones. A excepción, cuando los conductores de los distintos sistemas estén conectados entre sí o separados por una barrera.

2.3.4.5.2 Desconexión de los sistemas fotovoltaicos

Los elementos de desconexión tienen como función aislar eléctricamente, de forma manual e intencionada, a los distintos circuitos que componen al sistema FV, con miras a la medición y a la reparación (mantenimiento). Su uso es obligatorio, cuando existen tensiones e

intensidades fuera del rango de seguridad personal (habitual en sistemas de potencia de media y alta potencia). Estos elementos deben posibilitar el aislamiento bajo carga, y estar adecuados al sistema. Se debe dar especial atención a los circuitos de CC, por la dificultad que ofrece este tipo de corriente para suministrar arcos eléctricos. Los elementos de desconexión se deben instalar en lugares fácilmente accesibles, a ser posible en forma centralizada en un cuadro eléctrico o similar, además e estar provistos de la señalización adecuada. (Suárez, 2008)

En el CEN (sección 690-C) en cuanto a los medios de desconexión, se expone que: “Se deben instalar medios que desconecten todos los conductores en tensión de una fuente de energía fotovoltaica de todos los demás conductores de un edificio o estructura”.

Fusibles. Si un fusible recibe corriente en ambas direcciones y es accesible a personas no cualificadas, se debe instalar un medio de desconexión que lo desconecte de todas las fuentes de alimentación. Un fusible de este tipo en un circuito de la fuente de energía fotovoltaica se debe poder desconectar con independencia de los fusibles que haya en otros circuitos de la fuente de energía fotovoltaica.

Interruptores o interruptores automáticos. El medio de desconexión de los sistemas no puestos a tierra deben consistir en uno o varios interruptores o interruptores automáticos accionables manualmente y fácilmente accesible, accionables desde el exterior sin que la persona se exponga al contacto con partes en tensión, claramente marcados para indicar cuándo están en posición abierta o cerrada y con una intensidad de corte suficiente para la tensión nominal del circuito y para la intensidad que se dé en los terminales de los conectores de los equipos.

2.3.4.6 Protección de los sistemas fotovoltaicos

Su función es evitar el paso, por cables aparatos y personas, de corrientes perjudiciales, reduciendo las posibilidades de incendios y de choques eléctricos. Deben actuar de forma automática ante situaciones de: sobrecarga, cortocircuito, contacto indirecto; interrumpiendo de forma fiable y segura el paso de corriente por el circuito afectado.

Los elementos de protección usados habitualmente en instalaciones FV son los fusibles magneto térmicos (Termomagnéticos), diferenciales, descargadores de corriente de rayos y de tensión.

En los circuitos de las baterías, se debe tomar en cuenta el posible incremento de las corrientes de corto circuito, pudiendo alcanzar valores extremadamente elevados; de allí que la utilización de elementos de protección sin la capacidad de corte apropiada pueda provocar la aparición de arcos eléctricos y originar explosiones. (Suárez, 2008)

2.3.4.6.1 Puesta a tierra

Es uno de los aspectos más importantes de la instalación fotovoltaica, que ha de establecerse durante la etapa de diseño. Consiste en la unión eléctrica de las distintas masas metálicas, y de éstas con tierra. Ofrecen protección contra tormentas, evitando que la tensión entre las masas metálicas, posibiliten la acumulación de cargas electrostáticas de origen atmosférico.

La puesta a tierra del campo FV, abarca tanto al marco metálico de los módulos como a la estructura. Su anclaje no puede considerarse una protección eficaz, ya que el tratamiento superficial de los elementos dificulta

una conexión confiable, por tal motivo los módulos suelen disponer de un orificio para la ubicación del conductor de puesta a tierra. Éste conductor debe unir eléctricamente a todos los marcos entre sí, y a estos con la estructura; el conductor a usar debe ser desnudo adicionando un electrodo de puesta a tierra (generalmente tipo pica), es recomendable que estas conexiones se efectúen mediante terminales que permiten su desconexión, sin interrumpir su tendido de puesta a tierra.

Cuando la distancia entre al campo fotovoltaico y el resto de la instalación no es considerable, la puesta a tierra de protección del campo FV puede servir a todo el sistema. En la sección 690-E del C.E.N se pueden encontrar los establecimientos que en cuanto a puesta a tierra de sistemas fotovoltaicos se refiere.

2.3.4.6.2. Protección contra sobrecorriente

La sección 690-B del C.E.N establece lo siguiente:

Los circuitos de las fuentes de energía fotovoltaicas, de salida fotovoltaica, de los reguladores y de las baterías y equipos deben estar protegidos contra sobrecorriente según establece la Sección 240. Los circuitos conectados a más de una fuente eléctrica deben tener dispositivos contra sobrecorriente instalados de modo que protejan al circuito contra variaciones de intensidad de cualquier fuente.

Los dispositivos de protección contra sobreintensidad (fusibles o interruptores automáticos) que se utilicen en las ramas de c.c. de un sistema solar fotovoltaico, deben estar listos para usarlos en circuitos de corriente continua y tener los valores adecuados de tensión, intensidad admisible e intensidad de corte máxima.

2.3.5. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos

Ibáñez y Rosell (2004) expresan lo siguiente: La expresión dimensionado de un sistema fotovoltaico se refiere al proceso de cálculo y selección de los distintos componentes y subsistemas que constituyen una instalación fotovoltaica. El primer paso consiste en establecer qué tipo de sistema fotovoltaico se va a diseñar, si será una instalación autónoma (sin conexión a red), o una semi – autónoma (con conexión a la red), o una instalación conectada a red.

Existen diversos métodos para el cálculo y dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas. Entre todos estos se va a explicar el denominado método del peor mes o del mes más desfavorable, el cual consiste en dimensionar el sistema para satisfacer las demandas de energía eléctrica durante la temporada más desfavorables, en el bien entendido que, en el resto del año, el sistema podrá suministrar, sobradamente, la energía eléctrica demandada por los receptores.

2.3.5.1. Datos generales a considerar

Antes de realizar el dimensionado del sistema fotovoltaico se deben tener presentes los siguientes datos:

- a. **Latitud del lugar.** Con signo positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur.
- b. **Datos de radiación solar.** Para el método del “mes peor” basta con conocer doce valores, uno para cada mes. Son los valores medios mensuales de irradiación global diaria sobre plano horizontal.
- c. **Equipos de consumo.** De cada uno de ellos (desde el punto de vista eléctrico, se les llama también *cargas*) es necesario conocer la *tensión*

nominal V_{NC} y la potencia de funcionamiento P_C . Para conocer la energía que una instalación va a consumir o consume, es también muy importante estimar el tiempo medio de utilización de cada carga, bien sea diario, semanal, mensual o anual, y teniendo en cuenta los altibajos periódicos que puedan existir.

- d. **Número de días de autonomía.** Está relacionado con el número de días consecutivos totalmente cubiertos que pueden producirse, durante los cuales los paneles no captan prácticamente energía. A la hora de establecer N , hay que considerar tanto la climatología del lugar como el tipo de instalación.
- e. **Tensión nominal de la instalación.** Tanto los equipos de consumo como las baterías se escogen para un valor de tensión nominal V_N . Normalmente, éste es de 12 ó 24 Voltios para las pequeñas instalaciones pero si la potencia total de consumo supera los 3 kW, la tensión debe ser de 48 V.

2.3.5.2. Procedimiento de cálculo

A continuación se presentan los pasos que se seguirán para el dimensionado del sistema fotovoltaico a proponer.

2.3.5.2.1 Estimación del consumo

(Aguilera) en el *curso de energía solar fotovoltaica* dice que: La demanda de energía impone muchas de las características de la instalación. Se deberá calcular la energía que el usuario necesitará diariamente. Para ello se deberá determinar la potencia de todos los aparatos de que constará la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos.

Conocidos todos los aparatos, potencias y tiempos de uso la expresión para calcular la energía de consumo, distinguiendo entre los aparatos de corriente alterna y continua será:

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} \cdot t_{di} \quad (2.4)$$

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di} \quad (2.5)$$

Siendo: E_{AC} la energía consumida en AC (Wh), E_{DC} la energía consumida en DC (Wh), P_i la potencia Nominal (W) y t_{di} el tiempo diario de uso (h).

Para calcular el consumo total o la energía total requerida por el sistema (E_T), se tendrán en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión:

$$E_T = E_{DC} / \eta_{BAT} + E_{AC} / (\eta_{BAT} \cdot \eta_{INV}) \quad (2.6)$$

Donde: η_{BAT} y η_{INV} el rendimiento de la batería y el inversor respectivamente.

2.3.5.2.2. Cálculo de las Horas Pico Solar (H.S.P)

En la sección 2.3.2.1 se encuentra definido este punto. Las horas solares picos serán:

$$H.S.P_{\beta} = Ki \times E \quad (2.7)$$

Donde, K_i es el factor de corrección para superficies inclinadas, (ver apéndice A.3), y E es la energía incidente en el horizonte, medida en kWh/m^2 .

2.3.5.2.3. Cálculo del rendimiento global del sistema

a) Cálculo de la energía disipada diariamente por autodescarga, tomando (K_a) y sin tomar en cuenta la acción de la temperatura (K_a):

Este cálculo requiere del establecimiento del número de días de autonomía de la batería (N) y de la profundidad máxima de descarga diaria de la batería admisible (Pd), la cual no debe exceder el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de éste decrece en gran medida con ciclos de carga – descargas muy profundas.

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \times (1 - K_a') \times (N / Pd) \quad (2.8)$$

b) Cálculo de la energía disipada diariamente por autodescarga.

El coeficiente de autodescarga diario (K_a) es de:

*0.002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd

*0.005 para baterías estacionarias de Pb – ácido (las más habituales)

*0.012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles)

Tomando en cuenta la acción de la temperatura ambiente (T_a) sobre estas pérdidas, este índice se modificará (K_a') según:

$$K_a' = (0,0014 \times (T_a)^2 + 0,0021 \times T_a + 0,4) \times K_a \quad (2.9)$$

c) Selección del índice de energía, respecto a la absorbida, pérdida debido a las reacciones químicas en la batería (Kb):

Este índice depende de las descargas, siendo 0.05 para instalaciones con pocas descargas y de 0.1 para el caso de descargas frecuentes.

- ✓ **Pérdidas en el inversor (Kc):** Estas pérdidas dependen del tipo de señal inyectada al sistema, 0.1 para los inversores de onda cuadrada; y 0.2 para senoidales puras.
- ✓ **Determinación de las pérdidas por efecto Joule en la batería (Kv):** El máximo de este factor es de 0.15, toma en cuenta la energía disipada tanto en los elementos de consumo como en las conexiones.

2.3.5.2.4. Cálculo del banco de baterías

Este parámetro describe el número de horas promedio en que la batería se descargará sin averiarse; su valor es función del número de días de autonomía de la batería (N), y de la profundidad máxima de descarga admisible (Pd)

$$Rmd = \frac{N \times TOC}{Pd} \quad (2.10)$$

donde: TOC es el tiempo de operación de las cargas (aproximadamente 24 horas)

a) Cálculo de la energía útil necesaria (Eu)

Representa el cociente entre la demanda (Wh/día) y el rendimiento global, es decir:

$$Eu = \frac{Dem}{R} \quad (2.11)$$

b) Determinación de la capacidad de las baterías (Cu)

Es la capacidad de almacenaje de un acumulador, expresado en A-h, se define como el producto de la energía útil (Eu) y el número de días de autonomía (N):

$$Cu = Eu \cdot N \quad (2.12)$$

Dividiendo la ecuación 2.11 entre el valor nominal de tensión (Vn), se obtiene el valor real de la capacidad útil (Cur):

$$Cur = \frac{Cu}{Vn} \quad (2.13)$$

Por su parte la capacidad nominal (Cn) dependerá de la profundidad máxima de descarga admisible (Pd) y estará fijada por:

$$Cn = \frac{Cur}{Pd} \quad (2.14)$$

▪ **Número de Baterías**

El número de baterías en paralelo dependerá de la capacidad nominal (C_n) y de la capacidad nominal del acumulador seleccionado (C_{nb}), este dato es proporcionado por el fabricante.

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_{nb}} \quad (2.15)$$

El número de baterías en serie está determinado por el voltaje nominal del sistema que se está diseñando (V_n), y el voltaje nominal del acumulador seleccionado (V_{nb}):

$$N_{bs} = \frac{V_n}{V_{nb}} \quad (2.16)$$

El número de baterías totales resultará del producto entre el número de baterías en serie y paralelo:

$$N_b = N_{bp} \times N_{bs} \quad (2.17)$$

2.3.5.2.5. Cálculos del generador fotovoltaico

a) Energía que debe aportar el panel solar

$$E_p = \frac{E_u}{0,9} \quad (2.18)$$

b) Ángulo de inclinación de los paneles

Por razones de ingeniería y diseño, el ángulo de inclinación de los paneles debe ser la latitud de la localidad sumándole 10°.

c) Número total de módulos a conectar

$$NT = \frac{Ep}{Pp \times H.S.P_{\beta}} \quad (2.19)$$

El número de paneles en serie (Nps) por ramas viene dado por la ecuación 2.20, y el número de ramas en paralelo por la ecuación 2.21, siendo **Vn** el Voltaje Nominal del sistema y **Vp** el Voltaje pico del modulo fotovoltaico seleccionado.

$$Nps = \frac{Vn}{Vp} \quad (2.20)$$

$$Npp = \frac{NT}{Nps} \quad (2.21)$$

d) Características Físicas de los paneles fotovoltaicos

Características como el peso (P), longitud (L) y ancho (a) son proporcionados por el fabricante de los módulos fotovoltaicos. Éstas son necesarias para calcular el peso total del conjunto de paneles (Wp, Ec. 2.22) y el área aproximada ocupada por los paneles (Ap, Ec. 2.23), tal como se muestra a continuación:

$$Wp = NT \times P \quad (2.22)$$

$$A_p = NT \times L \times a \quad (2.23)$$

e) Fuerza que actúa en la parte frontal del Módulo

$$F = P \times S \times \text{Sen}(a) \quad (2.24)$$

Donde: **S** es la Superficie del colector (A_p / N_p), **P** la Presión del viento frontal ($1078 \text{ New}/m^2$) y **a** el ángulo de inclinación del panel.

f) Distancia mínima entre filas de módulos

En el caso de que los módulos se dispongan en filas, la separación entre líneas se establece de tal forma que al mediodía solar del día más desfavorable (altura solar mínima) del período de utilización, la sombra de la arista superior de una fila ha de proyectarse, como máximo, sobre la arista inferior de la fila siguiente. En el hemisferio norte y en una latitud de 8° el día más desfavorable, corresponde al 21 de Diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene el valor siguiente:

$$h_o = (90^\circ - \text{latitud}) - 23.5^\circ \quad (2.25)$$

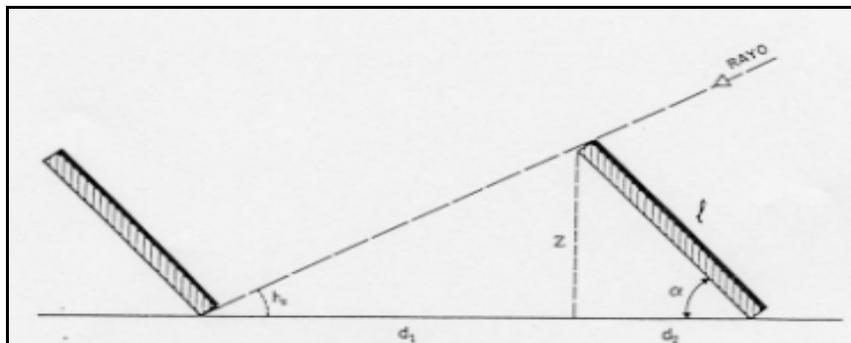


Figura 2.13. Distancia mínima entre módulos. [Proyecto Aquamac, 2004]

Observando la figura, la distancia mínima, d , entre filas de módulos vale:

$$d = d_1 + d_2 = l \times \left(\frac{\text{sen } \alpha}{\tan g h_o} + \cos \alpha \right) \quad (2.26)$$

2.3.5.2.6. Cálculos para el regulador de carga

Para estos cálculos se debe tener referencias de las características técnicas de los reguladores escogidos para el sistema.

a) Capacidad requerida de los reguladores de carga

$$C_r = Np \times I_{SC} + 1.5 \quad (2.27)$$

Donde: I_{SC} es la Corriente de cortocircuito del panel, y Np el número de ramas n paralelo.

b) Número de reguladores

$$N_r = \frac{C_r}{C_{nr}} \quad (2.28)$$

Siendo: C_{nr} la capacidad nominal del regulador seleccionado.

2.3.5.2.7. Cálculos para el Inversor

El cálculo del inversor de manera general no está sujeto a ninguna ley en particular, la elección de éste depende fundamentalmente del tipo de carga que será alimentada, por lo que la potencia nominal del inversor estará determinada por la carga conectada más un 10% de reserva, de aquí que:

$$P_I = \frac{CONSUM_{TOTAL}}{0.9} \quad (2.29)$$

Siendo P_I la potencia del inversor, y $CONSUM_{TOTAL}$ la potencia total de carga conectada.

a) Número de inversores a conectar

$$N_{inv} = \frac{P_I}{P_{NI}} \quad (2.30)$$

Siendo P_{NI} la potencia del inversor seleccionado.

A pesar que el cálculo de los inversores dependa fundamentalmente del tipo de carga conectada hay que tener en cuenta un factor determinante para su elección como lo es la capacidad para soportar picos que está determinada por:

$$Capacidad\ de\ picos = CONSUM_{TOTAL} + PICOS \quad (2.31)$$

El fabricante del inversor es quien indica que cantidad de picos que permite el equipo.

2.3.5.3. Selección de conductores para cada tramo del sistema

Para la elaboración de este cálculo se parte de la ecuación 2.32, que permite la determinación del valor de la corriente (I) que circulará por dicho tramo, para posteriormente hallar la sección transversal del conductor, y con ella escoger las dimensiones del conductor.

$$I = \frac{N_{pp} \times P_p}{V_m} \quad (2.32)$$

Para el caso especial del tramo banco de baterías – inversor, la ecuación que rige el cálculo de la corriente máxima (Imáx) se rige mediante la ecuación 2.33, donde: Pres representa la potencia real de consumo simultaneo (= $CONSUM_{TOTAL}$), η el rendimiento, y Vm la tensión del tramo.

$$I_{máx} = \frac{Pr es}{\eta \cdot V_m} \quad (2.33)$$

2.3.5.4. Selección de las protecciones para cada tramo

Siguiendo los requerimientos del Código Eléctrico Nacional, se aplica un factor de seguridad de 1.25 a las corrientes de cortocircuito:

$$I_{CC} = N_{pp} \times I_{SC} \quad (2.34)$$

Siendo I_{SC} la corriente de cortocircuito del panel.

La corriente de cortocircuito de cada uno de los tramos del campo fotovoltaico (I_{CCfv}), se definirá como:

$$I_{CCfv} = 125\% \times I_{CC} \quad (2.35)$$

En el caso particular de la protección Batería – Inversor, se parte de la ecuación 2.33, con la cual se calcula la corriente de la carga requerida en alterna.

2.4. Aspectos teóricos de la energía eólica

2.4.1. El Viento

(Mur, Joaquin) en el Curso Energía Eólica, expresa: El viento se produce por el movimiento de las masas de aire en la troposfera, la capa más baja de la atmósfera. Dentro de ella, los vientos que tendrán interés desde el punto de vista energético son los que se producen al nivel de la superficie terrestre.

Los movimientos de masas de aire hay que buscarlos en los gradientes de presión existentes, que en último término son debidos a los gradientes térmicos originados por la radiación solar recibida sobre la tierra. Es decir, las capas de aire caliente ascienden dejando hueco libre para las capas de aire frío, generando así el movimiento de las capas de aire.

2.4.1.1. Circulación general

Pinilla (1997) expresa: En una escala global las regiones alrededor del ecuador reciben una ganancia neta de energía mientras que en las regiones polares hay una pérdida neta de energía por radiación. Esto implica un mecanismo por el cual la energía recibida en las regiones ecuatoriales sea transportada a los polos.

Las masas de aire caliente en la región ecuatorial ascienden (causando la formación de nubes y de relámpagos) en una banda delgada de alrededor 100 Km. de ancho, llamada la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se ubica más o menos paralela al ecuador alrededor de la tierra (Ver Figura 2.14). En la parte superior de la atmósfera estas masas de aire se dividen en dos, una alejándose del ecuador hacia el norte y otra alejándose hacia el sur. Al alejarse del ecuador, el aire se enfría y se vuelve más pesado. A aproximadamente 30° de latitud Norte y Sur, este aire empieza a descender, causando un clima seco y sin nubes.

En la superficie terrestre, los vientos se devuelven hacia el ecuador como vientos alisios. Debido a la rotación de la tierra su dirección se desvía hacia el oeste en los dos hemisferios, norte y sur. Por esto la dirección de los vientos alisios es NE y SE (la dirección se determina por la dirección de donde viene el viento y no hacia donde se dirige). La Zona de Convergencia Intertropical se desplaza hacia al norte del ecuador durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur en el invierno. Es muy estable y por esto los vientos alisios son permanentes. Dentro de esta zona, se encuentran vientos de baja intensidad, interrumpidos por un alto nivel de tormentas eléctricas. Al tiempo, se pueden experimentar largos períodos de calma de viento.

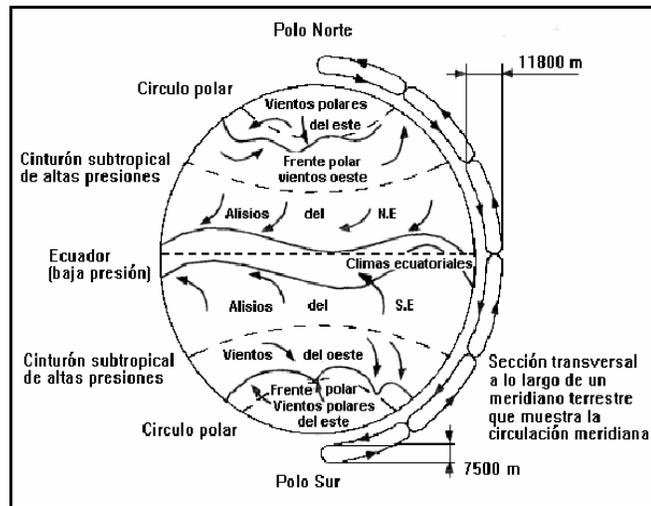


Figura 2.14. Representación del patrón global de circulación de vientos (Pinilla,1997)

2.4.1.2. Efectos locales

(Mur) dice que: Aparte de las condiciones generales, existen efectos locales responsables de vientos de cierta importancia, tanto más, cuanto menor importancia tienen los vientos generales. Incluso existen ciertas regiones del mundo donde los vientos locales encubren totalmente a los generales. Los efectos locales pueden tener dos orígenes:

2.4.1.2.1 Origen térmico

Brisas, debidas al diferente calentamiento de la tierra y el mar. El viento sopla hacia tierra durante el día, siendo el sentido contrario durante la noche, (ver figura 2.15). Al amanecer, se calientan las laderas del valle y comienzan sobre ellas los flujos de aire ascendentes. A mediodía las corrientes ascendentes ya son fuertes y el aire comienza a subir valle arriba, estos son los llamados vientos de ladera y valle.

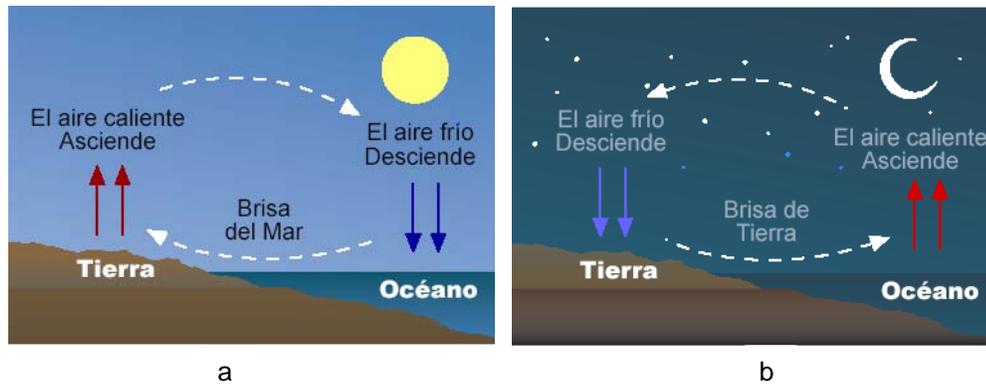


Figura 2.15. a) Efecto del viento durante el día. b) Efecto del viento durante la noche [Agencia Andaluza de la Energía]

Los vientos de origen térmico no tienen suficiente contenido energético, por lo que no son susceptibles de ser aprovechados, salvo en aquellos emplazamientos de cierta regularidad de viento.

2.4.1.2.2 Origen geográfico

Las colinas, acantilados y pequeños valles pueden dar lugar a la formación de vientos con suficiente contenido energético susceptibles de ser aprovechados energéticamente.

2.4.1.3 Estabilidad atmosférica

En el Curso de Energía Eólica (Mur) menciona que a medida que se asciende en altitud, la temperatura desciende. Por una parte, la atmósfera emite más radiación que la que absorbe, y por otra, las capas bajas de la atmósfera se calientan como consecuencia de la radiación emitida por el suelo. Durante la noche, la atmósfera se encuentra estable, y no hay transferencia de cantidad de movimiento de las capas superiores a las inferiores. Durante el día, debido al calentamiento de las masas de aire, la atmósfera se inestabiliza, con lo que el viento en superficie aumentará.

2.4.1.4 Velocidad del viento

En el proyecto presentado por Salazar (2006) se expone lo siguiente:

La velocidad del viento es un factor muy importante en el estudio para el desarrollo de una instalación eólica con la cual se desea generar energía eléctrica y ésta está asociada a la fuerza o intensidad con que se desplazan las masas de aire. Esta velocidad indica la magnitud del vector viento, mientras que la dirección del viento está asociada a la orientación de dicho vector. La velocidad del viento puede ser representada en diferentes unidades, tal como se muestra a continuación:

Tabla 2.3. Unidades equivalentes de medición de la Velocidad del Viento (Salazar, 2006)

| Equivalencia de la Velocidad del Viento | | | |
|--|-------------|-----------------|--------------|
| m/s | Km/h | Millas/h | Nudos |
| 1 | 3.60 | 2.24 | 1.94 |

2.4.1.5 Variaciones del viento

El viento es una fuente de energía cuya característica fundamental es la irregularidad. No siempre que se desea o que la demanda energética es alta se puede disponer de viento de suficiente velocidad como para emplearlo en la generación eléctrica.

Pinilla (1997) dice que las variaciones de viento hay que caracterizarlas desde dos puntos de vista, variaciones temporales y variaciones espaciales.

2.4.1.5.1 Variaciones temporales del viento

- ✓ **Ciclos energéticos.** Están asociados a las diferentes escalas del movimiento atmosférico, las cuales no están directamente producidas por la radiación solar, sino también por las energías procedentes de otro tipo de intercambios. Las fluctuaciones temporales del viento pueden ser a corto plazo, debidas al intercambio atmosférico, o a largo plazo, asociados a fenómenos meteorológicos a gran escala.
- ✓ **Turbulencia atmosférica.** Las fluctuaciones turbulentas son esencialmente irregulares por lo que lo más adecuado es realizar un tratamiento estadístico de las mismas. Se considera la turbulencia como la incorporación de todas las fluctuaciones de frecuencias más altas que la variación de la velocidad media.
- ✓ **Rafagosidad del viento.** Un aspecto importante a tener en cuenta lo constituyen los valores máximos, rachas o picos de viento que implican variaciones bruscas de esfuerzos dinámicos o estructurales.

2.4.1.5.2. Variaciones espaciales del viento

a) Variación vertical

La variación vertical del viento está estrechamente relacionada con los gradientes verticales de temperatura, es decir, con la estabilidad atmosférica. La superficie terrestre ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardar el flujo, por ende disminuir la velocidad del viento. Este efecto retardatorio de la velocidad de viento decrece en la medida que se incrementa la altura sobre la superficie del terreno y de obstáculos en su recorrido. Así pues, a mayor altura sobre la superficie mayor velocidad de viento se podrá experimentar.

Con respecto a este punto, el autor del curso de energía Eólica (Mur, Joaquín) dice que: Se han determinado expresiones empíricas, como la ley potencial:

$$V/V_o = (h/h_o)^\alpha \quad (2.36)$$

donde: α es un parámetro que depende del tipo de superficie.

El método seguido tradicionalmente es suponer atmósfera neutra y hacer una estimación de longitud de rugosidad, y a partir de las mediciones de viento a un nivel z , estimar los resultados a una altura z' , con la expresión:

$$\frac{v(z)}{v(z')} = \frac{\ln z' - \ln z_o}{\ln z - \ln z_o} \quad (2.37)$$

Los datos de viento habitualmente se miden a la altura estándar de 10 m, ahora bien, los rotores de los aerogeneradores se sitúan a alturas superiores, por lo que es preciso extrapolar los datos. En este caso se asume que el modelo de ley potencial para el perfil vertical de velocidades (ver ecuación 2.36).

Donde, como se dijo anteriormente α depende de la rugosidad superficial media y de la estabilidad atmosférica media en el lugar considerado, tomando en cuenta que en lugares con altas velocidades medias (6 m/s, atmósfera neutra) α varía entre 0.1 y 0.3 dependiendo de la rugosidad superficial media. De manera muy general, se utiliza comúnmente el valor $\alpha = 1/7$, válido para atmósferas neutras.

b) Efectos del terreno y perturbaciones del flujo

La topografía del terreno, en el que se pretende instalar un equipo eólico, es determinante a la hora de situar los aerogeneradores o para la realización de la infraestructura eléctrica y civil. Un terreno llano con rugosidad superficial uniforme es el tipo de terreno más simple para colocar las máquinas. En el caso de que no haya obstáculos (por ejemplo, edificios, árboles o colinas), la velocidad del viento a una altura dada es aproximadamente la misma sobre toda el área. Para incrementar la potencia disponible en terreno uniforme se debe levantar la máquina a la mayor altura posible desde el nivel del suelo. En la figura 2.16 aparecen los valores de rugosidad asociados a cada una de las superficies.

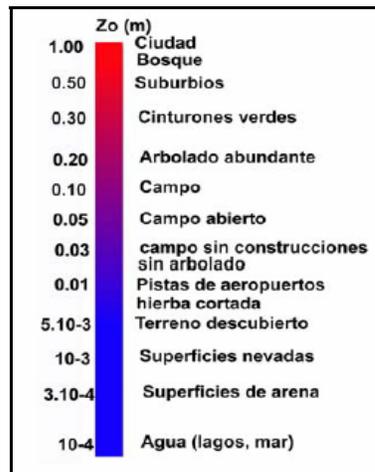


Figura 2.16 Escala de rugosidades. (Curso de Energía Eólica)

Los efectos provocados por los obstáculos del terreno como elevaciones, colinas, etc., pueden ser de aceleración si el obstáculo es de forma y pendiente relativamente suaves, o producirse efectos de reducción si se trata de crestas o bordes agudos.

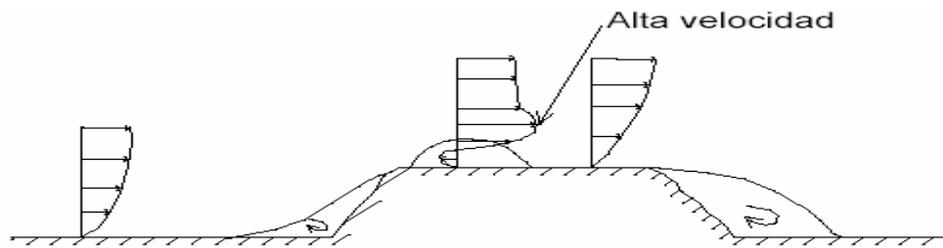


Figura 2.17 Influencia de un obstáculo de pendientes suaves. (Curso de Energía Eólica)

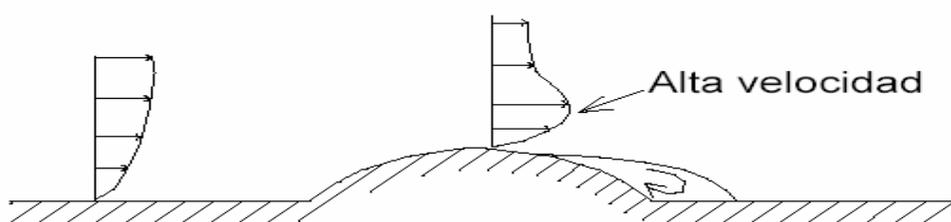


Figura 2.18 Influencia de un obstáculo de pendientes abruptas (Curso de Energía Eólica)

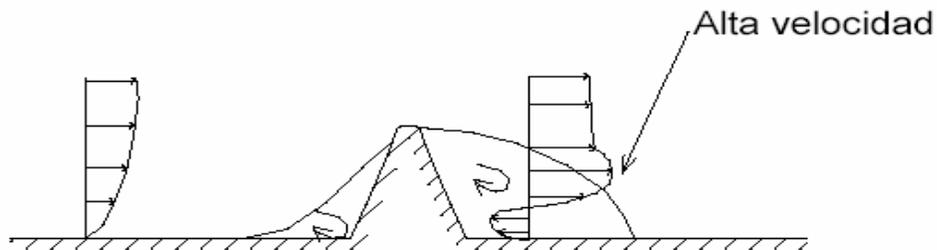


Figura 2.19 Influencia de un obstáculo en forma de cresta (Curso de Energía Eólica)

2.4.2 Cálculo de la potencia del viento

Pinilla (1997) expresa: La potencia en el viento soplando con una velocidad V a través de un área A , perpendicular a V , es:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.38)$$

Siendo:

P_{viento} : La potencia en el viento (W)

ρ : La densidad del aire (aprox. $1.2 \text{ Kg} / \text{m}^3$)

V: La velocidad del viento (m/s)

A: El área perpendicular al viento en m^2

Si la velocidad del viento se duplica, la potencia es ocho veces más grande. De 2 a 3 m/s de velocidad de viento, la potencia del viento es más de tres veces. De 4 a 5 m/s de velocidad de viento, la potencia es el doble (ver figura 2.20 y tabla 2.4)

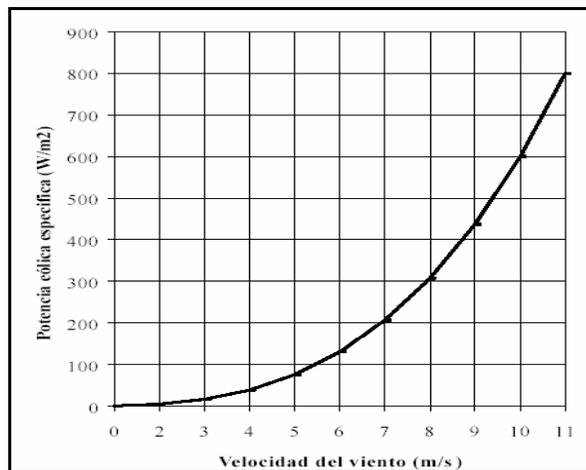


Figura 2.20 Potencia eólica específica en función de las velocidades para condiciones normales de presión y temperatura. (Pinilla,1997)

Tabla 2.4 Variación de la Potencia Eólica Específica (Pinilla, 1997)

| Velocidad del viento en m/s | Potencia eólica específica en W / m^2 |
|-----------------------------|---|
| 2 | 5 |
| 3 | 16 |
| 4 | 38 |
| 5 | 75 |

| | |
|----|------|
| 6 | 130 |
| 7 | 206 |
| 8 | 307 |
| 9 | 437 |
| 10 | 600 |
| 11 | 800 |
| 12 | 1040 |

En un día con borrasca la velocidad del viento puede variar de 1 a 10 m/s. La tabla 2.4 muestra la variación de la potencia eólica específica para diferentes valores de velocidad de viento, con la densidad del aire a condiciones estándar a la altura del nivel del mar (1.2 Kg/m³).

2.4.2.1. Densidad del aire

La energía cinética de un cuerpo en movimiento es proporcional a su masa (o peso), así, la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir de su masa por unidad de volumen. A presión atmosférica normal y a 15°C el aire tiene una densidad de unos 1.225 kg/m³, aunque la densidad disminuye ligeramente con el aumento de la humedad. La densidad del aire se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (2.39)$$

Donde: P es la presión atmosférica, T la temperatura (Grado Kelvin), y R La Constante de aire seco ($287 \frac{J}{kg \cdot K}$)

Temperaturas bajas producen una densidad de aire mas alta, mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado, cuanto más pesado sea el aire, más energía recibirá la turbina. (Salazar, 2006)

2.4.2.2 Potencia eólica aprovechable

En la sección anterior se ha visto cual es la energía contenida en una masa de aire en movimiento. Ahora bien, el cumplimiento de la ecuación de conservación de la masa hace que toda esa potencia disponible en el aire pueda aprovecharse.

En el Curso de Energía Eólica (Mur, Joaquín) se define el coeficiente de potencia de un aerogenerador como la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina.

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (2.40)$$

Donde: P_d es la potencia disponible, ρ la densidad del viento, A el área expuesta al viento incidente, V la velocidad del viento incidente y C_p el coeficiente de potencia de la máquina, el cual nunca puede alcanzar el 100% respecto a la potencia incidente. El valor máximo fue determinado por Betz, en el año 1927 a partir de la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento.

2.4.3. Datos Meteorológicos Requeridos para evaluar el uso de la energía eólica

Pinilla (1997) en su manual dice que se requieren los siguientes datos:

2.4.3.1 Velocidad de Viento Promedio Anual

La velocidad de viento promedio por un período largo puede ser utilizada como una primera indicación de la viabilidad de uso de la energía eólica.

2.4.3.2 Variaciones Estacionales

Datos sobre variaciones estacionales de la velocidad de viento (normalmente presentada como promedios mensuales de velocidad de viento) son de importancia para estimar la variación estacional de entrega de energía, y así determinar el mes de diseño crítico (mes de menor energía eólica disponible) para la instalación que se desea.

2.4.3.3 Variaciones Diurnas

Variaciones a lo largo del día pueden tener influencia en la viabilidad de uso de la energía eólica. En lugares que poseen una velocidad de viento baja durante las 24 horas del día, la viabilidad de uso será dudosa. Pero por ejemplo en una región o lugar donde la intensidad del viento es baja durante 16 horas al día, pero presenta vientos de 6 m/s las restantes 8 horas del día, una aplicación eólica puede ser económicamente viable.

2.4.3.4 Borrascas, vientos extremos

Datos sobre borrascas y vientos de muy alta intensidad son necesarios para determinar las máximas velocidades de viento en las cuales

cualquier equipo de conversión de energía eólica puede ser capaz de aguantar sin presentar daño.

2.4.3.5 Períodos de Calma

Se requiere información sobre períodos largos de baja intensidad del viento para determinar las dimensiones de elementos como baterías o tanques de almacenamiento de agua para suplir suministro de energía cuando el equipo eólico no se encuentre en operación.

2.4.3.6 Distribución de Frecuencia de Velocidades de Viento

Es el porcentaje del tiempo en que una velocidad de viento dada ocurre en el año, es de gran utilidad, pues al conocerse los períodos largos de calma, se identificará la necesidad de almacenamiento de energía durante varios días, o en su defecto la necesidad de instalar un sistema alternativo de generación.

2.4.4. Métodos utilizados para evaluar y medir la velocidad del viento

La evaluación del potencial aprovechable en una zona específica, comprende una fase de exploración, con estudio de datos e información previa de registros de estaciones cercanas, reconocimiento de la geografía del terreno, estimaciones de potencial, acceso para un estudio más detallado de mediciones y registro, evaluación de los datos y aplicación de técnicas estadísticas necesarias, análisis de los datos obtenidos que permitan obtener una visión cuantitativa de la capacidad energética eólica en el punto de estudio. Los métodos utilizados para la evaluación y medición del potencial eólico presentados por Pinilla (1997):

2.4.4.1. Información Empírica

Esta información se recoge con base a visitas realizadas al lugar, donde las condiciones de topografía, de vegetación y la información de los habitantes de la región aportan valiosa información en la identificación de lugares con altos niveles de velocidad de viento. Información empírica puntual puede ser deducida, además, a partir de tablas como la escala de Beaufort, la cual se puede ubicar en el documento de Pinilla (1997), donde sólo se indica las características de incidencia del viento en tierra, sin embargo existe una correspondencia con fenómenos sobre el mar, la cual no se incluye. La información empírica, no permite conocer un valor aproximado de velocidad promedio anual del viento, pero si permite identificar sitios para futura evaluación del recurso.

2.4.4.2. Anemómetros Totalizadores

Una manera efectiva de determinar los valores promedios globales del comportamiento del viento es por medio de la instalación de anemómetros totalizadores. La dificultad de este sistema radica en que el anemómetro deberá estar localizado en un lugar donde las condiciones sean limpias, con muy pocos obstáculos alrededor; y estar a 10 metros de altura sobre la superficie del terreno. Con la recopilación de esta información totalizada y con promedios de velocidad de viento, se caracteriza formalmente el régimen de vientos presente en un lugar, identificándose con gran certeza las variaciones tanto diurnas como mensuales o estacionales.

2.4.4.3. Método de Correlación

Este método de estimación, permite combinar mediciones realizadas en un lugar específico, con registradores de velocidad de viento de cualquier tipo; con los datos publicados y suministrados por el servicio de meteorología

en estaciones aledañas al lugar. Se puede realizar mediciones de viento por un período corto de tiempo en un lugar (por ejemplo: algunos cuantos meses) y al comparar con datos obtenidos, simultáneamente, en una estación meteorológica cercana al lugar se pueden producir coeficientes numéricos de proporcionalidad a través de comparar los valores promedios medidos (diurnos y/o mensuales) con los datos publicados por el servicio de meteorología. Si se da una buena correlación (Consistentes y similares valores numéricos), por ejemplo, con promedios mensuales de viento, y se cuenta con varios años de información meteorológica, se aproximará mucho más a una estimación real del potencial eólico en el lugar. En este método de correlación, deberá tener en cuenta las variaciones de la dirección del viento, ya que pueden existir factores de correlación para diferentes direcciones del viento.

En el Curso de Energía Eólica se expone lo siguiente: se utilizan diferentes métodos para correlacionar los datos de un lugar correspondientes a un corto periodo de tiempo (mensual, anual) de medida con datos referentes a periodos largos (varios años) a partir de un observatorio de referencia. Los métodos más empleados son:

✓ **Método proporcional**

$$\bar{V}_c = \bar{V}_1 \left(\frac{\bar{V}}{\bar{V}_o} \right)$$

(2.41)

✓ **Método aditivo**

$$\bar{V}_c = \bar{V} + (\bar{V}_1 - \bar{V}_o) \tag{2.42}$$

Siendo:

V_c : valor medio correspondiente al largo periodo en el lugar considerado.

V_1 : valor medio correspondiente al corto periodo de medidas en dicho lugar.

V_o : valor medio correspondiente al corto periodo en el observatorio de referencia.

V : valor medio correspondiente al largo periodo en el observatorio de referencia.

Para que estos métodos sean válidos tiene que existir una elevada correlación espacial de valores medios entre el lugar de interés y el de referencia. Para lugares separados por distancias inferiores a 200 kms en terreno llano, la correlación puede ser alta. Para lugares en terreno no homogéneo separados menos de 20 kms y con altas correlaciones (>0.8), los métodos descritos anteriormente pueden ser utilizados.

2.4.4.4. Instalación de Pequeños Equipos eólicos

Otra manera utilizada para evaluar el recurso eólico en un lugar, se realiza mediante la instalación de un pequeño equipo eólico y la medición de su funcionamiento sobre una base regular de tiempo.

Este método, permite relacionar la característica del equipo con el régimen de vientos. Sin embargo, este método confía producir resultados adecuados, cuando el equipo eólico es accionado por el viento dentro de los rangos de operación prescritos por el fabricante. En cierta medida, este método permite adquirir confianza sobre la generación eléctrica, ya que se obtiene un resultado dual (medición de vientos y generación de energía) para

la evaluación del recurso en un lugar seleccionado. Claro está, que la selección del lugar donde debe estar instalado el equipo eólico se basa en el conocimiento empírico del régimen de vientos de los habitantes del lugar, ó de la característica de la vegetación alrededor del lugar.

2.4.4.5. Adquisición de Datos en Tiempo Real

Este método de evaluación es el más confiable y al mismo tiempo costoso para análisis del recurso. Consiste de un pequeño computador que almacena la información permanentemente, dependiendo de la necesidad del usuario, de manera que se pueden registrar promedios meteorológicos desde el rango de segundos hasta horas en las variables correspondientes. Entre más precisa, (promedio en tiempo menor y registros de memoria extendida) hacen que el equipo sea más costoso. La mayoría de los equipos de adquisición de datos comerciales vienen provistos con almacenamiento de memoria removible e intercambiable, con capacidad de acumular información hasta por seis meses continuos de registro. Algunos equipos, por otro lado, permiten extraer la información a través de telefonía celular desde cierta distancia hasta el lugar donde se está realizando la evaluación del recurso.

2.4.5. Medida del Recurso eólico

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica según el Curso de Energía Eólica, son:

- ✓ Anemómetros para medir la velocidad del viento
- ✓ Veletas para medir la dirección.
- ✓ Termómetros para medir la temperatura ambiente del aire
- ✓ Barómetros para medir la presión atmosférica ambiental.

2.4.5.1 Anemómetros

Son los instrumentos utilizados para determinar la velocidad del viento. Pueden clasificarse según su principio de operación:

- a) **De rotación.** Pueden ser de cazoletas o de hélice.
- b) **De presión.** La medida de la velocidad del viento se registra mediante los efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando se mueve.
- c) **Anemómetros de hilo caliente.** Miden la velocidad a través de los efectos de enfriamiento del viento.
- d) **Anemómetros basados en el efecto sónico.** El sonido viaja a través del aire en reposo a una velocidad conocida.

En el documento Curso de Energía Eólica se puede encontrar más información relacionada con este punto.

2.4.5.2 Medida de la dirección del viento

El elemento empleado tradicionalmente para medir la dirección del viento es una veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección.

2.4.5.3 Medida de la temperatura

La medida de la temperatura se utiliza para la determinación de la potencia suministrada, así como para evaluar la climatología local en emplazamientos de parques eólicos.

2.4.5.4 Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica se utiliza para la determinación de la potencia suministrada en una instalación eólica. Generalmente se utiliza un barómetro meteorológico.

2.4.5.5 Ubicación de los equipos de medición

Los sensores han de estar ubicados en lugares expuestos a todas las direcciones y sin obstáculos en los alrededores. La altura estándar de medición es de 10 metros sobre el suelo, con el fin de poder establecer comparaciones homogéneas. En el caso de evaluación de una determinada máquina, conviene realizar las medidas a la altura del buje, con el fin de reducir las posibles incertidumbres.

2.4.6. Tratamiento de los datos eólicos (análisis matemático de la energía eólica)

Los datos de viento obtenidos se tratan estadísticamente, con el fin de obtener la distribución por rumbos de las direcciones y la distribución por frecuencias de las velocidades.

2.4.6.1 Rosa de los vientos

Para mostrar la información sobre la distribución de las velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del mismo, se dibuja la llamada rosa de los vientos, basándose en observaciones meteorológicas de las velocidades y direcciones del recurso eólico.

(Salazar, 2006) expone: “Para comprender el manejo de la rosa de los vientos se utiliza la equivalencia entre las direcciones de los vientos y los grados de dirección, con dicha información se puede trazar el diagrama y determinar el comportamiento dominante del recurso eólico”.

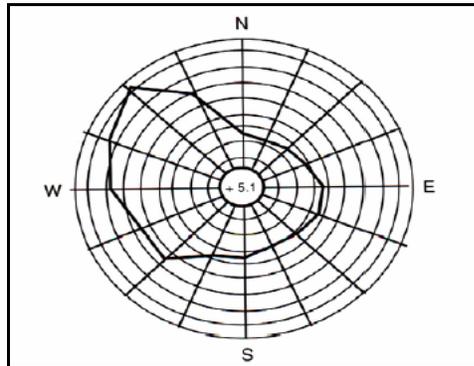


Figura 2.21 Rosa de los vientos (Curso de Energía Eólica)

2.4.6.2. Análisis matemático del comportamiento del viento

El análisis radica en el estudio de los parámetros básicos del mismo mediante fórmulas estadísticas. Estos parámetros estadísticos son la velocidad media y la densidad de potencia eólica, las cuales se especifican a continuación.

Velocidad media:

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (2.43)$$

Densidad de Potencia Eólica media

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \rho \frac{1}{2} \cdot V_i^3 \quad (2.44)$$

Donde, N es el número de datos, Vi el dato individual de velocidad y ρ la densidad del aire.

Para la industria eólica es necesaria información que permita optimizar el diseño de los aerogeneradores, así como minimizar los costos de generación. La distribución estadística de los valores de velocidad se caracteriza mediante el ajuste de distribuciones teóricas. En particular, se utiliza la distribución de Weibull de dos parámetros (α y β), la cual está dada por:

$$p(V) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{V}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2.45)$$

Con los parámetros estimados se calculan los promedios de velocidad y densidad de potencia teóricas, obtenidos de integrar las distribuciones estadísticas de la forma siguiente:

$$VT = \int_0^{\infty} V p(V) dV \quad (2.46)$$

En la industria eólica el parámetro β de la Distribución de Weibull es conocido como **k**, cuyo valor representa la intensidad y calidad del viento, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Valores del parámetro “k” considerados en la Industria Eólica. (Salazar 2006)

| Valor de “k” | Características del viento |
|--------------|----------------------------|
| $k \leq 1$ | Calma y vientos muy suaves |

| | |
|---------------|--|
| $k \approx 1$ | Vientos suaves |
| $k \approx 2$ | Velocidades Diseminadas |
| $k > 2$ | Vientos persistentes (Alisios) |
| $k > 3$ | Excelentes, constantes y con velocidad |

2.4.7. Estimación de la energía eólica

Cuando se tiene información confiable sobre el régimen de viento en un lugar, ésta deberá ser analizada adecuadamente, para ser combinada con las características de generación de un equipo; pudiéndose estimar, entonces, la cantidad de energía que puede suministrar el equipo eólico en el lugar seleccionado. La Tabla 2.6 indica las posibilidades de uso de la energía eólica, con base a valores promedios de velocidad de viento anual. (Pinilla, 1997)

Tabla 2.6 Relaciones generales entre viabilidad y velocidad del viento para su uso como fuente de energía. (Pinilla, 1997)

| Promedio anual de Velocidad de viento a 10 metros de altura | Posibilidad de uso de la energía Eólica |
|---|---|
| Menor a 3 m/s | Usualmente no es viable a menos que existan circunstancias especiales para evaluar mejor el recurso. |
| 3 – 4 m/s | Puede ser una buena opción para equipos eólicos de bombeo de agua (Aerobombeo) poco viable para generación eléctrica. |
| 4 – 5 m/s | Aerobombas son competitivas económicamente a los equipos Diesel, aerogeneración con equipos autónomos es viable. |
| Mas de 5 m/s | Viable para aerobombeo y aerogeneración con sistemas autónomos |

| | |
|--------------|---|
| Mas de 6 m/s | Viable para aerobombear, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica. |
|--------------|---|

2.4.8. Evaluación de la energía producida

Existen diferentes procedimientos para evaluar la producción energética en un emplazamiento, cada una de ellas con una precisión determinada. En el Curso de Energía Eólica, se presentan los siguientes:

- ✓ **Método estático.** Se hace analítica o gráficamente a partir de la curva de duración de viento del lugar correspondiente y del periodo representativo, y de la curva de funcionamiento del aerogenerador.
- ✓ **Método semiestático.** Una serie temporal de valores de viento se compara con la curva de funcionamiento del aerogenerador para obtener una serie temporal de la potencia eólica suministrada, e integrando en el tiempo, de la producción energética.
- ✓ **Modelo cuasidinámico.** Utiliza una serie temporal de datos de viento como entrada a un modelo numérico de funcionamiento de la aeroturbina.

2.4.9. Aerogeneradores

“Son las máquinas destinadas a la generación de energía Eléctrica mediante el empleo de la fuerza del viento. Los sistemas que forman parte de estas máquinas son la orientación, la regulación, la transmisión y el generador”. (Mujal, 2003).

Durante las dos últimas décadas se dio un gran impulso a los equipos de conversión de energía eólica, siempre con miras en la búsqueda de

alternativas al suministro de combustibles fósiles, como fuente de energía. Los equipos eólicos se dividen en dos tipos:

- Los Sistemas de Conversión de energía eólica de eje Horizontal (SCEH).
- Los Sistemas de Conversión de Eje Vertical (SCEV)

La selección de utilización de equipos eólicos horizontales o verticales, es independiente de la eficiencia de conversión ya que presentan valores similares, sin embargo vale la pena contrastar algunas ventajas y desventajas de estos sistemas.

La explicación, ventajas y desventajas de dichos sistemas se puede encontrar en el manual (Pinilla, 1997).

2.4.10 Características de funcionamiento de los generadores eólicos

(Iannini, González y Mastrangelo) Dice: La característica principal de funcionamiento de una turbina eólica es su Curva de Potencia, que nos da la relación de la potencia eléctrica de salida en función de la velocidad del viento. El comportamiento medio de la Curva puede ser dividido en cuatro regiones características en función de la velocidad del viento, tal como se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 2.7. Operación de los Aerogeneradores de acuerdo a la velocidad del Viento. (Iannini, González y Mastrangelo)

| Región de Operación | Rango de Velocidad Típica (m/s) | Característica Operativa |
|---------------------|---------------------------------|---|
| Región 1 | 0 - 4 | Vientos demasiado débiles para producir potencia eléctrica. |
| Región 2 | 4 -12 | Producción de electricidad creciente con la velocidad del viento. |

| | | |
|----------|---------|--|
| Región 3 | 12 - 20 | Producción de electricidad constante al valor de placa. |
| Región 4 | 20 - 25 | Sin producción eléctrica. Los vientos son demasiados energéticos, la turbina permanece parada. |

2.4.11. Selección de emplazamientos

El objetivo más importante en la selección de emplazamientos para instalaciones eólicas es maximizar la captación de energía para reducir el costo de producción. La situación más usual es aquella en la que hay que determinar la producción energética en un emplazamiento donde no han sido realizadas medidas de vientos. En general, los pasos a seguir según el Curso de Energía Eólica, serán:

- a) Estimación de los recursos eólicos en un lugar donde no existen registros de viento disponibles.
- b) Estimación de la energía eólica a la altura del buje de las aeroturbinas, normalmente diferente de la altura a la cual están recogidos los datos.
- c) Estimación de los recursos eólicos referidos a largo plazo en un lugar donde se dispone de datos referidos a un periodo corto de medidas.

2.5. Sistemas Híbridos

Para Ravelo, Gedler y Alves (2007), los sistemas híbridos contemplan el uso de dos o más sistemas de generación incluyendo generadores convencionales como un diesel y de fuentes renovables como eólica, solar, hidroeléctrica, etc., con sistemas de almacenamiento, de regulación y control. Actualmente existen sistemas híbridos en los que las fuentes renovables representan un 80–90% de la capacidad, dejando al diesel sólo una función de respaldo.

Mora y Hurtado (2004) destacan: Estos sistemas permiten aprovechar los recursos renovables existentes en el territorio, constituyendo una concreta opción compatible con el medio ambiental y social. La forma como está conformada un sistema híbrido por lo general es así:

- ✓ Una o más unidades de generación de fuentes renovables
- ✓ Una o más unidades de generación convencional
- ✓ Sistemas de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico
- ✓ Sistemas de condicionamiento de potencia
- ✓ Sistema de regulación y control.

2.6. Requerimientos de las fuentes renovables para la factibilidad ambiental

Durán (2007) afirma que se deben cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla 2.8 Requerimientos para la factibilidad ambiental (Duran, 2007)

| Energía Eólica | Energía solar |
|---|---|
| -Velocidad promedio anual mayor de 3.5 m/s. -Velocidad promedio en el mes de menos viento mayor a 2.5 m/s. | -Irradiación promedio anual de por lo menos $15MJ / m^2 d$ ($4.0kWh / m^2 d$). -Irradiación solar del mes de mínima insolación mayor de $12.5MJ / m^2 d$ ($3.5kWh / m^2 d$). |

CAPÍTULO III

POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR EN EL ÁREA DE LA LEONA

3.1. Generalidades

El análisis de las características ambientales y climatológicas, partiendo de la ubicación geográfica de una zona en particular, es el primer paso para confirmar el potencial eólico y solar existente en ella, pues, la mayoría de las localidades experimentan variaciones estacionales en sus elementos climáticos, y poseen una topografía y vegetación diferente. La latitud y longitud determinan los parámetros de irradiación solar y velocidad del viento, de los cuales depende el número y características técnicas de los paneles solares y aerogeneradores. El viento es un elemento que siempre está fluctuando, y la radiación solar varía menos que el viento. Para tener una mejor comprensión de estas características, cada una debe estudiarse por separado.

En el presente capítulo se exponen las características ambientales del área de La Leona, de acuerdo a su ubicación. Se establece un análisis de la topografía y vegetación circundante, y el clima característico en esta zona, con el fin de evaluar los recursos que posee y en qué cantidad, para luego especificar el tipo de instalación más adecuada en dicho lugar.

3.2 Vientos y radiación solar en Venezuela

Los fuertes vientos provenientes del atlántico llamados “vientos alisios del Noroeste o vientos alisios” son constantes en el Mar Caribe, es por ello

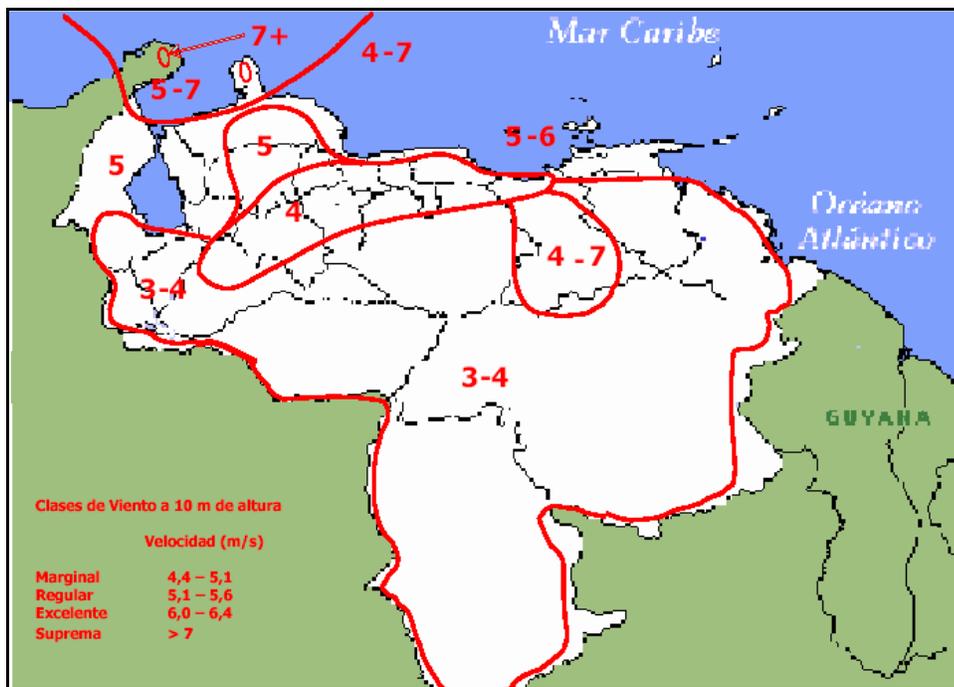


Figura 3.2 Mapa de potencial eólico en Venezuela (Durán, 2009)

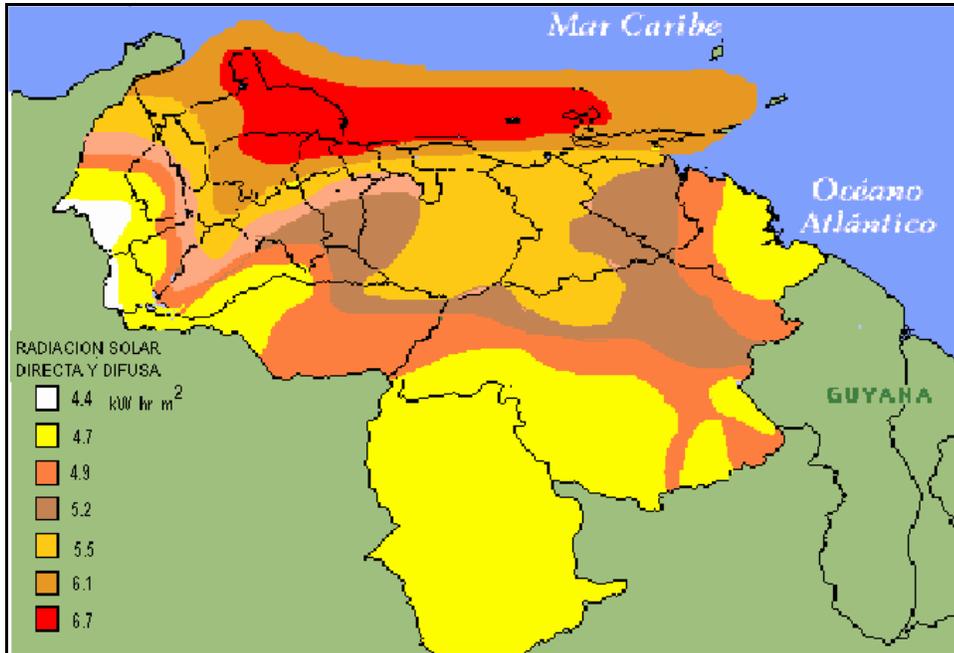


Figura 3.3 Mapa de potencial solar en Venezuela (Durán, 2009)

3.3. Características de la zona y ubicación del área en estudio (Edificio Técnico Administrativo “Leona”)

3.3.1. Ubicación geográfica

La Sede principal de La Empresa Petroritupano (lugar en estudio), se encuentra ubicada en la población rural La Leona, perteneciente al Municipio Freites del Estado Anzoátegui (ver figura 3.5), y está aproximadamente a una altura de 240 m.s.n.m., en los puntos $9^{\circ}00'08''$ de latitud Norte y $63^{\circ}50'24''$ de longitud Oeste a 49 Km de la Ciudad de El Tigre.

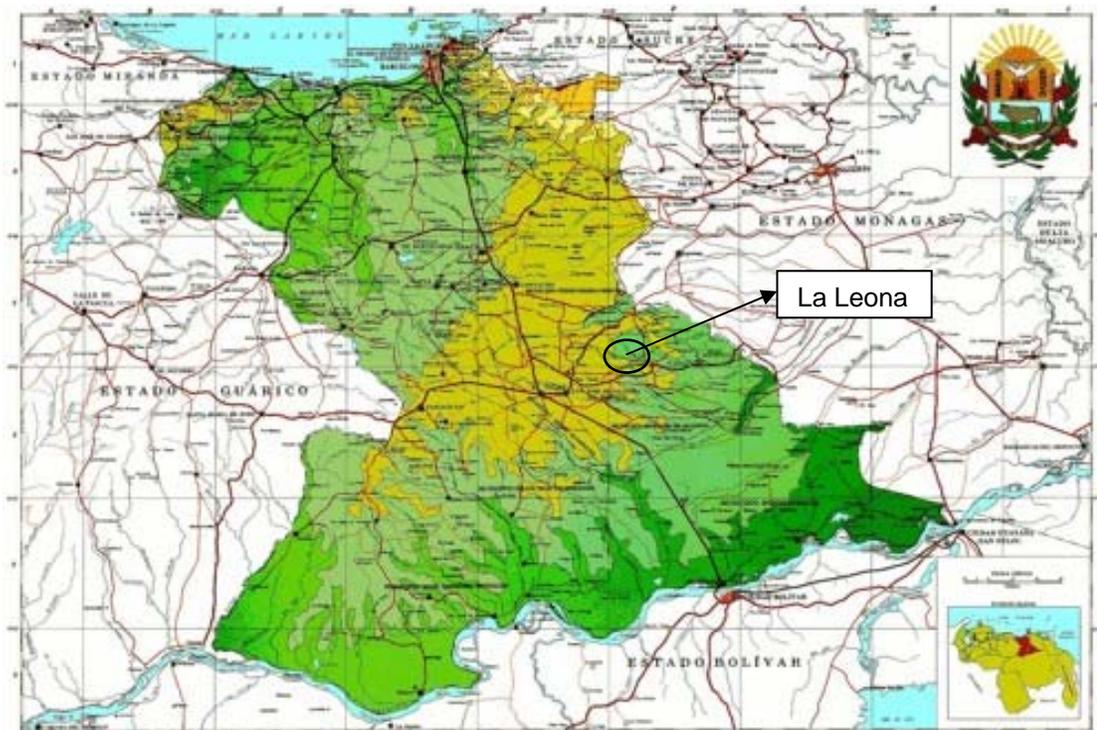


Figura 3.4. Mapa Geográfico del Estado Anzoátegui



Figura 3.5 Ubicación de La Leona en el Municipio Freites – Anzoátegui

3.3.2 Situación del Sistema eléctrico actual

El área de operaciones de la Empresa Petroritupano S.A cubre parte de los estados Anzoátegui y Monagas, tal como se observa en la figura 3.6 y 3.7.

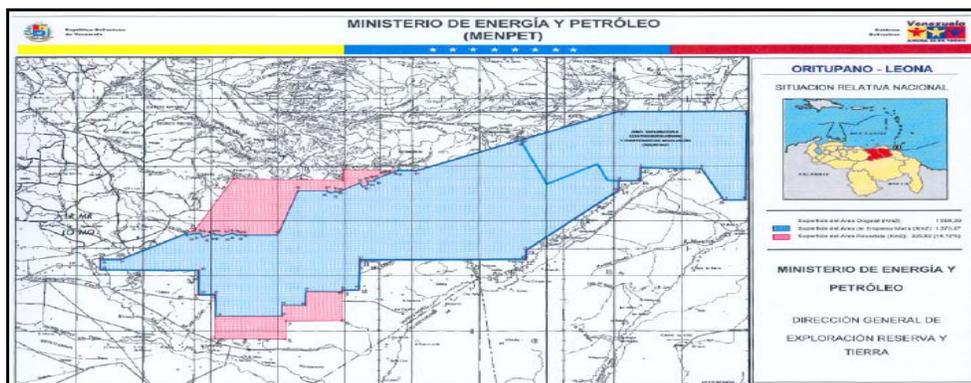


Figura 3.6. Superficie oficial de la Empresa Petroritupano S.A. (PDVSA Petroritupano)

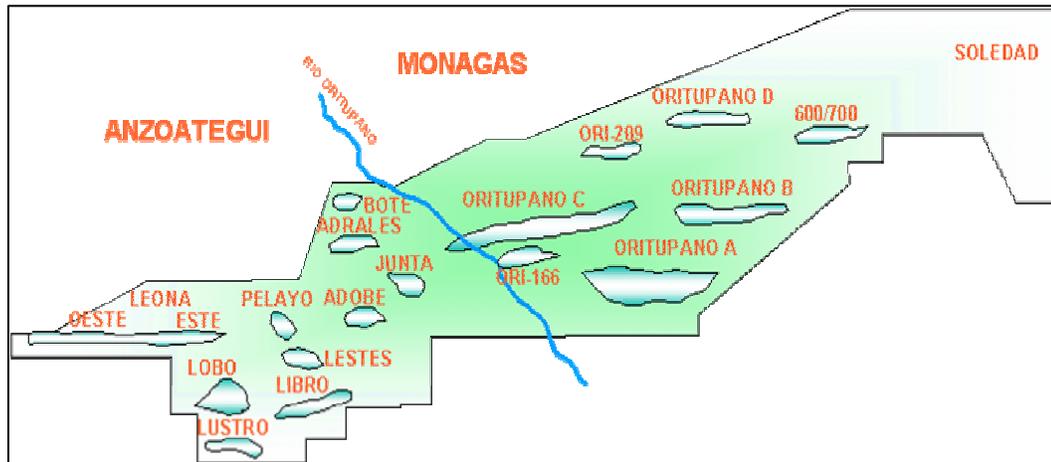


Figura 3.7. Área de Operaciones indicando los campos de producción. (PDVSA Petroritupano)

Al transcurrir de los años la producción de petróleo creció exponencialmente debido a la utilización de nuevas estrategias extractivas, relacionadas con el cambio en el sistema de levantamiento de Bombeo Mecánico (BM) o Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP) a Bombeo Electrosumergible (BES). Este último funciona, en su mayoría, a través de un equipo de generación eléctrica en superficie alimentado por el gas producido en el Campo, o bien por conexión al Sistema Eléctrico Nacional. La ubicación del área de operaciones de la empresa no permite que los equipos de todos los campos de producción se abastezcan del Sistema Eléctrico Nacional, pues según información reportada el mes de Julio de 2010, del 100% de consumo eléctrico, sólo el 8% aproximadamente se alimenta de dicha conexión, específicamente de la S/E Guara Este – Lejos.

3.3.2.1 Generación eléctrica a partir de gas combustible

Como se mencionó con anterioridad más del 90% de la producción en los campos petroleros, es gracias a que los equipos se alimentan de

generadores eléctricos, los cuales entran en funcionamiento por un motor de combustión accionado por el gas producido en los pozos.

3.3.2.1.1 Suministro de Gas Combustible

El aumento de la producción ha traído consigo el requerimiento de nuevas instalaciones para las diversas actividades afines, por lo que la demanda en cuanto al suministro del gas combustible ha incrementado.

En el año 1998 se presentó una disminución en la producción debido al déficit de gas. En esta instancia la empresa emprendió proyectos para solventar la situación. Sin embargo este combustible es un recurso agotable con el pasar del tiempo y en el año 2008 se presentó una nueva carencia, lo que condujo el cierre de varios pozos. La figura 3.8 muestra el comportamiento del gas desde el año 2006 hasta Marzo de 2010.

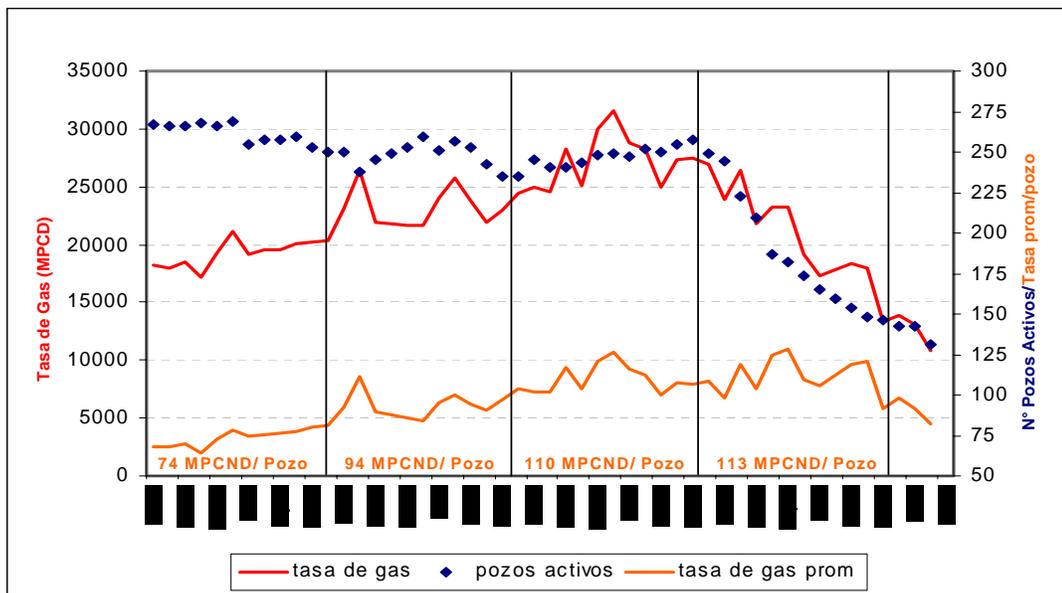


Figura 3.8 Comportamiento de la producción de gas asociado. (O.F.M Petroritupano)

Desde el año 2009, la empresa Petroritupano realiza compra de gas metano, el cual es requerido para la alimentación de los generadores eléctricos encargados de llevar a cabo las tareas relacionadas con la producción de petróleo, tanto en el campo como en lo administrativo. Dicho gas viene de una línea de interconexión entre la estación Dación y Leona (Gasoducto Dación – Leona – 6).

En la actualidad están en estudio nuevas propuestas de aplicación y evaluación con un plan de desarrollo del 2010 al 2025, lo que estima un aumento en la producción por una cantidad de años, pero que a la larga disminuirá debido al déficit del gas asociado.

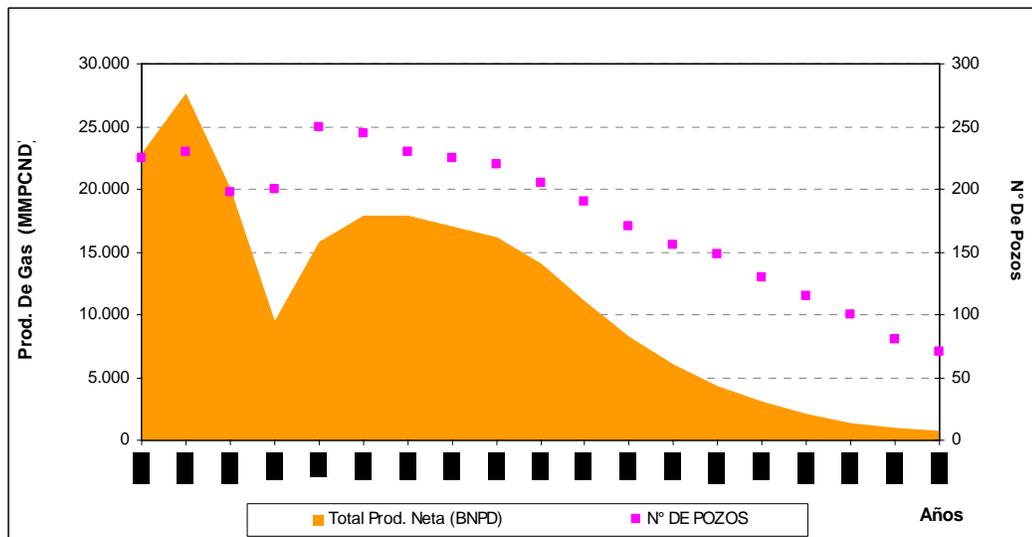


Figura 3.9. Estimado de producción de gas del área Oritupano Leona para el período de producción 2010 – 2025. (O.F.M Petroritupano)

3.3.3. Caracterización ambiental

La zona La Leona se halla enmarcada dentro de la Formación Mesa Meridional. El relieve consiste en una extensa Altiplanicie de Mesa conservada con pendientes menores al 2%. Las Mesas disectadas surcadas

por valles fluviales, son el resultado de procesos erosivos pleistocénicos, apareciendo actualmente recortadas por la erosión en farallones abruptos y cerros testigos cuya máxima altitud es de 200 m.s.n.m.

Estas características fueron aportadas por la oficina de planificación y ambiente de la empresa Petroritupano.

3.3.3.1. Geología

El área se encuentra definida sobre terrenos de la formación Mesa, la misma constituye parte del oriente de la depresión sedimentaria del Orinoco; donde afloran sectores pertenecientes a la formación Las Piedras, la cual subyace a la formación Mesa. Litológicamente ésta formación está constituida por areniscas gruesas con estratificación cruzada, conglomerados, arenas finas, gravas y estratos arcillosos los cuales datan del Pleistoceno. Es una formación geológica muy inestable, los materiales prevaecientes son altamente vulnerables a la acción de los procesos erosivos como el agua y viento.

3.3.3.2. Geomorfología

Fisiográficamente el área se encuentra en los Llanos Altos Orientales, específicamente en la altiplanicie denominada Mesa de Guanipa, en la cual pueden definirse dos unidades geomorfológicas muy bien diferenciadas, como es el caso de la Altiplanicie y la unidad de valle y que se presenta en dos tipos principales (valles coluviales y valles coluvio-aluviales), dependiendo de la morfodinámica que lo caracterice. Se pueden identificar las siguientes geoformas:

- ✓ Paisaje de Altiplanicie

- ✓ Superficie de Mesa conservada - ondulada
- ✓ Superficie de Mesa disectada
- ✓ Superficie de Mesa desmantelada
- ✓ Valle coluvio-aluvial de morichal
- ✓ Vega coluvial de erosión regresiva
- ✓ Colinas Bajas

Dentro de estas grandes unidades se pueden distinguir unidades menores, algunas correspondientes a formas erosionales, y otras formas de acumulación.

3.3.3.3. Vegetación

Dentro de este espacio natural se pueden diferenciar dos tipos fisionómicos de vegetación; a saber: las “Formaciones Arbóreas” representadas por las Asociaciones de Bosques de Galería y Morichal y Bosques secundarios ralos y las “Formaciones Herbáceo–Arbustivas” dominadas por los matorrales, las sabanas abiertas, sabanas con chaparro y herbazales húmedos.

El bosque de galería es una comunidad leñosa ubicada a lo largo de los márgenes de los ríos, constituida básicamente por un estrato arbóreo con alturas promedio de 10 a 20 metros. Los bosques secundarios ralos se encuentran limitado a los topes y a las posiciones de vegas coluviales y coluvio - aluviales, donde alcanza alturas medias que oscilan entre 3 y 12 m, con cobertura media (50%), y en algunos lados entre 3 y 6 m de altura y una cobertura de 30%. Están compuestos por varios estratos sucesionales representados por diferentes gramíneas.

La sabana abierta es una formación vegetal que cumple una función importante dentro del paisaje típico de los llanos orientales; a pesar de su poca altura cubre y protege el suelo de los agentes de erosión como la lluvia. La sabana con chaparro es un ecosistema de asociación donde se interrelacionan diferentes especies típicas con elementos de un componente arbustivo de crecimiento alto, distribuidos uniformemente en toda la superficie, alcanzando diferentes grados de cobertura y densidad. Las especies más importantes tienen alturas promedio entre 2 y 4 metros. Se encuentran acompañadas de especies de menor porte como las gramíneas desarrolladas en el suelo.

3.3.3.4 Fauna

Con relación a la fauna, en el área de La Leona no existe una gran diversidad de ambientes, lo cual incide en la baja densidad de especies de macrofauna característica de los llanos orientales. Las condiciones de entorno más favorables para los animales se presentan en las formaciones vegetales cerradas o densas con mayor complejidad ecológica y en los cuerpos de agua, como el Río Tigre, Oritupano y algunos espacios en el fondo del valle coluvial de la Quebrada Uverito y el Río Las Becerras.

3.3.3.5 Hidrografía y clima

El área en estudio se enmarca dentro de la unidad fisiográfica “Llanos orientales de Venezuela”, en la cuenca del río Guanipa. La temporada de lluvias se extiende desde Abril hasta Actubre, mientras que la de sequía se sitúa entre Noviembre y Marzo. La precipitación media anual es de 1.028,0 mm (Est. El Tigre-Guanipa), de 785,2 mm (Est. Cantaura) y 912,0 mm (Est. Campo Mata). La temperatura presenta un valor medio de 26,9 °C con dos máximos ubicados en los períodos Marzo-Mayo y Agosto-October, y dos

mínimos en los períodos Junio-Julio y Noviembre-Febrero. La humedad relativa promedio es de 78%, con máximos entre los meses de Julio y Octubre, y mínimos entre los meses de Febrero y Marzo.

Los datos registrados en la estación meteorológica de San Tomé equivalentes a un año de medición (2009), presentan una temperatura media anual de 27,9 °C con dos máximos ubicados en los períodos de Marzo-Mayo y Septiembre-Octubre, y mínimos presentados en el período Enero-Febrero.

3.4. El recurso eólico y solar en el área de La Leona

El clima en Venezuela se caracteriza por zonas, y el área en estudio se enmarca dentro de la Zona Central, la cual está entre los 6° y 10° de latitud norte, se extiende desde el Delta del Orinoco hasta la Cordillera de los Andes incluyendo toda el área de los llanos del país. Durante el periodo de lluvia, meses de abril a octubre, esta zona se encuentra bajo la influencia de las masas de aire ecuatoriales. Los seis meses restantes esta bajo la influencia de los Alisios del Noreste, que son mucho más secos y generan la estación seca de sabana.

Según trabajadores del edificio “Leona” y habitantes del área, “la zona presenta vientos de suaves a fuertes durante todo el año”, pero, sin embargo se debe tomar en cuenta que el factor del viento siempre esta variando. En el mapa eólico de Venezuela (ver figura 3.3), se puede observar que la zona sur este del estado Anzoátegui posee un potencial eólico bueno de ser aprovechado. Adicionalmente la figura 3.10 indica un mapa con los datos climatológicos aportados por la base de datos de la Agencia de Administración Espacial (NASA). Se puede notar que se cumple con los requerimientos de velocidad del viento mínimos para la factibilidad ambiental (ver sección 2.6).

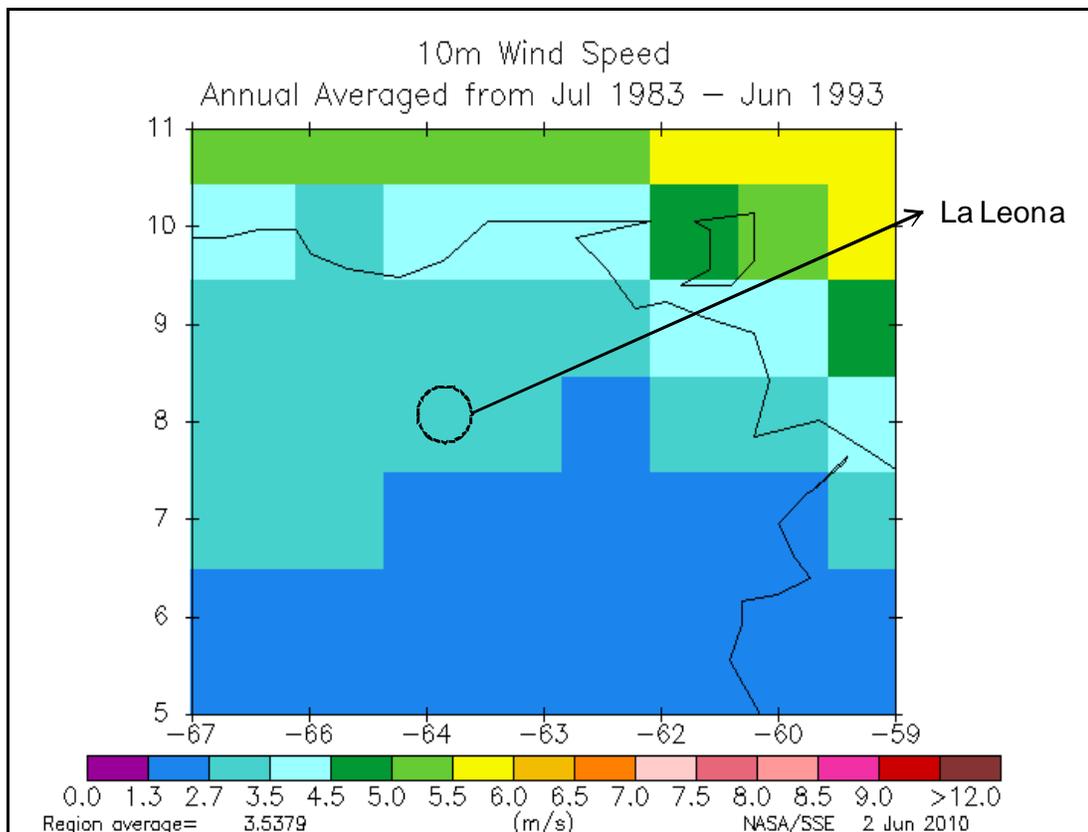


Figura 3.10 Mapa de velocidad promedio anual en la zona

En cuanto al potencial solar, la zona presenta periodos donde la incidencia solar es abundante, aunque existen días con mucha nubosidad. Sin embargo la ubicación de Venezuela cerca del Ecuador, provee al país de una incidencia solar constante y fuerte a lo largo del año. La figura 3.4 destaca que en la zona sur este del estado Anzoátegui (área en estudio), la radiación solar puede ser aprovechable para generación de electricidad. Sumado a esto en la figura 3.11 se tiene el mapa con los valores de radiación solar aportados por la base de datos de la Agencia de Administración Espacial (NASA). Estos valores son un promedio de 22 años de medición (tomados desde 1983 hasta el 2005).

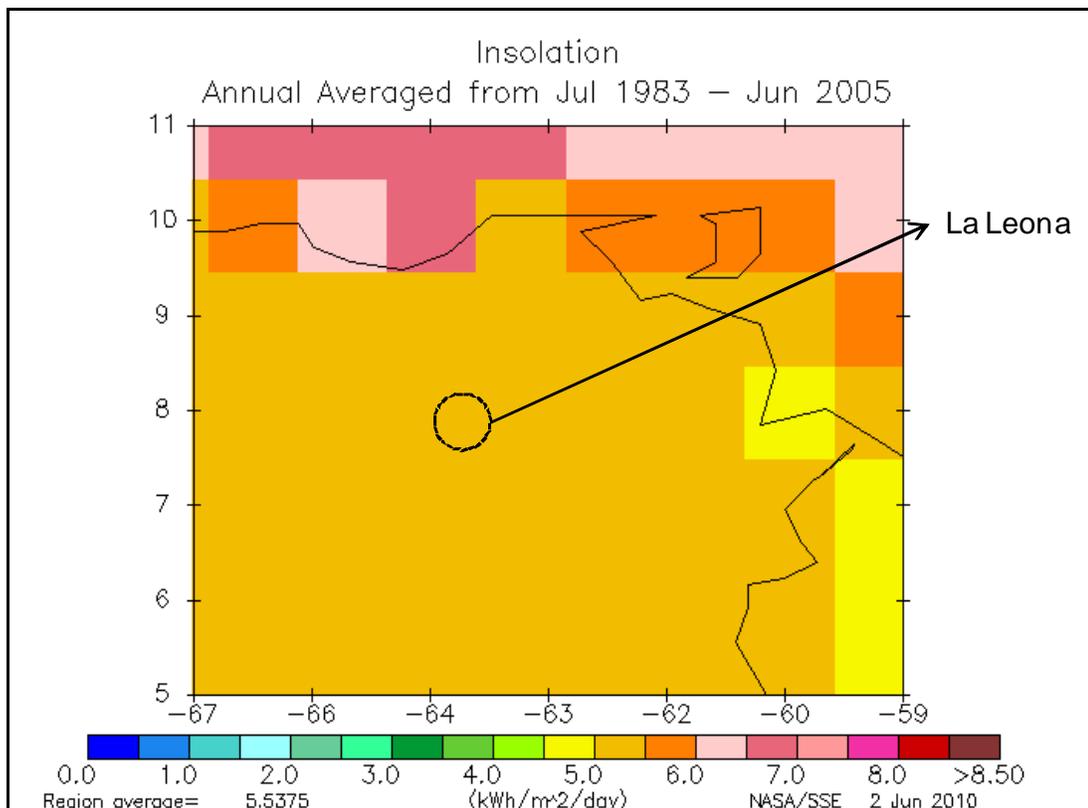


Figura 3.11 Mapa de radiación solar anual en la zona

3.5. Análisis del potencial Eólico y Solar del área La Leona

El campamento de La Leona está ubicado en los llanos orientales, en la Mesa de Guanipa, cuyas pendientes son menores al 2%, por lo que se puede decir que está dentro de una superficie llana o plana, donde los vientos se presentan sin obstáculos que disminuyan o aumenten su velocidad, como es el caso de zonas con una topografía complejas. Cabe destacar que por poseer estas características, la topografía no fue estudiada a fondo. La vegetación que posee la mesa de Guanipa es variada, caracterizada por formaciones arbóreas que alcanzan hasta los 20 m. Pero en el lugar donde se realiza el estudio se observan formaciones con una altura no mayor a 12 m.

En la actualidad la localidad y su entorno carecen de datos o registros del viento y de la radiación solar, es decir no cuenta con una estación meteorológica, por lo que para el desarrollo de este estudio se analizaron estaciones cercanas, escogiendo la estación meteorológica de San Tome, y la estación Agrometeorológica El Tigre, por estar más cerca del área La Leona.

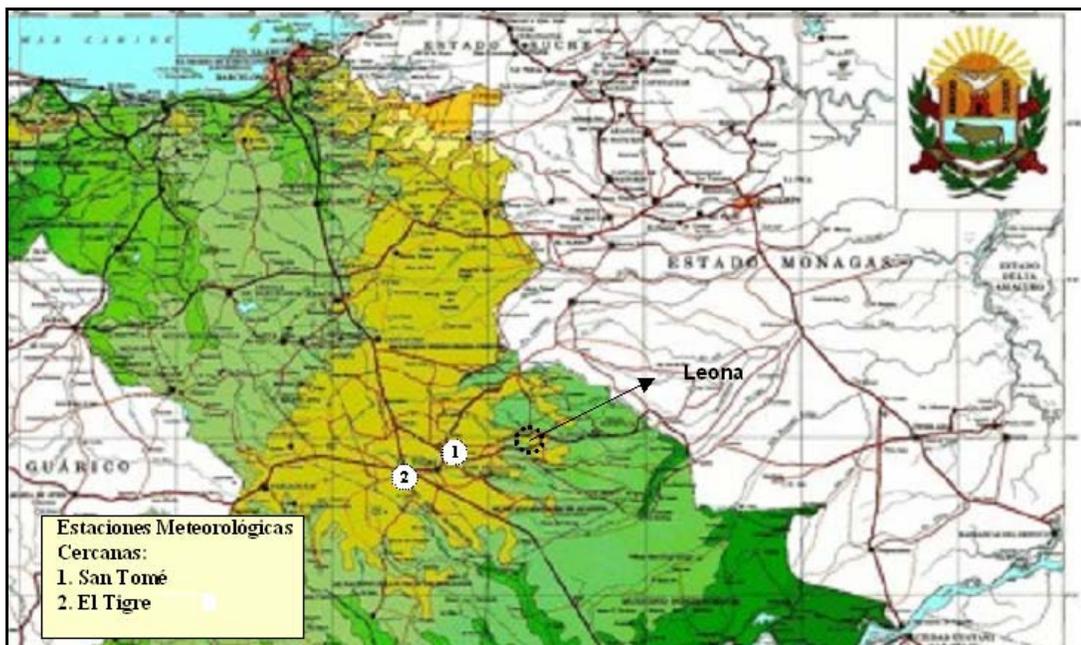


Figura 3.12. Ubicación de las estaciones Meteorológicas aledañas

3.5.1 Datos aportados por distintas fuentes

Para realizar un estudio basado en energías renovables (eólica y solar), es necesario realizar un estudio del potencial existente, teniendo presente no solo la mayor información referente a los registros de los recursos, sino la calidad de la información recogida. A continuación se presentan datos o registros aportados por tres fuentes distintas, las cuales se consideran importantes para el análisis del potencial eólico y solar.

3.5.1.1 Estación meteorológica de San Tomé

Es una de las estaciones que opera el Servicio de Meteorología de la Aviación. Se encuentra ubicada en el suroeste del Municipio Freites, Estado Anzoátegui, específicamente en el aeropuerto Don Edmundo Barrios de San Tomé a una altura de 258 msnm, en las coordenadas 8°57'00'' y 64°09'00''. Fue inaugurada el día 03 de Septiembre de 2004 durante la gestión del Coronel de la Aviación Ramón Jesús Viñas García. En esta estación se encuentran registros sólo del año 2009, en la tabla 3.1 se observan los requeridos para este estudio.

Tabla 3.1. Datos de la estación meteorológica de San Tomé

| MESES | TEMPERATURA | | INSOLACIÓN |
|-----------------------|-------------|-------------|----------------|
| | Máx (°C) | Min (°C) | Horas Promedio |
| Enero | 32,3 | 21,7 | 8,00 |
| Febrero | 31,8 | 20,5 | 8,20 |
| Marzo | 33,7 | 22,1 | 7,60 |
| Abril | 34,4 | 22,9 | 8,80 |
| Mayo | 34,7 | 23,8 | 7,60 |
| Junio | 31,3 | 22,3 | 7,30 |
| Julio | 32,3 | 23,8 | 6,60 |
| Agosto | 33,2 | 23,3 | 7,00 |
| Septiembre | 34,2 | 23,3 | 7,70 |
| Octubre | 33,9 | 23,1 | 7,70 |
| Noviembre | 32,9 | 22,9 | 7,70 |
| Diciembre | 32,8 | 22,5 | 7,40 |
| Promedio Anual | 33,2 | 22,7 | 7,65 |

La temperatura es medida con un termómetro, y la insolación con un heliógrafo, el cual reporta los datos en horas de luz solar. Cabe destacar que

en la tabla no se plasman los datos de velocidad y dirección del viento, debido a que el equipo de medición de éste factor se encuentra dañado.

3.5.1.2 Estación Agrometeorológica El Tigre

Se encuentra administrada en forma conjunta por el INIA y el Minamb bajo el serial N°13175 y funciona desde el año 1971 en terrenos del CIAE – Anzoátegui. La estación agrometeorológica El Tigre convencional genera información de diferentes elementos climáticos.

Tabla 3.2. Datos de la estación Agrometeorológica El Tigre

| MESES | TEMPERATURA | | VELOCIDAD DEL VIENTO | RADIACIÓN SOLAR |
|-----------------------|-------------|----------|----------------------|-----------------------------------|
| | Máx (°C) | Min (°C) | Km/h | <i>cal / cm² / dia</i> |
| Enero | 31.8 | 20.7 | 15.8 | 388.9 |
| Febrero | 32.4 | 20.7 | 17.6 | 484.5 |
| Marzo | 33.6 | 21.3 | 19.5 | 469.4 |
| Abril | 34.1 | 22.6 | 18.7 | 492.1 |
| Mayo | 33.1 | 22.9 | 16.0 | 453.8 |
| Junio | 31.9 | 22.3 | 14.0 | 425.7 |
| Julio | 31.5 | 22.2 | 11.2 | 451.7 |
| Agosto | 32.3 | 22.2 | 9.6 | 475.1 |
| Septiembre | 32.9 | 22.4 | 9.7 | 451.2 |
| Octubre | 32.9 | 22.5 | 10.9 | 463.3 |
| Noviembre | 32.6 | 22.6 | 12.6 | 392.1 |
| Diciembre | 31.7 | 21.5 | 14.0 | 378.9 |
| Promedio Anual | 32.6 | 22.0 | 14.1 | 443.9 |

Está situada en la mesa de Guanipa, km 3, vía El Tigre - Ciudad Bolívar, municipio Simón Rodríguez. Los pueblos más cercanos son: El

Tigre, San José de Guanipa, San Tomé, Rio Seco, San Antonio, Agua Clara y Chimire. Desde el punto de vista geográfico su ubicación corresponde a las coordenadas: Latitud 08°52' N, Longitud 64°13' W. Altitud: 276 msnm. El equipo de medición de la radiación solar en la estación El Tigre CIA es un Actinógrafo, el de la temperatura un termómetro, y el de la velocidad y dirección del viento el anemocinemógrafo. La tabla 3.2 señala dichos datos climáticos, los reportados por el actinografo y el termometro, son un promedio de 11 años de mediciones (desde 1998 hasta 2009), mientras que los referentes al recurso eólico son un promedio de 10 años (1999 – 2009).

3.5.1.3. Agencia de Administración Espacial (NASA)

La NASA mediante sus sistemas satelitales proporciona datos importantes para el estudio del clima y los procesos climáticos. Estos datos incluyen estimaciones a largo plazo de las cantidades meteorológicas y los flujos de energía de la superficie solar.

En su página Web, la NASA muestra los mapas que enmarcan una zona específica, tomando en este caso el área de la zona La Leona, en ellos se tiene un promedio de la velocidad del viento y la radiación solar en cada mes del año, tomados en un tiempo de 10 años (desde 1983 hasta 1993) y de 22 años (desde 1983 hasta 2005), respectivamente. En la tabla 3.3 se presentan dichos registros.

Es importante resaltar que estos mapas tienen un margen de error, pues si se observan las figuras 3.10 y 3.11, para el área específica en estudio, los puntos cardinales no concuerdan con los de la localidad, es por ello que se tomaron los mapas con las regiones en colores y no las tablas que también se encuentran expuestas en la página de la NASA.

Tabla 3.3 Datos de radiación solar y velocidad del viento aportados por la NASA.

| MESES | VELOCIDAD DEL VIENTO | INSOLACIÓN |
|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
| | m/s | <i>kWh / m² / día</i> |
| Enero | 3.5 | 5.0 |
| Febrero | 3.5 | 5.5 |
| Marzo | 3.5 | 6.0 |
| Abril | 3.5 | 6.0 |
| Mayo | 3.5 | 5.0 |
| Junio | 2.7 | 5.5 |
| Julio | 2.7 | 5.5 |
| Agosto | 2.7 | 5.5 |
| Septiembre | 2.7 | 6.0 |
| Octubre | 2.7 | 5.5 |
| Noviembre | 2.7 | 5.5 |
| Diciembre | 3.5 | 5.0 |
| Promedio Anual | 3.1 | 5.5 |

3.6 Verificación de la existencia del potencial eólico y solar dentro del área en estudio

Las características del sol y del viento influyen de forma significativa en varias áreas de trabajo relacionadas con el emplazamiento de los sistemas de energías alternativas. Para la selección del emplazamiento más adecuado se deben tener registros de los valores de velocidad del viento y dirección en el caso de utilización de energía eólica, y de radiación solar, en el caso de energía solar. Estos valores pueden ser diarios, mensuales y/o anuales, dependiendo de la metodología a emplear. La determinación de estas propiedades es de vital importancia para el aprovechamiento de energías alternativas, bien sea utilizando métodos en los que no sea

necesario efectuar mediciones, o realizando estas, para de alguna forma predecir las condiciones de operación y funcionamiento de los equipos de generación eléctrica.

3.6.1 Evaluación y medición de la radiación solar

Tabla 3.4 Valores de la radiación extraterrestre e insolación teórica

| MESES | Radiación extraterrestre | Insolación teórica |
|------------|--------------------------|--------------------|
| | (MJ / m^2) | (horas) |
| Enero | 33,50 | 11,60 |
| Febrero | 35,72 | 11,70 |
| Marzo | 37,69 | 11,90 |
| Abril | 38,44 | 12,20 |
| Mayo | 37,69 | 12,40 |
| Junio | 36,93 | 12,50 |
| Julio | 37,19 | 12,40 |
| Agosto | 37,94 | 12,30 |
| Septiembre | 37,69 | 12,00 |
| Octubre | 36,47 | 11,80 |
| Noviembre | 34,25 | 11,60 |
| Diciembre | 32,75 | 11,50 |

Para la medición de la potencialidad solar como aplicación para la generación de electricidad no existe variedad de métodos teóricos y prácticos como en el caso de la energía eólica, sólo se puede partir de datos de radiación solar existentes en estaciones meteorológicas cercanas, pues el recurso solar no es tan variable como el eólico, no presenta muchas variaciones mensuales en años. Sin embargo puede darse el caso que la estación escogida no cuente con registros de radiación solar, en esta

instancia se deben recurrir a los datos de insolación, los cuales dan una referencia del número de horas de luz solar.

En el apéndice E se pueden observar los valores de radiación extraterrestre R_a expresados en mm/día y de insolación teórica en Horas, correspondientes al Hemisferio Norte. Los valores que conviene tomar son los correspondientes a 8° de latitud norte. En la tabla 3.4 se exponen dichos valores de radiación extraterrestre R_a expresados en mm/día y de insolación teórica en Horas, expresando R_a en su unidad equivalente (MJ / m^2).

3.6.1.1 Registros de estaciones meteorológicas cercanas al área de La Leona

Para el estudio del recurso solar en la zona de La Leona se partió de los registros de 2 estaciones meteorológicas aledañas, la estación meteorológica de San Tomé, y la estación agrometeorológica El Tigre. De la primera, sólo se tienen registros de insolación en horas de luz solar, por un tiempo de un año (2009), y de la segunda si se tienen los registros de radiación solar por un periodo de 7 años (1999-2005).

3.6.1.1.1 Datos de la estación meteorológica de San Tomé

La determinación de la insolación se realizó mediante estimación (ver sección 2.3.2.3). Para realizar la estimación de la irradiación en $kWh / m^2 dia$ utilizando los dos métodos descritos, se tomaron los datos de insolación promediado en horas de brillo solar, y de temperatura tanto máxima como mínima (ver tabla 3.2).

Tomando en cuenta estos datos se puede obtener el valor de radiación solar para cada mes del año utilizando la ecuación propuesta por trezzas (ecuación 2.1), y la ecuación propuesta por Samani (ecuación 2.2).

Los resultados de radiación solar aplicándolas, están expuestos en la tabla 3.5, teniendo presente que el valor de la constante empírica es de 0.162.

Tabla 3.5. Radiación solar utilizando la ecuación propuesta por Trezzas, y Samani

| MESES | Radiación solar ($kWh/m^2 dia$) | |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Ecuación Trezzas | Ecuación Samani |
| Enero | 5,54 | 4,90 |
| Febrero | 5,96 | 5,40 |
| Marzo | 5,96 | 5,78 |
| Abril | 6,52 | 5,87 |
| Mayo | 5,83 | 5,60 |
| Junio | 5,56 | 4,97 |
| Julio | 5,33 | 4,87 |
| Agosto | 5,63 | 5,36 |
| Septiembre | 5,98 | 5,59 |
| Octubre | 5,84 | 5,40 |
| Noviembre | 5,54 | 4,88 |
| Diciembre | 5,30 | 4,76 |
| PROMEDIO | 5.75 | 5.29 |

Como se puede notar los resultados tienen una diferencia que se puede considerar mínima, pues no sobrepasan el 10% de discrepancia, destacando que el mes de mayor insolación (Abril) y el mes de menor insolación (Diciembre), es el mismo para los dos resultados con una radiación de $6,52 kWh/m^2 dia$ y $5,30 kWh/m^2 dia$, respectivamente, utilizando la ecuación de Trezzas, y de $5,87 kWh/m^2 dia$ y $4,76 kWh/m^2 dia$ usando la ecuación de Samani, tal como se observa en la siguiente figura.

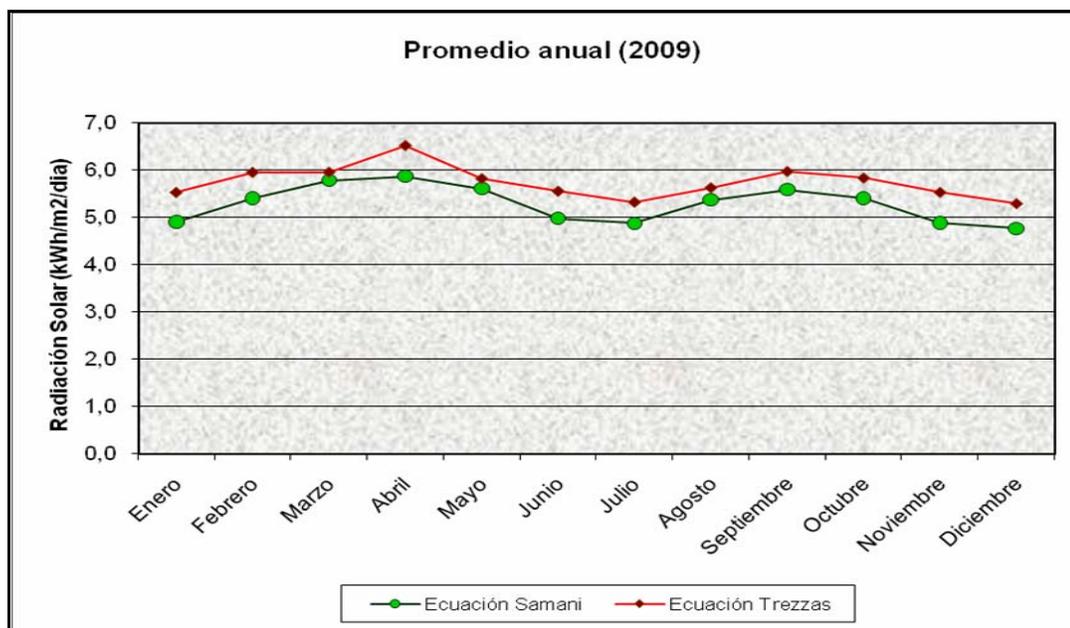


Figura 3.13 Comparación entre los resultados utilizando los distintos Métodos

3.6.1.1.2 Datos de la estación agrometeorológica El Tigre

De esta estación se tienen registros de radiación solar en $cal/cm^2/dia$. En la tabla 3.6 se pueden observar los promedios mensuales del factor solar, desde 1998 hasta el año 2009, transformados a su unidad equivalente $kWh/m^2/dia$ y los del factor eólico desde 1999 hasta 2009 en m/s. Adicionalmente la figura 3.14 muestra dichos valores de manera gráfica.

Tabla 3.6. Datos de radiación solar aportados por la estación El Tigre

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Radiación Solar ($kWh/m^2/dia$) | 4.5 | 5.6 | 5.5 | 5.7 | 5.3 | 5.0 | 5.3 | 5.5 | 5.2 | 5.4 | 4.6 | 4.4 |

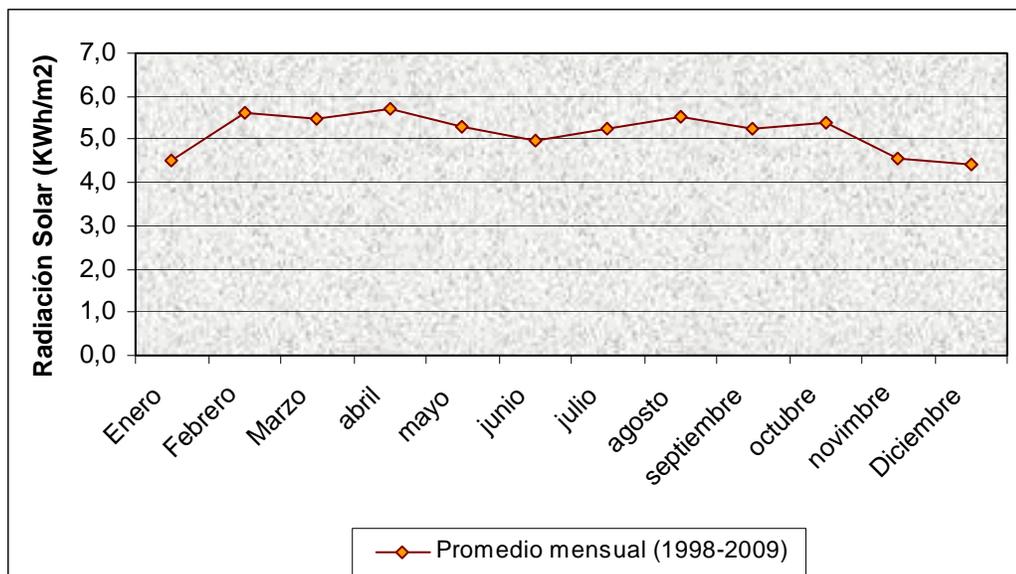


Figura 3.14 Promedios de radiación solar, estación El Tigre (1999-2005)

Para confirmar si el método propuesto por Samani puede ser utilizado de manera eficiente en estudios del recurso solar en la tabla 3.7 se presentan los resultados de radiación solar utilizando la ecuación 2.2.

Tabla 3.7. Radiación solar utilizando la ecuación propuesta por Samani

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>kWh / m² día</i> | 5.0 | 5.5 | 5.9 | 5.9 | 5.4 | 5.2 | 5.1 | 5.4 | 5.5 | 5.3 | 4.9 | 4.7 |

Estableciendo comparaciones entre los dos datos de radiación solar, resultan muy similares pues para los dos casos, el mes de menor insolación es Diciembre, mientras que en Marzo y Abril es cuando más incidencia solar se presenta. La figura 3.15 palpa de manera gráfica la diferencia entre los dos datos. Tomando esto en cuenta se deduce que el método propuesto por Samani puede ser utilizado de manera confiable en estudios de energía solar.

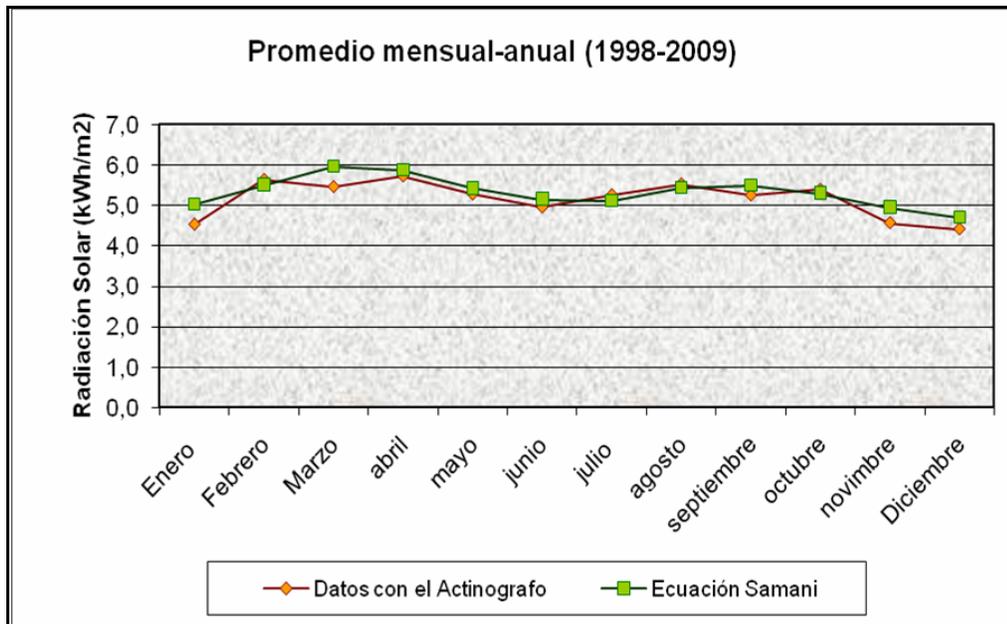


Figura 3.15 Comparación de los registros de radiación solar

3.6.1.2 Comparación de datos aportados por las estaciones meteorológicas

Realizando un balance entre los registros de radiación solar aportados por cada una de las fuentes, resultan muy parecidos, pues para los dos casos, el mes de menor insolación es Diciembre, mientras que en Marzo y Abril es cuando mayor incidencia solar se presenta. En la figura 3.16 se muestra gráficamente la diferencia entre los registros de las dos estaciones meteorológicas.

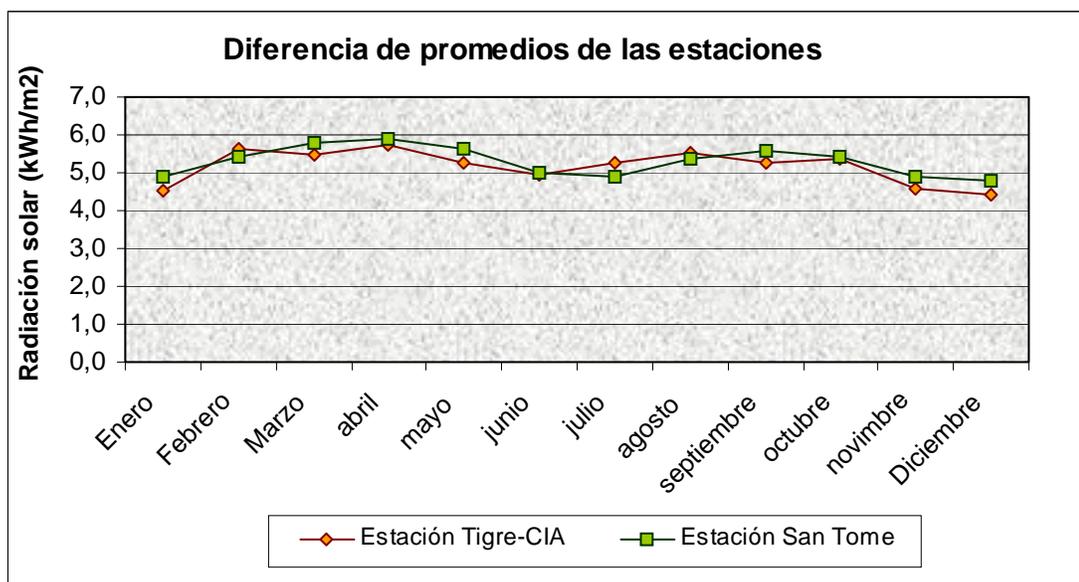


Figura 3.16 Radiación Solar promedio en las distintas estaciones

3.6.2. Evaluación y medición de la velocidad del viento

Para evaluar el recurso eólico en la zona, y corroborar los datos existentes tanto del mapa del potencial eólico de Venezuela (figura 3.2), como los registros de velocidades promedios aportado por la Agencia de Administración Espacial, será aplicado el método de correlación descrito en el apartado 2.4.4.3, el cual permite combinar mediciones realizadas en un lugar específico, con los datos publicados y suministrados por el servicio de meteorología en estaciones aledañas al lugar.

Debido a que dentro de los registros suministrados por el servicio de meteorología de la estación meteorológica más cercana (Estación de San Tomé), no se encuentran las características del viento a interesar (velocidad y dirección), las mediciones serán comparadas con los datos mensuales y anuales provenientes de la estación meteorológica El Tigre, ubicada aproximadamente a 60 km de La Leona.

3.6.2.1. Estación climatológica

La estación mide la atmósfera interior en un área específica y recibe data climatológica de tres sensores exteriores siguientes:

1. Sensor termo – higró
2. Sensor del factor del viento
3. Sensor del factor de la lluvia



Figura 3.17. Estación climatológica

El sensor termo – higró exterior es la unidad de comunicación principal de los datos. Ambos sensores, tanto el sensor del factor del viento como el de la precipitación lluviosa están conectados a él. Los datos climatológicos transmitidos por el sensor termo – higró pueden operar por medio de la transmisión inalámbrica 433 MHz (en un radio límite de 25 metros de espacio libre) o por medio de conexión de cables.

El sensor termo – higró mide la temperatura exterior y la relatividad de humedad. También lee información del sensor de factor del viento antes de transmitir los datos a la “estación base”.

El sensor del factor del viento mide la velocidad y dirección del viento y envía los datos al sensor termo – higró, el cual en turno transmite los datos

a la “estación base”. La energía de funcionamiento es tomada del sensor termo – higró usando una conexión de un cable de 10 metros de largo.

En este estudio no será utilizado el sensor de precipitación lluviosa, sólo los otros dos sensores, y la transmisión de los datos a la “estación base” se realizará vía inalámbrica, debido a que la ubicación del sensor termo – higró, y la distancia con la computadora, excede la longitud del cable.

El Equipo que mide el factor del viento se ubicó a una altura de 10 metros, en el sitio indicado en la figura 3.18, y se mantuvo allí por un periodo de 3 meses.



Figura 3.18 Ubicación del equipo de medición

Cabe destacar que el tiempo de cada registro (frecuencia de muestreo en el programa) fue de 10 minutos, tal como se observa en la figura 3.19. El equipo tiene una frecuencia de registro de 2 minutos.

| | Relative Pressure [inHg] | Indoor Temperature [°C] | Indoor Humidity [%] | Outdoor Temperature [°C] | Outdoor Humidity [%] | Dewpoint [°C] | Windchill [°C] | Wind Speed [m/s] | Wind Direction | Rain [mm] | Time | Date |
|------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|---------------|----------------|------------------|----------------|-----------|----------|----------|
| 1190 | 27,88 | 19,9 | 68 | 23,6 | 79 | 19,7 | 21,8 | 3,7 | SSE | 0,0 | 10:20 PM | 10.07.26 |
| 1191 | 27,88 | 19,8 | 64 | 23,3 | 79 | 19,4 | 21,5 | 3,6 | SSE | 0,0 | 10:30 PM | 10.07.26 |
| 1192 | 27,89 | 19,8 | 66 | 23,3 | 79 | 19,4 | 23,3 | 0,0 | SSE | 0,0 | 10:40 PM | 10.07.26 |
| 1193 | 27,89 | 19,8 | 68 | 23,4 | 79 | 19,5 | 23,4 | 1,7 | SE | 0,0 | 10:50 PM | 10.07.26 |
| 1194 | 27,88 | 19,7 | 65 | 23,6 | 78 | 19,5 | 21,3 | 4,6 | SE | 0,0 | 11:00 PM | 10.07.26 |
| 1195 | 27,89 | 19,7 | 67 | 23,6 | 78 | 19,5 | 21,8 | 3,7 | SSE | 0,0 | 11:10 PM | 10.07.26 |
| 1196 | 27,89 | 19,8 | 68 | 23,5 | 78 | 19,4 | 22,2 | 2,9 | SSE | 0,0 | 11:20 PM | 10.07.26 |
| 1197 | 27,89 | 19,7 | 65 | 23,6 | 78 | 19,5 | 23,6 | 1,8 | S | 0,0 | 11:30 PM | 10.07.26 |
| 1198 | 27,89 | 19,6 | 67 | 23,4 | 77 | 19,1 | 22,9 | 2,0 | SSE | 0,0 | 11:40 PM | 10.07.26 |
| 1199 | 27,89 | 19,7 | 68 | 23,1 | 77 | 18,8 | 23,1 | 0,0 | SSE | 0,0 | 11:50 PM | 10.07.26 |
| 1200 | 27,88 | 19,7 | 67 | 22,8 | 77 | 18,5 | 22,4 | 1,9 | SSW | 0,0 | 12:00 AM | 10.07.27 |
| 1201 | 27,88 | 19,6 | 65 | 22,5 | 78 | 18,4 | 22,5 | 0,4 | SSW | 0,0 | 12:10 AM | 10.07.27 |
| 1202 | 27,88 | 19,5 | 66 | 22,4 | 78 | 18,4 | 22,4 | 1,1 | SSW | 0,0 | 12:20 AM | 10.07.27 |
| 1203 | 27,88 | 19,6 | 66 | 22,3 | 78 | 18,3 | 22,3 | 1,1 | SSW | 0,0 | 12:30 AM | 10.07.27 |
| 1204 | 27,87 | 19,6 | 63 | 22,1 | 79 | 18,3 | 22,1 | 0,0 | SSE | 0,0 | 12:40 AM | 10.07.27 |
| 1205 | 27,87 | 19,4 | 63 | 21,9 | 78 | 17,9 | 21,9 | 0,0 | SSE | 0,0 | 12:50 AM | 10.07.27 |
| 1206 | 27,86 | 19,4 | 63 | 21,9 | 79 | 18,1 | 21,9 | 0,0 | SSE | 0,0 | 01:00 AM | 10.07.27 |
| 1207 | 27,86 | 19,4 | 62 | 22,1 | 80 | 18,5 | 22,1 | 0,0 | SSE | 0,0 | 01:10 AM | 10.07.27 |
| 1208 | 27,86 | 19,5 | 61 | 22,1 | 80 | 18,5 | 22,1 | 0,0 | SE | 0,0 | 01:20 AM | 10.07.27 |
| 1209 | 27,86 | 19,4 | 60 | 21,9 | 81 | 18,5 | 21,9 | 0,4 | SE | 0,0 | 01:30 AM | 10.07.27 |

Figura 3.19 Ejemplo de los datos guardados en el historial del programa

3.6.2.1.1 Recurso eólico en el mes de Junio

Tabla 3.8. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Junio,2010)

| Semana | Velocidad del viento (m/s) | Dirección del Viento |
|-----------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1,7 | ESE |
| 2 | 1,0 | ESE |
| 3 | 1,1 | ESE |
| 4 | 1,3 | ESE |
| Promedio | 1,3 | ESE |

La velocidad del viento en el mes de Junio se presentó con muchas variaciones (ver figura 3.20). Así como se presentaron días donde los picos más altos se alcanzaron en horas del mediodía y los picos más bajos en horas de la noche, también hubo días donde ocurría lo contrario. En cuanto a

la dirección del viento (ver figura 3.22), esta mantiene una misma tendencia, y proviene de la dirección ESE. El promedio total para el mes de Junio se puede observar en la siguiente tabla y gráficamente se presenta en la figura 3.21.

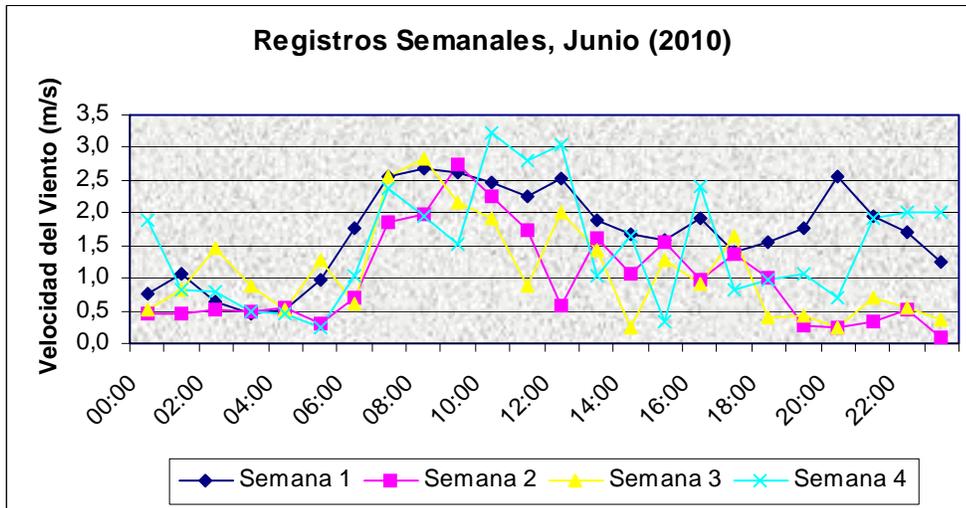


Figura 3.20 Variabilidad horaria-mensual del viento (Junio)

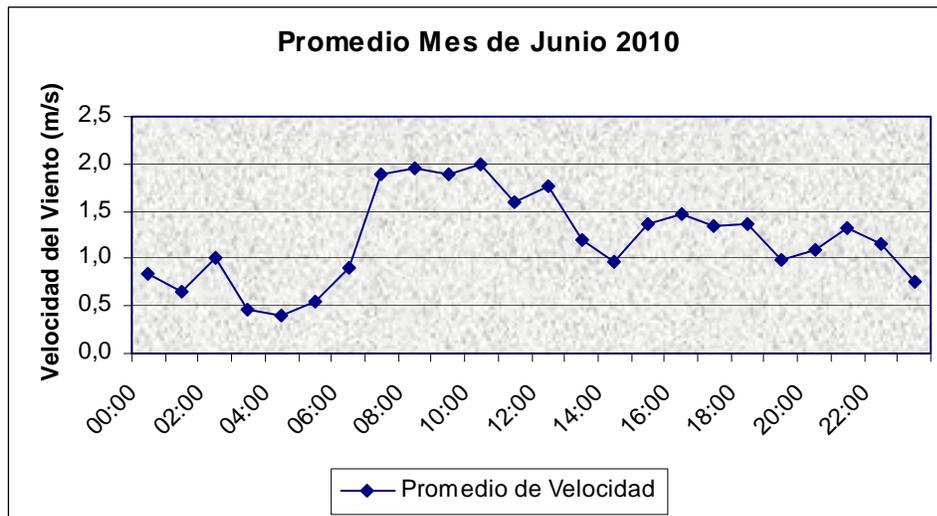


Figura 3.21 Promedio de Velocidad del viento (Junio 2010)

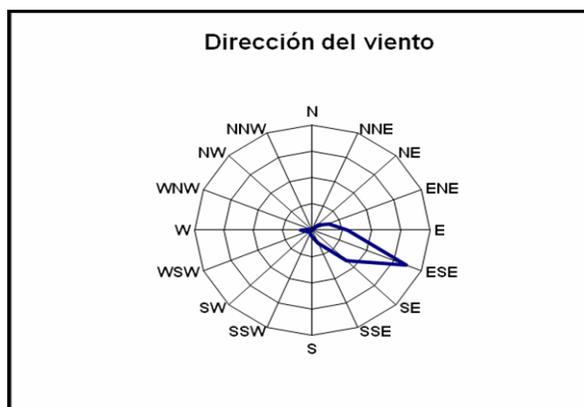


Figura 3.22 Rosa de los vientos del Mes de Junio 2010

3.6.2.1.2 Recurso eólico en el mes de Julio

Al igual que en el mes de Junio, la velocidad del viento presentó mucha variabilidad (ver figura 3.23), con la particularidad de que en este mes el promedio en cuanto a la velocidad, aumentó una décima, y en cuantos a los promedios semanales y diarios sobrepasaron el máximo alcanzado el mes anterior (Ver figura 3.24), destacando que en horas del mediodía es cuando más viento acontece. Sin embargo en los datos se destacan unas horas continuas sin presencia de vientos. En cuanto a la dirección del viento, éste sigue manteniendo una misma tendencia, ESE, tal como se observa en la figura 3.25. El promedio total para el mes de Julio se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.9. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Julio,2010)

| Semana | Velocidad del viento (m/s) | Dirección del Viento |
|-----------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1,7 | ESE |
| 2 | 1,7 | ESE |
| 3 | 0,6 | ESE |
| 4 | 1,9 | ESE |
| Promedio | 1,4 | ESE |

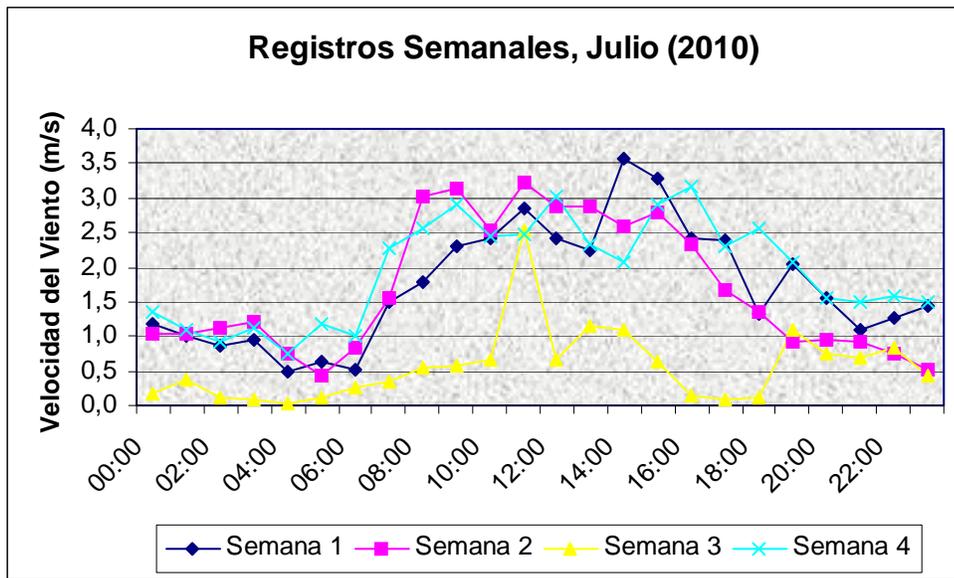


Figura 3.23 Variabilidad horaria-mensual del viento (Julio)

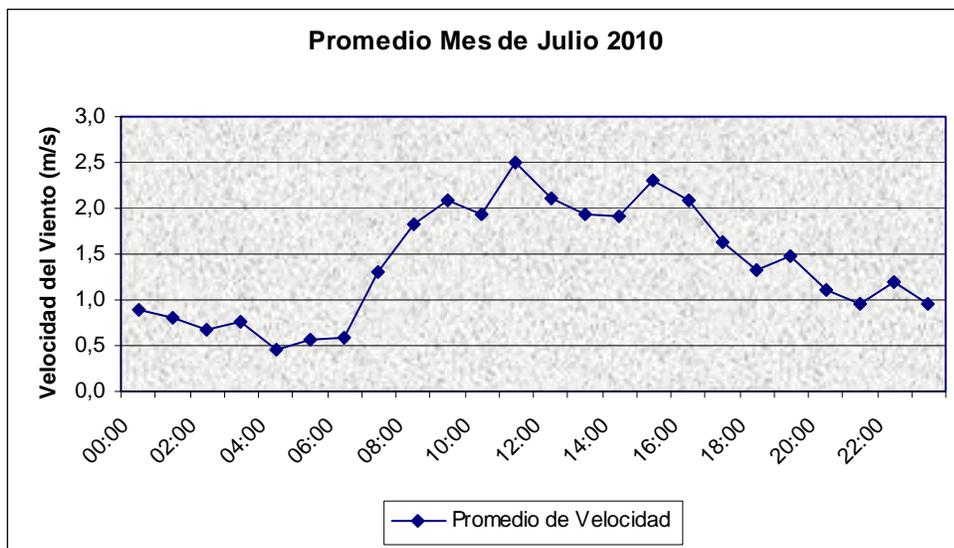


Figura 3.24 Promedio de Velocidad del viento (Junio 2010)



Figura 3.25 Rosa de los vientos del Mes de Julio 2010

3.6.2.1.3 Recurso eólico en el mes de Agosto

La velocidad del viento en este mes presentó mucha variabilidad (ver figura 3.26), pero a diferencia de los 2 meses anteriores se presentó una mayor velocidad, la cual alcanzó promedios de hasta 2.4 m/s en una semana. Al igual que en Junio y Julio, se sigue acentuando que en horas del mediodía es cuando mayor viento acontece (Ver figura 3.27). En cuanto a la dirección del viento, éste sigue manteniendo una misma tendencia, ESE, tal como se observa en la figura 3.28. El promedio horario de velocidades para el mes de Julio se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.10. Registros semanal – mensual del recurso eólico (Agosto,2010)

| Semana | Velocidad del viento (m/s) | Dirección del Viento |
|-----------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 0.9 | W |
| 2 | 1.4 | ESE |
| 3 | 1.6 | ESE |
| 4 | 2.4 | ESE |
| Promedio | 1.9 | ESE |

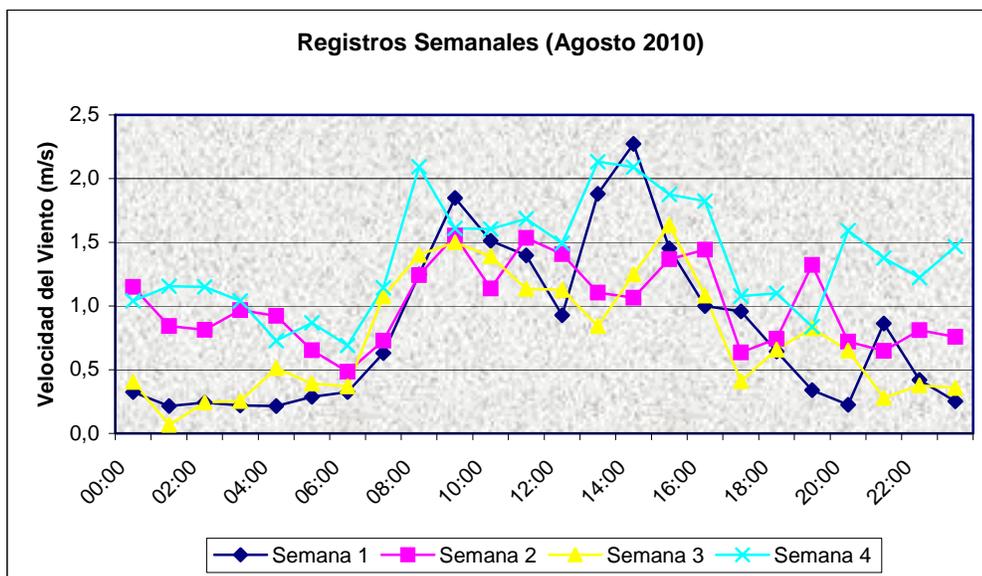


Figura 3.26 Variabilidad horaria-mensual del viento (Agosto)

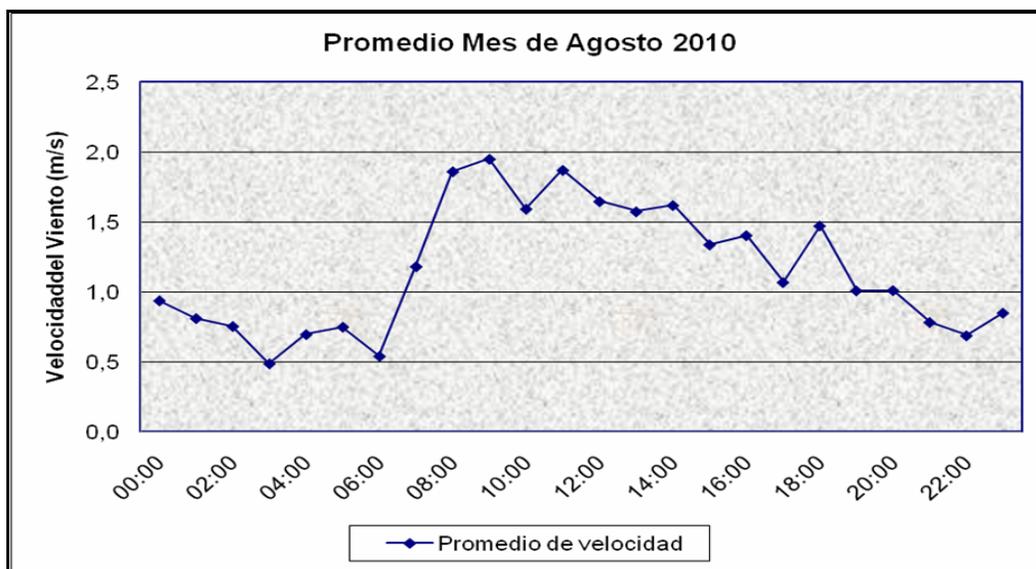


Figura 3.27 Promedio de velocidad del viento (Agosto 2010)

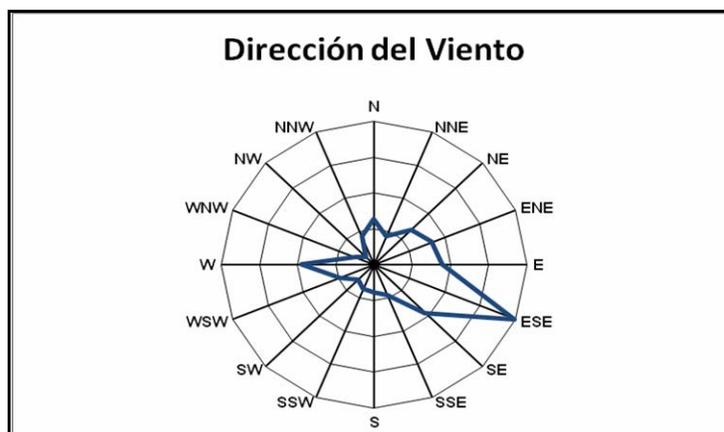


Figura 3.28 Rosa de los vientos del Mes de Agosto 2010

3.6.2.1.4 Resultado de los registros en los meses de las mediciones

Las velocidades alcanzadas en los 3 meses de las mediciones no superan lo mínimo requerido para la factibilidad ambiental.

La dirección desde donde se desplaza el viento indica que en la temporada lluviosa (donde entran los meses en que se registraron las mediciones) la zona se ve influenciada por las masas ecuatoriales, específicamente vientos en dirección ESE, lo cual demuestra la exactitud del equipo utilizado.

En el apéndice A se destacan los resultados de las mediciones con la estación climatológica, se muestra un ejemplo que indica como fueron registrados y almacenados diariamente los datos. Cada dato, diario, y semanal se promedió para así obtener los registros mensuales de Junio (ver tabla 3.8), Julio (ver tabla 3.9) y Agosto (ver tabla 3.10). Las figuras del apéndice muestran de manera gráfica los registros tanto de la velocidad, como de la dirección del viento, de cada semana, correspondiente a cada mes analizado.

3.6.2.2 Registros de la estación agrometeorológica El Tigre

De esta estación se tienen registros de velocidad del viento en Km/h. En la tabla 3.11 se pueden observar los promedios mensuales del factor eólico, desde 1999 hasta el año 2009, transformados a su unidad equivalente m/s. Adicionalmente la figura 3.29 muestra dichos valores de manera gráfica.

Tabla 3.11. Datos de Velocidad del Viento (m/s) aportados por la estación El Tigre

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Velocidad del Viento (m/s) | 4.2 | 4.7 | 5.3 | 5.0 | 4.4 | 3.9 | 3.1 | 2.5 | 2.5 | 2.8 | 3.3 | 3.9 |

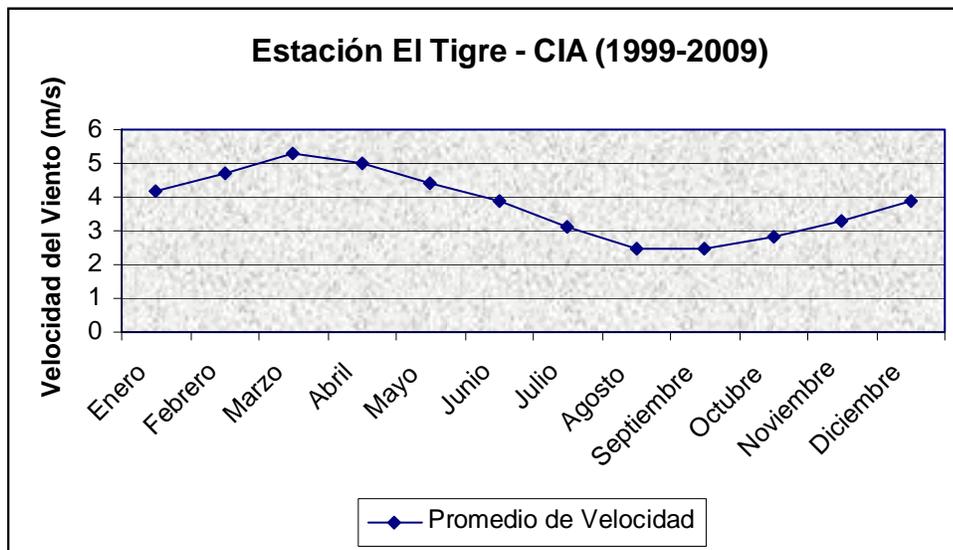


Figura 3.29. Representación de la Velocidad del Viento, estación El Tigre (1999-2009)

Como se puede visualizar entre los meses de Agosto a Octubre la velocidad del viento es baja, sin embargo está dentro del límite mínimo para la factibilidad ambiental.

3.6.2.2.1 Correlación de datos

Para comprobar la existencia del recurso eólico en la zona se procede a utilizar el método proporcional y aditivo con el fin de presentar la semejanza o similitud entre los registros correspondientes a la estación climatológica ubicada en el área de La Leona y los registros de la estación agrometeorológica El Tigre, además de estimar como es el comportamiento del viento en la zona, en un período largo de tiempo. Aplicando las ecuaciones 2.42 y 2.43 se obtiene la siguiente correlación:

Tabla 3.12 Correlación de datos mediante los distintos métodos

| | | V (m/s) | V1 (m/s) | Vo (m/s) | Vc (m/s) |
|---------------|----------------------------|---------|----------|----------|------------|
| JUNIO | Método proporcional | 3.9 | 1.3 | 2.2 | 2.3 |
| | Método aditivo | 3.9 | 1.3 | 2.2 | 3 |
| JULIO | Método proporcional | 3.5 | 1.4 | 1.9 | 2.5 |
| | Método aditivo | 3.5 | 1.4 | 1.9 | 3 |
| AGOSTO | Método proporcional | 2.5 | 1.9 | 1.9 | 2.5 |
| | Método aditivo | 2.5 | 1.9 | 1.9 | 2.5 |

V_c : valor medio correspondiente al largo periodo en La Leona. V_1 : valor medio correspondiente al mes en que se realizaron las medidas. V_o : valor medio correspondiente al mes en la estación El Tigre. V : valor medio correspondiente al largo periodo en la estación El Tigre.

Como se puede observar en la tabla anterior, en el mes de Junio la velocidad que se estima tener en el área (aplicando el método proporcional) no supera el mínimo requerido para la factibilidad ambiental. En Julio y Agosto, dicha velocidad entra en el límite requerido, según lo que expone el

autor Duran, pero observando la tabla 2.7 las velocidades entran en la región 1, donde los vientos se consideran muy débiles para generar electricidad.

3.7. Uso del potencial solar en la zona La Leona, para la generación eléctrica

- ✓ Las condiciones climáticas y ambientales son excelentes gracias a la ubicación de Venezuela cerca del Ecuador. La zona cumple con los requerimientos para la factibilidad ambiental, pues la incidencia solar es abundante, con un mínimo de radiación en el mes de Diciembre, $4,76 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ dia}$ en la estación de San Tomé, y $4.4 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ dia}$ en la estación El Tigre.
- ✓ Existe un área amplia donde podrían ser instalados los paneles solares.



Figura 3.30. Espacio libre para posible instalación de sistemas solares

- ✓ La vegetación circundante, no afecta de manera directa el área dispuesta y propuesta para la instalación de los paneles solares, es

decir no se generarían pérdidas debido a sombras originadas por la vegetación.

3.8. Uso del potencial eólico en la zona La Leona, para la generación eléctrica

- ✓ Las condiciones geográficas en cuanto al recurso eólico son insuficientes, pues en el mes donde se estimaba tener una velocidad por encima de 2.7 m/s (según datos aportados por la NASA) y 2.2 m/s (según los registros de la estación El Tigre), las mediciones realizadas no superaron los 1.3 m/s. Asimismo sucedió en los meses de Julio y Agosto. En general la velocidad del viento no supera lo mínimo requerido 2.5 m/s.
- ✓ Se presenta mucha variabilidad, el viento no tiene constancia en horas específicas, lo que es una desventaja en el uso de aerogeneradores.
- ✓ El rango de velocidades que se registran en la zona entra en la región donde según la tabla expuesta en la sección 2.4.10, los vientos se consideran débiles para la producción de electricidad.

CAPÍTULO IV

DIMENSIONADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ALTERNATIVO

4.1. Generalidades

La selección y caracterización de los equipos que forman parte de los sistemas eléctricos basados en energías alternativas a implementar (en este caso solar fotovoltaico, ya que la energía eólica no es factible por la escasez de viento), viene dada primeramente por el conocimiento de los datos numéricos con respecto al clima, y por la cantidad de potencia eléctrica a abastecer, por lo que se realiza una clasificación de las necesidades básicas en la industria.

En el presente capítulo se especifica la data de consumo del edificio de operaciones administrativas de la empresa PDVSA Petroritupano, "Leona", indicando el área hacia donde se proyecta el estudio. Con estos datos se realizará el dimensionado de los equipos utilizando métodos de cálculos.

4.2 Equipos y estimación del consumo eléctrico

Tomando en consideración la disponibilidad y factibilidad ambiental de la energía solar de La Leona, tal como se confirmó en el capítulo anterior, el punto de partida para la aplicabilidad de este proyecto en la generación de electricidad, radica en el consumo eléctrico de todos los equipos del edificio Leona.

4.2.1 Demanda eléctrica del Edificio Leona

El primer paso en el dimensionado de sistemas fotovoltaicos es el de estimar el consumo diario de la instalación que se requiere abastecer, en este caso, el consumo de los equipos de aires acondicionados, computadoras, refrigeración e iluminación, lo que conforma la carga eléctrica del edificio Leona, lo cual se efectuó en función de la potencia consumida y el tiempo de uso o de funcionamiento de cada equipo.

a) *Equipos de Aires Acondicionados*

En el edificio Leona se encuentran en funcionamiento 27 equipos de aire acondicionado, entre tipo Split, Fan Coil, Compacto y de Ventana, de los cuales el mayor porcentaje lo encabeza el tipo Split, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Equipos de aire acondicionado en el edificio Leona

| TIPO | CAPACIDAD | CANTIDAD |
|--------------|--------------|-----------|
| Split | 12000 BTU | 5 |
| Split | 18000 BTU | 2 |
| Split | 24000 BTU | 4 |
| Ventana | 24000 BTU | 1 |
| Split | 5 Toneladas | 5 |
| Fan Coil | 5 Toneladas | 2 |
| Fan Coil | 10 Toneladas | 4 |
| Fan Coil | 20 Toneladas | 4 |
| TOTAL | | 27 |

Es necesario realizar las respectivas conversiones a KW, para luego estimar la energía total de los equipos con base en las horas de funcionamiento (kWh). El valor de conversión estandarizado es que 12000

BTU = 3.51 KW. Pero en Venezuela se ha determinado un valor empírico de conversión, debido al mejoramiento de los compresores, aceptado por las normas CADAFE y utilizado para los diferentes proyectos de instalaciones eléctricas. Penissi (2006) en su libro expone que:

12000 BTU = 1.9 KW (Para aires acondicionados tipo Compacto, Fan Coil y Ventana)

Y las estimaciones empíricas son de:

12000 BTU = 1.2 KW (Para aires acondicionados tipo Split)

12000 BTU = 1 Tonelada.

La diferencia de potencia entre los distintos tipos de equipos de A/A radica en el trabajo que realiza cada compresor. En la tabla 4.2 se muestra el consumo total de dichos equipos, tomando en cuenta un factor de uso de 0.8, el cual se estima para considerar el funcionamiento de los compresores.

Tabla 4.2. Consumo de aires acondicionados en el edificio Leona

| TIPO | CANTIDAD | CONSUMO (KW) c/u | CONSUMO (KW) | CONSUMO KWh (8 Horas) | CONSUMO KWh (24 Horas) |
|---------------------|----------|------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
| Split (12000BTU) | 5 | 1,2 | 4,8 | 38,4 | - |
| Split (18000BTU) | 2 | 1,8 | 2,88 | 23,04 | 69,12 |
| Split (24000BTU) | 4 | 2,4 | 7,68 | 61,44 | - |
| Ventana (24000BTU) | 1 | 3,8 | 3,04 | 24,32 | - |
| Split (5 Toneladas) | 5 | 6 | 24 | 192 | 230,4 |
| Fan Coil (5 Ton) | 2 | 9,5 | 15,2 | 121,6 | - |
| Fan Coil (10 Ton) | 4 | 19 | 60,8 | 486,4 | - |
| Fan Coil (20 Ton) | 4 | 38 | 121,6 | 972,8 | - |
| TOTAL | | 81,7 | 240 | 1920 | 299,52 |

El dato a tomar en cuenta es el del consumo en la jornada laboral (8 horas diurnas) pues es allí donde están en funcionamiento todos los equipos. En las noches la demanda disminuye aproximadamente un 87%.

b) Equipos de Refrigeración

El consumo de los equipos de refrigeración localizados en el área del comedor, se determina de igual manera que en el apartado anterior, tomando en cuenta un factor de uso de 0.8. En este caso los datos fueron aportados en HP, por lo que son llevados a su unidad equivalente (ver tabla 4.3), tomando en cuenta que 1 HP = 746 W.

Tabla 4.3. Consumo eléctrico de los equipos refrigeradores

| CANTIDAD | POTENCIA NOMINAL (HP) | CONSUMO (KW) | CONSUMO KWh (24 Horas) |
|-----------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | 3 | 2,2 | 42,24 |
| 1 | 1,5 | 1,1 | 21,12 |
| 2 | 0,5 | 0,4 | 15,36 |
| TOTAL | | 3.7 | 78,72 |

c) Equipos de computación

En el edificio Leona están en funcionamiento diariamente (8 horas), en días laborables, aproximadamente 240 equipos de Computación, de los cuales sólo un 3% permanecen operativos las 24 horas del día. Penissi (2006) en su libro expone una tabla que muestra las cargas típicas de equipos electrodomésticos, indicando que un equipo de computación consume 250 W. Tomando este dato en cuenta y el tiempo de funcionamiento mayoritario (8 horas) se estima el siguiente consumo:

Consumo de los equipos de computación (KW) = 60 KW
Consumo de los equipos de computación (KWh) = 480 KWh

d) Cargas de Iluminación

Para estimar el consumo en el área de iluminación del edificio, se procede a realizar el conteo de las lámparas operativas y no operativas. De acuerdo a la potencia de consumo de cada grupo de lámparas, el mayor consumo lo encabeza las de 32 W, seguidamente las de 24 W y con un porcentaje mínimo las de 22 W. Tomando esto en cuenta se presenta el siguiente consumo:

Tabla 4.4 Consumo eléctrico del área de Iluminación

| CANTIDAD | LÁMPARAS (W) | CONSUMO (KW) | CONSUMO KWh (8 Horas) | CONSUMO KWh (24 Horas) |
|--------------|--------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| 684 | 32 | 21,888 | 175,104 | 13,056 |
| 115 | 22 | 2,53 | 20.24 | 23,76 |
| 36 | 20 | 0,72 | 5,76 | - |
| TOTAL | | 25.183 | 201.104 | 36,816 |

4.2.1.1 Demanda total

Tabla 4.5 Demanda eléctrica total del Edificio Leona

| EQUIPO O ÁREA | CONSUMO (KW) | CONSUMO KWh (Diario) | DEMANDA % |
|----------------|----------------|----------------------|-------------|
| A/A | 240 | 1920 | 70 |
| Refrigeradores | 3,28 | 78,72 | 3 |
| PC | 60 | 480 | 17 |
| Iluminación | 25.183 | 201.104 | 7 |
| Servidor | 3,5 | 84 | 3 |
| TOTAL | 331,918 | 2763,824 | 100% |

El estimado de la demanda total de consumo se presenta en la tabla 4.5 y en la figura 4.1. El mayor consumo está encabezado por las cargas de los equipos de aire acondicionado, con un 70% de la demanda eléctrica total.

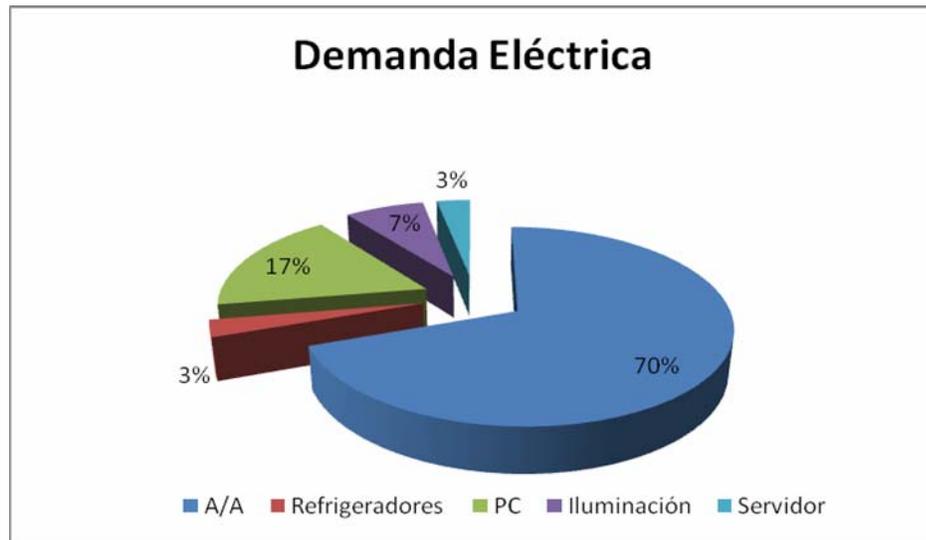


Figura 4.1 Porcentajes de demanda equivalente a cada equipo

4.3. Cálculos para el dimensionado del Sistema Fotovoltaico

Como se especificó en el capítulo III, el área de La Leona se encuentra ubicada a los 9° de latitud norte.

Conocidos los valores mensuales de cada mes del año en cada estación meteorológica analizada, y las diferencias entre éstos (ver capítulo III), se pudo observar que el mes donde se presenta menor incidencia solar, es Diciembre con una radiación sobre el plano horizontal de $4.4 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ dia}$.

En la estación meteorológica de San Tomé el número de días sin incidencia solar no es mayor a 2 días, igual ocurre en la estación agrometeorológica El Tigre, por lo que se considera que el número de días

de autonomía en La Leona es igual a 2 días, pero por razones de diseño éste se tomará como 3 días.

Por tener una potencia de consumo superior a 3 kW, la tensión nominal del sistema será de 48 VDC, pues al aumentar la tensión disminuye la corriente en los conductores que conectan al generador fotovoltaico, con los demás componentes.

Como se mencionó en el capítulo II, la energía que produce un equipo fotovoltaico depende de la insolación que incida sobre él. Aplicando la ecuación 2.7 se obtienen las horas solares picos para cada mes del año (ver tabla 4.6), tomando en cuenta los datos aportados por la estación agrometeorológica El Tigre.

Tabla 4.6. Hora solares pico (h)

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| H.S.P | 4.93 | 6.14 | 5.93 | 6.23 | 5.75 | 5.39 | 5.73 | 6.02 | 5.72 | 5.87 | 4.97 | 4.80 |

El dato a utilizar para la realización de los cálculos, es el correspondiente al mes de Diciembre (mes de mínima insolación). Elaborando los cálculos con esta radiación solar, se garantiza el suministro eléctrico en dicho mes, y la eficiencia del sistema durante todo el año.

4.3.1 Rendimiento global del sistema

La batería a utilizar será de Pb – ácido por lo que $K_a = 0.005$, aplicando la ecuación 2.9 se obtiene K_a' , tomando en cuenta que la temperatura ambiente es de 27.9°C.

$$K_a' = (0.0014 \times (27.9)^2 + 0.0021 \times 27.9 + 0.4) \times 0.005$$

$$K_a' = 0.00774$$

$K_b = 0.005$, coeficiente de autodescarga de la batería

$K_c = 0.2$, pérdidas en el inversor

$K_v = 0.15$, valor máximo para pérdidas por efecto Joule

Teniendo presente estos datos se aplica la ecuación 2.8 y se obtiene el rendimiento global del sistema

$$R = (1 - 0.005 - 0.2 - 0.15) \times (1 - 0.00774 \times (3/0.8)) = 62,62\% \approx 63\%$$

Para continuar con los cálculos previstos en el dimensionado del sistema fotovoltaico, se presentan 3 escenarios, uno donde el sistema sea capaz de abastecer toda la carga del edificio, y los otros dos son propuestas para 2 áreas consideradas importantes para el desarrollo de las actividades administrativas, como lo son la iluminación del edificio y la sala del servidor.

4.3.2 Escenario 1

Continuando con los cálculos y tomando en cuenta que este escenario tiene previsto la instalación del sistema para el abastecimiento de toda la carga del edificio, los equipos quedan dimensionados de la siguiente forma:

La energía útil necesaria (Ec. 2.11) será:

$$E_u = \frac{2763,82 \times 10^3}{0.63} = \mathbf{4.39 \text{ MWh}}$$

a) **Generador Fotovoltaico**

Para realizar los cálculos referentes al dimensionado de los paneles, se tienen presentes las características del módulo escogido para el sistema, el cual es el A – 277P de la marca ATERSA, éste módulo es seleccionado debido a que posee mejores características, en cuanto a potencia, voltaje y corriente, lo que ayuda a disminuir la cantidad de dispositivos necesarios para el abastecimiento eléctrico, y con ello el costo asociado. La energía que aportará el panel solar viene dado por la ecuación 2.18:

$$E_p = \frac{4.39 \times 10^6}{0.9} = 4.88 \text{ MWh}$$

El número total de módulos a conectar de acuerdo a la cantidad de energía demandada es igual a:

$$NT = \frac{4.88 \times 10^6}{277 \times 4.80} = 3668$$

$$N_{ps} = \frac{48}{24} = 2$$

$$N_{pp} = \frac{3668}{2} = 1834$$

El sistema debe ser de 1834 ramas conectadas en paralelo, cada una con dos módulos en serie.

Por ser una cantidad considerablemente grande de módulos, se debe subdividir en grupos de manera que cada uno tenga un regulador. Como se verá más adelante, el regulador seleccionado tiene una corriente nominal de 40 A, entonces cada grupo debe tener como máximo 8 módulos, 2 en serie y 4 ramas en paralelo. Teniendo esto presente, el generador estará dividido en 459 grupos de módulos, de los cuales 458 tendrán 8 módulos, y 1 tendrá 4.

Esta configuración se realiza de modo de garantizar el funcionamiento del sistema, como cada tramo tendrá su protección, si un grupo llega a fallar los demás podrán seguir alimentando las cargas. En el apéndice C se pueden visualizar las características eléctricas y físicas del módulo seleccionado para formar el generador. Partiendo de estos datos y utilizando las ecuaciones 2.22 y 2.23 se obtiene el peso y el área que ocuparía cada sub-generador, respectivamente:

$$Wp_1 = 8 \times 24.2 = 193.6 \text{ Kg}, Wp_2 = 4 \times 24.2 = 96.8 \text{ Kg}$$

$$Ap_1 = 8 \times 1.965 \times 0.99 \approx 15.56 \text{ m}^2, Ap_2 = 4 \times 1.965 \times 0.99 \approx 7.78 \text{ m}^2$$

La fuerza que actúa en la parte frontal del panel, se obtiene aplicando la ecuación 2.24, y ésta será de aproximadamente 629 Newton.

b) Regulador de carga

Para determinar la cantidad de reguladores que requiere el sistema, se parte de las características técnicas del regulador seleccionado, las cuales se pueden visualizar en el apéndice C. La capacidad requerida por el regulador se calcula tomando en cuenta el número de ramas de módulos conectados en paralelo del generador. Como se especificó en los cálculos del generador, éste se subdividió en grupos de modo que cada uno tenga un regulador, lo cual se realiza partiendo de la ecuación 2.27:

$$C_r = 4 \times 8.14 + 1.5 = 34.06 \text{ A}$$

Entonces aplicando la ecuación 2.28, queda un regulador por grupo, por lo que son necesarios un total de 459.

c) Banco de baterías

Aplicando la ecuación 2.10, con $Pd = 0.8$ se obtiene el régimen de descarga de la batería:

$$Rmd = \frac{3 \times 24}{0.8} = 90 \text{ Horas}$$

La capacidad del almacenaje de la batería, aplicando la ecuación 2.12, será igual a:

$$C_u = 4.39 \times 10^6 \times 3 = \mathbf{13.17 \text{ MWh}}$$

Aplicando la ecuación 2.13 se obtiene el valor real de la capacidad útil:

$$Cur = \frac{13.17 \text{ MWh}}{48 \text{ V}} = 274.38 \text{ KA-h}$$

La capacidad nominal de la batería vendrá dada por la ecuación 2.14:

$$Cn = \frac{274.38 \times 10^3}{0.8} = 342.97 \text{ KA-h}$$

Tomando en cuenta este valor se procede a calcular el número de baterías en paralelo a utilizar (Ec. 2.15), y las baterías en serie (Ec. 2.16), para luego obtener el total (Ec. 2.17):

$$Nbp = \frac{342.97 \times 10^3}{750} = 457 \qquad Nbs = \frac{48}{12} = 4$$

Anteriormente se pudo ver que la cantidad de reguladores necesarios para el sistema es de 459, cada uno interconectado con un grupo de módulos, por lo que de manera individual deben regular un banco de baterías, entonces el número de baterías totales será de **1836 Baterías**.

d) Inversor

Para llevar a cabo este cálculo se utiliza la ecuación 2.29, teniendo presente que el consumo total del edificio es de 331.918 KW, $P_{NI} = 368.50$ KW. En el apéndice C se pueden visualizar las características técnicas del inversor seleccionado. El número de inversores se obtiene aplicando la ecuación 2.30, quedando en **46 inversores**.

4.3.3 Escenario 2

En éste escenario entran los cálculos requeridos para instalación en el área de iluminación del edificio Leona. Como se puede observar en la figura 4.1 el área de iluminación equivale a un 7% de la demanda eléctrica total de la base Leona, específicamente 201.104 KWh. Tomando en cuenta éste dato se sigue el procedimiento aplicado con anterioridad.

La energía útil necesaria (Ec. 2.11) será:

$$E_u = \frac{201.104 \times 10^3}{0.63} = \mathbf{319.21 \text{ KWh}}$$

a) El Generador Fotovoltaico

La energía que aportará el panel solar será de:

$$E_p = \frac{319.21 \times 10^3}{0.9} = \mathbf{354.68 \text{ KWh}}$$

El número total de módulos a conectar de acuerdo a la cantidad de energía demandada es igual a:

$$NT = \frac{354.68 \times 10^3}{277 \times 4.80} = 266$$

$$N_{ps} = \frac{48}{24} = 2$$

$$N_{pp} = \frac{266}{2} = 133$$

Se subdividen en 34 grupos, 31 con 8 módulos (4 ramas en paralelo con 2 módulos en serie) y 3 con 6 módulos (3 ramas con 2 módulos en serie). Revisando las características del módulo seleccionado y utilizando las ecuaciones 2.22 y 2.23 se obtiene el peso y el área que ocuparía cada sub-generator, respectivamente:

$$W_{p_1} = 8 \times 24.2 = 193.6 \text{ Kg}, W_{p_2} = 6 \times 24.2 = 146.4 \text{ Kg}$$

$$A_{p_1} = 8 \times 1.965 \times 0.99 \approx 15.56 \text{ m}^2, A_{p_2} = 6 \times 1.965 \times 0.99 \approx 11.67 \text{ m}^2$$

La fuerza que actúa en la parte frontal del panel será de aproximadamente 629 Newton.

b) Regulador de carga

Siguiendo el procedimiento aplicado anteriormente, y tomando en cuenta que se escoge el mismo regulador, la capacidad requerida por éste, se calcula tomando en cuenta el número de ramas de módulos conectados

en paralelo del generador y la cantidad de grupos en que se separó. Para este caso, como son 34 grupos, serán necesarios la misma cantidad de reguladores.

c) Banco de baterías

La capacidad del almacenaje de la batería, aplicando la ecuación 2.12, será:

$$C_u = 319.21 \times 10^3 \times 3 = \mathbf{957.63 \text{ KWh}}$$

$$C_{ur} = \frac{957.63 \times 10^3}{48} = \mathbf{19.95 \text{ KA-h}}$$

$$C_n = \frac{19.95 \times 10^3}{0.8} = \mathbf{24.94 \text{ KA-h}}$$

$$N_{bp} = \frac{24.94 \times 10^3}{750} = 33$$

$$N_{bs} = \frac{48}{12} = 4$$

Anteriormente se pudo ver que la cantidad de reguladores necesarios para el sistema es de 34, cada uno interconectado con un grupo de módulos, por lo que de manera individual deben regular un banco de baterías, entonces el número de baterías totales será de **34x4** o lo que es lo mismo, **136 Baterías**.

d) Inversor

Para llevar a cabo este cálculo se utiliza la ecuación 2.29, teniendo presente que el consumo total del área de iluminación es de 25.183 KW,

entonces $P_M = 27.98 \text{ KW}$. Observando las características del inversor seleccionado, las cuales se pueden observar en el apéndice C, el número de inversores (aplicando la ecuación 2.29) será de **4 inversores**.

4.3.4 Escenario 3

El escenario 3 está destinado para el abastecimiento eléctrico de la sala donde se encuentra ubicado el servidor. En la tabla 4.7 se destacan los equipos que forman parte de dicha sala. El UPS tiene como función de respaldar a los dispositivos que a él se encuentran conectados, en este caso las luminarias, 5 computadores, y el elemento más importante, el servidor. La sala cuenta con 2 aires acondicionados tipo Split de 5 Toneladas cada uno.

Tabla 4.7. Equipos que conforman la sala de control del servidor

| EQUIPO | CONSUMO (KW) | CONSUMO KWh (Diario) |
|--------------|--------------|----------------------|
| A/A | 9,6 | 230,4 |
| UPS | 6,4 | 153,6 |
| TOTAL | 16 | 384 |

Aplicando el mismo procedimiento descrito con anterioridad y tomando en cuenta que se seleccionan los mismos equipos utilizados en la propuesta anterior, se obtienen los siguientes resultados para cada subsistema:

$$E_u = \frac{384 \times 10^3}{0.63} = \mathbf{609.52 \text{ KWh}}$$

$$E_p = \frac{609.52 \times 10^3}{0.9} = \mathbf{677.25 \text{ KWh}}$$

$$NT = \frac{677.24 \times 10^3}{277 \times 4.80} = 510$$

$$Nps = \frac{48}{24} = 2$$

$$Npp = \frac{618}{2} = 255$$

El sistema debe tener 510 módulos, separando en grupos y tomando en cuenta que cada uno debe tener como máximo 8 módulos, el generador se subdivide en 64 grupos, de los cuales 63 estarán formados por 8 módulos c/u (4 ramas en paralelo con 2 módulos en serie), y 1 grupos de 6 módulos (3 ramas en paralelo con 2 módulos en serie) El peso y el área que ocuparía cada sub-generador, respectivamente será la misma que en el escenario anterior.

La fuerza que actúa en la parte frontal del panel será de 629 Newton.

Como se dijo anteriormente, la capacidad requerida por el regulador se calcula tomando en cuenta el número de ramas de módulos conectados en paralelo de cada grupo, entonces serán necesarios 64 reguladores en total.

$$C_u = 609.52 \times 10^3 \times 3 = \mathbf{1.83 \text{ MWh}}$$

$$Cur = \frac{1.83 \times 10^6}{48} = \mathbf{38.095 \text{ KA-h}}$$

$$Cn = \frac{38.095 \times 10^3}{0.8} = \mathbf{47.62 \text{ KA-h}}$$

$$N_{bp} = \frac{52.63 \times 10^3}{750} = 70$$

$$N_{bs} = \frac{48}{12} = 4$$

En este caso son necesarios 70 bancos de baterías con 4 elementos en serie, pero el número excede los grupos de módulos interconectados a los reguladores (64). En esta instancia se asumirá adquirir la misma cantidad de bancos, a pesar de tener 6 bancos menos se garantiza el funcionamiento de la instalación pues los cálculos se han realizado para 3 días de autonomía, lo cual es poco probable que ocurra en la zona. Entonces el número de baterías totales será de **280**.

Teniendo presente que el consumo eléctrico de la sala es de 16 KW, entonces $P_{NI} = 17.17$ KW, por lo que se debe disponer de 2 inversores cuyas características son iguales a los utilizados para los escenarios anteriores.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO

5.1 Generalidades

El costo de un sistema eléctrico basado en energías alternativas, depende de la carga que se quiera alimentar, mientras más grande sea ésta, más amplios y costosos son los equipos.

En el capítulo a continuación se presenta el análisis técnico – económico de la implementación de equipos que generen electricidad mediante energías limpias, tomando en cuenta los últimos avances tecnológicos en desarrollo de proyectos solares, considerando la producción, eficiencia, costes de inversión, mantenimiento y tiempo de vida útil del sistema, además de las características de emplazamiento, y de esta forma establecer los beneficios que traería su implementación dentro de la industria petrolera.

5.2 Generación eléctrica fotovoltaica en el Edificio Administrativo “Leona”

La aplicabilidad de un proyecto basado en energía solar dentro del área La Leona, está rígidamente vinculada con la excelente ubicación de Venezuela cerca del Ecuador y el potencial solar que ello conlleva, adicionalmente se tiene un área dispuesta para el posible emplazamiento de

equipos solares. Sin embargo, es primordial tener en cuenta el grado de inversión que requiere la instalación de dicho sistema.

5.2.1 Costo asociado a cada equipo del sistema

A continuación se presenta una tabla donde se expone el costo de cada equipo, y con base a la cantidad se obtiene la inversión total en equipamiento para cada escenario presentado en el capítulo anterior.

Tabla 5.1. Costo de inversión requerido en equipamiento

| Equipo | Costo unitario en Euros | Costo unitario en Bs. | Cantidad | | | Costo Total en Bs. | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|----------|--------|--------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 |
| Modulo Solar ATERSA | 3.410,00 | 15.379,10 | 3668 | 266 | 510 | 56.410.538,80 | 4.090.840,60 | 7.843.341,00 |
| Acumulador Hawker | 1.240,00 | 5.592,40 | 1836 | 136 | 256 | 10.267.646,40 | 760.566,40 | 1.431.654,40 |
| Regulador STECA TAROM | 350,00 | 1.578,50 | 459 | 34 | 64 | 724.531,50 | 53.669,00 | 101.024,00 |
| Inversor Quattro | 4.985,00 | 22.482,35 | 45 | 4 | 2 | 1.011.705,75 | 89.929,40 | 44.964,70 |
| INVERSIÓN TOTAL | | | | | | 68.414.422,45 | 4.995.005,40 | 9.420.984,10 |

Como se puede observar para la instalación de sistemas fotovoltaicos es necesaria una inversión grande en equipamiento, y por ser este un proyecto innovador dentro de la empresa donde se efectúa el estudio, antes de realizar una inversión mil millonaria en ello, lo primordial es evaluar la eficiencia y confiabilidad que tendría dicho sistema, y la viabilidad de invertir en ello, por lo que se escoge el escenario 2, para de alguna forma apreciar su aplicabilidad futura no sólo en la alimentación de cargas con consumos

elevados, sea ésta la de todo un edificio, sino también en el área de producción de petróleo.

5.2.2 Evaluación técnica y de Rentabilidad del sistema fotovoltaico a proponer

El análisis técnico está vinculado con el emplazamiento de los equipos que conforman la instalación. El estudio económico está basado en la inversión, gastos de operación y mantenimiento de cada etapa que conforma el sistema eléctrico, de acuerdo a la propuesta de aplicación, en este caso se selecciona el escenario que no genera un gran impacto económico a la empresa, siendo éste el escenario destinado para iluminación del edificio Leona. Para el cumplimiento de la evaluación técnica se siguen los siguientes pasos:

1. Área disponible y su ubicación

En las adyacencias de la estructura del edificio Leona se encuentra ubicado un espacio físico considerablemente grande y sin uso actual ni proyectado para un futuro, donde posiblemente se puede instalar el sistema eléctrico alternativo a proponer. Para saber la superficie de dicho sitio se procede a utilizar el método por punto, se realiza la medición con GPS tomando varios puntos (coordenadas UTM) del lugar, las cuales llevadas al programa computacional AUTOCAD, proporcionan el área exacta, quedando así $12970 m^2$. En el apéndice D se presenta la extensión del área disponible.

2. Características del sistema

El campo fotovoltaico deberá tener un total de 34 grupos, 31 con 8

módulos, y 3 con 6 módulos, todos marca ATERSA modelo A – 277P, de los cuales 2 estarán conectados en serie para obtener la tensión nominal del sistema (48V) para así formar 4 ramas, y 3 ramas conectadas entre sí en configuración en paralelo, respectivamente. Cada grupo tendrá su regulador, de modo de lograr el buen funcionamiento del sistema. El ángulo de inclinación de todos los sub-generadores será de 18°.

La estructura de soporte de los módulos preferiblemente debe ser de aluminio y además estar dispuesta para soportar un peso de 193.6 Kg y 146.4 Kg. Cada arreglo se debe colocar sobre base de concreto de por lo menos 30 cm de altura sobre la superficie del terreno, para así evitar humedad y que las plantas o grama que rodean el área no afecten la operación del sistema.

Se requieren 34 reguladores marca STECA TAROM 440. La salida que tiene cada dispositivo hacia la carga, estará conectada en paralelo, para luego interconectarse con los inversores. Los reguladores se deben mantener en lugares cerrados con condiciones iguales a las del subsistema de acumulación.

El subsistema de acumulación estará representado por 136 baterías Hawker TVS – 7 70 OPzS, las cuales estarán distribuidas de manera que quede un banco interconectado a cada regulador, y así garantizar el funcionamiento óptimo del sistema. Tomando esto en cuenta, quedan 34 bancos de baterías, cada uno con 4 elementos conectados en serie para obtener el voltaje nominal. Su ubicación debe ser en un lugar protegido de la intemperie, libre de humedad y con ventilación, preferiblemente ventilación forzada.

El inversor seleccionado es marca Victron Quattro de 8000 W, tomando en cuenta la potencia o el consumo a alimentar, se requieren 4 equipos en configuración paralelo. Puede ser localizado en la misma estructura de los reguladores.

3. Área requerida para la instalación

El área dispuesta para la posible instalación del sistema fotovoltaico mide aproximadamente $12970 m^2$. En la tabla 5.2 se muestra la extensión que ocuparía cada subsistema, cabe destacar que en el caso del subsistema de regulación y adaptación de corriente se toma en cuenta el área que ocuparía la caseta donde estarían ubicados éstos, de igual modo ocurre con el subsistema de acumulación.

- **Subsistema de captación**

Para determinar el área que ocupará el generador fotovoltaico, se debe tener en cuenta la distancia de separación entre cada grupo. Para garantizar facilidades en la instalación y mantenimiento de los equipos, se colocan 2 filas de módulos dispuestas de manera vertical (módulos en serie), quedando así 4 columnas, en el caso de los grupos de 8 módulos, y 3 columnas en el caso del grupo de 6. La separación entre los grupos dispuestos de manera horizontal, será de 80 cm.

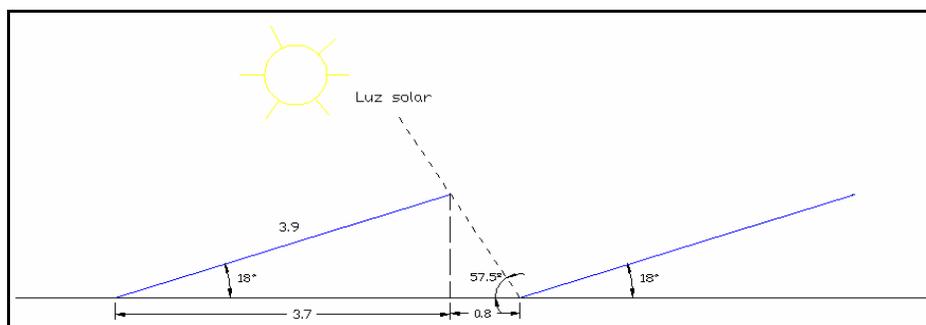


Figura 5.1. Distancia de separación entre filas de grupos de módulos

Colocando 8 grupos de módulos de manera horizontal y separados 80 cm, la cantidad de filas consecutivas para obtener el generador, será de 4, y adicionalmente se tendrá 1 con 2 grupos colocados de modo horizontal. Entonces el largo del generador fotovoltaico será de 21.7 m y el ancho será de 31.68 m. Observando las dimensiones del área dispuesta, se garantiza la ubicación del generador con la interconexión de los grupos en filas consecutivas, a lo largo y ancho de la superficie, quedando todavía área disponible para la ubicación de los otros subsistemas.

- **Subsistema de acumulación**

Las dimensiones de cada batería son: 166x206x505, el subsistema se forma con 34 bancos de baterías interconectado cada uno con cada regulador. Colocando 2 bancos de baterías en filas, el sistema quedaría organizado con 17 columnas. Instalados todos de manera consecutiva, el área tendrá las siguientes dimensiones:

Largo = 1.648 m

Ancho = 1.802 m

El subsistema ocupará aproximadamente 3 m^2 con una altura de 0.505 m, como debe estar dentro de una caseta, ésta debe ser de 6 m^2 para facilitar el mantenimiento de los dispositivos.

- **Subsistemas de regulación y adaptación de corriente**

A pesar de ser bloques distintos dentro del sistema, el área de ocupación de estos se realiza de manera conjunta, pues estarán ubicados dentro de una misma caseta.

Observando las dimensiones de cada equipo (ver apéndice C), en el caso de los reguladores, por ser de tamaño pequeño, se distribuirán en 3 filas, 2 de 11 columnas y 1 de 12 columnas, cada una separados entre sí por una distancia de 30 cm. Entonces el subsistema ocupará un ancho de 5.46 m y una altura de 0.984 m. En el caso de los inversores, éstos estarán dispuestos a lo largo de la caseta, separados a una distancia de 30 cm ocupando así 2.30 m. Colocando los inversores en la parte lateral de la caseta, esta deberá tener las siguientes dimensiones para facilitar la instalación y revisión de los equipos: 7.50 m de ancho por 4 m de largo, quedando así un área de ocupación de 30 m^2 .

Tabla 5.2 Área de ocupación de cada componente de la instalación

| SUBSISTEMA | ÁREA (m^2) |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Captación | 687.45 |
| Acumulación | 6 |
| Regulación - Adaptación | 30 |

El área disponible es suficiente para que el sistema eléctrico pueda ser instalado con facilidad, quedando espacio para su posible expansión, o para la instalación de algunos de los otros escenarios propuestos.

5.2.2.1 Relación Rentabilidad – Beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico

El análisis de rentabilidad que tiene la implementación del sistema eléctrico basado en energía solar fotovoltaica, no se realiza utilizando métodos convencionales en estudios de rentabilidad económica, pues este caso no lo amerita, debido a que la energía generada no se venderá y por ende la empresa no tendrá una tasa de retorno de la inversión. La evaluación se efectuará entablando una relación costo – beneficio de acuerdo a la confiabilidad, y los costos asociados a mantenimiento, materia prima para funcionamiento e impacto ambiental que tiene la instalación del sistema a proponer, en comparación con los sistemas de generación eléctrica convencionales.

5.2.2.1.1 Operación y mantenimiento

El abastecimiento eléctrico del edificio leona, se lleva a cabo gracias a un generador eléctrico a base de gas combustible, y en segunda instancia por la interconexión con el SEN. En ambos casos acarrea gastos para la empresa por la compra de la energía.

Los gastos de operación están vinculados con el precio que tiene la energía eléctrica generada por el sistema propuesto, en este sentido, por tratarse de un sistema autónomo de abastecimiento eléctrico propio no se realizará pago de facturas de electricidad mensuales, los gastos en cuanto al pago del KWh proveniente de SEN disminuirá, así como también lo concerniente a la compra del gas metano proveniente de la estación Dación. En general en lo que respecta tanto a las actividades administrativas como de producción en los campos, la empresa paga una cantidad de 0.0649 por KWh por el suministro de la energía eléctrica y adicionalmente 0.0521 KWh

por el uso del sistema eléctrico PDVSA, y un precio de $0.036 \text{ Bs} / \text{m}^3$ por el gas combustible.

En cuanto a los gastos por mantenimiento en los equipos, las comparaciones se realizan entre la generación eléctrica solar, y la proveniente del uso de combustibles fósiles, en este caso gas metano el cual hace funcionar los generadores eléctricos. En el caso del edificio Leona actualmente cuenta con un generador eléctrico de régimen continuo utilizado para abastecer toda la carga de la base. Este tipo de equipo requiere de mantenimiento preventivo cada 4500 horas (aproximadamente dos veces al año) y de un manteamiento mayor una vez que cumple 22500 horas operativas, sin embargo hay que tomar en cuenta las posibles averías que puede presentar la máquina, por estar trabajando bajo un régimen para el cual no fue diseñado (las cargas del edificio Leona se consideran intermitentes, pues presentan picos en horas laborables, pero en las noches el consumo baja considerablemente), esto se ve reflejado en la cámara de combustión del generador, pues las piezas movibles se ven afectadas y acarrearán gastos en mantenimiento correctivo.

Las instalaciones fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, según el fabricante los módulos necesitan un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración, pues no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Se puede realizar una inspección general 2 veces al año sólo para asegurarse de que las conexiones entre el generador y el regulador estén bien ajustadas y libres de corrosión. Debido a que el sistema de captación tiene una inclinación óptima, acorde con la latitud del área Leona, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, especialmente en los periodos de sequía, simplemente se puede rociar agua sobre ellos.

La simplicidad del subsistema de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas. La observación del estado y funcionamiento del regulador, comprobando que el conexionado y cableado del equipo estén en buen estado, dan un índice del comportamiento de la instalación y son las únicas operaciones que en cuanto a mantenimiento se realizan.

El subsistema de acumulación es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Cada 6 meses aproximadamente, se debe realizar la comprobación del nivel del electrolito, el debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "Máximo" y "Mínimo". Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de los separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada.

Las instalaciones fotovoltaicas no requiere de gastos mayoritarios en cuanto a mantenimiento se refiere, por no tener partes móviles, a diferencia de los generadores eléctricos a base de gas combustibles los cuales poseen piezas mecánicas y por ende necesitan de actividades de mantenimiento programadas y no programadas disminuyendo su eficiencia y confiabilidad.

5.2.2.1.2 Disponibilidad de los recursos para el funcionamiento de la instalación

En esta sección se hace referencia a la fuente de energía o materia prima mediante la cual los sistemas eléctricos entran en funcionamiento, recurso que hace crecer la confiabilidad de los equipos.

Los generadores eléctricos requieren de combustible para funcionar, mientras la demanda eléctrica va creciendo mayor es la cantidad de combustible requerida. Este tipo de recurso es agotable en el tiempo, un ejemplo palpable es el relacionado con la producción del gas asociado de los pozos operados por la empresa Petroritupano. Al pasar de los años se ha presentado y se tiene estimado una declinación en la producción de dicho combustible (ver figuras 3.4 y 3.5). Tal como se presenta en los pozos del área de operaciones de la empresa, igualmente se estima que ocurra en las grandes reservas de gas del país, aunque en este caso el tiempo de la declinación sea menor, dicho recurso es finito y llegará el momento en que no se cuente con él.

El 63% de la energía proveniente del SEN es generada por las centrales hidroeléctricas ubicadas en la región de Guayana, el restante corresponde a generación termoeléctrica. La generación en Guri y la potencia que puede entregar esta central están vinculadas proporcionalmente con el nivel del embalse. La figura 5.2 muestra como es la operación y generación eléctrica de acuerdo a los niveles del embalse, si se llega al nivel mínimo el abastecimiento se ve afectado.

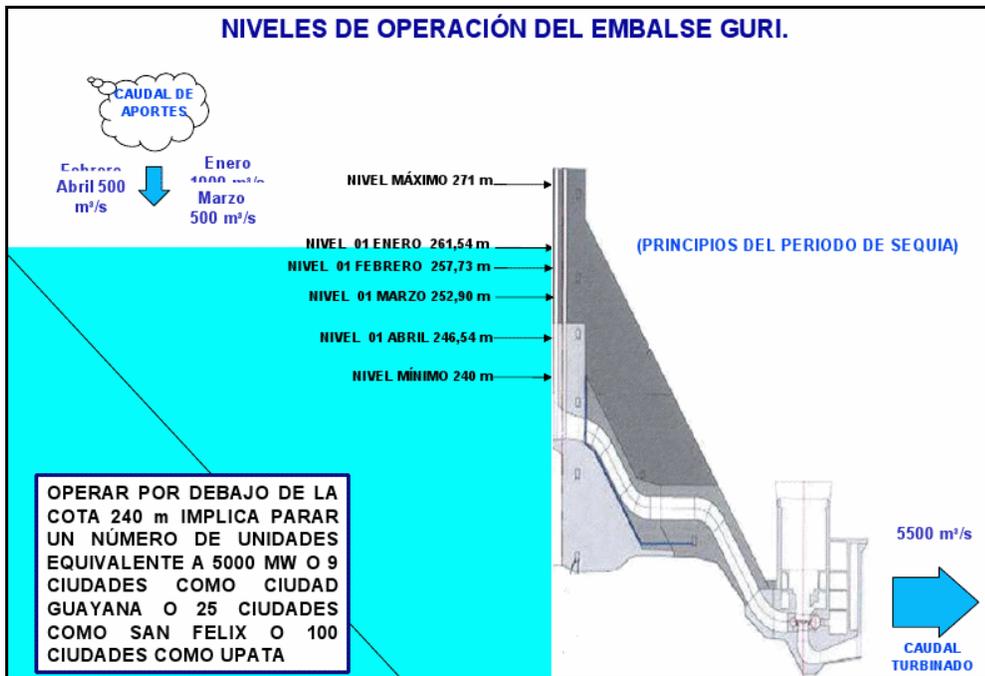


Figura 5.2 Niveles de operación del embalse Guri. (CVG Edelca)

A comienzos del presente año para evitar consecuencias mayores se llevaron a cabo racionamientos eléctricos en todo el país, pues lo aportado por el embalse llegó a hacer menor que lo turbinado.

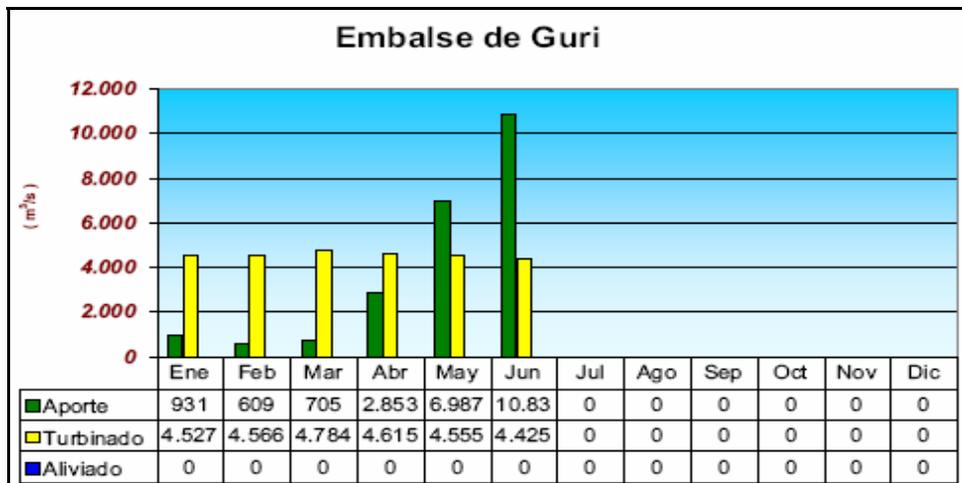


Figura 5.3 Diferencia entre lo aportado y lo turbinado por las máquinas del complejo. (CVG Edelca)

Por esta razón, la energía hidroeléctrica a pesar de ser una energía renovable no se considera 100% confiable, pues su disponibilidad depende en gran parte de los fenómenos naturales, en el caso de presentarse bajos niveles en el embalse de Guri por la ocurrencia de secuencias hidrológicas secas, la generación instalada en el país será insuficiente para atender la demanda de potencia instantánea en las horas pico del Sistema.

Aunado a estas características se presenta la estimación en cuanto a los requerimientos de generación del sistema eléctrico nacional, presentado por CVG Edelca. El Balance de Energía Eléctrica del SEN presume que para los próximos 24 años, a partir del año 2008, el crecimiento de la demanda de energía eléctrica será de 4,3% interanual. El estimado para el periodo 2008 – 2026 se observa en la siguiente figura.

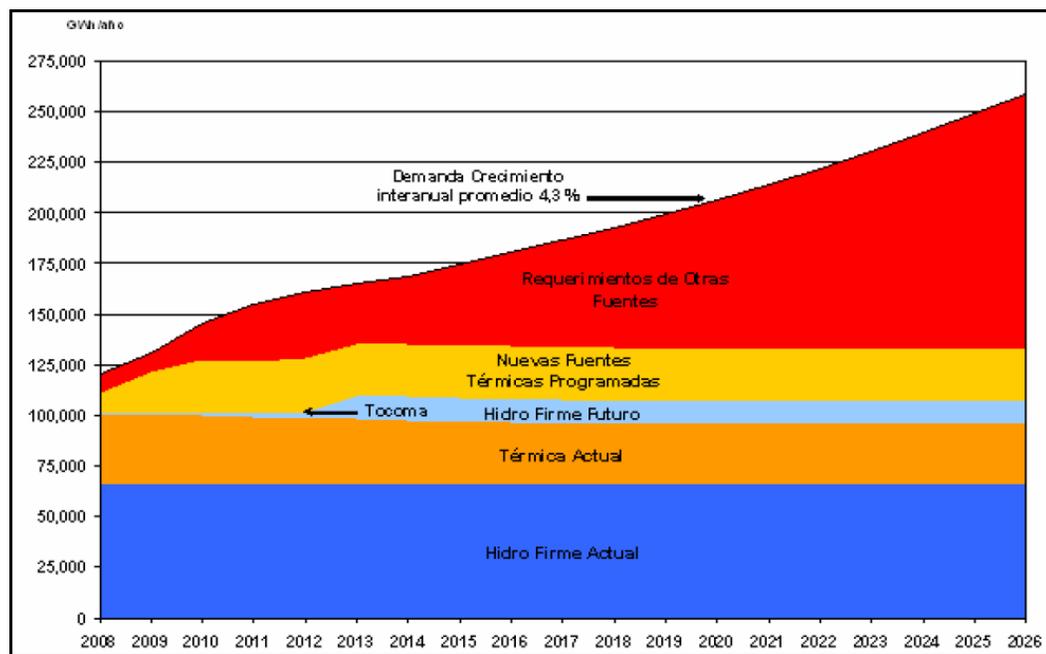


Figura 5.4 Predicción de demanda 2008 – 2026. (CVG Edelca)

En la figura anterior se observa que en el año horizonte (2026), se requerirá aproximadamente 126.000 GWh anuales de energía adicional, en

relación con las necesidades proyectadas para el año 2008. El balance demuestra la necesidad de desarrollar otras fuentes de producción de energía eléctrica, adicionales a las programadas con la finalidad de satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica en el Sector Eléctrico Nacional.

Los sistemas fotovoltaicos se nutren directamente de la energía que el sol envía a la tierra. El único combustible necesario es la cantidad de radiación solar incidente, y como se pudo observar en el capítulo III ésta es suficiente para ser aprovechada. Aunque este tipo de energía se considera intermitente, pues está disponible sólo la mañana y tarde de cada día, su confiabilidad radica en la topología de la instalación, si se tiene la cantidad adecuada de baterías en el sistema, entonces la energía estará disponible mañana, tarde y noche y en los días nublados en los que hay radiación mínima. Para prever inconvenientes, los cálculos en cuanto al banco de baterías necesarias para la instalación están realizados para 3 días consecutivos sin incidencia solar, lo que garantiza el suministro eléctrico en días consecutivos de lluvias. La disponibilidad de combustible es ilimitada y no está sujeta a problemas logísticos, de suministro ni de agotamiento del recurso, el sol es un recurso que se considera constante e inagotable.

5.2.2.1.3 Impacto ambiental

En la actualidad cerca del 50% del calentamiento global se atribuye a la emisión artificial de dióxido de carbono (CO_2) y su fuente principal es el quemado de combustibles fósiles. Una de las opciones que puede bajar estas emisiones es el uso de fuentes de energía renovables para generación de electricidad las cuales no liberan gases de efecto invernadero.

La energía fotovoltaica presenta beneficios derivados de su uso, apuntados especialmente hacia la reducción de emisiones contaminantes, de

acuerdo con las directrices del protocolo ambiental de Kyoto. Los principales beneficios asociados al uso de las tecnologías de generación eléctrica fotovoltaica son los siguientes:

- ✓ No emite carbono ni otros gases y partículas contaminantes, a diferencia de la quema del gas natural, combustible fósil utilizado para la generación termoeléctrica.
- ✓ No generan ruido
- ✓ No consumen ni contaminan el agua
- ✓ Al momento de producirse la generación de electricidad no emite residuos, simplemente necesita que incida la luz solar en los módulos, a diferencia de los generadores convencionales que requieren se realice el proceso de combustión interna emitiendo residuos al medio ambiente.
- ✓ Por tener la característica de generar electricidad de manera distribuida, los impactos ambientales que acarrear la construcción e infraestructura para su funcionamiento, son mínimos, solo se ven reflejados los concernientes a la construcción de las células.

La energía fotovoltaica contribuye en la reducción de emisiones provenientes de combustibles fósiles y al cambio climático causado por ellas, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos que en cuanto al Protocolo de Kyoto se refiere.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La metodología usada en este proyecto es una guía para estudiar la factibilidad de implementar energía eólica y solar para generación de electricidad en cualquier zona.
- Para realizar un proyecto que contemple el uso de energías limpias (eólica y solar) para ser aplicada en generación de electricidad, lo primordial es que la zona cumpla con las condiciones climáticas y ambientales que indiquen la frecuencia de vientos constantes y fuertes y una irradiación solar abundante a lo largo del año.
- La topografía del área de La Leona es plana, no presenta obstáculos que disminuyan o aumenten la velocidad del viento y revelan la existencia de un lugar físico acorde para la instalación de sistemas fotovoltaicos.
- La vegetación del área circundante al edificio Leona se considera de baja altura, equipos eólicos pueden ser situados eficientemente al igual que sistemas fotovoltaicos donde la sombra no representa inconvenientes para su funcionamiento.

- Con los datos aportados por las estaciones meteorológicas cercanas al área de La Leona, y adicionalmente, en el caso del estudio eólico, la realización de mediciones en el sitio, se comprobó lo siguiente:
- ✓ De acuerdo a los datos aportados por las dos estaciones meteorológicas, la incidencia solar supera lo mínimo requerido para la factibilidad ambiental en todo el año y en el mes de mínima insolación (Diciembre). Se estima que el área de La Leona cuenta con una radiación solar anual de $5.2 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ dia}$, suficiente para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Los días consecutivos sin luz solar no superan los 2 días.
- ✓ Las mediciones con el equipo de medición revelan que el viento presenta mucha variabilidad y no supera la velocidad mínima requerida. A pesar de que en el área La Leona influyen los vientos alisios y las masas ecuatoriales, éstos no traspasan el área con una velocidad constante y suficiente para hacer funcionar aerogeneradores.
- ✓ Los resultados generados por la utilización del método de correlación estiman que el comportamiento del viento en la zona a lo largo de los años es de 2.3 m/s en Junio, 2.5 en Julio y 2.5 en Agosto. Los vientos son débiles con velocidad insuficiente para generación de electricidad.
- De los dos potenciales energéticos estudiados en la zona de La Leona el que resulta ambientalmente factible, para la electrificación del edificio Leona, es el solar fotovoltaico.

- Los cálculos referentes al dimensionado están basados en la instalación de sistemas eléctricos fotovoltaicos autónomos, aplicados en cualquier zona, con radiación solar abundante.
- El edificio Leona tiene un consumo eléctrico considerablemente alto, el cual equivale al consumo de más de 50 casas residenciales en conjunto. La estimación de la demanda eléctrica se realizó asumiendo que todos los equipos funcionan al mismo tiempo. El sistema eléctrico fotovoltaico será capaz de abastecer la carga en el peor de los casos.
- Todos los escenarios previstos para el dimensionado del sistema fotovoltaico son factibles técnicamente, sin embargo el que no genera un gran impacto económico es el destinado a la alimentación de las cargas de iluminación del edificio.
- El área de iluminación representa un 7% de la demanda eléctrica total de la base Leona. Para la implementación del sistema fotovoltaico se estimó que se necesitan 266 módulos solares de 277 Wp, 34 reguladores de carga de 40 A, 4 inversores de 8000 W, 34 estructuras con capacidad para 8 y 6 módulos y 136 baterías de 750 Ah.
- Para el abastecimiento eléctrico de cargas industriales, los sistemas fotovoltaicos requieren de una inversión alta, no obstante es un excelente medio de suministro de energía para aquellas plantas industriales aisladas de la red eléctrica y/o que no cuenten con equipos de generación eléctrica confiable.
- La instalación del sistema a proponer, puede considerarse que no es un proyecto a gran escala en la industria petrolera, sin embargo es el inicio de algo muy útil que de implementarse contribuiría en el

desarrollo energético del país, generando conciencia de los beneficios sociales y ambientales que tiene el uso racional y eficiente de la energía, y con ello contribuyendo en el bienestar y calidad de vida de las personas.

- Es técnicamente rentable la aplicación de energía solar en el área de La Leona y generalmente en Venezuela, su implementación disminuye la utilización de combustibles fósiles en la generación eléctrica del país, cambiando los sistemas convencionales por instalaciones fotovoltaicas, cuyo combustible es un recurso inagotable, abundante en todo el territorio nacional.
- La implementación de este proyecto genera un impacto ambiental positivo, aportaría un granito de arena en la reducción de emisiones de dióxido de carbono provenientes de la quema de combustibles fósiles contribuyendo en la disminución de los cambios climáticos y las consecuencias negativas que esto genera en el país y el mundo.
- La instalación del sistema fotovoltaico es un medio de generación eléctrica confiable, no contaminante, capaz de cubrir las necesidades de energía en el área propuesta y constituye una alternativa para solucionar los inconvenientes que presentan los sistemas eléctricos convencionales. Implementar este sistema traerá consigo beneficios económicos a largo plazo.

6.2 Recomendaciones

- Los sistemas de generación eléctrica a partir de energía eólica y solar deben ser dimensionados adecuadamente para las características específicas de cada lugar. Es primordial considerar debidamente las condiciones climatológicas de la zona y la ubicación geográfica, para así seleccionar el sistema más adecuado para la zona en estudio.
- Al recurrir a estaciones meteorológicas se debe verificar la calidad y precisión de los equipos utilizados para la medición, sea del factor del viento o del recurso solar. En cuanto a la medición del viento, verificar que el anemómetro este ubicado a una altura igual o mayor a 10 m.
- De realizar mediciones con equipos que evalúan el factor viento, específicamente con la estación climatológica usada en este proyecto, preferiblemente éste dispositivo se debe ubicar sobre un mástil a 10 m de altura, que no tenga en sus alrededores vegetación que sobrepase la elevación del mismo. Adicionalmente es recomendable que la transmisión de los datos se realice a través de los cables de conexión y no mediante transmisión inalámbrica, si se desea realizar este tipo de transmisiones, localizar la computadora lo más cerca posible de la ubicación del sensor climatológico.
- Para llevar a cabo proyectos solares se recomienda realizar el dimensionado de los equipos de acuerdo a la carga a alimentar, para luego efectuar un inventario real de los equipos a utilizar y minimizar los costos de inversión en equipamiento, y de esta forma, obtener un beneficio tanto técnico como económico en poco tiempo.

- Para que el sistema propuesto funcione óptimamente se debe cumplir con las especificaciones técnicas del dimensionado y especialmente ser utilizado para el abastecimiento de la carga eléctrica para la cual se realizaron los cálculos.
- Los dispositivos que forman parte de los subsistemas de regulación, acumulación y adaptación del suministro, deben instalarse en lugares protegidos contra daños físicos producidos por el calor y la lluvia, que permitan que su mantenimiento e inspección puedan llevarse a cabo fácilmente.
- Este proyecto está referido a la factibilidad ambiental y técnica de la implementación de sistemas alternativos siendo factible el solar, por lo que se recomienda que el diseño de todos los elementos faltantes (protecciones, planos eléctricos, y acometida eléctrica de interconexión entre subsistemas y desde el sistema a la carga) que lo conforman, se realice con base a las especificaciones eléctricas resultantes de los cálculos de dimensionado de los equipos.
- El cálculo de la acometida eléctrica desde el sistema fotovoltaico a la carga se debe efectuar tomando en cuenta la distancia de separación entre ellos, de manera que no supere una caída de tensión del 3%.
- Para que el sistema alimente sólo la carga de iluminación del edificio es necesario extraer o separar los circuitos eléctricos destinados a la iluminación, ubicados en los tableros principales, y crear un tablero donde se encuentren unidos todos ellos.
- Se recomienda realizar un análisis más profundo en cuanto a la posibilidad de instalar un sistema híbrido, que contemple el uso de la

energía solar junto con los generadores eléctricos existentes, de manera que se cuente con el suministro eléctrico en los momentos en que la disponibilidad del recurso solar no sea capaz de abastecer toda la carga, lo que permitiría diseñar el sistema para una cantidad menor de días de autonomía y por ende disminuya la cantidad de baterías necesarias, reduciendo así el costo de inversión del sistema.

- Llevar a cabo campañas de divulgación de información sobre el uso de generación eléctrica fotovoltaica, sus avances tecnológicos e innovadores, y beneficios técnicos y ambientales, en el sector estudiantil y empresarial a nivel nacional, con la finalidad de incentivar a la población a continuar con investigaciones referidas a energías limpias, de manera que se cree conciencia en el uso racional de la energía y se visualice la importancia de su implementación, principalmente para la conservación del medio ambiente.

- El gobierno podría impulsar y promover la creación de una empresa local destinada para la fabricación de módulos solares, así como de los otros equipos asociados al sistema, para así reflejar una evolución energética y no depender de la importación de dichos equipos, trayendo consigo una disminución en los costos de inversión de la implementación de instalaciones solares, lo que aumentaría el uso de este tipo de energía renovable para distintas aplicaciones en todo el país.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Aguilera J., Hontoria L. *Curso de Energía Solar Fotovoltaica CIEMAT*. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Grupo IDEA. Universidad de Jaén. Extraído el 25 de Marzo de 2010 desde: <http://www.ujaen.es/dep/ingeauto/PgPersonal/PPLHontoria/PPLHontoriaInvestigacion/CapLibros/LHontoriaCiemat2004.pdf>.
- ✓ Duran, V. (2007). "Aprovechamiento de las energías renovables para la preservación del ambiente". Foro: "Cuidando el planeta, propuestas para el Táchira". Universidad Nacional Experimental del Táchira. Extraído el 09 de Marzo de 2010 desde: http://postgrado.unet.edu.ve/aniversario/ambiente/v_duran.pdf.
- ✓ Ferichola, J. (2009). Caracterización de sistemas fotovoltaicos con dispositivo portátil. Universidad Carlos III de Madrid. Extraído el 25 de Abril de 2010 desde el portal: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/6037/1/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf
- ✓ García, M. (1999). *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. Ingeniería sin fronteras. España: Editorial IEPALA.
- ✓ Guevara S. (2003). *Estimación de la radiación solar*. Unidad de apoyo técnico para el saneamiento Básico del área rural (UNATSABAR – CEPIS/OPS). Lima, Perú. Extraído el 19 de Marzo de 2010 desde: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cosude/xxii.pdf>.

- ✓ Guía Técnica Energía Eólica, Agencia Andaluza de la Energía, consejería de innovación ciencia y empresa. Documento extraído el 04 de Mayo de 2010 desde: www.agenciaandaluzadelaenergia.es/agenciadelaenergia/.../energiasRenovables/eolica/Energia_minieolica/1257515657869_g.
- ✓ Heras, M. (2008). *Fuentes de energías para el futuro*. Ministerio de educación, política social y deporte. España: edita la secretaria General Técnica.
- ✓ Hurtado, J. (2008). *El proyecto de investigación*. 6ta edición. Caracas, Venezuela: Quirón.
- ✓ Iannini, González y Mastrangelo. *Energía Eólica, Teoría y características de instalaciones*. Boletín energético N°13. Extraído el 20 de Marzo desde: <http://www.cnea.edu.ar/xxi/energe/b13/eolica1.pdf>.
- ✓ Ibáñez M. y Rosell J. (2004). *Tecnología Solar*. Editorial Grupo Mundi-Prensa. España.
- ✓ Méndez, J. y Cuervo, R. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. 2da Edición. Instituto de Tecnología y Formación. España: Editorial FC.
- ✓ Mora, D y Hurtado J (2004) *Guía para ajustes de Prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. Extraído el 02 de Mayo desde: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis15.pdf>

- ✓ Mujal, R. (2003). *Tecnología Eléctrica*. Universidad Politécnica de Catalunya. España: Edición UPC.
- ✓ Mur, J. *Curso de Energía Eólica*. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza, España. Extraído el 19 de Marzo de 2010 desde: <http://www.joaquinmur.eu/manualEolico.pdf>
- ✓ Peraza, J. (2008). *Estudio de factibilidad técnica para la aplicación de energía Eólica como sistema híbrido de respaldo del sistema de emergencia de las subestaciones eléctricas de la refinería de Puerto la Cruz*. Trabajo de Grado. Departamento de Electricidad. Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.
- ✓ Pinilla, A. (1997). *Manual de aplicación de la Energía Eólica*. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas INEA, Universidad de los Andes. Extraído el 09 de Marzo de 2010 desde: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/.../energias.../manualEólicaweb.pdf>
- ✓ Proyecto Aquamac, Instituto Tecnológico de Canarias. Extraído el 01 de mayo de 2010 desde: aquamac.itccanarias.org/index.php?option=com_docman.
- ✓ Ramírez, T. (2007). *Como hacer un proyecto de investigación*. Caracas, Venezuela: PANAPO.
- ✓ Ravelo, O., Gedler, L. y Alves R. (2007). *Metodología para evaluar la factibilidad de una planta de generación Híbrida con energías Renovables para uso Rural*. Ponencia presentada en el congreso CIER 2007, por la Universidad Simón Bolívar, Caracas.

- ✓ Samani, Z. (2000) *Estimating Solar Radiation Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126.
- ✓ Sánchez, J. (2004) *Evaluación técnica – económica de fuentes alternativas e híbridas para la electrificación de los puestos de la Guardia Nacional de Venezuela, en la frontera suroeste del país*. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada. Maracay. Extraído el 03 de Mayo de 2010 desde: <http://www.fglongatt.org.ve/Tesis/PasantiaSanchezLargo2004.pdf>
- ✓ Suarez L. (2008) *Ingeniería conceptual para la electrificación de viviendas en zonas alejadas de los puntos distribución mediante el uso de energías alternativas*. Trabajo de Grado. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de los Andes, Mérida.
- ✓ Tamayo, M. (2002). *El proceso de la investigación científica*. 4ta edición. Caracas, Venezuela: Editorial Limusa.
- ✓ Trezza, R. *Guía meteorológica, Elementos de meteorología agrícola*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Sitios Web

- ✓ <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- ✓ <http://www.edelca.com.ve>
- ✓ <http://www.teknosolar.com>
- ✓ <http://www.venemia.com> (clima en Venezuela)

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

| | |
|------------------|--|
| TÍTULO | “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR, EN EL EDIFICIO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO “LEONA”, PDVSA PETRORITUPANO, MUNICIPIO FREITES - ANZOÁTEGUI ” |
| SUBTÍTULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CÓDIGO CVLAC / E MAIL |
|----------------------------|---|
| Bruzual R. Sulima M. | CVLAC: 17.902.979 EMAIL: sulibruzual@gmail.com |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

factibilidad
eólica
solar
viento
radiación
demanda

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

| ÁREA | SUBÁREA |
|---------------------------------|----------------------|
| Ingeniería y Ciencias Aplicadas | Ingeniería Eléctrica |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente proyecto está basado en el estudio de factibilidad técnico – económica sobre la implementación de energías renovables (eólica y/o solar) en el área de La Leona, del estado Anzoátegui, con la finalidad de encontrar una solución a la problemática energética que está atravesando la empresa Petroritupano S.A. en cuanto a la generación de electricidad. Como paso principal se realiza un análisis de las condiciones climáticas y ambientales, topografía y vegetación del área específica, pues los factores radiación solar y velocidad del viento, dependen de ello. La observación es la técnica primordial para cumplir este objetivo, además se recurre a estaciones meteorológicas cercanas, y con los datos registrados en ellas, se cuantifica la cantidad de radiación solar incidente, mediante métodos de estimación, y utilizando métodos de correlación se evalúa el recurso eólico, comparando dichos datos con las mediciones de la velocidad y dirección del viento realizadas en la zona por un periodo de tres meses. Así se establece la potencialidad de cada recurso. Luego de analizar la factibilidad ambiental, se dimensiona el sistema eléctrico alternativo, tomando en cuenta la demanda eléctrica a abastecer, y seguidamente se evalúa la rentabilidad y beneficios que tiene su implementación dentro de la empresa.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

| APELLIDOS Y NOMBRES | ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----|----|----|
| | ROL | CA | AS | TU | JU |
| Ing. Santiago Escalante | CVLAC: | X | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | sescalante@cantv.net | | | |
| | ROL | CA | AS | TU | JU |
| Ing. José Feria | CVLAC: | X | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | ROL | CA | AS | TU | JU |
| Ing. Daniel Velásquez | CVLAC: | X | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | ROL | CA | AS | TU | JU |
| Ing. Manuel Maza | CVLAC: | X | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| | ROL | CA | AS | TU | JU |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| | | |
|------|-----|-----|
| 2010 | 10 | 14 |
| AÑO | MES | DÍA |

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|----------------------------|-------------------|
| Energía Eólica y Solar.doc | Aplicación/msword |
| | |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Gerencia Técnica/PDVSA (Anzoátegui) (OPCIONAL)

TEMPORAL: 3 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Electricidad

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo con el Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad Oriente y solo podrán ser utilizadas para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Bruzual Rodríguez Sulima María

AUTOR

Ing. Santiago Escalante

TUTOR

Ing. Daniel Velásquez

JURADO

Ing. Manuel Maza

JURADO

Ing. Verena Mercado

POR LA SUBCOMISION DE TESIS