

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE SUMINISTRO ENERGÉTICO PARA EL
DESARROLLO DE LA COMUNIDAD LA LAGUNA DE EL
SALVADOR: APLICACIÓN DE UN SISTEMA AISLADO
MIXTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y
EÓLICA DE PEQUEÑA POTENCIA**

PRESENTADO POR:

JAIME ARMANDO ARÉVALO GARCÍA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. JUAN ANTONIO FLORES DÍAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título

:

**PROPUESTA DE SUMINISTRO ENERGÉTICO PARA EL
DESARROLLO DE LA COMUNIDAD LA LAGUNA DE EL
SALVADOR: APLICACIÓN DE UN SISTEMA AISLADO
MIXTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y
EÓLICA DE PEQUEÑA POTENCIA**

Presentado por

:

JAIME ARMANDO ARÉVALO GARCÍA

Trabajo de Graduación aprobado por :

Docente Director

:

ING. y LIC. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

San Salvador, Diciembre de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. y LIC. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Facultad de Ingeniería y Arquitectura



OEI



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
Escuela Superior de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Trabajo de Graduación / Proyecto Fin de Carrera

Propuesta de suministro energético para el desarrollo de la comunidad La Laguna en El Salvador:

Aplicación de un sistema aislado mixto de energía solar fotovoltaica y eólica de pequeña potencia.

Autor del Proyecto:

Jaime Armando Arévalo García

Directores del Proyecto:

Prof. Dr. Rafael Jiménez Castañeda
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Cádiz

Ing. y Lic. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de El Salvador

Cádiz, 2006.

Dedicado a Dios Todopoderoso y la Virgen María.

A mi amada Familia y Amigos.

Ad Astra Per Aspera.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios, por haberme dado la vida. Gracias a mi familia, el amor y esfuerzo de mis padres y sus sabias enseñanzas; a mis hermanos más que sangre, unión por amor. A mis amigos, por compartir sus alegrías y tristezas, por escucharme, por su valiosa amistad. A mis nuevos amigos del programa PIMA, por su compañía a lo largo de esta aventura en Cádiz.

Agradezco a la Universidad de El Salvador, por la formación profesional y personal brindada, y mostrarme en cierta medida, la realidad social que se vive en nuestro país.

Gracias a la Universidad de Cádiz, por su aportación y cooperación en materia de conocimientos, para poder llevar a cabo el presente trabajo, así como compartir nuevas experiencias en un ambiente de estudios diferente.

Para finalizar, agradezco la oportunidad brindada por el Programa de Intercambio y Movilidad Académica (PIMA). Gracias por darme la oportunidad de conocer diferentes aspectos culturales, sociales y profesionales en el país de España, a través de la bella provincia de Cádiz.

Jaime Arévalo.

CONTENIDO GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN.....	i
OBJETIVOS	iii
ALCANCES Y LIMITACIONES	iv
PARTE I: Marco Conceptual	1
1 Panorama Energético y las Energías Renovables	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Energía y Recursos Naturales	2
1.2.1 Fuentes Energéticas.....	3
1.3 Problemática Energética. Panorama Mundial.....	6
1.3.1 Crisis del Petróleo	8
1.3.2 Problemática en el Consumo Energético	10
1.4 Energías Renovables. Un Futuro Sostenible	10
1.4.1 Tipos de Energías Renovables	12
1.4.2 Beneficios de las Energías Renovables.....	13
1.4.3 Energías Renovables en Centroamérica	15
1.5 Panorama Energético en El Salvador	20
1.5.1 Oferta Energética	21
1.5.2 Organismos de Regulación	24
1.5.3 Población sin acceso al recurso energético	25
1.5.4 Energía Solar Fotovoltaica en El Salvador.....	26
1.5.5 Energía Eólica en El Salvador.....	29
2 Desarrollo Energético en las Comunidades Rurales	32
2.1 Introducción.....	32
2.2 El desarrollo en el mundo rural	33
2.3 La electricidad en el medio rural	35
2.3.1 Alternativas	35
2.4 Aplicaciones del Sistema Mixto en el medio rural.....	39
2.4.1 Enfoque Físico-Tecnológico	39

2.4.2	Enfoque atendiendo al Camino de Búsqueda.....	40
2.4.3	Enfoque atendiendo al Ámbito de Incidencia.....	40
2.4.4	Enfoque atendiendo al Carácter de Utilidad.....	41
2.5	Efectos del Sistema Mixto en las Comunidades Rurales.....	42
2.6	Estudio de la Comunidad.....	44
2.6.1	Estudio y Relación con la Comunidad.....	44
3	Revisión Tecnológica de Instalaciones Mixtas Solares – Eólicas.....	47
3.1	Energía Solar Fotovoltaica.....	48
3.1.1	El Sol. Características de la Fuente.....	49
3.1.2	Fundamento de las Celdas Solares Fotovoltaicas.....	51
3.1.3	Parámetros de una célula solar.....	53
3.1.4	Rendimiento de las Células Fotovoltaicas.....	55
3.1.5	El Sistema Fotovoltaico.....	55
3.1.6	El Módulo Fotovoltaico.....	57
3.1.7	Vida útil de los módulos fotovoltaicos.....	59
3.1.8	Potencia.....	60
3.1.9	Ubicación de los paneles fotovoltaicos.....	61
3.2	Energía Eólica.....	62
3.2.1	Instalaciones cada vez más eficientes.....	64
3.2.2	Fundamentos.....	66
3.2.3	Curva característica de un aerogenerador.....	67
3.2.4	Componentes de un aerogenerador.....	67
3.2.5	Aerogeneradores de Pequeña Potencia.....	72
3.3	Integración del Sistema.....	73
3.3.1	Almacenamiento de la Energía. Baterías.....	73
3.3.2	Regulación de la Carga.....	77
3.3.3	Adaptación de la Energía. El Inversor.....	79
	PARTE II: Aplicación Práctica.....	82
4	Diseño de una Instalación Mixta Solar – Eólica de pequeña potencia.....	82
4.1	Identificación de la Comunidad.....	82
4.1.1	Recursos Naturales.....	85
4.1.2	Algunos Servicios Básicos.....	86
4.1.3	Datos Específicos de la Comunidad Receptora.....	88
4.2	Caracterización de la Demanda Eléctrica.....	89

4.2.1	Equipos de Consumo	89
4.2.2	Cálculo del Consumo Diario de Energía	91
4.2.3	Perfil de consumo de energía diario (Estimación).....	94
4.3	Diseño del Sistema Mixto.....	96
4.3.1	Datos de recursos del lugar.....	96
4.3.2	Diseño del Sistema Fotovoltaico	102
4.3.3	Diseño del Sistema Eólico.....	104
4.3.4	Proporción de Energía en el Sistema Mixto	106
4.3.5	Dimensionamiento del Acumulador.....	107
4.3.6	Selección del Regulador.....	109
4.3.7	Selección del Inversor	110
4.3.8	Acerca de la Instalación Eléctrica.....	110
4.3.9	Dimensionamiento del Cargador de Baterías	113
5	Instrucciones de Montaje, Uso y Mantenimiento de la Instalación	114
5.1	Instalación del Sistema Mixto.....	114
5.1.1	Instalación de los Módulos Fotovoltaicos.....	114
5.1.2	Montaje del Aerogenerador	115
5.2	Instrucciones de uso del Sistema Mixto.....	119
5.2.1	Operación diurna	119
5.2.2	Operación nocturna	120
5.2.3	Corte por alto voltaje	120
5.2.4	Corte por bajo voltaje	121
5.2.5	Operación del Aerogenerador	121
5.3	Mantenimiento del Sistema Mixto	122
5.3.1	Mantenimiento de los Módulos Fotovoltaicos	122
5.3.2	Mantenimiento del Aerogenerador	124
5.3.3	Mantenimiento del Banco de Baterías	127
5.3.4	Mantenimiento del Regulador de Carga.....	128
5.3.5	Mantenimiento del Inversor	128
5.3.6	Mantenimiento de Equipos Varios y Cableado	129
5.4	Normas de Seguridad	131
6	Presupuesto del Proyecto.....	133
6.1	Presupuesto del Proyecto	133
7	Esquemas de la Instalación	135

7.1	Esquemas de la Comunidad	135
7.2	Esquema de Conexión del Sistema Mixto	136
7.2.1	Conexión del Banco de Baterías	136
7.3	Diagrama Unifilar de la Instalación	137
SIMBOLOGÍA.....		138
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS		139
ANEXOS.....		141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo Mundial de Energía, año 2004.....	7
Tabla 2: Ventajas de las energías renovables respecto a las energías convencionales.....	14
Tabla 3: Agentes en el Mercado Eléctrico en El Salvador. Fuente: Transénergie.	21
Tabla 4: Evolución de la Generación Neta en GWh. Fuente: ITSMO Centroamericano.	22
Tabla 5: Tiempos de ejecución para fuente renovables.....	24
Tabla 6: Esquema de los distintos enfoques para abordar y clasificar las aplicaciones	41
Tabla 7: Variables técnico – sociales	46
Tabla 8: Estado habitacional de cada uno de los cantones	83
Tabla 9: Datos sociodemográficos del Municipio Las Vueltas.	85
Tabla 10: Información de la comunidad La Laguna.	88
Tabla 11: Equipos y su potencia nominal para cada vivienda.	89
Tabla 12: Equipos comunitarios y su potencia nominal.	90
Tabla 13: Total de potencia a demandar.....	90
Tabla 14: Energía a consumir por cada vivienda.	92
Tabla 15: Energía a consumir por los equipos comunitarios.	93
Tabla 16: Total de energía esperada a consumir diariamente.....	93
Tabla 17: Perfil de Consumo de Energía.	94
Tabla 18: Datos de entrada para la simulación por ordenador.	96
Tabla 19: Resultados obtenidos por simulación (Parte I).....	96
Tabla 20: Resultados obtenidos por simulación (Parte II).....	97
Tabla 21: Significado de los resultados de la simulación.....	97
Tabla 22: Valores de Irradiación y H.S.P. en La Laguna.	98
Tabla 23: Velocidad del viento mensual.....	99
Tabla 24: Frecuencia de velocidades para el mes de noviembre.	101
Tabla 25: Características eléctricas del módulo fotovoltaico seleccionado.	102
Tabla 26: Estimado de energía a producir por el aerogenerador.	105
Tabla 27: Datos de entrada para la simulación por ordenador.	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Apostar por las energías renovables.	1
Figura 2: Porcentaje del suministro total de energía primaria en el mundo.	3
Figura 3: Reservas probadas de petróleo (2005).....	9
Figura 4: Radiación Solar Global Horizontal en Centroamérica. Fuente SWERA.....	16
Figura 5: Evolución del precio de un pequeño sistema fotovoltaico en El Salvador.....	17
Figura 6: Hogares con Energía Eléctrica.....	26
Figura 7: Radiación Promedio Anual.....	27
Figura 8: Velocidad Media y Rumbo Dominante anual del viento en El Salvador.....	29
Figura 9: El medio rural es uno de los escenarios más adecuados.....	32
Figura 10: Grupo Electrógeno.....	36
Figura 11: Esquema de los componentes de una instalación mixta.....	47
Figura 12: Espectro de radiación solar estándar.....	50
Figura 13: Estructura de un átomo de Silicio.....	52
Figura 14: Curva Corriente – Tensión de una célula fotovoltaica.....	53
Figura 15: Componentes de un sistema solar fotovoltaico.....	56
Figura 16: Esquema del proceso de fabricación de un módulo solar.....	57
Figura 17: Célula Fotovoltaica. Fuente: Cursolar.....	58
Figura 18: Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: Cursolar.....	58
Figura 19: Módulo Fotovoltaico. Fuente: Cursolar.....	59
Figura 20: Esquema simplificado del funcionamiento de un aerogenerador.....	62
Figura 21: Evolución de los tamaños y potencias de los aerogeneradores.....	64
Figura 22: Curva característica de un aerogenerador. Fuente: PRPA.....	67
Figura 23: Motor para girar las aspas (Fuente: BWE).....	68
Figura 24: Descripción de componentes principales de un aerogenerador.....	69
Figura 25: Aerogenerador con generador multipolo y sin caja multiplicadora.....	70
Figura 26: Componentes de un aerogenerador de pequeña potencia.....	72
Figura 27: Formas de asociar las baterías. Conexión serie y paralelo.....	73
Figura 28: Colocación de las Baterías.....	77
Figura 29: Regulador de Carga para un sistema mixto. Fuente: Bornay.....	78
Figura 30: Inversor de corriente. Fuente: Isofotón.....	81
Figura 31: Municipio Las Vueltas.....	82
Figura 32: Detalle del Departamento de Chalatenango.....	84
Figura 33: Detalle del Municipio Las Vueltas. Ubicación del Cantón La Laguna.....	84
Figura 34: Propiciar el desarrollo sostenible de la comunidad.....	87
Figura 35: Se muestra una estimación del perfil de consumo de energía.....	95

Figura 36: Valores de Irradiación Mensual. Energía esperada mensualmente.	98
Figura 37: Velocidad del viento promedio mensual y anual.	100
Figura 38: Frecuencia de velocidad del viento (Anual).	100
Figura 39: Frecuencia de velocidades del viento (noviembre).	101
Figura 40: Curva de Potencia para el aerogenerador Inclín 600. Fuente: Bornay.	104
Figura 41: Estimado de energía mensual que proporcionará el aerogenerador.	105
Figura 42: Distancia mínima entre la hélice y la torre de sujeción.	116
Figura 43: Sistema de frenado automático del aerogenerador.	121
Figura 44: Esquema de Distribución de Electricidad en la Comunidad.	135
Figura 45: Esquema de Conexión de un Sistema Mixto. Fuente: Bornay.	136
Figura 46: Interconexión del banco de baterías a 24V. Fuente: Bornay.	136
Figura 47: Diagrama Unifilar del Sistema Mixto Solar - Eólico.	137
Figura 48: Ventana Principal de Meteonorm 5.1.	141
Figura 49: Interfaz de selección del lugar para la simulación.	142
Figura 50: Entrada de datos de ubicación.	143
Figura 51: Establecimiento de variables de salida deseada.	143
Figura 52: Unidades de salida deseadas.	144
Figura 53: Aerogeneradores Bornay analizados para la selección. Fuente: Bornay.	146

ANEXOS

Anexo 1: Simulación por Ordenador.	141
Anexo 2: Consultores y Suplidores de Equipos en El Salvador:	145
Anexo 3: Curvas de potencia para Aerogeneradores	146
Anexo 4: Influencia de obstáculos en el aerogenerador.	147
Anexo 5: Coeficientes para la conversión a toneladas equivalentes de petróleo.	148
Anexo 6: Hojas Características de los diferentes equipos seleccionados	149

INTRODUCCIÓN

El suministro adecuado de los recursos necesarios para la vida es una prioridad desde cualquier punto de vista que se analice. Nuestro modelo actual de vida, exige un alto consumo de diversos recursos, entre los cuales se tiene el suministro de energía eléctrica.

La electricidad sirve para potenciar el desarrollo de las sociedades. Sin embargo, no toda la humanidad tiene acceso a este recurso, ya que se encuentra un alto porcentaje de poblaciones a nivel mundial que no cuentan tan siquiera con acceso al recurso de agua potable.

El presente proyecto, brinda una propuesta energética de carácter sostenible a la comunidad La Laguna, ubicada en el Municipio Las Vueltas, Departamento de Chalatenango, El Salvador, Centroamérica. La propuesta se realiza mediante la aplicación de dos tecnologías de carácter limpio y renovable: La Energía Solar Fotovoltaica y la Energía Eólica de Pequeña Potencia, ambas tecnologías aplicadas en un sistema aislado mixto. Se brinda una propuesta de diseño, que puede servir como base para la aplicación en proyectos similares.

La Primera Parte del proyecto brinda un marco conceptual para entrar en sintonía con el escenario energético a escala mundial, para luego puntualizar con la situación en El Salvador, discutiendo la aportación e influencia de las energías renovables en el medio, así como algunas experiencias realizadas con la aplicación de las tecnologías a utilizar (Capítulo 1).

También, se describe una serie de valoraciones tanto técnicas como sociales para la implementación de proyectos aislados, utilizando energías renovables para la electrificación en comunidades rurales (Capítulo 2); luego se realiza una revisión tecnológica de los sistemas solares fotovoltaicos y de los sistemas

eólicos de pequeña potencia, así como los elementos que se involucran para su integración en el sistema mixto (Capítulo 3).

La Segunda Parte del proyecto (Aplicación Práctica), presenta el diseño de un sistema mixto (Capítulo 4), valiéndose de datos de la población beneficiada, estableciendo algunos parámetros en cuanto al consumo de energía eléctrica, reflejándolo en su perfil de consumo. Se realiza el cálculo y diseño de los sistemas, en base a los recursos disponibles en la zona. Cabe mencionar, que para la obtención del nivel de recursos de la zona, se realizó una simulación por ordenador. En el mismo capítulo, se presenta la selección de cada uno de los componentes del sistema mixto en base a los requerimientos de diseño.

En el Capítulo 5 se brindan las instrucciones de montaje y uso del sistema a instalar, así como las tareas de mantenimiento necesario para un servicio y aprovechamiento óptimo de la instalación.

En el Capítulo 6 se presenta el presupuesto de implementación del proyecto, detallando el precio cada uno de los equipos que conforman la instalación mixta.

Para finalizar, se brindan los esquemas de conexión de los equipos y algunas especificaciones para su instalación (Capítulo 7).

OBJETIVOS

General

- Brindar una propuesta energética a la comunidad La Laguna, en el Municipio Las Vueltas, departamento de Chalatenango, El Salvador. La propuesta se basa en la combinación de la tecnología solar fotovoltaica y la energía eólica de pequeña potencia, con la cual se ha de proveer de energía eléctrica a la comunidad para promover su desarrollo.

Específicos

- Presentar un panorama de la problemática energética actual y el papel que juegan las energías renovables, tanto a nivel mundial como en El Salvador.
- Realizar una revisión tecnológica de la energía solar fotovoltaica y eólica de pequeña potencia y su combinación en el sistema mixto.
- Calcular el nivel de demanda de energía eléctrica de la comunidad La Laguna, con la cual se pueda satisfacer un consumo energético que propicie el camino al desarrollo de la comunidad.
- Determinar el nivel de radiación solar de la zona, así como su potencial eólico, para un dimensionamiento adecuado de los equipos que conformarán el sistema.
- Brindar el manual de instalación y mantenimiento del equipo, así como algunas normas de seguridad para con el sistema.
- Estimar el costo total de implementación del presente proyecto.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- Brindar una propuesta energética de un sistema de energía solar fotovoltaica y eólica de pequeña potencia; realizando la selección de los equipos a instalar.
- Establecer el presupuesto para la implementación del proyecto en la comunidad La Laguna.

Limitaciones

- La falta de contacto directo con la comunidad para la cual se dirige el proyecto, crea una limitación tanto de carácter técnico como social, haciendo necesario establecer comunicación con la comunidad, así como una evaluación técnica precisa del lugar, esto es previamente a la implementación del presente proyecto.
- La ausencia de datos reales de irradiación y velocidad del viento para la ubicación específica de la comunidad, crea la necesidad de valerse de datos generados por ordenador para el desarrollo del proyecto.

PARTE I: Marco Conceptual

1 Panorama Energético y las Energías Renovables

1.1 Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, han existido una serie de adelantos tecnológicos, los cuales han llevado a un nivel de desarrollo tal cual gozamos hoy en día. Lamentablemente, este desarrollo no ha sido alcanzado por todos los países, debido a problemas sociales, políticos, económicos y a la distribución de los recursos en el planeta y su progresiva escasez.

El nivel de calidad de vida del ser humano actual, exige un alto consumo de recursos diversos como lo es el agua, considerado como un recurso vital, y también de otros no menos importantes, como lo son los recursos energéticos, los cuales se utilizan para potenciar el desarrollo tecnológico de las sociedades.

La demanda del recurso energético crece al ritmo que marcan las economías, creando la posibilidad de un colapso energético en el futuro si no se invierte la tendencia de consumo y la dependencia de los combustibles fósiles. Prueba de ello, es el impacto que sufren los países en vías de desarrollo, debido a los altos precios del petróleo y la sensibilidad de sus economías.



Figura 1: Apostar por las energías renovables.

Hay que aceptar que el modelo de sociedad implementado en la actualidad, es esclavo de los combustibles fósiles. La dependencia de los hidrocarburos es tal que la lucha por su control ha provocado invasiones, creando un "imperio del gas", que incluso ha llevado a impedir el desarrollo de investigaciones relacionadas con la búsqueda de fuentes nuevas de energía. Ha vuelto a sonar la opción de las centrales nucleares como solución a la previsible crisis energética que se avecina, siendo la alternativa más barata, pero también la más preocupante y potencialmente peligrosa.

Este futuro desalentador, nos lleva a la búsqueda de soluciones que vayan de la mano con el medio ambiente, sin renunciar al progreso y sin dañar al planeta. Esto se puede lograr, apostando firmemente por las energías renovables, biocombustibles y moderando adecuadamente el consumo actual del recurso energético.

1.2 Energía y Recursos Naturales

La energía y los recursos naturales son de gran importancia para los países. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) se preocupa de la gestión de estos recursos, especialmente en los países en desarrollo. La ONU, declaró que "los países en desarrollo tienen el derecho de disponer libremente de sus recursos naturales"¹, y que deben ser utilizados para realizar sus planes de desarrollo económico de acuerdo a sus intereses nacionales.

Los recursos energéticos son cada vez más demandados, por lo que en un futuro cercano será imposible abastecer la demanda de los mismos. Debido a esto, es necesario utilizar todas las fuentes de energía de manera que se proteja la atmósfera, la salud humana y el medio ambiente.

¹ Asamblea General ONU, 1952.

Un problema de gran importancia es la desigualdad en el consumo de energéticos. En el 2050, el consumo de combustibles fósiles se habrá duplicado en los países desarrollados, mientras que más de 1800 millones de personas, principalmente de zonas rurales de países en desarrollo, aún no tendrán acceso a servicios comerciales de energía.²

1.2.1 Fuentes Energéticas

Existen diversas maneras de obtención del recurso energético; aunque cada una de ellas presenta ventajas comparables a distintas escalas (económicas, ambientales, tecnológicas, etc.), las cuales han incrementado la explotación de una u otra de ellas, siguiendo generalmente un criterio económico.

En la Figura 2, se muestra la gráfica de producción energética mundial, notando que el modelo actual de sociedad se ha inclinado enormemente por el consumo de combustibles fósiles, los cuales además de ser no renovables, producen altos niveles de contaminación.

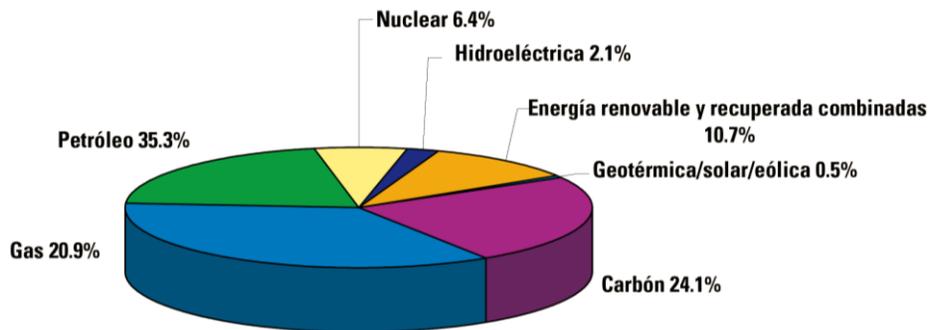


Figura 2: Porcentaje del suministro total de energía primaria en el mundo, año 2003. Fuente: IEA Energy Statistics.

² Naciones Unidas – Centro de Información. Agua, energía y recursos naturales.

A continuación se brinda un listado de algunas formas energéticas que se utilizan actualmente, clasificadas según dos tipos:

- Energía Primaria
- Energía Secundaria

Energía Primaria

Se consideran como fuentes de energía primaria a las que se obtienen directamente de la naturaleza, como los es el caso de: la energía solar, energía hidráulica, energía eólica, la biomasa; o bien, después de un proceso de extracción como: el petróleo, el gas natural y el carbón mineral. Y otros como el recurso de la energía geotérmica, energía nuclear, etc.³

- **Energía Solar:** La energía que procede del sol es fuente directa o indirecta de casi toda la energía que usamos. Se puede utilizar de forma directa, por medio de la transferencia de calor (sistemas fototérmicos) y la generación de electricidad (sistemas fotovoltaicos).
- **Energía Eólica:** es la energía que aprovecha la velocidad del viento, transformándola mediante aerogeneradores en energía mecánica para su posterior conversión en otras formas de energía.
- **Energía Hidráulica:** es la energía potencial de un caudal de agua, que se transforma en electricidad mediante el empleo de centrales de generación apropiadas.

³ Centro de Estudios Energéticos y Medioambientales.

- **Petróleo crudo:** es una mezcla compleja de hidrocarburos de distinto peso molecular, su composición es variable y se utiliza como materia prima en las refinerías para el procesamiento y obtención de sus derivados.
- **Gas natural:** es una mezcla gaseosa de hidrocarburos. Incluye al gas natural obtenido de los yacimientos de gas y el que se obtiene en forma conjunta con el petróleo crudo.
- **Carbón mineral:** es un combustible sólido de color negro o marrón oscuro que contiene esencialmente carbono, así como pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos. Es el resultado de la degradación de organismos vegetales durante el transcurso del tiempo, por la acción del calor, presión y otros fenómenos físico-químicos naturales.
- **Energía de la Biomasa:** comprende una amplia diversidad de tipos de combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos (leña, residuos de la caña de azúcar, etc.).
- **Energía Geotérmica:** es la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor, que por medios adecuados se transmite hacia la superficie para ser utilizada en la generación de electricidad.
- **Energía Nuclear:** es la energía obtenida del mineral de uranio después del proceso de purificación y/o enriquecimiento. Se considera energía primaria solamente al contenido de material fisionable que es el que alimenta las usinas nucleares y no al mineral de uranio en si mismo.

Energía Secundaria

Es aquella cuyos productos energéticos provienen de los distintos centros de transformación con destino a los diversos sectores de consumo y/u otros centros de transformación.

- Electricidad: energía generada con recursos primarios o secundarios en centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, etc.
- Diesel y Gas Oil: combustibles líquidos que se obtienen de la destilación atmosférica del petróleo entre los 200 y 380 grados centígrados.
- Fuel Oil: es el residuo de la refinación del petróleo y comprende todos los combustibles pesados.
- Gases: combustibles obtenidos como subproductos de las actividades de refinación. Además se incluye el gas obtenido en biodigestores.

1.3 Problemática Energética. Panorama Mundial

A fines de la Segunda Guerra Mundial, con el incremento de la población, la extensión de la producción industrial y el uso masivo de tecnologías, comenzó a aumentar la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo que se había convertido en la principal fuente de energía que se creía inagotable. Una fuente energética importante desarrollada por entonces fue la energía nuclear, que condujo a su explotación en las centrales núcleo-eléctricas. Para la década de los 60's era creciente la preocupación por el deterioro del ambiente debido al uso excesivo y sin control de los recursos naturales.

En el año 2003, el consumo de petróleo creció un 2.1%, tras haberse mantenido estable en los tres últimos años anteriores. El aumento en los 30 países de la

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) fue del 1.6%, mientras que en las economías emergentes creció un 3.1%, sobre todo en China, con un 11.5%. China, India, Brasil y otros grandes países que están creciendo a un fuerte ritmo, han provocado en los mercados de la energía y de las materias primas un desequilibrio exuberante. Y hasta que sus economías se estabilicen, existirá incertidumbre en las consecuencias de su irrupción.

Consumo Mundial de Energía. Año 2004.

AREAS ECONOMICAS	Petróleo	Gas Natural	Carbón	Energía Nuclear	Energía Hidráulica	TOTAL	estructura %
Norteamérica	1122,4	705,9	603,8	210,4	141,9	2784,4	27,9
Latinoamérica	221,7	106,2	18,7	4,4	132,1	483,1	4,8
Unión Europea -25	694,5	420,2	307,0	223,4	73,7	1718,8	17,2
Oriente Medio	250,9	218,0	9,1	-	4,0	482,0	4,8
Países de antigua URSS	186,0	531,0	175,0	56,0	56,3	1004,3	10,1
Africa	124,3	61,8	102,8	3,4	19,8	312,1	3,1
Asia y Australia	1090,5	330,9	1506,6	118,9	152,0	3198,9	32,0
TOTAL MUNDIAL	3690,3	2374,0	2723,0	616,5	579,8	9983,6	100,0
Del cual, OCDE	2252,3	1265,5	1163,2	529,6	292,7	5503,3	55,1

Tabla 1: Consumo Mundial de Energía, año 2004. (Unidad: Mtep, Millones de toneladas equivalentes de petróleo). Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. España.

El consumo mundial de energía actual es de 13 Terawatts ($TW = 10^{12} W$) de los cuales cerca del 80% es generado a partir de los combustibles fósiles. La quema de dichos combustibles, intensificada a partir de la Revolución Industrial, ha acentuado el crecimiento de los niveles de CO_2 en la atmósfera, con el consecuente calentamiento del planeta. De este modo, mientras que los niveles medios de CO_2 en la atmósfera hace 150 años eran de 280 ppm, actualmente su concentración media alcanza los 370 ppm, lo que significa que se ha producido un aumento del 32 %. La situación empeorará de cumplirse las previsiones del consumo energético mundial que se sitúan en 26.4 – 32.9 TW en el año 2050 y asciende a 46.3 – 58.7 TW para el 2100. De continuar utilizándose

los combustibles fósiles como fuente energética primaria y mayoritaria, los expertos han predicho que los niveles de CO₂ atmosféricos alcanzarán en cincuenta años valores entre dos y tres veces superiores a los 270 ppm (nivel de concentración en el preantropogénico).⁴

Aunque el gas gana terreno, el petróleo sigue siendo la fuente predominante, con aproximadamente un 36% de la demanda total mundial de energía primaria. El gas crece más en la OCDE y el carbón se desplaza hacia el resto de países, principalmente para generación eléctrica. Las fuentes no fósiles (nucleares y renovables) han crecido más que el resto desde 1990, con una media del 2% anual. Las renovables alcanzan alrededor del 14% del total, nivel ligeramente superior al de 1990, con el mantenimiento de la biomasa natural -leña básicamente- como la principal fuente energética de zonas no desarrolladas y la energía eólica como la fuente renovable de mayor crecimiento en países desarrollados.

Ante esta situación, el gran reto científico-tecnológico de nuestro siglo es, por tanto, el desarrollo de nuevos sistemas de producción de energía medioambientalmente sostenibles que, al menos, logren frenar el progresivo aumento de los niveles de CO₂ en la atmósfera. A pesar de que el severo impacto medioambiental provocado por el consumo de combustibles fósiles debiera ser autosuficiente para incentivar la búsqueda de energías sustitutivas, esta iniciativa se ha visto especialmente impulsada ante la evidente disminución de las reservas de combustibles fósiles accesibles para su explotación.

1.3.1 Crisis del Petróleo

Los precios del petróleo seguirán altos a corto plazo, aunque probablemente volverán a bajar. La culpa del encarecimiento actual se debe al crecimiento de la

⁴ Energía Solar: Inagotable y Versátil. Energía y Sostenibilidad. Madrid.

demanda de este combustible y al propio crecimiento económico mundial registrado en 2004, que ha alcanzado niveles desconocidos en las dos últimas décadas. Se señala que es probable que ese crecimiento se ralentice a lo largo de los sucesivos años y que comiencen a notarse las inversiones en nueva capacidad de producción que suponga más oferta. Pero las reservas siguen siendo las mismas y los costes de explotación serán más elevados, por lo que no parece muy razonable pensar en un descenso significativo del precio del crudo.

El informe de BP Statistical Review of World Energy 2006, calcula que las reservas probadas de petróleo durarían 40 años y las de gas natural 66, suponiendo que la producción y el consumo de estos combustibles fósiles se mantuvieran estables hasta su total agotamiento. Lo cierto es que en los últimos dos años esa razón de *reservas / producción* ha crecido ligeramente, con la entrada en explotación de nuevos yacimientos.

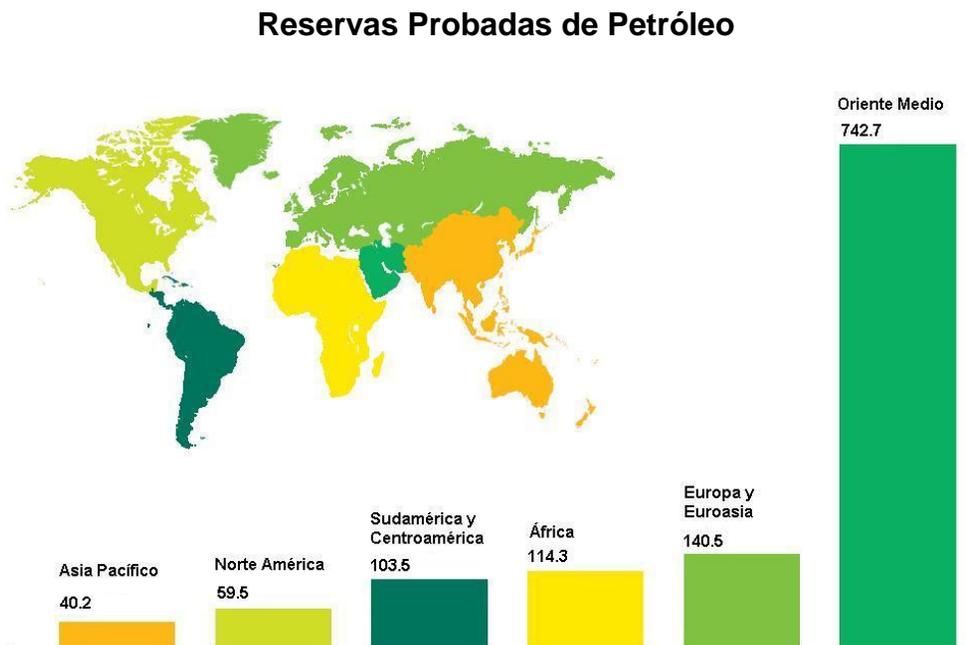


Figura 3: Reservas probadas de petróleo (2005). Miles de Millones de barriles. Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2006.

Otro factor que influye notoriamente en el encarecimiento del crudo, es la inestabilidad política y social de los países con mayor número de reservas, como lo es el caso de los países del Oriente Medio (ver Figura 3).

1.3.2 Problemática en el Consumo Energético

Mientras se continúan expandiendo y actualizando las formas de abastecerse del recurso energético, existe otro problema que agrava la crisis actual del recurso: una demanda inconsciente, desmesurada y con malos hábitos de consumo de energía. Un ejemplo claro, se tiene en el desperdicio de energía por medio de las lámparas incandescentes, así como el consumo excesivo en aparatos de acondicionamiento de aire (ventilación, calefacción, etc.). Dentro de las industrias se presentan generalmente medidas de ahorro y eficiencia energética, promovidas generalmente por un ahorro en sus costos de energía.

A través de pequeños y simples cambios en nuestros hábitos de consumo podremos no sólo ahorrar dinero, sino también proteger al medio ambiente, de esta forma se podrán satisfacer los requerimientos de energía actuales de la humanidad sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

1.4 Energías Renovables. Un Futuro Sostenible

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías están: la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa y la energía geotérmica.

Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Dentro de las convencionales, la más difundida es la hidráulica a gran escala.

Como energías renovables no convencionales (ERNC) se consideran la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Además, existe una amplia gama de procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que pueden ser catalogados como ERNC. De igual manera, el aprovechamiento de la energía hidráulica en pequeñas escalas se suele clasificar en esta categoría.

Al ser autóctonas y, dependiendo de su forma de aprovechamiento, generar impactos ambientales significativamente inferiores que las fuentes convencionales de energía, las ERNC pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades en cada país de elementos tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirían.

La búsqueda de energías renovables sustitutivas de los combustibles fósiles es una necesidad cada vez más apremiante. Sin embargo, estudios realizados por expertos han llegado a la conclusión de que tan sólo la energía solar podría abastecer la demanda energética mundial, si no en su totalidad, al menos de forma mayoritaria. Su aprovechamiento bien como fuente energética primaria o bien para la producción de combustibles secundarios, como el hidrógeno, ofrece un suministro de energía libre de emisiones de CO₂. Estas altas expectativas no han pasado desapercibidas para numerosos países, que han decidido impulsar económicamente la investigación en campos como la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno obtenido a partir de energías renovables, entre ellas la solar.

1.4.1 Tipos de Energías Renovables

A continuación se presentan las diversas formas de energía renovable utilizadas en la actualidad. Cabe recalcar que casi todas tienen como origen común la energía solar, ya sea de forma directa o indirecta.

Energía solar: El Sol es una fuente de energía inagotable. Por eso se dice que la energía solar es un recurso natural perenne. El calor irradiado por el Sol es captado mediante paneles y de ahí se transfiere a depósitos de agua, la que se emplea para la calefacción o para suministrar agua caliente. También se puede convertir la energía solar en electricidad mediante células solares o fotovoltaicas.

Energía eólica: El viento se ha utilizado por miles de años, y se sigue utilizando, para dar energía a barcos y molinos. Pero, el potencial más grande de la utilización del viento es para la generación de electricidad. Es una alternativa de energía limpia, segura y renovable.

Energía hidroeléctrica: La fuerza del agua en movimiento es uno de los recursos energéticos renovables más empleados. Más del 20 por ciento de la electricidad del mundo se origina en las centrales hidroeléctricas. Aunque se podría considerar un modo limpio y eficiente de producir energía eléctrica, la construcción de grandes represas suele tener un gran impacto ambiental.

Energía mareomotriz: Las corrientes marinas, la fuerza de las olas y las mareas ofrecen un potencial energético enorme, seguro y renovable. La forma más habitual de darles utilidad consiste en intercalar un dique en el límite entre un estuario el mar y aprovechar la diferencia de nivel que se produce con las mareas para mover una turbina y activar un generador de electricidad.

Energía geotérmica: Es la que proviene del interior de la Tierra, que en su centro está formada por una masa incandescente líquida. El calor es transferido al agua que circula entre las rocas, que puede salir naturalmente a la superficie

en forma de manantiales o ser captada mediante la perforación de pozos. Se puede aprovechar para calefacción ambiental y de invernaderos, y para generar electricidad.

Biomasa: Es la producida a partir de la materia orgánica llamada también bioenergía. En gran parte del mundo la leña que se obtiene de la madera sigue siendo la principal fuente de energía para la cocina, la calefacción y la luz. Esta fuente de energía es un recurso renovable si se obtiene a partir de bosques convenientemente reforestados.

1.4.2 Beneficios de las Energías Renovables

Los sistemas de energía renovable a gran escala tales como las granjas eólicas, la electricidad de biomasa y la energía hídrica y geotérmica ofrecen considerables ventajas económicas, ambientales y de seguridad energética que las autoridades políticas deberían tener en cuenta al considerar reformas que diversifiquen la cartera de generación de energía. Estas ventajas (específicamente para la región centroamericana) incluyen:

- Estabilidad a largo plazo de tarifas competitivas.
- Reducción de la vulnerabilidad ante interrupciones en el abastecimiento de combustible.
- Flexibilidad en la distribución y suministro de energía a los hogares de las zonas periféricas y rurales.
- Minimización de la emisión de contaminantes que producen el efecto invernadero (cambio climático).
- Minimización de los contaminantes en el plano local, incluyendo la emisión de contaminantes en el agua y el aire.

- Atracción de inversiones destinadas a proyectos de infraestructura local.
- Creación de empleos en el sector de la alta tecnología.
- Muchos sistemas son modulares y pueden expandirse según el aumento de la demanda.

En el siguiente cuadro se describen algunas ventajas que presentan los sistemas de energías renovables respecto a las energías convencionales.

	Energías Renovables	Energías Convencionales
Ventajas medioambientales	Las energías renovables no producen emisiones de CO ₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) sí los producen.
	Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento.	La energía nuclear y los combustibles fósiles generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medioambiente.
	Las energías renovables son inagotables.	Los combustibles fósiles son finitos.
Ventajas estratégicas	Las energías renovables son autóctonas	Los combustibles fósiles existen sólo en un número limitado de países
	Las energías renovables disminuyen la dependencia exterior	Los combustibles fósiles son importados en un alto porcentaje
Ventajas socioeconómicas	Las energías renovables crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.	Las energías tradicionales crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio
	Las energías renovables permiten el desarrollo de tecnologías propias	Las energías tradicionales utilizan en su gran mayoría tecnología importada.

Tabla 2: Ventajas de las energías renovables respecto a las energías convencionales.

1.4.3 Energías Renovables en Centroamérica

Casi 10 millones de centroamericanos, aproximadamente uno de cada tres habitantes, carecen de electricidad. Es evidente la necesidad de incorporar tecnologías que sean capaces de abastecer esa demanda insatisfecha en la región, aprovechando sus recursos renovables.

Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña y gran escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica.

La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente, así como la extracción de energía geotérmica, explotada actualmente en El Salvador. Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles, como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucionales y técnicas aún incipientes. El estado actual de difusión de la tecnología renovable es muy significativo para el área de América Central. Ya que existen organismos internacionales y regionales que promueven el uso sostenible de las energías renovables.

Se puede citar como ejemplo, el caso del organismo internacional "Evaluación de los recursos energéticos solares y eólicos" (SWERA por sus siglas inglés), la cual apoya a la toma de decisiones bien informadas, desarrollar políticas

basadas en ciencia y tecnología, y aumentar interés de inversión a proyectos de energía renovable. A través de SWERA, se fomentará la industria, inversionistas, investigadores, y entidades del gobierno a compartir continuamente la información que facilitará decisiones para desplegar proyectos de energía eólica y solar. SWERA esta apuntado a transformar la capacidad de países en desarrollo a evaluar el potencial técnico, económico, y ambiental para inversiones en gran escala en instalaciones solares y eólicas. En el caso de El Salvador, SWERA trabaja en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la cooperación directa de una universidad privada.

En la siguiente figura se muestra el nivel de radiación solar global horizontal que incide en algunos países de Centroamérica, observando que para El Salvador se presenta un buen nivel de radiación (oscila entre los 5 hasta los 6.5 kWh/m²):

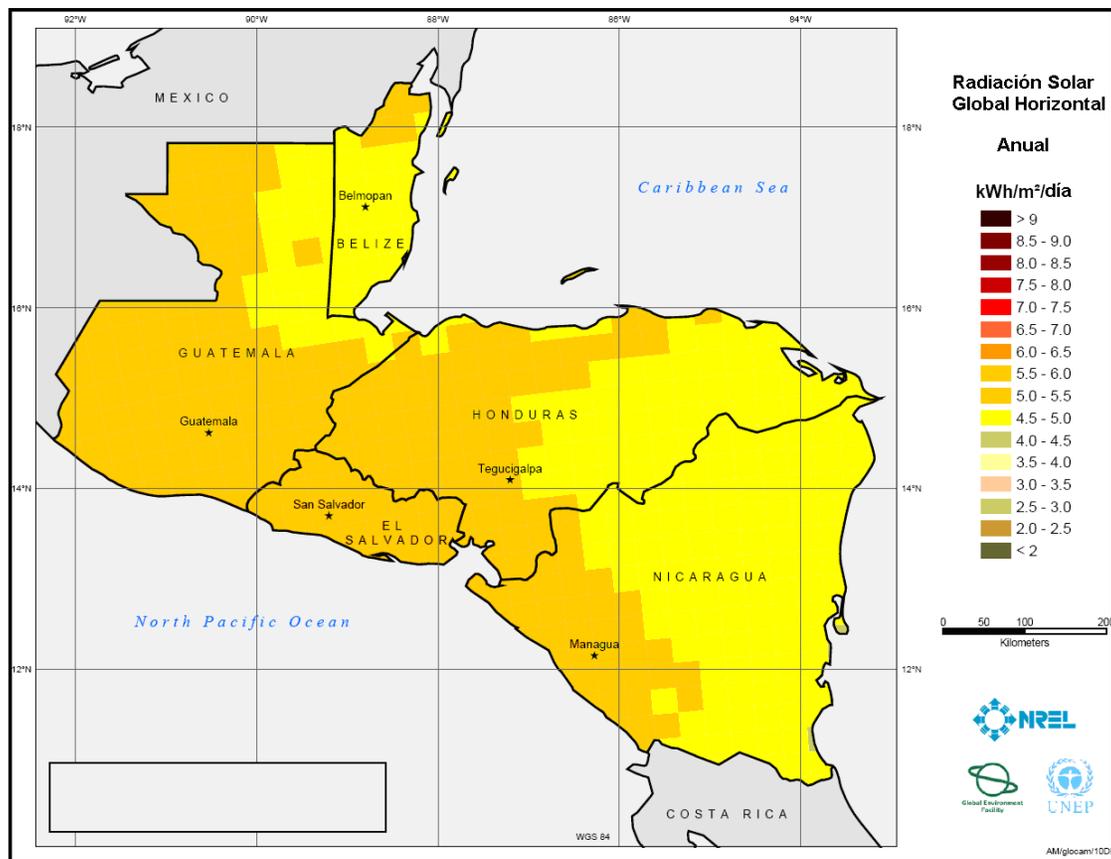


Figura 4: Radiación Solar Global Horizontal en Centroamérica. Fuente SWERA.

1.4.3.1 La energía fotovoltaica en América Central

Los precios de los equipos fotovoltaicos se han reducido considerablemente en años recientes. Por ejemplo, para un sistema fotovoltaico típico para aplicaciones rurales, los costos en el año 2000 se han reducido en un 29% con respecto del año 1997. La Figura 5 muestra la evolución de los costos promedios de un sistema fotovoltaico doméstico de pequeña capacidad (75 Wp) en El Salvador en los últimos años. En los otros países de la región se muestran tendencias semejantes en los precios y se espera que los mismos continúen bajando en los próximos años dada la reducción de los costos de importación y el crecimiento de la demanda.

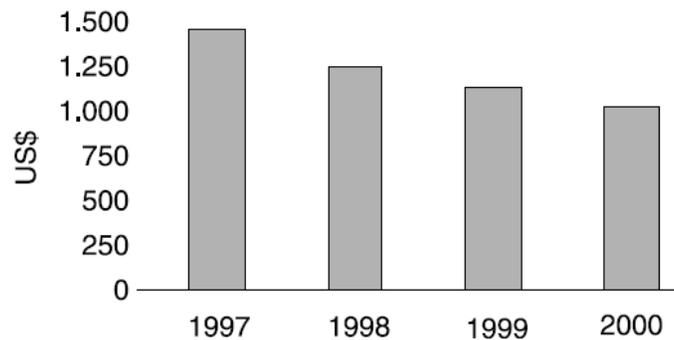


Figura 5: Evolución del precio de un pequeño sistema fotovoltaico (75 Wp) en El Salvador.

Es posible adquirir equipos fotovoltaicos en todos los países de América Central. En el Anexo 2 se encuentra una lista de distribuidores de sistemas fotovoltaicos para El Salvador.

1.4.3.2 La energía eólica en América Central

El aprovechamiento pleno de la energía del viento en América Central podría abastecer de electricidad a 12 millones de personas, un tercio de la población

del istmo, con costos inferiores a los de los combustibles fósiles y sin efectos contaminantes.⁵

De momento, Costa Rica es el único país del istmo con parques eólicos conectados a la red eléctrica. Cuatro por ciento de la electricidad es generada por el viento en esta nación.

Sus cuatro parques, tres privados y uno público, cuentan con una potencia de 66 megavatios, la mayor de América Latina comparada con 14 megavatios en Argentina y 20 en Brasil.

Se requiere un megavatio para suministrar electricidad a una comunidad de 20 mil personas. La región puede producir hasta 600 megavatios a partir de la energía eólica, suficiente para abastecer a 12 millones de habitantes, señala la ONG.

Veinticuatro proyectos eólicos están en fase de preinversión en Belice, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, según el manual "Eólica", que BUN-CA (ver nota al pie) ha de publicar como parte de una serie, destinada a analizar perspectivas y grado de desarrollo de las energías renovables en América Central. Ya es posible producir energía eólica por tres a cinco centavos de dólar el kilovatio hora.

La energía hidroeléctrica tiene un costo similar: cinco centavos de dólar, mientras la electricidad producida en centrales a carbón, diesel o gas ronda los 10 centavos de dólar. "La energía eólica en América Central tiene mucho futuro" sostiene el ingeniero José María Blanco, director de BUN-CA.

⁵ Tierramérica. Por Néfer Muñoz.

América Central se encuentra bajo la influencia de los vientos alisios, un sistema de velocidad y dirección relativamente constantes, que sopla en ambos hemisferios desde los 30 grados de latitud hacia el ecuador. Los aerogeneradores requieren una velocidad mínima de viento de 3,5 a seis metros por segundo. En algunos lugares de la región, la velocidad promedio anual alcanza 12 metros por segundo.⁶

⁶ Biomass Users Network Centroamérica (BUN-CA).

1.5 Panorama Energético en El Salvador

En El Salvador se está tomando conciencia de que las energías renovables podrían solucionar muchos de los problemas ambientales, pudiendo además cubrir un porcentaje significativo del consumo de electricidad producida mediante quema de combustibles fósiles y reducir las emisiones de dióxido de carbono, así como restringir la dependencia del país de los suministros externos en combustibles.

Para lograr hacer realidad este cambio de actitud, se requiere invertir millones de dólares en la formulación e implementación de programas que contengan medidas para reducir o evitar las emisiones de gases de efecto invernadero, sustituyendo la generación que los produce por aquella que emplea tecnologías limpias.

En la actualidad, en El Salvador se ha explotado notoriamente el recurso renovable de la energía geotérmica, dado el alto grado de disponibilidad del recurso. Existe a la vez, diversidad de estudios e investigaciones que ayudarán a incorporar nuevas formas energéticas, inclusive de tipo no convencional (energía marítima, producción de combustibles de origen orgánico, producción de hidrógeno, etc.).

1.5.1 Oferta Energética

En El Salvador existen una serie de entes que se desempeñan en el mercado energético, ya sea como productor directo o como distribuidor del recurso. A continuación se muestra un listado de las compañías que funcionan en el país:

Actividad	Operador	Tipo de Recurso	Mercado de Operación	Capacidad Instalada (MW)
Producción	CEL	Hidroeléctrico	Mayorista	395.8
	GESAL	Geotérmico	Mayorista	161.2
	DUKE	Térmico	Mayorista	383.5
	El Paso	Térmico	Mayorista	144.5
	CESSA	Térmico	Mayorista	32.6
	Textufile	Térmico	Mayorista	21.3
	Cucumacayán	Hidroeléctrico	Minorista	7.3
	DeMatheu	Hidroeléctrico	Minorista	0.7
	Sensunapán	Hidroeléctrico	Minorista	3
	La Chacra SABES	Mini-Hidro	Autoconsumo	0.017
	CASSA	Biomasa	Minorista	18.6
	Ingenio La Cabaña	Biomasa	Minorista	10.8
	Ing. San Francisco	Biomasa	Minorista	3.3
	Ingenio El Angel	Biomasa	Minorista	7.0
	Ingenio Jibia	Biomasa	Minorista	1.6
	Emp. Eléct. del Norte	Biomasa	Minorista	1.7
Capacidad Instalada Total				1,192.91
Transmisión	ETESAL		Mayorista	
Distribución	AES-CAESS		Mayor/Minorista	
	AES-CLESA		Mayor/Minorista	
	AES-EEO		Mayor/Minorista	
	DELSUR		Mayor/Minorista	
	DEUSEM		Mayor/Minorista	
Grandes Usuarios	ANDA		Mayorista	
	SICEPASA		Mayorista	
	MAG		Minorista	
Comercializadores	Excelergy		Mayor/Minorista	
	CONEC-ES		Mayor/Minorista	
	CARTOTECNICA		Mayor/Minorista	

Tabla 3: Agentes en el Mercado Eléctrico en El Salvador. Fuente: Transénergie.

En la Tabla 4, se presenta la evolución de las diferentes fuentes primarias de energía en El Salvador⁷:

Evolución de la Generación Eléctrica en El Salvador

Años	Total	Hidráulica	Geotérmica	Vapor	Diesel	Gas
1980	1427.8	1043.5	365.3	13.9	-	5.1
1985	1650.5	1165.8	379.6	72.3	-	32.7
1990	2164.3	1641.5	384.3	124.9	-	13.7
1995	3270.7	1464.9	410.1	275.2	205.0	915.6
1996	3340.7	1876.7	399.8	149.6	654.4	260.1
1997	3548.2	1424.1	453.5	356.2	925.4	389.1
1998	3737.2	1561.1	418.4	453.7	932.6	371.4
1999	3686.1	1809.6	557.8	336.4	808.3	174.0
2000	3390.1	1213.1	738.9	-	913.8	524.5

Tabla 4: Evolución de la Generación Neta en GWh. Fuente: ITSMO Centroamericano.

Dentro de los recursos renovables para la generación de energía eléctrica, solamente el recurso de la biomasa y el hidráulico están participando en el mercado a través de la interconexión con la red de distribución. El eólico aún no arranca a pesar de haberse desarrollado en forma incipiente, algunas pequeñas experiencias con este recurso.

El recurso solar sobre todo para iluminación con celdas solares fotovoltaicas, a pesar de ser un recurso todavía caro, mediante apoyo y financiamiento de organismos internacionales y ONG's está teniendo una gran aceptación por pobladores rurales que habitan en las regiones apartadas de la franja situada al norte del país lejos de la red. La generación de energía eléctrica proveniente del recurso solar, todavía se encuentra distante de ser integrada, por el tipo de tecnología y su alto costo, a la red convencional de electricidad.

⁷ ITSMO Centroamericano: Estadísticas del Subsector Eléctrico, CEPAL. Agosto 2001.

El mercado eléctrico de El Salvador está experimentando cambios importantes desde que fue privatizado el sector, pues enfrenta el reto de desarrollar una plena competitividad en la participación de mayor oferta de generación a mejores precios, factor que solo es posible permitiendo el acceso a nuevos generadores.

La falta de un actor planificador como lo fue CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa) en la etapa previa a la privatización, es quizá el reto mayor para este mercado, que debería admitir nuevas inversiones para el desarrollo de más proyectos de generación a base de fuentes renovables que puedan contrarrestar la dependencia de la generación térmica a base de combustibles fósiles. La clave en este último aspecto es cómo lograr la dinamización de los proyectos identificados.

El potencial técnico para desarrollo de los proyectos de fuentes renovables existe en el país, aunque la experiencia local es muy limitada en los pequeños proyectos con recursos eólicos, en los recursos solar y de biomasa se cuenta con empresas y profesionales a nivel nacional y centroamericano que cuentan con buena experiencia en diseñar y ejecutar proyectos con estos recursos.

Con relación a proyectos hidráulicos y a los desarrollos geotérmicos, el país tiene personal técnico preparado y con la suficiente experticia para impulsar desde las fases de identificación de los lugares potenciales de generación hasta la ejecución de proyectos en esta clase de recursos. Quizás el aspecto fundamental que podría motivar a una acción de modificación de la legislación del sector eléctrico, es el considerable tiempo que tarda en completarse las distintas actividades a realizarse para los inversionistas en ejecutar un proyecto de fuentes renovables en su totalidad.

En la Tabla 5 se resumen los períodos máximos y mínimos estimados registrados para cada actividad por tipo de recursos, que permite tener de una forma más objetiva, una idea de los requisitos a cumplir para finalizar cada

proyecto, con la puesta en operación de los equipos generadores. No se considera simultaneidad en las tareas, que obviamente reduciría el tiempo total de la ejecución del proyecto.

Tipo de Recursos	Duración del Proyecto (años)	
	Mínima	Máxima
Pequeñas Centrales Hidráulicas	5.8	10.0
Geotermia	5.7	9.9
Biomasa	1.9	3.0
Solar/Eólico/Híbrido	0.7	1.6

Tabla 5: Tiempos de ejecución para fuente renovables.

Para la evaluación de los proyectos de fuentes renovables menores a 5 MW, los criterios de inversión que se emplean son los Técnico-Económicos y los criterios de riesgo. Dentro de los primeros, se toman los índices financieros de la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y la razón Beneficio/Costo. Los criterios de riesgo contemplan factores tales como el nivel de confianza que tenga la empresa con su patrimonio ante los organismos financieros, la capacidad crediticia del o los propietarios del proyecto. Las barreras identificadas que inhiben la instalación de nuevos proyectos de fuentes de energías renovables son de índole legal y regulatorio, financiero, técnico, institucional, económico y de capacitación.

El resultado de implementar los más de 70 proyectos de fuentes renovables considerados *menores de 5 MW*, que sumarían 119 MW, produciría anualmente unos 529,796 MWh con los que se ayudaría a reducir en emisiones de CO₂ en unas 423,812 Toneladas/CO₂ por año.

1.5.2 Organismos de Regulación

Aunque no todos los participantes poseen el mismo peso dentro del esquema de la regulación del sector eléctrico, las condiciones pueden modificar el

protagonismo y los roles de los actores involucrados en el esquema de generación con fuentes renovables.

En este sentido, en la actualidad el organismo regulatorio más importantes dentro de la industria eléctrica en El Salvador es *La Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET)*. El ente Regulador creado por Decreto el 12 de septiembre de 1996 con carácter de institución autónoma de servicio público sin fines de lucro, para aplicar las normas y las leyes que rigen el sector de la electricidad y su reglamento. La SIGET es una institución estatal que por ser de carácter eminentemente técnica, se limita a regular el monopolio privado de la distribución y de la empresa transmisora.

Por lo anterior, corresponde a SIGET dentro de sus atribuciones más importantes la de aprobar las tarifas eléctricas, aplicar los tratados, leyes y reglamentos que regulen la actividad del sector, dictar normas y estándares técnicos aplicables al sector eléctrico y dirimir conflictos entre operadores.

Otro organismo que juega un papel importante es el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Es el Ministerio el que desarrolla las disposiciones que emanan de la Constitución de la República que se refieren al la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el *uso sostenible de los recursos naturales* para mejorar la calidad de vida de la población. La política nacional del medio ambiente se fundamenta en otros principios igualmente importantes que comprometen al MARN a mantener y guiar la acción de la administración pública para la ejecución de los planes de desarrollo.

1.5.3 Población sin acceso al recurso energético

En El Salvador, para analizar el acceso que tiene la población a los diferentes servicios básicos, se suele distinguir entre zonas urbanas y zonas rurales. De la Figura 6, se puede observar como la tendencia del número de hogares con energía eléctrica aumenta a lo largo de los años. Se observa que para el año

2004 un 71.9% de personas en la zona rural (40.3% de la población total del país) tenía acceso al recurso de energía eléctrica, presentando un 28.1% sin acceso.

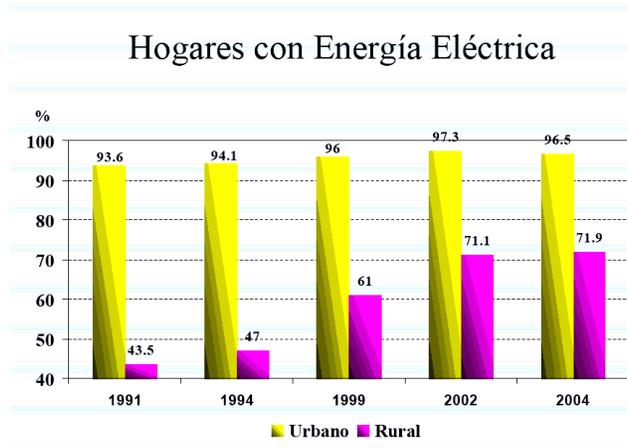


Figura 6: Hogares con Energía Eléctrica. Fuente: MINEC.

1.5.4 Energía Solar Fotovoltaica en El Salvador

El potencial para la explotación del recurso solar en El Salvador es grande, tomando en cuenta que el país registra valores de radiación y luz solar que ofrecen una excelente disponibilidad para desarrollar este recurso, que aunque con costos de instalación todavía altos, presentan un panorama atractivo para su explotación.

El recurso solar ha comenzado desde hace unos seis años con un desarrollo modesto en áreas rurales, a través de proyectos en su mayoría financiados por organismos locales e internacionales y algunas ONG's interesadas en apoyar el desarrollo rural.

La mayor infraestructura del recurso solar instalado consiste en paneles solares fotovoltaicos unifamiliares para iluminación, aunque existen algunos proyectos

solares con aplicaciones para bombeo y producción de calor, ninguno se encuentra interconectado a la red eléctrica local.

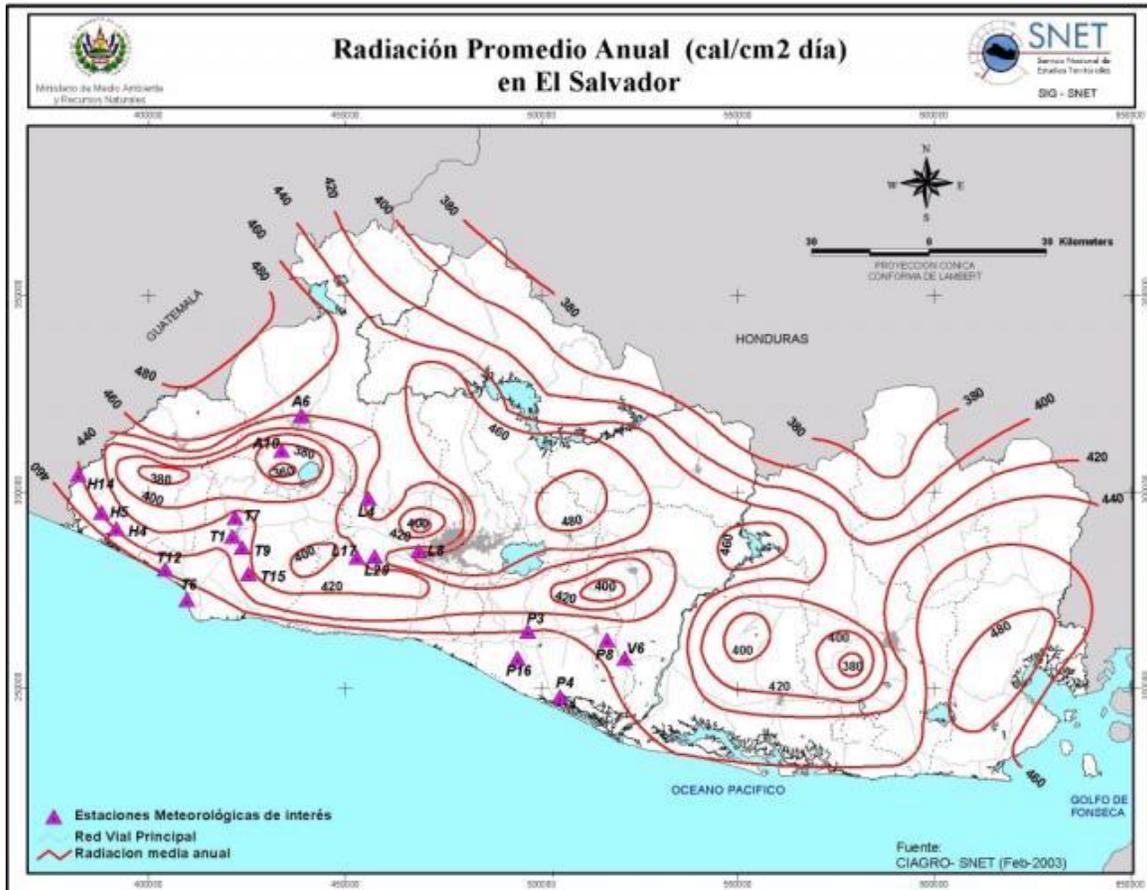


Figura 7: Radiación Promedio Anual ($1 \text{ Cal/cm}^2 = 11.63 \text{ Wh/m}^2$). Fuente: SNET.

El SNET (Servicio Nacional de Estudio Territoriales) es el ente encargado de registrar los datos de diversos recursos naturales, monitorear el país en temas de vulcanología, climatología, etc. De sus resultados de monitoreo se presenta el mapa de la Radiación Promedio Anual en El Salvador. Notando como por ejemplo, el alto potencial del recurso en la zona oriental del país y la zona costera.

1.5.4.1 Tecnología Disponible en El Salvador.

La tecnología y los equipos ofertados en el país en este tipo de recurso es suministrada al mercado local por tres empresas privadas: Tecnosolar, Siemens y Servicios Solar.

Las primeras dos empresas tienen varios años de experiencia en la instalación y el mercadeo de sistemas fotovoltaicos. Capacitan a los nuevos usuarios de este servicio y promueven al uso de energía renovable a comunidades aisladas que difícilmente tendrán acceso a la red de distribución por las largas distancias a las que pasa por sus poblados.

Quizá por los resultados, la diferencia entre todas es que Tecnosolar tiene un comportamiento más agresivo en la oferta de sus servicios pues va en la búsqueda del cliente rural para la promoción y venta de los sistemas fotovoltaicos, no tanto así ocurre con la empresa alemana que mantiene sus políticas de mercadeo de los paneles solares a nivel de sala de ventas.

Tecnosolar ha instalado unos 4,000 sistemas solares de distintas marcas de equipos, para diversas aplicaciones en el campo, en su mayoría para iluminación residencial, sin embargo, también ha instalado sistemas de bombeo y potabilización de agua, calentadores solares y sistemas de refrigeración, así como aplicaciones para comunicación satelital por medio de paneles.

Servicios Solar es una empresa que nace a finales de 1997 que ofrece suministros y tecnología para instalar sistemas solares, sin embargo, no son conocidos sus proyectos y aplicaciones en el mercado.

1.5.5 Energía Eólica en El Salvador

En El Salvador, desde 1997 al presente, se han instalado unos tres pequeños proyectos de esta naturaleza, en sitios que se han identificado con potencial eólico para la instalación de este tipo de generación.

Antes, durante la década de los 80's, la CEL realizó investigaciones de campo en más de veinte lugares con potencial previsible para la generación eólica, efectuando mediciones de vientos tratando de registrar datos de la potencia media del viento por metros cuadrados de área perpendicular a la superficie y a la altura de 10 metros y la energía por metro cuadrado en kWh.

De los resultados de estas experimentaciones se concluyó que la mayoría de las estaciones de medición tiene densidades de energía anual comprendidas entre 100 y 500 kWh/m². Aunque solo tres superaban los 500 kWh/m².

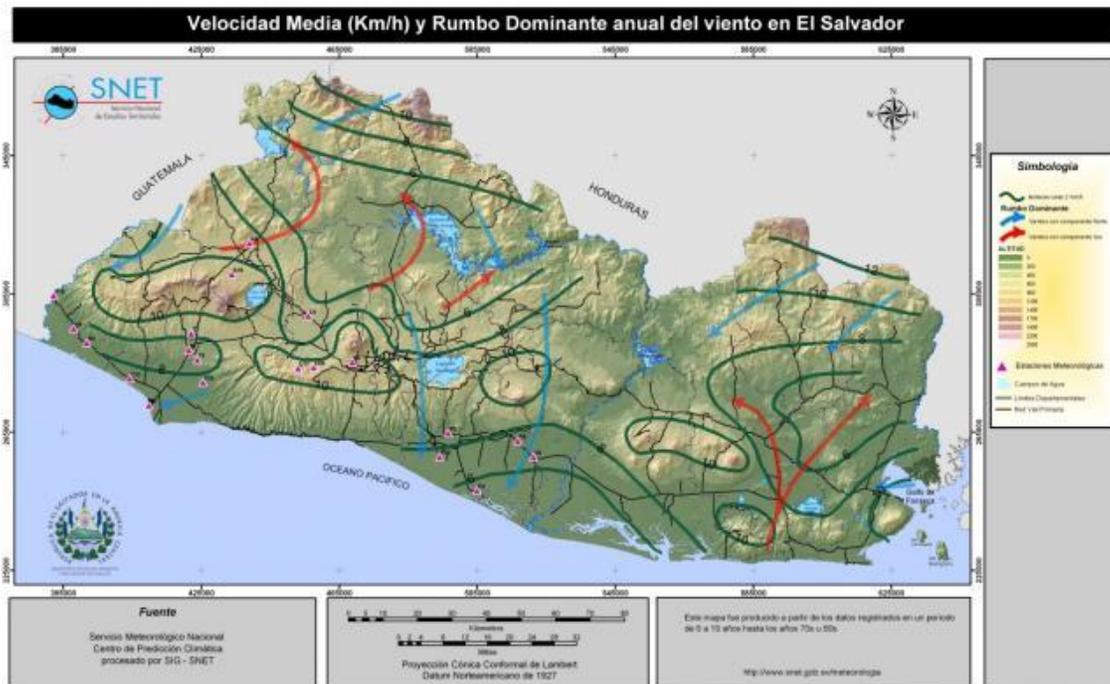


Figura 8: Velocidad Media y Rumbo Dominante anual del viento en El Salvador (1 km/h = 0.278 m/s). Fuente: SNET.

En la Figura 8, se puede observar que las velocidades de viento medias en El Salvador oscilan entre los 6 y 12 km/h (1.7 y 3.3 m/s).

Para la generación eólica se conocen dos empresas oferentes de servicios. Estas son: Tecnosolar y Servicios Solar.

Tecnosolar, de la que ya se ha escrito antes en este mismo documento, ha instalado tres proyectos eólicos pequeños desde 1997. Si bien el desarrollo de parques eólicos requiere de capacidad técnica e inversión inicial para el desarrollo de proyectos más importantes, da la impresión de que Tecnosolar, tiene el entusiasmo de participar en ellos por el beneficio solo de la vinculación con los expertos y los actores clave de este sector, que por lo general son técnicos extranjeros vinculados a empresas internacionales.

La empresa Servicios Solar, logró preparar y realizar los estudios finales para hacer factible un proyecto eólico en el área de San Marcelino, con apoyo técnico y financiero de proveedores europeos. Para este fin, se contrataron consultores daneses que tuvieron el apoyo de personal local para hacer los estudios y mediciones de campo en el lugar. El objetivo de Servicios Solar era de establecer en el cerro San Marcelino, el primer proyecto eólico importante en El Salvador, con una potencia nominal de 3.6 a 6.3 MW que serían suministrados por 6 a 7 turbinas de 600 a 900 kW cada una. El parque funcionaría. Lamentablemente este proyecto al estar localizado en una área protegida, no logró pasar favorablemente el Estudio de Impacto Ambiental desechándose toda posibilidad de ejecutarlo debido al perjuicio ambiental que ocasionarían el acceso constante de personal, vehículos y desechos por la permanencia de personas en el área, sin dejar de agregar los traslados de los materiales, el montaje de las torres y el ruido de las aspas durante la operación normal de los aerogeneradores.

En la actualidad, después del intento de instalar un proyecto eólico importante en el cerro San Marcelino, no existe ningún otro proyecto potencial eólico por desarrollar. Actualmente, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y una universidad privada, está desarrollando conjuntamente con el apoyo de las Naciones Unidas y otras entidades, mediante el programa SWERA, un proyecto regional con el propósito de elaborar un mapa eólico y otro solar del país que de un apoyo a la identificación de nuevos sitios potenciales para estos recursos.

2 Desarrollo Energético en las Comunidades Rurales

2.1 Introducción

Es sabido que existen grandes desequilibrios entre unos países y otros en cuanto a consumo de energía primaria se refiere. Estas diferencias son tales que la cuarta parte de la población mundial, perteneciente al mundo industrializado, lo que consideramos es una energía de alta calidad como es el caso de la electricidad, las desigualdades son mucho más profundas, ya que su demanda aumenta según lo hace el nivel de desarrollo de los distintos países. Según estimaciones del Banco Mundial, actualmente de una población de unos 5,500 millones de personas, 2,000 millones no están conectados a ninguna red eléctrica, y 1,000 millones no tienen acceso alguno a electricidad de ningún tipo (estando todos éstos en países menos desarrollados, cuya población suma un total de 4,200 millones).

Dicho esto, se puede concluir que la dependencia que hay entre la disponibilidad de una fuente energética y el desarrollo tecnológico de una comunidad es muy grande. El no tener acceso a la energía eléctrica tiene consecuencias importantes. Entre ellas cabe destacar la incomunicación (falta de teléfono, de medios audiovisuales, etc.), las condiciones desfavorables en la vida cotidiana (en los trabajos nocturnos es el hogar, en la atención a la salud, en el estudio y la lectura de los más jóvenes, etc.) y los problemas en la vida productiva (al no poder utilizar prácticamente motores).



Figura 9: El medio rural es uno de los escenarios más adecuados para la utilización de sistemas energéticos aislados renovables. Fuente: Tecnosolar.

Por otro lado, es un hecho igualmente patente que, tanto en los países ricos como en los pobres, la gran mayoría de la población sin electrificar se encuentra en las zonas rurales, caracterizadas por unas poblaciones muy dispersas y alejadas de la red convencional. En los países pobres, además, es habitual que en las capitales sólo tengan acceso a la electricidad en el centro y en las zonas más ricas.

Desde la experiencia en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos en áreas rurales, se ha llegado al convencimiento de que sólo desde una perspectiva doble, la técnica y la social, pueden realizarse éstos satisfactoriamente. Es por eso por lo que se hace necesario un equipo de trabajo interdisciplinar, que aúne las vertientes técnica y social, y que intervenga en todas las fases del proyecto, desde sus primeros pasos hasta la evaluación.

La ausencia de equipos interdisciplinares hace que, con frecuencia, se emprendan acciones de desarrollo tecnológico que, al no tener en cuenta los factores sociales, generan efectos no deseados o incluso perjudiciales para el desarrollo y la modernización comunitarias, como por ejemplo: aumento de las diferencias sociales, deficiencias en el mantenimiento, falta de eficiencia en los sistemas técnicos, empobrecimiento del campesino, etc.

2.2 El desarrollo en el mundo rural

Aún cuando las diferencias entre las comunidades rurales aisladas del llamado primer mundo y el ruralismo de los países de frágil desarrollo económico sean muy marcadas, presentan una serie de características comunes, dignas de mención:

1. Acentuado aislamiento de los circuitos nacionales o internacionales de comercio.

2. Deficiencias en la comunicación con el exterior (carreteras, televisión, radio, etcétera).
3. Poblaciones de pequeño o mediano tamaño, con importantes carencias en el equipamiento colectivo y familiar.
4. Organización social alrededor de la familia extensa o en grupos étnicos. División social basada en categorías sexuales y/o edad.
5. Existencia de lugares tradicionales y comunitarios de relación al aire libre (lavaderos, plazas, etcétera).
6. Gran importancia de las relaciones directas entre personas, con hegemonía de la palabra sobre la escritura.
7. Actividad económica dominante ligada al sector primario (agricultura, pesca, etcétera), con complejas estrategias de supervivencia: autosuficiencia, pequeña comercialización, emigración, etc.
8. Cierta igualdad económica-social (rentas económicas parecidas, poca especialización profesional, etcétera).

Pese a los rasgos comunes mencionados, este tipo de sociedades rurales presenta elementos socio-culturales propios muy diferenciados, que se manifiestan en los grupos étnicos, las creencias e incluso en alguna de las características que se han mencionado como comunes. Así por ejemplo, en las comunidades rurales del mundo desarrollado las relaciones sociales interpersonales (directas) van disminuyendo, y las conexiones con el mundo exterior son cada día mejores. Por el contrario, en el África rural, la historia sigue transmitiéndose de forma oral, aspecto de gran relevancia para la comunidad, siendo muy limitadas sus relaciones comerciales.

En todo proceso de introducción de nuevas tecnologías, existen una serie de fases que constituyen la estrategia de desarrollo. El punto de partida debe constituirlo un acercamiento a la comunidad, a sus grupos y estructuras sociales, para adaptar el programa en cuestión a las necesidades y demandas de la población. Para ello, será determinante considerar aspectos tales como el

tamaño de la población y la organización social, familiar, espacial, productiva, etcétera. Se trata, en definitiva de que el proyecto de desarrollo, respetando siempre la organización de la comunidad, responda lo más fielmente posible a sus necesidades sin crear falsas expectativas. El hecho de que la propia comunidad se identifique con él y lo adopte como "suyo", facilitará la buena marcha del proyecto en sus siguientes fases.

2.3 La electricidad en el medio rural

Las necesidades de las zonas rurales pobres, en lo que a abastecimiento de electricidad se refiere, se extienden en mayor o menor medida a los sectores doméstico, productivo y de servicios comunitarios. A la hora de cuantificar tales necesidades en cada uno de los sectores, aparecerán grandes diferencias en las distintas regiones geográficas, en función de los rasgos climatológicos y culturales.

2.3.1 Alternativas

Superada la fase de identificación y cuantificación de necesidades eléctricas, deberá escogerse el modo (tecnología) de satisfacerlas, que resulte más adecuado a las características propias de la comunidad y a los recursos disponibles.

Se describen a continuación las alternativas que se ofrecen a las comunidades rurales aisladas (esto es, alejadas de la red eléctrica) para la generación de electricidad.

2.3.1.1 Grupos Electrógenos (Diesel)

Son motores de combustión alimentados por derivados del petróleo (gasóleo, gasolina, queroseno). Al ser su tecnología (la del automóvil) muy difundida, son

de bajo coste y se utilizan con relativa frecuencia, importándose. Presentan ciertas inconvenientes:

- Problemas de suministro de combustible: genera una dependencia del exterior a lo largo de todo el tiempo de vida de los equipos.
- Exigencias de mantenimiento constante.
- Contaminación acústica y medio ambiental.



Figura 10: Grupo Electrónico (conocido como *Planta de Emergencia* en el medio de El Salvador).

Se han desarrollado grupos electrógenos que emplean biogás (sistemas de encendido por chispa) o, de forma mixta, biogás y gasóleo. Sin embargo, ambos presentan el inconveniente de necesitar cierta presión en el biogás, lo cual requiere una tecnología adicional no siempre disponible.

2.3.1.2 Centrales hidráulicas en pequeña escala

Las instalaciones hidroeléctricas en pequeña escala tienen un gran potencial para promover el desarrollo económico y la autosuficiencia de las zonas montañosas, sin trastornar las culturas locales ni el medio ambiente. A partir de técnicas relativamente simples, la hidroelectricidad en pequeña escala extrae

energía de los arroyos y riachuelos y la convierte en electricidad para el consumo doméstico, para riego y para la pequeña industria. La capacidad varía desde unos cuantos kilovatios hasta decenas de kilovatios.

La hidroelectricidad en pequeña escala tiene particular eficacia a la hora de satisfacer las necesidades de electricidad de las comunidades aisladas y dispersas de las tierras altas. Por ejemplo, en Salleri, remota aldea montañesa de Nepal, un pequeño sistema de energía hídrica ha fortalecido a la comunidad al fomentar prósperas pequeñas empresas que han contenido la emigración en busca de empleo en los centros urbanos. Con más apoyo internacional para promover la hidroelectricidad en pequeña escala, y ayuda económica para iniciar la actividad e impartir capacitación, se aceleraría la utilización de esta prometedora tecnología.

Éstas aprovechan la existencia de un salto en un curso de agua, transformando la energía potencial de la masa de agua en el punto más elevado en energía eléctrica disponible en el punto más bajo, lugar donde se emplaza la central. La potencia instalada es inferior a 300 kW. Es una fuente de energía que aprovecha un recurso natural, y que se puede controlar y regular fácilmente.

Pueden citarse los siguientes inconvenientes:

- Necesidad de un curso de agua con un caudal y desnivel adecuados, situados en una zona con buen acceso tanto durante el período de construcción, como durante el de operación de la central.
- Necesidad de cercanía a los centros de consumo, para minimizar las pérdidas de energía en el transporte y el coste global de la instalación.
- Necesidades de mantenimiento frecuente de los equipos, generalmente de grandes dimensiones.

- Posibles impactos sobre el medio (pérdida de suelo, cobertura vegetal, etc., por inundación de terrenos; alteraciones en el caudal y la calidad de las aguas de ríos y arroyos), lo cual conlleva la necesidad de una vigilancia constante.

2.3.1.3 Sistemas Eólicos

Su principal componente es el aerogenerador (vulgarmente "molino"). Transforman la energía disponible en el viento en energía eléctrica. Se trata de sistemas que aprovechan recursos energéticos locales (viento), cuyo tamaño está estrechamente relacionado con las necesidades de consumo. Destaca su carácter limpio e inagotable, y el ser una tecnología fácil de asimilar, al tratarse de generadores eléctricos, que están ya muy difundidos. No obstante, presentan algunas dificultades:

- Necesidad de una velocidad de viento dentro de unos márgenes de utilización. Aunque ya existen aerogeneradores de pequeña potencia que funcionan con bajas velocidades.
- Mantenimiento frecuente debido a las partes móviles. Posibles problemas debidos a la existencia de arena suspendida en el aire.

2.3.1.4 Sistemas Fotovoltaicos

Transforman la energía luminosa del sol en energía eléctrica. Al igual que en el caso de los aerogeneradores, son sistemas que aprovechan recursos energéticos locales (sol) y tienen un mantenimiento sencillo. Destacan por ser sistemas no contaminantes y modulares; esto último permite adecuar su tamaño a los requerimientos presentes y futuros de consumo. Por lo general, es una fuente energética mucho más constante y homogénea que la eólica. Como inconvenientes principales deben mencionarse el alto coste inicial, asociado

sobre todo al coste de fabricación de módulos fotovoltaicos; y el tratarse de una tecnología relativamente nueva, con todos los problemas que ello acarrea.

Es importante señalar que las alternativas comentadas no son ni mucho menos excluyentes; siendo así, no resulta infrecuente encontrar soluciones mixtas, como es el caso que se trata en este proyecto (el sistema mixto solar fotovoltaico-eólico).

2.4 Aplicaciones del Sistema Mixto en el medio rural

No es posible clasificar las aplicaciones del sistema mixto solar fotovoltaico – eólico según un esquema cerrado, sino que es preciso tener en cuenta diferentes enfoques o puntos de vista en la enumeración.

2.4.1 Enfoque Físico-Tecnológico

Tiene por objetivo el uso racional de la energía, por lo tanto predominarán las aplicaciones en las cuales la relación entre consumo y utilidad sea más ventajosa. Se distinguirán tres tipos de aplicaciones, según, sea el consumo:

- Consumo bajo: iluminación (privada, pública).
- Consumo medio: motores de poca potencia (bombeo, molinos, pequeños electrodomésticos, lavadora, televisión, etcétera).
- Consumo alto (aconsejado sólo si el beneficio social es elevado): ciclos de frío y calor (dispensario medico, potabilizadora, etcétera).

2.4.2 Enfoque atendiendo al Camino de Búsqueda

Es decir, según el criterio que se sigue para elegir una determinada aplicación. Este puede ser:

- Atendiendo a necesidades evidentes (conocidas de antemano por el técnico, o demandadas por la comunidad en primer lugar): iluminación (privada, pública), sanidad (equipo del dispensario), servicios públicos (escuela, etcétera).
- Atendiendo a necesidades ocultas (descubiertas tras un estudio socio-antropológico de la comunidad): lavado colectivo, máquinas de costura, equipos para animación cultural, riego agrícola, etcétera.
- Atendiendo a necesidades mixtas (evidentes, pero que pueden pasar fácilmente inadvertidas): molturación de grano (que puede ser sólo evidente cuando se cuenta con el colectivo femenino, pues es el que suele realizar esta tarea).

2.4.3 Enfoque atendiendo al Ámbito de Incidencia

Es decir, a qué grupos sociales va dirigida la aplicación. Para ello se distingue entre:

- Ámbito familiar (prioritario en las sociedades rurales de países más avanzados): iluminación privada, equipamiento doméstico, bombas de agua.
- Ámbito colectivo (predomina en las sociedades rurales de países menos desarrollados, con un marcado sentimiento de colectividad): bombeo de

agua, molturación de grano, centros comunitarios, servicios públicos (religiosos, administrativos, etcétera), iluminación pública.

- **Ámbito de grupo** (hace referencia a géneros, asociaciones, etcétera): molturación de grano, centros de asociaciones sociales, bombeo en campos de mujeres y jóvenes sobre todo, asociaciones ganaderas y otras.

Enfoque	Dimensión	Clasificación	Ejemplos
Físico-Técnico	<i>Consumo</i>	Bajo Medio Alto	Iluminación Pequeños motores Ciclos de frío y calor
Camino de Búsqueda	<i>Manifestación de las necesidades</i>	Evidentes Ocultas Mixtas	Sanidad Animación cultural Molturación de grano
Ámbito de Incidencia	<i>Unidad social</i>	Familiar Colectivo De grupo	Iluminación doméstica Servicios públicos Molturación de grano
Carácter de Utilidad	<i>Utilidad</i>	Subsistencia Producción Ocio	Sanidad Molturación de grano Equipo de música

Tabla 6: Esquema de los distintos enfoques para abordar y clasificar las aplicaciones de un sistema aislado.

2.4.4 Enfoque atendiendo al Carácter de Utilidad

Esto es, qué facetas sociales resultan afectadas: se intentará favorecer a la comunidad en su conjunto, y no a unos sobre otros. Se distinguen tres tipos de repercusiones:

- Sobre la subsistencia (mejoras fundamentalmente en la vida cotidiana, a veces también en la economía): equipamiento de centros públicos y/o colectivos (dispensario, mezquita, iglesia, etcétera), molturación de grano.

- Sobre la producción (mejoras fundamentalmente en la economía, a veces también en la subsistencia): bombeo de agua, riego, máquinas de coser, etcétera.
- Sobre el ocio (inciden fundamentalmente en el entretenimiento comunitario, a veces también en la economía): equipamiento de centros sociales, música y animación comunitaria.

2.5 Efectos del Sistema Mixto en las Comunidades Rurales

La introducción de un sistema aislado de energía en una comunidad, trae consigo una serie de cambios que van más allá de la mera solución técnica a un problema de carencia de electricidad. Son cambios sociales y culturales que debemos perseguir en la medida en que inciden en el desarrollo social de la comunidad. Normalmente, éstos no son espontáneos, sino que se han de prever y potenciar en el contexto del proyecto. Algunos efectos destacables son:

- Al posibilitar mejoras en la existencia colectiva y la comunicación (la luz, frente a la oscuridad), potencia distintos ritmos de la vida cotidiana, rompe con el propio sentido de marginación de la población.
- El acceso a los medios de comunicación (radio, televisión, teléfono) reduce las deficiencias de comunicación con el exterior (aislamiento). Desde cierto punto de vista, el acceso a algunos medios de comunicación (televisión, en concreto), se puede ver más como un mal para la población que como una ventaja, en el sentido de la mala influencia que este medio puede ejercer (colonización cultural, etcétera). A este respecto, pensamos que tenemos que atender las necesidades que los beneficiarios sienten como suyas: ni forzar la televisión si ellos no la quieren, ni negársela si la requieren. Pretendemos mejorar sus condiciones de vida, no imponer nuestros patrones de lo que son sus necesidades básicas.

- La descentralización puede cambiar el esquema tradicional de distribución de energía, donde todo parte de un sistema centralizado en el cual el acceso a la energía viene condicionado por la importancia económica y demográfica del grupo. Se puede modificar, pues, la distribución jerárquica por una distribución horizontal.
- En ocasiones, ayuda a mejorar la situación de los grupos sociales más marginados (por lo general, las mujeres y los niños), resultando en una vida menos dura y en una mejor posición dentro de la comunidad. Esto es obviamente una cuestión delicada que se debe contemplar desde el principio, identificando también los factores externos al proyecto que inciden en esta situación, y tomando medidas que contribuyan a este cambio.
- Por último, destacamos el efecto quizá más importante que se pretende con la introducción de un Sistema Mixto en la comunidad. Cuando ésta logra mantener satisfactoriamente una instalación mixta (esto es, a lo largo de las etapas de puesta en marcha funcionamiento y mantenimiento), es precisamente la auto-gestión el principal cambio que experimenta la comunidad con respecto de la situación energética anterior. De esta forma el sistema mixto puede contribuir a que la comunidad sea artífice de su propio desarrollo, posibilitando cierto grado de organización local y eliminando parte de la dependencia del exterior.

2.6 Estudio de la Comunidad

El punto de partida debe constituirlo un acercamiento a la comunidad, a sus grupos y estructuras sociales, para adaptar el programa en cuestión a las necesidades y demandas de la población. Algunos aspectos que se han de tener en cuenta, directamente relacionados con la comunidad, son:

- Tamaño de la población
- Análisis de la vida material, y distribución de la propiedad
- Organización social de la comunidad
- Organizaciones familiar, espacial y productiva

Se trata, en definitiva de que el proyecto de desarrollo, respetando siempre la organización de la comunidad, que responda lo más fielmente posible a sus necesidades sin crear falsas expectativas. Se lleva a cabo siempre en estrecha relación con la comunidad. El hecho de que la propia comunidad se identifique con él y lo adopte como "suyo".

Con el fin de obtener todos los datos necesarios y hacer un buen estudio de la comunidad, en el que se distingan con claridad las necesidades de la comunidad, es imprescindible un acercamiento desde la perspectiva social.

2.6.1 Estudio y Relación con la Comunidad

Antes de realizar un determinado programa han de tenerse en cuenta varios factores que garanticen un alto grado de buen funcionamiento y aceptación.

2.6.1.1 Condicionantes previos al propio programa

Todo proyecto tiene un alcance limitado, por un lado porque existe una limitación

económica (presupuesto) y por otro que existe una limitación temporal (plazo de tiempo).

Aunque parece posible pensar que con estas limitaciones se puede realizar un proyecto tanto en una comunidad de pequeño como en una parte de una comunidad de gran tamaño, esto no es así en la práctica. Se debe intentar que el proyecto vaya dirigido a la totalidad de la comunidad, porque de lo contrario, a la larga sería mal aceptado. Por lo tanto existe un umbral máximo de población que debe tenerse en cuenta a la hora de elegir la comunidad.

2.6.1.2 Viabilidad Técnica

Lógicamente las condiciones de la zona repercuten en la viabilidad técnica de una instalación. Deben de tenerse factores, tales como alejamiento de la red, accesibilidad, etc.

Con el fin de no olvidar ningún factor determinante como los aspectos físicos (geográficos y climatológicos), así como los sociales, es aconsejable consultar la Tabla 6, en la que se presenta un listado exhaustivo de las variables que influyen en el estudio y elección de la comunidad.

2.6.1.3 Valoración de las Variables Sociales

Es una parte muy importante aunque frecuentemente subestimada en la elección de la comunidad receptora. En la Tabla 7 se muestran las variables que influyen en toda la duración del proyecto, sobre todo en la fase de (elección de la comunidad) y en la siguiente (diseño de la instalación). Las variables más destacadas en la fase de elección son:

- Vida Material y distribución de la propiedad
- La organización social

Aspectos físicos y geográficos	Orientación Horas de Sol Velocidad del viento Red eléctrica Centro de mantenimiento Accesibilidad Profundidad de los pozos (extracción de agua) Topografía
Clima	Radiación Microclima Temperatura ambiente
Demografía	Población Tamaño Composición Dinámica
Vida material	Producción Agrícola Ganadera Pesca Mixta Alimentación Productos básicos Otros Salud e higiene
Organización social	Estructura del poder Local Estatal Otras Grupos étnicos Organización doméstica Religiones Asociaciones comunitarias
Organización doméstica	Tipo Nuclear / Extensiva Monógama / Polígama Autoridad Familiar Clánica Tribal
Organización del trabajo	Trabajos destinados a los círculos comerciales Femeninos Masculinos Niños de forma auxiliar Trabajos para el autoconsumo Femeninos Niños de forma auxiliar
Organización espacial	Situación espacial de las casas Hábitat disperso Hábitat concentrado Utilización de los espacios Para vivir De producción e intercambio De reunión Para tareas colectivas e individuales
Colaboradores locales	Motivaciones Honradez Estabilidad Infraestructura

Tabla 7: Variables técnico – sociales consideradas para el estudio y selección de una comunidad.

3 Revisión Tecnológica de Instalaciones Mixtas Solares – Eólicas

Las instalaciones mixtas son sin duda la mejor solución en instalaciones aisladas. El viento y el sol se complementan de manera excelente. En muchas ocasiones, cuando el sol deja de brillar, la energía eólica presenta una alternativa energética muy buena. Si analizamos un sistema fotovoltaico, que su generación es netamente diurna, indudablemente mejoraríamos su eficiencia al trabajar en conjunto con un sistema eólico que puede generar las 24 horas del día, siempre y cuando las condiciones de viento sean favorables.

Al diversificar la generación de energía en un sistema aislado no solo se mejora su rendimiento energético, sino que también se prolonga la vida de algunos elementos tales como las baterías, ya que la profundidad de descarga se vería disminuida.

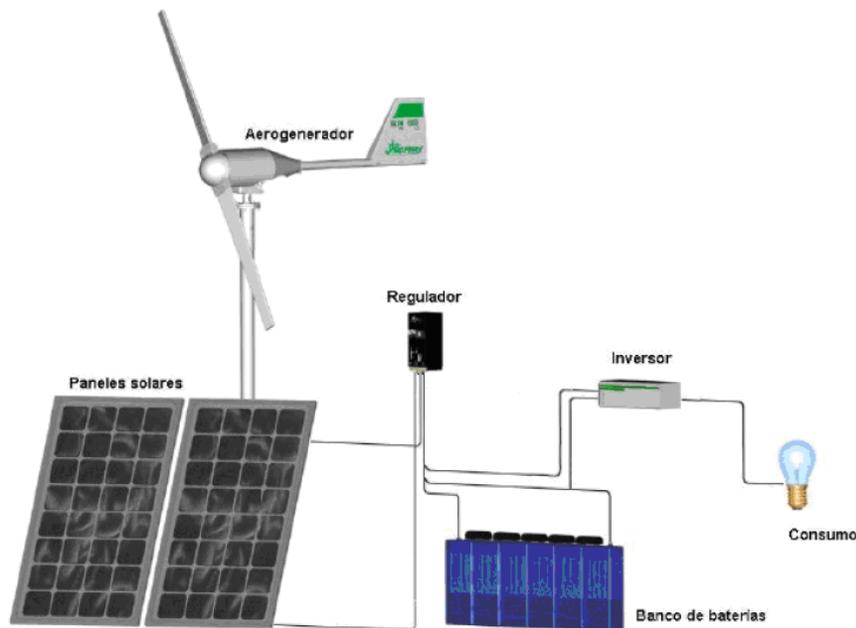


Figura 11: Esquema de los componentes de una instalación mixta.

Para instalar un sistema que involucra dos tecnologías relativamente nuevas, se hace necesario conocer acerca del funcionamiento y conceptos bajo los cuales trabajan cada uno de los componentes que conforman el sistema solar-eólico.

3.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

1. La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

2. La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.
3. Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía

eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, América Central es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

3.1.1 El Sol. Características de la Fuente

La radiación solar tiene su origen en el Sol, una de las más de 135.000 millones de estrellas de la Vía Láctea. El Sol es un inmenso reactor de fusión termonuclear que quema cada segundo 600.000.000 toneladas de hidrógeno a 20 millones de grados Kelvin. La superficie del sol se encuentra a una temperatura media de 5500°C, y debido a complejas reacciones que producen una pérdida de masa, ésta se convierte en energía. Dicha energía, liberada del Sol, se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

Cualquier persona que quiera aprovechar esta energía debe ser capaz de responder a la pregunta de qué cantidad de energía llega al lugar donde prevé realizar la captación, cada hora, cada mes, cada año. Una vez conocidos estos datos podrá utilizar la energía de sol para producir calor, o bien, para la

obtención directa de electricidad a partir de la luz, que se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico.

Si examinamos el espectro de la radiación solar, observamos que la mayor parte de la energía emitida por el Sol se encuentra en la parte visible de dicho espectro y ésta representa el 47% del total.

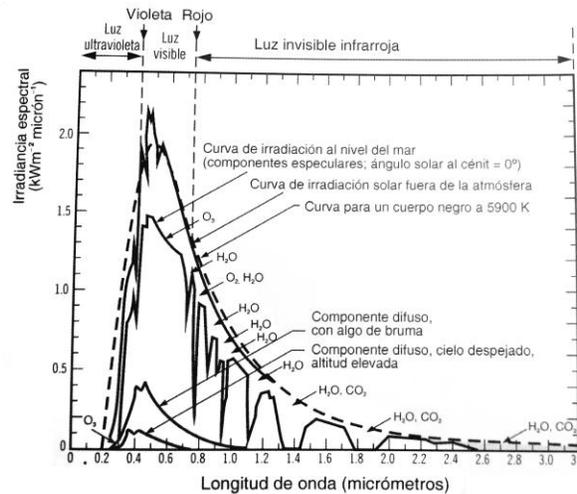


Figura 12: Espectro de radiación solar estándar a la distancia media entre el Sol y la Tierra.
Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas. E. Alcor.

Es cierto que las radiaciones ultravioletas son muy energéticas, pero también es cierto que son poco abundantes, ya que tan sólo el 7% del total pertenece a dicho tipo de radiación. Al contrario ocurre con las radiaciones infrarrojas, que son muy abundantes (46% del total) pero mucho menos energéticas que las anteriores. Por esta razón, se dice comúnmente que podemos convertir la “luz” en electricidad mediante las “células solares”.

Un dato muy importante, es la cantidad de radiación solar recibida fuera de la atmósfera terrestre (medida sobre una superficie perpendicular a la dirección de su propagación), y se le denomina Constante Solar:

$$\text{Constante Solar} = 1353 \text{ W / m}^2$$

Este valor difiere sensiblemente del que recibimos en la superficie terrestre, disminuyendo debido a factores tales como: los gases atmosféricos, vapor de agua y el polvo. La combinación de estos elementos hace que sobre la superficie terrestre y al nivel del mar sólo se reciban unos 1000 W / m^2 , valor que incluso sólo se alcanza en días despejados, cuando el aire es muy transparente.

3.1.2 Fundamento de las Celdas Solares Fotovoltaicas

Una celda solar es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión. El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, los cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas.

Al incidir los rayos del sol en un semiconductor, algunos de los electrones de la banda de valencia absorben energía de los fotones y pasan a la banda de conducción donde pueden ser llevados fácilmente a un circuito externo generando por tanto una corriente electrónica. Al dejar su lugar los electrones, provocan en el material "huecos", considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se "mueven" como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua. Para que los electrones y huecos generados por la luz solar no se recombinen dentro del semiconductor se debe contar con un campo eléctrico interno, en cuyo sentido se moverán los electrones. Este campo eléctrico es producido en general por una juntura similar a la del diodo semiconductor.

3.1.2.1 Estructura de una célula solar

Tal como se menciona en el apartado anterior, el elemento más importante en la estructura de una celda es el semiconductor por lo que se analizará en forma

más detallada a continuación. La estructura física, o arreglo atómico, de los semiconductores se puede dividir en tres grupos: Cristal simple, policristalino y amorfo.

La estructura de cristal simple se caracteriza por un ordenamiento periódico de átomos obteniendo una forma geométrica tridimensional de un paralelepípedo. Tal es el caso del Silicio el cual comparte cada uno de sus cuatro electrones de valencia en una unión covalente con cada átomo vecino de silicio, el sólido por lo tanto, consiste en una unidad básica de 5 átomos de silicio, el átomo original más los cuatro átomos con los que comparte sus electrones de valencia, así como lo muestra la Figura 13.

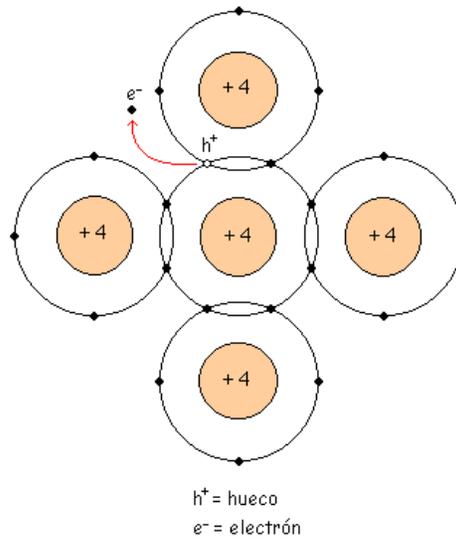


Figura 13: Estructura de un átomo de Silicio.

Un material policristalino está compuesto de varias subsecciones cada una de ellas con forma cristalina, estas subsecciones tienen una orientación independiente y regularmente, en sus interfaces se producen discontinuidades. Un material amorfo no tiene una regularidad en su arreglo atómico, hoy en día 25% a un 30% de las celdas solares son fabricadas con materiales policristalinos, son menos costosas de construir, por unidad de área, que las celdas solares de cristal simple; sin embargo tienen una menor eficiencia y a

menudo una mayor sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales, por lo que en general son utilizados con concentradores ópticos de luz solar.

3.1.3 Parámetros de una célula solar

La curva de corriente - tensión (I-V) que define el comportamiento de una célula fotovoltaica está representada en la Figura 14:

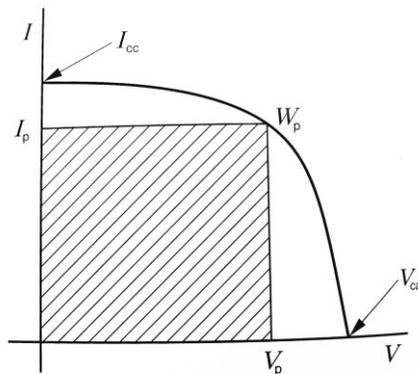


Figura 14: Curva Corriente – Tensión de una célula fotovoltaica.

En esta figura se pueden ver los parámetros típicos que definen una célula:

Corriente de cortocircuito, I_{cc}

Es aquella que se produce a tensión cero, pudiendo ser medida directamente con un amperímetro conectado a la salida de la célula solar. Su valor varía en función de la superficie y de la radiación luminosa a la que la célula es expuesta.

Tensión de circuito abierto, V_{ca}

Es la tensión que podemos medir al no existir una carga conectada y representa la tensión máxima que puede dar una célula. Su medida se realiza simplemente conectando un voltímetro entre bornas, y su valor oscila, según el tipo de construcción interior de la célula, alrededor de los 0.5 V.

Potencia pico, W_p

Es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula, y queda determinada por el punto de la curva I-V donde el producto de la corriente producida y la tensión es máximo. Todos los restantes puntos de la curva generan valores inferiores de dicho producto.

Factor de forma, FF

Se define mediante la expresión:

$$FF = \frac{I_p V_p}{I_{cc} V_{va}}$$

Evidentemente, el FF siempre será un valor más pequeño que la unidad, y la célula solar será tanto mejor cuanto más se aproxime el valor del factor de forma a dicha cifra. Normalmente, en las células comerciales el FF está comprendido entre 0.7 y 0.8, teniendo las de silicio monocristalino, por regla general, mejor valor que las fabricadas con silicio policristalino. El factor de forma resulta ser un parámetro de gran utilidad práctica, ya que al ser comparado con el de otro tipo de célula nos da una idea de la calidad relativa de una célula con respecto a otra.

Eficiencia de conversión o rendimiento

Por último, otro parámetro que define la calidad de una célula fotovoltaica es el rendimiento o eficiencia de conversión (η), representado por la siguiente relación:

$$\eta = \frac{W_p}{W_r}$$

Donde, W_p (potencia pico) es igual al producto de la corriente pico (I_p) por la tensión pico (V_p), representada en la Figura 13 por el rectángulo rayado, y W_r es la potencia de radiación incidente sobre la superficie de la célula solar.

3.1.4 Rendimiento de las Células Fotovoltaicas

El rendimiento se define como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica y la potencia luminosa que incide sobre su superficie.

El rendimiento obtenido en laboratorio sobre células de silicio monocristalino es del 22% - 24%, pero una vez que se pasa a su fabricación masiva éste baja a un valor aproximado del 15%, lo que quiere decir que de cada 100 W que recibimos del Sol, tan sólo 15 se aprovechan para nuestro uso. El hecho de este rendimiento tan bajo se debe fundamentalmente a los siguientes factores:

- Energía de los fotones incidentes
- Pérdidas por recombinación
- Pérdidas por reflexión
- Pérdidas por los contactos eléctricos
- Pérdidas por resistencia serie

3.1.5 El Sistema Fotovoltaico

El Sistema Fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.

- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

Los componentes fotovoltaicos encargados de realizar éstas funciones son:

- El módulo o panel fotovoltaico
- La batería o acumulador
- El regulador de carga
- El inversor
- Las cargas de aplicación (el consumo)

En instalaciones fotovoltaicas pequeñas es frecuente, además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles para la protección del sistema. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada.

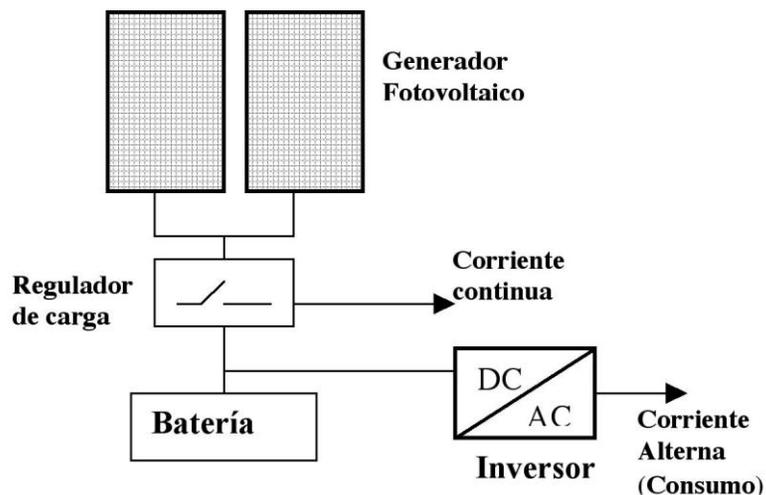


Figura 15: Componentes de un sistema solar fotovoltaico.

3.1.6 El Módulo Fotovoltaico

Lógicamente, las células se agrupan en lo que se denomina módulo o panel fotovoltaico, que no es otra cosa que un conjunto de células conectadas convenientemente, de tal forma que reúnan unas condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles (tanto en tensión como en potencia) con las necesidades y equipos estándares existentes en el mercado.

Normalmente, se habla de paneles de 6 V, 12 V y 24 V, oscilando las potencias producidas entre los 2.5 W y los 180 W.

Las células que integran un panel fotovoltaico deben estar comprendidas en un rango muy estrecho en cuanto a sus parámetros eléctricos, para evitar las descompensaciones que se producirían en el interior del módulo si unas generaran más corriente que las vecinas. Precisamente por este motivo son de suma importancia las pruebas finales de las células, dentro de su proceso de fabricación.

En la siguiente figura se muestra un esquema del proceso de fabricación de un módulo solar:

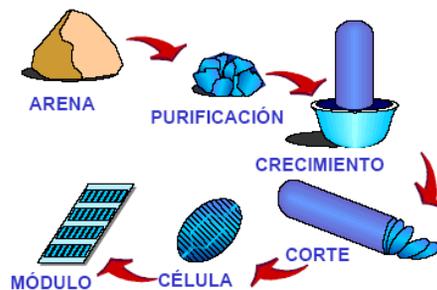


Figura 16: Esquema del proceso de fabricación de un módulo solar.

Los módulos fotovoltaicos tienen estructuras y formas muy variadas, según los diferentes fabricantes. Podríamos hacer una división general diciendo que un módulo puede estar formado por:

- Cubierta exterior
- Capa encapsulante anterior
- Células fotovoltaicas
- Capa encapsulante posterior
- Protección posterior
- Marco soporte
- Contactos eléctricos de salida



Figura 17: Célula Fotovoltaica. Fuente: Cursolar.

En la siguiente figura se presenta un esquema del acoplamiento de los diferentes componentes de un panel fotovoltaico:

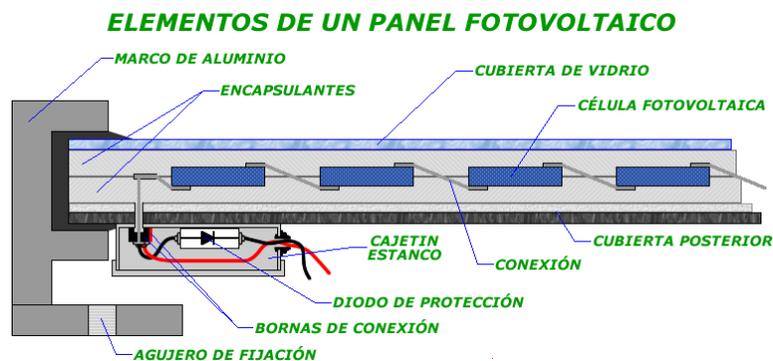


Figura 18: Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: Cursolar.

Luego, se presentan las características generales de un panel solar fotovoltaico:

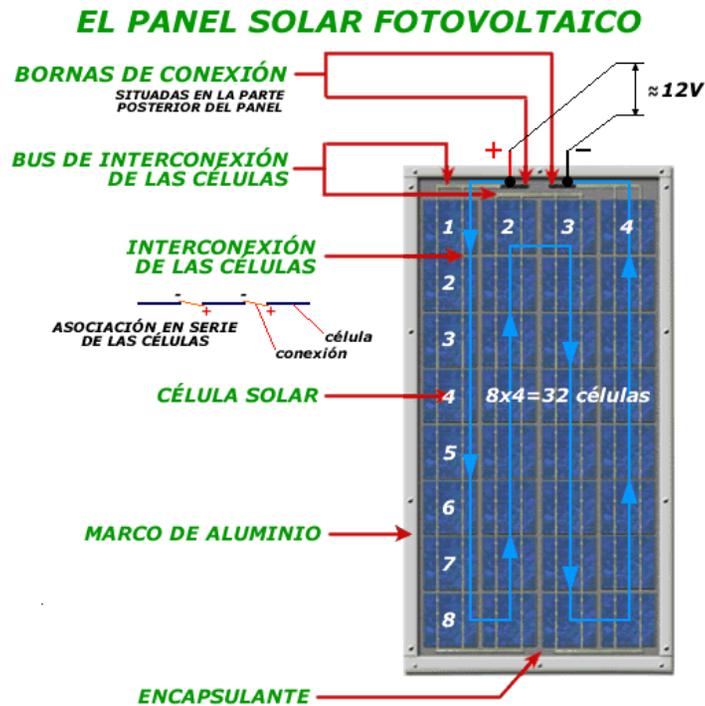


Figura 19: Módulo Fotovoltaico. Fuente: Cursolar.

3.1.7 Vida útil de los módulos fotovoltaicos

Hablar de la vida de un módulo fotovoltaico puede hacerse desde dos puntos de vista, el simulado en pruebas de envejecimiento prematuro y el de la experiencia. Con el primero de estos análisis, y después de pruebas exhaustivas de diversos laboratorios, todos parecen coincidir en la afirmación de que la vida esperada de un módulo fotovoltaico, sin reducción de rendimiento efectivo, se podría situar en los veinte años y que después de éstos perdería progresivamente eficiencia, probablemente a un bajo ritmo. No obstante, el análisis más razonable debería provenir de la experiencia práctica, que indica que módulos con más de veinte años de antigüedad están prácticamente como el día de su instalación, desde el punto de vista eléctrico.

En consecuencia, se puede afirmar que, a la vista de los datos de laboratorio y los contrastados bajo funcionamiento en circunstancias reales, el módulo fotovoltaico tiene una dilatada vida útil, mucho mayor que lo que en la actualidad se pide a prácticamente la totalidad de los aparatos que nos rodean.

3.1.8 Potencia

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m²) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

En el mercado, se pueden encontrar módulos fotovoltaicos de baja potencia, desde 5 Wp; de potencia media, por ejemplo 55 Wp; y de alta potencia, hasta 160 Wp. En aplicaciones de electrificación rural suelen utilizarse paneles fotovoltaicos con capacidades comprendidas entre los 50 y 100 Wp. La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años.

El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las

características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido.

3.1.9 Ubicación de los paneles fotovoltaicos

Otro de las decisiones importantes a la hora de instalar un sistema fotovoltaico es la ubicación, que a la vez asegure una orientación adecuada y con un ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación.

La orientación ha de ser siempre al sur (si nos encontramos en el hemisferio norte), pues es la única posición donde aprovechamos, de una forma total, la radiación emitida por el Sol a lo largo de todo el día. Tan sólo en circunstancias muy especiales se podrá variar ligeramente la orientación hacia el poniente o el levante, como puede ser en el caso de existir un obstáculo natural (montaña, etc.) que durante un cierto período impida aprovechar la radiación directa del Sol. Entonces puede ser interesante orientar el panel solar unos grados hacia la derecha, si la sombra se produce a primeras horas de la mañana, para aprovechar al máximo el sol a su puesta, o bien, por el contrario, orientar el conjunto fotovoltaico hacia la izquierda si el obstáculo se encuentra al atardecer.

Existen cuatro formas típicas de colocar un grupo de módulos fotovoltaicos, para su correcta ubicación:

En el Suelo: Forma clásica de instalar los grandes conjunto de módulos fotovoltaicos.

En un Poste: Usado principalmente en instalaciones donde ya se disponga de un mástil.

En la Pared: Utilizada a menudo en instalaciones domésticas, acoplando la estructura a una de las paredes del recinto.

En el Tejado: El método más usado, ya que normalmente siempre se podrá disponer del lugar adecuado para garantizar la perfecta orientación, además de suficiente espacio.

3.2 Energía Eólica

La energía eólica se origina del movimiento de las masas de aire, es decir, el viento. Corresponde a una fuente de energía renovable que se encuentra disponible con un potencial muy significativo a nivel mundial. Al igual que la mayoría de las fuentes de energía renovables, proviene del sol, ya que son las diferencias de temperatura entre las distintas zonas geográficas de la tierra las que producen la circulación de aire.

El equipo encargado de transformar la energía cinética del flujo del viento en energía eléctrica se le llama *aerogenerador*. El esquema de funcionamiento de un aerogenerador de gran potencia, se ilustra en la Figura 20, donde se observa que el viento pasa sobre las aspas ejerciendo una fuerza sobre ellas. Esto produce un movimiento de rotación, el cual, en algunos tipos de generadores es amplificado mediante una caja de cambios o caja multiplicadora que aumenta la velocidad de rotación del rotor hacia la velocidad de rotación del generador. El generador convierte la energía cinética en energía eléctrica. La energía producida pasa a través de un transformador, que eleva la tensión desde nivel de generación (entre 400 a 690V) a la tensión de la red eléctrica a la que se conecta. La red eléctrica transmite la energía generada a los consumidores.

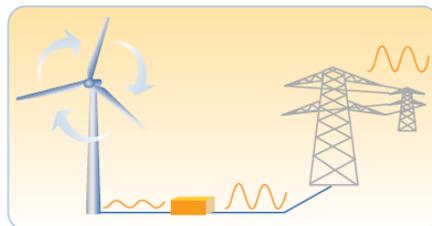


Figura 20: Esquema simplificado del funcionamiento de un aerogenerador conectado a la red.

La energía extraída por un aerogenerador depende de la velocidad de viento en el lugar de emplazamiento, de la densidad del aire (influida por la temperatura y la presión), tamaño del rotor y diseño técnico. La distribución de velocidad del viento en el año es la variable que posee el mayor impacto sobre el rendimiento de un aerogenerador, dado que la energía extraída de una turbina eólica aumenta con el cubo de la velocidad del viento. Asimismo, la altura de las torres también puede afectar considerablemente la potencia extraída, porque la velocidad del viento aumenta en la medida que se incrementa la altura sobre el nivel del suelo.

Los proyectos eólicos se pueden componer de uno o varios aerogeneradores, la suma de las potencias individuales determinará la capacidad de generación del proyecto. Los tamaños de los aerogeneradores individuales varían entre 5 kW y 6 MW de potencia. Mientras los generadores de pequeña potencia son usados hoy en día para aplicaciones en redes eléctricas aisladas.

La evolución de la potencia de los aerogeneradores modernos ha aumentado significativamente en los últimos años, tal como se puede observar en la Figura 21. Los parques eólicos conectados a sistemas eléctricos que hoy existen en su mayoría están compuestos de aerogeneradores individuales de potencias de entre 500/600 kW a 2.5 MW.

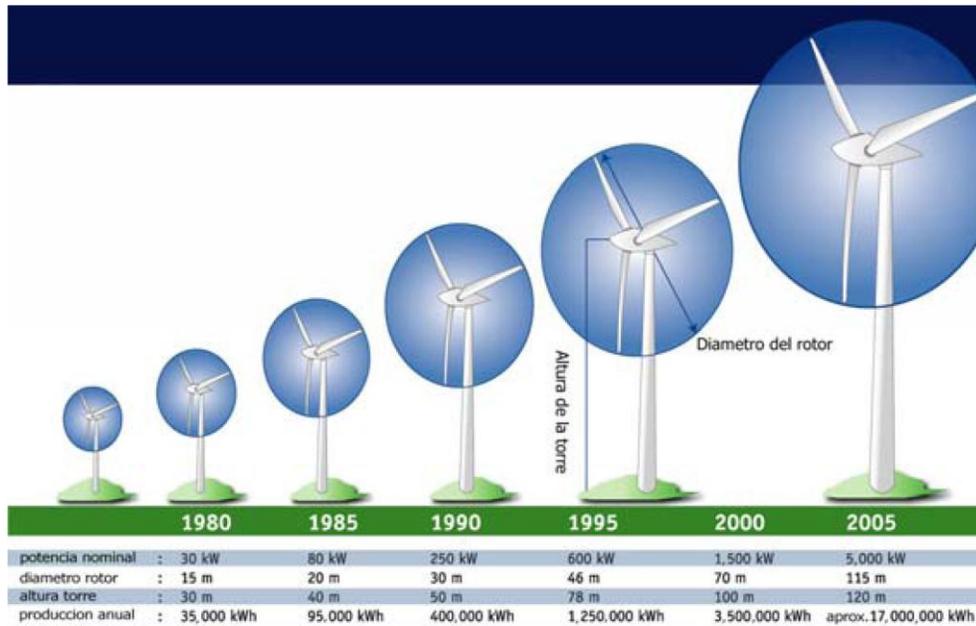


Figura 21: Evolución de los tamaños y potencias de los aerogeneradores.

3.2.1 Instalaciones cada vez más eficientes

En los últimos 30 años han aumentado mucho las dimensiones de las instalaciones. En 1982 las instalaciones de energía eólica más grandes tenían una potencia nominal instalada inferior a 50 kW. Hoy en día, un generador promedio produce una potencia nominal de aproximadamente 2 MW. Entretanto, se han desarrollado generadores de energía eólica con hasta 7.5 MW de potencia nominal y un diámetro de rotor de más de 120 metros. En un futuro se utilizará este tipo de instalaciones sobre todo en los parques eólicos marítimos. Una instalación de estas dimensiones está capacitada para abastecer de corriente eléctrica a un promedio anual de 4.500 hogares.

La energía eólica se vuelve cada vez más rentable gracias a la divisa de la economía en favor de la reducción de costes, el avance tecnológico y la producción en masa. La corriente producida por instalaciones de energía eólica se destina normalmente a alimentar la red pública de corriente eléctrica. Pero los

nuevos conceptos de almacenamiento de energía hacen que también resulten interesantes las soluciones autónomas. Así pues, hay instalaciones piloto que convierten la energía producida en hidrógeno, que es almacenado en depósitos a presión y que puede suministrar corriente y calor al consumidor final mediante una central de cogeneración anexa. Es una solución ideal para abastecer de energías renovables las instalaciones alejadas de la red y que hasta la fecha debían funcionar con generadores diesel y representa por tanto otra forma de realizar una aportación adicional a la protección climática.

Actualmente ha surgido una tendencia hacia unidades más grandes, principalmente por restricciones de disponibilidad de terreno para emplazamientos en los países europeos de mayor aplicación y demanda. En 1995 los equipos eólicos más grandes alcanzaron una potencia nominal de 500-600 kW con diámetros de rotor de 34-44 metros, mientras que en los años 2000-2001 los aerogeneradores llegaron a una potencia de 1.5 MW con diámetros de rotor de 70-72 metros. Actualmente, estos se ven rápidamente reemplazados por aerogeneradores con potencia nominal de más 2 MW y diámetros de rotor de hasta 94 metros.

De las energías renovables no convencionales, la energía eólica es la que ha tenido un mayor progreso tecnológico en los últimos años en los países desarrollados. La potencia total instalada a nivel mundial a fines del 2005 sobrepasaba 55.000 MW, con las mayores instalaciones en Europa (principalmente en Alemania y España) seguidos por Estados Unidos e India.

La generación de energía eléctrica con energía eólica posee una ventaja significativa respecto de las energías convencionales, pues no genera emisiones de contaminantes atmosféricos y es compatible en el uso del territorio junto a otras actividades, tales como la agrícola o la ganadera.

3.2.2 Fundamentos

Es evidente que la cantidad de viento de un lugar determina cuánta energía se puede esperar de una turbina eólica de un determinado tamaño.

3.2.2.1 Potencia del viento

La potencia del viento (P) es una función de la densidad del aire (ρ), del área que intercepta el viento (A) y de la velocidad instantánea del mismo (v). El incremento de cualquiera de estos factores aumenta la potencia disponible en el viento:

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

Si el valor de la densidad del aire al nivel del mar es sustituido en la ecuación, la potencia en Watts será:

$$P = 0.6125 A v^3$$

Donde la velocidad está en metros por segundos y el área en metros cuadrados.

La densidad del aire varía con la temperatura y la elevación. El aire caliente es menos denso que el frío. Cualquier turbina eólica producirá menos en el caluroso verano que en el invierno, con la misma velocidad del viento.

Los cambios en la densidad del aire con relación a las condiciones estándar a nivel del mar pueden cambiar la producción de potencia de un 10% a un 20% y algunas veces, más.

La potencia del viento varía con el cubo de su velocidad. Al duplicarse esta última se incrementará la potencia disponible ocho veces. Inclusive un pequeño

incremento de la velocidad del viento cambiará sustancialmente la potencia de éste. Ésa es la razón de poner énfasis en la importancia de instalar la turbina donde los vientos sean mejores.

3.2.3 Curva característica de un aerogenerador

Para cada tipo de aerogenerador, existe su curva característica que es brindada por su fabricante. En ella se puede observar el desempeño del aerogenerador a distintos regimenes de velocidad y su respectiva producción de potencia, así como otros datos de interés.

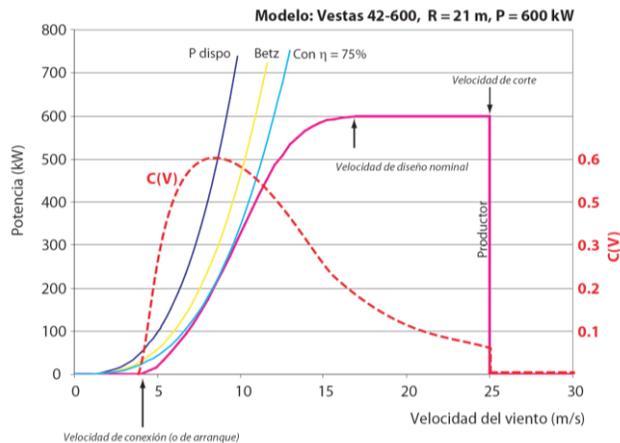


Figura 22: Curva característica de un aerogenerador. Fuente: PRPA.

3.2.4 Componentes de un aerogenerador

3.2.4.1 Aspas

Las aspas deben cumplir una serie de objetivos, los más importantes son: maximizar la energía obtenida mediante un diseño aerodinámico apropiado, resistir cargas extremas y minimizar peso y costo. La siguiente figura muestra la base de un aspa de un aerogenerador con un sistema pitch control, donde se

aprecia el motor eléctrico que gira el aspa en su eje longitudinal por medio de un engranaje.



Figura 23: Motor para girar las aspas (Fuente: BWE).

Por otro lado encontramos el buje que es la pieza que conecta las aspas al eje principal que a su vez está conectado a la caja multiplicadora. Se transmiten a través de él todas las cargas aerodinámicas y el peso de las aspas.

3.2.4.2 Sistemas de generación con y sin caja multiplicadora

La siguiente figura contiene un esquema con los principales componentes del tipo de aerogenerador mayormente comercializado a nivel internacional. Las aspas son el elemento fundamental de un aerogenerador, captan la energía del viento mediante la acción de las fuerzas aerodinámicas y transmiten el giro rotacional hacia un eje que está conectado al generador eléctrico mediante una caja multiplicadora (engranajes) que incrementa el número de giros traspasados desde la baja velocidad del rotor hacia la alta velocidad rotacional de un generador eléctrico convencional.

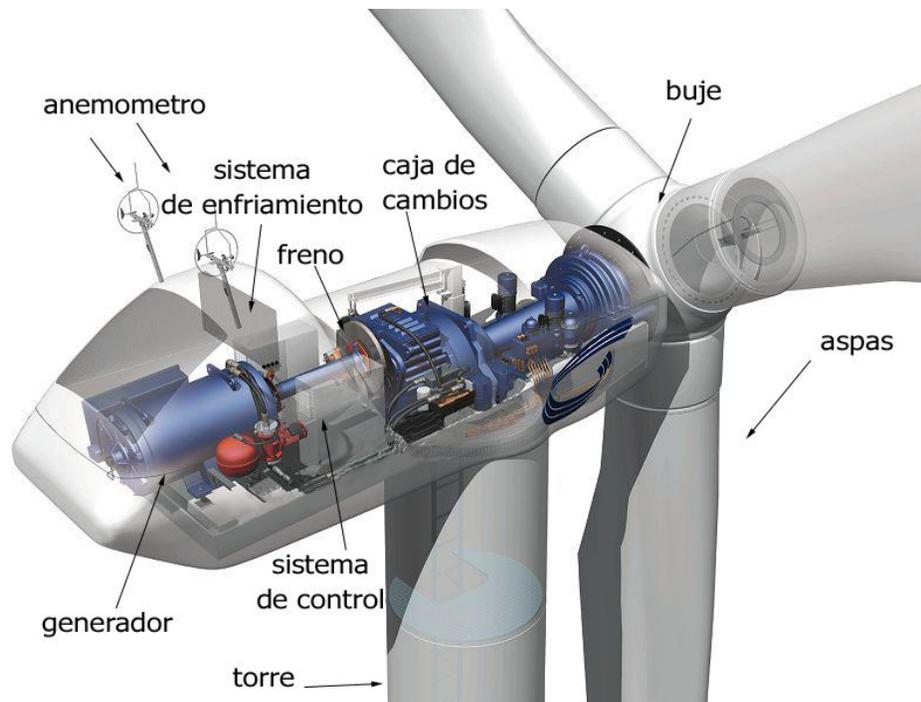


Figura 24: Descripción de componentes principales de un aerogenerador con caja multiplicadora. Fuente: Nordex.

También han sido desarrollados exitosamente aerogeneradores sin caja multiplicadora, que usan un sistema de transmisión directa, empleando generadores multipolo de baja velocidad en combinación con velocidad variable del rotor y pitch control. Ese tipo de aerogeneradores, presentado en la siguiente figura, evita el uso de aceite lubricante para el sistema de engranaje, lo que es una ventaja para la operación y mantenimiento.

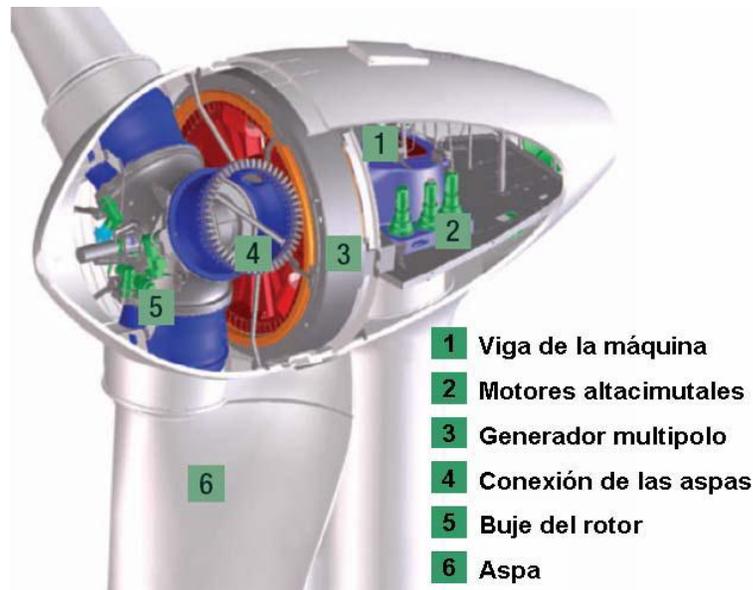


Figura 25: Aerogenerador con generador multipolo y sin caja multiplicadora. Fuente: Enercon.

3.2.4.3 Sistema de control

El sistema de control permite un detallado monitoreo de la partida, operación y parada del aerogenerador y asegura su operación automática y un funcionamiento en condiciones óptimas. Incluyen un mecanismo de orientación, que es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento, así como, un sistema de freno mecánico que permite mantener el aerogenerador completamente detenido para labores de mantención, o bien para evitar un posible embalamiento en caso que la velocidad del viento supere las velocidades de diseño recomendadas para la operación del aerogenerador.

3.2.4.4 Góndola

Con excepción de las aspas, el buje, la torre y los demás componentes de un aerogenerador, son situados sobre la torre en un compartimiento cerrado comúnmente denominado "góndola".

3.2.4.5 Torre

La torre del aerogenerador es la estructura que soporta la góndola y el rotor. Las torres pueden ser de acero, de hormigón o de celosía. La mayoría de los grandes aerogeneradores se entregan con torres tubulares de acero, fabricadas en secciones de 20 - 30 metros con bridas en cada uno de los extremos, y son unidas con pernos.

Las torres de celosía poseen menor costo debido a que utilizan menor cantidad de material en su construcción, sin embargo, por su apariencia, prácticamente han desaparecido en los aerogeneradores modernos. Por otro lado, las torres tubulares tensadas con vientos sólo se utilizan en aerogeneradores pequeños (por ejemplo, cargadores de baterías). La siguiente figura permite comparar algunos tipos de torres de aerogeneradores

3.2.4.6 Cimiento

El cimiento para aerogeneradores del tipo "onshore" (en tierra) es generalmente una estructura de hormigón armado. Sus dimensiones dependen del tamaño del aerogenerador. A modo de referencia las fundaciones de un aerogenerador de 1 500 kW equivalen aproximadamente a 10 m X 10 m X 3 m (300 m³). Hay dos tipos de cimientos, el cuadrado y el circular. El cuadrado tiene la ventaja de una construcción fácil, por su parte el circular ocupa menos material y tiene una distribución de las fuerzas uniforme. En muchos de los casos, la superficie de los cimientos es cubierta con el material del terreno, con la finalidad de integrar de mejor forma el aerogenerador al paisaje.

3.2.5 Aerogeneradores de Pequeña Potencia

Para los casos de pequeña potencia, como el presente proyecto, aparecen los denominados pequeños aerogeneradores (o también micro-aerogeneradores), los cuáles se utilizan para la producción de energía mediante pequeños rotores (rotores con diámetros menores a 4 metros aproximadamente), por ende son de menor costo y su aplicación se hace factible para pequeñas instalaciones aisladas.

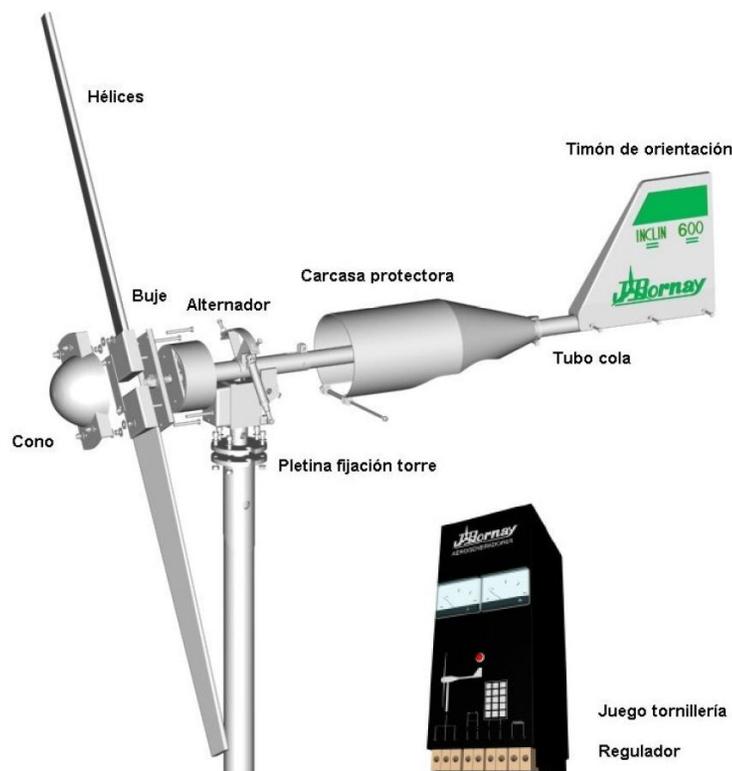


Figura 26: Componentes de un aerogenerador de pequeña potencia. Fuente: Bornay.

La mayoría de modelos de pequeños aerogeneradores, presentan la ventaja de poder girar libremente alrededor de un eje que pasa sobre el mástil, con lo que se pueden aprovechar cualquier circunstancia de dirección del viento.

3.3 Integración del Sistema

Para la integración del sistema se hace necesario, la utilización de otros equipos que en conjunto conforman la instalación mixta. A continuación se realiza la descripción de su funcionamiento.

3.3.1 Almacenamiento de la Energía. Baterías

Para el almacenamiento de la energía, se utilizan los acumuladores o baterías, los cuales son un elemento esencial en las instalaciones destinadas a la electrificación autónoma. Las baterías hacen posible el suministro eléctrico continuo, a pesar que la generación de energía eléctrica sea a intervalos (módulos fotovoltaicos, aerogeneradores, grupos electrógenos, etc.).

En las instalaciones aisladas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías asociadas en serie o paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación (en el caso fotovoltaico), para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde.

ASOCIACIÓN DE LAS BATERIAS

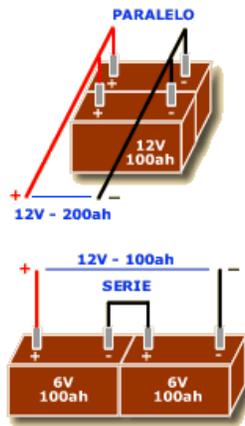


Figura 27: Formas de asociar las baterías. Conexión serie y paralelo.

De cara a su empleo en instalaciones aisladas, es necesario conocer los siguientes conceptos:

Capacidad

Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130Ah es capaz de suministrar 130A en una hora o 13A en diez horas. Para acumuladores fotovoltaicos es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas. También al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, 24V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

Eficiencia de carga

Que es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y a realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa que toda la energía empleada para la carga puede ser remplazada para la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja, es necesario dotarse de un mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.

Autodescarga

Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

Profundidad de descarga

Se denomina profundidad de descarga al valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Como ejemplo, si tenemos una batería de 100Ah y la sometemos a una descarga de 20Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%.

A partir de la profundidad de descarga podemos encontrarnos con descargas superficiales (de menos del 20%) o profundas (hasta 80%). Ambas pueden relacionarse con ciclos diarios y anuales. Es necesario recalcar que cuanto menos profundos sean los ciclos de carga/descarga, mayor será la duración del acumulador. También es importante saber que, para la mayoría de los tipos de baterías, un acumulador que queda totalmente descargado, puede quedar dañado seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.

Todos estos parámetros característicos de los acumuladores pueden variar sensiblemente con las condiciones ambientales.

3.3.1.1 Tipos de Baterías

Se encuentran baterías de distintos tipos, en diferentes fases de desarrollo, algunos de los cuales son:

- Plomo ácido (Pb-ácido)
- Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Zinc (Ni-Zn)
- Zn-Cloro (Zn-Cl₂)

De todos los acumuladores más del 90% del mercado corresponde a las baterías de plomo ácido, que en general, y siempre que pueda realizarse un mantenimiento, son las que mejor se adaptan a los sistemas de generación fotovoltaica. Dentro de las de plomo ácido se encuentran las de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y las de Plomo-Antimonio (Pb-Sb). Las primeras tienen a su favor una menor autodescarga, así como un mantenimiento mas limitado, mientras que las de Pb-Sb de tipo abierto y tubular se deterioran menos con la sucesión de ciclos y presentan mejores propiedades para niveles de baja carga. Este segundo tipo de baterías soporta grandes descargas y siempre tienen, atendiendo a las condiciones de uso, una vida media de diez o quince años.

Por su implantación a nivel comercial tiene también cierta importancia los acumuladores de Níquel-Cadmio, que entre otras ventajas frente a las de plomo ácido presentan la posibilidad de ser empleados sin elemento regulador, la posibilidad de permanecer largo tiempo con bajo estado de carga, la estabilidad en la tensión suministrada y un mantenimiento mucho más espaciado en el tiempo. Sin embargo, su coste se cuadruplica y su baja capacidad a régimen de descarga lenta, desaconseja su uso en gran parte de las aplicaciones fotovoltaicas.

Todas estas baterías pueden presentarse en forma estanca, conocidas como libres de mantenimiento o sin mantenimiento, lo que es beneficioso para algunas aplicaciones. No obstante, presentan una duración muy limitada frente a los acumuladores abiertos, no existen en el mercado acumuladores estancos de alta capacidad y son más caros que los abiertos.

El resto de baterías no presenta en la actualidad características que hagan recomendable su empleo en sistemas de electrificación fotovoltaica.

En relación a las baterías deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Instalar las baterías en lugares ventilados, evitando la presencia de llamas cerca de las mismas.
- Ajustar el nivel del electrolito hasta la altura recomendada por el fabricante, utilizando siempre agua destilada, nunca agua del grifo y teniendo especial precaución para no tocarlo ni derramarlo.
- Una vez conectadas las baterías, las bornas deben cubrirse con vaselina.
- No utilizar las baterías del sistema fotovoltaico para arrancar vehículos.

- No debe utilizarse conjuntamente baterías de distintos tipos cuando no estén preparadas para ello.
- Con el fin de prevenir posibles cortocircuitos debe respetarse la polaridad, las herramientas deben estar adecuadamente protegidas y las baterías o los terminales deben estar cubiertos para prevenir cortocircuitos accidentales por caída de objetos.
- Las baterías deben estar colocadas por encima del nivel del suelo.



Figura 28: Colocación de las Baterías.

3.3.2 Regulación de la Carga

Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación de los paneles solares y el aerogenerador, en la unión con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga. Este sistema es siempre necesario, salvo en el caso de los paneles autorregulados. El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía una vez que ha alcanzado su carga máxima. Si, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se intenta seguir introduciendo energía, se inicia en la batería procesos de gasificación (hidrólisis del agua en hidrógeno y oxígeno) o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligroso y, en cualquier caso, acortaría sensiblemente la vida de la misma.

Otra función del regulador es la prevención de la sobredescarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo éste un fenómeno,

que como ya se ha dicho, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos.

Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo, u otras. Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de la sobrecarga y las sobredescargas en un mismo equipo, que además suministra información del estado de carga de la batería, la tensión existente en la misma a demás de ir provistos de sistemas de protección tales como fusibles, diodos, etc., para prevenir daños en los equipos debidos a excesivas cargas puntuales. Estos reguladores también pueden incorporar sistemas que sustituyan a los diodos encargados de impedir el flujo de electricidad de la batería a los paneles solares en la oscuridad, con un costo energético mucho menor.

También es interesante incorporar modelos de regulación que introducen modos de carga "en flotación", lo cual permite una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía de los paneles.

Las características eléctricas que definen un regulador son su **tensión nominal** y la **intensidad máxima** que es capaz de disipar.



Figura 29: Regulador de Carga para un sistema mixto. Fuente: Bornay.

En la Figura 29, se puede apreciar un modelo de regulador de carga para un sistema mixto, el cual cuenta con entradas para ambos métodos de generación, así como para la regulación de las baterías y hacia la carga.

3.3.3 Adaptación de la Energía. El Inversor

En este apartado, se va a hacer referencia a los convertidores e inversores, elementos cuya finalidad es adaptar las características de la corriente generada a la demanda total o parcial para las aplicaciones.

En determinadas aplicaciones que trabajan en corriente continua, no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la solicitada por todos los elementos de consumo. En estos casos la mejor solución es un convertidor de tensión continua.

En otras aplicaciones, la utilización incluye elementos que trabajan en corriente alterna. Puesto que tanto los paneles como las baterías trabajan en corriente continua, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en alterna.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la **tensión de entrada**, que se debe adaptar a la del generador, la **potencia máxima** que puede proporcionar y la **eficiencia**. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).

La eficiencia del inversor varía en función de la potencia consumida por la carga. Esta variación es necesario conocerla, sobre todo si la carga en alterna es variable a fin de que el punto de trabajo del equipo se ajuste lo mejor posible a un valor promedio especificado. Se puede considerar la eficiencia al 70% de la carga como un parámetro de eficiencia significativo del inversor, debiendo de

estar por encima del 70% cuando la tensión de entrada al inversor es de 24V y por encima del 80% cuando es del 110V.

- Otros aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores son:

Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente la generación para alimentar la carga. No todos los inversores existentes en el mercado cumplen estas características. Sin embargo, es cada vez más sencillo equipos específicamente diseñados para cubrir plenamente estas aplicaciones.

- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticas cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos y reglamentación para Baja Tensión.
- En cualquier caso la definición del inversor a utilizar debe realizarse en función de las características de la carga. En función de esta última se podrá acudir a equipos más o menos complejos.
- Se recomienda acudir a inversores diseñados específicamente para aplicaciones fotovoltaicas ó eólicas.
- Por otra parte, existen en el mercado diferentes tipos de inversores, con grados de complejidad y prestaciones muy variables. Según el tipo de cargas que vaya a alimentar, es posible recurrir a inversores muy simples,

de onda cuadrada o si así se requiere, inversores de señal senoidal, más o menos sofisticados.



Figura 30: Inversor de corriente. Fuente: Isofotón.

PARTE II: Aplicación Práctica

4 Diseño de una Instalación Mixta Solar – Eólica de pequeña potencia

En este apartado se procede a dimensionar el sistema mixto de energía solar fotovoltaica y eólica de pequeña potencia. El primer paso a la hora de diseñar un proyecto de esta naturaleza es conocer la comunidad para la cual se orienta el presente proyecto.

4.1 Identificación de la Comunidad

La comunidad seleccionada se encuentra en el municipio Las Vueltas, el cual esta limitado al Norte por los municipios de Ojos de Agua y La Laguna, al Noreste y este por el municipio de Ojos de Agua; al Sureste por el municipio de Las Flores; al Sur y Suroeste por el municipio de Chalatenango y al Noroeste por el municipio de Concepción Quezaltepeque.

En la Tabla 8, se listan los cantones que conforman el municipio Las Vueltas, en la cual figura el cantón **La Laguna**, específicamente la parte del caserío que se encuentra habitada. En la Figura 32 y Figura 33, se muestra la ubicación geográfica del cantón La Laguna (denominada en este documento también como "*la comunidad*") en el Municipio Las Vueltas.



Figura 31: Municipio Las Vueltas.

CANTÓN	CASERÍO	OBSERVACIONES
El Sicahuite	El Sicahuite El Cacao El Potrero	Habitado Deshabitado Deshabitado
La Ceiba	La Ceiba El Caulote	-
La Laguna	La Laguna El Picacho Vallecito La Quebradona	Habitado Deshabitado Deshabitado Deshabitado
San José	San José de la Montaña El Cordoncillo El Balcón El Terrero Tierra Blanca San José El Amatillo La Ceibita	Habitado Habitado Deshabitado Habitado Deshabitado Deshabitado Deshabitado
El Conacaste	Conacaste El Arrozalito La Hondura Chilguaste El Zurrón El Jobo	Habitado Deshabitado Deshabitado Deshabitado Deshabitado Habitado
Los Naranjos	Los Naranjos San Antonio Plan de El Barro Los Amates	Habitado Deshabitado Habitado Deshabitado

Tabla 8: Estado habitacional de cada uno de los cantones que conforman el Municipio Las Vueltas de Chalatenango.

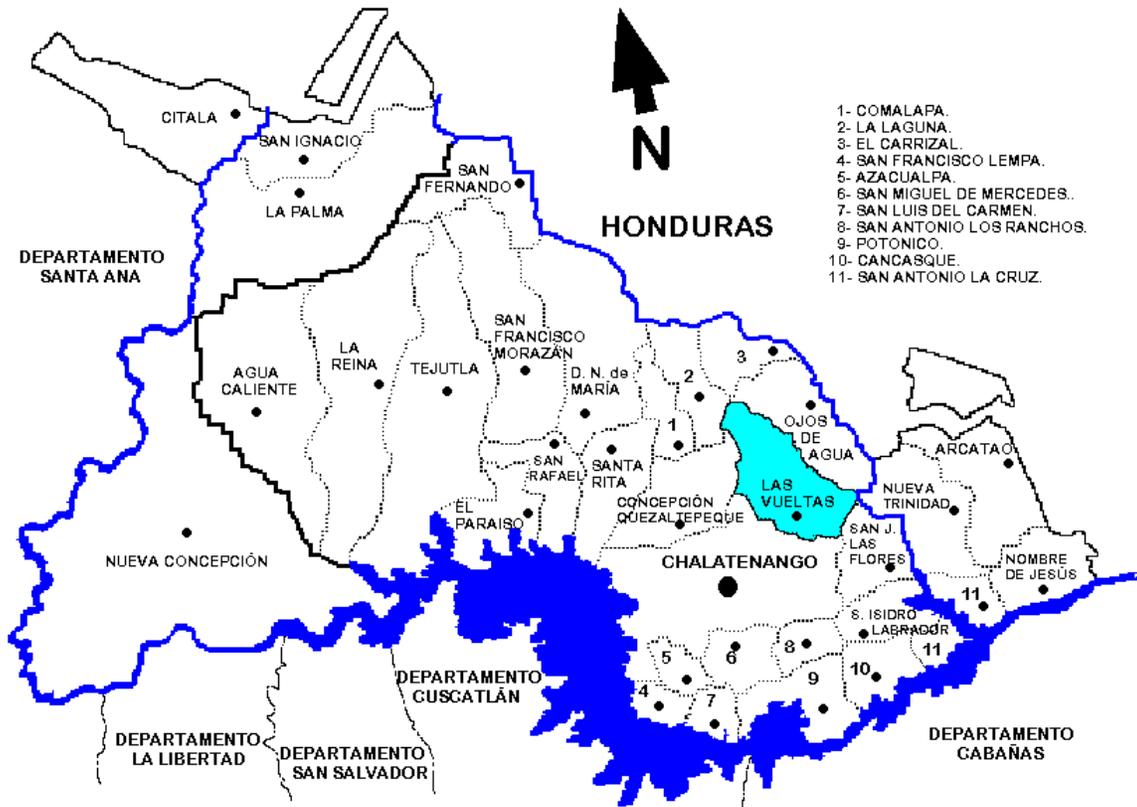


Figura 32: Detalle del Departamento de Chalatenango.

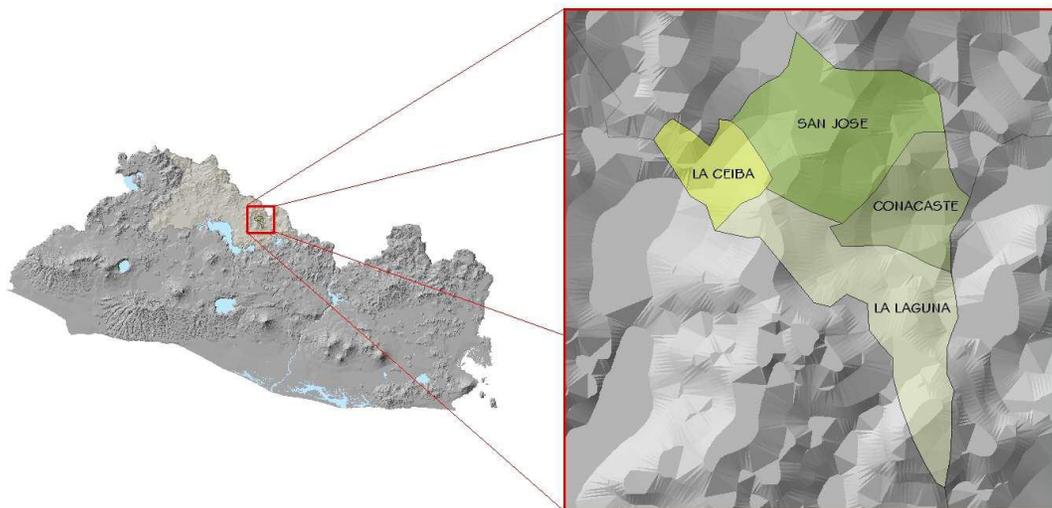


Figura 33: Detalle del Municipio Las Vueltas. Ubicación del Cantón La Laguna.

En la siguiente tabla se resumen algunos datos sociodemográficos importantes del Municipio Las Vueltas, datos que comparten los cantones que conforman el municipio:

Municipio	Las Vueltas
Departamento	Chalatenango
Población	10,102 habitantes
Total de Hogares	2,097
Jefas de Hogar	127
Extensión Territorial	71.73 km ²
Ingreso por Hogar (mensual)	150.54 Dólares (115.80 Euros)
Porcentaje de hogares sin acceso a energía eléctrica	14.1 %
Porcentaje de hogares en Pobreza Extrema	45.69 %

Tabla 9: Datos sociodemográficos del Municipio Las Vueltas.

4.1.1 Recursos Naturales

4.1.1.1 Climatología

El municipio se encuentra ubicado entre dos paisajes naturales: la cordillera fronteriza y las serranías intermedias. En estos paisajes las alturas se encuentran entre los 390 a 880 metros sobre el nivel del mar (msnm) y entre los 380 a 440 msnm. Las temperaturas varían entre 15.2° C a 25.4 ° C y 25° C a 35° C con una media de 26° C. La precipitación pluvial va de los 2000 a 2500mm en la Cordillera Fronteriza y de 1700 a 2000mm en las serranías intermedias.

4.1.1.2 Hidrología

Una de las características más importantes del municipio es que forma parte de la sub-cuenca del Río Tamulasco, afluente importante del Río Lempa y uno de los principales ríos que abastece el Embalse de la Presa Hidroeléctrica "Cerrón Grande".

4.1.2 Algunos Servicios Básicos

El estado de algunos Servicios Básicos del Municipio Las Vueltas se detalla a continuación⁸:

Sector Infraestructura Vial:

- Adecuada conectividad intermunicipal
- Mejorar en la conectividad entre municipios
- 6 solicitudes de mejoramientos de calles internas
- Una solicitud de construcción de puente en cantón Conacaste



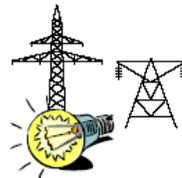
Sector Agua

- Casco urbano y 4 cantones poseen sistemas de agua
- 2 cantones carecen de sistema de agua potable
- 2 solicitudes de introducción de agua potable a cantones
- 2 solicitudes de ampliación de proyectos existentes



Sector Electrificación

- Casi totalmente electrificado



⁸ Plan Estratégico Participativo con Equidad de Género.

- 1 cantón no posee energía eléctrica
- Solicitud de introducción de energía eléctrica en el cantón **La Laguna**

Además, se pueden citar las palabras del alcalde en gestión (año 2006) del Municipio Las Vueltas ante la pregunta:

¿Cuáles son las necesidades más urgentes de solucionar a corto plazo?

¿Por qué?

*Respuesta: Salud, **electrificación** y mejoras e introducción del sistema de agua potable, esos son como los más urgentes. Son los servicios básicos, el agua uno la necesita a cada rato.*

Al conocer el estado de los servicios en los cantones que conforman el Municipio Las Vueltas, es evidente la necesidad de implementar proyectos de cooperación y ayuda para propiciar el desarrollo de las mismas.

El presente proyecto brindará una propuesta al problema de la falta de energía eléctrica en la comunidad La Laguna, ya que es el único caserío del municipio que no cuenta con el recurso.



Figura 34: Propiciar el desarrollo sostenible de la comunidad.

4.1.3 Datos Específicos de la Comunidad Receptora

Se presenta a continuación información de la comunidad receptora:

Comunidad La Laguna	
Ubicación	Cantón La Laguna, Municipio Las Vueltas, departamento de Chalatenango, El Salvador. Centroamérica.
Latitud	14° 51' 35" Norte
Longitud	88° 53' 20" Oeste
Altitud	826 m
Zona Horaria	GMT -6:00
Descripción del Terreno	Dominan cerros, lomas y colinas recortadas de mediana altura, de relieve irregular y topografía quebrada.
Población	44 personas
Número de Viviendas	13 Viviendas (8 de adobe y 5 champas)
Actividades Económicas	Actividades Agrícolas (cultivo de maíz y frijol). Parcelas con árboles frutales y café. Actividades de Ganadería (tenencia de 1 a 10 reses) y aves de corral para consumo propio.
Servicio de Electricidad	Sin Acceso.
Servicio de Agua Potable	Sin acceso.
Servicio de Telecomunicaciones	Sin acceso.

Tabla 10: Información de la comunidad La Laguna.

4.2 Caracterización de la Demanda Eléctrica

En este apartado se procede a calcular el nivel de demanda de energía eléctrica que ha de presentar el cantón La Laguna. Para ello se ha establecido un listado de una serie de equipos domésticos individuales para cada hogar de la comunidad, así como un lugar en el cual se realizaría actividades comunes tales como: planchado de ropa, refrigeración de alimentos, etc.

4.2.1 Equipos de Consumo

Se han seleccionado los siguientes equipos domésticos para propiciar el mejoramiento de la calidad de vida de las personas de la comunidad, cabe recalcar que los equipos ha seleccionar, si bien han de encontrarse en el mercado local, se proponen con un bajo consumo eléctrico y alto rendimiento para brindar una propuesta integral de suministro y consumo energético.

4.2.1.1 Cálculo de la potencia a demandar por las Viviendas

Se listan una serie de equipos que se utilizarían en cada vivienda, así como su potencia nominal.

Descripción del Equipo	N° de Equipos	Potencia Nominal del Equipo	Total Potencia
Luminarias	4	15 W	60 W
Radio CD	1	40 W	40 W
Pequeños Electrodomésticos	1	150 W	150W
Total			250 W

Tabla 11: Equipos y su potencia nominal para cada vivienda.

Total de Potencia Demandada por las viviendas:

13 Viviendas x 250 W = 3250 W

4.2.1.2 Cálculo de la potencia a demandar por los equipos comunitarios

Descripción del Equipo	N° de Equipos	Potencia Nominal del Equipo	Total Potencia
Refrigerador (Gas Butano)	2	-	-
Televisor a colores	1	100 W	100 W
Reproductor de DVD	1	75 W	75 W
Radioteléfono (hasta 100 W)	1	100 W	100 W
Bomba para agua (hasta 1 hp)	1	750 W	750 W
Luminarias del Local	4	20 W	80 W
Luminarias Públicas	4	20 W	80 W
Máquinas Herramientas Pequeñas	1	300 W	300W
Total			1485 W

Tabla 12: Equipos comunitarios y su potencia nominal.

4.2.1.3 Total de Potencia a Demandar

En la siguiente tabla, se detalla el valor total de la potencia a demandar:

Descripción del Sistema	Potencia
Viviendas	3250 W
Equipos Comunitarios	1485 W
Total	4735 W

Tabla 13: Total de potencia a demandar.

4.2.1.4 Justificación de algunos equipos

Pequeños Electrodomésticos: Equipos varios de poco consumo de potencia eléctrica, que son utilizados por las comunidades rurales. Por ejemplo: cargadores de baterías para lámparas portátiles, pequeños ventiladores (verano), etc.

Refrigerador (Gas Butano): Para la preservación de alimentos y algunas medicinas para la comunidad.

Televisor a colores: Para el acceso comunitario a los canales de transmisión nacionales, presentando una actividad de esparcimiento grupal.

Reproductor de DVD: Para la proyección de distintos tipos de material digital, tales como: películas, documentales, etc.

Bomba para agua (hasta 1 hp): Para llenar un depósito con agua, el cual dará suministro a la comunidad mediante el bombeo accionado por la gravedad (el depósito estará situado en un nivel mayor que el de las viviendas).

Máquinas Herramientas Pequeñas: Para la utilización de pequeños taladros de mano y otros utensilios pequeños.

4.2.2 Cálculo del Consumo Diario de Energía

Se estima el consumo de energía por cada equipo seleccionado, estimando un número promedio de horas de uso de cada elemento:

4.2.2.1 Cálculo de la energía diaria a consumir por las Viviendas

Descripción del Equipo	N° de Equipos	Potencia Nominal del Equipo	Funcionamiento (Horas / Día)	Energía [Wh/día]
Luminarias	4	15 W	7	420
Radio CD	1	40 W	3	120
Pequeños Electrodomésticos	1	150 W	1	150
Total				690

Tabla 14: Energía a consumir por cada vivienda.

Total de energía a consumir por las viviendas:

$$13 \text{ Viviendas} \times 1525 \text{ Wh} = \mathbf{8970 \text{ Wh}}$$

Energía viviendas = 8.97 kWh (Diarios)

4.2.2.2 Cálculo de la energía diaria a consumir por los equipos comunitarios

Para cada equipo comunitario se estima un tiempo promedio de uso diario expresado en horas:

Descripción del Equipo	N° de Equipos	Potencia Nominal del Equipo	Funcionamiento (Horas / Día)	Energía [Wh/día]
Televisor a colores	1	100 W	2	200
Reproductor de DVD	1	75 W	2	150
Radioteléfono (hasta 100 W)	1	100 W	1	100
Bomba para agua (hasta 1 hp)	1	750 W	1	750
Luminarias del Local	4	20 W	2	160
Luminarias Públicas	4	20 W	7	560
Máquinas Herramientas Pequeñas	1	300 W	½	150
Total				2070

Tabla 15: Energía a consumir por los equipos comunitarios.

Energía equipos comunitarios = 2.07 kWh (Diarios)

4.2.2.3 Total de Energía a consumir

En la siguiente tabla, se muestra un valor aproximado de la energía diaria a consumir:

Descripción del Sistema	Energía [kWh]
Viviendas	8.97
Equipos Comunitarios	2.07
Total	11.04 kWh (Diarios)

Tabla 16: Total de energía a consumir diariamente (estimación).

4.2.3 Perfil de consumo de energía diario (Estimación)

Para tener una mejor idea del consumo de energía a lo largo del día se presenta una estimación de lo que podría ser en un día de consumo total.

Perfil de Consumo de Energía		
Hora del Día	Equipos Utilizados	Consumo Energía [Wh]
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas	860
5	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas	860
6	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas	860
7	Radio CD	520
8	Radio CD	520
9	Radio CD	520
10	Máquinas Herramientas	150
11		
12	Bomba para Agua	750
13	Pequeños Electrodomésticos	325
14	Radioteléfono, Pequeños Electrodomésticos	425
15	Televisor y Reproductor de DVD, Pequeños Electrodomésticos	500
16	Televisor y Reproductor de DVD, Pequeños Electrodomésticos	500
17	Pequeños Electrodomésticos	325
18	Pequeños Electrodomésticos	325
19	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas, Luminarias del Local	940
20	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas, Luminarias del Local	940
21	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas	860
22	Luminarias Públicas, Luminarias Todas Viviendas	860
23	-	-
24	-	-
	Total	11 040

Tabla 17: Perfil de Consumo de Energía (Estimación).

Se ha repartido el consumo de los pequeños electrodomésticos a lo largo de la tarde del día, siendo lo recomendable para evitar descargas innecesarias de los

acumuladores. Además, se ha establecido que la bomba trabajará en el horario de mayor irradiación solar previsto.

Luego, se presenta una gráfica para una mejor comprensión del perfil de consumo estimado, notando que las horas de mayor consumo se presentan en horas de la madrugada y horas de la noche debido al consumo por parte de las viviendas y alumbrado público; y al mediodía se tendría el bombeo de agua.

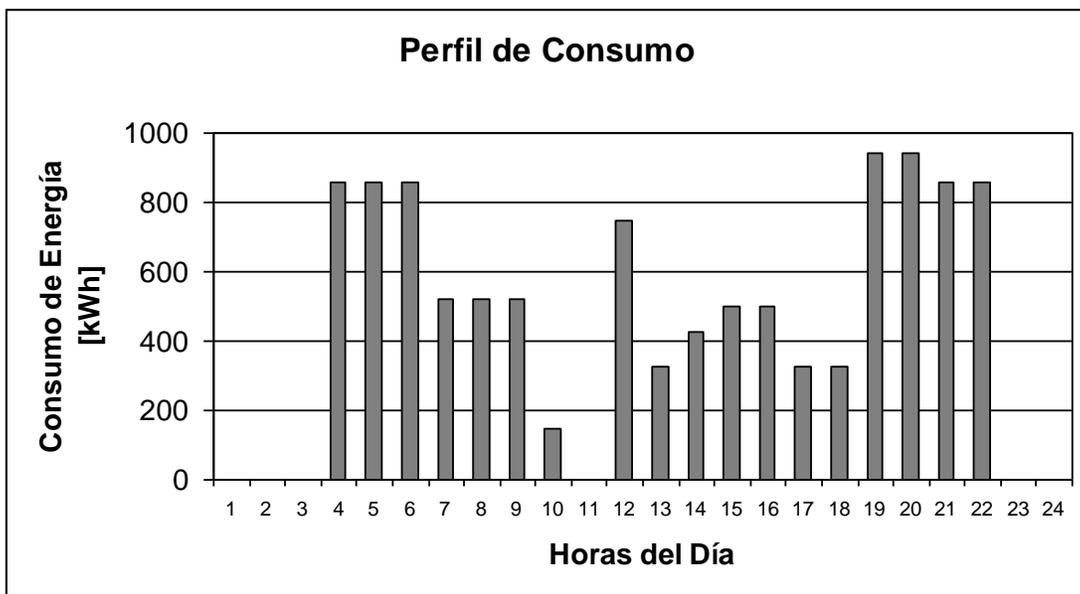


Figura 35: Se muestra una estimación del perfil de consumo de energía.

4.3 Diseño del Sistema Mixto

4.3.1 Datos de recursos del lugar

Se han tomado como base, los datos de los recursos disponibles del lugar (irradiación y velocidad del viento) proporcionados mediante la simulación por ordenador⁹, utilizando el software Meteonorm 5.1, tomando como datos de entrada para realizar la simulación los mostrados en la siguiente tabla:

Simulación en Meteonorm 5.1	
Ubicación	Sur América
Latitud	14° 51' Norte
Longitud	88° 53' Oeste
Altitud	826 m
Zona Horaria	GMT -6:00
Situación	Libre

Tabla 18: Datos de entrada para la simulación por ordenador.

Ya con los datos de entrada se genera la simulación, presentando los siguientes resultados:

Mes	T _a [°C]	T _{a dmin} [°C]	T _{a dmx} [°C]	RH [%]
Enero	18.0	12.8	23.0	84
Febrero	18.8	12.7	24.5	78
Marzo	20.8	14.0	27.2	73
Abril	21.9	15.1	27.4	72
Mayo	22.3	16.7	27.3	75
Junio	21.9	17.1	25.9	81
Julio	21.4	17.1	25.4	82
Agosto	21.6	17.1	25.6	81
Septiembre	21.4	16.5	25.5	83
Octubre	20.3	16.0	24.3	84
Noviembre	19.1	14.5	22.8	85
Diciembre	18.3	14.0	22.5	85
Año	20.5			80

Tabla 19: Resultados obtenidos por simulación (Parte I).

⁹ Ver Anexo 1.

Mes	H_Gh [kWh/m ²]	SD _m [h/día]	SD _d [h/día]	SD _a [h/día]	FF [m/s]	DD
Enero	163	221	7.1	11.2	2.8	360
Febrero	156	229	8.2	11.6	2.9	320
Marzo	181	269	8.7	11.9	3.1	320
Abril	173	243	8.1	12.4	3.1	360
Mayo	168	216	7	12.7	3	320
Junio	155	172	5.7	12.9	3	360
Julio	177	193	6.2	12.8	3	360
Agosto	167	205	6.6	12.5	2.9	360
Septiembre	144	183	6.1	12.1	2.7	360
Octubre	152	200	6.5	11.7	2.6	360
Noviembre	148	199	6.6	11.3	2.5	320
Diciembre	151	212	6.8	11.1	2.6	360
Año	1935	2542	6.8		2.9	347

Tabla 20: Resultados obtenidos por simulación (Parte II).

Donde:

Notación	Significado
T _a [°C]	Temperatura del Aire
T _{a dmin} [°C]	Temperatura media de las mínimas diarias
T _{a dmx} [°C]	Temperatura media de las máximas diarias
RH [%]	Humedad Relativa
H_Gh [kWh/m ²]	Irradiación de la Radiación Global Horizontal
SD _m [h/día]	Duración de la Insolación Mensual
SD _d [h/día]	Duración de la Insolación Diaria
SD _a [h/día]	Duración de la Insolación Astronómica
FF [m/s]	Velocidad del Viento
DD	Dirección del Viento (Norte 0°, Este 90°)

Tabla 21: Significado de los resultados de la simulación.

4.3.1.1 Energía Solar. Irradiación

De la Tabla 20, se obtienen los siguientes valores de Irradiación del lugar para cada mes, así como el valor de Hora Solar Pico (H.S.P.):

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Irradiación Mensual [kWh/m ²]	163	156	181	173	168	155	177	167	144	152	148	151	161
H.S.P.	5.26	5.57	5.84	5.77	5.42	5.17	5.71	5.39	4.80	4.90	4.93	4.87	5.3

Tabla 22: Valores de Irradiación y H.S.P. en La Laguna. Se marcan en negrita los valores que están por debajo de la media.

Hora Solar Pico (Septiembre) = 4.80 HSP (Mes peor)

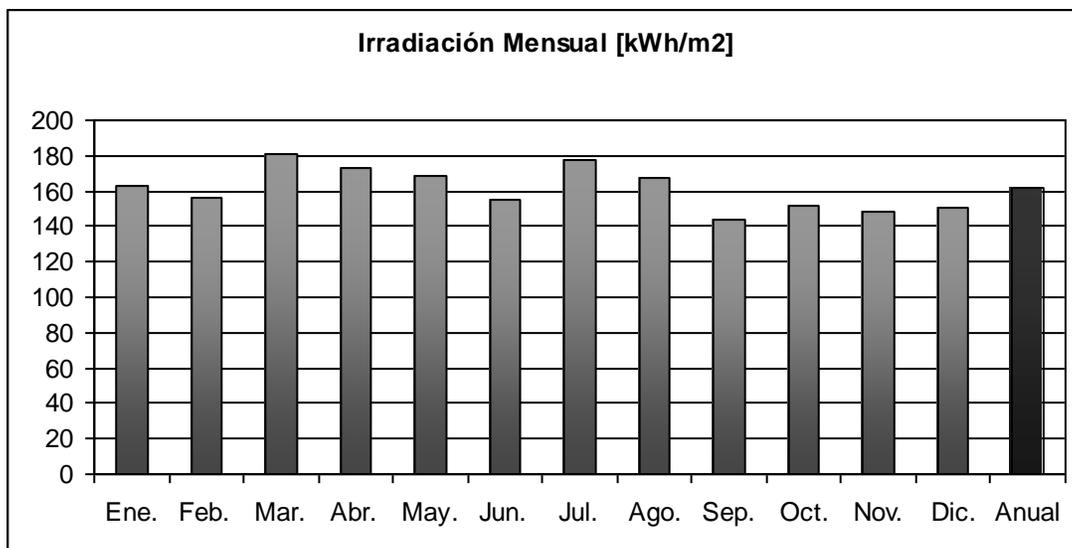


Figura 36: Valores de Irradiación Mensual. Energía esperada mensualmente.

De la tabla y figura anterior se puede apreciar que el mes más crítico para el sistema fotovoltaico es **septiembre**, con un valor de irradiación mensual de **144 kWh/m²** y le corresponde un valor de **Hora Solar Pico** de **4.80**.

4.3.1.2 Velocidad del Viento

De la Tabla 20, se obtienen los siguientes valores de Velocidad del Viento promedio para cada mes, así como su valor promedio en el año:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Velocidad del Viento m/s	2.8	2.9	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.6	2.9

Tabla 23: Velocidad del viento mensual.

Con una dirección predominante en promedio de:

**Dirección del Viento (Promedio Anual) = 347°
13° Noroeste**

Debido a que se analiza un sistema de energía eólica de pequeña potencia, y a los equipos que ésta involucra, la dirección del viento no es importante, dado que los equipos presentan un sistema de giro libre, ajustándose a la dirección del viento.

En la siguiente figura se muestra la distribución de la velocidad del viento promedio a lo largo de los meses del año:

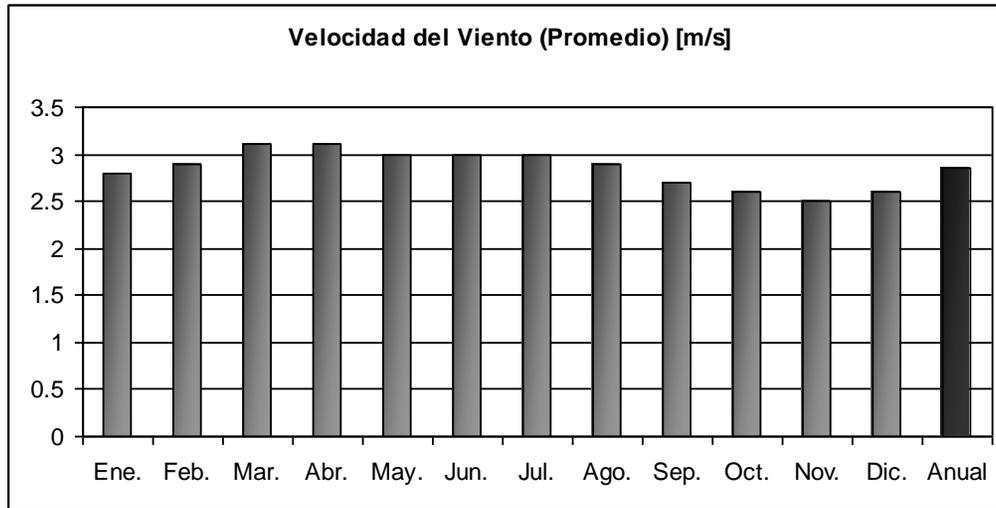


Figura 37: Velocidad del viento promedio mensual y anual.

Ahora se traza la gráfica del número de horas al año para cada valor de velocidad de viento:

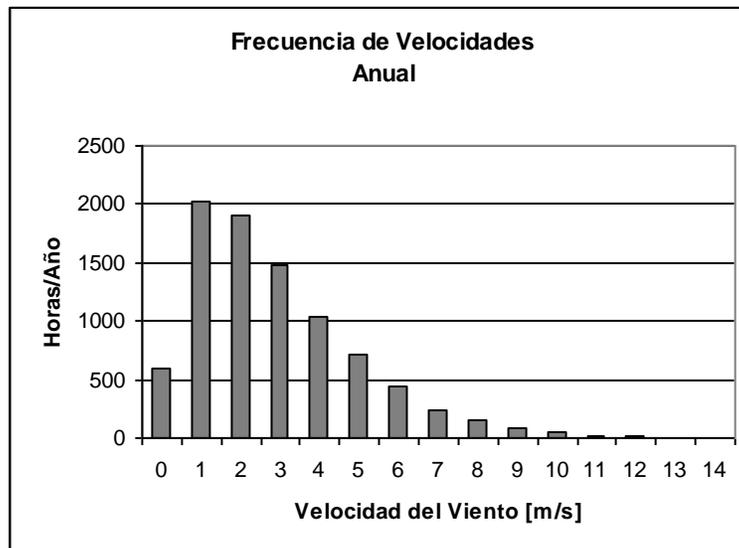


Figura 38: Frecuencia de velocidad del viento (Anual).

Analizando el nivel de frecuencias de velocidad para cada mes en particular, se puede tomar la decisión del mes de noviembre como el mes peor para las condiciones del recurso eólico. Luego se analiza el nivel de frecuencia para cada valor de velocidad presente para este mes en particular:

Frecuencia de Velocidades Mes de Noviembre															
Velocidad [m/s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Frecuencia en Horas	81	209	146	99	73	41	25	23	10	4	6	0	2	0	1
Porcentaje %	11.3	29.0	20.3	13.8	10.1	5.7	3.5	3.2	1.4	0.6	0.8	0.0	0.3	0.0	0.1

Tabla 24: Frecuencia de velocidades para el mes de noviembre.

Se gráfica el total de Horas/Mes de noviembre para cada valor de velocidad:

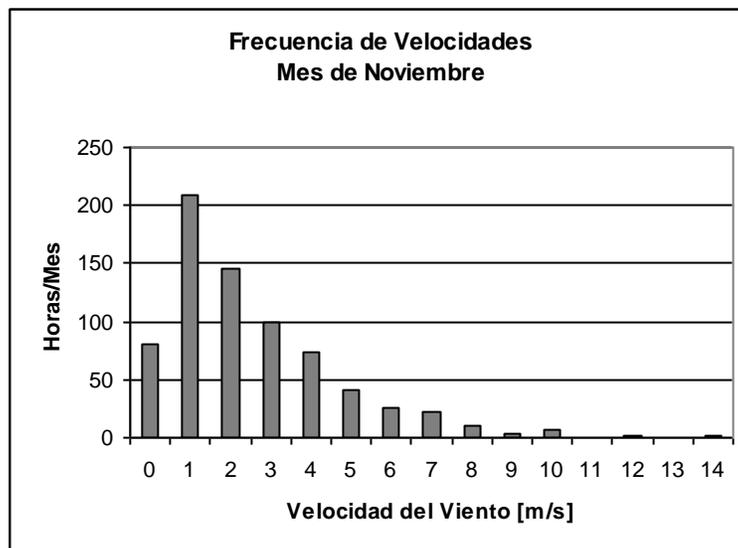


Figura 39: Frecuencia de velocidades del viento (noviembre).

Analizando los datos anteriores, se concluye que se tiene una mayor frecuencia en las velocidades más bajas (0 a 3 m/s), por lo que se presentará una baja producción de energía durante el mes de noviembre. Por lo tanto para el recurso eólico, el mes crítico es **noviembre**.

4.3.2 Diseño del Sistema Fotovoltaico

Las condiciones de diseño para el sistema fotovoltaico son:

Tensión de trabajo: 24 V

HSP (septiembre) = 4.8 HSP

Orientación de los módulos: Hacia el Sur

Inclinación de los módulos = Latitud + 10° (Para un emplazamiento anual)

14.5° + 10°

24.5°

4.3.2.1 Selección de los Módulos Fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico seleccionado para esta aplicación mixta, es el **Módulo Fotovoltaico IS-150 / 24**, se puede obtener con la empresa Tecnosolar, distribuidor directo de Isofotón.

Las Características Eléctricas (1.000 W / m², 25° C célula, AM 1.5) del módulo son:

POTENCIA MÁXIMA (PMÁX.)	150 Wp +/-5%
CORRIENTE DE MÁXIMA POTENCIA (IMÁX.)	4.35 A
TENSIÓN DE MÁXIMA POTENCIA (VMÁX.)	34.6 V
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC)	4.7 A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (VOC)	43.2 V
TONC (800 W / m², 20° C, AM 1.5, 1 m / s)	47° C
MÍNIMO VALOR DEL FUSIBLE EN SERIE	10 A
TENSIÓN MÁXIMA DEL SISTEMA	760 V

Tabla 25: Características eléctricas del módulo fotovoltaico seleccionado.

4.3.2.2 Número de Módulos Necesarios

Con la corriente de máxima potencia y el valor de Hora Solar Pico con el que se efectuará el diseño (4.8 HSP para septiembre), se calcula el valor de corriente que puede suministrar cada módulo:

$$\begin{aligned}\text{Ah/día por Módulo} &= 4.35 \text{ A} * 4.8 \text{ HSP} \\ &= \mathbf{20.88 \text{ Ah (Por módulo)}}$$

Se incrementaría un porcentaje de 10% de pérdidas para la energía total a proporcionar por el sistema:

$$\begin{aligned}\text{Energía Total} &= \text{Energía a Consumir} + 0.1 * (\text{Energía a Consumir}) \\ &= 11\,040 \text{ Wh} + 0.1 * (11\,040 \text{ Wh}) \\ &= \mathbf{12\,144 \text{ Wh}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Amperios Hora Total} &= \text{Energía Total por día} / \text{Tensión de Trabajo} \\ &= (12\,144 \text{ Wh}) / (24 \text{ V}) \\ &= \mathbf{506 \text{ Ah (Por día)}}$$

Con el total de Amperios Horas Diarios necesarios, se determina el número de módulos:

$$\begin{aligned}\text{Módulos Necesarios} &= (\text{Amperios Hora Total por día}) / (\text{Ah/día por módulo}) \\ &= 506 \text{ Ah} / 20.88 \text{ Ah} \\ &= 24.23 \\ &= \mathbf{25 \text{ Módulos}}\end{aligned}$$

4.3.3 Diseño del Sistema Eólico

4.3.3.1 Selección del Aerogenerador

Para el rango de velocidades que presenta la zona, se selecciona el equipo Inclin 600 de la marca Bornay. Este aerogenerador presenta un rango de trabajo entre los 2 m/s y los 14 m/s, límites semejantes a las velocidades de viento presentes en la zona de La Laguna. En la siguiente figura, se presenta su curva de velocidad-potencia, donde se puede apreciar como varía la generación de potencia con respecto a la velocidad del viento para este modelo.



Figura 40: Curva de Potencia para el aerogenerador Inclin 600. Fuente: Bornay.

Ya con los valores de potencia para distintos valores de velocidad del viento, se puede calcular el total de energía a producir por el aerogenerador seleccionado para cada mes:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Energía Mensual [Wh]	41890	40430	49150	49170	46990	45650	48080	43850	39320	37940	35990	37850	516310
Energía Diaria [Wh]	1351	1444	1585	1639	1516	1522	1551	1415	1311	1224	1200	1221	

Tabla 26: Estimado de energía a producir por el aerogenerador.

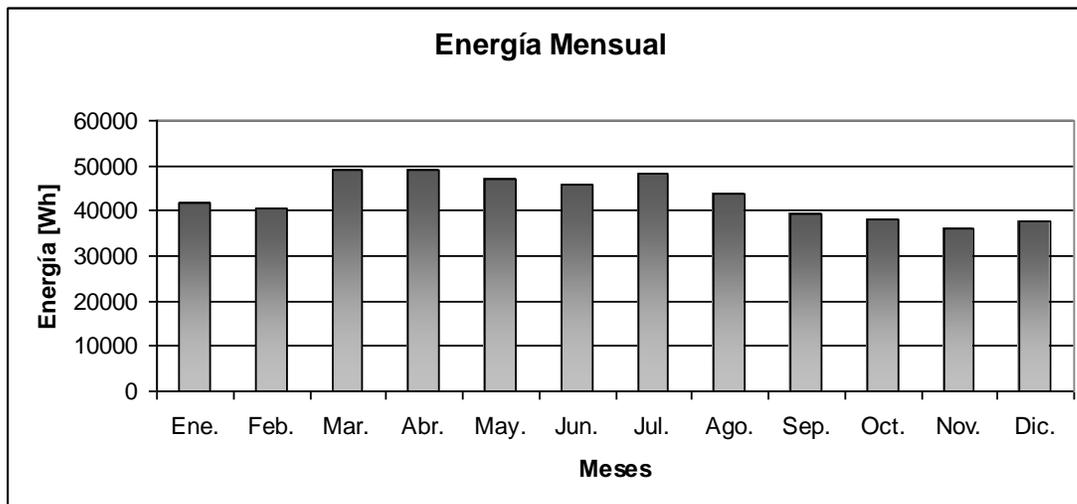


Figura 41: Estimado de energía mensual que proporcionará el aerogenerador.

De nuevo se corrobora, que el mes de noviembre (mes crítico para el sistema eólico) es el que presenta la menor producción de energía.

Energía para el mes de Noviembre = **35 990 Wh**

Energía diaria para el mes de noviembre = **1200 Wh**

4.3.4 Proporción de Energía en el Sistema Mixto

Ya calculado el nivel de potencia a generar por ambos sistemas de acuerdo a las características de cada equipo, se procede a realizar un ajuste en el dimensionamiento del sistema mixto. El sistema a ajustar será el sistema fotovoltaico, debido a la modularidad que presenta.

Total de Energía a Suministrar Mensualmente =

$$\begin{aligned} &= (\text{Total de Energía Diaria}) * 30 \text{ días} \quad (\text{noviembre}) \\ &= (12\ 144 \text{ Wh/diarios}) * 30 \text{ días} \\ &= \mathbf{364\ 320 \text{ Wh}} \end{aligned}$$

Total de Energía Eólica (Mes crítico) = **35 990 Wh**

Ahora se determina la proporción que el sistema fotovoltaico ha de generar:

Energía a proporcionar por el Sistema Fotovoltaico =

$$\begin{aligned} &= 364\ 320 \text{ Wh} - 35\ 990 \text{ Wh} \\ &= \mathbf{328\ 330 \text{ Wh}} \quad (\text{Mensual}) \\ &= \mathbf{10\ 945 \text{ Wh}} \quad (\text{Diarios}) \end{aligned}$$

Recordando que se ha tomado como el 100% de Energía, al Total de Energía a Suministrar Mensualmente (364 320 Wh):

Energía Eólica = 35 990 Wh (10.0% Aproximadamente)

Energía Solar FV = 328 330 Wh (90.0 % Aproximadamente)

Se obtiene un bajo porcentaje de aportación de energía eólica debido a que se tienen bajos regímenes de viento en la zona, y el alto nivel de demanda energética a exigir al sistema.

Con el nuevo valor de energía a suministrar el sistema fotovoltaico, se calcula de nuevo el número de paneles solares necesarios:

$$\begin{aligned}\text{Amperios Paneles} &= \text{Energía Sistema Fotovoltaico} / \text{Tensión de Trabajo} \\ &= (10\,945 \text{ Wh}) / (24 \text{ V}) \\ &= \mathbf{456 \text{ Ah (Por día)}}\end{aligned}$$

Con el total de Amperios que aportará el sistema fotovoltaico, se determina de nuevo el número de módulos:

$$\begin{aligned}\text{Módulos Necesarios} &= (\text{Amperios Hora Total por día}) / (\text{Ah/día por módulo}) \\ &= 456 \text{ Ah} / 20.88 \text{ Ah} \\ &= 21.84 \\ &= \mathbf{22 \text{ Módulos}}\end{aligned}$$

La conexión de los módulos es en paralelo, ya que el modelo propuesto brinda la tensión de trabajo de 24 V.

4.3.5 Dimensionamiento del Acumulador

Para el cálculo de la capacidad del acumulador es necesario tener en cuenta algunos parámetros:

Consumo Diario de Energía = 506 Ah

Profundidad de Descarga = 40% (Batería Pb-Sb Tubular)

Días de Autonomía = 2 días (Para la protección de las baterías, se aconseja el uso de un cargador electrógeno).

Ahora se determina el tamaño de los acumuladores:

Capacidad =

(Consumo de Energía) * (Días de Autonomía) / Profundidad Descarga)

= (506 Ah/día) * (2 días) / 0.4)

= 2 530 Ah

4.3.5.1 Selección de la Batería

Entre los tipos de batería a los que se puede acceder en el mercado de El Salvador (ver Anexo 4), se selecciona el siguiente modelo:

Batería **Modelo 2.AT.3753** de Isofotón, cuyas características eléctricas son:

Batería Tubular Abierta de Pb-Sb

Tensión = 2 V

Capacidad (25°C – 10 h) = 2 800 Ah

Peso con Ácido = 202 kg

Correspondencia DIN: 20 OPzS 2500

Al ser la tensión de trabajo de 24 V, es necesario el acoplamiento en serie de **12 baterías** de este modelo para lograr dicha tensión.

4.3.6 Selección del Regulador

El regulador seleccionado para esta aplicación es el **Modelo ISOLER 30 / D 30** de Isofotón, cuyas características eléctricas son:

Tensión Nominal = 12 V / 24 V (Selección Automática)

Intensidad Máxima de Generación = 30 A

Intensidad Máxima de Consumo = 30 A

Sobrecarga Admisible = 25%

El número de reguladores a instalar se determina a continuación:

Primero se determina la producción de corriente máxima por parte de los módulos fotovoltaicos:

$$\begin{aligned}\text{Corriente máxima} &= (\text{Número de Módulos}) * (\text{Corriente Máxima por Módulo}) \\ &= (22) * (4.35 \text{ A}) \\ &= \mathbf{95.7 \text{ A}}\end{aligned}$$

Entonces el número de reguladores será:

$$\begin{aligned}\text{Número de Reguladores} &= \\ &= (\text{Corriente Máxima}) / (\text{Corriente Admisible por el Regulador}) \\ &= (95.7 \text{ A}) / (30 \text{ A}) \\ &= 3.19 \\ &= \mathbf{4 \text{ Reguladores}}\end{aligned}$$

Entonces se tendría una distribución de dos grupos de 5 Módulos en paralelo, cada uno manejado por un regulador, y otros dos grupos de 6 Módulos en paralelo, cada uno manejado por un regulador. Ver el Capítulo 7 de Esquemas para mayor detalle de la distribución.

4.3.7 Selección del Inversor

El Inversor seleccionado para aplicación es el **ISOVERTER 1500 / 24** de Isofotón, cuyas características eléctricas son:

Tensión Nominal de Entrada = 24 V

Tensión Nominal de Salida = 230 ó 120 V CA

Potencia Nominal de Salida = 1500 W

Frecuencia Nominal = 50 / 60 Hz (Selección por menú)

Rendimiento con Carga = 90 %

Observando el perfil de consumo de carga, se necesitaría de **1 Inversor**, para satisfacer la demanda de potencia de la comunidad. Habría que sugerir la aplicación de hábitos de consumo que se adecuen al perfil de carga propuesto y así proteger el inversor de sobrecargas.

4.3.8 Acerca de la Instalación Eléctrica

Luego se procede al diseño de algunos componentes de la instalación eléctrica, estableciendo algunos parámetros de diseño:

4.3.8.1 Protecciones para los Reguladores

Para la protección de cada regulador, se calcula con un factor de seguridad de 1.5:

Corriente Máxima que pasará por cada regulador = 26.1 A (6 Módulos)

Protecciones para el inversor = 1.5* (Corriente Máxima)

$$\begin{aligned} \text{(Interruptores)} &= 1.5 * (26.1 \text{ A}) \\ &= 39.15 \text{ A} \\ &= \mathbf{40 \text{ A}} \end{aligned}$$

Para la protección de cada regulador por medio de fusibles, se calcula con un factor de seguridad de 1.7:

Corriente Máxima que pasará por cada regulador = 26.1 A (6 Módulos)

Protecciones para el inversor = 1.7* (Corriente Máxima)

$$\begin{aligned} \text{(Fusibles)} &= 1.7 * (26.1 \text{ A}) \\ &= 44.37 \text{ A} \\ &= \mathbf{45 \text{ A}} \end{aligned}$$

4.3.8.2 Protección para el Inversor

Para la protección del inversor, se calcula con un factor de seguridad de 1.5:

Corriente Máxima que pasará por el Inversor = 120.7 A

Protecciones para el inversor = 1.5* (Corriente Máxima)

$$\begin{aligned} \text{(Interruptores)} &= 1.5 * (120.7 \text{ A}) \\ &= 181.05 \text{ A} \\ &= \mathbf{175 \text{ A}} \end{aligned}$$

4.3.8.3 Interruptor de Carga

Para la desconexión de la carga, se calcula con un factor de seguridad de 1.3:

Protecciones para el inversor = 1.3* (Corriente Máxima)

$$\begin{aligned} \text{(Interruptores)} &= 1.3 * (120.7 \text{ A}) \end{aligned}$$

$$= 156.91 \text{ A}$$

$$= \mathbf{150 \text{ A}}$$

4.3.8.4 Cables de Distribución

Tensión de Distribución = 120 V

Factor de Potencia = 0.9 (Normalizado por la SIGET)

%V = 3 %

Longitud Máxima = 200 metros

Corriente Máxima = 10 A (Alimentando 4 casas)

$$\%V = \frac{2 * L * I * fp}{K * S} * 100\%$$

Utilizando un cable de cobre con $K = 56 \text{ m} / \text{Ohm} * \text{mm}^2$, se tiene:

$$\text{Sección} = 22 \text{ mm}^2$$

Se selecciona un **Cable AWG 4**, para la distribución de corriente hacia las viviendas.

4.3.8.5 Instalación Eléctrica de las Viviendas

Tensión de Distribución = 120 V

Factor de Potencia = 0.9 (Normalizado por la SIGET)

%V = 3 %

Longitud Máxima = 10 metros

Corriente Máxima = 2.5 A (Alimentando 1 casa)

$$\%V = \frac{2 * L * I * fp}{K * S} * 100\%$$

Utilizando un cable de cobre con $K = 56 \text{ m} / \text{Ohm} \cdot \text{mm}^2$, se tiene:

$$\text{Sección} = 1.1 \text{ mm}^2$$

Para la electrificación de cada vivienda se selecciona el **Cable AWG 14**.

Para las protecciones de cada vivienda, se utilizará un factor de seguridad de 1.25:

$$\begin{aligned} \text{Protecciones para las viviendas} &= 1.25 * (\text{Corriente Máxima por Vivienda}) \\ &= 1.25 * (2.5 \text{ A}) \\ &= 3.13 \text{ A} \\ &= \mathbf{4 \text{ A}} \end{aligned}$$

4.3.9 Dimensionamiento del Cargador de Baterías

Para realizar la carga de las baterías, cuando se haya alcanzado cierto nivel de descarga, y la producción en los generadores fotovoltaicos y eólicos, no es lo suficiente para realizar dicha carga, es necesario contar con un equipo de respaldo, el cual ha de ser capaz de suministrar suficiente energía a la tensión de trabajo.

El equipo cargador de baterías seleccionado es el Modelo SKYLLA 24/75, con las siguientes características:

Capacidad = 75 A

Tensión = 24 V

Se recomienda notificar a toda la comunidad cuando se encuentra el proceso de carga de baterías, para limitar su consumo al servicio de iluminación y bombeo de agua.

5 Instrucciones de Montaje, Uso y Mantenimiento de la Instalación

5.1 Instalación del Sistema Mixto

Para la instalación del sistema mixto, se utilizarán las instrucciones brindadas para cada componente específico según el manual del fabricante.

5.1.1 Instalación de los Módulos Fotovoltaicos

Para la instalación de los módulos fotovoltaicos, se seguirán las recomendaciones de instalación para los módulos marca Isofotón (Gama Estándar).

- Instalar el módulo en un lugar que nunca esté a la sombra. Fijarse en los árboles y edificios cercanos.
- Recordar que el sol varía su posición a lo largo del año y que los árboles crecen.
- Orientar el módulo correctamente. La cara frontal del módulo debe mirar al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur.
- El módulo se instalará de manera que el aire pueda circular libremente a su alrededor. De este modo, se consigue disminuir la temperatura de trabajo de las células y consecuentemente, mejorar el rendimiento del módulo.
- Evitar que los módulos se hagan sombra entre sí.

- Colocar el regulador en un lugar fácilmente accesible para que el usuario pueda comprobar los elementos de control. En el momento de su conexión se respetarán las polaridades eléctricas de todos los elementos, conectándolos en el siguiente orden: batería, módulos y consumo.
- La sección de conductores empleados debe asegurar que la caída de tensión en la instalación no sobrepase el 2 % de la tensión nominal de la misma.
- Instalar el módulo sobre la estructura de soporte utilizando los agujeros correspondientes, mediante tortillería específica. Se recomienda métrica 6X20, en acero inoxidable. No debe perforarse el marco del módulo ni presionarse con otros sistemas de anclaje. Las cotas de los módulos se encuentran especificadas en las fichas técnicas de los mismos.

5.1.2 Montaje del Aerogenerador

5.1.2.1 Emplazamiento del Aerogenerador

Interesa instalar el aerogenerador en un lugar donde el viento sople con la mayor velocidad y constancia posibles. La velocidad del viento depende en gran medida del terreno sobre el que se mueve el aire; la vegetación, tipo de terreno, construcciones cercanas, etc., frenan el viento y producen turbulencias.

El lugar idóneo para un aerogenerador, es una zona libre de obstáculos, y lo más alto posible respecto de los obstáculos.

5.1.2.2 La torre

Es aconsejable colocar el aerogenerador sobre una torre independiente y a cierta distancia de la vivienda para evitar esta pueda provocar turbulencias. El

anclaje de la torre se realizará según el tipo de torre que se vaya a instalar, siempre sujeta al suelo en una cimentación de hormigón enterrado en su mayor parte. En todo momento se debe de comprobar que la torre quede totalmente vertical.

En el caso de torres de poca base que precisen tensores, una vez anclada la base y colocada la torre, se le colocarán 3 ó 4 tensores cuyos soportes se anclarán firmemente al suelo con hormigón. La torre debe quedar totalmente inmóvil y consistente.

Los tensores deberán ser cables de acero de 6 a 10 mm. de grosor, y su sujeción a la torre en la parte alta deberá estar por debajo del diámetro de las hélices.

Para una mayor seguridad eléctrica es recomendable la instalación de una placa toma-tierra conectada a la base de la torre. Debemos asegurar que no existan objetos que puedan alcanzar el radio de las hélices, y que ninguna parte de la hélice pueda rozar con cualquier otra parte del molino. Entre la hélice y la torre de sujeción debe de haber una distancia mínima de 20 cm.



Figura 42: Distancia mínima entre la hélice y la torre de sujeción.

5.1.2.3 Montaje y colocación del aerogenerador

Para poder colocar fácilmente el Aerogenerador sobre la torre puede hacerse con un soporte vertical sujeto a la torre con una polea. El soporte que se utilice deberá estar bien sujeto a la torre, con una polea en el extremo a la que se le pasará una cuerda, con la que ataremos el aerogenerador. Con este sistema puede izarse el aerogenerador sin problemas. Antes de realizar el montaje del aerogenerador sobre la torre se debe de realizar la instalación eléctrica, e interconexión de las baterías y el regulador.

5.1.2.4 Regulador

El regulador es el encargado de proteger las baterías de sobrecargas excesivas. Cualquier equipo de producción eléctrica que pueda sobrecargar excesivamente la batería, requiere un regulador de carga. Con su uso prolongamos la vida de la batería. El regulador detecta en todo momento el estado de carga de la batería y regula el paso de la energía producida.

Únicamente da paso a la electricidad necesaria para la batería, manteniéndola en flotación y disipa la restante en forma de calor a través de una resistencia instalada en el interior del regulador. (Opcionalmente esta energía disipada puede utilizarse para calentar agua).

El regulador ha sido especialmente diseñado para funcionar con el aerogenerador, y con paneles solares en el caso híbrido. Para ello el regulador está provisto de las siguientes bornes de conexiones:

- Entrada trifásica del aerogenerador
- Entrada +/- solar (Opcional)
- Salida +/- a batería
- Salida a resistencias (Opcional)

El regulador está equipado con un testigo luminoso. El piloto se encenderá cuando la batería esté cargada y la electricidad esté siendo desviada a las resistencias.

Así mismo, el regulador está provisto de un voltímetro y un amperímetro para la lectura de la electricidad que está siendo regulada.

En el lateral izquierdo, el regulador lleva instalado, un interruptor de frenado. Al accionar el freno se provoca un cortocircuito en el alternador que frena el giro del aerogenerador.

En caso de fuertes vientos, cuando las hélices giran a gran velocidad adquieren una gran inercia, y resulta más difícil detenerlas. En estos días ventosos, para frenarlo, se acciona intermitentemente el freno varias veces. Cada vez que el freno actúe, la velocidad de las hélices disminuirá hasta su parada. Una vez parado ya no volverá a arrancar hasta que se desactive el freno.

5.1.2.5 Conexión eléctrica

Como se ha indicado anteriormente, el conexionado eléctrico debe de hacerse antes del montaje del aerogenerador, o bien con el aerogenerador instalado sobre la torre **sin hélices**, ya que de lo contrario, conectar el aerogenerador rodando al cuadro de regulación podría dañar el sistema de regulación.

El modo de conexión es el siguiente:

En el caso de disponer de una resistencia externa, se procederá a conectar previamente la resistencia al cuadro de regulación, en caso contrario, que la resistencia sea interna, no habrá que hacer nada, y conectaremos el resto de componentes.

Se conectará, sin invertir nunca la polaridad, los cables + / - de la batería a las regletas correspondientes del regulador.

A continuación, se conectarán, los tres cables del aerogenerador. La bajada del aerogenerador es trifásica y alterna, con lo cual en estas 3 conexiones no importa la polaridad.

Con el fin de minimizar pérdidas eléctricas, la distancia entre el aerogenerador y el cuadro de regulación deberá ser la menor posible, sin superar en ningún caso los cien metros. El cuadro de regulación, baterías y posible convertidor deberán estar colocados en un punto centralizado próximo al consumo, y lo más próximo posible entre ellos.

La instalación del cuadro de regulación ha de ser suspendido sobre la pared a una distancia del suelo de aproximadamente 1,5 m, y lo suficientemente alejado de las baterías para evitar que los gases que estas producen entren en contacto directo con él. La distancia mínima será de 50 cm.

5.2 Instrucciones de uso del Sistema Mixto

5.2.1 Operación diurna

Durante el día el módulo fotovoltaico y el aerogenerador generan energía eléctrica, la cual es conducida hacia las baterías y estas a su vez alimentan las cargas. Los reguladores manejarán toda la operación, los cuales indicarán el estado de carga de las baterías, la potencia recibida, la corriente generada, etc. Para días en los cuales el nivel de carga de las baterías no sea suficiente, será necesario utilizar un generador electrógeno para evitar a toda costa, una alta profundidad de descarga en las baterías.

Ahora bien, ya que la potencia que puede entregar el sistema está limitada por el inversor (1 500 W), es necesario no sobrepasar este valor, para lo cual se recomienda adaptar el perfil de consumo descrito en el Apartado 4.2.3. Si bien, no se trata de imponer tendencias de consumo, si se deben de adoptar hábitos que disminuirían la probabilidad de fallo del sistema.

5.2.2 Operación nocturna

Durante la noche los reguladores detectan que no existe generación del módulo fotovoltaico y abre el circuito Panel-Batería, con esto se elimina un posible regreso de energía. Mientras tanto, el aerogenerador sigue con su producción a lo largo de las 24 horas del día, aprovechando los incrementos en la velocidad del viento por horas de la noche.

Se recomienda la utilización de la iluminación en los horarios planteados en el nivel perfil de consumo, para una utilización adecuada de los elementos de acumulación.

5.2.3 Corte por alto voltaje

Los reguladores tienen preestablecido un voltaje de máxima carga en las baterías, cuando estas lleguen al voltaje máximo, el regulador censa y desconecta el circuito Panel-Batería. Después de un tiempo el voltaje de la batería tiende a disminuir, cuando este voltaje es igual al de conexión de recarga el regulador vuelve a cerrar el circuito.

Este proceso suele repetirse varias veces durante días soleados. En este estado siempre existe disponibilidad de energía para las aplicaciones.

5.2.4 Corte por bajo voltaje

Normalmente ocurre cuando se presentan varios días nublados continuos. Las aplicaciones siguen activas, el sistema fotovoltaico no es capaz de generar energía suficiente, y el voltaje de la batería tiende a disminuir, cuando este llega al voltaje mínimo preestablecido en el regulador, se abre el circuito Batería-Carga, desactivando todos los aparatos que en ese momento se encuentran conectados. Con esto se evitan daños irreversibles a la batería. Cuando se vuelve a tener un día soleado el voltaje en la batería se recupera hasta llegar al voltaje de reconexión de carga, en este estado nuevamente se cuenta con energía disponible para las aplicaciones.

5.2.5 Operación del Aerogenerador

El aerogenerador, luego de su instalación comienza a brindar potencia de acuerdo a la curva de potencia que describe el equipo (siempre y cuando no se encuentre frenado eléctricamente). Una notable ventaja de los aerogeneradores de pequeña potencia, es que pueden girar libremente para aprovechar cualquier dirección de viento.

Además, cuenta con la protección de sistema automático de frenado como protección ante altos regímenes de velocidad (ver Figura 43).



Figura 43: Sistema de frenado automático del aerogenerador.

5.3 Mantenimiento del Sistema Mixto

Para el servicio de mantenimiento de la instalación, ha de brindarse a cada sistema por separado algunos procedimientos descritos a continuación:

5.3.1 Mantenimiento de los Módulos Fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión aisladas del ambiente exterior por capas de material protector.

El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

- Limpieza periódica del módulo.
- Inspección visual de posibles degradaciones internas de la estanqueidad del módulo.
- Control del estado de las conexiones eléctricas y del cableado.
- Eventualmente, control de las características eléctricas del módulo.

5.3.1.1 Limpieza periódica del módulo

La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del módulo reduce el rendimiento del mismo y puede producir efectos de inversión similares a los producidos por sombras. El problema puede llegar a ser serio en el caso de los residuos industriales y los procedentes de las aves. La intensidad del efecto depende de la opacidad del residuo. Las capas de polvo que reducen la intensidad del sol de forma uniforme no son peligrosas y la reducción de la potencia no suele ser significativa. La periodicidad del proceso de limpieza depende, lógicamente, de la intensidad del proceso de ensuciamiento. En el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos instalando

pequeñas antenas elásticas en la parte alta del módulo, que impida a éstas posarse.

La acción de la lluvia puede en muchos casos reducir al mínimo o eliminar la necesidad de la limpieza de los módulos. La operación de limpieza debe ser realizada en general por el propio usuario y consiste simplemente en el lavado de los módulos con agua y algún detergente no abrasivo, procurando evitar que el agua se acumule sobre el módulo. No es aceptable en ningún caso utilizar mangueras a presión.

5.3.1.2 Inspección visual del módulo

La inspección visual del módulo tiene por objeto detectar posibles fallos, concretamente:

- Posible rotura del cristal.
- Oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas: normalmente son debidas a entrada de humedad en el módulo por rotura de las capas de encapsulado durante la instalación o transporte.

5.3.1.3 Control de conexiones y cableado

Cada 6 meses realizar un mantenimiento preventivo efectuando las siguientes operaciones:

- Comprobación del apriete y estado de los terminales de los cables de conexionado de los módulos.
- Comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales.

En caso de observarse fallos de estanqueidad, se procederá a la sustitución de los elementos afectados y a la limpieza de los terminales. Es importante cuidar el sellado de la caja de terminales, utilizando, según el caso, juntas nuevas o un sellado de silicona.

5.3.1.4 Otras Tareas de Mantenimiento para el sistema fotovoltaico

- Verificar que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones. En caso de detectar anomalías, contacte al personal especializado.
- Verificar que la estructura de soporte esté en buenas condiciones. En caso de que esta no se encuentre protegida contra la intemperie (es decir, que no sea de aluminio, acero inoxidable o galvanizado), dar tratamiento con pintura anti-oxidante.
- Podar sistemáticamente los árboles que puedan provocar sombra en el panel solar fotovoltaico. No colocar objetos cercanos que puedan dar sombra, como los tanques de agua y las antenas. En el caso de los árboles se debe prever su poda cuando sea necesario.
- Nunca trate de limpiar suciedades en la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico con objetos cortantes o punzantes que puedan dañarlo.

5.3.2 Mantenimiento del Aerogenerador

Para el modelo Inclin 600 de Bornay, se recomienda aplicar los siguientes consejos de mantenimiento al aerogenerador:

5.3.2.1 Tras su instalación

Transcurrido 1 mes desde la instalación del aerogenerador, se recomienda, reapretar toda la tornillería del aerogenerador.

5.3.2.2 Permanente

Cada 6 meses, y a ser posible en los cambios de estación, se recomienda realizar una inspección de mantenimiento en la cual se deben de revisar los siguientes puntos:

- Revisar y reapretar todos los tornillos.
- Comprobar el estado de los cables.
- Inspección visual de las hélices.
- Revisión del sistema de frenado automático, accionando este manualmente.

Las partes principales del aerogenerador a la hora de realizar las inspecciones de mantenimiento son:

Rodamientos

El aerogenerador está equipado con rodamientos blindados de gran calidad que no necesitan mantenimiento.

Tornillería

Toda la tornillería es de acero inoxidable. Ante la falta de cualquier tornillo en una revisión de mantenimiento, reemplazarlo inmediatamente antes de que pueda producir daños mayores.

Cableado

Comprobar el estado de las uniones y empalmes, así como regletas de conexiones que haya, para evitar que pueda desconectarse y dejar el aerogenerador funcionando libremente.

Hélices

Las hélices de fibra de vidrio / carbono, llevan en el borde de ataque una cinta protectora de poliuretano abrasivo. Esta cinta con el paso del tiempo puede verse afectada por las condiciones climatológicas.

En caso de falta total ó parcial de la cinta, acuda a su instalador y reemplace la cinta. En caso contrario, la erosión y cambios climáticos incidirán directamente sobre la hélice, reduciendo su vida útil.

Amortiguador

El aerogenerador lleva instalados 2 amortiguadores hidráulicos que permiten el frenado rápido, y su vuelta a la posición normal lenta, evitando golpes bruscos.

El amortiguador tiene una pequeña holgura al principio de su retroceso que es normal, si su holgura fuera mayor de la mitad del recorrido y se observan pérdidas de aceite, habría que sustituir los amortiguadores por unos nuevos.

Engrase

El aerogenerador Inclín, consta de 3 partes móviles:

1. El eje delantero (hélice-alternador), provisto de rodamientos blindados y recubiertos totalmente con una grasa de por vida. No precisan engrase.
2. El eje de orientación (aerogenerador-torre), provisto con rodamientos blindados. No precisan engrase.

3. El eje de inclinación (alternador-giratoria), es un casquillo de acero inoxidable / bronce engrasado de por vida.

5.3.3 Mantenimiento del Banco de Baterías

El mantenimiento básico de la batería de acumulación comprende las siguientes tareas:

- Verificar que el local de ubicación de las baterías de acumulación esté bien ventilado y que las baterías se encuentren protegidas de los rayos solares.
- Mantener el nivel del electrolito en los límites adecuados (adicionar solamente agua destilada cuando sea necesario para reponer las pérdidas ocasionadas durante el gaseo). Se recomienda, en la práctica, que siempre el electrolito cubra totalmente las placas, entre 10 y 12 mm por encima del borde superior. En caso de que la caja exterior de la batería de acumulación sea transparente y posea límites de nivel del electrolito, este se situará entre los límites máximo y mínimo marcados por el fabricante.
- Limpie la cubierta superior de la batería y proteja los bornes de conexión con grasa antioxidante para evitar la sulfatación.
- Verificar que los bornes de conexión estén bien apretados.
- Verificar que el uso de las baterías sea el adecuado y que su estructura de soporte esté segura y en buen estado.

5.3.4 Mantenimiento del Regulador de Carga

- Mantener el regulador de carga colocado en posición correcta, lugar limpio, seco y protegido de los rayos solares.
- Revisar el funcionamiento correcto del controlador de carga. Si detecta ruidos anormales, contacte al personal especializado.
- Verificar que las conexiones estén correctas y bien apretadas.
- Revisar que el fusible de entrada esté en buen estado.
- En caso de que el controlador de carga no funcione, contactar inmediatamente con el personal especializado.

5.3.5 Mantenimiento del Inversor

- Verificar que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y bien ventilada.
- Verificar que el inversor esté protegido de los rayos solares.
- Comprobar que el inversor funcione adecuadamente y que no se produzcan ruidos extraños dentro de él. En caso de que la operación sea defectuosa o no funcione, contactar al personal especializado.

5.3.6 Mantenimiento de Equipos Varios y Cableado

- Verificar que todos los empalmes y conexiones estén fuertemente apretados para evitar falsos contactos, y protegerlos adecuadamente con cinta aislante.
- Limpiar regularmente el tubo fluorescente y la cubierta protectora de las lámparas (en caso que la posea), a fin de obtener un mayor nivel de iluminación.
- Si un componente del sistema no funciona adecuadamente y su solución está fuera de las acciones que se han establecido en el manual básico, contactar inmediatamente con el personal especializado. No acudir personas no autorizadas ni tratar por su propia cuenta de solucionar el problema. Con esta medida se evitan accidentes y daños a la instalación.

5.3.6.1 Recomendaciones y consejos útiles

- Desconectar los equipos en los días de tormentas eléctricas fuertes y ciclones para evitar que una descarga atmosférica pueda averiarlos.
- No conectar al sistema equipos electrodomésticos o de otro tipo que no hayan sido considerados en el diseño, sin consultar a los especialistas, ya que una sobrecarga por consumo excesivo puede provocar su mal funcionamiento.
- No permitir ampliar el consumo sin consultarlo previamente con un especialista
- No conectar equipos de potencia superior a la del inversor CD/CA, pues esta sobrecarga puede dañarlo.

- Almacenar el agua destilada en recipientes plásticos o de cristal; siempre que se vaya a añadir agua destilada a la batería de acumulación, usar también embudo de plástico o cristal (en ningún caso emplear recipientes metálicos).
- Una vía para recolectar agua destilada es en los días de lluvia. Una vez que comience a llover, espere de 10 a 15 minutos y luego coloque un recipiente abierto, de plástico o cristal, al aire libre. Nunca recolectar agua de techos, canaletas y otros medios.
- No utilizar, en sustitución del agua destilada para rellenar la batería de acumulación, agua de río, hervida u otro tipo que no sea la recomendada, ya que esto daña la vida útil de la batería de acumulación.
- Revisar regularmente los indicadores lumínicos del controlador de carga y en caso de notar que alguno de ellos no enciende, contactar inmediatamente al personal especializado.
- Si alguna lámpara no enciende y el tubo fluorescente no está fundido ni defectuoso, revisar tanto el fusible (si lo tiene) como el interruptor. Si alguno está defectuoso, reemplazarlo por otro.
- Realizar periódicamente las tareas de mantenimiento al aerogenerador.
- Recordar siempre que en los sistemas aislados, como la energía es limitada, se hace mucho más necesario el ahorro al máximo. Por tanto, no mantener luces o equipos encendidos innecesariamente.

5.4 Normas de Seguridad

La batería de acumulación es el elemento del sistema mixto que representa mayor peligro para cualquier persona necesitada de manipularla (aunque sea para un mantenimiento básico), tanto por sus características eléctricas como por las químicas. A continuación se exponen los riesgos fundamentales que pueden ocurrir, así como algunas recomendaciones y consideraciones que deben tenerse en cuenta para evitar accidentes.

5.4.1.1 Riesgos del electrolito

El electrolito utilizado en las baterías de acumulación de plomo-ácido (comúnmente usadas en estos sistemas) es ácido diluido, el cual puede causar irritación e incluso quemaduras al contacto con la piel y los ojos.

El contacto accidental de los bornes con una herramienta metálica puede provocar una chispa que haría explotar el hidrógeno que desprenden las baterías durante el proceso de carga.

Los procedimientos siguientes se indican para evitar daños personales o disminuir sus efectos:

Si por alguna razón el electrolito hace contacto con los ojos se deben enjuagar inmediatamente con abundante agua durante un minuto, manteniendo los ojos abiertos. Si el contacto es con la piel, lave inmediatamente con abundante agua la zona afectada. En ambos casos, después de esta primera acción neutralizadora, solicite rápidamente atención médica.

Riesgos eléctricos

- La batería de acumulación puede presentar riesgos de cortocircuitos. Se recomienda al manipularlas observar las siguientes reglas:
- Quitarse relojes, anillos, cadenas u otros objetos metálicos de adorno personal que pudieran entrar en contacto accidentalmente con los bornes de la batería de acumulación.
- Siempre que se necesite, usar herramientas con mangos aislados eléctricamente.

Riesgos de incendio

Las baterías de acumulación presentan riesgos de explosión y por consiguiente de incendio, debido a que generan gas hidrógeno. Se recomienda lo siguiente:

- Proporcionar una buena ventilación en el lugar de ubicación de la batería de acumulación para evitar acumulación de gases explosivos.
- No fumar en el área donde está ubicada la batería de acumulación ni prenda chispas para observar el nivel del electrolito.
- Mantener el área de la batería de acumulación fuera del alcance de llamas, chispas y cualquier otra fuente que pueda provocar incendio.
- No provocar chispas poniendo en cortocircuito la batería para comprobar su estado de carga, pues también puede provocar explosión.

6 Presupuesto del Proyecto

Para poder llevarse a cabo este proyecto, primero ha de evaluarse con otras propuestas de electrificación en base al costo total de implementación. Pero cabe recalcar que al tratarse de una propuesta que involucra energías renovables y autóctonas, su aceptación no debe de enmarcarse dentro de límites económicos.

Los proyectos para cooperación al desarrollo promovidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en materia de energía apoyan la reforma de las políticas gubernamentales y ayudan a proporcionar nuevas tecnologías para fuentes de energía renovables de costo asequible. Un proyecto piloto de energía renovable para comunidades pobres y remotas de Centroamérica conectó a 100.000 familias rurales pobres que utilizan fuentes de energía solar, de biomasa, de energía hidroeléctrica en pequeña escala y otras fuentes renovables. En su próxima etapa, este proyecto del PNUD llevará el suministro de energía eléctrica a 2 millones de familias pobres de Centroamérica que no están conectadas a una red de distribución de energía.¹⁰

Por lo que la implementación del presente proyecto, queda en un marco de facilidades gracias a la cooperación de diversas entidades y ONG's dispuestas a la colaboración para la ayuda al desarrollo de comunidades que carecen del recurso energético, como lo es el caso de La Laguna en El Salvador.

6.1 Presupuesto del Proyecto

A continuación se presenta el presupuesto de implementación del proyecto:

¹⁰ Naciones Unidas – Informe Anual del PNUD. Energía y Medio Ambiente.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€)	Total (€)	Total (Dólares*)
A	Sistema Solar Fotovoltaico				
1	Módulos Fotovoltaicos Modelo IS 150 - 24	22	1200.00	26400.00	34320.00
2	Estructuras Soporte	4	400	1600.00	2080.00
3	Cableado Carrete de 150 metros	1	75.00	75.00	97.50
4	Reguladores ISOLER 30	4	112.29	449.16	583.908
5	Instalación	1	1000.00	1000.00	1300
B	Sistema Eólico de Pequeña Potencia				
6	Aerogenerador Inclín 600 de Bornay	1	2525.4	2525.40	3283.02
7	Cables para regulador y baterías (20 m)	1	50.00	50.00	65
8	Regulador del Aerogenerador para Inclín 600 a 24 V	1	435.00	435.00	565.5
9	Instalación	1	500.00	500.00	650
C	Baterías				
10	Baterías Pb-Sb 2.AT.3753	12	915.00	10980.00	14274
11	Estructura	1	500.00	500.00	650
12	Cables de Conexión 5 metros	1	30.00	30.00	39
13	Cargador de Baterías a 24 V y 75 A SKYLLA 24/75	1	2220.00	2220.00	2886
D	Adaptación de la Corriente del Sistema				
14	ISOVERTER 1500/24V 12 1500 1.044	1	1044.22	1044.29	1357.577
15	Protecciones para Inversor	1	100.00	100.00	130
E	Instalación Eléctrica y Luminarias				
16	Cables de Conexión Carrete de 2000 m	1	400.00	400.00	520
17	Luminarias para interiores de 15 W	56	5.00	280.00	364
18	Luminarias para exteriores de 20 W	4	8.00	32.00	41.6
19	Protecciones Térmicas	20	10.00	200.00	260
20	Toma Corrientes	20	2.00	40.00	52
21	Luminarias con Interruptores	60	3.00	180.00	234
	Mano de Obra				
22	Instalación Eléctrica y de otros elementos de protección en el sistema	1	1000.00	1000.00	1300
F	Equipos de Consumo				
23	Adquisición de Equipos por cuenta de la comunidad	-	-	-	-
G	Obra Civil				
24	Obra Civil por cuenta de la comunidad	-	-	-	-
Total				50,040.85	65,053.11
Otros (5 % Imprevistos)				2,502.04	3,252.66
TOTAL				€ 52,542.89	\$ 68,305.76

*Tasa de cambio: 1 Euro = 1.3 Dólares.

7 Esquemas de la Instalación

Se facilitan a continuación, una serie de esquemas que facilitarán la comprensión de los equipos a instalar:

7.1 Esquemas de la Comunidad

La distribución de energía en la comunidad se esquematiza de la siguiente manera:

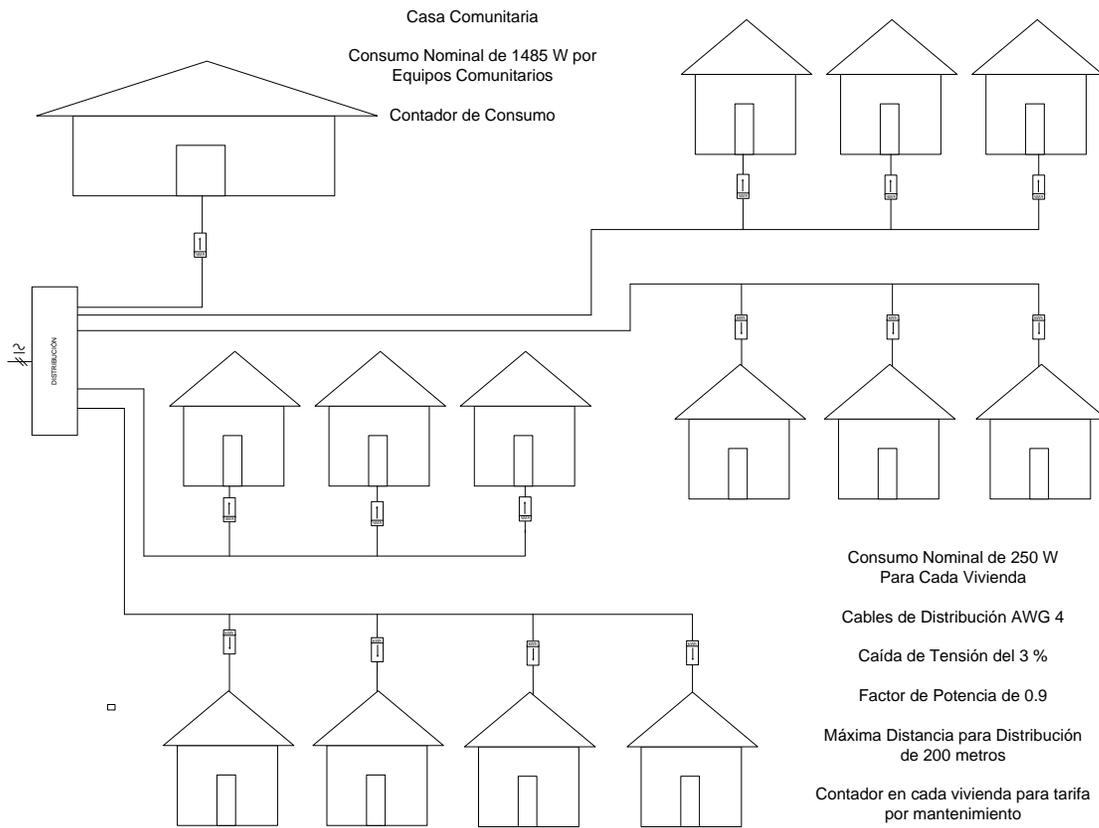


Figura 44: Esquema de Distribución de Electricidad en la Comunidad.

7.2 Esquema de Conexión del Sistema Mixto

A continuación se presenta la instalación a realizar:

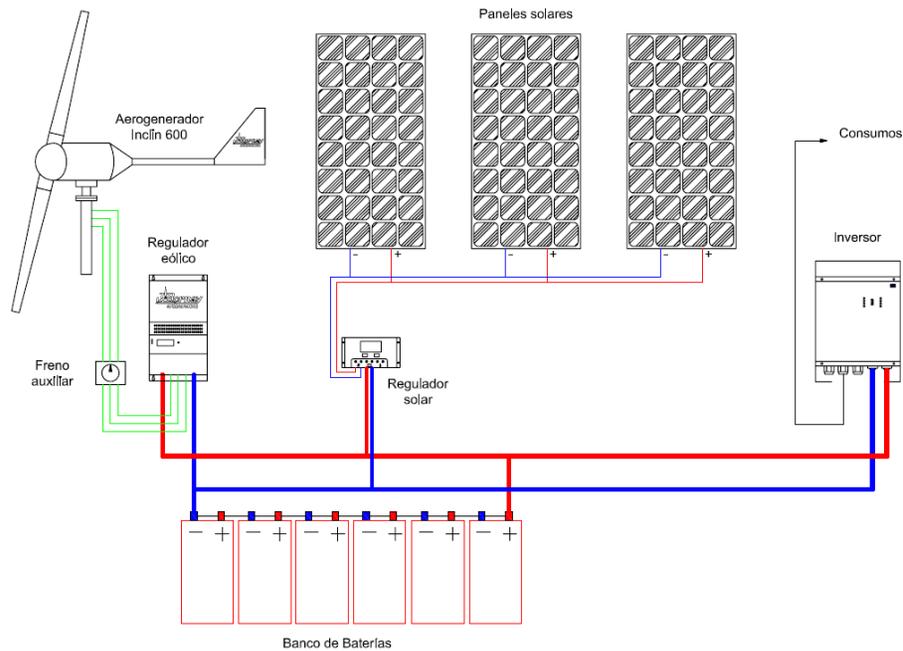


Figura 45: Esquema de Conexión de un Sistema Mixto. Fuente: Bornay.

7.2.1 Conexión del Banco de Baterías

Para obtener la tensión de trabajo (24 V), es necesario realizar la siguiente interconexión del banco baterías:

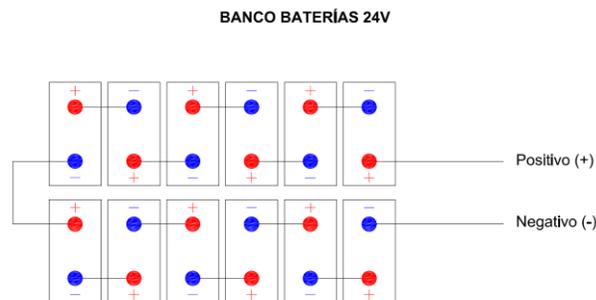


Figura 46: Interconexión del banco de baterías a 24V. Fuente: Bornay.

7.3 Diagrama Unifilar de la Instalación

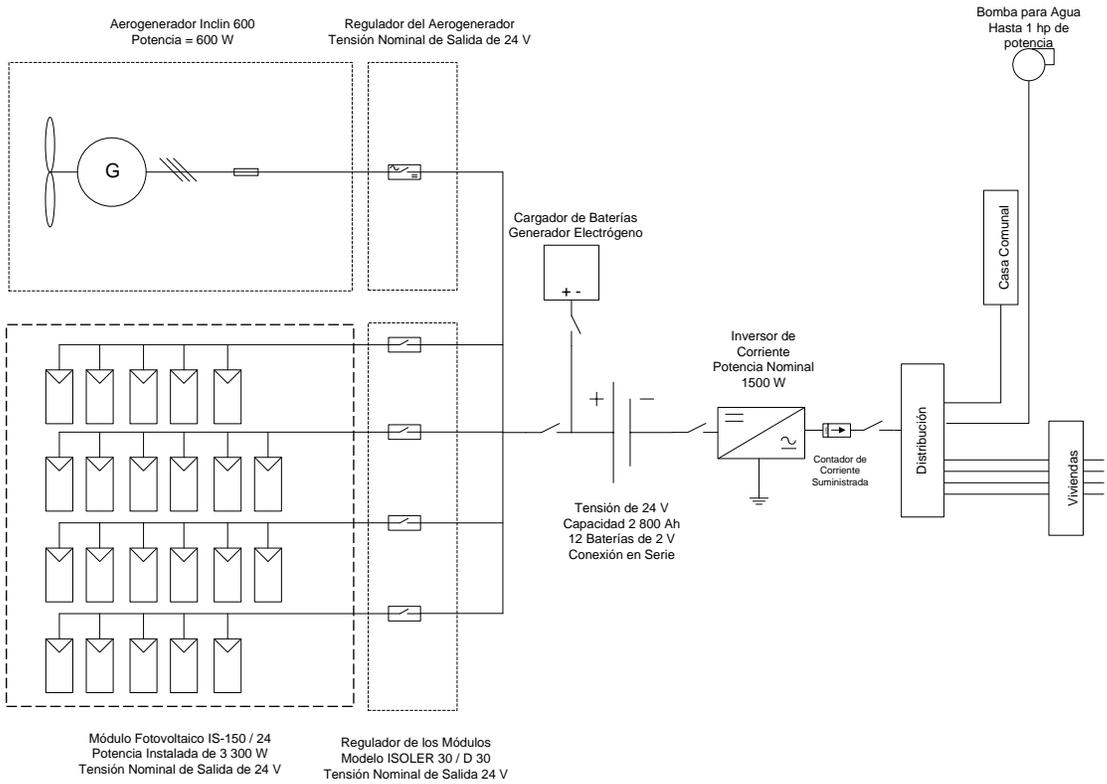


Figura 47: Diagrama Unifilar del Sistema Mixto Solar - Eólico.

SIMBOLOGÍA

Símbolo	Significado
A	Amperio
CA	Corriente Alterna
CD	Corriente Directa
HSP	Hora Solar Pico
I	Intensidad (Corriente)
kWh	Kilovatio hora
kWh / m ²	Kilovatio hora por metro
m /s	Metros por segundo
m ²	Metro cuadrado
mm	Milímetros
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
MW	Mega vatios
°C	Grados Centígrados
ppm	Partes por millón
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
TW	1 x 10 ¹² Vatios
V	Voltaje
W / m ²	Vatios por metro cuadrado
Wh	Vatios por hora
Wp	Vatio pico

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

1. *"Fotovoltaica para Profesionales. Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas"*
Autores: Falk Anthony, Christian Dürschner y Karl-Heinz Remmers.
Grupo Editorial PROGENSA. Primera Edición. Año 2006.
2. *"Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo"*
Ingeniería Sin Fronteras.
Editorial IEPALA. Año 1999.
3. *"Empresa y Energías Renovables"*
Autores: Pepa Mosquera Martínez y Luis Merino Ruesga.
Editorial Fundación CONFEMETAL. Año 2006.
4. *"Energía Eólica Práctica. Una guía para instalación y uso de pequeños sistemas eólicos"*
Autor: Paul Gipe.
Grupo Editorial PROGENSA. Primera Edición (Lengua Castellana). Año 2000.
5. *"Manual de Energía Eólica"*
Autor: J.M. Escudero López.
Ediciones Mundi-Prensa. Año 2004.
6. *"Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica"*
Autores: J. L. Rodríguez Amenedo, J. C. Burgos Díaz y S. Arnalte Gómez.
Editorial Rueda SL. Año 2003.
7. *"Diseño de Máquinas Eólicas de Pequeña Potencia"*
Autor: Mario A. Rosato.
Editorial PROGENSA. Primera Edición. Año 1991.
8. *"CONOCER, La Ciencia. Historia y Vida"*
Prisma Publicaciones.
Número 5. Año 2002.
9. *"Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida"*
Autor: Isidro Elvis Pereda Soto.
Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería. Año 2005.
10. *"Sistemas de Energía Fotovoltaica. Manual del Instalador"*
Colectivo.
Grupo Editorial PROGENSA. Primera Edición. Año 2002.
11. *"Energía Solar Fotovoltaica"*
Autor: M. Carlos Tobajas Vázquez.
Ediciones CEYSA. Segunda Edición. Año 2005.
12. *"Electrotecnia"*
Autor: José García Trasancos.
Editorial Thomson-Parininfo. Novena Edición. Año 2006.

REFERENCIAS

Revistas Electrónicas:

"Electrificación con Base a Recursos Renovables".

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Transénergie.

"Plan Estratégico Participativo con Equidad de Género. 2004 – 2008. Municipio Las Vueltas"

Paz y Tierra. COSUDE – AOS – CORDES – CCR

"Informe Anual del PNUD 2001"

Energía y Medio Ambiente. Naciones Unidas.

<http://www.undp.org>

"Energías Renovables 2004 - Energía Solar".

Dirección Nacional de Promoción. Subsecretaría de Energía Eléctrica. Secretaría de Energía. República Argentina.

<http://energia.mecon.gov.ar>

"Sinopsis Energética / Información Complementaria".

Centro de Estudios Energéticos y Medioambientales. C.E.E.M.

www.ceem.org.ar

Sitios Web:

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

<http://www.snet.gob.sv/>

Visita: 7 noviembre de 2006.

Néfer Muñoz. "Promueven energía eólica en América Central".

Tierramérica.

<http://www.tierramerica.net>

Visita: 7 de noviembre de 2006.

Radiación Solar. Cursolar.

<http://solar.ujaen.es/>

Visita: 1 de septiembre de 2006.

Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

<http://swera.unep.net>

Visita: 1 de septiembre de 2006.

Patricia Pizarro de Oro. "Energía Solar: Inagotable y Versátil".

Energía y Sostenibilidad. Madrid.

<http://weblogs.madrimasd.org/energiasalternativas/archive/2006/02/01/12800.aspx>

Visita: 21 de agosto de 2006.

Naciones Unidas - Centro de Información. "Agua, energía y recursos naturales".

http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/energia.htm#

Visita: 19 de agosto de 2006.

Débora Frid. "El hombre y la energía a lo largo de la historia".

http://www.leloir.org.ar/Espanol/Paginas/Ciencia%20joven/Energia_y_Vida/El_Hombre.htm

Visita: 19 de agosto de 2006.

ANEXOS

Anexo 1: Simulación por Ordenador.

Para obtener los datos de los recursos de la comunidad La Laguna, se procedió a realizar una simulación por ordenador, mediante la aplicación Meteonorm 5.1 (aplicación utilizada para la simulación de diversas situaciones climatológicas alrededor del mundo, según su base de datos propia). El software presenta la siguiente interfaz:

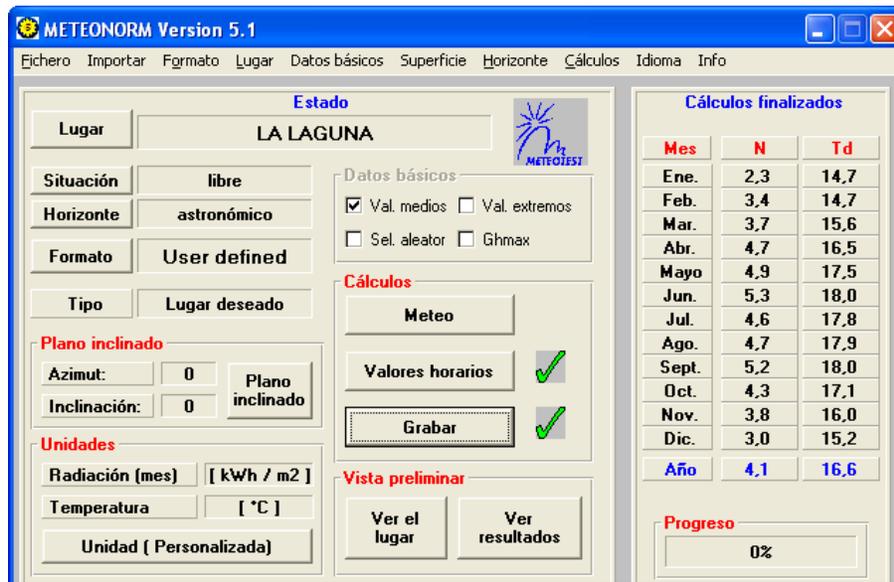


Figura 48: Ventana Principal de Meteonorm 5.1.

En la figura anterior, se presenta la captura en pantalla de la ventana principal de Meteonorm 5.1, con los resultados de la simulación para la ubicación de La Laguna. Se han utilizado como datos de entrada para la aplicación los siguientes valores:

Simulación en Meteonorm 5.1	
Ubicación	Sur América
Latitud	14° 51' Norte
Longitud	88° 53' Oeste
Altitud	826 m
Zona Horaria	GMT -6:00
Situación	Libre

Tabla 27: Datos de entrada para la simulación por ordenador.

En las siguientes capturas de pantalla, se presenta la ventana de selección del lugar, así como la interfaz para introducir los datos de ubicación específicos del lugar:

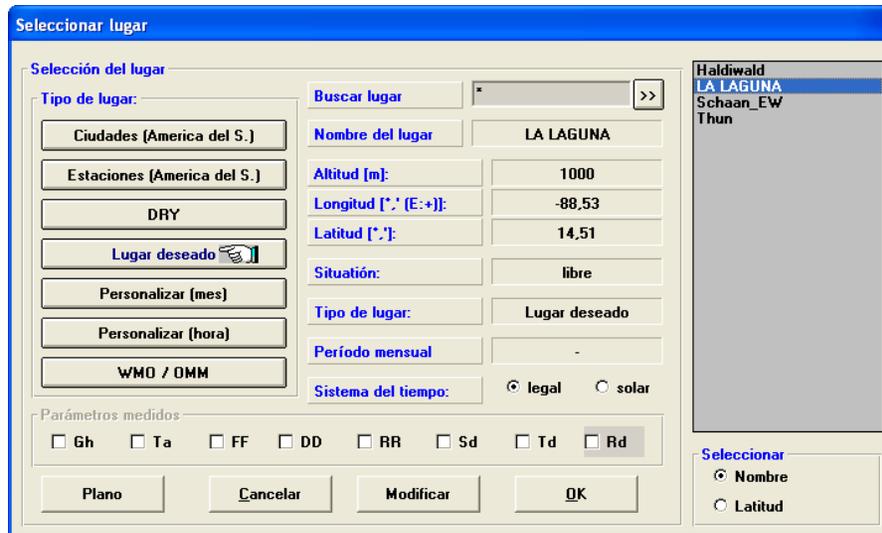


Figura 49: Interfaz de selección del lugar para la simulación.

Modificar el lugar

Editar

Buscar lugar: *

Nombre del lugar: LA LAGUNA

Altitud [m]: 1000

Coord. X [km]: 0

Coord. Y [km]: 0

Longitud [°, E: +]: 88,53

Latitud [°,]: 14,51

Uso horario: 6

Situación: libre

Tipo de lugar: Lugar deseado

Código: LA L

IZRM: -30

Continente: America del sur

Zona climática: 502

Sistema del tiempo: legal solar

Nuevo lugar

Grabar

Borrar

Cancelar

OK

Figura 50: Entrada de datos de ubicación.

Ya introducidos los datos de ubicación, se procede a realizar la simulación, estableciendo las variables de salida, así como las unidades deseadas, como se muestra en las siguientes capturas de pantalla:

Formato de salida personalizado

Hora

Año

Día del año

Hora del año

Hora del lugar

Radiación

Elevación solar

Radiación difusa horizontal

Radiación directa normal

Radiación global, superficie inclinada

Radiación difusa, superficie inclinada

Radiación onda larga, superficie horizontal

Radiación onda larga, superficie vertical

Radiación de onda larga emitida

Radiación global, refl.

Balance Radiación

Radiación extraterr.

Azimut solar

Luminancia global

Luminancia difusa

Radiación global recorrida

Radiación directa, horiz.

UVA global

Temp. / Humedad

Temperatura del punto de rocío

Temperatura del termómetro

Humedad relativa

Grado de nubosidad

Temperatura de la superficie

Mixing ratio

Precipitación

Driving rain [mm]

Viento / Presión atmosférica

Presión atmosférica

Unidad [Personalizada]

Cabecera

Separar

; . , Tab

Otros símbolos

Variable de salida

Hora

Día del mes

Mes

Radiación global horizontal

Temperatura del aire

Dirección del viento

Velocidad del viento

Cancelar

OK

Figura 51: Establecimiento de variables de salida deseada.

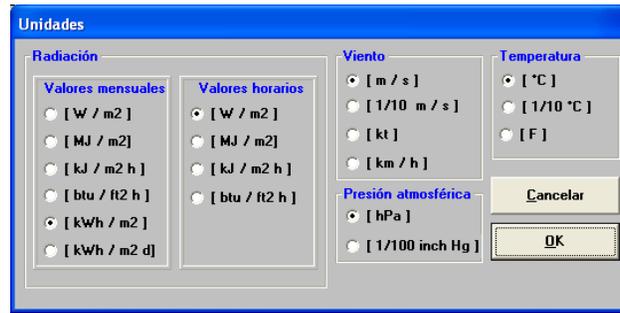


Figura 52: Unidades de salida deseadas.

Anexo 2: Consultores y Suplidores de Equipos en El Salvador:

TECNOSOLAR

Colonia Centroamérica, Calle San Salvador 417, San Salvador. El Salvador.

Teléfono: (503) 22 18 30 36, Telefax: (503) 22 60 55 47

E-mail: tecnosolar@integra.com.sv

Dirección Web: www.elsalvadorsolar.net

Distribuidor de ISOFOTON. Catálogo de módulos solares:

<http://www.isofoton.com/technicalhtml/secciones/productos/modulos.asp?idioma= esp>

SIEMENS

Calle Siemens # 43

Parque Industrial Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, San Salvador. El Salvador.

Tel.: (503) 22 78 3333

Fax: (503) 22 78 02 33

SERVICIOS SOLAR

Alameda Dr. Manuel Enrique Araujo Km. 5 Calle a Santa Tecla. Plantel
COGESA. San Salvador. El Salvador.

PBX: (503) 22 98 27 06

Fax: (503) 22 79 49 11

Anexo 3: Curvas de potencia para Aerogeneradores de la marca Bornay.
Fuente: Catálogo Inclín de Bornay.

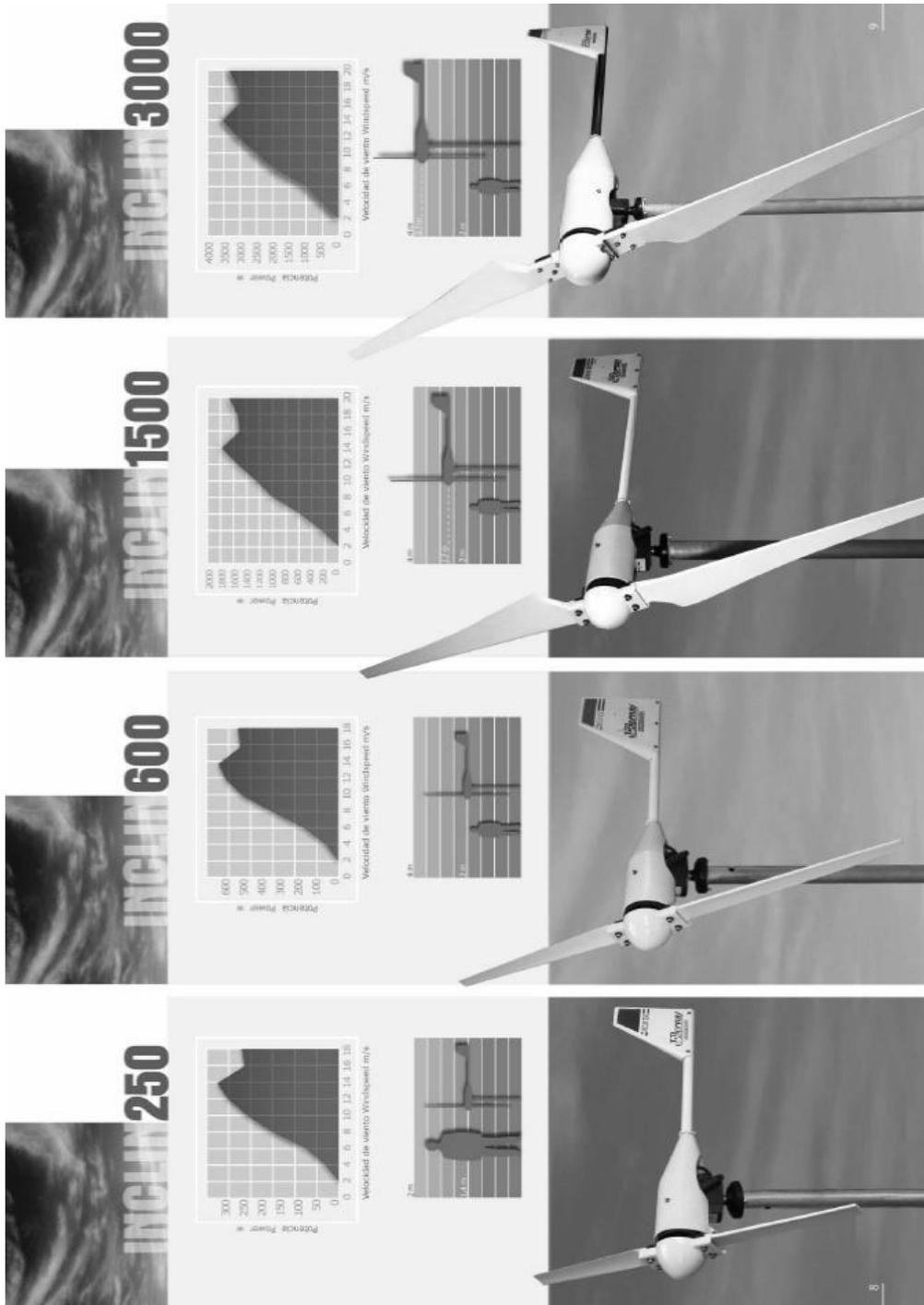
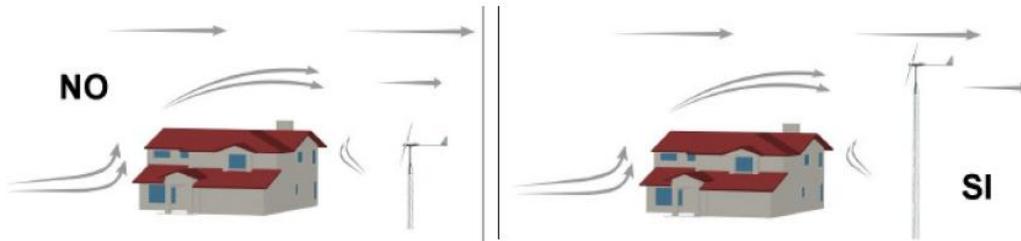


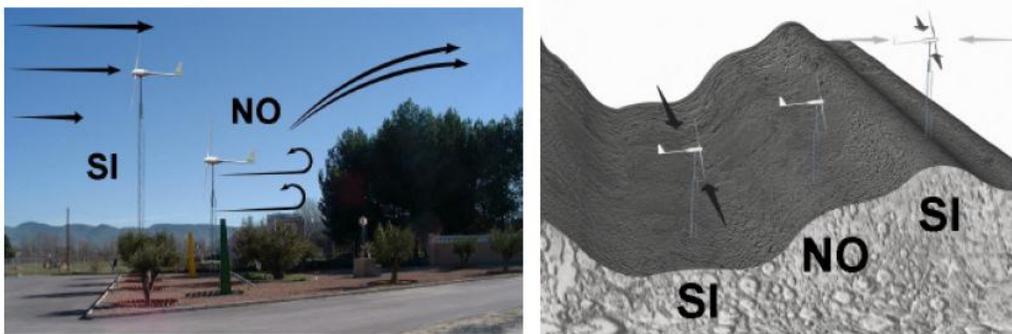
Figura 53: Aerogeneradores Bornay analizados para la selección. Fuente: Bornay.

Anexo 4: Influencia de obstáculos en el aerogenerador.

Influencia de obstáculos en el aerogenerador

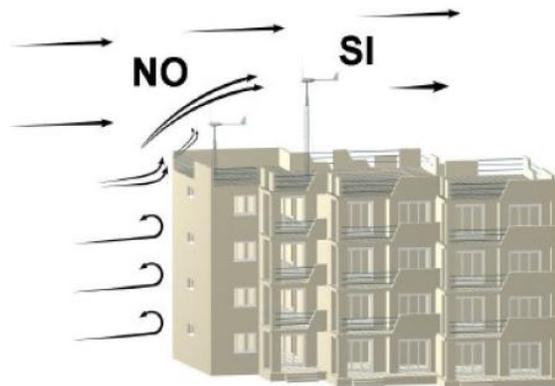


Como ya hemos visto anteriormente, el viento, al tropezar con obstáculos que encuentra en su camino, se frena y produce turbulencias. Un aerogenerador instalado en un lugar inadecuado se verá perjudicado por turbulencias y vientos flojos.



Para evitar reducir el rendimiento de su aerogenerador, instálelo lo más alejado posible del obstáculo y sobre una torre que eleve el molino por encima de este.

En el caso de encontrarse en un valle, instale su aerogenerador en la parte más baja, donde el viento se encuentra canalizado, o mejor, en la parte más alta, donde el aerogenerador será susceptible de captar el viento de cualquier dirección.



Anexo 5: Coeficientes para la conversión a toneladas equivalentes de petróleo.

COEFICIENTES DE PASO A TONELADAS EQUIVALENTES DE PETROLEO (tep)			
Valores estimados	(Tep/Tm)	Coeficientes recomendados por la AIE	Tep/Tm
CARBON:		PRODUCTOS PETROLIFEROS:	
Generación eléctrica:			
- Hulla + Antracita	0,4970	- Petróleo crudo	1,019
- Lignito negro	0,3188	- Condensados de Gas natural	1,080
- Lignito pardo	0,1762	- Gas de refinería	1,150
- Hulla importada	0,5810	- Fuel de refinería	0,960
Coquerías:		- G.L.P.	1,130
- Hulla	0,6915	- Gasolinas	1,070
Resto usos:		- Keroseno aviación	1,065
- Hulla	0,6095	- Keroseno agrícola y corriente	1,045
- Coque metalúrgico	0,7050	- Gasóleos	1,035
		- Fuel-oil	0,960
		- Naftas	1,075
		- Coque de petróleo	0,740
		- Otros productos	0,960
		GAS NATURAL (Tep/GCal P.C.S.)	0,090
		ELECTRICIDAD (Tep/Mwh)	0,086
		HIDRAULICA (Tep/Mwh)	0,086
		NUCLEAR (Tep/Mwh)	0,2606
PREFIJOS:	Mega (M): 10 ⁶	Giga (G): 10 ⁹	Tera (T): 10 ¹²

Anexo 6: Hojas Características de los diferentes equipos seleccionados para el Sistema Mixto Solar Fotovoltaico y Eólico de Pequeña Potencia.



MÓDULO FOTOVOLTAICO IS-150 / 24

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DIMENSIONES	1.590 x 790 x 39,5 mm
PESO	14,4 Kg
CONDICIONES DE EMBALAJE	4 módulos por caja
TAMAÑO CAJA EMBALAJE	1.720 x 910 x 230 mm

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (1.000 W / m², 25° C célula, AM 1.5)

POTENCIA MÁXIMA (P _{MÁX.})	150 Wp +/- 5%
CORRIENTE DE MÁXIMA POTENCIA (I _{MÁX.})	4,35 A
TENSIÓN DE MÁXIMA POTENCIA (V _{MÁX.})	34,6 V
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (I _{SC})	4,7 A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (V _{OC})	43,2 V
TONC (800 W / m ² , 20° C, AM 1.5, 1 m / s)	47° C
MÍNIMO VALOR DEL FUSIBLE EN SERIE	10 A
TENSIÓN MÁXIMA DEL SISTEMA	760 V



CAJA DE CONEXIÓN

MEDIDAS (LARGO X ANCHO X ALTURA)	100 x 110 x 30 mm
CAJAS DE CONEXIÓN	1 x IP 65 con diodo de bypass
TERMINAL DE CONEXIÓN	Bornera atornillable con posibilidad de soldadura
CABLES (*)	400 mm (+); 1.000 mm (-); 4 mm ²

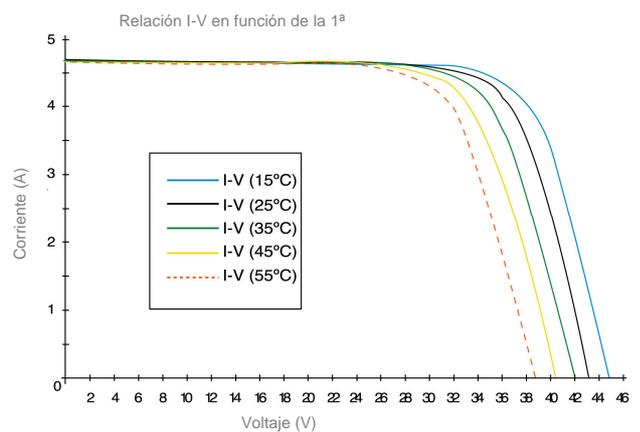
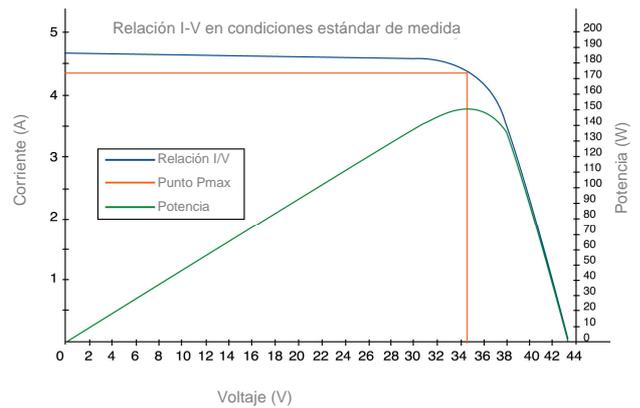


(*) Multicontact MC4 opcional. Medidas estándares. En caso de necesitarse otras medidas, por favor, póngase en contacto con Isofotón.

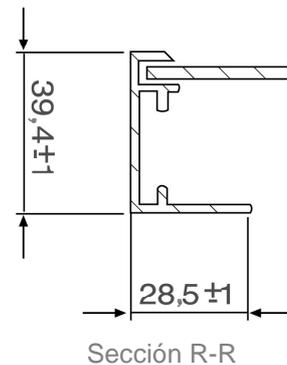
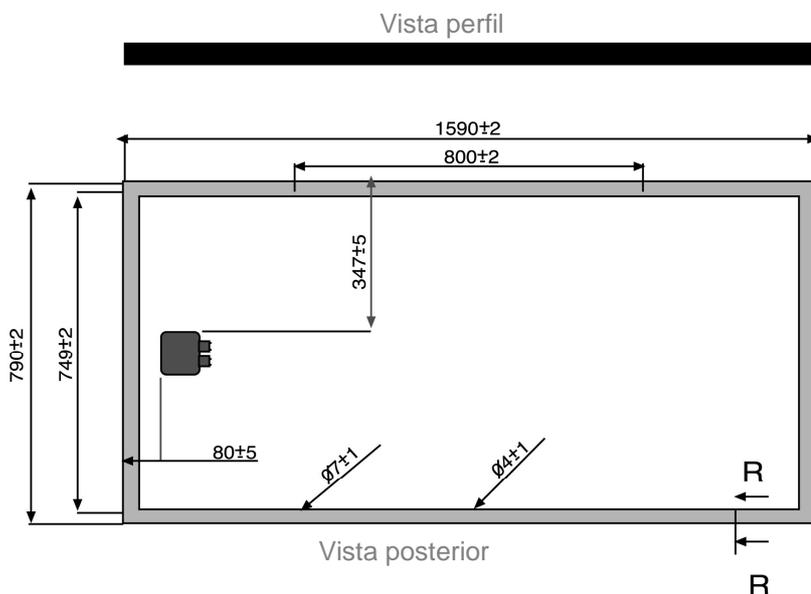
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

TIPO DE CÉLULA: SI MONOCRISTALINO, TEXTURADA Y CON CAPA ANTIRREFLEXIVA	125 x 125 mm
CONTACTOS	Contactos redundantes, múltiples, en cada célula
Nº DE CÉLULAS EN SERIE	72
Nº DE CÉLULAS EN PARALELO	1
LAMINADO	EVA (etilen – vinil acetato)
CARA POSTERIOR	Protegida con Tedlar de varias capas
CARA FRONTAL	Vidrio templado y microestructurado de alta transmisividad
MARCO	Aluminio anodizado
TOMA DE TIERRA	Sí
CERTIFICACIONES	IEC 61215, Clase II mediante certificado TÜV, CE

CURVAS



DIMENSIONES



• La cota longitudinal y transversal no incluye la proyección máxima de la cabeza de los remaches.

OBSERVACIONES

- Todos los módulos Isofotón están garantizados por 25 años (garantía de potencia). Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofoton.com
- Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso. Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofoton.com

Datos Técnicos

INCLIN 250 **600** 1500 neo 3000 neo 6000 neo

ROTOR:

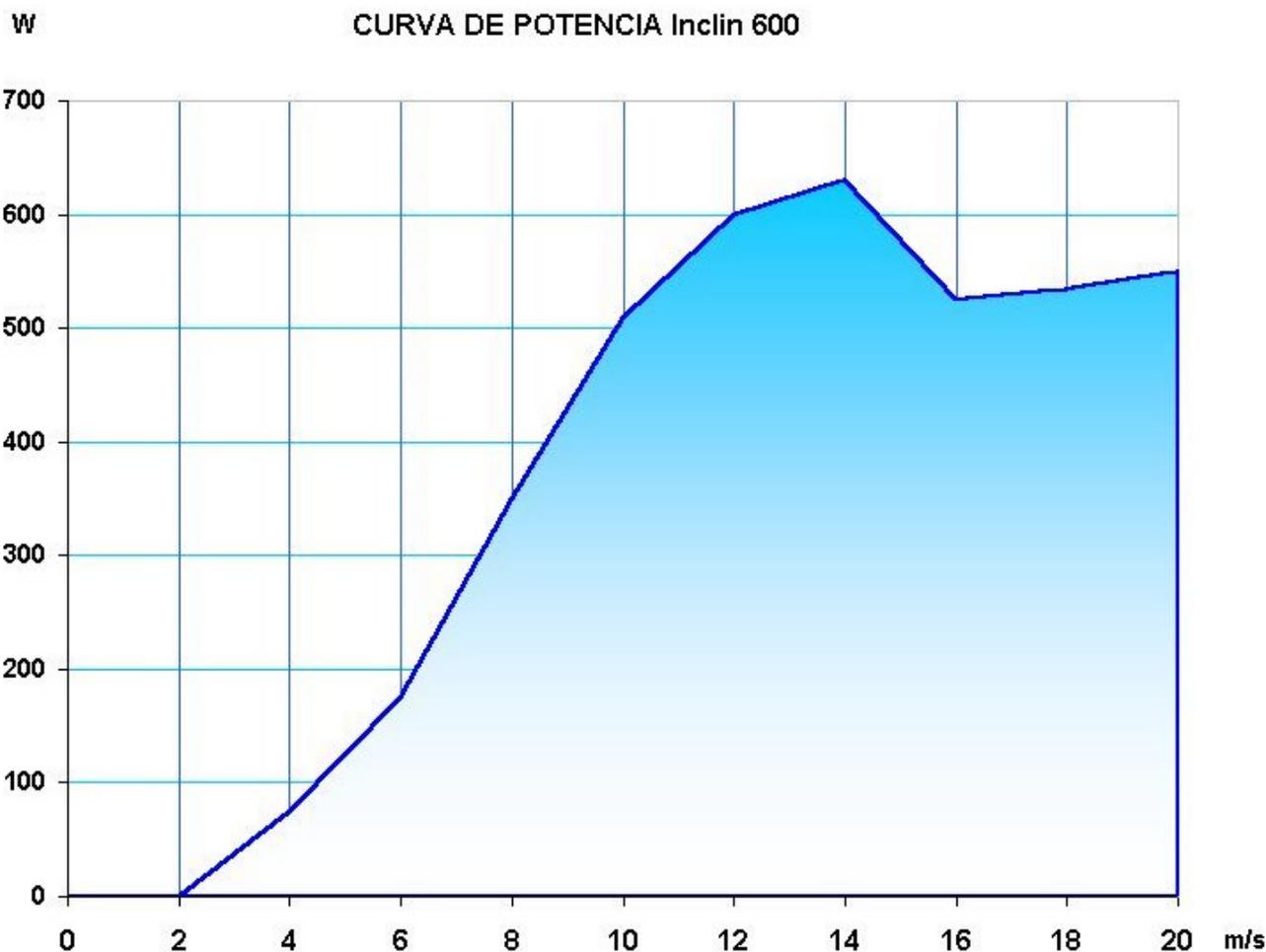
Nº DE HÉLICES	2	2	2	2	3
DIÁMETRO (m)	1,35	2	2,86	4	4
MATERIAL	Nylon	Fibra de vidrio / carbono			

SISTEMA ELÉCTRICO:

TIPO	Altenador trifásico de imanes permanentes				
IMANES	Ferrita		Neodimio		
POT. NOMINAL	250 W	600 W	1500 W	3000 W	6000 W
VOLTAJE (V)	12 / 24 / 48 v		24 / 48 / 120 / 300 v		48 / 300 v
Cuadro regulador y rectificador de Onda Completa y medidor de Voltios y Amperios					

FUNCIONAMIENTO: VELOCIDAD DEL VIENTO:

ARRANQUE	3 m/s	3'5 m/s	3'5 m/s	3'5 m/s	3'5 m/s
POT. NOMINAL	11 m/s	11 m/s	12 m/s	12 m/s	12 m/s
FRENO AUTOMA.	13 m/s	13 m/s	14 m/s	14 m/s	14 m/s



REGULADOR DOMÉSTICO ISOLER / ISOLER D

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

	ISOLER 10 / D 10	ISOLER 20 / D 20	ISOLER 30 / D 30
TENSIÓN NOMINAL	Bitensión: selección automática 12 / 24 V		
INTENSIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN	10 A	20 A	30 A
INTENSIDAD MÁXIMA DE CONSUMO	10 A	20 A	30 A
SOBRECARGA ADMISIBLE	25 %		
AUTOCONSUMO	< 40 mA		
PÉRDIDA MÁXIMA GENERACIÓN / CONSUMO	< 168 mv / 130 mV	< 253 mv / 190 mV	< 310 Mv / 230 mV

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

DIMENSIONES	156 x 157 x 26,9 mm
PESO	540 gr
CONDICIONES DE EMBALAJE	1 regulador por caja
TAMAÑO DEL EMBALAJE	215 x 185 x 50 mm
CAJA	Aluminio (base), chapa de acero (frontal)
PINTURA	Epoxi al horno
GRADO DE ESTANQUEIDAD	IP 32
MÁXIMA SECCIÓN DE CABLE ADMITIDA	6 mm ²



ALARMAS Y PROTECCIONES

ALARMAS LOCALES MEDIANTE LCD, LEDs Y ACÚSTICO (ISOLER D); LEDs Y ACÚSTICO (ISOLER)	Alta y baja tensión de batería, sobrecarga y cortocircuito, línea de sensing, sonda de temperatura, inversión polaridad
PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTE INVERSA DE BATERÍA	Mediante diodo inteligente tipo MOSFET
PROTECCIÓN CONTRA POLARIDAD INVERSA	Sí (líneas de generación, batería, consumo y sensing)
PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA	Sí, en línea de consumo y generación ($I > 25\%$ de I nominal)
PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO	Sí, instantánea (línea consumo)
PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	Sí, mediante varistores (líneas de generación, batería y consumo)
PROTECCIÓN CONTRA DESCONEXIÓN DE LÍNEA DE SENSING	Sí

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

TIPO DE REGULACIÓN	Serie controlada por microprocesador, con relé de estado sólido Funcionamiento ON / OFF o PWM mediante jumper interno
SELECCIÓN DE BATERÍA	AGM / SLI MOD / TUBULAR ABIERTA / TUBULAR GEL
LÍNEA DE SENSING DE BATERÍA	Sí
SELECCIÓN DE IDIOMA	Castellano / Inglés
SISTEMA DE REGULACIÓN	Carga profunda / flotación / igualación ⁽¹⁾
VISUALIZACIÓN DEL ESTADO DE CARGA	Profunda, flotación e igualación mediante LEDs y LCD (Isoler D); LEDs (Isoler)
COMPENSACIÓN POR TEMPERATURA	Sí, -2mV / °C / V (mediante sonda exterior)
DESCONEXIÓN DEL CONSUMO POR BAJA TENSIÓN	Sí (con rearme automático)
INDICADORES DE ESTADO DE CARGA	Batería llena, media y vacía
RELÉ CREPUSCULAR	Sí, configurable modo ON- OFF o ON- OFF- ON
PARÁMETROS EN LCD ALFANUMÉRICO	Tensión de batería, valores instantáneos de corrientes de generación y consumo, temperatura, Wh consumidos, etc.
TROPICALIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS	Sí
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	0 – 50° C a plena carga
REARME DESCONEXIÓN CORTOCIRCUITO / SOBRECARGA	Sí, reset manual

(1) La igualación está desactivada para baterías de electrolito gelificado.

OBSERVACIONES

- Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso. Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofoton.com

BATERÍA ABIERTA TUBULAR (OPzS)

AT

CARACTERÍSTICAS GENERALES

VIDA ÚTIL	8-10 años para aplicaciones FV
ESTÁNDARES	DIN 40736 (partes 1 y 2)
CERTIFICADOS	ISO 9001



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

PLACAS POSITIVAS	Tubulares con aleación Pb-Sb
PLACAS NEGATIVAS	Planas de rejilla con aleación Pb-Sb
SEPARADORES	Pasta y fibra
RECIPIENTE	SAN, resistente a impactos, transparente
ELECTROLITO	Ácido sulfúrico diluido d=1,24 Kg/l
BORNAS	Antifugas, reforzadas mediante cobre o latón
TORNILLERÍA DE CONEXIÓN	Acero resistente a la corrosión, M10
CONEXIONES	Cobre macizo y totalmente aisladas
TAPONES DE SEGURIDAD	Antideflagrantes y parácidos
CARGA	De acuerdo a normas DIN 41733, DIN 41774, DIN 41776, DIN 41777
TEMPERATURA DE UTILIZACIÓN	0-55 ° C (temperatura recomendada 20° C)



ESPECIFICACIONES

MODELO	Correspondencia DIN	Tensión (V)	Capacidad a 25° C (Ah)		Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso con ácido (Kg)
			10 h (1,8 V)	100 h (1,85 V)				
2.AT.240	-----	2	180	240	103	206	389	16.5
2.AT.295	4 OPzS 200	2	220	295	103	206	389	18.6
2.AT.361	5 OPzS 250	2	270	361	124	206	389	22
2.AT.433	6 OPzS 300	2	323	433	145	206	389	25
2.AT.519	5 OPzS 350	2	390	519	124	206	505	30
2.AT.627	6 OPzS 420	2	470	627	145	206	505	35
2.AT.731	7 OPzS 490	2	550	731	166	206	505	39.6
2.AT.900	6 OPzS 600	2	670	900	145	206	684	48
2.AT.1101	-----	2	800	1101	191	210	684	59
2.AT.1200	8 OPzS 800	2	900	1200	191	210	684	63
2.AT.1394	-----	2	1030	1394	233	210	684	74
2.AT.1500	10 OPzS 1000	2	1120	1500	233	210	684	78
2.AT.1799	12 OPzS 1200	2	1340	1799	275	210	684	92
2.AT.2300	12 OPzS 1500	2	1710	2300	275	210	684	115
2.AT.2600	-----	2	1940	2600	399	214	813	148
2.AT.3000	16 OPzS 2000	2	2240	3000	399	214	813	162
2.AT.3753	20 OPzS 2500	2	2800	3753	487	212	813	202
2.AT.4144	-----	2	3020	4144	487	212	813	212
2.AT.4505	24 OPzS 3000	2	3360	4505	576	212	813	239



OBSERVACIONES

- Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso. Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofoton.com



INVERSOR AUTÓNOMO ISOVERTER 1500

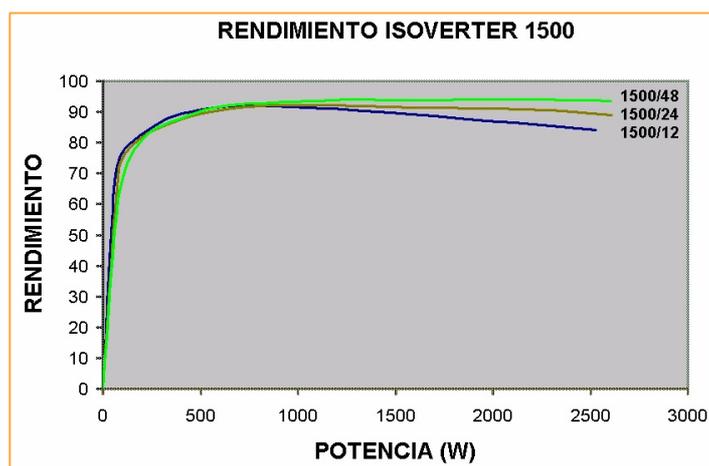
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

	ISOVERTER 1500 / 12	ISOVERTER 1500 / 24	ISOVERTER 1500 / 48
LARGO		400 mm	
ANCHO		210 mm	
PROFUNDO		115 mm	
PESO		5 Kg	
CONDICIONES DE EMBALAJE		1 inversor por caja	
TAMAÑO DEL EMBALAJE		600 x 350 x 255 mm	



ALARMAS Y PROTECCIONES

ALARMAS LOCALES MEDIANTE LCD, LEDs Y SEÑAL ACÚSTICA	Alta y baja tensión de batería, sobrecarga y cortocircuito, sobretemperatura, inversión de polaridad
PROTECCIÓN CONTRA POLARIDAD INVERSA	Sí, mediante diodo inteligente de bajas pérdidas
PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA	Sí, temporizada en función de la potencia demandada
PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO	Sí, temporizada (10 segundos)
PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENPERATURA	Sí
PROTECCIÓN CONTRA ALTA / BAJA TENSIÓN DE BATERÍA	Sí



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

	ISOVERTER 1500 / 12	ISOVERTER 1500 / 24	ISOVERTER 1500 / 48
FORMA DE ONDA DE SALIDA	Senoidal pura		
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	12 V	24 V	48 V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	10,8 - 16 V	21 - 32 V	40 - 62 V
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	1500 W		
TENSIÓN NOMINAL DE SALIDA	230 ó 120 V AC		
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA	≤ 5 %		
FRECUENCIA NOMINAL	50 / 60 Hz selectable por menú		
VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA	≤ 1 %		
RENDIMIENTO CON CARGA	Aproximadamente 90 %		
DISTORSIÓN ARMÓNICA CON CARGA RESISTIVA	≤ 2 %		
FUNCIONAMIENTO EN STAND-BY	Detección ajustable (cargas ≥ 11 W)		
POTENCIA PICO ADMISIBLE	1800 W (10 min.); 2000 W (60 seg.); 3000 W (3 seg.)		
AUTOCONSUMO	< 3 W		

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

PARÁMETROS EN LCD ALFANUMÉRICO	Tensión de batería, tensión de salida, potencia instantánea consumida, temperatura, etc.
TROPICALIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS	Sí
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	0 - 45° C a plena carga
REARME DESCONEXIÓN SOBRETENPERATURA Y TENSIÓN ALTA / BAJA	Automático
REARME DESCONEXIÓN CORTOCIRCUITO / SOBRECARGA	Reset manual
VENTILACIÓN	Sí, controlada por temperatura
CAJA	Aluminio
PINTURA	Epoxi al horno
GRADO DE ESTANQUEIDAD	Ip 20

OBSERVACIONES

- Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso. Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofofon.com



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



isofotón

MANUAL DE INSTALACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ISOFOTON GAMA ESTÁNDAR





Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



isofotón

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DATOS TÉCNICOS	3
3. DIODOS DE PROTECCIÓN	6
4. CAJAS DE CONEXIÓN	6
5. RECOMENDACIONES DE USO	8
6. ADVERTENCIAS Y RIESGOS ELÉCTRICOS.....	9
7. LÍMITE DE CONEXIÓN DE MÓDULOS EN SERIE	9
8. CONEXIÓN DE MÓDULOS EN PARALELO Y SECCIÓN DEL CABLEADO	9
9. MANTENIMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	10
10. POSIBLES AVERÍAS	11
11. CERTIFICADOS	12



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

1. INTRODUCCIÓN Y RECOMENDACIÓN GENERAL

Isofotón, empresa española pionera y líder en el sector fotovoltaico es fabricante de células y módulos desde su fundación en 1981. Debido a una larga experiencia utilizando materiales de primera calidad y exhaustivos controles de calidad, los módulos fotovoltaicos fabricados por Isofotón presentan una vida útil por encima de los 20 años con un funcionamiento óptimo desde el primer al último día.

Lea atentamente todas las instrucciones del presente documento antes de instalar, conectar o manipular el módulo fotovoltaico. Las recomendaciones dadas para un módulo fotovoltaico se pueden hacer extensivas para más de uno.

Isofotón, no asume responsabilidad alguna en caso de pérdida, rotura, deterioro o coste adicional debido a la mala manipulación del producto por personal ajeno a esta empresa.

2. DATOS TÉCNICOS

Los módulos fotovoltaicos fabricados por Isofotón, utilizan células pseudocadradas de silicio monocristalino de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua.

El circuito de células se lamina utilizando E.V.A. (acetato de etilen-vinilo) como encapsulante, en un conjunto formado por un vidrio templado en su cara frontal y un polímero plástico (TEDLAR) en la cara posterior, que proporciona resistencia a los agentes ambientales y aislamiento eléctrico.

El laminado se encaja en una estructura de aluminio anodizado. Las cajas de terminales con protección IP-65, están hechas a partir de plásticos resistentes a temperaturas elevadas y contienen los terminales, las bornas de conexión y los diodos de protección (diodos de by-pass).

El marco dispone de varios agujeros para la fijación del módulo a la estructura soporte y su puesta a tierra en caso de ser necesario.

En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la sección de un módulo fotovoltaico.

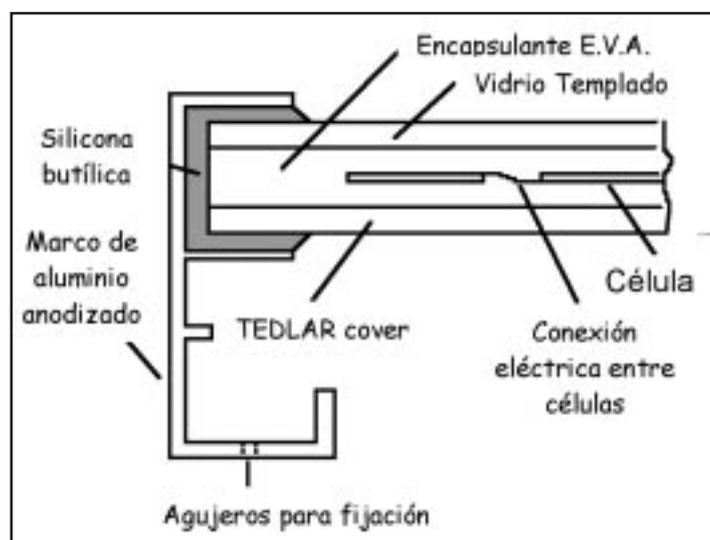


Figura 1 : Sección de un módulo fotovoltaico



Los valores eléctricos se obtienen en las condiciones estándares de medida que se corresponden con una irradiancia de 1000 W/m², espectro de 1,5 M.A. y una temperatura de la célula de 25°C.

Ahora bien, las condiciones de trabajo reales de los módulos una vez instalados pueden ser muy diferentes a las del laboratorio, por lo que conviene conocer las variaciones que pueden producirse, a fin de efectuar las pertinentes correcciones en los cálculos.

Por otra parte, mientras la corriente generada por un módulo fotovoltaico es proporcional a la intensidad de la radiación solar, la tensión varía con la temperatura de las células. En las figuras siguientes se representa ambos efectos.

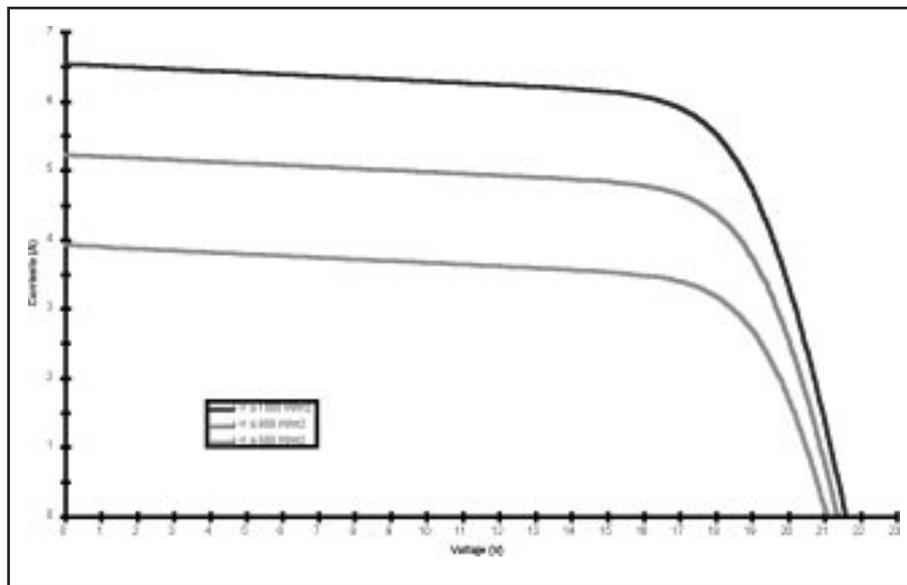


Figura 2.- Variación de curva I-V en función de la irradiancia solar incidente a temperatura de célula constante.

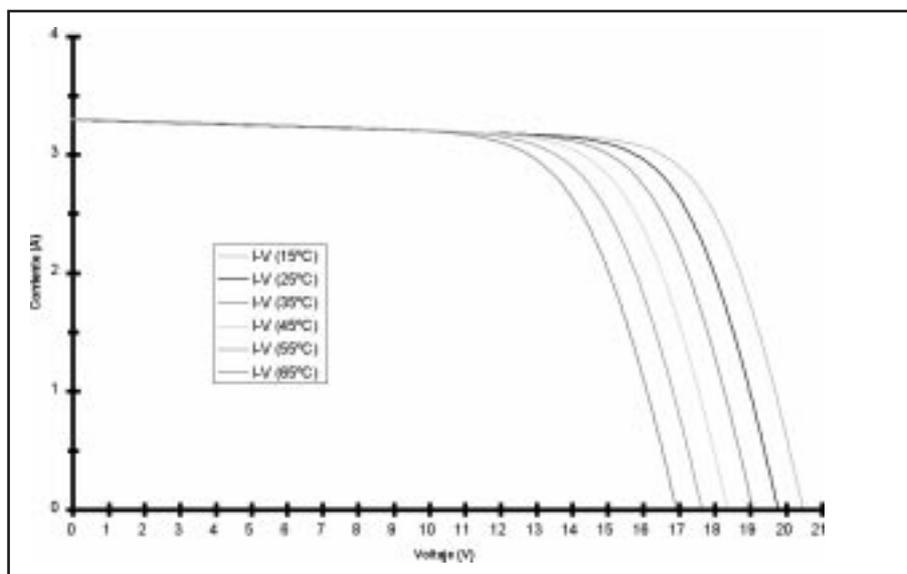


Figura 3.- Variación de curva I-V en función de la temperatura de las células a radiación incidente constante.



La variación con la temperatura de las magnitudes eléctricas de los módulos, es la siguiente:

- El voltaje disminuye a razón de 2,22 mV/°C por cada célula en serie que contenga el módulo y cada grado que supere los 25° C.
- La corriente aumenta a razón de 17µA/cm²·°C de área de células en paralelo y cada grado que supere los 25° C.

Hay que tener en cuenta que la temperatura de la célula a que nos hemos estado refiriendo no coincide con la temperatura ambiente, debido a que la célula se calienta al incidir la luz del sol.

El incremento de temperatura de la célula respecto a la temperatura del aire depende de las características de la misma y de las de construcción del propio módulo.

En función de la radiación incidente, la temperatura y la carga que esté alimentando, un módulo fotovoltaico podrá trabajar a distintos valores de corriente y tensión.

En la Figura 4 se representa esquemáticamente una curva característica I-V de un módulo fotovoltaico junto con la curva de la potencia generada y dos puntos de trabajo diferentes, A y B.

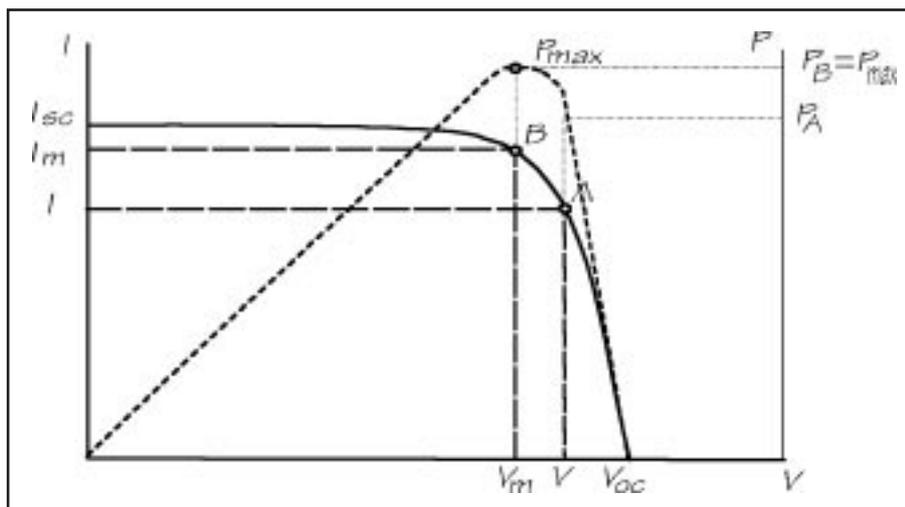


Figura 4.- Curva característica I-V y curva de potencia generada.

Se puede observar que cuanto más cerca hagamos trabajar al módulo fotovoltaico de la tensión de máxima potencia, mayor será la potencia que obtendremos de él.

En resumen, en función de la radiación solar, la temperatura de las células (que dependerá a su vez de la temperatura ambiente, humedad, velocidad del viento, etc.) y de los equipos a los que esté conectado, el módulo fotovoltaico generará una determinada corriente a una determinada tensión de trabajo, cuyo producto marcará la potencia generada por el módulo.

En el anexo II de la presente garantía se encuentran las curvas características I-V para cada modelo en función de la irradiancia incidente y la temperatura de célula, así como las características físicas de cada modelo.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

3. DIODOS DE PROTECCIÓN

El sombreado de alguna célula puede provocar un voltaje inverso en ella. Esta célula consumiría por tanto potencia generada por las demás en serie, produciéndose un calentamiento indeseado de la célula sombreada.

Este efecto, llamado de punto caliente, será tanto mayor cuanto mayor sea la radiación incidente sobre el resto de células y menor la que reciba esta célula debido a la sombra. En un caso extremo la célula podría llegar a romperse por sobrecalentamiento.

El uso de diodos de protección o by-pass reduce el riesgo de calentamiento de las células sombreadas, limitando la corriente que pueda circular por ellas y evitando de este modo la rotura de las mismas.

En general, los módulos con un número de células igual o superior a 33 en serie fabricados por Isofotón se suministran con diodos de protección, que se encuentran situados en las cajas de conexión tal, y como se puede apreciar en los esquemas de las mismas incluidos en el capítulo siguiente.

Isofotón se reserva el derecho a fabricar otros módulos con diodos de protección, independientemente del número de células en serie.

4. CAJAS DE CONEXIÓN

Las cajas de conexión de los módulos están situadas en la parte posterior de los mismos. Como se ha señalado anteriormente, estas son cajas estancas preparadas para intemperie con un IP-65, siempre y cuando se respete la estanqueidad en los pasacables o prensaestopas al hacer pasar los cables a través de ellos. En este sentido, Isofotón no se responsabiliza de una mala instalación de estos cables (en el caso de módulos suministrados sin cable).

En cada módulo existe bien una sola caja de conexiones para ambos terminales o bien una caja para el terminal positivo y otra para el negativo. Deberá respetarse la polaridad en las conexiones para el buen funcionamiento de los módulos.

Las tapas de las cajas de conexión disponen de un dibujo indicativo. Se abren introduciendo un destornillador plano en la pestaña correspondiente, en la dirección que indica la flecha, haciendo ligera presión en la misma para su apertura. Para cerrar la tapa, es suficiente presionar la tapa hasta que se cierre. La tapa dispone de una brida que la sujeta a la base de la caja de conexión mientras se manipula el interior de la misma. Esta brida no debe ser cortada.

Las cajas de conexión no deben sufrir ningún tipo de presión a la hora de instalar el módulo en una estructura de soporte. Ningún elemento de la misma debe tocar la caja de conexión.

Las cajas de conexión son similares en los módulos con igual tensión nominal. En las Figuras 5 y 6 se muestran los esquemas de las cajas de conexión para módulos de tensión nominal 12V y 24V respectivamente.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



isofotón

R.M. MÁLAGA T. 496. L. 364 F. 92. H. 2497 - A-29072931 © Nota: ISOFOTÓN, S.A. se reserva el derecho a introducir cambios en este folleto, sin previo aviso.

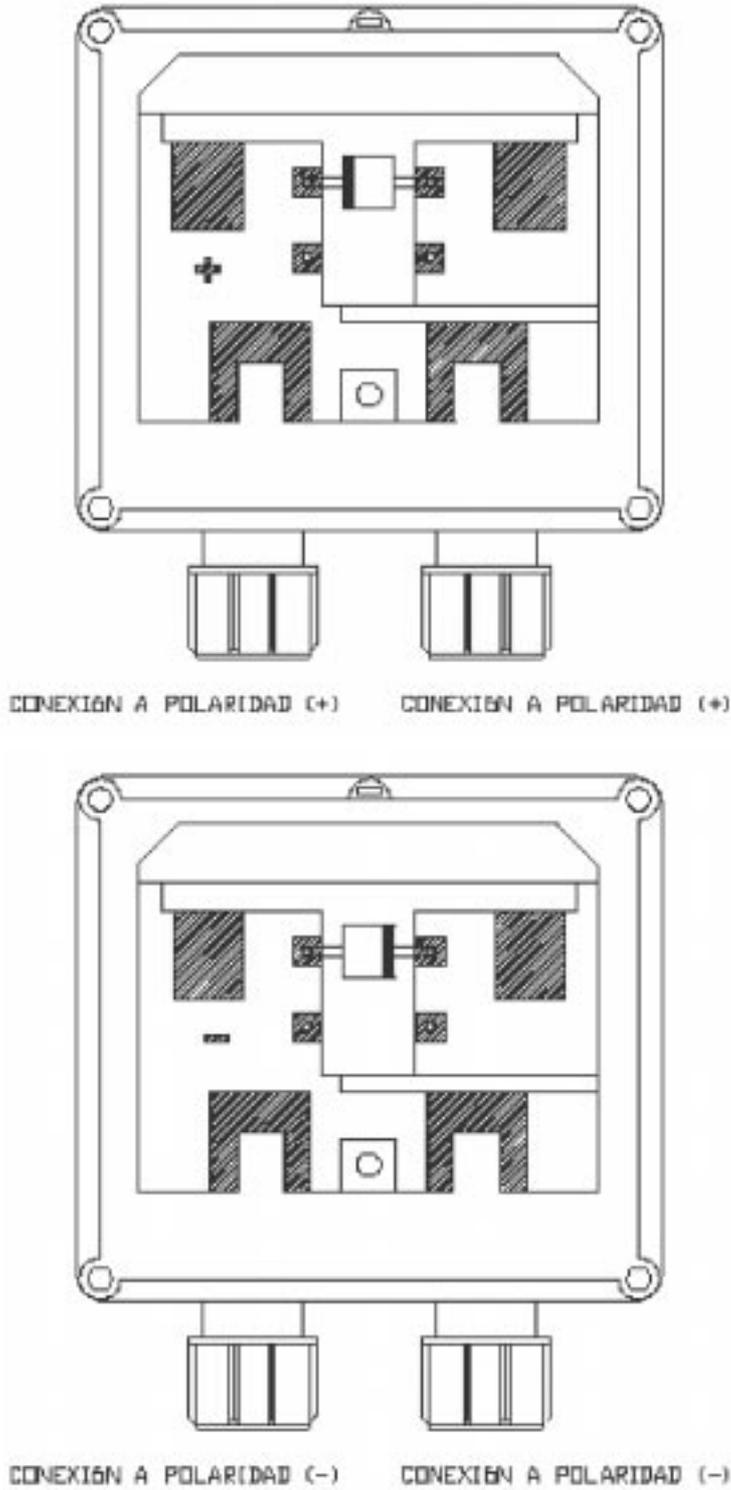


Figura 5. Cajas de conexión para módulos de tensión nominal 12 V



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



isofotón

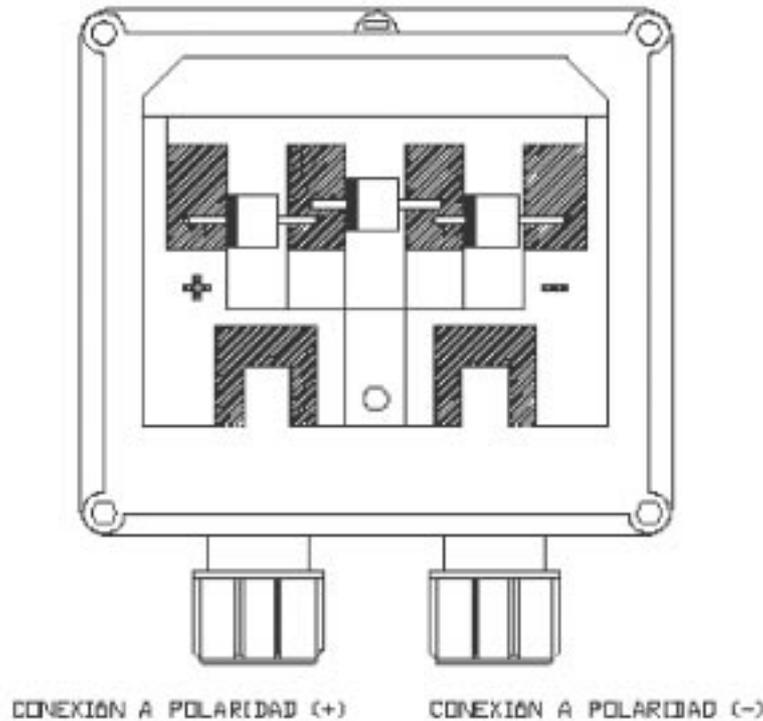


Figura 6. Cajas de conexión para módulos de tensión nominal 24 V

5. RECOMENDACIONES DE USO

- Instale el módulo en un lugar que nunca esté a la sombra. Fíjese en los árboles y edificios cercanos. Recuerde que el sol varía su posición a lo largo del año y que los árboles crecen.
- Oriente el módulo correctamente. La cara frontal del módulo debe mirar al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur.
- El módulo se instalará de manera que el aire pueda circular libremente a su alrededor. De este modo, se consigue disminuir la temperatura de trabajo de las células y consecuentemente, mejorar el rendimiento del módulo.
- Si se montan varios módulos, evite que se hagan sombra entre sí.
- Si se usa un regulador, colóquelo en un lugar fácilmente accesible para que el usuario pueda comprobar los elementos de control. En el momento de su conexión se respetarán las polaridades eléctricas de todos los elementos, conectándolos en el siguiente orden: batería, módulos y consumo.
- La sección de conductores empleados debe asegurar que la caída de tensión en la instalación no sobrepase el 2 % de la tensión nominal de la misma.
- Instale el módulo sobre la estructura de soporte utilizando los agujeros correspondientes, mediante tortillería específica. Se recomienda métrica 6X20, en acero inoxidable. No debe perforarse el marco del módulo ni presionarse con otros sistemas de anclaje. Las cotas de los módulos se encuentran especificadas en las fichas técnicas de los mismos, véase anexo III del presente certificado de garantía.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

6. ADVERTENCIAS Y RIESGOS ELÉCTRICOS

- El equipo deberá ser instalado y manejado sólo por personal cualificado.
- Los módulos de Isofotón se envían en cajas especialmente diseñadas para que estén debidamente protegidos durante el transporte. Se recomienda no sacarlos de ellas hasta el momento de la instalación.
- No dejar nunca un módulo en un sitio en el que no esté debidamente sujeto, pues si cae puede romperse el vidrio. Un módulo con vidrio roto no se debe usar.
- No dejar caer el módulo ni arrojar objetos sobre él. No subirse ni caminar sobre él.
- Utilizar el módulo únicamente para la función a la que está destinado. No desmontar el módulo o quitar cualquier parte, etiqueta o pieza instalada por el fabricante, incluyendo diodos de protección, sin autorización del mismo.
- No concentrar la luz solar sobre el módulo.
- Un módulo fotovoltaico genera electricidad cuando está expuesto a la luz del sol o a otras fuentes de luz. Cubrir totalmente la superficie del módulo con un material opaco durante la instalación, desmontaje o manipulación.
- Utilizar herramientas que estén debidamente revestidas con material aislante durante los trabajos con el módulo.
- Trabajar siempre bajo condiciones secas, tanto para el módulo como las herramientas.
- No instalar el módulo donde haya gases o vapores inflamables, ya que se pueden producir chispas.
- Evitar las descargas eléctricas al instalar, cablear, poner en funcionamiento o realizar el mantenimiento del módulo.
- No tocar las bornas mientras el módulo esté expuesto a la luz. Dotar la instalación de dispositivos de protección adecuados para impedir que pueda producirle una descarga de 30 o más voltios de corriente continua a cualquier persona. Cuando se conectan los módulos en serie, las tensiones se suman y cuando se hace en paralelo, es la intensidad la que suma. Por consiguiente, un sistema formado por módulos fotovoltaicos puede producir altas tensiones e intensidades, que constituyen un peligro añadido.
- Si se usan baterías con los módulos, seguir todas las recomendaciones que en materia de seguridad indica el fabricante de baterías.

7. LÍMITE DE CONEXIÓN DE MÓDULOS EN SERIE

Los módulos fotovoltaicos de Isofotón están fabricados para soportar tensiones elevadas. El certificado de "Seguridad eléctrica de Clase II" que disponen estos módulos, garantizan su aislamiento hasta una tensión 760 V_{dc}. Consiguientemente, se podrán conectar módulos en serie hasta alcanzar dicha tensión.

8. CONEXIÓN DE MÓDULOS EN PARALELO Y SECCIÓN DEL CABLEADO

Se podrán emplear tantos módulos en paralelo como admita el regulador de carga, variador de frecuencia o el equipo correspondiente al cual vayan conectados los mismos.

Ahora bien, se deberá emplear un cable con sección adecuada para la conducción de la suma de corrientes generada por los módulos.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

En cualquier caso, el conductor a emplear nunca deberá tener una sección menor de 4 mm², siendo recomendada una sección de 6 mm² para los modelos mayores del I-50. En caso de requerirse una sección mayor en el transporte de la energía hasta el correspondiente equipo, se emplearán cajas de interconexión externas que permitan adquirir mayores secciones de cable para los tramos de mayor distancia.

9. MANTENIMIENTO DE GENERADOR FOTOVOLTAICO

Los módulos fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión aisladas del ambiente exterior por capas de material protector. Al mismo tiempo, el control de calidad realizado por Isofotón es muy riguroso.

El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

- Limpieza periódica del módulo.
- Inspección visual de posibles degradaciones internas de la estanqueidad del módulo.
- Control del estado de las conexiones eléctricas y del cableado.
- Eventualmente, control de las características eléctricas del módulo.

Limpieza periódica del módulo

La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del módulo reduce el rendimiento del mismo y puede producir efectos de inversión similares a los producidos por sombras. El problema puede llegar a ser serio en el caso de los residuos industriales y los procedentes de las aves. La intensidad del efecto depende de la opacidad del residuo. Las capas de polvo que reducen la intensidad del sol de forma uniforme no son peligrosas y la reducción de la potencia no suele ser significativa. La periodicidad del proceso de limpieza depende, lógicamente, de la intensidad del proceso de ensuciamiento.

En el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos instalando pequeñas antenas elásticas en la parte alta del módulo, que impida a éstas posarse.

La acción de la lluvia puede en muchos casos reducir al mínimo o eliminar la necesidad de la limpieza de los módulos.

La operación de limpieza debe ser realizada en general por el propio usuario y consiste simplemente en el lavado de los módulos con agua y algún detergente no abrasivo, procurando evitar que el agua se acumule sobre el módulo. No es aceptable en ningún caso utilizar mangueras a presión.

Inspección visual del módulo.

La inspección visual del módulo tiene por objeto detectar posibles fallos, concretamente:

- Posible rotura del cristal.
- Oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas: normalmente son debidas a entrada de humedad en el módulo por rotura de las capas de encapsulado durante la instalación o transporte.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

Control de conexiones y cableado

Cada 6 meses realizar un mantenimiento preventivo efectuando las siguientes operaciones:

- Comprobación del apriete y estado de los terminales de los cables de conexionado de los módulos.
- Comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales.

En caso de observarse fallos de estanqueidad, se procederá a la sustitución de los elementos afectados y a la limpieza de los terminales. Es importante cuidar el sellado de la caja de terminales, utilizando, según el caso, juntas nuevas o un sellado de silicona.

10. POSIBLES AVERÍAS

Debido a los exhaustivos controles de calidad a los que son sometidos los módulos fotovoltaicos antes de su venta al público, los casos de averías son muy poco frecuentes.

Ahora bien, se pueden detectar los siguientes casos, siempre por causa ajena al proceso de fabricación:

- Rotura del vidrio de los módulos.
- Penetración de agua en el interior del módulo y consiguiente oxidación del circuito interior de las células y soldaduras de conexión.
- Fallos en el conexionado y entrada de agua en la caja de bornas del módulo.
- Ensuciamientos o sombras parciales.

Rotura del vidrio

La rotura del vidrio se produce usualmente por acciones desde el exterior, mala instalación, golpes, pedradas, etc. También se han detectado algunos casos de rotura en el transporte a obra.

La rotura del cristal, al ser templado, se produce siempre en forma de astillado total de la superficie, notándose perfectamente el lugar del impacto. El astillado reduce el rendimiento aproximadamente en un 30 %, pero el módulo puede continuar en uso, aunque convendrá cambiarlo lo antes posible para asegurar el funcionamiento de la instalación.

Penetración de humedad en el interior del módulo

Aunque ésta es una avería poco frecuente, puede producirse por golpes externos, ralladuras en el TEDLAR posterior por agresiones externas. Cuando penetra humedad hasta el circuito de las células y sus conexiones, aparecen corrosiones que reducen e incluso rompen el contacto eléctrico de los electrodos con el material de las células, impidiendo la recogida de electrones y haciendo inútil de esta forma el módulo. La tensión y la intensidad caen a cero y el módulo debe ser sustituido de inmediato.

Debe indicarse que, como este fallo termina siendo generalmente total, cuando en una revisión se detectan degradaciones serias en el módulo, es preferible su sustitución, evitando así los costes de una próxima y segura visita.



Oficinas comerciales
Montalbán, 9
28014 - Madrid
España
Tel.: 34 91 531 26 25
Fax: 34 91 531 10 07
isofoton@isofoton.com



i s o f o t ó n

Fallos en las conexiones de los módulos

Debido a las diferencias térmicas entre, por ejemplo, el día y la noche puede producirse aflojamiento de los conectores del cableado de los módulos. Por este motivo, es necesario revisar periódicamente (por ejemplo cada seis meses) las conexiones, apretándolas en caso de ser necesario.

Durante la instalación se debe asegurar la estanqueidad propia de las cajas de conexiones a través de los pasacables. En caso de detectarse entrada de agua en la caja de conexiones, la presencia de agua en los contactos produce caídas de tensión en el circuito y, consecuentemente, reducción de la potencia generada. La reparación consiste en la limpieza de los terminales o bornas de conexión y el cambio de la junta de la caja de conexiones o del pasacables, si alguno de ellos se encontrara defectuoso. En la operación son de utilidad los sprays para terminales de uso en electrónica.

Efecto sombra

El efecto sombra o de punto caliente se provoca por una sombra puntual en una o varias células del módulo mientras el resto recibe una radiación elevada. Esta situación debe remediarse eliminando la causa de las sombras.

Para evitar deterioros en las células están previstos los diodos de protección descritos en el Capítulo 3.

Defectos de fabricación

Los defectos de fabricación, en caso de existir, se presentan en los primeros días de funcionamiento y son de muy escasa incidencia, por debajo del uno por mil, debido al exhaustivo control de calidad llevado a cabo en la factoría de Isofotón. En caso de detectarse alguno, Isofotón proporcionará un módulo nuevo en sustitución asumiendo su garantía sobre el producto.

11. CERTIFICADOS

Isofotón fabrica módulos bajo las siguientes normas internacionales y nacionales:

- Sistema de Gestión de la Calidad según norma: UNE – EN ISO 9001:2000.
- Cumplimiento con la norma IEC 61215, por el TÜV.
- Seguridad en Clase II por el TÜV. Certificado PV GAP
- Sistema de Gestión Medioambiental, según norma: UNE-EN ISO 14001:1996