



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

T E S I S

**“INFORMACIÓN CONCISA DE DISPOSITIVOS
DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA
RENOVABLE EN VIVIENDAS”**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

ALBERTO RUIZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. FELIPE MUÑOZ GUTIÉRREZ



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Junio de 2014

A mis padres, por que gracias a su amor, enseñanzas, consejos
y apoyo ha sido posible alcanzar esta meta.

A mi hermana, por ser siempre la gran compañera de mis
aventuras y mi incondicional confidente, y a mi sobrino,
por ser el ángel que ha traído dicha y felicidad a toda la familia.

AGRADECIMIENTOS

En este espacio, me gustaría agradecer a todas las personas que me han brindado su apoyo para conseguir alcanzar esta meta.

En primer lugar, quiero agradecerle a mi padres por brindarme su amor incondicional, por todo el tiempo y esfuerzo que han destinado a mi crianza y educación, por apoyarme siempre en todos mis proyectos y por nunca permitir que desista de mis sueños. Gracias papá por esforzarte tanto para que nunca nos faltara nada y gracias mamá por enseñarme que la familia es lo más valioso en esta vida. Gracias por todo y quiero que sepan que todo lo que he logrado se los debo a ustedes.

Quiero agradecer a mi hermana por estar siempre a mi lado, por ser cómplice de mis travesuras y por ayudarme en todos mis problemas. A mi sobrino le agradezco por toda la alegría que me brinda, por su inmensa curiosidad y sus infinitas preguntas que me obligan a aprender sobre temas que me resultaban impensables.

Muy especialmente quiero agradecer al M.I. Felipe Muñoz Gutiérrez, por su invaluable apoyo, por el tiempo dedicado a esta tesis, por el interés mostrado en este trabajo y por la confianza que deposito en mí para colaborar en algunos de sus proyectos durante el tiempo que hemos trabajado juntos.

Gracias mis amigos, a mis compañeros y a todas las personas que a lo largo de todo este proceso me brindaron alguna palabra de aliento o algún consejo que me permitirá el mejoramiento de este trabajo.

Por ultimo quiero agradecer a la Facultad de Ingeniería y al Instituto de Ingeniería por todo lo que me han brindado durante mi preparación profesional.

Resumen

Esta tesis pretende analizar la viabilidad en la implementación de equipos que mediante la utilización de las energías renovables logren cubrir con los requerimientos de energía eléctrica y de agua caliente sanitaria en las viviendas de nuestro país. Este trabajo proporcionará de manera simplificada la información necesaria para comprender el funcionamiento de dichos equipos y conocer los requerimientos climatológicos que se deben de cubrir para su buen funcionamiento. Lo anterior con la finalidad de brindar una mayor difusión a los equipos de energías renovables, buscando que estos equipos se comiencen a utilizar cada vez más y de este modo se logre contrarrestar la marcada dependencia que presenta el sector energético hacia los combustibles fósiles.

En los primeros cuatro capítulos de esta tesis, se puede encontrar la información necesaria que permita entender el funcionamiento y los requerimientos que se deben de cubrir para poder llevar a cabo la exitosa instalación de equipos de energía renovable en viviendas. El contenido de cada capítulo se resume a continuación.

En el capítulo 1, se describen brevemente las principales causas por las cuales no se ha logrado que los equipos de energías renovables se utilicen tan ampliamente. Se brinda una pequeña introducción de lo que es la energía solar y la energía eólica y se muestra el principio de operación de los equipos fotovoltaicos, fototérmicos y eólicos.

En el capítulo 2, se da a conocer el panorama del recurso solar con el que cuenta nuestro país y se explica el uso y los diversos componentes de un calentador solar para uso domestico. Así mismo, se explica como se debe calcular un calentador solar y se proporciona la información necesaria para comprender su funcionamiento y el procedimiento necesario para su instalación, también se brinda el costo aproximado de este tipo de instalaciones. Por último se da una breve descripción del uso, instalación, cuantificación y funcionamiento de los calentadores solares de agua para albercas.

En el capítulo 3, se mencionan los tipos de instalaciones solares fotovoltaicas existentes, se enlistan sus principales componentes y su funcionamiento. Se muestra como realizar el cálculo de una instalación fotovoltaica y se explica su método de instalación así como la selección del lugar donde se realizará la misma, se exponen algunos de los requisitos que se tienen que cubrir para realizar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad.

En el capítulo 4, se brinda una explicación sobre el funcionamiento de los aerogeneradores y sus diferentes tipos de instalación, se describe como se debe calcular una instalación eólica, como se debe de seleccionar el lugar donde se llevará a cabo la instalación, a que altura se debe instalar la turbina, cual es el proceso de instalación, como es su funcionamiento y cual es el mantenimiento que se le debe de brindar a un aerogenerador.

En el capítulo 5, se presentan tres casos en donde se pretende llevar a cabo la instalación de equipos de energías renovables y se realiza la selección del tipo de instalación y el cálculo de dichos equipos. El primer caso se trata de una vivienda ubicada en el Distrito Federal y que actualmente cubre sus requerimientos energéticos mediante las energías convencionales. En el segundo caso se trabaja sobre un proyecto de una casa de descanso, que se desea construir en el estado de Morelos, en la cual se

pretende cubrir mediante energías renovables las necesidades de energía eléctrica, la obtención de agua caliente sanitaria y el calentamiento del agua para una alberca. El último caso, muestra la elección del tipo de instalación y de los equipos que se desean instalar en las viviendas que se destinarán para los investigadores que laborarán en el parque ecológico que la empresa de Petróleos Mexicanos pretende construir en el estado de Veracruz.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

Capítulo 1. ENERGÍAS RENOVABLES

1.1 ENERGÍA SOLAR.....	4
1.1.1 Energía solar fototérmica.....	9
1.1.2 Energía solar fotovoltaica.....	11
1.1.2.1 Tipos de celdas solares.....	13
1.1.2.2 Voltaje y corriente a aportar.....	14
1.2 ENERGÍA EÓLICA.....	16

Capítulo 2. ENERGÍA FOTOTÉRMICA

2.1 CALENTADOR SOLAR PARA USO DOMESTICO.....	21
2.1.1 Colectores solares.....	22
2.1.1.1 Colectores solares planos.....	22
2.1.1.2 Captador solar “Heat Pipe”.....	27
2.1.1.3 Colectores CPC.....	27
2.1.2 Termotanque.....	28
2.1.3 Estructura base.....	30
2.1.4 Kit de conexiones.....	30
2.2 COMO CALCULAR UN CALENTADOR SOLAR.....	31
2.3 SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL CALENTADOR SOLAR Y MÉTODO DE INSTALACIÓN.....	38
2.4 COSTO DE UN CALENTADOR SOLAR.....	42
2.5 CALENTADORES SOLARES DE AGUA PARA ALBERCAS.....	43

Capítulo 3. ENERGÍA FOTOVOLTAICA

3.1 TIPOS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	46
3.1.1 Instalaciones aisladas de red.....	46
3.1.2 Instalaciones conectadas a red.....	48
3.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	49
3.2.1 Modulo fotovoltaico.....	50
3.2.2 Estructura base.....	51
3.2.3 Inversores.....	52
3.2.4 Batería de almacenamiento.....	53
3.2.5 Reguladores de carga.....	54
3.3 COMO CALCULAR UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	55
3.4 MÉTODO DE INSTALACIÓN.....	60
3.5 COSTO DE LAS APLICACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	62
3.6 CONTRATO DE CONEXIÓN A RED.....	62

Capítulo 4. ENERGÍA EÓLICA

4.1 AEROGENERADORES.....	66
4.2 TIPOS DE INSTALACIONES EÓLICAS.....	69
4.3 COMO CALCULAR UNA INSTALACIÓN EÓLICA.....	70
4.3.1 Valoración del viento.....	71
4.3.2 Estimación de la producción de un aerogenerador.....	72
4.3.2.1 Metodología de cálculo de la producción.....	75
4.4 SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN.....	76
4.4.1 Orografía.....	76
4.4.2 Obstáculos.....	77
4.4.3 Rugosidad y perfil del viento.....	78
4.5 ALTURA DE MONTAJE.....	79
4.6 INSTALACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA.....	80
4.7 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO.....	80
4.8 COSTO DE UN AEROGENERADOR.....	81

Capítulo 5. CASOS PRÁCTICOS

5.1 GENERALIDADES.....	83
5.2 CASO 1. VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL DISTRITO FEDERAL.....	83
5.2.1 Calentador solar.....	87
5.2.2 Elección del tipo de energía renovable que se empleara para la generación de energía eléctrica.....	88
5.2.3 Equipo fotovoltaico.....	89
5.3 CASO 2. CASA DE DESCANSO EN EL ESTADO DE MORELOS.....	90
5.3.1 Calentador solar.....	93
5.3.2 Calentador solar de agua para alberca.....	94
5.3.3 Elección del tipo de energía renovable y el tipo de instalación que se empleara para la generación de energía eléctrica.....	95
5.3.4 Equipo fotovoltaico.....	96
5.4 CASO 3. VIVIENDA PARA LOS INVESTIGADORES DEL PARQUE ECOLÓGICO TUZANDEPETL	99
5.4.1 Calentador solar.....	103
5.4.2 Elección del tipo de energía renovable que se empleara para la generación de energía eléctrica.....	104
5.4.3 Equipo fotovoltaico y de aerogeneración.....	104
CONCLUSIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ejemplos de instalación de energía fototérmica, energía fotovoltaica y energía eólica.....	3
Figura 1.2: Ejemplo de horas de Sol pico.....	5
Figura 1.3: Sistema híbrido con entrega de excedente a la red de CFE.....	7
Figura 1.4: Sistema aislado.....	8
Figura 1.5: Mapa del potencial de la energía solar del mundo.....	8
Figura 1.6: Esquema de componentes de un captador solar plano.....	9
Figura 1.7: Estanque solar de gradiente salino.....	10
Figura 1.8: Concentrador solar de canal parabólico.....	10
Figura 1.9: Detalle de la celda básica, mostrando el desplazamiento de electrones provocado por los fotones de luz, creando los pares electrón-hueco.....	12
Figura 1.10: Regiones del semiconductor y conducción eléctrica con la luz incidente.....	12
Figura 1.11: Ejemplo de conexión de paneles en serie.....	14
Figura 1.12: Ejemplo de conexión de paneles en paralelo.....	15
Figura 1.13: Mapa del potencial de la energía eólica del mundo.....	18
Figura 2.1: Ciclo de calentamiento de agua en un calentador solar mediante el método de termosifón.....	21
Figura 2.2: Colector solar plano y sus componentes.....	22
Figura 2.3: Colector solar plano con configuración de tubos verticales.....	23
Figura 2.4: Colector solar plano con configuración de tubos verticales.....	24
Figura 2.5: Gráficas de curvas de eficiencias de distintos colectores solares.....	25
Figura 2.6: Calentador Heat Pipe y diagrama de funcionamiento.....	27
Figura 2.7: Calentador de tipo concentrador parabólico compuesto (CPC).....	28
Figura 2.8: Corte transversal de un termotanque de un calentador de tipo Heat Pipe.....	29
Figura 2.9: Ejemplo de la estructura base de un calentador solar de placa plana.....	30
Figura 2.10: Kit de conexión de un calentador solar de placa plana.....	31
Figura 2.11: Ángulo de inclinación.....	36
Figura 2.12: Ángulo Azimut.....	36
Figura 2.13: Mapa para calcular la eficiencia de un colector solar empleando el ángulo Azimut.....	37
Figura 2.14: Solución del ejemplo.....	38
Figura 2.15: Instalación de un calentador solar incorporado en la edificación de la vivienda.....	39
Figura 2.16: Preparación para la instalación de un calentador solar que trabaja en serie con un calentador de gas LP.....	41
Figura 2.17: Calentadores solares para albercas.....	44
Figura 2.18: Tipos de pérdidas del calor del agua en una alberca.....	45
Figura 3.1: Sistema solar fotovoltaico aislado o fuera de red.....	47
Figura 3.2: Sistema solar fotovoltaico conectado a red.....	48
Figura 3.3: Central fotovoltaica de generación de energía eléctrica.....	49
Figura 3.4: Sección de un panel fotovoltaico.....	51
Figura 3.5: Estructura base de un panel fotovoltaico.....	52

Figura 3.6: Diagrama de una instalación solar fotovoltaica.....	55
Figura 3.7: Trayectoria descrita por el Sol en las diferentes estaciones del año.....	60
Figura 3.8: Lugares típicos donde se realiza la instalación de los paneles fotovoltaicos.....	61
Figura 4.1: Porcentaje de instalación de los líderes mundiales en energía eólica.....	65
Figura 4.2: Mapa de las principales centrales eólicas que existen en México.....	65
Figura 4.3: Ejemplo de aerogeneradores de eje horizontal y de eje vertical del tipo Darrieus.....	66
Figura 4.4: Principales componentes de un aerogenerador.....	69
Figura 4.5: Diagrama de una instalación aislada mixta eólica-fotovoltaica.....	70
Figura 4.6: Diagrama de una instalación eólica conectada a la red.....	70
Figura 4.7: Comparativa entre capacidad, diámetro del rotor y altura de la torre.....	71
Figura 4.8: Mapa del potencial eólico de la República Mexicana.....	72
Figura 4.9: Ejemplo de una curva de potencia de un aerogenerador.....	74
Figura 4.10: Ejemplo de una curva de <i>Weibull</i>	74
Figura 4.11: Efecto de la aceleración del viento sobre una pequeña colina.....	76
Figura 4.12: Turbulencia en la parte superior e inferior de acantilados y cimas angulosas.....	77
Figura 4.13: Forma correcta e incorrecta de instalar un aerogenerador en la parte superior de una edificación.....	77
Figura 4.14: Ejemplo de como se deben instalar los aerogeneradores cuando existen obstáculos porosos.....	78
Figura 4.15: Ejemplo de como se deben instalar los aerogeneradores cuando existen obstáculos no porosos.....	78
Figura 4.16: Perfiles de la velocidad del viento, en función de las características topográficas del terreno.....	79
Figura 4.17: Altura de montaje, en función de la vegetación de la zona donde se desea instalar la turbina eólica.....	79
Figura 5.1: Estado actual de la vivienda.....	84
Figura 5.2: Entorno actual de la vivienda.....	84
Figura 5.3: Estado actual del predio donde se pretende realizar el proyecto.....	91
Figura 5.4: Camino de acceso al predio donde se pretende realizar el proyecto.....	91
Figura 5.5: Estado actual de la zona donde se realizara la construcción del parque ecológico.....	99
Figura 5.6: Plano arquitectónico de las viviendas que ocuparan los investigadores.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Espectro y distribución de la radiación solar.....	4
Tabla 1.2: Instrumentos de medición de radiación solar.....	6
Tabla 1.3: Ejemplo de la radiación incidente a diferente hora del día, medida con un piranómetro.....	6
Tabla 1.4: Subcategorías del aprovechamiento activo de la irradiación solar fototérmica.....	9
Tabla 1.5: Tipos de celdas solares.....	13
Tabla 1.6: Ejemplo de la velocidad del viento a diferentes alturas.....	16
Tabla 1.7: Ejemplo de la potencia ideal producida a diferentes velocidades del aire a la entrada de un aerogenerador.....	17
Tabla 1.8: Ejemplo de la potencia producida variando el diámetro del aerogenerador para una velocidad del aire de entrada de 6 m/s.....	17
Tabla 2.1: Balance Nacional de Energía.....	20
Tabla 2.2: Criterios de consumo de ACS en litros por día.....	32
Tabla 3.1: Ejemplos de cuantificación de la demanda energética en dos viviendas.....	56
Tabla 3.2: Resultados del ejemplo 3.1.....	58
Tabla 4.1: Países con mayor aprovechamiento de la energía eólica.....	64
Tabla 4.2: Ejemplo del cálculo de la producción de un aerogenerador.....	75
Tabla 5.1: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal en el D.F. ($kWh/m^2 día$).....	85
Tabla 5.2: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa en el D.F. ($kWh/m^2 día$).....	85
Tabla 5.3: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente en el D.F. ($^{\circ}C$).....	85
Tabla 5.4: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado en el D.F. ($día$).....	86
Tabla 5.5: Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto. En el D.F.....	86
Tabla 5.6: Datos empleados para el cálculo del calentador solar.....	87
Tabla 5.7: Características del calentador solar sugerido.....	88
Tabla 5.8: Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.....	89
Tabla 5.9: Características de la instalación fotovoltaica requerida en este caso.....	90
Tabla 5.10: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal en el Edo. de Morelos ($kWh/m^2 día$).....	92
Tabla 5.11: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa en Morelos ($kWh/m^2 día$).....	92
Tabla 5.12: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente en Morelos ($^{\circ}C$).....	92
Tabla 5.13: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado en Morelos ($día$).....	93
Tabla 5.14: Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto. En Morelos.....	93
Tabla 5.15: Datos empleados para el cálculo del calentador solar.....	94
Tabla 5.16: Características del calentador solar sugerido.....	94
Tabla 5.17: Características de las obras de ampliación de la red eléctrica.....	95

Tabla 5.18 Descripción de las obras de ampliación de la red eléctrica.....	95
Tabla 5.19: Consumo energético de algunos aparatos electrodomésticos.....	96
Tabla 5.20: Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.....	97
Tabla 5.21: Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular.....	98
Tabla 5.22: Características de la instalación fotovoltaica requerida en este caso.....	99
Tabla 5.23: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal en Veracruz ($kWh/m^2 día$).....	100
Tabla 5.24: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa en Veracruz ($kWh/m^2 día$).....	101
Tabla 5.25: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente en Veracruz (°C).....	101
Tabla 5.26: Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado en Veracruz ($día$).....	101
Tabla 5.27: Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto. En Veracruz.....	102
Tabla 5.28: Datos empleados para el cálculo del calentador solar.....	103
Tabla 5.29: Características del calentador solar sugerido.....	104
Tabla 5.30: Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.....	105
Tabla 5.31: Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular.....	106
Tabla 5.32: Características de la instalación requerida en este caso.....	107

Introducción

El aprovechamiento de las energías renovables no es algo nuevo, desde los principios de la humanidad las energías renovables, originalmente nombradas fuerzas naturales, han sido utilizadas. En un principio el uso de estas energías era muy elemental; aproximadamente 3000 a.C. en Egipto, se comenzó a utilizar la energía eólica para propulsar barcos de vela, algunos escritos relatan que Arquímedes utilizó espejos hexagonales hechos de bronce para reflejar los rayos solares, concentrándolos en la flota romana con el objetivo de destruirla durante la batalla de Siracusa, que enfrentó a los romanos con los griegos en el siglo III a.C. Pero el uso de las energías renovables no se limitaba únicamente a la industria marítima o militar, en Babilonia el Rey Hammurabi utilizó los primeros molinos de viento para irrigación 2000 a.C. y en la antigua Grecia 400 a.C. Sófocles propuso la construcción de las viviendas en relación con la posición del Sol. Con el paso del tiempo el ser humano, se interesó más por el uso de este tipo de energías y logro manipularlas de manera más controlada y metódica. Sin embargo por muchos años, debido a la facilidad de su implementación, se optó por la utilización de las energías convencionales o no renovables. A finales de la década de los sesenta se comenzó a dar un gran interés en los efectos contaminantes que generan este tipo de energías, esencialmente al alto nivel de concentración de CO₂ en la atmósfera. A partir de esa época se procuró, que las fuentes de energía fueran más amigables con el medio ambiente y con el aumento constante que se registra en los precios de los hidrocarburos, aunado a la creciente demanda energética que augura un desabasto en las reservas de los mismos, se ha potenciado en los últimos años el desarrollo, estudio e implementación de las energías renovables.

Las energías convencionales son: el petróleo, el gas, el carbón y la energía nuclear. Las energías renovables, también llamadas alternativas, son solar, eólica, geotérmica y biomasa. Una lista más amplia también incluye las mareas, corrientes marinas, hidroeléctrica y gradientes de temperatura del océano.

Las energías solar y eólica son los dos tipos de energías que más fácilmente se pueden emplear en la vida diaria, pero es necesario considerar que ambas tienen como características principales su intermitencia y su falta de constancia.

Debido a su ubicación geográfica, México cuenta con una excelente cantidad de energía solar durante todo el año y a lo largo de todo su territorio. En contra parte la energía eólica no está distribuida uniformemente y se concentra en lugares específicos.

Según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en México casi el 98 por ciento de las viviendas disponen de energía eléctrica y poco más del 90 por ciento cuenta con el servicio de agua entubada. Según este instituto durante el año 2009 en nuestro país, el uso de las energías convencionales que se emplearon para la producción de energía eléctrica y la producción de calor, generaron 118.8 millones de toneladas de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera y somos el tercer país que más gases de efecto invernadero produce en el Continente Americano.

La implementación de energías renovables en las viviendas, para la producción de energía eléctrica y generación de calor para aumentar la temperatura del agua que se utiliza para el aseo tanto personal como de los enceres domésticos, ayudaría significativamente a contrarrestar la gran cantidad de

contaminantes que nuestro país produce. Para poder llevar a cabo tal implementación, es preciso conocer las características de las energías renovables y comprender el funcionamiento de los equipos que se encargan de transformarlas ya sea en energía eléctrica o en energía térmica.

Esta tesis pretende analizar el uso en viviendas de la energía solar y eólica. Esto con la finalidad de describir el principio de operación de cada aplicación, así como el funcionamiento de los principales componentes de cada equipo y el detalle de su instalación. Además de conocer los cálculos pertinentes que se requieren para dimensionar una instalación y las características atmosféricas necesarias para el buen funcionamiento de la misma.

Energías Renovables

En la actualidad, las energías renovables ya son utilizadas para diversos propósitos, en la literatura se pueden encontrar algunas aplicaciones de estas energías seguras y realistas, aunque no en gran cantidad y ni de gran magnitud. El avance del uso de las renovables ha sido frenado por varios obstáculos como los siguientes:

- Escasa penetración e información acerca de los dispositivos de energía renovable, lo que ocasiona su baja demanda.
- Falta de apoyo para la investigación y desarrollo de las fuentes de energía renovable no obstante que representan nueva tecnología y que requieren por ello muchos más fondos.
- Costo inicial alto de los dispositivos renovables, en comparación con los convencionales dejando a un lado los costos de operación y mantenimiento menores en la opción renovable.
- Requerimiento de rentabilidad inmediata de los dispositivos renovables, ignorando además los costos sociales de la energía convencional como la contaminación, la producción de los gases de efecto invernadero y problemas de salud en los miembros de la sociedad.
- Falta de una visión de largo plazo, por parte de los consumidores de la energía, industriales y autoridades gubernamentales, que ha sido alimentada por fallas en el diseño de los dispositivos de energía renovable y por el aumento y disminución alternado de los precios del petróleo.
- Tendencia general a conservar el estado actual del uso de la energía convencional, aunque existen algunas empresas y gobiernos que han decidido apoyar a las energías renovables.

A pesar de todos estos obstáculos, en las últimas dos décadas se consiguieron avances en el uso de las energías renovables. Se han implementado gran cantidad de aplicaciones de la energía solar fototérmica como lo son los sistemas de calentamiento solar de agua para uso doméstico y para albercas, también se han instalado plantas de generación eléctrica por energía solar y por energía eólica, ver Figuras 1.1 a, b y c.

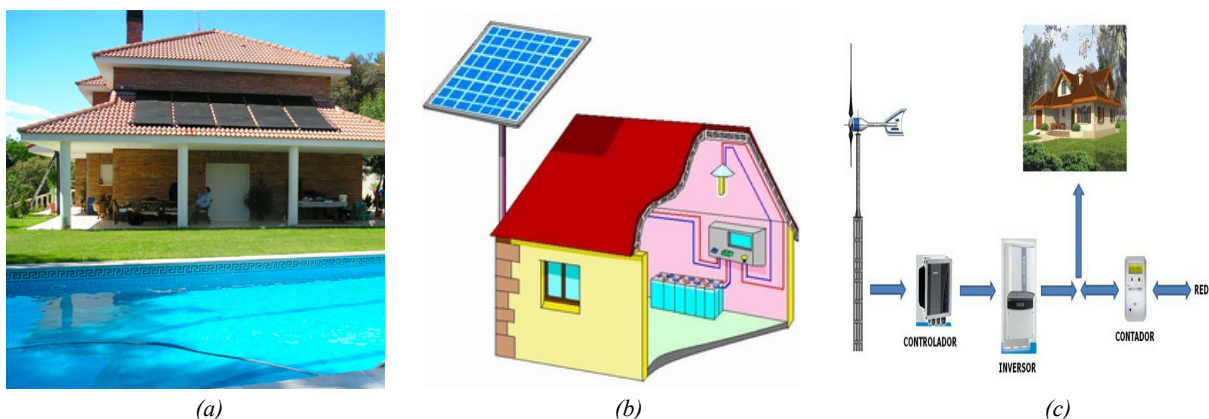


Figura 1.1. Ejemplos de instalación de energía fototérmica (a), energía fotovoltaica (b) y energía eólica (c).¹

¹ Imágenes obtenidas de: <http://www.casasrestauradas.com/energia-solar-ii-paneles-fotovoltaicos/>

1.1 ENERGÍA SOLAR

Se considera la energía madre, porque de ella derivan las demás energías renovables; sin embargo habría que considerar que en el Sol la energía se genera por reacciones nucleares. El Sol es la estrella más próxima a la Tierra y ocupa la posición central en el sistema solar. Está formado por hidrógeno (73.46%), helio (24.85%), oxígeno (0.77%), carbono (0.29%) y otros componentes¹. La fuente energética solar, procede de la fusión nuclear que se produce en su interior como consecuencia de los componentes que lo forman. La materia se convierte así en energía en forma de radiación electromagnética, la cual tarda 8 minutos en llegar a la Tierra, cuyo espectro y distribución se presentan en la Tabla 1.1.

Franja	Longitud de onda, μm
Infrarrojo	<0.38
Visible	0.38-0.78
Ultravioleta	>0.78

Tabla 1.1. Espectro y distribución de la radiación solar.¹

Si se tiene en cuenta que el Sol irradia cada segundo en todas las direcciones, una energía correspondiente a 4×10^{26} Joules y que la distancia que los separa de la tierra es de 149.5 millones de kilómetros, entonces:

$$I = \frac{P}{4 \times \pi \times d^2} \approx 1.424 \text{ kW/m}^2 \quad (1.1)$$

Donde:

P = Energía del Sol,

d = Distancia que existe entre el Sol y la Tierra.

Dado que la trayectoria de la Tierra es elíptica, la distancia de separación tiene los siguientes límites: en el solsticio de verano es $1.07 \times d$ y en el solsticio de invierno es $0.987 \times d$; tomado un promedio de la distancia se obtiene

$$I = 1.367 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 1367 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2} \quad (1.2)$$

El valor de I, se conoce como constante solar y es la cantidad de radiación solar que incidiría en un captador de 1 m^2 de área en el exterior de la atmósfera terrestre; en la superficie de la tierra se captaría menos por las distorsión que sufre la radiación por el polvo, gases y nubes al atravesar la atmósfera y por la reflexión de las nubes hacia el exterior

La radiación dada por I ocurre fuera de la atmósfera (masa de aire cero), pero a nivel del mar (masa de aire 1) y con cielo totalmente despejado, el valor de referencia es de 1 kW/m^2 .

¹ DUFFIE, John y WILLIAM, Beckman. "Solar Engineering of thermal processes".

La cantidad de radiación captada en la superficie de la Tierra depende de una gran cantidad de variables como sitio, hora, día, nubosidad, lluvia y características de la superficie de captación. Además la radiación solar tiene tres componentes: radiación directa, que no sufre cambio alguno en su trayectoria, radiación difusa, que es la atenuada por las nubes y la radiación de albedo que procede del suelo. Entonces la radiación total se obtiene de la siguiente forma:

$$I_t = I_{dir} + I_{dif} + I_{alb} \quad (1.3)$$

La mecánica celeste permite estudiar y calcular con precisión el desplazamiento diario y estacional del Sol, respecto a los objetos estacionarios sobre la superficie terrestre. Entonces un objeto debe seguir el movimiento del Sol para captar toda la radiación solar, lo que requeriría de mecanismos de movimiento. Sin embargo para evitar costos y facilitar la operación, los captadores solares planos se usan comúnmente fijos con la inclinación igual a la latitud del lugar para aprovechar al máximo la radiación solar.

La localización de cualquier punto sobre la superficie terrestre está determinada por un sistema de coordenadas en las que intervienen dos ángulos, que son denominados cenital y acimut.

Respecto a un captador solar, dispuesto sobre un mecanismo de anclaje con dos grados de libertad para sus ejes vertical y horizontal, el ángulo central corresponde al eje vertical, ya que está formado por el radiovector del punto de la Tierra con la vertical del lugar, y el ángulo de acimut con el eje horizontal del captador, ya que es éste el que forma con los meridianos del punto y del lugar de ubicación de los paneles captadores. El acimut tiene convencionalmente signo positivo hacia el oeste y signo negativo hacia el este.

En el hemisferio norte los captadores solares, dirigen su ángulo de acimut hacia el sur y el cenital se sitúa en un valor medio entre los correspondientes al invierno y al verano.

Las horas de Sol pico, son aquellas en las cuales cada metro cuadrado de superficie captadora obtiene de modo constante $1,000.2 \text{ W}$, de potencia. Su valor es variable y depende de la localidad considerada. En la Figura 1.2 se muestra un ejemplo en la que las horas de Sol pico son de las 11 a las 15 horas.

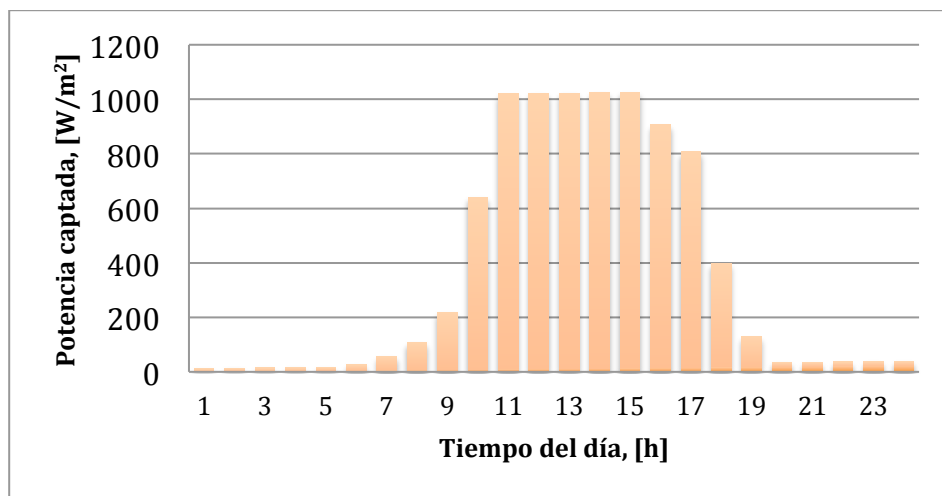


Figura 1.2. Ejemplo de horas de Sol pico.

Existen diversos instrumentos destinados a cuantificar la radiación solar, cada uno de ellos sirve para cuantificar la radiación en diferentes situaciones. El nombre y el funcionamiento de dichos aparatos se describe en la Tabla 1.2.

Instrumentos de medición de radiación solar	
Piranómetro	Mide el flujo solar global; se sitúa en posición horizontal.
Pirheliómetro	Mide el flujo solar directo por lo se sitúa sobre un sistema de seguimiento del Sol; dispone de una cubierta colimada y una de las caras debe estar de modo permanente con la normal de los rayos del Sol.
Heliógrafo	Mide la radiación solar durante el tiempo transcurrido entre la salida y la puesta del Sol, pero a partir de un umbral determinado.
Albedómetro	Mide la radiación difusa.
Irradiómetro	Mide la irradiación representativa de la densidad de potencia que incide sobre una superficie.

Tabla 1.2. Instrumentos de medición de radiación solar.

Si se coloca un captador en la superficie terrestre, aun habiendo fijado las demás variables indicadas anteriormente, este absorberá la radiación solar en cantidades variables dependiendo del día del año y hora del día. Un ejemplo de la radiación incidente con la hora del día, tal como sería medida con un piranómetro, en un lugar determinado (p. ej. México, D.F.) y un día del año, se indica en la Tabla 1.3:

Radiación solar incidente, W/m ²	
Hora del día	Radiación
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1.2
7	62
8	263
9	400
10	900
11	950
12	1000
13	1000
14	900
15	800
16	650
17	450
18	130
19	2.3
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0

Tabla 1.3. Ejemplo de la radiación incidente a diferente hora del día, medida con un piranómetro.

La radiación absorbida por el captador dependerá, de la inclinación de la superficie selectiva colocada sobre él, de su temperatura y de su forma en que esté operando. Con lo anterior se percibe la dificultad de estimar el aprovechamiento de la energía solar y que su análisis se reduce al ámbito de un laboratorio.

Para estimar el aprovechamiento de la radiación solar, es conveniente seguir las siguientes convenciones:

- Trabajar con datos de radiación global en periodos largos. Lo usual es la cantidad de radiación global integrada a lo largo del día y promediada durante un mes. Esta cantidad se le llama irradiación (p.ej. 25 MJ/m^2 por día para el mes de abril).
- Considerar que la aplicación no puede ser únicamente solar, sino que se requeriría energía convencional, entonces se planea considerando una aplicación híbrida (Figura 1.3). Existe la posibilidad de considerar el almacenamiento de energía para la aplicación solar, también llamado sistema aislado, pero se tendría que evaluar el impacto del almacenamiento en el costo de la aplicación (Figura 1.4).
- Para estimaciones económicas se considera un año de operación, en el cual se estima que la aportación solar es de alrededor del 60%.

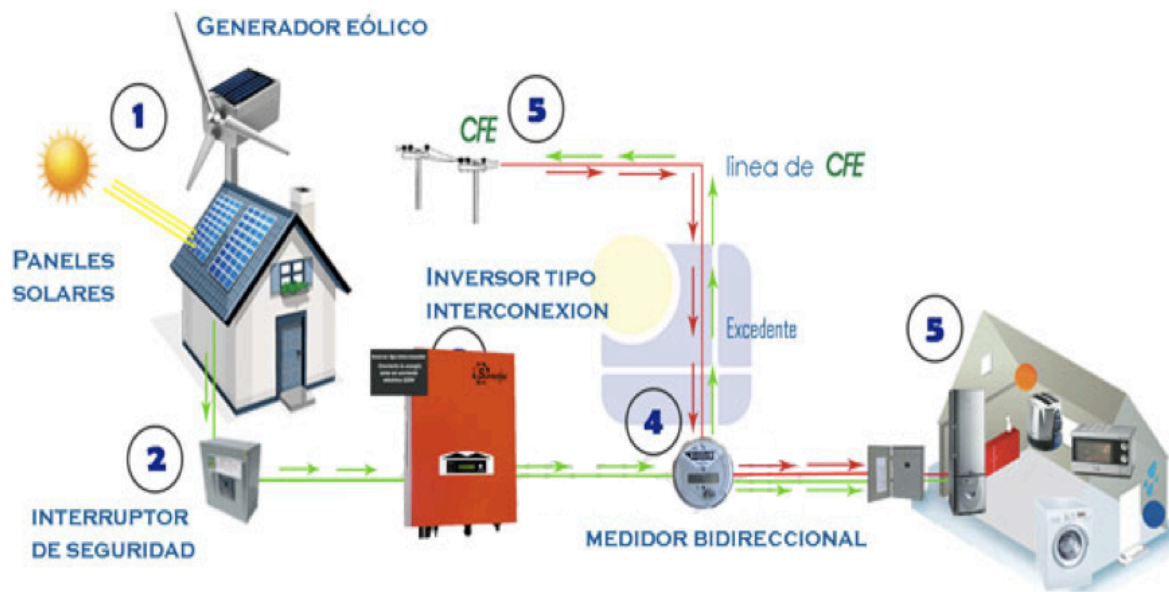


Figura 1.3. Sistema híbrido con entrega de excedente a la red de CFE.¹

¹ Imagen obtenida de: <http://www.garciaguirado.com/energia-solar-cms-1-50-18/>

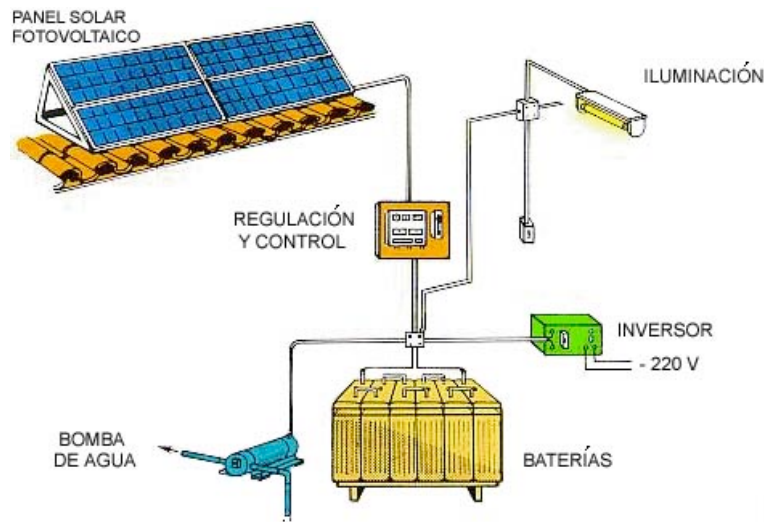


Figura 1.4. Sistema aislado.¹

La energía solar está distribuida en todo el mundo, pero existen lugares con excelentes niveles de radiación y lugares con muy bajos niveles. En México se reconoce al noroeste y parte del suroeste como las regiones con los más altos niveles de radiación, (ver Figura 1.5).

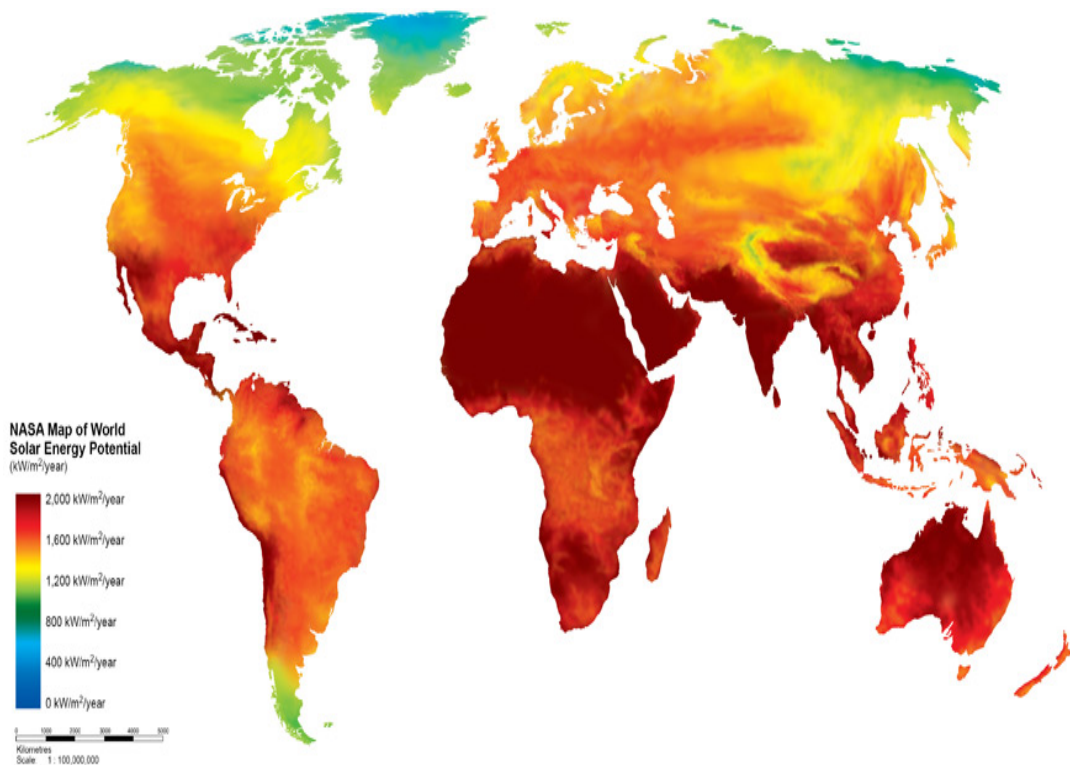


Figura 1.5. Mapa del potencial de la energía solar del mundo.²

¹ Imagen obtenida de: <http://www.canarygreenenergy.com/Servicios/Proyectos/ESolarFotovoltaica.aspx>

² Imagen obtenida de: <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.mx/2012/01/energia-solar-ventajas-desventajas.html>

1.1.1 Energía solar fototérmica

El aprovechamiento de la energía solar se divide en dos grandes categorías: fototérmica y fotovoltaica. El aprovechamiento de la irradiación solar fototérmica puede ser pasivo o activo. El primero se refiere a la arquitectura solar y se utiliza en la climatización de espacios habilitados, pero sin que intervengan instalaciones solares específicas.

Cuando el aprovechamiento se lleva a cabo de manera activa, la irradiación solar se capta y es aprovechada o transferida como calor hacia un fluido. Este tipo de aprovechamiento se divide en tres subcategorías, dependiendo del nivel de temperatura manejado, los cuales se describen en la siguiente tabla.

Subcategoría	Rango de temperatura, °C	Aplicación
Bajo	25 - 70	Se emplea para obtener agua caliente con fines sanitarios y climatización. Comprende los dispositivos para calentar agua y aire a presión atmosférica (calentador de agua, secador, destilador y estanque; ver Figuras 1.6 y 1.7). Es relativamente sencilla en su diseño y operación.
Medio	70 – 400	Se emplean para calentar aire, agua a presión mayor que la atmosférica y fluidos que a presión atmosférica hierven a temperaturas medias y altas; ver Figura 1.8. En este último caso se requiere del uso de concentradores de la irradiación, lo cual ocasiona que su diseño y operación sea más complejo.
Alto	400- 1500	

Tabla 1.4. Subcategorías del aprovechamiento activo de la irradiación solar fototérmica.

En el caso de muy altas temperaturas (hornos), la irradiación concentrada se usa directamente en procesos metalúrgicos. En cualquiera de las aplicaciones se puede usar un almacenamiento para una operación más adecuada.

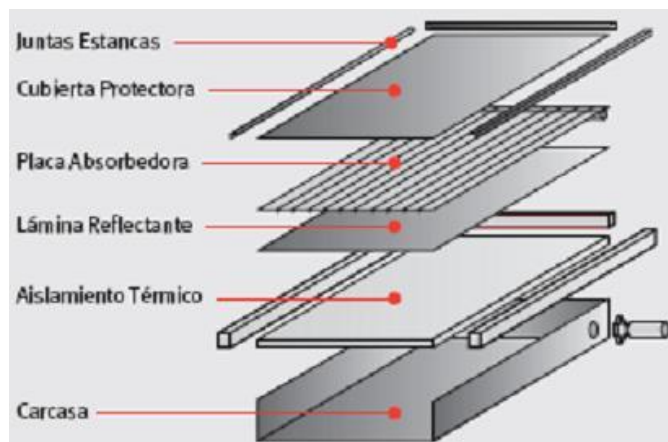


Figura 1.6. Esquema de componentes de un captador solar plano.¹

¹ Imagen obtenida de: http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1234257570140/_/_/_

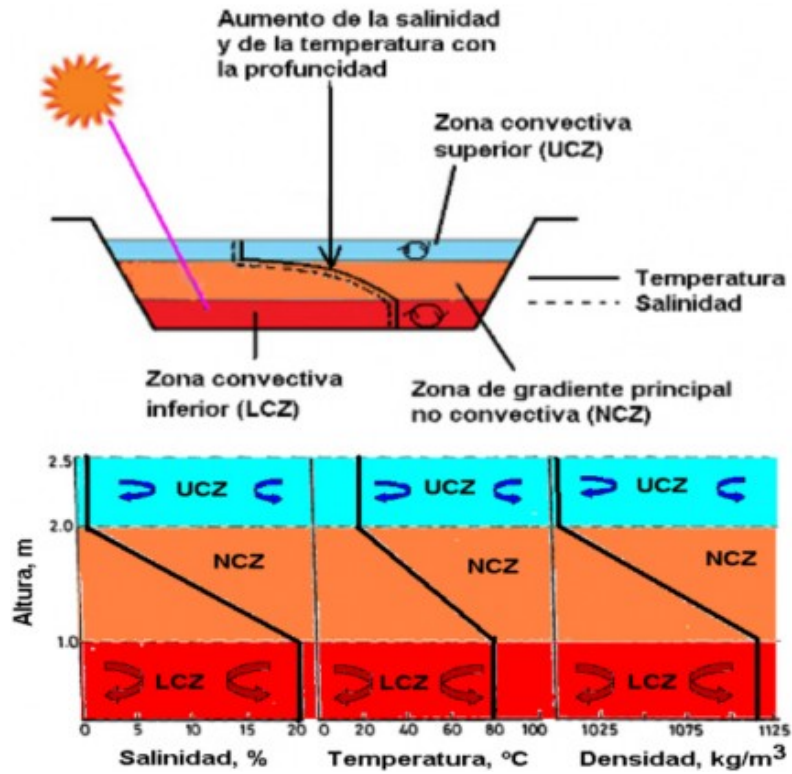


Figura 1.7. Estanque solar de gradiente salino.¹

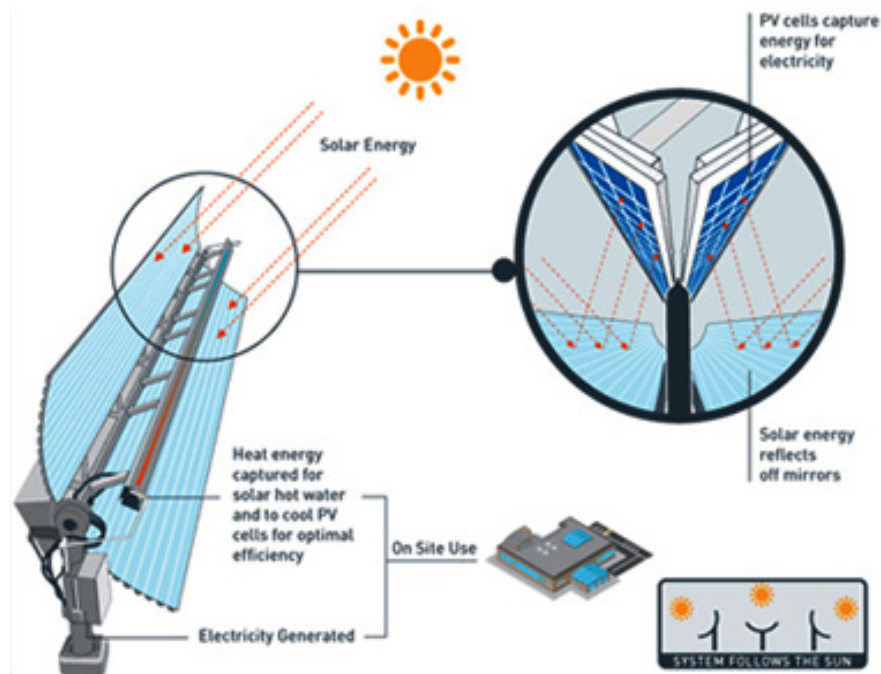


Figura 1.8. Concentrador solar de canal parabólico.²

¹ Imagen obtenida de: <http://www.sostaqua.com/publications/publications.php?act=9&task=2>

² Imagen obtenida de: <http://www.treehugger.com/renewable-energy/cogenras-hybrid-solar-system-captures-80-of-the-suns-energy-to-generates-electricity-and-hot-water.html>

1.1.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, corresponde a un sistema directo de conversión, ya que los fotones de la radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar al efecto fotoeléctrico y, en él, a la generación de corriente eléctrica.

El componente básico es la denominada celda solar, con la que se construyen los paneles o módulos solares, los cuales proporcionan una corriente eléctrica de valor dependiente de la energía solar que incide sobre su superficie. El panel o módulo fotovoltaico es un sistema captador de la irradiación solar en el que tiene lugar una conversión directa para proporcionar corriente eléctrica. Su tamaño, rendimiento de sus componentes semiconductores, la irradiación solar en un momento dado y el ángulo en el que se proyectan los rayos solares determinan la potencia proporcionada

El desarrollo fotovoltaico se remonta hasta el año 1836, en que Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico; Hertz, Einstein y Planck, entre otros, impulsaron su estudio, y en 1954 Chapin, Fueller y Perarso desarrollaron la primera celda solar a base de silicio, la cual tenía una eficiencia de 4.5% y en 1958 fue esa celda la que impulsó el cohete norteamericano Vanguard. En 1973 la Universidad de Delaware construye "Solar One", una de las primeras viviendas que utilizaba este tipo de energía y en la cual las placas fotovoltaicas instaladas en el techo tienen un doble efecto: generar energía eléctrica y actuar de colector solar, calentando el aire bajo ellas el cual era llevado a un intercambiador de calor para acumularlo. A partir de 1980 se inició la fabricación a gran escala de paneles solares con destino a lo que actualmente se conoce como instalaciones de energía renovable. En 1991 la potencia mundial instalada con paneles fotovoltaicos alcanzaba ya la cifra de $50 MW_p$ y en 1997 su valor era de $550 MW_p$, lo que da idea de su expansión.

La celda solar está basada en el silicio, el cual se extrae de la arena común (SiO_2). Intervienen 6 procesos principales hasta obtener el módulo solar capaz de proporcionar energía eléctrica:

1. Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio.
2. Purificación del silicio
3. Crecimiento.
4. Corte para obtener obleas de silicio.
5. Formación de la celda.
6. Encapsulado de celdas para formar el panel fotovoltaico.

Las celdas solares que incorporan los paneles del mismo nombre están basadas en el efecto fotovoltaico, cuyo principio físico es la separación de los electrones de valencia de los átomos de su material semiconductor con la energía de los fotones de la luz solar que incide sobre la superficie del dispositivo.

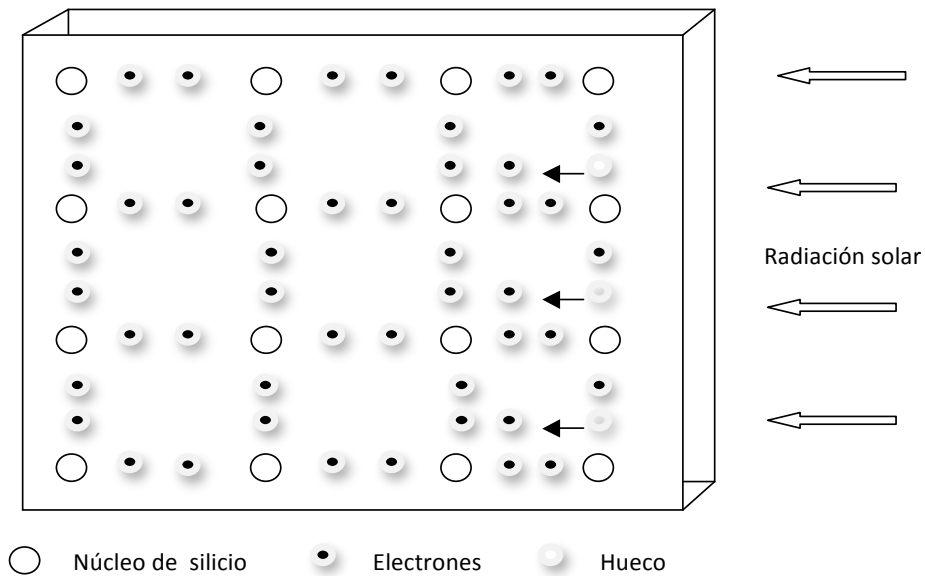


Figura 1.9. Detalle de la celda básica, mostrando el desplazamiento de electrones provocado por los fotones de luz, creando los pares electrón-hueco.

Tal separación, da lugar a la aparición en el material semiconductor de electrones y huecos, tal como se muestra en la Figura 1.9, y con ello a la corriente eléctrica.

El semiconductor está formado por las regiones N y P que muestra la Figura 1.10, teniendo ambas en común su base de silicio.

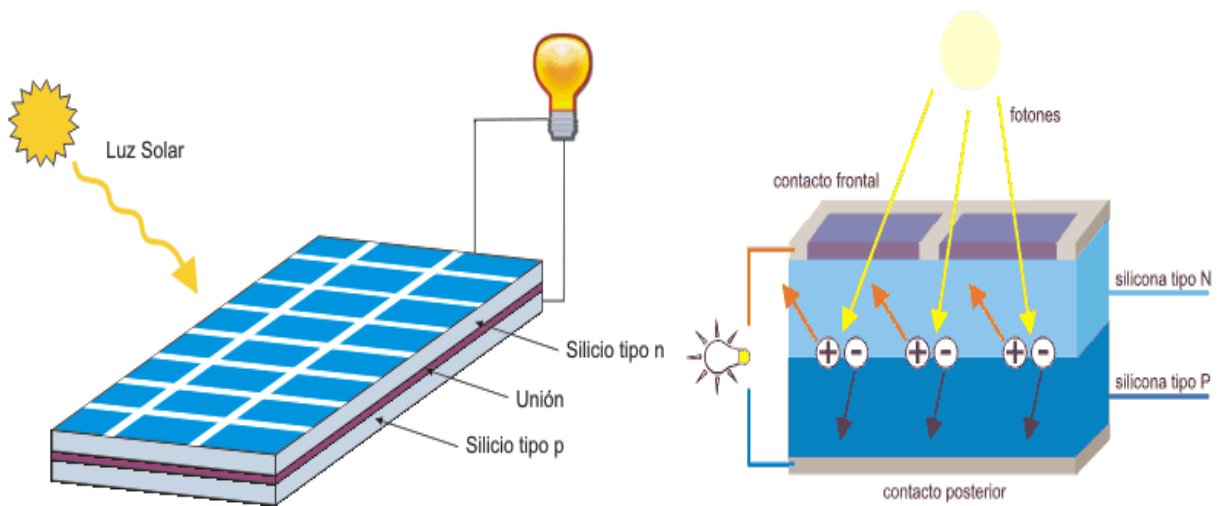


Figura 1.10. Regiones del semiconductor y conducción eléctrica con la luz incidente.¹

La región N se consigue dopando el silicio con fósforo o alguna sustancia similar para aportar átomos con cinco electrones de valencia, frente a los cuatro del silicio, con lo que se consigue que exista

¹ Imagen obtenida de: <http://fuentesdeenergia.wordpress.com/page/2/>

exceso de electrones y por tanto que la región tenga esa polaridad. En cuanto a la región P, ésta se dopa con boro o similar para inyectarle átomos con tres electrones de valencia para que se produzca defecto de electrones, adquiriendo por tanto polaridad positiva. Ambas regiones se sitúan muy próximas con una separación de algunas micras, denominada barrera, para evitar su recombinación sin la intervención de fuerzas externas que, en el caso particular de la fotoceldas, corresponde a los fotones de la luz que incide sobre su superficie.

El proceso descrito es el básico de todos los semiconductores, en los cuales se produce corriente eléctrica denominada de canal cuando se rompe la barrera entre sus uniones, lo que se puede conseguir mediante cuatro procedimientos principales que son: la aplicación de una corriente eléctrica, por elevación de la temperatura, la aplicación de un campo magnético y la irradiación fotónica (que es el que se aprovecha en la celdas, dando lugar al indicado efecto fotovoltaico).

En efecto, cuando la luz incide sobre la superficie de la celda, los electrones que tienen energía suficiente rompen el par electrón-hueco ya indicado, dejando portadores libres. Si en tal condición se conecta una carga resistiva entre los dos contactos de la celda, circulará corriente por ella. Se ha conseguido así un generador eléctrico que proporciona una diferencia de potencial situada entre 0.46 y 0.48 V.

Las celdas solares se agrupan mediante conexión serie-paralelo para formar los paneles fotovoltaicos. El número de celdas determina la potencia a obtener del panel.

1.1.2.1 Tipos de celdas solares

Las celdas solares se pueden fabricar mediante diferentes tecnologías y procedimientos para conseguir determinados objetivos de rendimiento, de condiciones físicas, tales como la flexibilidad y el espesor; y de economía. Su elección, por tanto, para las instalaciones fotovoltaicas depende de los objetivos que se deseen conseguir.

Se consideran tres tipos de celdas disponibles para formar los paneles fotovoltaicos comerciales, que son silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo, cuyas características principales se indican en la siguiente tabla:

Tipo de célula	Rendimiento	Características
Amorfo	<10%	Capa delgada; células flexibles en forma de láminas; color marrón homogéneo
Policristalino	12-14%	Diferentes cristales elementales; precio inferior al anterior; diferentes tonalidades de azul
Monocristalino	15-18%	Cristal único; buen rendimiento; color azul homogéneo

Tabla 1.5. Tipos de celdas solares.

1.1.2.2 Voltaje y corriente a aportar

La consecución de las condiciones requeridas puede obtenerse con un solo panel; en el mercado existe una amplia variedad de módulos que ofrecen desde decimas de watt a valores próximos a dos centenas, o bien mediante asociación eléctrica.

En efecto los paneles fotovoltaicos pueden asociarse en configuración serie, paralelo o serie-paralelo para conseguir las características eléctricas requeridas. La condición para poder realizar tales conexiones es que los paneles sean todos de las mismas características eléctricas.

La Figura 1.11 muestra un ejemplo de conexión en serie y la Figura 1.12 otra en paralelo. En la primera, el voltaje resultante es la suma de todos los paneles y en el segundo es la corriente la que se suma. Naturalmente podrá optarse por una conexión serie-paralelo para satisfacer la demanda de voltaje y corriente.

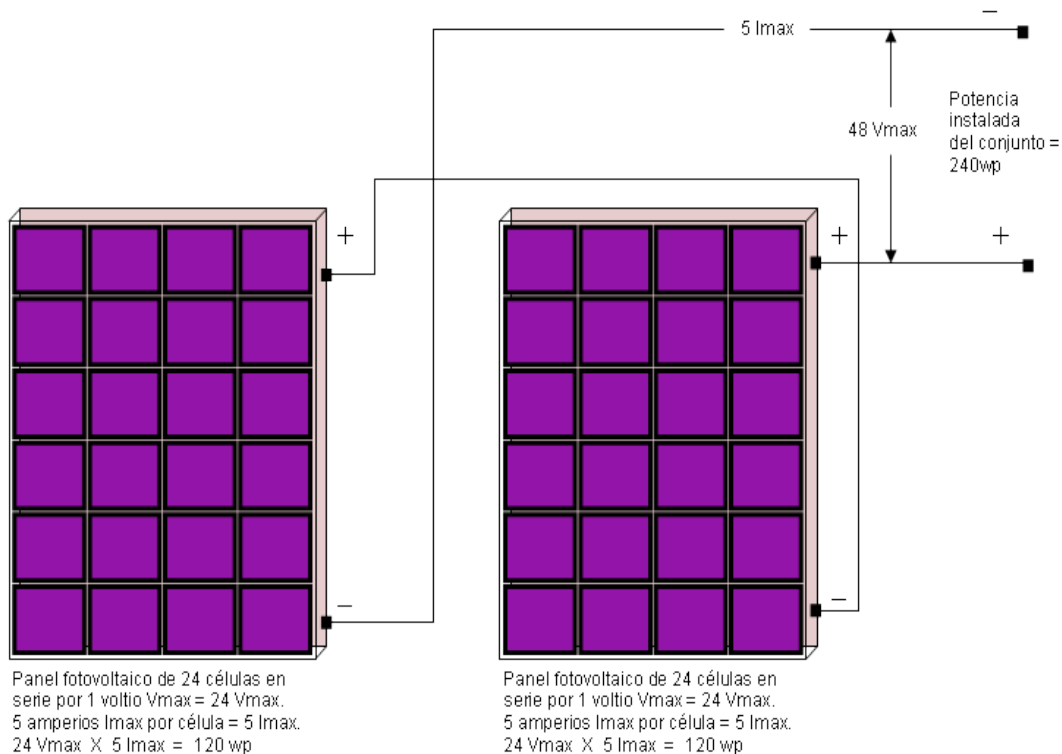


Figura 1.11. Ejemplo de conexión de paneles en serie.¹

Cuando la instalación solar requiere la disposición de diferentes filas de paneles, en el caso de instalaciones de mediano o gran tamaño, se tendrán que situar éstos con el suficiente espacio de separación para que no se proyecte sombra entre ellos en ningún momento del arco solar. Otro aspecto a considerar es la sección de los cables conductores que asocian eléctricamente los paneles, y que conectan éstos con el siguiente componente de la instalación fotovoltaica: el regulador de carga de las

¹ Imagen obtenida de: http://www.solar-instruments.es/index_archivos/Page5293.htm

baterías. Algunos fabricantes sugieren que éstos no tengan en ningún caso una sección inferior a 6 mm^2 para sistemas de más de 50 W de potencia.

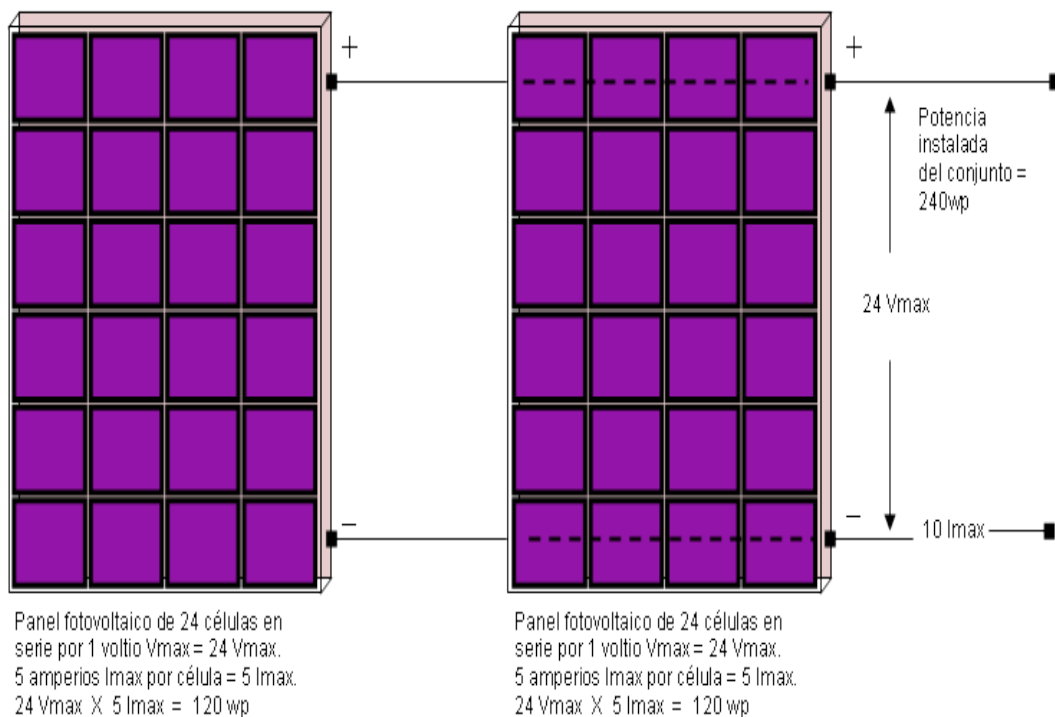


Figura 1.12. Ejemplo de conexión de paneles en paralelo.¹

Un conjunto de componentes complementarios al panel, permiten acumular la energía eléctrica para utilizarla en tiempos diferentes a los de su obtención, cambiarla de formato a corriente alterna para alimentar electrodomésticos, y adaptarla para su inyección a las redes públicas de distribución de energía eléctrica, operación esta última que requiere el proceso de sincronización de fase. Así es posible dimensionar instalaciones para obtener energía eléctrica de los modos *DC* y *AC* o ambos para las aplicaciones.

Las celdas solares, tienen una eficiencia de 10-15%, cuando la cara activa recibe una irradiación solar de 1000 W/m^2 , a una temperatura de 25°C . Los otros componentes de la aplicación fotovoltaica son un inversor para obtener corriente alterna usada por los aparatos eléctricos comunes y un sistema de control y monitoreo de la operación. A todos los componentes se les llama sistema. El campo de aplicación es bastante amplio, admitiendo el funcionamiento autónomo de bombas, microcentrales eléctricas, alimentación a faros marinos y embarcaciones, suministro a estaciones de meteorología, sistemas de alarma y telecomunicaciones, instalaciones de emergencia y contra incendios, iluminación interior y exterior, teléfonos, refrigeradores, computadoras, hornos de microondas, radio y televisión.

¹ Imagen obtenida de: http://www.solar-instruments.es/index_archivos/Page5293.htm

1.2 ENERGÍA EÓLICA

Entre un 1% y un 2% de la energía proveniente del Sol es convertida en energía eólica. Esto es casi 100 veces mayor que la energía solar convertida en biomasa por toda la vegetación del planeta. Si se explotara sólo un 1% de la energía eólica disponible, se abastecería el consumo total de electricidad del mundo. Se estima que los recursos eólicos disponibles y técnicamente aprovechables alcanzan los 53,000 TW hora anuales, lo que representa más del doble de la demanda total de electricidad de todo el mundo prevista para 2020.

La energía eléctrica se obtiene de la conversión de la energía cinética del aire, una forma indirecta de la energía solar, a su paso por aspas que componen a un aerogenerador. Su uso depende de la velocidad y dirección del viento así como de la estabilidad de los valores. Puede haber lugares con fuertes rachas de viento en algunos momentos del día, pero viento de muy baja velocidad durante la mayor parte del día. El comportamiento de los vientos es afectado por las características topográficas como vegetación, montañas, valles, etc. y por las obstrucciones terrestres como el suelo y edificaciones. La velocidad del viento también depende la altura y aproximadamente al duplicar la altura la velocidad aumenta 10%. Por medio de la siguiente expresión. Se puede estimar la velocidad del aire a diferentes alturas

$$v_1 = v_2 * (h_1/h_2)^\alpha \quad (1.4)$$

Donde:

v_1 = Velocidad a la altura h_1 ,

v_2 = Velocidad a la altura h_2 .

La altura h_2 estándar, es de 10 m y en ausencia de información se sugiere un valor de α de 0.14. En la Tabla 1.6 se muestra un ejemplo de la velocidad del viento a diferentes alturas.

Velocidad del viento a diferentes alturas, m/s			
z = 10 m	z = 20 m	z = 40 m	z = 60 m
3	3.3	3.7	3.9
4	4.4	4.9	5.2
5	5.5	6.1	6.5
6	6.6	7.3	7.8
7	7.7	8.5	9.0
8	8.8	9.8	10.3
9	9.9	11.0	11.6
10	11.0	12.2	13.0

Tabla 1.6. Ejemplo de la velocidad del viento a diferentes alturas.

La potencia producida, se puede estimar de la siguiente forma:

$$\dot{W}_f = \dot{m} \times \frac{(v_{in}^2 - v_{out}^2)}{2} = A \times \rho \times \frac{(v_{in}^3 - v_{out}^3)}{2} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \rho \times \frac{(v_{in}^3 - v_{out}^3)}{2} \quad (1.5)$$

Donde:

A = Área de flujo,

D = Diámetro del aerogenerador,

ρ = Densidad del aire,
 v_{in} = Velocidad de entrada del aire,
 v_{out} = Velocidad de salida del aire.

Para efectos ilustrativos en la Tabla 1.7 se muestra la potencia ideal producida a diferentes velocidades del aire a la entrada del aerogenerador; se ha supuesto que la velocidad a la salida es cero, diámetro del aerogenerador de 3 m y la densidad del aire igual a 1.2 kg/m^3 .

Potencia ideal del aerogenerador, Watts	
Velocidad de entrada, m/s	Potencia, Watts
3	114.51
4	271.42
5	530.13
6	916.06
7	1454.66
8	2171.39
9	3091.69
10	4241.00

Tabla 1.7. Ejemplo de la potencia ideal producida a diferentes velocidades del aire a la entrada de un aerogenerador.

De la ecuación (1.5), se observa que la potencia producida es función del cuadrado del diámetro del aerogenerador. En la tabla siguiente se muestra la potencia producida variando el diámetro para una velocidad del aire de entrada de 6 m/s.

Potencia ideal del aerogenerador, Watts	
Diámetro del aerogenerador, m	Potencia, Watts
1	101.79
2	407.16
3	916.11
4	1628.64
5	2544.75
6	3664.44
7	4987.71
8	6514.56
9	8244.99
10	10179.00

Tabla 1.8. Ejemplo de la potencia producida variando el diámetro del aerogenerador para una velocidad del aire de entrada de 6 m/s .

La evaluación del recurso eólico, requiere conocer las variaciones mensuales y anuales de la velocidad del viento. También se requiere conocer los periodos de aire quieto, de rachas y la variación de la dirección del viento. Con estos datos es posible estimar la capacidad de generación y si es factible la aplicación acudir con un vendedor de equipos eólicos ya sea nacional o extranjero.

En México, la presencia de energía eólica se concentra en la zona de La Venta, Oax. y se estima que su potencial es del orden de 100 GW. Actualmente hay una planta pequeña de generación de poco menos

de 1.5 MW operada por la CFE y otras plantas en construcción, al parecer operadas por particulares. Otras zonas eólicas mencionadas son Zacatecas (capital) y la rumorosa en Tecate, BCN, sin que haya instalaciones que la aprovechen. En la Figura 1.13 se observa el mapa de distribución del potencial eólico a nivel mundial.

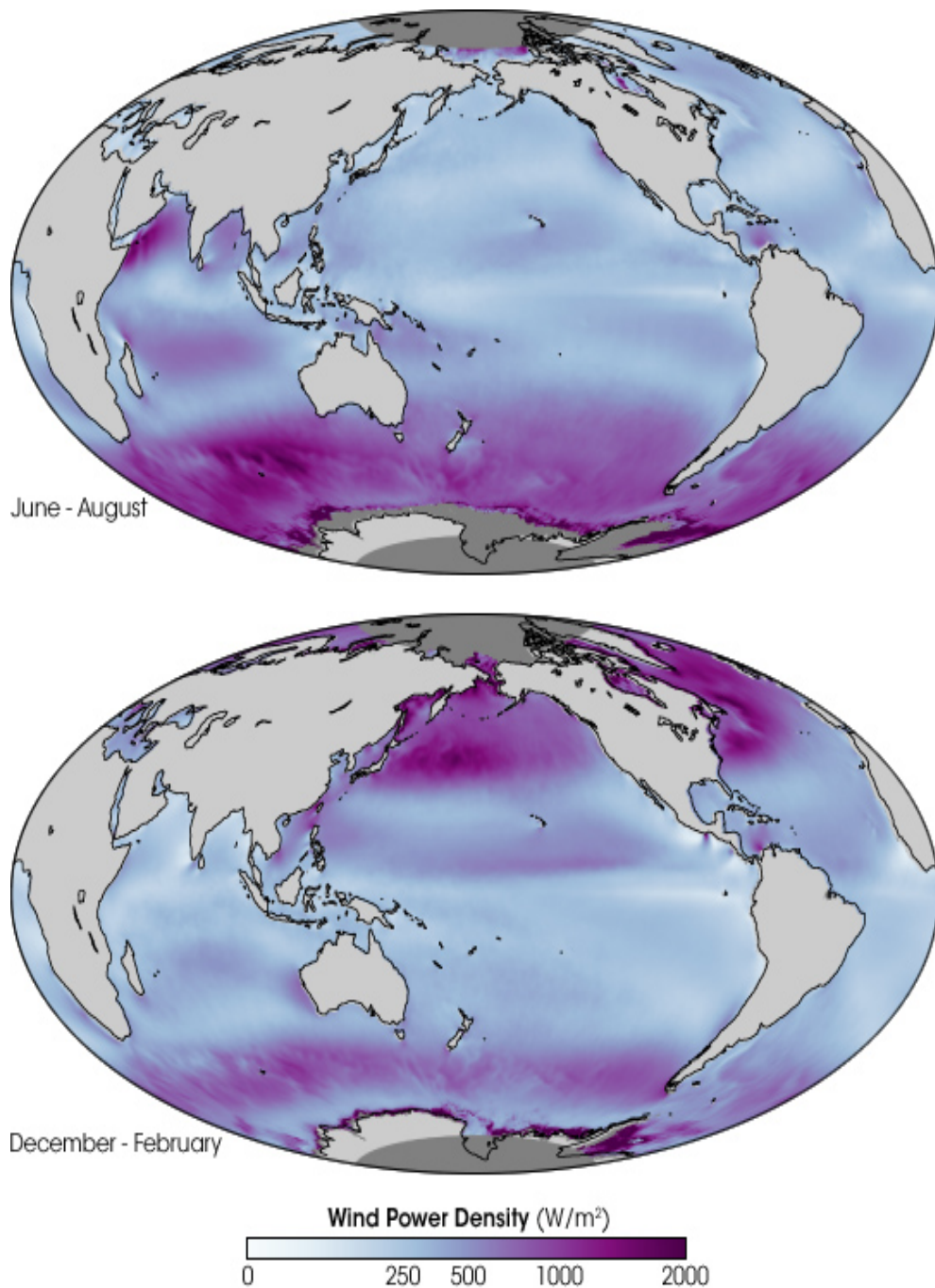


Figura 1.13. Mapa del potencial de la energía eólica del mundo.¹

¹ Imagen obtenida de: http://gabinete.org.ar/Agosto_2009/mapa_eolico.htm

Energía Fototérmica

Al igual que todos los cuerpos, el Sol irradia energía en forma de ondas electromagnéticas. Este puede ser considerado un cuerpo negro que emite una temperatura de $5762\text{ }^{\circ}\text{K}$ y aunque esta debería de ser teóricamente la temperatura que alcanzara la superficie terrestre; sin embargo, la máxima temperatura alcanzada en la Tierra, mediante el uso de concentradores, ha sido de alrededor de 3800 K . El valor de la constante solar es de $1.367\text{ kW}/\text{m}^2$ ($4.9 \times 10^3\text{ kJ}/\text{m}^2\text{h}$), este valor fue obtenido por diversos investigadores mediante la medición de la radiación solar que incide en una placa plana en el exterior de la atmósfera.

En el espacio exterior se considera que la radiación solar no sufre alteración alguna, cuando entra en nuestro planeta esa radiación es reflejada, dispersada y absorbida por los componentes de la atmósfera. La radiación solar puede ser catalogada en dos grupos; la radiación difusa, que esta conformada por la radiación reflejada y por la dispersada, y la radiación directa, que contempla a la radiación que no sufre perturbación alguna a lo largo de su camino.

Las aplicaciones prácticas de la energía solar, comprenden únicamente la radiación solar directa de longitudes de onda entre 0.29 y $2.5\text{ }\mu\text{m}$, que es el 95.19% de la constante solar o sea aproximadamente $1301\text{ W}/\text{m}^2$.

Uno de los principales usos de la energía solar en las actividades humanas, es el calentamiento de fluidos, en particular de agua, a temperaturas por debajo del punto de ebullición.

En el sector residencial, el agua es calentada para la higiene personal, para el lavado de ropa, utensilios relacionados con la preparación y consumo de alimentos y en algunos casos también se utiliza para calentar el agua de albercas. En el sector de los servicios las aplicaciones son similares (higiene, lavado de ropa y utensilios), pero los volúmenes son significativamente mayores. En actividades industriales, el agua caliente se emplea para la producción, tratamiento y manejo de bebidas y alimentos entre otros usos. Finalmente, en el sector agroindustrial, se emplea para fines de higiene o confort en los procesos de crianza y engorda de aves y ganado.

El calentamiento de agua a bajas temperaturas es un proceso que en México, se obtiene, predominantemente, con la quema de combustibles fósiles, en el sector residencial, utilizando gas LP, gas natural y leña (esto último en zonas rurales o periurbanas), mientras que en los sectores productivos, esto se logra con gas LP, gas natural, combustóleo, diésel y, en casos aislados, con electricidad.

En México no se tienen estudios que permitan ubicar la cantidad de energía que se utiliza para calentar fluidos a baja temperatura. Sin embargo, se estima que ésta es cercana a los 230 PJ (*Petajoules*) por año. Esto representa cerca del 6% del consumo energético final del país. Si esta cantidad de energía fuera provista mediante el uso de captadores solares, el área que ocuparía la instalación de estos equipos sería cercana a los 70 millones de metros cuadrados, lo que representaría un ahorro aproximado de casi 5 millones de toneladas de gas LP y $640,200$ metros cúbicos de gas natural,

equivalentes a aproximadamente poco más de 49 mil millones de pesos en recursos ahorrados, además de una disminución de alrededor de 4 millones de toneladas en emisiones de CO_2 equivalentes al año.

Calentar agua utilizando energía solar, es una alternativa ya comprobada y aplicada con gran amplitud en todo el mundo. A finales del 2004 se tenía instalados 164 millones de m^2 de área de captación, correspondiente a una capacidad instalada de cerca de 115 GWh . China es el mercado líder en el mundo, con el 38% de la capacidad instalada, mientras que el segundo lugar con un 17% es ocupado por los Estados Unidos de Norte América seguidos por Japón con un 4.7%. La Unión Europea en su conjunto representa el 10.4% del mercado internacional, donde Alemania, Grecia y Austria son los principales mercados. La producción anual de todo el campo de captadores solares instalados en el 2004, fue de poco más de 68,000 GWh (244,800 TJ), equivalentes a 10.8 billones de litros de petróleo y a una disminución de 29.6 millones de toneladas de emisiones de CO_2 a la atmosfera. Con base a los incentivos fiscales recientemente adoptados, en este rubro, por las grandes naciones, se estima que para antes del 2020 se tengan instalados 1,180 millones de metros cuadrados de colectores solares.

Debido a su ubicación geográfica, México cuenta con excelentes recursos de energía solar, en el 2005 se contabilizaba un promedio de radiación solar de alrededor de $5.2 kWh/m^2$ por día, lo que significa que en un área de captación de un m^2 y con un equipo solar que presente una eficiencia del 50% se reciba diariamente el equivalente a la energía contenida en un metro cúbico de gas natural, o bien, la de 1.3 litros de gas LP. Para el 2010 la radiación solar promedio por día aumento a $5.8 kWh/m^2$, lo cual demuestra que el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua es sin duda alguna un método muy conveniente en nuestro país.

BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA				
CALENTADORES SOLARES				
Año	Radiación solar promedio (kJ/m^2- día)	Área instalada en dicho año (m^2)	Área total acumulada (m^2)	Generación de calor útil (Petajoules)
2001	18,841	74,609	447,704	2.156
2002	18,841	50,911	498,615	2.4
2003	18,841	75,304	573,919	2.763
2004	18,841	68,725	642,644	3.07
2005	18,841	100,348	742,992	3.507
2006	18,841	96,694	839,686	3.913
2007	18,841	154,267	993,953	4.525
2008	18,841	165,632	1,159,585	5.584
2009	18,841	233,336	1,392,921	6.71
2010	20,880	272,580	1,665,502	4.798
Uso final	Calentamiento de agua para albercas, hoteles, clubes deportivos, casas habitación, hospitales, sector agropecuario e industrial.			

Tabla 2.1. Balance Nacional de Energía.¹

¹ Fuente: Asociación Nacional de Energía Solar, A. C.

En la Tabla 2.1, se observa claramente que en los últimos años el área de captación instalada mantiene una tendencia a la alza, pero aún se está lejos de lograr que en México la energía solar pueda ocasionar un cambio que repercuta considerablemente en el consumo de los combustibles fósiles.

2.1 CALENTADOR SOLAR PARA USO DOMESTICO

En la actualidad, el método más utilizado por este tipo de calentadores solares, para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), se basa en el principio de termosifón (convección natural) en el que el flujo resulta solamente de la diferencia de temperaturas del fluido en la presencia de una fuerza gravitacional. La densidad de un fluido disminuye con el incremento de la temperatura. En un campo gravitacional, dichas diferencias de densidad causadas por las diferencias en la temperatura del fluido originan fuerzas de flotación y son estas fuerzas las que general el movimiento del fluido.

De este modo, el calentador solar realiza un ciclo el cual comienza cuando el colector recibe el agua fría proveniente de la red hidráulica y con ayuda de la energía solar logra aumentar su temperatura, conforme aumenta su temperatura, por el principio de convección natural, el agua sube por el interior del colector hasta depositarse en el termotanque en donde es almacenada para poder ser utilizada en cualquier momento del día, el agua que no es utilizada disminuye su temperatura y desciende del termotanque para volver a ingresar al colector solar y reiniciar nuevamente el ciclo (ver Figura 2.1). Además de la convección natural, también se puede conseguir la recirculación del fluido mediante el uso de pequeñas bombas hidráulicas.

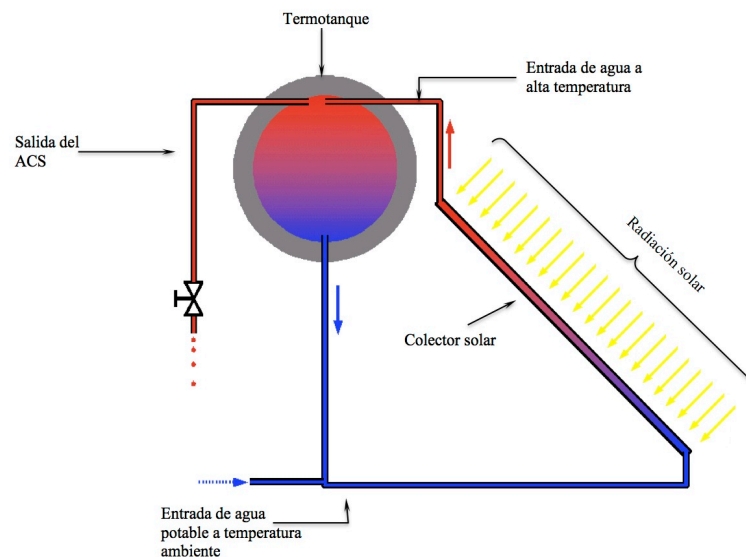


Figura 2.1. Ciclo de calentamiento de agua en un calentador solar mediante el método de termosifón.¹

El calentador solar para uso doméstico se compone de cuatro elementos básicos; un panel o colector solar, un termotanque, la estructura base y por último un kit de conexiones (tubos, acoplamientos, etc.)

¹ Imagen obtenida de: <http://mundobiodegradable-ciencia.blogspot.mx/2010/07/disenio-de-un-colector-solar-termico.html>

para poder conectarse a la red hidráulica de la vivienda. A continuación se describe brevemente cada uno de estos elementos para poder comprender mejor su funcionamiento.

2.1.1 Colectores solares

El colector solar, es el componente encargado de captar la energía solar para elevar con ello la temperatura del fluido que circula por su interior. Existen diversas formas de construcción de los colectores solares, los cuales se pueden adaptar a las aplicaciones, tanto industriales como residenciales, pero se pueden catalogar en dos grupos denominados; paneles de concentración y paneles planos. Los primeros son empleados en las instalaciones que requieren la obtención de fluidos a medianas temperaturas (de los 100 hasta los 300 °C aprox.) y altas temperaturas (de los 300 hasta los 500 °C aprox.) y el segundo grupo de paneles se emplean exclusivamente en la obtención de fluidos a bajas temperaturas (hasta aprox. 100 °C) y por tal motivo son utilizados en el sector residencial, hotelero y similares.

2.1.1.1 Colectores solares planos

Los colectores de configuración plana son, en síntesis, una superficie negra expuesta a la radiación solar con un cierto ángulo respecto del movimiento del Sol, con una cubierta transparente, en cuyo interior están dispuestos los elementos de absorción y los conductores por los que circula el fluido a calentar.

El colector solar plano esta compuesto por cuatro partes principales; cubierta, placa absorbente, aislante y carcasa (ver Figura 2.2), de las características de estos componentes depende el rendimiento global del colector.

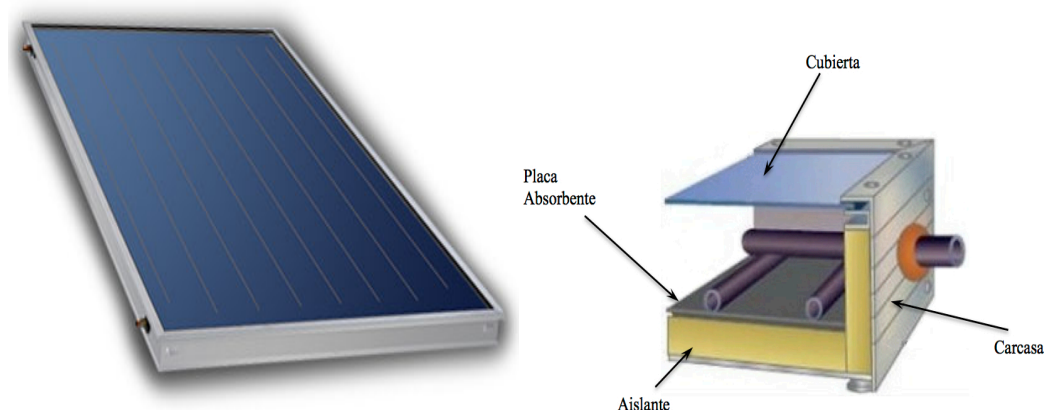


Figura 2.2. Colector solar plano y sus componentes.¹

¹ Imagen obtenida de: <http://ahorrodeenergiaeficaz.wordpress.com/2011/04/25/energias-renovables-la-energia-solar-fototermica>

a) Cubierta

La cubierta es la superficie frontal del colector en donde inciden los rayos solares, por lo general se fabrican de vidrio templado o algún material de características similares que permita la transparencia óptica a la radiación interna y la opacidad a las ondas largas que emite la placa absorbente interna con la finalidad de llevar a cabo un efecto invernadero.

Además de efectuar el efecto invernadero, la carcasa brinda protección a la placa absorbente frente a las inclemencias atmosféricas como lo son: la lluvia, el granizo, la nieve, la acumulación de polvo y algunos otros factores.

b) Placa absorbente

La placa absorbente como su nombre lo indica es la encargada de captar o absorber la energía solar que incide sobre su superficie y de este modo poder elevar la temperatura del fluido que circula en los conductos dispuestos en su interior. Generalmente estas placas se elaboran de cobre, cobre-aluminio o acero. Para lograr una mejor absorción de la energía solar, se acostumbra a someter a estas placas a un tratamiento electro-químico para formar en su superficie una capa de cromo negro sobre níquel o algún acabado similar. Los colectores planos que presentan este tratamiento reciben la denominación comercial de selectivos y logran conseguir aproximadamente un 95% de absorción de la energía que reciben.

A continuación, se describen las dos configuraciones diferentes en las que se pueden presentar los conductos encargados de transferir la energía térmica captada por la placa expuesta a la radiación solar:

Red vertical de tubos. Esta configuración, en forma de parrilla, presenta un sistema de tubos dispuestos en forma vertical entre dos de mayor diámetro situados de manera horizontal, denominados distribuidores, los cuales forman los terminales externos de entrada y salida de agua, de tal manera que el agua fría entra por la parte inferior del colector y después de absorber energía térmica de la placa sale por la parte superior del colector, (ver Figura 2.3).

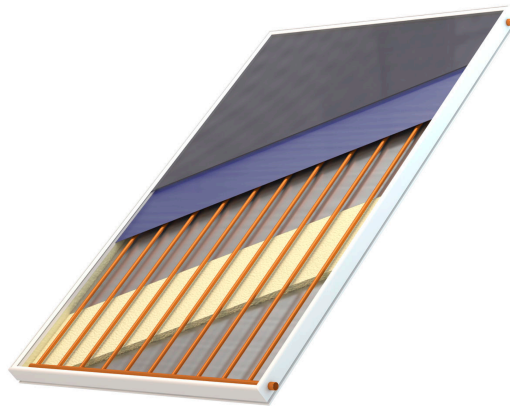


Figura 2.3. Colector solar plano con configuración de tubos verticales.¹

¹ Imagen obtenida de: <http://www.directindustry.es/prod/venman-sa/colectores-solares-termicos-planos-69392-1127211.html>

Serpentín. Este tipo de configuración no es muy empleado en la actualidad debido a su baja eficiencia. Se trata de un tubo en forma de serpentín situado entre los terminales de entrada y salida del agua, adherido a la placa absorbente, (ver Figura 2.4).



Figura 2.4. Colector solar plano con configuración de serpentín.¹

c) Aislante

El aislante es de vital importancia en un colector solar debido a que es el encargado de reducir las pérdidas de calor hacia la carcasa. Se instala en la parte trasera y en los costados de la placa absorbente dejando una pequeña separación entre ésta y el material aislante.

La densidad y la capacidad de temperatura de trabajo del colector son las que determinan las características del material que se utilizará como aislante, por lo regular se emplean resinas de melanina, lana mineral y molduras de espuma de poliuretano, para reducir aún más las pérdidas térmicas, se acostumbra adherir una lámina de aluminio al sistema de aislamiento para que se refleje la radiación solar emitida por la placa absorbente.

d) Carcasa

Es la estructura que sostiene y resguarda a todos los componentes del colector. Por lo general se elabora de aluminio a algún otro metal y tiene una serie de ranuras para poderla fijar con facilidad.

Al ser un componente que siempre estará situado en la intemperie, el colector solar, debe tener una carcasa completamente sellada para conseguir que los demás componentes del colector estén aislados por completo de agentes externos.

e) Especificaciones

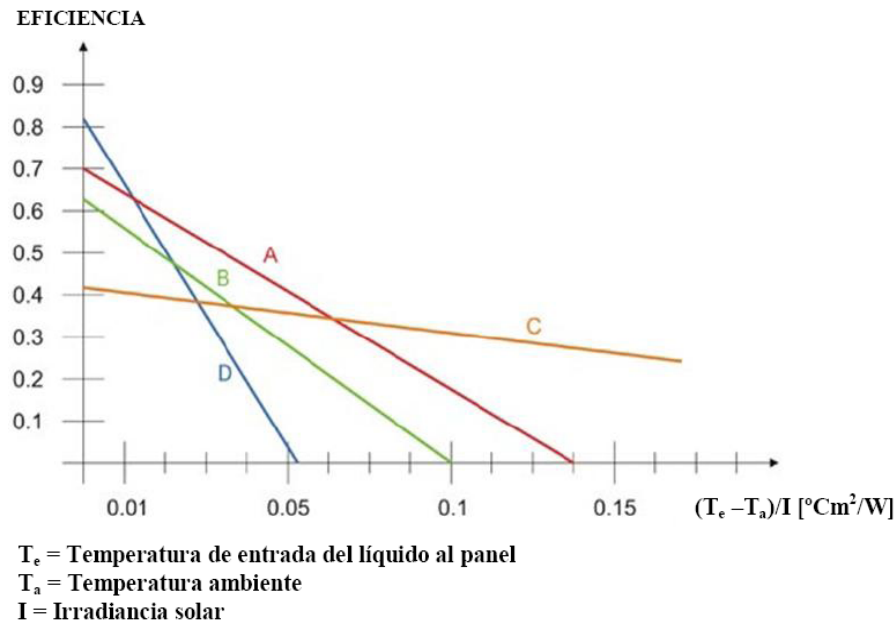
El conjunto de componentes antes descritos, se define en cuanto a su relación con la luz solar mediante tres términos representativos, que son:

- **Apertura**, que corresponde a la superficie a través de la que es admitida la energía solar.
- **Área de apertura**, que es la máxima proyección plana de la superficie del colector expuesta a la radiación.

¹ Imagen obtenida de: http://www.viessmann.es/es/unifamiliar/productos/Sistemas_solares/Vitosol_200-F.html

- **Fluido de transferencia**, o de trabajo, que corresponde al líquido encargado de recoger y transmitir en forma de incremento de la temperatura la energía captada. En algunos manuales técnicos, a este fluido se le da la denominación de calor portante.

Existen diversas Normas que se deben tomar en cuenta al momento de fabricar un colector solar, algunas de ellas son las Normas IRAM 210002, ISO 9806-1, ANSI/ASHRAE 93, EN 12975-2. Lo más importante de estas normas es la determinación de la eficiencia instantánea del colector, que es el calor útil que es capaz de proporcionar el colector como un porcentaje de la radiación solar que le llega a su superficie captadora de energía. Los resultados se muestran mediante gráficos como el de la Figura 2.5, el cual nos indica la eficiencia térmica del colector solar. Dicho término se denota con la letra griega η .



- Curva A* = Rendimiento de un colector con una sola cobertura y placa revestida con pintura superficie selectiva.
Curva B = Similar a curva A solo que la selectividad es menor. El caso límite es el negro "mate" lo cual origina una pendiente mayor en valor absoluto.
Curva C = Colector solar de tipo Heat Pipe. Se caracteriza por una menor eficiencia óptica pero una regularidad incomparable (pendiente mínima) a lo largo de las distintas condiciones de operación.
Curva D = Colector solar sin cubierta. La eficiencia óptica es mayor a los anteriores pero su pendiente es muy sensible a las pérdidas por convección originadas por el viento.

Figura 2.5. Gráficas de curvas de eficiencias de distintos colectores solares.¹

La gráfica del rendimiento energético, está definida a su vez por tres parámetros térmicos, que son los siguientes:

Diferencia de temperaturas (ΔT). Este parámetro define la diferencia que existe entre la temperatura media del fluido que circula por el interior del colector y la temperatura ambiente. Cuando estas temperaturas son iguales, el colector no presenta pérdidas de calor y, por tanto, alcanza la η máxima, que se indica como η_0 .

¹ Imagen obtenida de: <http://www.intersolarweb.com.ar/productos.htm>

Coefficiente de pérdidas lineales (α_0). Representa las pérdidas térmicas lineales de los colectores correspondientes a la superficie y a la diferencia de temperaturas. Se indica en $W/m^2\text{°C}$.

Coefficiente de pérdidas cuadráticas (α_1). Las pérdidas térmicas de coeficiente cuadrático que se suman a las anteriores, expresan en la curva característica el rendimiento definitivo, sin considerar las pérdidas lineales debidas a la radiación. Cuando mayor es la diferencia de temperaturas, mayor es la pérdida.

Se puede determinar la energía útil que entrega un colector solar, calculando el calor que extrae el fluido, con el calor específico expresado en $J/kg\text{°C}$, en función del caudal y de la diferencia de temperaturas de entrada y salida. Lo cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{útil}} = m \cdot Cp \cdot (T_s - T_e) \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_{\text{útil}}$ = Energía en W,

m = Caudal en m^3/s ,

Cp = Calor específico (El calor específico del agua es de $4186 J/K\text{°C}$),

T_s = Temperatura de salida,

T_e = Temperatura de entrada.

El rendimiento del colector solar depende de la energía útil y de la radiación solar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{I \cdot A} \quad (2.2)$$

Donde:

I = Intensidad de la radiación en W/m^2 ,

A = Área de captación en m^2 .

La energía útil, también se puede definir como la diferencia entre la energía que se capta y la energía que se pierde. Así, la energía absorbida puede expresarse como:

$$Q_{\text{abs}} = a \cdot I \cdot A \quad (2.3)$$

Donde:

a = Coeficiente de pérdidas.

Las pérdidas térmicas son proporcionales a la superficie del captador y a la diferencia de temperatura entre el absorbente (T_e) y el ambiente (T_a), por lo que:

$$Q_{\text{per}} = b(T_e - T_a) \cdot A \quad (2.4)$$

Donde:

b = Coeficiente de pérdidas.

Por tanto, la ecuación de la eficiencia térmica es:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{I \cdot A} = \frac{Q_{\text{abs}} - Q_{\text{per}}}{I \cdot A} = a - b \frac{T_e - T_a}{I} \quad (2.5)$$

2.1.1.2 Captador solar “Heat Pipe”

Un captador solar de alto rendimiento y con una configuración totalmente diferente, a la del colector plano, es el denominado “Heat Pipe” (literalmente tubería caliente), descubierto en 1962 es en la actualidad, gracias a su revolucionario diseño, lo más avanzado en captadores solares debido a que consigue un rendimiento superior a los colectores planos convencionales prácticamente sin pérdidas energéticas y permite la captación de energía en días nublados o a temperaturas bajo cero lo que lo hace también ideal para climas fríos y lluviosos.

En este tipo de calentadores, la superficie de captación está formada por un conjunto de tubos de vidrio al vacío y totalmente sellados en sus extremos, en cuyo interior está dispuesto otro tubo de tipo hipodérmico y de alta conductividad térmica, en el que se deposita un fluido de trabajo que puede ser glicol, alcohol o algún otro líquido que tenga un bajo calor específico. El calor absorbido por la superficie de captación, produce que el fluido de trabajo se evapore y ascienda por el tubo para alcanzar su extremo superior, el cual, está conectado a un condensador que actúa como intercambiador de calor, la transferencia térmica enfría el fluido de trabajo, el cual vuelve a su estado líquido, descendiendo por el tubo para repetir el ciclo.

En los calentadores de tipo “Heat Pipe”, es el fluido de trabajo y no el agua lo que circula por su interior para recoger la energía térmica y es debido a esto que logran conseguir un mayor rendimiento energético, (ver Figura 2.6).

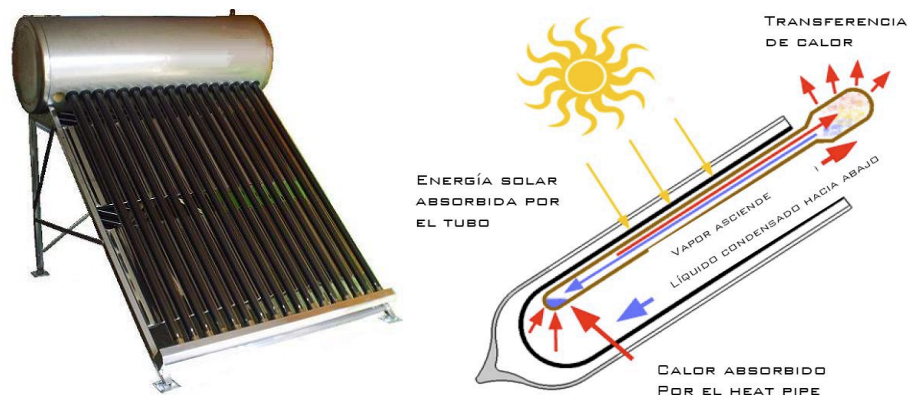


Figura 2.6. Calentador Heat Pipe y diagrama de funcionamiento.¹

2.1.1.3 Colectores CPC

Existe una versión de los paneles de concentración que puede ser empleada en la obtención de fluidos a bajas temperaturas, este tipo de panel es denominado concentrador parabólico compuesto (CPC).

¹ Imagen obtenida de: <http://www.garciabarba.com/cppa/energia-solar-tubos-al-vacio/>

Su aspecto es similar al de un colector plano debido a que está compuesto por una cubierta de vidrio para obtener el efecto invernadero y una protección adecuada. Sin embargo, su superficie de captación solar está formada por un conjunto de pequeñas cavidades cilíndrico-parabólicas paralelas, por cuyos centros circula el fluido a calentar a través de conductos de cobre o vidrio al vacío.

Este tipo de panel o colector solar se caracteriza por su elevado rendimiento y aunque existen variantes en su construcción, la más básica que es empleada en las instalaciones térmicas de baja temperatura, está constituida por un reflector parabólico y un tubo captador térmico en su punto focal, ambos componentes se encuentran encerrados en un tubo de vidrio para obtener el efecto invernadero, independientemente de protegerlos de los agentes atmosféricos, como lo es el polvo, la lluvia y demás agentes externos que pudieran reducir considerablemente su rendimiento y su vida útil, (ver Figura 2.7). Los colectores comerciales de este tipo se diferencian principalmente por el número de tubos que lo conforman, por la longitud de los mismos, lo que determina su área de captación, y por la eficiencia global que presentan.

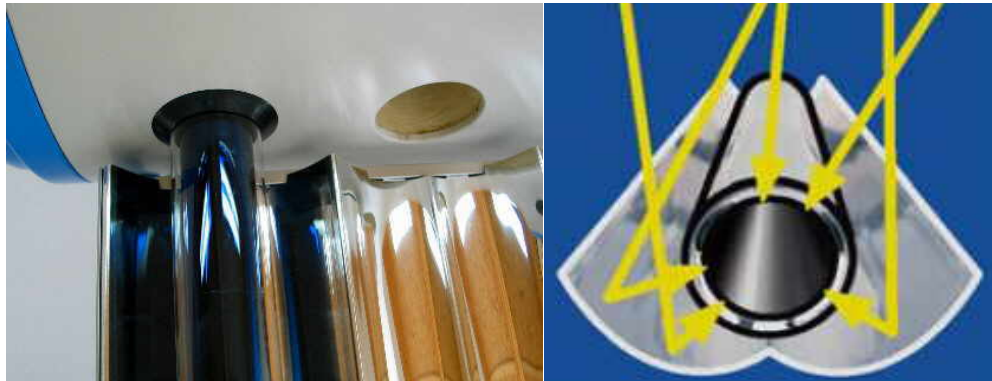


Figura 2.7. Calentador de tipo concentrador parabólico compuesto (CPC).¹

2.1.2 Termotanque

El termotanque es el encargado de acumular la energía calorífica que ha conseguido el agua gracias al colector solar. Es necesario tener en cuenta la capacidad calorífica del agua, que es de $4186 J/Kg^{\circ}C$, lo que le da una capacidad volumétrica térmica de $4186 J/^{\circ}Cm^3$. Este termotanque es de vital importancia para el calentador solar debido a que es el que permite obtener servicios de ACS durante las horas en las que el colector solar tiene poco o nulo rendimiento, ya sea durante las noches o en los días nublados.

Existen dos tipos de termotanques, el más simple se trata de un depósito capaz de acumular el ACS que proviene del colector solar, esto es cuando el ACS es el fluido de trabajo del colector, tal es el caso de los colectores planos. Pero en el caso de los colectores dentro de los cuales circula un fluido de trabajo que no es el ACS, como los colectores “Heat Pipe”, es necesario que el termotanque tenga incorporado un intercambiador de calor para poder transmitir la energía calorífica del fluido de trabajo al ACS.

¹ Imagen obtenida de: <http://www.termosifon.org/EmpresasEcuador/TermoSifon03E.html>

En la actualidad, cualquiera de los dos tipos de termotanques tienen una configuración básica que se puede entender como un par de cilindros concéntricos aislados entre sí, conformada por los siguientes componentes:

Carcasa. Corresponde a la estructura del equipo en la que están dispuestos los componentes de sujeción. Por lo general, esta carcasa es fabricada en acero galvanizado revestido mediante algún proceso electroquímico y cocido al horno o procesos similares.

Aislamiento. Consiste generalmente en una capa de espuma rígida de poliuretano o algún material similar para los depósitos de pequeño y mediano tamaño, y poliuretano flexible para los de gran volumen, el cual se emplea para aislar el depósito inferior del recubrimiento del equipo. Su espesor suele estar comprendido entre 30 y 40 mm para los primeros y entre 60 y 70 mm para los segundos.

Cilindro. Corresponde al depósito en el cual se acumula el ACS. Para su fabricación se emplea acero inoxidable o algún material similar de algunos milímetros de espesor cuyo interior se puede vitrificar, o bien, recubrir con una capa de esmalte con espesor de 100 a 200 μm . Algunos fabricantes añaden a este cilindro un ánodo de magnesio para proteger el acero de la corrosión.

El termotanque tiene que tener, para su protección, una válvula de seguridad por la cual se desfogará el excedente de presión del interior del depósito mediante la expulsión de un poco del fluido contenido en su interior, dicho fluido saldrá a una elevada temperatura por lo que es necesario extremar precauciones cuando la válvula de seguridad entre en función, (ver Figura 2.8).



Figura 2.8. Corte transversal de un termotanque de un calentador de tipo Heat Pipe.¹

Las especificaciones principales del termotanque son proporcionadas por el fabricante y consisten en:

- Capacidad de ACS, en litros.
- Temperatura máxima, en grados Centígrados.
- Presión máxima del depósito, en bares.
- Peso del termotanque, vacío.

¹ Imagen obtenida de: <http://guadalajara.olx.com.mx/calentador-solar-tanque-de-150-lt-para-hasta-4-personas-instalacion-gratis-iiid-285229877>

2.1.3 Estructura base

Estas estructuras se elaboran con metal y sirven para sujetar el calentador solar, ya sea en el piso o en las azoteas de las viviendas, (ver Figura 2.9). Además de la resistencia a la corrosión y su bajo peso, dicha estructura base debe de presentar una inclinación, la cual dependerá de las coordenadas geográficas del lugar de ubicación. Algunas incorporan un mecanismo que les permite variar su inclinación durante el verano y el invierno con la finalidad de obtener el máximo aprovechamiento del colector solar.

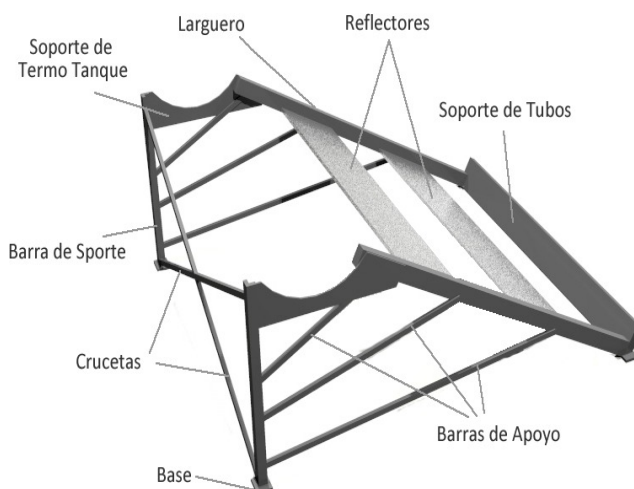


Figura 2.9. Ejemplo de la estructura base de un calentador solar de placa plana.¹

2.1.4 Kit de conexiones

Este kit es proporcionado por el fabricante del calentador solar, su cantidad y tipo de piezas, así como el material con el que estas se fabrican, depende del modelo y tipo de calentador adquirido. Esto es debido a que no se emplean el mismo número de piezas para conectar un calentador que funciona con un colector plano que uno que trabaja con un colector del tipo “Heat Pipe”. Sin embargo por lo general, para la conexión de cualquier calentador solar, se emplean; acoplamientos, válvulas, empaques y tubería, (ver Figura 2.10). Los materiales que más se emplean en la elaboración de las conexiones son: el cobre, el bronce y el PVC.

Las tuberías deben de ser elegidas considerando los factores físicos, tales como el caudal y la presión máxima a la que trabajara el calentador, por lo general se emplean tuberías de cobre y de PVC, sus uniones deben de estar roscadas, soldadas o embridadas y en zonas de climas muy fríos se recubrirán con algún aislante para disminuir las pérdidas térmicas.

¹ Imagen obtenida de: <http://es.scribd.com/doc/202692885/Calentador-Solar-Scse>



Figura 2.10. Kit de conexión de un calentador solar de placa plana.¹

2.2 COMO CALCULAR UN CALENTADOR SOLAR

Las instalaciones solares para la obtención de ACS, adoptan una gran diversidad de configuraciones. El mercado de los componentes para las instalaciones, de pequeño a mediano tamaño, destinadas al uso doméstico y a la climatización de albercas está muy desarrollado y los fabricantes aportan una gran ayuda a los usuarios para que estos puedan elegir el calentador que mejor cubra sus necesidades tomando en cuenta información básica como lo es, la ubicación geográfica donde se instalara el calentador, el número de personas que utilizaran el ACS, los hábitos de consumo o el volumen de agua que se requiere por día. También existen diversos programas computacionales de fácil manejo y bajo costo, o inclusive de uso gratuito, que facilitan el dimensionamiento del calentador solar requerido, solo es necesario proporcionar datos muy simples, como los arriba mencionados, para que de inmediato nos brinden resultados muy precisos.

Aunque contamos con toda la ayuda por parte de los fabricantes y de los programas de cómputo para poder dimensionar fácil y rápidamente la instalación requerida, es sin duda muy importante que el usuario sea capaz de dimensionar, con la ayuda de sencillas ecuaciones matemáticas, la demanda de energía que requiere cubrir su calentador solar.

Satisfacer la demanda de energía en forma de ACS implica el dimensionado correcto de la superficie de captación solar y del volumen de agua a acumular, para tal fin, es necesario conocer los siguientes datos:

- El consumo total de ACS en un periodo específico, generalmente se considera el consumo por día.
- La temperatura a la que se desea obtener el ACS, considerando que la temperatura del agua de la ducha oscila generalmente entre los 25 y los 40 °C, la temperatura que tendríamos que obtener del calentador tendría que ser superior a estas temperaturas. Por lo general los calentadores comerciales para uso doméstico entregan el ACS a una temperatura de entre 45 y 60 °C.
- Temperatura media del agua fría que entra al calentador solar proveniente de la red de suministro, este valor depende del lugar geográfico donde se pretenda llevar a cabo la instalación.

¹ Imagen obtenida de: <http://www.termoplus.mx/PAGINA/rotoplas/calentador%20solar.pdf>

Una vez obtenidos estos datos, con ayuda de ecuaciones matemáticas, podremos obtener todos los requerimientos que tiene que satisfacer nuestra instalación solar. Los aspectos más importantes a considerar antes de llevar a cabo una instalación solar son los siguientes:

Consumo total de ACS por día. Para conocer dicho consumo es necesario la utilización de tablas, como la que a continuación se muestra, en las que podemos encontrar los valores estandarizados del consumo de ACS por persona o por servicios.

Criterio de consumo	Litros/día
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hoteles (4 estrellas)	70 por cama
Hoteles (3 estrellas)	55 por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40 por cama
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35 por cama
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo
Lavanderías	3 a 5 por kilo de ropa
Albergues y casas de huéspedes	55 por cama
Vestuarios y baños públicos	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Oficinas	3 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Cuarteles	20 por persona

Tabla 2.2. Criterios de consumo de ACS en litros por día.¹

La Tabla 2.2, esta referenciada a una temperatura de 60 °C para el ACS obtenida del sistema, si se requiere considerar una temperatura distinta a esta, los valores de la tabla se tendrán que modificar por el siguiente factor:

$$\left(\frac{60-T_{AF}}{T-T_{AF}}\right) \quad (2.6)$$

Donde:

T = Temperatura a la que se desea obtener el ACS, en °C.

T_{AF} = Temperatura del agua de la red, en °C.

Por ejemplo, si el agua de la red tiene una temperatura de 16 °C y se desea obtener el ACS a 55 °C, para conocer cual sería el consumo diario de ACS por persona, para viviendas unifamiliares, tendríamos que multiplicar el valor de la tabla (30 l/día) por el valor de nuestro facto, que en este caso es aproximadamente 1.13, y de este modo obtendríamos que el consumo de ACS por persona sería de 33.9 l/día.

Demanda de energía. La demanda de energía térmica diaria que se necesita obtener del calentador se calcula de la siguiente manera,

$$Q_{ACS} = M \cdot \rho \cdot Cp(T_{AC} - T_{AF}) \quad (2.7)$$

¹ Fuente <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/agua-caliente-solar/>

Donde:

Q_{ACS} = Demanda de energía térmica para ACS, en $kWh/día$,

M = Consumo total de ACS, en $l/día$,

ρ = Densidad del agua, en kg/l . (la densidad del agua es igual a $1 kg/l$),

C_p = Calor específico del agua, en $kWh/kg^{\circ}C$. ($1.16 \times 10^{-3} kWh/kg^{\circ}C$),

T_{AC} = Temperatura a la que se obtiene el ACS, en $^{\circ}C$,

T_{AF} = Temperatura del agua de la red, en $^{\circ}C$.

De este cálculo se obtiene la energía necesaria que debe captar el calentador solar. Debemos tomar en cuenta esta energía no es totalmente aprovechada, durante el trayecto que recorre el ACS desde su salida del colector solar y hasta que esta es utilizada, se producen pérdidas cuyo valor puede ser de un 50 % o inclusive un poco más.

Fracción solar. Un aspecto importante a considerar al momento de dimensionar una instalación solar es asignarle la fracción solar (FS) deseada. Este índice que también se le conoce como cobertura solar, corresponde al cociente entre la energía obtenida y la demandada. La ecuación a emplear es la siguiente:

$$FS = \frac{E_{\text{útil}}}{L} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Donde:

$E_{\text{útil}}$ = Energía solar transferida al sistema,

L = Consumo.

Obviamente la energía captada varía durante todo el año, por tal motivo el FS está situado entre límites y una buena solución para los meses con menos radiación solar, es sobredimensionar las instalaciones.

En la práctica se asigna a la FS un valor menor de la unidad y se recurre a un sistema de apoyo durante los meses más desfavorables, con lo que:

$$FS = \frac{E_{\text{útil}}}{L + E_{\text{aux}}} = 1 \quad (2.9)$$

Donde:

E_{aux} = Energía de apoyo, que vale:

$$E_{\text{aux}} = E_{\text{útil}} - L \quad (2.10)$$

Y que corresponde a la energía complementaria a aplicar durante los meses con menos radiación solar.

Superficie de captación. Para conocer la superficie de captación que requerimos para cubrir las necesidades energéticas de nuestra instalación es preciso utilizar la siguiente fórmula:

$$A = \frac{FS \times Q}{\eta \times I} \quad (2.11)$$

Donde:

A = Superficie de captación en m^2 ,

Q = Demanda energética, en kWh ,

η = Rendimiento, eficiencia, del colector solar,

I = Intensidad de la radiación en kWh/m^2 .

Volumen del termotanque. Para conocer el volumen del termotanque, es preciso conocer la carga diaria de ACS que se pretende cubrir del calentador solar. Se recomienda que dicho volumen este comprendido entre el 60% y el 100% de la demanda diaria, así:

$$0.6 \leq \frac{V}{M} \leq 1 \quad (2.12)$$

Donde:

V = Volumen del termotanque, en m^3 ,

M = Carga diaria, en $l/día$.

Tuberías. El diámetro que tiene que tener la tubería de nuestra instalación depende del caudal en circulación, el cual se obtiene de la siguiente expresión:

$$D = \delta \cdot C^{0.35} \quad (2.13)$$

Donde:

δ = Constante, que para el cobre es de 2.2,

C = Caudal, en m^3/h .

El valor del caudal generalmente se encuentra en las especificaciones técnicas de nuestro calentador solar. Si la instalación incorpora más de un colector solar, el valor del diámetro debe ser multiplicado por el número de colectores instalados. Además, el diámetro de las tuberías a instalar debe cumplir con las siguientes condiciones técnicas:

- Las pérdidas de carga no deben de ser superiores a 40 milímetros de columna de agua.
- La velocidad del líquido no debe ser superior a 1.5 m/s .

Ejemplo 2.1. Considérese que se tiene que llevar a cabo la instalación de un calentador solar y para dimensionar dicha instalación se cuentan con los siguientes datos:

- Radiación media diaria en verano = $6.50 \text{ kWh}/m^2$.
- Radiación media diaria en invierno = $4.70 \text{ kWh}/m^2$.
- Temperatura del agua suministrada en verano = $18.7 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura del agua suministrada en invierno = $13.6 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura prevista del ACS = $50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Demanda total diaria de ACS = 200 l .
- Orientación = Sur.
- Latitud del lugar donde se instalara el calentador solar = $20 \text{ }^\circ\text{N}$.
- Fracción solar en verano = 0.85
- Fracción solar en invierno = 0.60

Tomando en cuenta todos estos datos, la demanda de energía que se propone durante el verano tiene un valor de:

$$Q = 200 \text{ l} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (60 - 18.7) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 200 \text{ l} \times \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{l}^\circ\text{C}} \right) \times 31.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 7.26 \text{ kWh}$$

Y la demanda durante el invierno será de:

$$Q = 200 \text{ l} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (60 - 13.6) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 200 \text{ l} \times \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{l}^\circ\text{C}} \right) \times 36.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 8.45 \text{ kWh}$$

Una vez obtenidos estos valores, se procede a calcular la superficie de captación, para lo cual se emplean los valores de la FS y el rendimiento de la instalación, que en este caso es $\eta = 0.5$, los datos obtenidos son los siguientes:

Superficie de captación en verano:

$$A_{ver} = \frac{FS_{ver} \times Q}{\eta \times I_{ver}} = \frac{0.85 \times 7.26 \text{ kWh}}{0.5 \times 6.50 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{6.171 \text{ kWh}}{3.25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 1.899 \text{ m}^2$$

Superficie de captación en invierno:

$$A_{inv} = \frac{FS_{inv} \times Q}{\eta \times I_{inv}} = \frac{0.60 \times 8.45 \text{ kWh}}{0.5 \times 4.70 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{5.07 \text{ kWh}}{2.35 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 2.157 \text{ m}^2$$

Para elegir el calentador solar que mejor se adecue a las necesidades de la instalación, se toma el valor superior más próximo al valor que se obtuvo para la superficie de captación. Es importante que se considere la superficie de captación obtenida para el invierno pues aun cuando en verano el calentador solar este sobredimensionado en invierno no se tendrán problemas de desabasto de energía calorífica.

Pérdidas por orientación e inclinación. La inclinación y orientación de los colectores solares se determina por las coordenadas geográficas del lugar donde se instalaran, estos valores son conocidos como ángulo de inclinación y ángulo azimut, estos ángulos se definen de la siguiente manera:

- Ángulo de inclinación, β , definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal (Figura 2.11). Su valor es 0° para captadores horizontales y 90° para verticales. Este valor deberá coincidir con la latitud del lugar donde se instalara el colector.
- Ángulo de azimut, α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar (Figura 2.12). Valores típicos son 0° para captadores orientados al Sur, -90° para captadores orientados al Este y $+90^\circ$ para captadores orientados al Oeste. Por lo general, en el hemisferio Norte los colectores solares se instalan con una orientación hacia el Sur geográfico mientras que en el hemisferio Sur se instalan hacia el Norte geográfico.

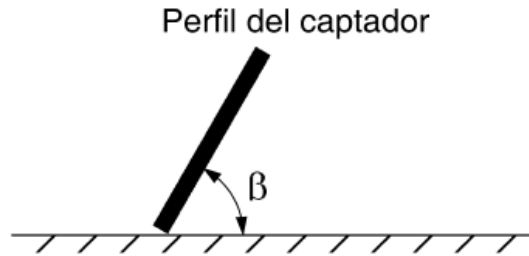


Figura 2.11. Ángulo de inclinación.¹

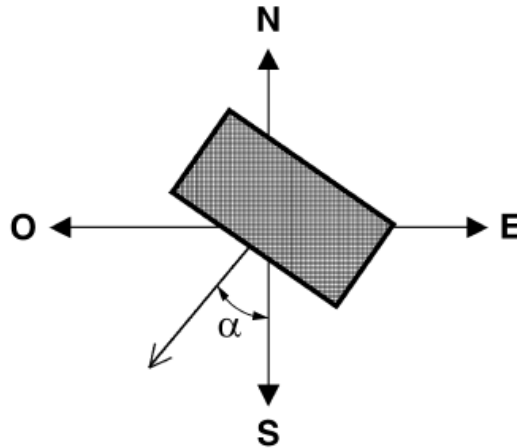


Figura 2.12. Ángulo Azimut.¹

En ocasiones, por cuestiones de la edificación, donde se llevara a cabo la instalación solar, resulta imposible colocar los colectores a la inclinación y orientación óptimas y por este motivo se generan pérdidas en su eficiencia. Tales pérdidas se pueden cuantificar mediante el método que se describe a continuación.

Una vez determinado el ángulo azimut al que se instalará el colector, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se utilizará la Figura 2.13, válida para una latitud (ϕ) de 41° , de la siguiente forma:

- Conocido el azimut, determinamos en la Figura 2.13 los límites para la inclinación en el caso $\phi = 41^\circ$. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud $\phi = 41^\circ$ y se corrigen de acuerdo con lo que se cita a continuación.

¹ Imagen obtenida de: <http://www.briconatur.com/briconaturblog/que-es-el-angulo-de-acimut-importancia-en-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>

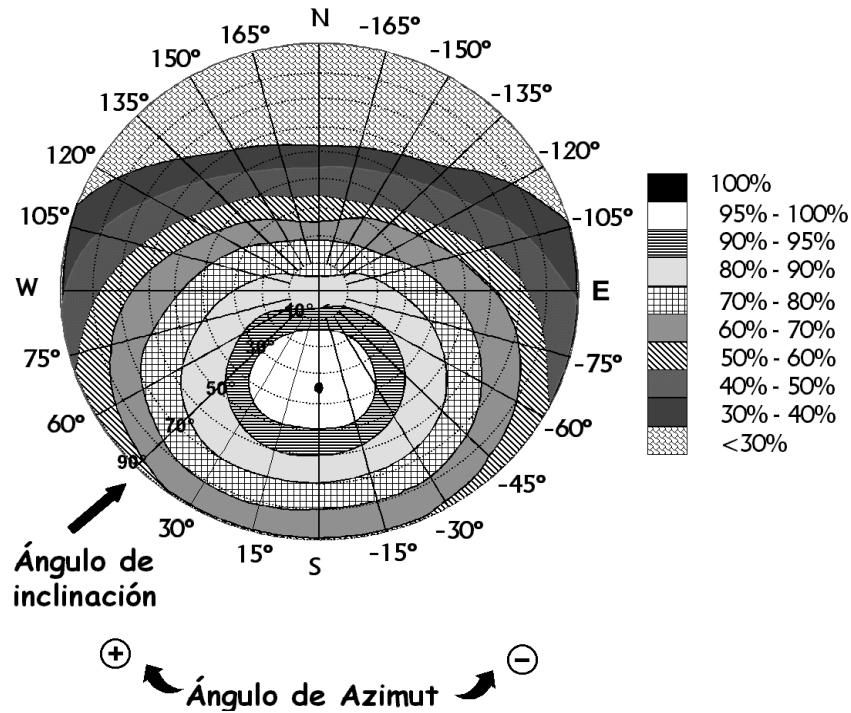


Figura 2.13. Mapa para calcular la eficiencia de un colector solar empleando el ángulo Azimut.¹

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Inclinación máxima = inclinación máxima (cuando $\phi = 41^\circ$) - (41° - latitud);

Inclinación mínima = inclinación mínima (cuando $\phi = 41^\circ$) - (41° - latitud); siendo 0° su valor mínimo.

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times \left[1.2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5} \alpha^2 \right] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times \left[1.2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 \right] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

Ejemplo 2.2. Se trata de evaluar si las pérdidas por orientación e inclinación del captador están dentro de los límites permitidos para una instalación en una azotea orientada 15° hacia el Oeste (azimut $\alpha = +15^\circ$) y con una inclinación de 40° respecto a la horizontal, para una localidad cuya latitud es de 29°.

Conocido el azimut, cuyo valor es +15°, se determinan en la Figura 2.13 los límites para la inclinación para el caso de $\phi = 41^\circ$. Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% (borde exterior de

¹ Imagen obtenida de: <http://www.briconatur.com/briconaturblog/que-es-el-angulo-de-acimut-importancia-en-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>

la región 90 % – 95 %), máximo para el caso general, con la recta de azimut nos proporcionan los valores (ver Figura 2.14):

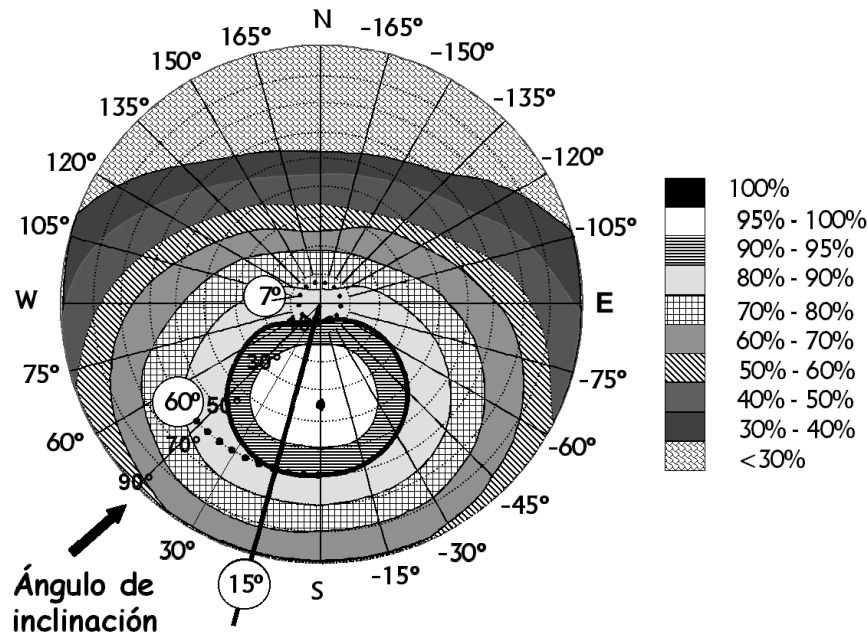


Figura 2.14. Solución del ejemplo.¹

Inclinación máxima = 60°

Inclinación mínima = 7°

Corregido para la latitud del lugar:

Inclinación máxima = 60° – (41° – 29°) = 48°.

Inclinación mínima = 7° – (41° – 29°) = –5°, que está fuera de rango. En este caso, se adaptaría una inclinación mínima teórica de 0°.

Por tanto, esta instalación, de inclinación 40°, cumple los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación.

2.3 SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL CALENTADOR SOLAR Y MÉTODO DE INSTALACIÓN

Como se mencionó al principio de este capítulo, esta aplicación puede utilizarse en cualquier parte de la República Mexicana. Aunque existen épocas del año en las que se presentan fuertes lluvias, granizadas e inclusive nevadas, este tipo de calentador proporciona agua con una temperatura de entre

¹ Imagen obtenida de: <http://www.briconatur.com/briconaturblog/que-es-el-angulo-de-acimut-importancia-en-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>

35 °C y 45 °C aproximadamente durante los días nublados, mantiene la temperatura por hasta 72 horas con una pérdida de 3 °C por día y el tiempo de recuperación del sistema es de 2 a 3 horas aproximadamente en un día soleado. Por tales motivos es una buena opción para el calentamiento de agua a lo largo de todo el territorio nacional.

En todo México, el calentador solar tiene que estar orientado hacia el Sur y libre de sombra en todo el día. De este modo se puede ubicar el calentador solar en cualquier parte de la propiedad del usuario que cumpla con estas dos condiciones, aunque por lo regular la instalación se lleva a cabo en las azoteas de las viviendas, debido a que es en esta área donde existen menos cantidad de objetos o edificaciones que pudieran generar alguna sombra, además al llevar a cabo la instalación en la azotea no se le resta estética a la construcción de la vivienda.

Existen calentadores solares que pueden ser integrados arquitectónicamente en las azoteas de las viviendas, siendo enfocados principalmente para viviendas de interés social y desarrollos inmobiliarios, (ver Figura 2.15). Este modelo es especialmente diseñado y construido en obra, es recomendado ampliamente para ser integrado en la ejecución de conjuntos y desarrollos habitacionales en serie, brindándoles un acabado con apariencia similar a la de un domo de cristal.

Una ventaja en la implementación de este sistema es que no supone un costo considerable, ya que aprovecha la inercia de la construcción y solo se requiere la ejecución de la carcasa contenedora del colector solar, garantizando un periodo de vida más largo con respecto a los colectores solares tradicionales. La recirculación en este tipo de instalación se logra gracias a una pequeña bomba hidráulica, por lo cual no es necesaria la instalación del tinaco en la azotea, debido a que el sistema no es alimentado por gravedad.



Figura 2.15. Instalación de un calentador solar incorporado en la edificación de la vivienda.¹

Al momento de llevar a cabo la instalación de un calentador solar lo idóneo es contratar a un técnico para que realice la instalación, por lo general, los fabricantes cuentan con un equipo de servicio técnico para llevar a cabo la instalación e inclusive, en algunos casos, dicha instalación no tiene costo alguno.

Si la instalación tiene que ser llevada a cabo por el usuario, es primordial seguir al pie de la letra las instrucciones de instalación que brinda el fabricante. El proceso de instalación puede variar

¹ Imagen obtenida de: <http://saecsol.com/catalogos.html>

dependiendo del equipo elegido y del fabricante que lo elaboro. A continuación se enlistan las recomendaciones que, sin importar el tipo de calentador o el fabricante, se tienen que tomar en cuenta para elegir el lugar donde se llevará a cabo la instalación:

- Es importante verificar que el colector solar se oriente hacia el Sur geográfico.
- Revisar que el lugar en donde se instalará el calentador esté libre de toda sombra.
- Asegurarse que el lugar elegido para la instalación pueda soportar el peso del calentador una vez que éste se encuentre lleno de agua en su totalidad.

Una vez elegido el lugar donde se instalará el calentador y teniendo a la mano la herramienta adecuada, el proceso de instalación del calentador se puede generalizar del modo que se describe a continuación:

- El primer paso a efectuar es el armado de la estructura base, una vez armada esta estructura, con ayuda de tornillos y taquetes, se procede a anclarla a una superficie de concreto de 5cm de espesor. Por lo regular, los técnicos que se encargan de la instalación, no anclan directamente la estructura base en la azotea de las viviendas. Esto se debe a que al momento de perforar la azotea se pueden generar, en los días lluviosos, algunas filtraciones de agua o humedad en la vivienda.
- Una vez que se tiene armada la estructura base, se procede a montar sobre ella el termotanque fijándolo a la base con la tornillería y los aditamentos que proporciona el fabricante para este fin.
- Cuando se tienen instalados estos dos componentes, el siguiente paso es acoplar con ayuda del kit de conexiones el colector solar al termotanque, si se trata de un colector solar plano simplemente se precisa instalar la salida de agua caliente que va del colector al termotanque y el retorno del agua fría que va del termotanque al colector. En caso de tratarse de un colector “Heat Pipe” se precisa únicamente de introducir y asegurar los tubos de vacío en los orificios del termotanque.
- Después de llevar a cabo todos los pasos anteriores, lo único que nos resta por efectuar es instalar la entrada de agua fría que proviene de la red y la salida de agua caliente del calentador hacia los servicios.

En el caso de que el requerimiento de agua caliente en la vivienda, sea provisto únicamente por el calentador solar, después de instalado el equipo lo único que se debe hacer es abrir la válvula de entrada de agua hacia el calentador y esperar unas horas a que la temperatura del agua se incremente para poder hacer uso de la misma. Se recomienda que el uso del agua caliente sea principalmente por la tarde cuando el sistema presenta su mayor eficiencia o por la noche cuando no se ha perdido gran parte de la temperatura del agua.

En ocasiones el agua que proviene del calentador solar, no cubre los requerimientos térmicos del usuario, en esos casos es preciso tener un sistema de respaldo para elevar la temperatura del agua. Este tipo de instalación es el más común y se emplea como respaldo un calentador de gas LP el cual tiene que ser instalado en serie con el calentador solar para que una vez que salga el agua del calentador solar, si esta no tiene la temperatura deseada, pase al calentador de gas LP para que éste pueda elevar su temperatura hasta el nivel deseado.

Para poder llevar a cabo este tipo de instalación, es preciso realizar una preparación en la red hidráulica de la vivienda de la manera que se ilustra en la Figura 2.16.

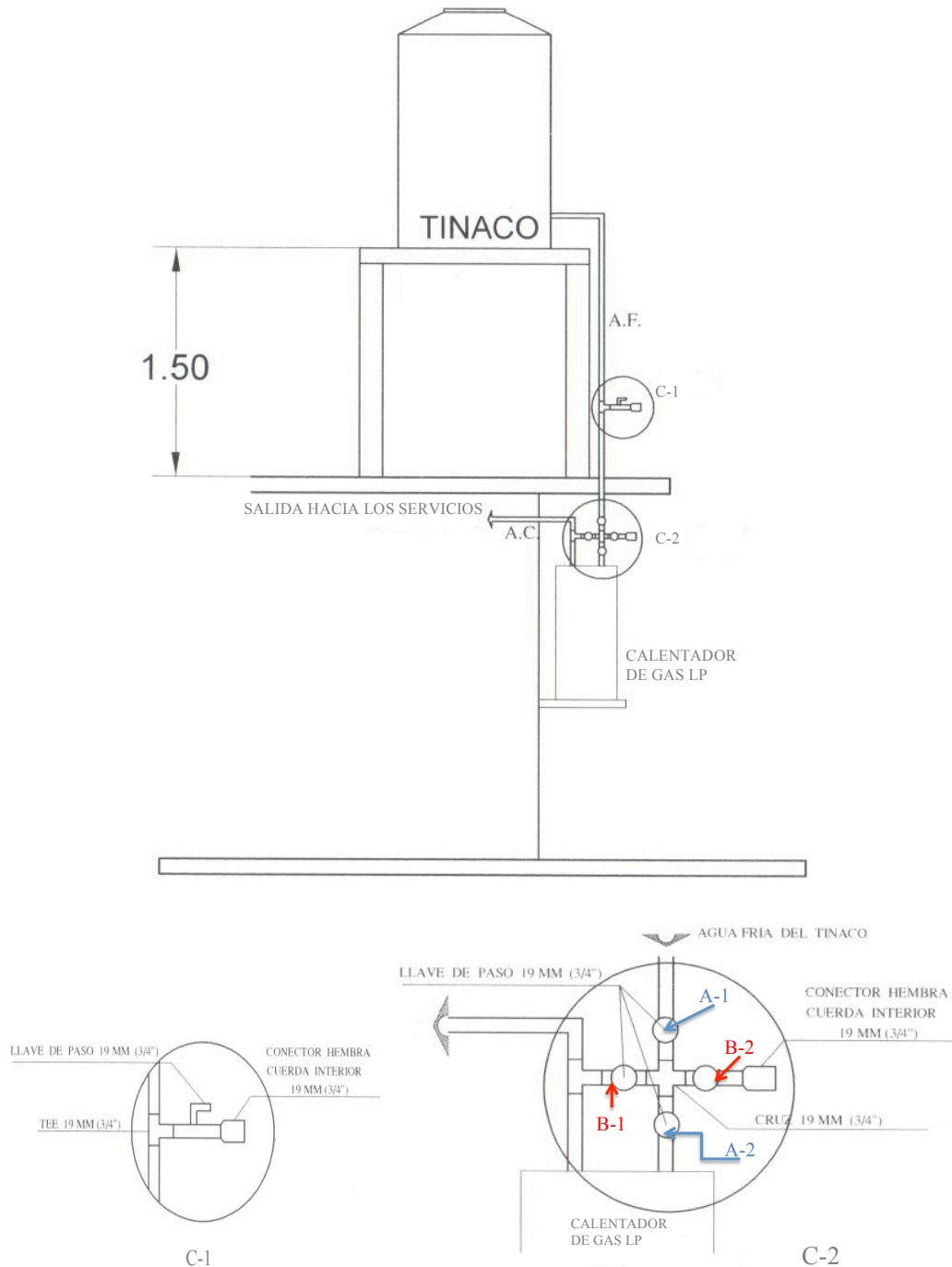


Figura 2.16. Preparación para la instalación de un calentador solar que trabaja en serie con un calentador de gas LP.

En la Figura 2.16, podemos observar que del suministro del agua fría proveniente del tinaco se desprenden dos conexiones la primera, identificada como C-1, es de donde se suministra el agua fría al calentador solar, después de calentarse el agua, saldrá del calentador solar y se acoplara a la conexión C-2 en el conector que es regido por la válvula B-2. La conexión C-2 muestra cuatro válvulas que

deben de trabajar en pares dependiendo de cual de los tres casos, que a continuación se describen, sea el que se nos presente:

Caso 1.- Si la temperatura que entrega el calentador solar es la deseada por el usuario, esto se presenta en las épocas del año con más radiación solar. Se tienen que abrir las válvulas B-1 y B-2 y mantener cerradas las válvulas A-1 y A-2. Esto permitirá que solo trabaje el calentador solar por lo cual no es necesario que este encendido el calentador a gas.

Caso 2.- Si la temperatura que entrega el calentador solar no es la deseada por el usuario. Se tendrán que abrir las válvulas A-2 y B-2 y mantener cerradas las válvulas A1 y B1.

Caso 3.- Cuando sea necesario llevar a cabo alguna reparación o mantenimiento al calentador solar. En este caso será necesario abrir las válvulas A-1 y A-2 y mantener cerradas las válvulas B-1 y B-2, de este modo solo trabajara el calentador a gas.

Una vez terminada la instalación, el mantenimiento que debe tener un calentador solar es mínimo, esto se debe a que el equipo no cuenta con partes eléctricas o mecánicas que puedan presentar algún desgaste. Lo único que precisa el calentador solar para que su funcionamiento sea siempre el óptimo, es con ayuda de un paño, limpiar la cubierta del colector con una solución de cinco partes de agua por una de vinagre blanco, asimismo el termotanque está provisto con una salida para drenar las impurezas del agua que se van acumulando con el tiempo, se recomienda realizar este servicio de mantenimiento cada tres meses.

2.4 COSTO DE UN CALENTADOR SOLAR

El costo de un calentador varía dependiendo de diversos factores como lo son; el tipo de calentador, la cantidad de ACS que se requiera calentar, el empresa que lo fabrica y la cantidad de material que se emplee durante la instalación, el cual depende del lugar de la vivienda donde se vaya a instalar y de las adecuaciones que se tengan que realizar si es que se va a incorporar el calentador solar a una red hidráulica ya existente.

Por lo regular el requerimiento para un calentador solar oscila entre los 100 y 200 *l/día* por vivienda, dentro del mercado actualmente los calentadores que cubren esta demanda tiene un precio aproximado de entre \$ 5,000 M.N. y \$ 12,000 M.N., según el tipo de calentador y el fabricante, y el costo de su instalación por lo general oscila entre los \$ 3,000 M.N. De tal modo que podríamos considerar en el escenario menos favorable, que la instalación de un calentador solar con una capacidad de 200 *l/día* costaría aproximadamente \$15,000 M.N.

2.5 CALENTADORES SOLARES DE AGUA PARA ALBERCAS

Esta es posiblemente la aplicación más amplia en México para la energía solar. El buen clima de nuestro país hace que incluso en los meses considerados de invierno la temperatura en las horas de mayor radiación solar permita el uso de la alberca. Sin embargo es frecuente que el agua en esos meses se encuentre demasiado fría. Es por esto que en muchos lugares se opta por instalar un sistema de calefacción, también llamadas calderas, en la alberca para obtener el agua a una temperatura de entre 25 y 30 grados centígrados. Los sistemas comunes de calefacción emplean generalmente gas LP, pero debido a que el agua que necesita incrementar su temperatura es demasiada, la demanda energética es muy elevada. Por tal motivo se requiere de una gran cantidad de gas LP para poder cubrir dicha demanda, lo que repercute en una gran cantidad de contaminantes hacia la atmosfera y un elevado costo del proceso.

Por este motivo, normas como la NADF-008-AMBT-2005 obligaron a los centros deportivo, que cuenten con albercas, a cubrir al menos el 30% de esta demanda en base a calentadores solares.

El calentamiento del agua en las albercas trabaja bajo el mismo principio del calentamiento de agua para uso doméstico pero presenta algunas variantes en sus componentes, las cuales son:

- En estos equipos se emplean varios colectores solares interconectados entre si.
- La circulación del agua al interior de los colectores no se realiza por convección natural y por tal motivo se requiere de una bomba con un sistema de control que este provisto con sensores de temperatura para accionar o interrumpir el funcionamiento de la bomba.
- No se requiere de termotanques debido a que una vez que el agua caliente sale de los colectores solares se deposita directamente en la alberca.
- Las tuberías empleadas son de mayor diámetro debido a que en su interior circula una mayor cantidad de agua.
- En las albercas que se encuentran al aire libre se recomienda instalar una cubierta térmica, elaborada de material plástico, esta cubierta debe de instalarse por las noches y en los días que no se tenga radiación solar debido a que las pérdidas de temperatura pueden ser de hasta un 70%.

El proceso de instalación, es similar a los calentadores solares de uso doméstico, se ubican en áreas muertas de la vivienda, por lo general azoteas, orientados hacia el sur y libres de toda sombra, se arma e instala su estructura base y sobre de ella se montan los colectores solares, la bomba hidráulica se encarga de hacer pasar por el interior de los colectores solares el agua que esta en la alberca. El sistema de control funciona deteniendo automáticamente la bomba en los momentos en que los colectores no reciben suficiente radiación solar (por tiempo nublado o por ser de noche). De esta manera se aprovecha al máximo la energía solar así como se mantiene la bomba funcionando sólo el tiempo necesario.

En este tipo de calentadores se pueden emplear colectores de tipo plano y de tipo "Heat Pipe", los cuales se emplean cuando el espacio para la instalación es reducido y puede ser que la misma instalación para calentar el agua de una alberca puede ser usada para la obtención de ACS para uso doméstico. También existen calentadores diseñados especialmente para el calentamiento de agua para albercas, este tipo de calentadores son esencialmente tableros de polietileno de alta densidad con grandes cabezales arriba y abajo conectados por una gran cantidad de pequeños tubos, existe otro tipo

de calentador el cual se trata únicamente de una larga manguera de polietileno enrollada, (ver Figura 2.17).



Figura 2.17. Calentadores solares para albercas.¹

Normalmente, la superficie de captación necesaria comprenderá de entre el 50 al 100% de la superficie de la alberca. Por lo tanto, si la alberca tiene $50 m^2$, el colector tendrá al menos $25 m^2$. Este método de cálculo resulta muy ambiguo debido a que el área de captación necesaria para una alberca depende de varios factores adicionales al área o volumen de la misma, estos factores incluyen la forma y profundidad de la alberca, temperatura deseada del agua, condiciones del viento, sombras sobre la alberca, cómo se planea usar la alberca e inclusive el color de sus paredes. Por tal motivo es recomendable ponerse en contacto con los fabricantes para que ellos puedan dimensionar la instalación tomando en cuenta todos estos factores.

Como ya se mencionó, las pérdidas térmicas que sufre el agua de la alberca pueden ser de hasta un 70%. Dichas pérdidas son de cuatro tipos diferentes, (ver Figura 2.18):

Pérdidas por evaporación. En todas las superficies de contacto aire-agua ocurre este fenómeno independientemente de la temperatura a la que se encuentren. El agua al evaporarse absorbe calor que toma de la masa de agua que se queda en estado líquido, lo que provoca que esta se enfríe. Tendremos una mayor o menos evaporación dependiendo de la sequedad y temperatura de la atmósfera, siendo muy importante la exposición al viento de la alberca, ya que suele ser el factor que más provoca la evaporación.

Pérdidas por radiación. Es el calor que pierde el agua de la alberca por irradiación a la atmósfera. Las noches frescas de cielo raso (sin una nube) son las más propensas a que ese calor se pierda. En el caso de las albercas cubiertas las pérdidas por radiación se reducen en gran medida.

Pérdidas por conducción. Aunque estas pérdidas son poco importantes. Se refieren al calor del agua que se pierde a través de las paredes de la alberca.

Pérdidas por convección. Estas pérdidas se presentan sólo en albercas descubiertas al estar en contacto el agua caliente de la alberca con el aire frío del ambiente.

¹ Imagen obtenida de: http://www.georigo.com/?mod=cal_que_es

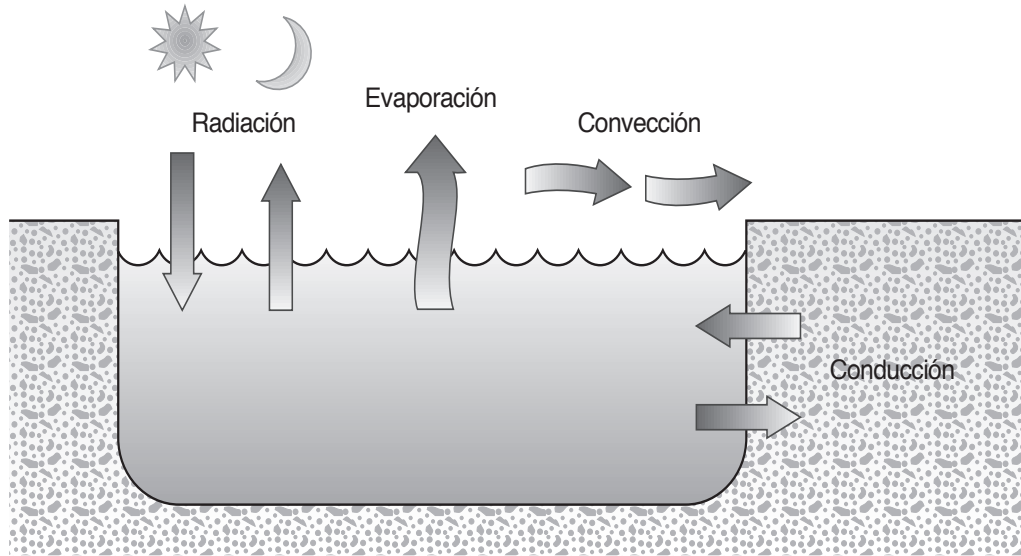


Figura 2.18. Tipos de pérdidas del calor del agua en una alberca.¹

¹ Imagen obtenida de: <http://www.sitiosolar.com/albercas/>

Energía fotovoltaica

La investigación y el desarrollo de la tecnología fotovoltaica tiene una gran tradición en nuestro país y se remonta hasta la década de los 70's. El CINVESTAV del IPN inició la manufactura de celdas fotovoltaicas y su ensamble en módulos. En 1978 se puso en operación una planta piloto para generar 4 kWp por año. La capacidad de la planta posteriormente fue incrementada hasta los 20 kW. Algunas otras instituciones como el Instituto de Energías Renovables de la UNAM llevan a cabo investigaciones en materiales para la elaboración de celdas fotovoltaicas más eficientes.

3.1 TIPOS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

En un principio la mayoría de instalaciones solares fotovoltaicas, fueron diseñadas como sistemas de generación para zonas donde no llega la red eléctrica convencional, o resulta excesivamente costoso llevar a cabo el tendido del cableado eléctrico. Estas instalaciones se denominan *instalaciones aisladas de red* o *instalaciones autónomas, o tipo isla*.

Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado otro tipo de aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas, que son las *instalaciones conectadas a la red* de distribución. Este tipo de instalaciones han presentado una rápida evolución debido, principalmente, al descenso en los precios de los componentes de las instalaciones fotovoltaicas, al aumento en su eficiencia y confiabilidad de los sistemas y a los estímulos gubernamentales que se están brindando para la generación de energía eléctrica mediante la implementación de energías renovables.

3.1.1 Instalaciones aisladas de red

Como ya se mencionó, este tipo de instalaciones son las que carecen de conexión con la red eléctrica convencional. Dentro de los sistemas aislados de red se pueden diferenciar entre sistemas con almacenamiento y sistemas de conexión directa.

Los sistemas con almacenamiento, son los que están conectados a un grupo de baterías que permiten el suministro eléctrico en periodos de poco o nulo aprovechamiento de la radiación solar, (ver Figura 3.1), estos a su vez, pueden diferenciarse por el consumo al que están conectados, así puede haber instalaciones aisladas con elementos de consumo en corriente alterna (CA) o elementos de consumo en corriente continua (CC). También pueden existir casos en los que el consumo de corriente sea simultáneo.

Los sistemas directos no disponen de baterías, de modo que únicamente se dispondrá de corriente eléctrica en los periodos en que se disponga de radiación solar, por lo que estos sistemas son utilizados cuando no es importante que haya interrupciones o variaciones en el suministro eléctrico.

La electrificación de viviendas, es la utilización más usual de la energía solar fotovoltaica, especialmente en los casos de viviendas alejadas de la red eléctrica convencional. Para diseñar una instalación de forma adecuada se deben conocer los hábitos de consumo de energía eléctrica por parte de los usuarios, evitándose así los riesgos de un mal dimensionado de la instalación.

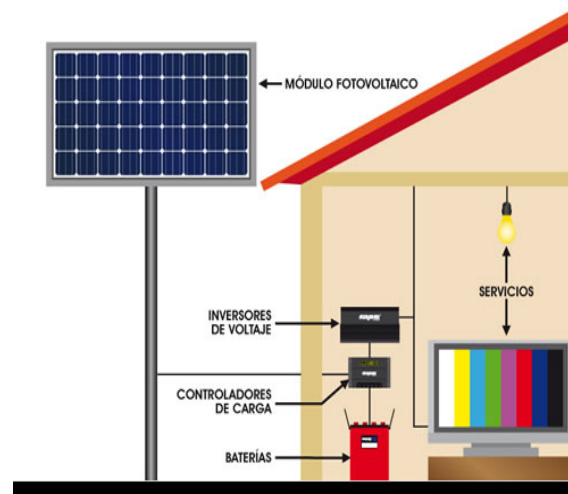


Figura 3.1. Sistema solar fotovoltaico aislado o fuera de red.¹

Los elementos de consumo, a los que alimentan las instalaciones fotovoltaicas en las aplicaciones domésticas pueden ser en corriente continua o corriente alterna, con las siguientes peculiaridades:

- Los equipos de corriente continua generalmente corresponden con aplicaciones de iluminación, televisión y pequeños electrodomésticos. Estos equipos tienen un costo mayor que los de CA.
- Los equipos de corriente alterna corresponde a los elementos de consumo utilizados en instalaciones convencionales. Este tipo de instalaciones requieren de un inversor que transforme la CC en CA.

Las instalaciones domésticas, también pueden subdividirse en instalaciones descentralizadas o centralizadas:

- Las primeras son aquellas en las que cada vivienda está alimentada por un generador fotovoltaico. Este sistema se utiliza cuando existen dificultades para alimentar una vivienda o un grupo de viviendas de forma económica, a través de una línea general. La ventaja de este sistema es la independencia en el diseño y en el uso y mantenimiento posterior.
- Las instalaciones centralizadas son aquellas en las que un único generador fotovoltaico alimenta a un grupo de viviendas. Las ventajas que presenta la instalación centralizada es que el número de módulos y baterías se reduce, solamente es necesario un inversor y se unifican las tareas de

¹ Imagen obtenida de: <http://www.funcosa.com.mx/productos/sistemas-fotovoltaicos/sistema-tipo-isla.html>

mantenimiento, presentándose como principal desventaja el encarecimiento de la instalación por la necesidad de ejecutar un tendido de cableado de distribución eléctrica que conecte el generador fotovoltaico con todas y cada una de las viviendas.

Otras aplicaciones donde se emplea la energía solar fotovoltaica aislada, son los satélites artificiales, alumbrado público, equipos de telecomunicaciones y telefonía, linternas, calculadoras de bolsillo, etc.

3.1.2 Instalaciones conectadas a red

Son las instalaciones en las que la energía generada por el campo fotovoltaico se vierte, en su totalidad, directamente a la red general de distribución.

Las instalaciones conectadas a red no poseen baterías ni reguladores, componiéndose únicamente, de los módulos fotovoltaicos y del inversor (ver Figura 3.2). Los módulos fotovoltaicos son los mismos que para las instalaciones aisladas de red, sin embargo, los inversores deberán tener las siguientes características:

- Disponer de un sistema de medición de la energía consumida y la energía entregada.
- Ser capaz de interrumpir o reanudar el suministro en función del estado del campo de paneles.
- Convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia y fase que la existente en cada momento en la red de distribución.

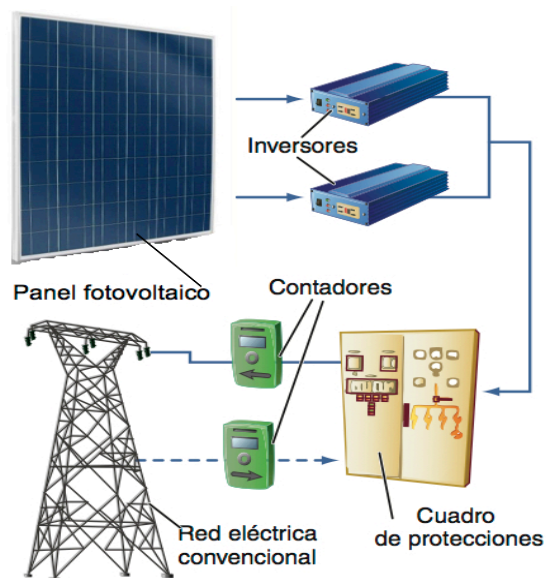


Figura 3.2. Sistema solar fotovoltaico conectado a red.¹

Inicialmente, estos sistemas conectados a red se diseñaron y calcularon para el montaje de centrales fotovoltaicas. Después de comprobar que las centrales fotovoltaicas funcionaban correctamente, en la medida que se avanzó en la tecnología, no se tardó en implementar estos sistemas en potencias

¹ Imagen obtenida de: <http://www.obremo.es/servicios-obremo/sector-renovables/energia-solar-fotovoltaicas.html>

menores, con el fin de ser empleados en pequeñas centrales domésticas adaptables a viviendas dotadas de acometida convencional de electricidad.

Este tipo de instalaciones, desde un punto de vista de macro-escala, podría en un futuro resolver en algunas zonas ciertos problemas existentes en la generación y distribución de energía eléctrica convencional (ver Figura 3.3). En nuestro país contamos con dos centrales de energía solar fotovoltaica, una se encuentra ubicada en Sta. Rosalía, Baja California Sur, que cuenta con una capacidad de producción de 1 MW y la otra central está ubicada en Cerro Prieto, Baja California, y cuenta con una capacidad de producción de 5 MW.

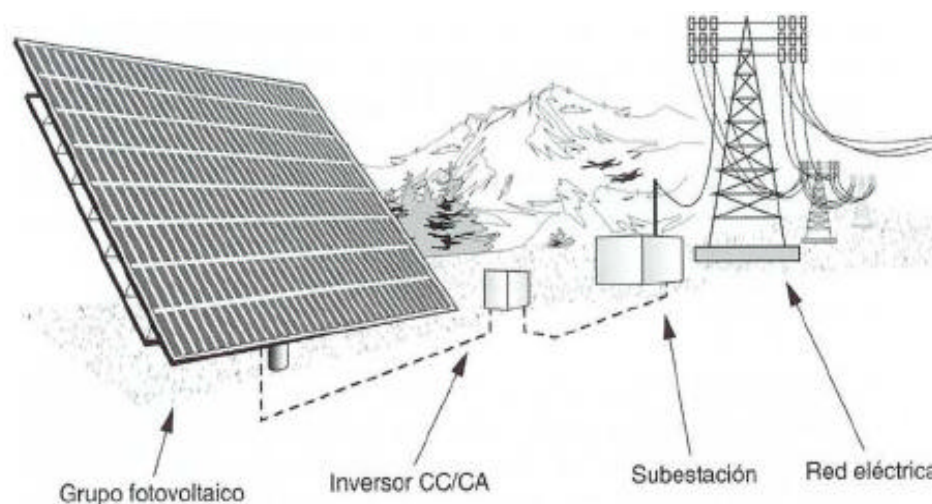


Figura 3.3. Central fotovoltaica de generación de energía eléctrica.¹

Al tratarse de sistemas de un costo elevado, se proporcionan diferentes incentivos gubernamentales para promover que los ciudadanos se interesen en este tipo de generación de energía eléctrica. Desde el punto de vista técnico, las conexiones a red domésticas son mucho más efectivas que las centrales: se evitan las pérdidas por transporte de la energía generada, debido a que la energía de origen solar es producida allí donde es consumida.

3.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Los elementos principales de un sistema fotovoltaico son: las celdas fotovoltaicas, (algunas veces referidas como celdas solares), las cuales se interconectan y se encapsulan para formar un módulo fotovoltaico, la estructura base, para el montaje del módulo o módulos, los inversores (esencial para sistemas conectados a red y necesario para sistemas fuera de red que requieren suministro de corriente alterna), batería de almacenamiento y un regulador de carga (requerido únicamente para sistemas fuera de red).

¹ Imagen obtenida de: Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”

A continuación se describe brevemente estos componentes para comprender mejor su funcionamiento:

3.2.1 Módulo Fotovoltaico

En las celdas fotovoltaicas, la radiación solar recibida produce en un material semiconductor (generalmente silicio) una diferencia de voltaje entre sus extremos, que, al ser conectados a un circuito, generan una corriente eléctrica en el mismo. Para aumentar este fenómeno, se dopa el material semiconductor.

Las celdas fotovoltaicas, 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 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, los paneles fotovoltaicos operan con los siguientes voltajes: 1.5 V, 6 V, 12 V y 24 V. Las celdas que integran un panel fotovoltaico deben tener parámetros eléctricos muy similares, para evitar las descompensaciones que se producirían en el interior del módulo por si algunas celdas generaran más corriente que otras. El módulo fotovoltaico consta de diversas capas de polímeros, las cuales recubren a las celdas por arriba y por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que además las protegen contra los agentes atmosféricos, especialmente el agua, que puede llegar a ser causante de la oxidación de los contactos, con lo cual las células quedarían inservibles para la producción de energía.

Los módulos fotovoltaicos, tienen estructuras y formas muy variadas. 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

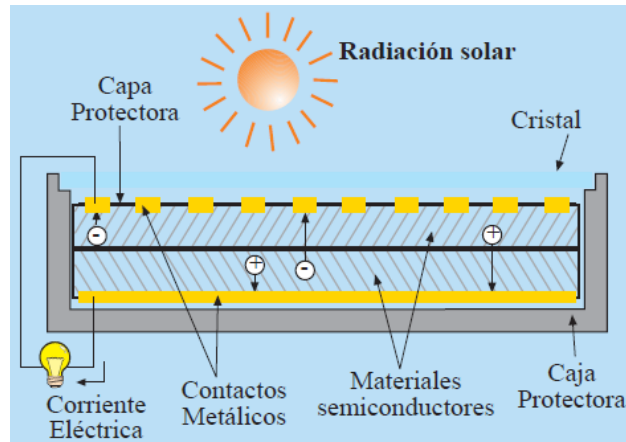


Figura 3.4. Sección de un panel fotovoltaico.¹

Una vez que se dispone de las celdas solares debidamente seleccionadas y agrupadas, se interconectan en serie para conseguir un voltaje normalizado. Generalmente se dispone de un total de 30 a 36 celdas, número que variará en función del tipo y voltaje de cada una.

Dispuesto el circuito eléctrico se depositan, por una parte, el cristal y una capa de encapsulante, y por la contraria, otra capa de encapsulante y la de protección posterior. Este conjunto es introducido en un horno especial para su laminación, donde se realizará el vacío para hacer desaparecer toda bolsa de aire que pueda quedar en el interior. Seguidamente se va aumentando la temperatura, de tal forma que el encapsulante empiece a fundirse (ya que su punto de fusión es más bajo que el del resto de los materiales), rodeando totalmente a células y contactos, a la vez que hace de adhesivo con el cristal y la capa posterior, quedando el conjunto totalmente sellado. Una vez que todas estas capas han formado un bloque compacto, se aplica el marco soporte mediante goma butílica o silicona, para permitir sin problemas las dilataciones del conjunto por efecto del calor. El proceso siguiente consiste en incorporar los conectores y realizar las pruebas finales del módulo, que permitirán clasificarlos por potencias para que, mediante algún código, puedan ser identificados a la hora de su instalación.

3.2.2 Estructura base

Al igual que en los calentadores solares, la estructura base se encarga de soportar y asegurar los generadores solares proporcionándoles la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación solar (ver Figura 3.5). Se fabrica por lo general de algún material metálico de bajo peso y su diseño estará en función del tipo de instalación que se desee llevar a cabo, pues los módulos fotovoltaicos suelen instalarse de cuatro principales formas diferentes: en las azoteas, en las paredes de las viviendas, sobre un mástil o sobre el mismo suelo.

¹ Imagen obtenida de: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/energia-solar-fotovoltaica>

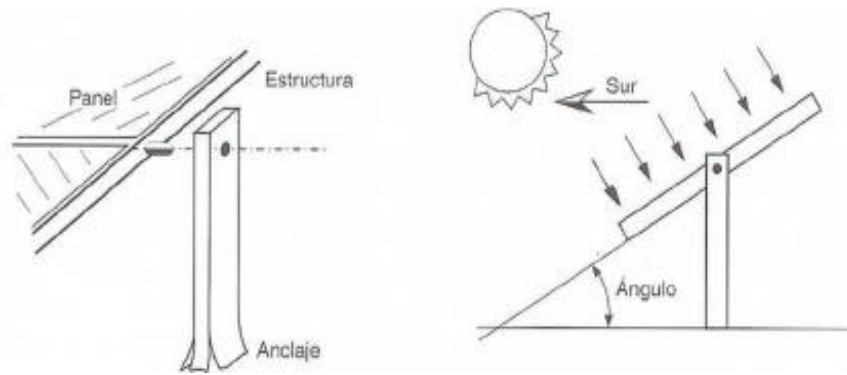


Figura 3.5. Estructura base de un panel fotovoltaico.¹

3.2.3 Inversores

Los inversores, son dispositivos capaces de alterar las características del voltaje y la corriente que reciben, transformándola de manera óptima para los usos específicos donde va a ser destinada en cada caso. Los tipos de convertidores más empleados en las instalaciones fotovoltaicas son los siguientes:

Inversor continua-alterna.- Los convertidores continua-alterna (CC/CA), también llamados inversores u onduladores, son dispositivos que convierten la corriente continua de una batería en corriente alterna.

Si utilizamos convertidores CC/CA, debemos considerar el rendimiento de este equipo al momento de dimensionar la instalación y tener en cuenta que el mismo puede disminuir a medida que utilizamos menos potencia de la nominal del equipo inversor.

Convertidores continua-continua.- En algunas aplicaciones es preciso alimentar eléctricamente varios equipos y existen casos en donde no se puede hacer coincidir los voltajes de funcionamiento. En esos casos el uso de un convertidor continua-continua (CC/CC) es indispensable, debido a que no sería una buena solución el tomar voltajes parciales del grupo de baterías, pues generaría pasos de corriente entre elementos que no favorecerían la vida de éstos. Mediante el uso de convertidores CC/CC la descarga de la batería se hace por igual y se consigue un voltaje totalmente estable que favorece el buen funcionamiento del equipo.

En un convertidor CC/CC la corriente continua es transformada a corriente alterna mediante el uso de un inversor, y una vez que este cambio está realizado, elevamos o reducimos su voltaje mediante un transformador hasta el valor adecuado, para volver a convertir a corriente continua. De esta forma conseguimos el voltaje adecuado, con la ventaja del aislamiento galvánico que nos produce el transformador.

Convertidores de acoplamiento.- Estos dispositivos consiguen aumentar de forma apreciable la intensidad eléctrica suministrada por el generador solar a la batería.

¹ Imagen obtenida de: Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”

En sistemas fotovoltaicos autónomos, hay una gran diferencia entre la potencia nominal del módulo y la potencia útil que realmente se aprovecha. La instalación de un convertidor de acoplamiento permite el trabajo del módulo fotovoltaico a un voltaje superior al de la batería, convirtiendo el exceso de voltaje del panel en potencia disponible para contribuir a una mayor carga en amperios de la batería, recibiendo este efecto el nombre de ganancia. Un convertidor de acoplamiento provecha la diferencia de voltajes de trabajo entre el módulo y la batería. Cuando el voltaje de la batería es bajo, dicha diferencia es mayor y por lo tanto la ganancia aumenta. En cambio, a medida que la batería aumenta de voltaje, se reduce la diferencia, y por lo tanto también la ganancia, si bien es cierto que en ese momento el aprovechamiento de los recursos del módulo es óptimo.

3.2.4 Batería de almacenamiento

La batería, también llamada acumulador, es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (*Ah*), para un determinado tiempo de descarga, y se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa. Su misión principal dentro de un sistema solar fotovoltaico consiste en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del panel en ese preciso momento. Cumple, por otra parte, una misión de fiabilidad, ya que también tiene la función de poder alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a las condiciones meteorológicas adversas.

La batería empleada en aplicaciones solares debe cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar
- Mantenimiento nulo o mínimo
- Fácil transporte e instalación
- Baja autodescarga
- Rendimiento elevado
- Larga vida

Es normal especificar la capacidad de una batería solar en un tiempo de 100 horas, debido a que en muchos casos se habla de autonomías de cinco o más días. Por tanto, la descarga se produciría en $24 \times 5 = 120 h$.

Fundamentalmente, existen dos tipos de baterías idóneas para aplicaciones solares: las estacionarias de plomo-antimonio (*Pb – Sb*) y las de plomo-calcio (*Pb – Ca*). Las primeras se encuadran dentro del tipo de ciclo profundo, por lo que deben ser usadas en aquellas aplicaciones en las que la descarga pueda llegar a límites bajos de una forma obligatoria y, en general, donde el ciclo diario supere el 15% de la capacidad de la batería. No obstante, ofrecen un buen funcionamiento en todos los casos, presentan una vida elevada y en algunos modelos se incorpora una gran reserva de electrolito que hace

su mantenimiento menos constante. Las baterías de plomo-calcio presentan en algunos de sus modelos la ventaja de no requerir ningún mantenimiento, esto es particularmente importante en aquellas instalaciones remotas o de difícil acceso. A diferencia de las estacionarias, que se presentan generalmente en elementos de 2 V, las de *Pb – Ca* suelen construirse en tipo monobloc de 12 V y con unas capacidades máximas de 150 Ah (a 100 h), lo que las hace apropiadas para las pequeñas instalaciones donde el ciclo de descarga diario no supere el 10% y, en emergencias, el 50% como máximo.

Los datos necesarios para un diseño adecuado de la batería integrada en un sistema fotovoltaico serían los siguientes:

- Voltaje de funcionamiento
- Descarga máxima al final de los días de autonomía
- Temperatura media de funcionamiento
- Temperatura mínima
- Días consecutivos en los que se pueden producir bajas temperaturas
- Tipo de regulador usado
- Facilidad de acceso de montaje y mantenimiento del acumulador en el lugar de la instalación

3.2.5 Reguladores de carga

Los módulos fotovoltaicos, tienen un voltaje nominal superior al voltaje nominal de las baterías usadas en las instalaciones. Esto se debe a dos causas:

- El voltaje nominal del panel debe ser más elevado, para contrarrestar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura.
- El voltaje cuando el circuito del panel fotovoltaico está abierto debe ser siempre mayor que el voltaje máximo de la batería, para poder cargarla adecuadamente. Pues para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de 12 V nominales, se necesita un voltaje mínimo de 14 V (2.34 V por elemento de batería).

La misión del regulador se centra, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar algún daño a la batería que pueda acortar la vida útil de la misma.

El regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga de la batería al mismo tiempo que limita su voltaje a los valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías.

La función del regulador es de suma importancia, debido a que los módulos fotovoltaicos son una fuente de energía variable y estacional. Supongamos, por ejemplo, que tenemos que satisfacer una demanda de energía fija durante todos los días del año, si calculamos el número de módulos solares necesarios para cubrir esta demanda, deberemos tomar como base la radiación durante el invierno para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en la temporada de menor radiación solar. Sin embargo, en el verano el valor de la radiación aumentara y la producción será mayor a la calculada

para la estación invernal. De no existir un sistema regulador, se produciría un exceso de corriente que sería capaz de hacer hervir el electrolito, con la consiguiente pérdida de agua y deterioro del grupo acumulador, al no estar limitada la tensión.

El control del estado de carga de las baterías se realiza mediante la medida del voltaje en sus conectores. Así, el circuito de control del regulador de carga sabe cuándo éste debe empezar a actuar limitando la corriente proporcionada por los paneles fotovoltaicos.

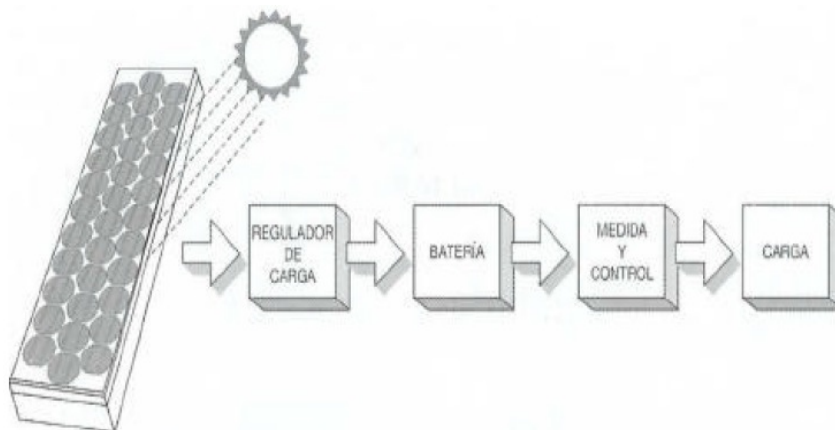


Figura 3.6. Diagrama de una instalación solar fotovoltaica.¹

En la Figura 3.6 se muestra el diagrama básico de una instalación solar, pero también existen en el mercado fotovoltaico paneles solares que no necesitan usar regulador de carga. Este hecho proporciona múltiples ventajas en costo y fiabilidad, ya que tan sólo trabajan los dos elementos más robustos: el panel y la batería.

3.3 COMO CALCULAR UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Los dos factores que se deben tomar en cuenta para diseñar un sistema solar fotovoltaico son; la cantidad de energía solar recibida y la demanda diaria de energía. El consumo eléctrico del equipo receptor queda determinado por la potencia eléctrica consumida multiplicada por las horas de funcionamiento a que va a estar sometido dicho equipo.

En la Tabla 3.1, se muestran dos ejemplos del cálculo de la demanda energética diaria en dos viviendas. El consumo energético de cada aparato se puede obtener de las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante.

¹ Imagen obtenida de: Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”

Aparato electrodoméstico	Cantidad	Vivienda 1		Vivienda 2	
		Horas de uso diario	Consumo en W	Horas de uso diario	Consumo en W
Focos ahorradores (15 W)	5	5	375	4	300
Focos ahorradores (30 W)	4	5	600	4	480
Equipo modular (350 W)	1	2	700	1.5	325
Televisor a color 27" (160 W)	1	2	320	2	320
Televisor a color 29" (180 W)	1	3	540	4	720
Reproductor de DVD (20 W)	1	3 h/sem	9	3 h/sem	9
Computadora (300 W)	1	3	900	2	600
Lavadora mediana (650 W)	1	1 h/sem	93	2 h/sem	186
Horno de microondas (1100W)	1	5 min/día	91	3 min/día	55
Plancha (960 W)	1	2 h/sem	274	2 h/sem	274
Cargador para celular (3 W)	2	2	12	2	12
Taladro casero (250 W)	1	2 min/día	8	0	0
Licuadaora (240 W)	1	2 min/día	8	2 min/día	8
		TOTAL	3930	TOTAL	3289

Tabla 3.1. Ejemplos de cuantificación de la demanda energética en dos viviendas.

Para conocer la demanda energética de la vivienda, en la que se llevará a cabo la instalación del equipo fotovoltaico, bastará con realizar un ejercicio similar al de la Tabla 3.1, donde consideremos todos los aparatos eléctricos que se desean utilizar en dicha vivienda.

Después de conocer la demanda diaria, restaría únicamente analizar la potencia recibida del Sol, en el lugar de la ubicación, para poder calcular el número de módulos fotovoltaicos necesarios, para que se iguale globalmente la potencia producida a la consumida.

Para conocer los datos de la cantidad de radiación solar que existe en algún lugar, es necesario consultar las tablas de radiación de ese lugar, estas tablas suelen contener las medias de medidas realizadas en varios años, esto nos asegura una buena confiabilidad en dichos datos. Las unidades de medición de energía solar que comúnmente se usan son el kilojulio por metro cuadrado (kJ/m^2), aunque también se puede emplear el Langley (caloría por centímetro cuadrado cal/cm^2).

Al momento de calcular el sistema, es sumamente importante considerar las condiciones meteorológicas particulares del lugar donde se pretende llevar a cabo la instalación, es preciso recabar los datos referidos a la cantidad de precipitaciones, temperaturas máximas, mínimas y medias, etc.

Es importante relacionar el valor de la radiación, con la cantidad de energía que va a generar un módulo solar fotovoltaico en las condiciones de radiación dadas para el lugar, partiendo de la energía total diaria recibida, obtenida de las tablas mencionadas anteriormente, dada en kJ/m^2 o Langleys. Estos valores representan las medias diarias, calculadas por meses, de energía total recibida durante el día promedio. Los fabricantes de módulos solares expresan sus valores eléctricos referidos a una radiación de $100 mW/cm^2$, o lo que es lo mismo, $1000 W/m^2$. Se debe establecer una relación entre la energía solar recibida y la cantidad de energía proporcionada por el módulo fotovoltaico a una radiación de $100 mW/cm^2$; a este valor se le da el nombre de horas de sol pico (h.s.p) u horas de sol equivalente, esto se puede entender al colocar el Sol, frente al panel solar durante estas horas y retirarlo

después. La cantidad de energía en este supuesto, es la misma que se genera a lo largo del día, en donde el Sol describe un arco frente al módulo, generando una energía progresivamente más alta hasta el mediodía solar y decreciendo posteriormente hasta desaparecer.

Para obtener el valor de las horas de Sol pico de un lugar, se debe consultar el valor de la radiación de dicho lugar y después multiplicamos ese valor por alguno de las siguientes factores:

- Si el valor de radiación solar esta dado en kJ/m^2 , se debe multiplicar por el factor 2.784×10^{-4}

$$h. s. p. = \frac{kJ}{m^2} \times (2.784 \times 10^{-4}) \quad (3.1)$$

- Si el valor de la radiación solar esta dado en Langley, se debe multiplicar por el factor 0.0116

$$h. s. p. = Langley \times 0.0116 \quad (3.2)$$

Una vez que se conoce la radiación del lugar donde se va a instalar el equipo, se debe calcular el número de paneles fotovoltaicos necesarios. Para ello se necesita conocer la producción eléctrica de cada módulo en el lugar de ubicación, y dividir posteriormente el consumo por la producción unitaria de cada uno de éstos.

Ejemplo 3.1:

Suponiendo que se parte de una radiación de $15000 \text{ kJ}/m^2$ y se debe cubrir la carga de un aparato cuyo consumo sea de 84 W y que funciona durante 5 minutos cada hora del día a un voltaje nominal de 12 V .

En primer lugar se debe calcular el consumo diario total del aparato. Para ello se calcula el tiempo diario de funcionamiento (t_{df}) y posteriormente la potencia consumida al día.

$$t_{df} = 5 \frac{\text{min}}{\text{h}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 120 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 2 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

después, se multiplica la carga por el tiempo que se empleara ($c_d = \text{Carga por día}$):

$$c_d = 84 \text{ W} \times 2 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 168 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

se divide la carga por día entre el voltaje, que en este caso es de 12 V nominales ($C_d = \text{Consumo por día}$):

$$C_d = 168 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \div 12 \text{ V} = 14 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

El consumo resulta ser de 14 amperios-hora por día. Una vez calculado este dato, se procede a conocer cuánta corriente genera al día el tipo panel solar que se pretende utilizar. Suponiendo que se utiliza un panel capaz de proporcionar 2 amperios, a $100 \text{ mW}/cm^2$, se tiene:

$$h. s. p. = 15000 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \times (2.784 \times 10^{-4}) = 4.18 \text{ h. s. p.}$$

como por cada hora de sol pico (h.s.p.) el panel proporciona 2 A:

$$\text{Corriente diaria generada} = 4.18 \text{ h.s.p.} \times 2 \text{ A} = 8.36 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Por último, para conocer la cantidad de módulos que se requieren en este caso, se tiene que dividir el consumo diario del aparato entre la producción diaria del panel. Por lo tanto:

$$\text{Número de paneles} = 14 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \div 8.36 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} / \text{panel} = 1.7 \cong 2$$

RESULTADOS	
Tiempo diario de funcionamiento del aparato	$2 \frac{\text{h}}{\text{día}}$
Carga por día	$168 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
Consumo por día	$14 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$
Horas de Sol pico	4.18 h. s. p.
Corriente diaria generada	$8.36 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$
Número de paneles	2

Tabla 3.2. Resultados del ejemplo 3.1.

Un aspecto muy importante en las instalaciones fotovoltaicas, sobre todo en las que no cuentan con el respaldo de la red eléctrica, es la adición al valor del consumo de un factor de seguridad, también llamado factor de diseño. Este incremento, que se añade a la demanda de energía que se debe de cubrir, compensa pequeños gastos de corriente eléctrica producidos por consumos de los reguladores de carga, autodescarga de la batería, pérdidas eléctricas en los conductores, etc. También cubre el déficit de una posible capa de polvo o suciedad que pueda depositarse en la superficie del panel, reduciendo por ello la energía producida, así como la pequeña degradación que sufriría el panel a lo largo de su vida útil, o incluso las variaciones climatológicas que pudieran derivarse al utilizar datos de radiación solar poco precisos del lugar donde se llevara a cabo la instalación.

Por todas estas consideraciones es importante el incremento de un factor de seguridad como prevención a posibles fallas en las instalaciones. El valor de dicho factor será más grande cuanto mayor sea el riesgo y la importancia de que se pueda dar alguno de los supuestos mencionados anteriormente u otros especiales que pudieran incidir en la generación de energía.

Usualmente, suele utilizarse un factor de seguridad del 10% si los datos de radiación se han tomado en la época del año con menos radiación solar. Este tanto por ciento se debe incrementar si se utilizan datos medios de radiación, o bien si las circunstancias del lugar o de la instalación así lo ameritan.

Si en el ejemplo anterior se aplica un factor de diseño del 15%, obtenemos:

$$\text{Consumo} + 15\% = 14 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \times 1.15 = 16.1 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

$$\text{Número de paneles} = 16.1 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \div 8.36 \frac{\text{Ah}}{\text{día}/\text{Panel}} = 1.93 \cong 2$$

Aunque el número real de paneles fotovoltaicos no se incrementó, el número teórico ha pasado de ser de 1.7 a ser de 1.93.

Otro de los cálculos básicos de una instalación fotovoltaica corresponde al cálculo de los *Ah* de capacidad que debe tener la batería, si la instalación estará aislada de la red. Entendiendo que un día de autonomía del sistema corresponde al hecho de que, en un día sin radiación solar, la batería pueda proporcionar la corriente necesaria para el perfecto funcionamiento del sistema durante las horas previstas en el diseño.

El número de días de autonomía que se deben considerar para una instalación estará marcado por dos factores fundamentales, el primero es la seguridad que necesite la instalación y el segundo la posibilidad de producirse días nublados consecutivos. Cuanto mayor sea la seguridad deseada ante una posible falla del equipo fotovoltaico, mayor ha de ser el número de días de autonomía.

La profundidad de descarga que se produce en la batería, tanto diariamente durante la descarga nocturna, como en una descarga excepcional al producirse algunos días de poca radiación solar, representa un dato fundamental para el cálculo de la capacidad de almacenamiento. No obstante, el valor de la descarga máxima se deberá definir en función del tipo de batería que se utilice.

Una de las formas de calcular la capacidad de almacenamiento consiste en aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Consumo} \times \text{Días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}} \quad (3.3)$$

Suponiendo que en el ejemplo anterior se desean asegurar 10 días de autonomía, llegando a una descarga final del 40% si esto se produce. Aplicando la fórmula anterior se tiene que:

$$\text{Capacidad} = \frac{14 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \times 10 \text{ días}}{0.4} = 350 \text{ Ah}$$

Obsérvese que se ha aplicado el consumo real, y no el aumento con el 15% de seguridad, debido a que en este caso se ha supuesto que la carga consumirá exactamente los 14 *Ah/día* sin pérdida adicional alguna.

Suponiendo ahora que por alguna causa no se produce aportación eléctrica del grupo fotovoltaico hacia la batería durante 10 días consecutivos. En estas circunstancias, se tomarán de la batería 140 *Ah*, que precisamente corresponden al 40 % de los 350 *Ah* totales, de este modo todavía quedarán en la batería 210 *Ah* (o sea, el 60 % del total).

Puede ocurrir que en determinadas instalaciones donde el frío es muy intenso, se tenga que tener en consideración este hecho si las bajas temperaturas se mantienen durante varios días, pues la capacidad de una batería disminuye drásticamente con el frío, e incluso se incrementa la posibilidad de congelación del electrolito si el estado de carga al cual se encuentra la batería es bajo. Para evitar algún inconveniente, al momento de realizar los cálculos se aumentan unos días de autonomía extra o se considera un porcentaje adicional a la capacidad calculada de la batería, así se evita la posibilidad de

alguna falla producida por los efectos de las bajas temperaturas. La elección de este factor de seguridad adicional se tomará considerando los datos del fabricante de la batería respecto a la disminución de temperatura, así como por las temperaturas mínimas producidas en la región.

Por último, para elegir la batería que mejor convenga a nuestra instalación, bastará buscar en los catálogos de los diferentes fabricantes la batería que posea una capacidad igual o algo superior a la calculada, si con una sola batería no se cubren los requerimientos de nuestra instalación, se puede realizar un arreglo de múltiples baterías interconectadas entre sí.

3.4. MÉTODO DE INSTALACIÓN

Al tratarse de equipos de generación de energía eléctrica, es indispensable que la instalación sea realizada por personal técnico experto en la materia, debido a que de lo contrario se pueden cometer errores que pongan en peligro la integridad de quien realice la instalación y de los usuarios del sistema, así mismo se podrían generar fallas en la instalación que comprometieran la vida útil del equipo fotovoltaico o de los aparatos a los que se suministrara la energía. En este apartado, se darán a conocer las consideraciones básicas que se deben de tomar en cuenta en el proceso de la instalación.

En las instalaciones fotovoltaicas, al igual que en las fototérmicas, los paneles deben de estar siempre orientados al sur geográfico (si estamos en el hemisferio norte, ver Figura 3.7), sólo en circunstancias especiales podremos variar ligeramente la orientación hacia el este o al oeste, como puede ser en el caso de existir un obstáculo que durante un cierto período del día impida el aprovechamiento de la radiación directa del Sol. La inclinación de los paneles se calcula de la misma forma que en los calentadores solares, considerando las coordenadas geográficas del lugar donde se llevara a cabo la instalación.

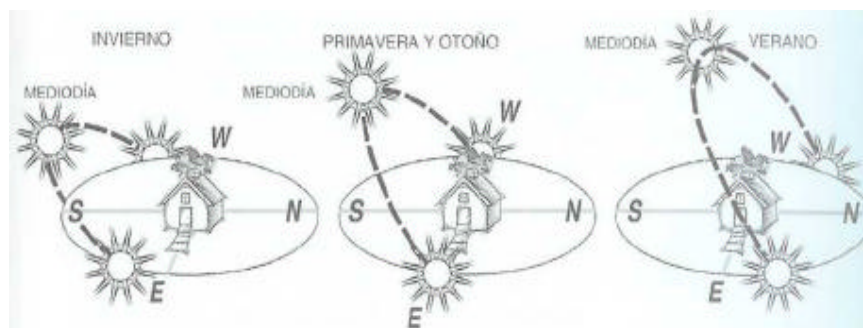


Figura 3.7. Trayectoria descrita por el Sol en las diferentes estaciones del año.¹

En la Figura 3.8 se representan las cuatro formas típicas de instalar los paneles fotovoltaicos.

¹ Imagen obtenida de: Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”

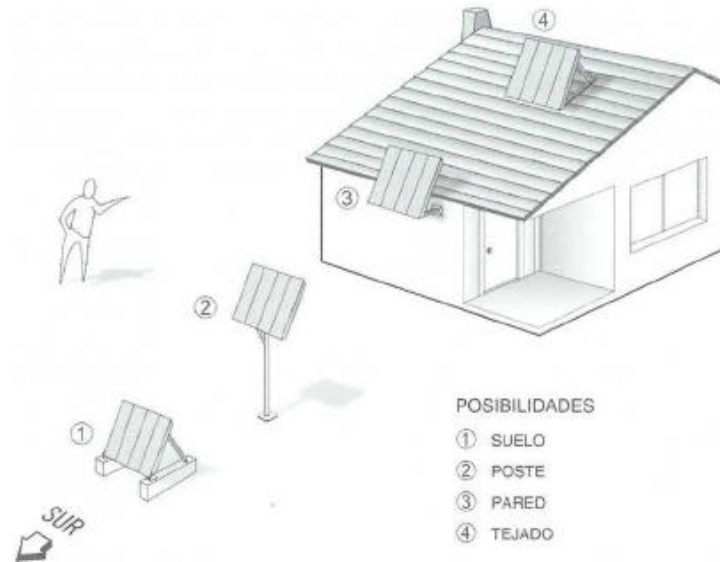


Figura 3.8. Lugares típicos donde se realiza la instalación de los paneles fotovoltaicos.¹

1.- **En el suelo.** Es la forma clásica, muy robusta. En esta disposición la acción del viento es menor. Su principal ventaja es la gran facilidad que presenta para su instalación, tanto de la propia estructura soporte como de los paneles fotovoltaicos, sus inconvenientes son su excesiva accesibilidad y la mayor probabilidad de que puedan producirse sombras parciales.

2.- **En un poste.** Este método es usado principalmente en instalaciones donde ya se dispone de un poste. Las instalaciones recomendadas no deben ser muy grandes, contando con poco más de un metro cuadrado de superficie de captación, debido a que si ésta es de mayor tamaño, se tendría que sobredimensionar o inclusive instalar algunos tensores en el poste para evitar su desplome, siendo posible entonces que otro sistema pudiera ser más económico y de más fácil montaje.

3.- **En la pared de la vivienda.** Este método consiste en acoplar el equipo fotovoltaico a una de las paredes de la vivienda. Tiene como ventaja brindar seguridad debido a la altura de la instalación sin que se tenga que menguar el área de las azoteas o el patio de las viviendas. Este sistema pudiera ser práctico si se quisiera instalar el equipo fotovoltaico en edificios de departamentos que no cuenten con el espacio requerido en sus azoteas. El inconveniente que presenta este método de instalación es que una de las fachadas de la vivienda debe de estar orientada al Sur, de lo contrario se presentarían pérdidas causadas por la mala orientación del panel

4.- **En la azotea.** La instalación en la azotea de una vivienda es el método más usado a la hora de realizar el montaje de un equipo solar y es sin duda la mejor opción debido a que normalmente siempre podremos disponer del lugar adecuado para garantizar la perfecta orientación, además de suficiente espacio.

Después de llevar a cabo la instalación del panel o paneles fotovoltaicos se procede a realizar la instalación de los demás componentes que integran el equipo fotovoltaico. En la actualidad existen

¹ Imagen obtenida de: Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”

empresas que proporcionan equipos de generación que no requieren la instalación de un experto, debido a que se entregan pre-instalados y solo se necesita conectar a los equipos que se desea suministrar la energía, pero esto solo aplica en las instalaciones fotovoltaicas que trabajaran fuera de red. Como ya se mencionó, es preciso que las conexiones a la red sean realizadas por personal capacitado, de lo contrario se podría comprometer la eficiencia del sistema.

3.5 COSTO DE LAS APLICACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

Es difícil poder estimar el costo de esta aplicación debido a los diversos factores a considerar. El costo del equipo no solo se basa en la demanda energética que se desea cubrir, también se tienen que considerar otros factores como lo son: el proveedor del equipo, si la instalación estará conectada o fuera de red, el costo de la mano de obra y la cantidad de material extra que se requiere para llevar a cabo la instalación, y en el caso de los sistemas fuera de red, la cantidad de días de autonomía que se esperan del sistema.

El costo de una instalación fotovoltaica es sin duda muy elevado, debido a que aunque existen equipos, para sistemas fuera de red, que tienen un costo alrededor de los \$15,000 estos solo entregan un promedio de 300 *Wh/día*. Por lo general las viviendas de nuestro país tienen un consumo promedio de entre 3 y 10 *kW* por día, los equipos capaces de cubrir esta demanda energética tienen un costo aproximado en el mercado que va desde los \$100,000 hasta \$400,000.

Debido a su alto costo, esta aplicación solo es recomendable en los casos cuando se trata de viviendas en donde no existe otra forma de suministrar la energía eléctrica o que resulta demasiado costoso el proceso, en los casos de las viviendas que presentan una baja demanda energética y el costo del sistema no es muy costoso y en los casos de las instalaciones conectadas a red en donde la aportación del sistema fotovoltaico reduce significativamente el costo que se tiene que realizar para cubrir la demanda energética de la vivienda.

3.6 CONTRATO DE CONEXIÓN A RED

El 27 de Junio de 2007 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la resolución No. RES/176/2007, por la que se aprueba el modelo de contrato de interconexión para fuentes de energía solar en pequeña escala. En dicho documento se define que:

- Una Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala es la que utiliza como energético primario la energía solar
- El *Generador*; es la persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala

- El *Suministrador*; es el organismo público descentralizado, Comisión Federal de Electricidad

Este contrato de interconexión es aplicable a todos los *Generadores con Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala* con capacidad hasta de 30 kW, que se interconectan a la red eléctrica del suministrador en voltajes inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del sistema del *Suministrador* para portear energía a sus cargas. La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

- Para usuarios con servicio residencial: hasta 10 kW
- Para usuarios con servicio de uso general en bajo voltaje: hasta 30 kW

La inversión necesaria, para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios, así como, los medidores bidireccionales y equipos de medición utilizados para cuantificar la energía entregada por el *Generador* al *Suministrador* y la que entregue el *Suministrador* al *Generador*, estarán a cargo del *Generador*. Asimismo, será a cargo del *Generador* cualquier modificación que se necesite realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, misma que, en su caso, se realizarán bajo la supervisión del *Suministrador* y previa autorización de éste.

Para fines de facturación, el consumo de kWh del *Generador*, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el *Suministrador* y la entregada por el *Generador* al *Suministrador*. Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del *Generador* que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el *Generador* renuncia a cualquier pago por este concepto. Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del *Suministrador* y se facturará en la tarifa aplicable.

Energía eólica

La energía eólica es un derivado de la energía solar. El viento es, fundamentalmente, una consecuencia de la radiación solar que incide sobre la Tierra y que origina el calentamiento de las masas de aire que en ella circulan. La superficie del planeta se calienta de forma desigual en función de la latitud, lo cual provoca diferencias de presión que el flujo de aire tiende a igualar. De toda la energía solar que llega al planeta, tan solo un 2% se convierte en energía eólica y sólo es posible aprovechar una pequeña parte de ella. Al ver este porcentaje, se pudiera pensar que es una cantidad mínima de energía pero se ha calculado que el potencial eólico es aproximadamente unas veinte veces el consumo mundial actual de energía, lo que hace de la energía eólica una de las fuentes de energía renovable más importantes.

La energía eólica, se ha desarrollado a pasos acelerados en el Mundo durante los últimos años. Según el Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC, por sus siglas en inglés) en el año 2012, la capacidad instalada en todo el mundo llegó a 282.6 GW (ver Tabla 4.1), un incremento acumulado de casi 19% respecto al año anterior. En la Figura 4.1, se muestra el porcentaje de instalación de los líderes mundiales en energía eólica. México es el país con mayor tasa de crecimiento de la energía eólica a nivel mundial, esto se debe a que nuestro país cuenta con un excelente recurso eólico, que permite niveles de productividad muy altos en diferentes regiones del territorio nacional, destacando principalmente la región del Istmo de Tehuantepec, el Golfo de México, la Costa de la Península de Yucatán, Baja California, así como algunas zonas del centro del país. La CFE instaló en 1994 la Venta I la cual fue la primer central eólica en América Latina, actualmente existen 1,303 MW de capacidad eólica en operación (ver Figura 4.2). Empresas como Grupo Bimbo, Nissan, Nestle, WalMart, Grupo Modelo, Mittal, Herdez, Cemex, entre otras, utilizan actualmente sistemas eólicos para reducir sus costos energéticos.

LÍDERES MUNDIALES EN ENERGÍA EÓLICA				
Posición	País	Capacidad instalada a finales de 2012 (MW)	Capacidad instalada a finales de 2011 (MW)	Capacidad instalada a finales de 2010 (MW)
1	China	75,324	62,364	44,733
2	USA	60,007	49,919	40,180
3	Alemania	31,308	29,075	27,215
4	España	22,796	21,673	20,676
5	India	18,421	15,880	13,065
6	Reino Unido	8,445	6,018	5,203
7	Italia	8,144	6,787	5,797
8	Francia	7,564	6,640	5,660
9	Canadá	6,200	5,265	4,008
10	Portugal	4,525	4,379	3,702
	Resto del mundo	39,853	32,227	29,500
	Total	282,587	240,227	199,739

Tabla 4.1. Países con mayor aprovechamiento de la energía eólica.¹

¹ Fuente <http://www.gwec.net/>

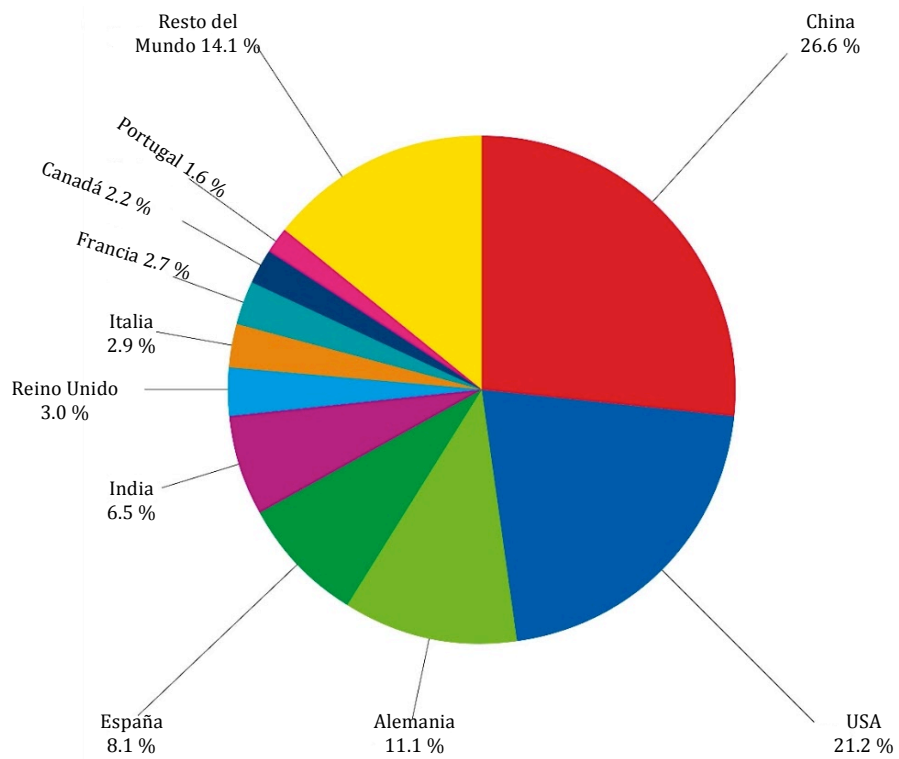


Figura 4.1. Porcentaje de instalación de los líderes mundiales en energía eólica.¹

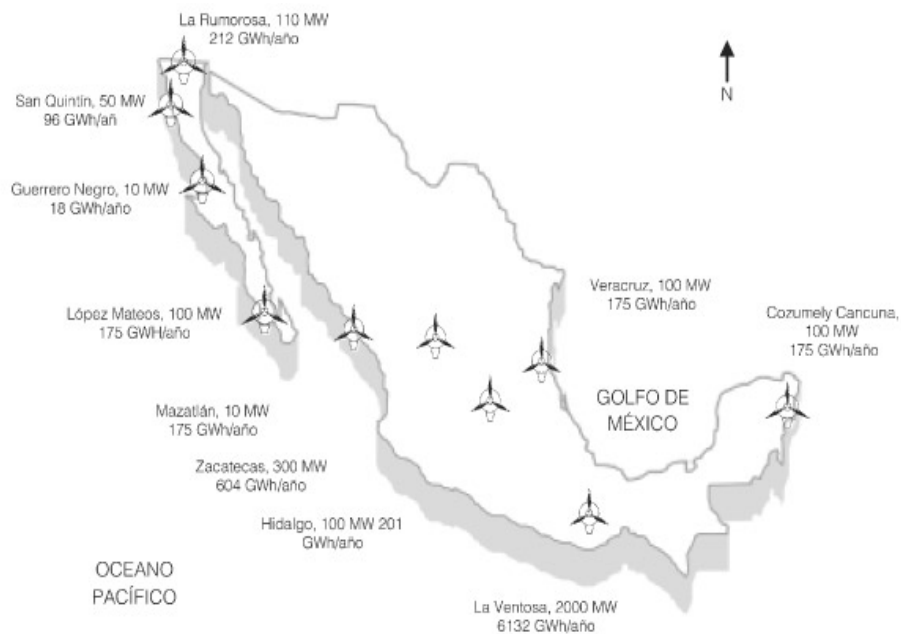


Figura 4.2. Mapa de las principales centrales eólicas que existen en México.²

¹ Imagen obtenida de: <http://www.gwec.net/>

² Imagen obtenida de: <http://energiaunam.wordpress.com/2010/03/page/2/>

4.1 AEROGENERADORES

Desde el principio de las civilizaciones, se ha aprovechado la energía eólica, transformándola en energía mecánica, pero su implementación para la generación de energía eléctrica es más reciente. Los aerogeneradores, también llamados turbinas eólicas, transforman la energía eólica en energía eléctrica, mediante el uso de un generador eléctrico. Un generador eléctrico es un aparato que sirve para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. De este modo el aerogenerador se encarga en una primera instancia, de transformar la energía eólica en energía mecánica, esto ocurre cuando la fuerza del viento pone en movimiento las aspas o palas del rotor, y después, cuando el movimiento de las palas del rotor hacen girar al generador eléctrico, se transforma así la energía mecánica en energía eléctrica. En general, la mayoría de los aerogeneradores, empiezan a producir energía a una velocidad de 4 m/s , logran la potencia nominal aproximadamente a una velocidad de 13 m/s , y se detiene la producción de energía a 25 m/s . La variabilidad en los recursos eólicos, hace que el aerogenerador en funcionamiento esté continuamente cambiando los niveles de potencia. A velocidades del viento muy altas, típicamente de 25 m/s , la mayoría de los aerogeneradores cesan la producción de energía y se apagan para evitar daños o sobrecargas en el sistema.

Los aerogeneradores pueden ser catalogados en dos grupos, los aerogeneradores de eje vertical y los aerogeneradores de eje horizontal (ver Figura 4.3), siendo estos últimos los que se emplean más frecuentemente debido a que presentan un mejor aprovechamiento de la energía del viento.



Figura 4.3. Ejemplo de aerogeneradores de eje horizontal (Derecha) y de eje vertical del tipo Darrieus (Izquierda).¹

Un aerogenerador de grandes dimensiones, puede contener hasta 8,000 componentes diferentes, pero los componentes más importantes son; el rotor, la carcasa o góndola, la torre, el sistema de orientación, el sistema de transmisión, el sistema de seguridad, el generador eléctrico, el sistema de protección y control y las baterías de almacenamiento en las instalaciones aisladas de red (ver Figura 4.4). A continuación se describe brevemente su funcionamiento:

¹ Imagen obtenida de: http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

Rotor.- El rotor de un aerogenerador, es la parte esencial para la conversión de energía, el rotor convierte la energía cinética del aire en energía mecánica rotacional útil en un eje. Está compuesto de las palas y el buje (elemento de sujeción de las aspas y conexión del eje del equipo). Los rotores se fabrican normalmente de compuestos de fibra de vidrio, plástico reforzado o madera. La cantidad de energía que un aerogenerador producirá, está determinada sobre todo por el diámetro del rotor. El diámetro del rotor define su “área de barrido”, que es, la cantidad de viento interceptado por el aerogenerador. Las palas presentan cierto ángulo de ataque con respecto al viento, para así controlar la velocidad de giro del rotor e impedir que éste gire con vientos que son o demasiado altos o demasiado bajos para producir electricidad. Los rotores generalmente utilizan dos o tres palas, ya que se requiere una alta velocidad rotacional y un bajo momento par para mover los generadores eléctricos.

Carcasa o góndola.- Se trata de la cubierta que protege al generador eléctrico, al sistema de transmisión y demás componentes del aerogenerador de las inclemencias del medio ambiente. La góndola se puede retirar para operaciones de mantenimiento.

Torre.- La torre se encarga de sostener la turbina y es, por lo tanto, una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir las inclemencias del medio ambiente como los rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo. El viento se vuelve menos turbulento e incrementa su velocidad con la altura respecto al suelo, y la producción de potencia se incrementa sustancialmente con la velocidad del viento, incrementar la altura de la torre de 10 a 50 metros puede duplicar la energía del viento disponible.

Las torres se pueden catalogar en dos principales grupos, las autosoportadas y las que mantienen su vertical mediante cables. La mayoría de las torres de sistemas de energía eólica para sistemas domésticos son mantenidas mediante cables. Estas torres son las más económicas, pueden ser construidas con partes de celosía, tubería o tubo y los cables de soporte. Las torres afianzadas con cables son también más fáciles de instalar que las autosoportadas, sin embargo, se requiere más espacio para su instalación. Existen también las torres inclinables, que aunque son más costosas, ofrecen mayor facilidad para llevar a cabo el mantenimiento en turbinas pequeñas y ligeras (de menos de 5 kW).

Sistema de orientación.- El sistema de orientación alinea la turbina eólica con el viento. La mayoría de las pequeñas unidades emplean una veleta que dirige el rotor hacia el viento. Existen ciertos mecanismos especiales para desorientar la turbina en caso de vientos peligrosamente elevados.

Sistema de transmisión.- El sistema de transmisión, es aquel sistema que convierte la energía rotacional suministrada por el rotor a través de su eje, en alimentación del generador eléctrico. En la aerogeneración de pequeña escala, se utiliza comúnmente generadores de imanes permanentes especialmente diseñados para ser acoplados a los aerogeneradores, y por tanto no se utiliza una caja de aumento de velocidad de rotación, realizándose una conexión directa entre el rotor y el generador.

Para equipos eólicos de mayor capacidad, se requiere de un sistema de transmisión el cual se encarga de aumentar la energía generada por el rotor para hacer funcionar al generador eléctrico.

Sistema de seguridad.- Todos los equipos eólicos, poseen algún tipo de sistema de seguridad para protegerlo de borrascas o incrementos inadecuados en la velocidad. No sería práctico (tanto económica

como técnicamente), diseñar un equipo lo suficientemente fuerte para mantener operación constante durante tormentas o ventarrones

Generalmente en equipos pequeños (esto es hasta 10 *kW* de Potencia Nominal), el sistema de seguridad está asociado con el sistema de orientación; y consiste de una veleta detrás del rotor y el eje vertical del rotor esta descentrado con respecto al eje central de la torre.

Con esta combinación, a bajas velocidades de viento el rotor es adecuadamente orientado y con incremento en la intensidad del viento, el rotor es gradualmente “sacado” del viento, disminuyendo su velocidad de rotación. A mayores incrementos en la velocidad del viento, se logrará que el rotor pare lográndose total desconexión y protección total del equipo.

En equipos de mayores potencias, el sistema de seguridad está asociado con controles electrónicos para protección directa de los elementos que integran el equipo.

Generador eléctrico.- El generador, es el elemento que convierte la energía rotacional del eje de la turbina en electricidad.

El generador puede producir corriente alterna o corriente directa. Los equipos eólicos de generación generan electricidad a una variedad de voltajes, desde 12 a 24 voltios CD para carga de baterías o de 120 a 240 voltios CA para interconexión con la red eléctrica, aunque se pueden conseguir otros voltajes, según necesidad.

Sistema de protección y control.- Los sistemas de control, abarcan desde interruptores, fusibles y reguladores de la carga de baterías hasta sistemas computarizados de control de sistemas de orientación. La sofisticación de los sistemas de control y protección varía dependiendo de la aplicación de la turbina eólica y del sistema de energía que soporta.

Baterías de almacenamiento.- Al igual que en los sistemas fotovoltaicos, las instalaciones eólicas aisladas de la red eléctrica convencional, emplean acumuladores en los cuales se almacena la energía eléctrica para poder ser empleada en los momentos que no se cuente con el recurso eólico.

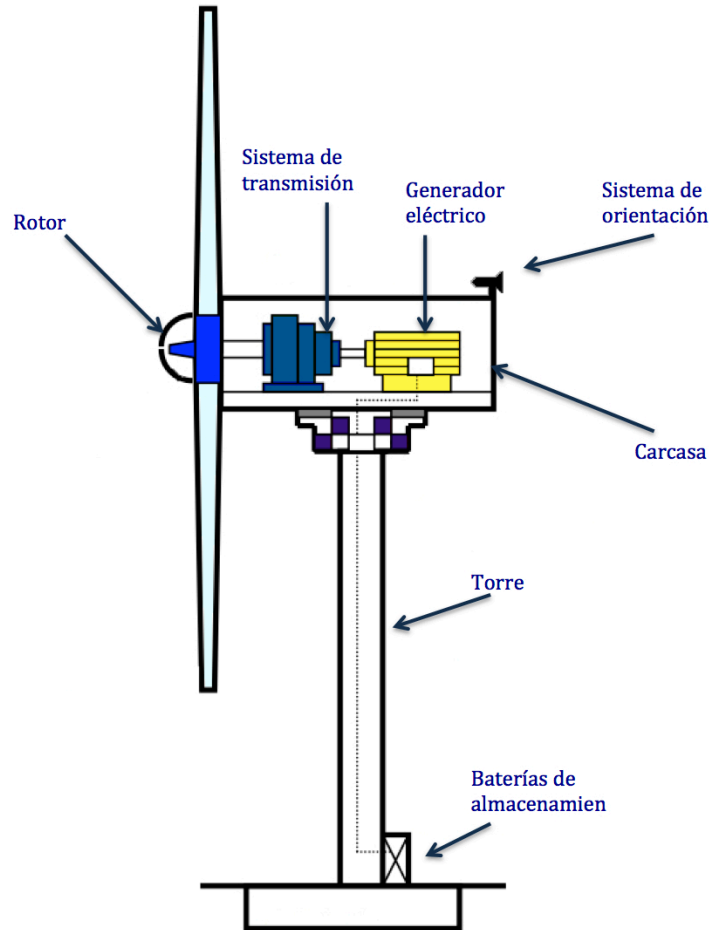


Figura 4.4. Principales componentes de un aerogenerador.

4.2 TIPOS DE INSTALACIONES EÓLICAS

Al igual que con las instalaciones fotovoltaicas, las instalaciones eólicas se pueden clasificar en aisladas de la red eléctrica convencional o conectadas a ella (ver Figuras 4.5 y 4.6). En ambos casos pueden existir instalaciones mixtas en donde se conjuguen la energía eólica y la fotovoltaica, esto se debe a que al incorporar estos dos tipos de generación energética se emplea de mejor modo las fuentes renovables de energía con las que cuenta el lugar donde se llevara a cabo la instalación de los equipos.

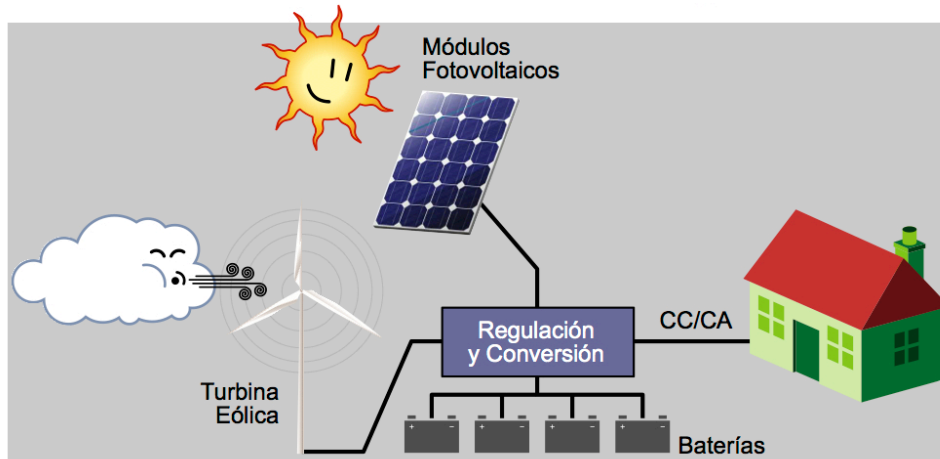


Figura 4.5. Diagrama de una instalación aislada mixta eólica-fotovoltaica.¹

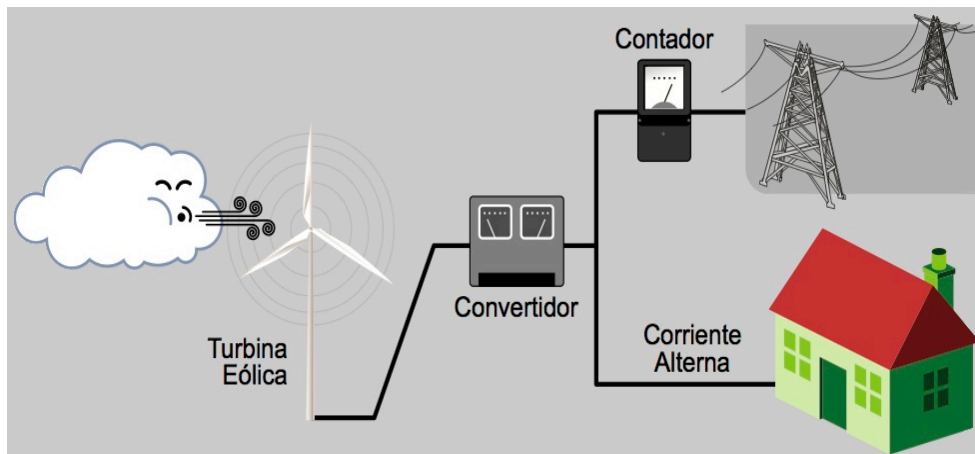


Figura 4.6. Diagrama de una instalación eólica conectada a la red.¹

4.3 COMO CALCULAR UNA INSTALACIÓN EÓLICA

El tamaño de un aerogenerador, depende del uso que se le pretenda dar. Las turbinas eólicas para usos residencial e industrial abarcan el tamaño de entre 20W a 50kW. Existen pequeñas turbinas que se emplean en diversas aplicaciones, tales como la recarga de baterías de vehículos recreativos y embarcaciones de vela. Para determinar el tamaño de las turbinas que se emplean en aplicaciones más grandes, es conveniente definir el monto global de energía que se desea obtener. Es necesario asegurarse que en la zona que se pretende instalar el aerogenerador, se cuente con el recurso eólico suficiente para que se obtenga una eficiencia energética óptima. Otro punto a considerar antes de invertir en un sistema de energía eólica, es la presencia de algún posible obstáculo que impida el libre flujo de aire hacia nuestro aerogenerador. La Figura 4.7, muestra una comparativa entre la capacidad, el diámetro y la altura de la torre de diversos aerogeneradores.

¹ Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). "Energía eólica, guía técnica"

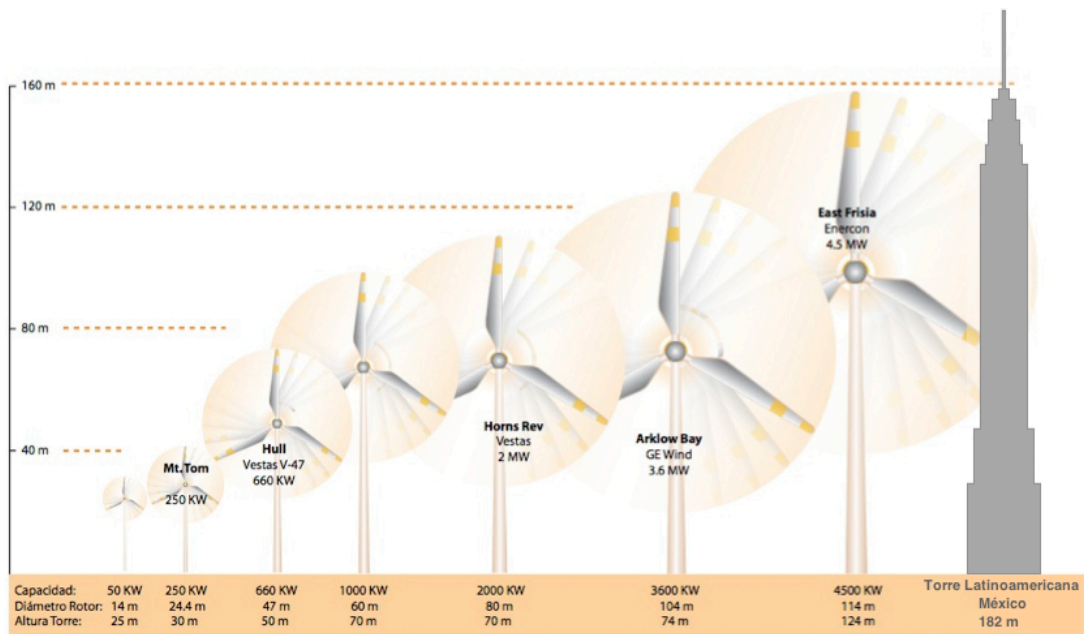


Figura 4.7. Comparativa entre capacidad, diámetro del rotor y altura de la torre.¹

4.3.1 Valoración del viento

Para hacer funcionar una turbina eólica, se necesita una gran cantidad de viento. Sin embargo, los patrones de viento pueden ser impredecibles, variando de un lugar a otro, y de un momento a otro. La velocidad del viento se ve afectada por árboles, edificios, colinas y valles que se encuentren alrededor de la zona donde se pretende instalar el aerogenerador. Una turbina eólica no debe instalarse en lugares expuestos a flujos de aire muy turbulentos. Por tal motivo, se tiene que mantener a la turbina tan libre de obstáculos como sea posible, debido a que inclusive una ligera turbulencia, puede disminuir el rendimiento del aerogenerador, debido a que una turbina no puede reaccionar a los cambios rápidos en la dirección del viento, y una fuerte turbulencia puede reducir la vida útil de la turbina.

El viento, es una fuente de energía difusa que no puede ser ni contenida o almacenada, ni utilizarse para otra cosa en otro momento posterior. En primer lugar es necesario realizar una evaluación del recurso eólico en la ubicación donde se pretende instalar la turbina. Es preciso entonces, determinar las condiciones del viento mediante mediciones preferiblemente de por lo menos un año de duración. En la web, se pueden encontrar sitios especializados en meteorología o en energías renovables, en donde se dan a conocer los datos de la velocidad del viento en distintas zonas de la República Mexicana. Bastara con buscar en sus bases de datos, la ubicación en donde pretendemos instalar el aerogenerador para obtener los registros de la velocidad del viento. Cabe señalar que es probable que dichos sitios de páginas web, no cuenten con la información del lugar preciso donde se desea instalar el aerogenerador, en estos casos para realizar la evaluación del recurso eólico, se deberán tomar en cuenta los datos reportados de la zona más próxima al lugar donde se realizara la instalación del aerogenerador. En

¹ Imagen obtenida de: JARA, Wilfredo. "Introducción a las energías renovables no convencionales"

dado caso en que no se pudiera conseguir los datos del recurso eólico de la zona donde se instalara la turbina, ni de algún lugar que este próximo a esta zona, también es posible realizar las mediciones de la velocidad del viento de forma manual. Para esto es necesario la utilización de un anemómetro, el cual se encarga de medir la velocidad del viento y bastara con llevar el registro de los datos obtenidos, para que de este modo logremos conocer la cantidad de energía eólica existente. Como se mencionó anteriormente en la introducción de esta tesis, la energía del viento es función de la velocidad del viento elevada a la tercera potencia, y por tal motivo un error del 10% en la estimación de la velocidad del viento, puede significar un 33 % de diferencia en el cálculo de la energía aprovechable.

Por lo general, se requiere una media de velocidad del viento a lo largo del año superior a 4 m/s para considerar un sistema de energía eólica. Sin embargo, es conveniente tener velocidades mayores a 4 m/s. Los aerogeneradores deben ser instalados en zonas no obstruidas, abiertas, con una clara exposición a los vientos dominantes, es decir, no debe de existir obstáculos que impidan la libre circulación del viento hacia el aerogenerador. La Figura 4.8, muestra un mapa del potencial eólico con el que cuenta la República Mexicana.

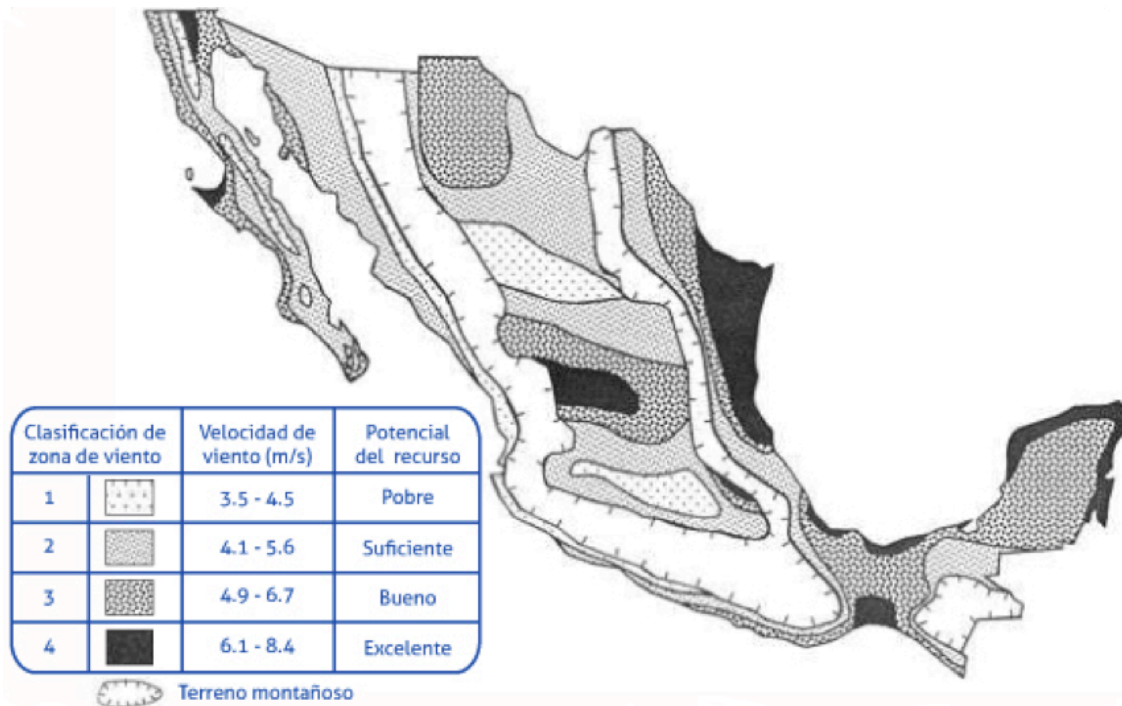


Figura 4.8. Mapa del potencial eólico de la República Mexicana.¹

4.3.2 Estimación de la producción de un aerogenerador

Para determinar la cantidad de energía que se necesita obtener del aerogenerador, primeramente es necesario conocer la cantidad total de energía requerida para alimentar todos los electrodomésticos y

¹ Imagen obtenida de: <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.mx/2011/07/mapas-de-viento.html>

equipos en la vivienda que se va a realizar la instalación. El tamaño y capacidad de generación del aerogenerador para una instalación en particular depende de la cantidad de energía requerida, así como de las condiciones del viento en el lugar de la instalación. Para conocer el consumo total de energía requerida bastara con cuantificar los aparatos eléctricos que es necesario abastecer, la cantidad de energía que precisan para trabajar y el tiempo que se emplearan, una vez obtenidos los datos, es necesario multiplicar las horas que funcionara cada aparato por la cantidad de energía.

También es necesario, considerar la altura de la torre; cuanto más alta sea la torre, más costosa resulta ser, pero también ofrece a su turbina, un mejor acceso a la energía eólica. Una torre de baja altura requiere una turbina más grande para, generar la misma cantidad de energía que con una torre alta, por consiguiente, una turbina más pequeña y menos costosa. El tipo de torre que se necesitará depende del lugar y es preciso conocer si existe suficiente espacio para los cables de anclaje y si la torre es lo suficientemente alta, para que la turbina pueda funcionar por encima de las obstrucciones cercanas.

En la actualidad, la mayoría de las viviendas obtienen la energía eléctrica de la manera convencional, es decir se encuentran conectadas a la red de energía eléctrica. Por tal motivo, generalmente las instalaciones de los equipos de aerogeneración se realizan con interconexión a dicha red. De este modo se utiliza a la red convencional de energía como un sistema de reserva evitando con esto la instalación de acumuladores eléctricos en nuestro sistema. Los excesos de electricidad generados por la turbina eólica, son automáticamente suministrados a la red convencional y la energía de reserva es automáticamente suministrada a nuestro sistema. Para este propósito, es preciso la instalación de un medidor bidireccional dentro del sistema el cual se encargara de medir cuanta es la energía que suministra el aerogenerador a la red convencional y cuanta energía se toma de ésta para abastecer el sistema en los momentos que no se cuente con el recurso eólico. Si bien esto no constituye un verdadero almacenamiento, proporciona energía cuando hay demanda, en cualquier momento y en cualquier cantidad. El proceso para obtener la aprobación para la conexión con la red eléctrica convencional, requiere una cuidadosa planificación. Es preciso entonces comprobar, que la conexión entre la red convencional y la vivienda donde instalaremos el aerogenerador sea adecuada, para suministrar la electricidad generada por el sistema de aerogeneración.

El factor económico, así como la variabilidad en el consumo de energía, son factores a considerar al momento de planificar la instalación de un aerogenerador. Por ejemplo, si en una vivienda el consumo de energía es irregular o se concentra solo en cortos periodos del día, se debe dimensionar el aerogenerador de modo diferente, que en el caso, en donde la vivienda presenta una demanda de energía es constante. En el primer caso, el tamaño de la turbina eólica, debe ser función del consumo valle de energía, es decir de la cantidad media de energía demandada.

Para la estimación de la producción de un aerogenerador, es importante que la altura de medición del viento, coincida con la altura de montaje del aerogenerador.

Como herramientas matemáticas auxiliares es preciso obtener previamente:

- *Curva de potencia del aerogenerador proporcionada por el fabricante.* La curva de potencia de un aerogenerador, nos indica a qué velocidad del viento produce el aerogenerador una potencia determinada (ver Figura 4.9).

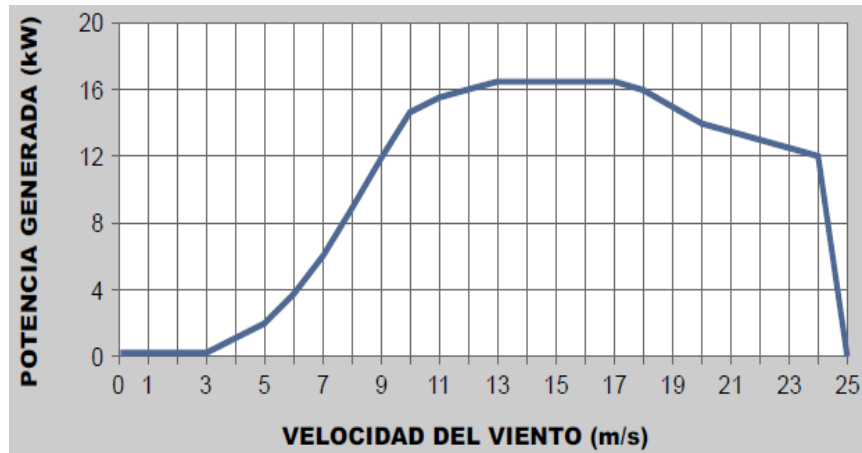


Figura 4.9. Ejemplo de una curva de potencia de un aerogenerador.¹

- *Distribución de viento, en un periodo de por lo menos un año.* Esta distribución expresa, con qué frecuencia sopla el viento en un rango de velocidad determinado. Las barras de la Figura 4.10 representan datos del viento medidos sobre un periodo limitado (uno, dos o más años). La experiencia muestra que a largo plazo se acerca a una curva (estadística) que es denominada “Weibull”.

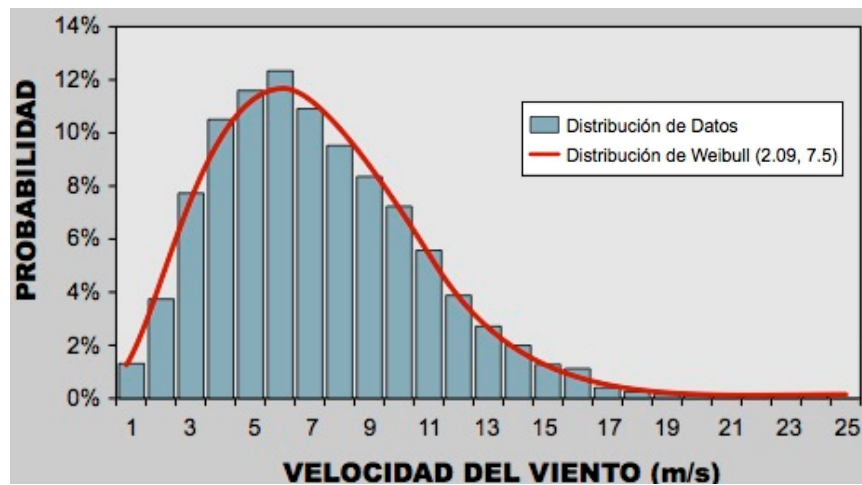


Figura 4.10. Ejemplo de una curva de Weibull.¹

- *Plano o croquis del entorno del emplazamiento del aerogenerador con expresión de la rugosidad.* Dicho plano, debe especificar cual es el tipo de terreno y los posibles obstáculos que pueden impedir el libre flujo del viento hacia el aerogenerador.

¹ Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). “Energía eólica, guía técnica”

4.3.2.1 Metodología de cálculo de la producción

Para llevar a cabo una metodología adecuada, primero se elabora una tabla, la cual combina la distribución probabilística del viento (curva *Weibull*) junto con la curva de potencia, ambos parámetros en función de la velocidad del viento. Si se toman los datos de la Figura 4.10 y se emparejan sucesivamente para cada rango, y sabiendo que en promedio un año tiene 8760 h, con ayuda de la ecuación 4.1 se obtiene en este caso la Tabla 4.2:

$$\text{Horas} \times \text{Potencia Diagrama [kW]} = \text{Producción [kWh]} \quad (4.1)$$

Rango	%	Horas	Potencia Diagrama [kW]	Producción [kWh]
1 (0m/s...1m/s)	3	263	0	0
2 (1...2)	8	701	0	0
3 (2...3)	13	1139	0	0
4 (3...4)	15	1314	1	1,314
5 (4...5)	13	1139	2.5	2,848
6 (5...6)	12	1051	3	3,153
7 (6...7)	10	876	5	4,380
8 (7...8)	7	613	7	4,291
9 (8...9)	6	526	10.5	5,523
10 (9...10)	4	350	13.5	4,725
11 (10...11)	3	263	15	3,945
12 (11...12)	2	175	15.5	2,713
13 (12...13)	2	175	16	2,800
14 (13...14)	1	88	16	1,408
15 (14...15)	1	88	16	1,408
Suma de Producción [kWh]				38,508

Tabla 4.2. Ejemplo del cálculo de la producción de un aerogenerador.

De esta producción estimada, habrá que deducir un 5% para el cumplimiento con la curva de potencia.

Si todas las direcciones están libres de obstáculos o sí se ha logrado tomar medidas en el emplazamiento exacto del aerogenerador, se deduce además un 15% como margen de seguridad y para tener en cuenta la fluctuación anual del viento. En el ejemplo quedaría:

$$\text{Producción}_{-15\%} = 38,508 \text{ [kWh]} \times (1 - 0.05) \times (1 - 0.15) = 31,095 \text{ [kWh]}$$

En el caso de obtener la medición del viento en un punto de referencia que no es el emplazamiento del aerogenerador, se debe tomar en cuenta la rugosidad del terreno y los obstáculos (en los mayores casos), para lo que se aplica un margen de seguridad adicional del 25%. Por tanto, ajustando el valor se tiene lo siguiente:

$$\text{Producción estimada} = 38,508 \text{ [kWh]} \times (1 - 0.05) \times (1 - 0.15) \times (1 - 0.25) = 23,321 \text{ [kWh]}$$

4.4 SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN

La instalación ideal de un aerogenerador, es cuando se monta sobre un mástil sin necesidad de cables de anclaje y en un lugar expuesto siempre al viento. Muchos de los diseños convencionales de turbinas eólicas, no son recomendados para instalarse en viviendas. Sin embargo, es factible instalar una turbina eólica en la azotea de una casa, si se monta lo suficientemente alto como para minimizar la turbulencia, o si el régimen del viento en ese emplazamiento en particular, es favorable. Hay que señalar que en estas instalaciones, el rendimiento se verá reducido en comparación con el de una instalación montada en una zona libre de obstáculos, esto se debe a que la misma edificación de la vivienda actúa como un obstáculo y puede provocar un flujo de aire turbulento.

Para una turbina eólica instalada sobre una vivienda situada en una zona libre de cualquier obstáculo, la velocidad del viento puede, teóricamente, incrementarse conforme pasa por encima de la parte superior de la vivienda. Sin embargo, esto es probable únicamente si la vivienda se encuentra en un lugar muy expuesto al viento. Una casa a las afueras de una población, puede también estar sujeta a velocidades del viento aceptables y flujos de aire bastante aceptables, en ocasiones en que el viento sople desde la dirección más expuesta a él, la zona libre; sin embargo, cuando el viento sopla desde la dirección que está más poblada, el régimen de viento será bajo. Un edificio localizado en medio de una población o zona construida es improbable que se pueda beneficiar de un buen régimen de viento.

4.4.1 Orografía

Los accidentes del terreno suaves como colinas o valles, influyen positivamente en la aceleración local del viento. Por ejemplo, una colina que presente una ligera pendiente, acelera el viento a lo largo de la pendiente dándose la máxima velocidad en la cima de la loma (ver Figura 4.11). En cambio, un accidente abrupto disipa la energía del viento debido las turbulencias generadas. Por tal motivo, no es conveniente instalar aerogeneradores en los acantilados (ver Figura 4.12).

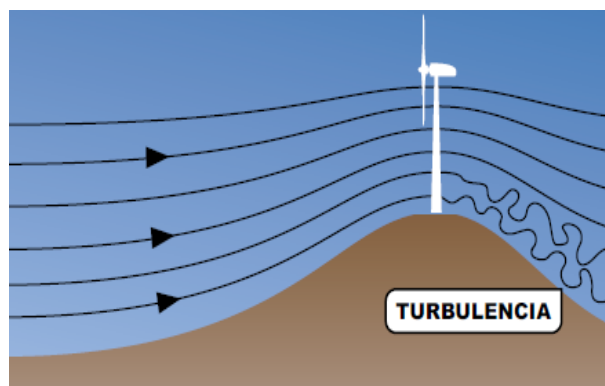


Figura 4.11. Efecto de la aceleración del viento sobre una pequeña colina.¹

¹ Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). “Energía eólica, guía técnica”

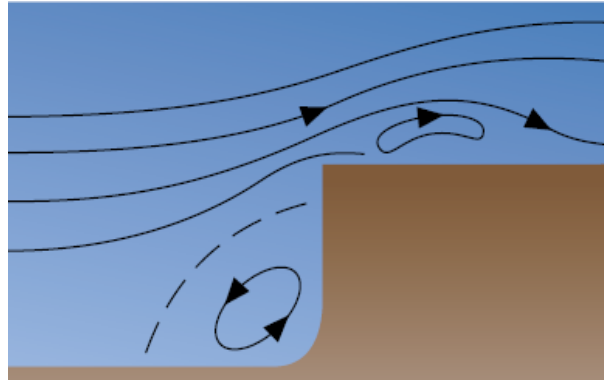


Figura 4.12. Turbulencia en la parte superior e inferior de acantilados y cimas angulosas.¹

En el caso de las instalaciones sobre alguna edificación, se tiene que considerar instalar el aerogenerador a una altura considerable para evitar que la turbulencia, generada por la misma construcción, impacte a la turbina (ver Figura 4.13).

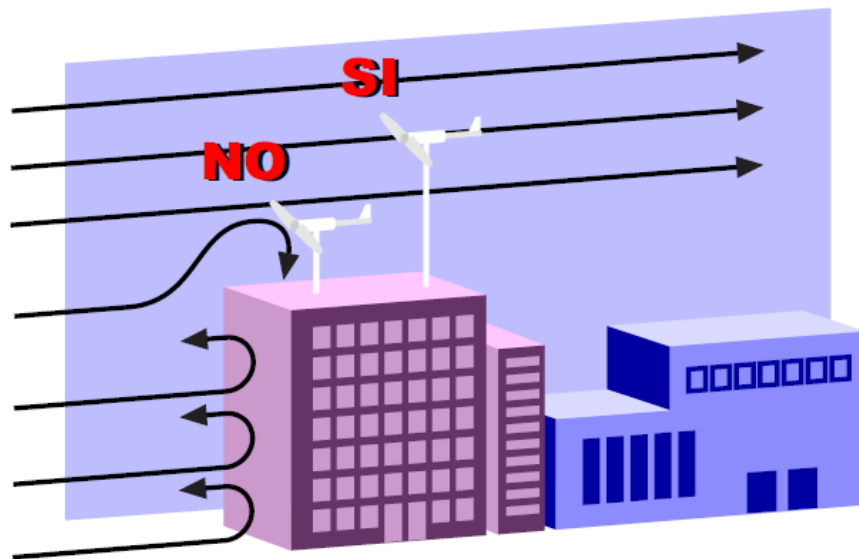


Figura 4.13. Forma correcta e incorrecta de instalar un aerogenerador en la parte superior de una edificación.¹

4.4.2 Obstáculos

En la mayoría de casos, los obstáculos son edificios y árboles que desvían el viento y producen turbulencias, por lo que deben ser tomados en cuenta y tratar de evitarlos para poder encontrar la mejor ubicación para la instalación de la turbina. Hay dos tipos de obstáculos, los que dejan pasar partes del viento (porosos) y los que no (no porosos).

¹ Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). “Energía eólica, guía técnica”

Obstáculos porosos.- Como arbustos, árboles, verjas, vallas, torres de celosía e incluso otros aerogeneradores. En la práctica, y si es imposible evitarlos, se aconseja instalar el aerogenerador a una distancia de entre 7 y 10 veces el diámetro del obstáculo (ver Figura 4.14).

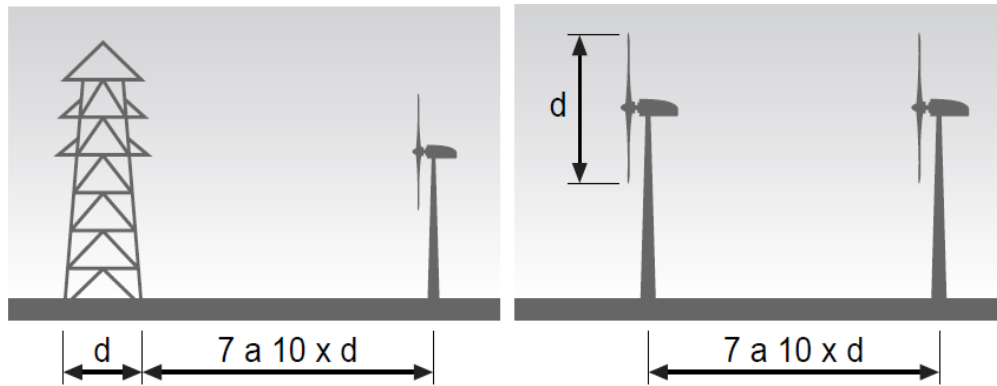


Figura 4.14. Ejemplo de como se deben instalar los aerogeneradores cuando existen obstáculos porosos.¹

Obstáculos no porosos.- Por ejemplo casas, muros y vallas o áreas densamente arboladas que no dejan pasar el viento y crean fuertes turbulencias. Es muy aconsejable instalar el aerogenerador a barlovento del obstáculo, es decir, por delante del obstáculo (ver Figura 4.15).

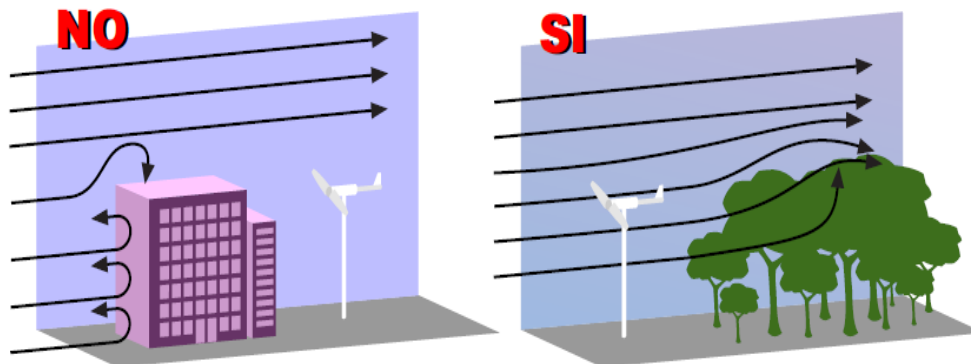


Figura 4.15. Ejemplo de como se deben instalar los aerogeneradores cuando existen obstáculos no porosos.¹

4.4.3. Rugosidad y perfil del viento

La rugosidad del terreno, determina como aumenta la velocidad del viento con la altura respecto al suelo. Como se observa en la Figura 4.16, hay una relación logarítmica entre la rugosidad y la velocidad del viento con perfiles de viento distintos para cada suelo.

Por ello, en general, la velocidad del viento aumenta con la altura. Además, el perfil de velocidad de viento se pronuncia más con el aumento de la rugosidad del suelo y la velocidad disminuye. La

¹ Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). “Energía eólica, guía técnica”

rugosidad mínima, o de clase 0 se da en medios acuáticos como el mar, mientras que la muy notable de clase 3 implica cercanías de bosques, áreas urbanas, etc.

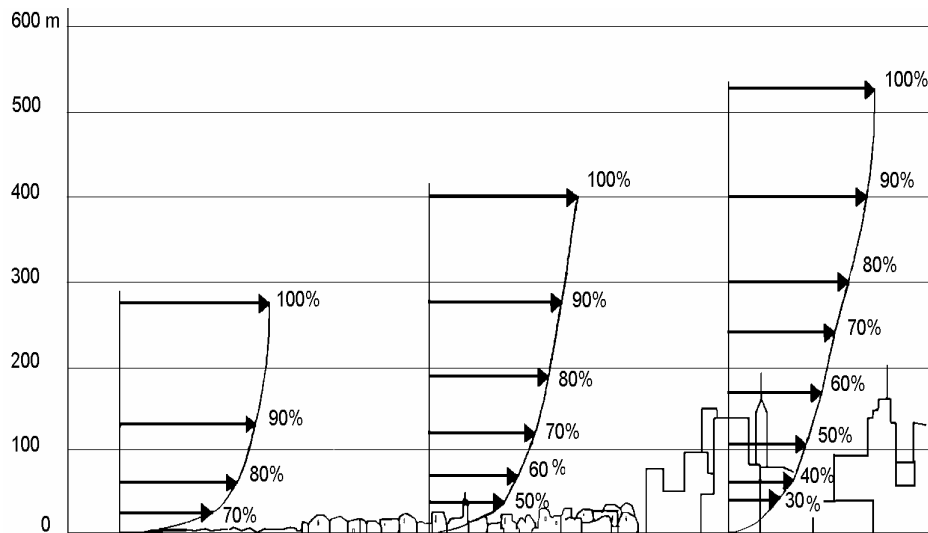


Figura 4.16. Perfiles de la velocidad del viento, en función de las características topográficas del terreno.¹

4.5 ALTURA DE MONTAJE

Como altura de montaje, se entiende la altura que existe entre el suelo y el buje de la turbina. Es aconsejable tomar una altura de buje mínima de 10 metros, contando desde la altura de desplazamiento. La altura de desplazamiento, se toma en cuenta siempre y cuando el aerogenerador está montado dentro de un área de vegetación específica y suele coincidir con la mitad de la altura media de la vegetación circundante, excepto si se trata de vegetación muy densa y poco porosa, en cuyo caso se tomará la altura total de la vegetación (ver Figura 4.17).

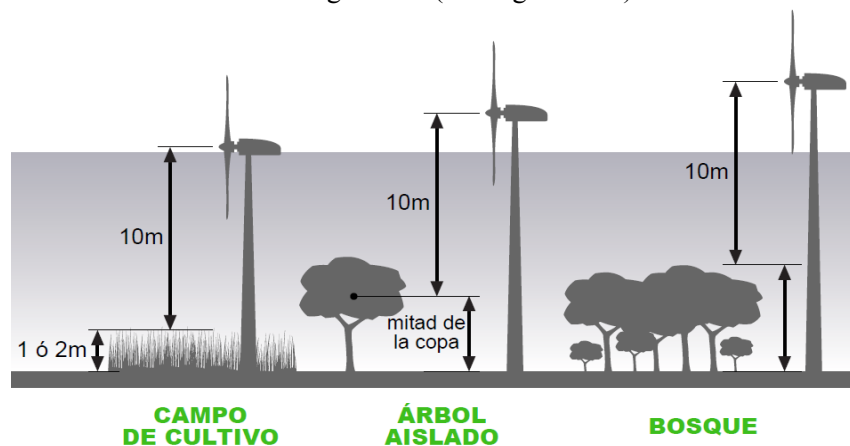


Figura 4.17. Altura de montaje, en función de la vegetación de la zona donde se desea instalar la turbina eólica.²

¹ Imagen obtenida de: PINILLA, Álvaro. "Manual de aplicación de la energía eólica"

² Imagen obtenida de: Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). "Energía eólica, guía técnica"

4.6 INSTALACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA

La instalación de los aerogeneradores no es tarea fácil, se requiere de una serie de conocimientos y habilidades que hacen que esta tarea tenga que ser llevada a cabo por personal calificado, el cual tendrá que realizar con precisión la unión en los puntos de ensamblaje, configurar los equipos electrónicos y dar la puesta a punto a todas las piezas mecánica.

A continuación se describen brevemente el procedimiento a seguir al momento de ensamblar e instalar un aerogenerador:

- Se ensambla el rotor con las palas.
- Se ensambla la góndola con la torre.
- Se instalan los componentes dentro de la góndola (el generador eléctrico, el sistema de transmisión, etc.) y se realiza todo el cableado que sea necesario.
- Se conecta el rotor al eje del sistema de transmisión, se sella la góndola y se coloca el sistema de orientación.
- Se procede a izar la torre, si se requieren colocar tensores, estos deben de estar previamente colocados.
- En caso de tratarse de una instalación aislada de la red, se colocan las baterías de almacenamiento.
- Por último, solo resta realizar la conexión con el cableado de la vivienda.

4.7 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

Antes de la instalación del aerogenerador y durante su funcionamiento, se deben abordar diversas cuestiones para evitar cualquier tipo de contratiempo:

Seguridad. No hay consideraciones de seguridad específicas a tener en cuenta, en relación con el funcionamiento de los aerogeneradores. Poner cercas u otras restricciones es innecesario desde el punto de vista de la seguridad. Tanto personas como animales pueden aproximarse a la base de los aerogeneradores. Hay un riesgo muy remoto de lesionar a personas, animales o dañar algún inmueble como resultado de que salgan volando fragmentos de alguna pala dañada.

Interferencia eléctrica. Los aerogeneradores, como cualquier equipo eléctrico, producen radiación electromagnética, que puede interferir en las comunicaciones por radio. Esta interferencia se puede solucionar a través de la instalación de deflectores o repetidores.

Ruido. Hay dos fuentes de ruido asociadas al funcionamiento de los aerogeneradores: ruido aerodinámico, causado por las palas pasando a través del aire, y ruidos mecánicos, debidos al funcionamiento de elementos mecánicos en la góndola (el generador, la caja de cambios, etc.). El ruido aerodinámico, es función de muchos factores que interactúan, incluido el diseño de las palas, la velocidad de rotación, la velocidad del viento y la turbulencia en el flujo de aire. El ruido aerodinámico es generalmente similar a un “silbido”.

Sombra proyectada. A ciertas horas del día, los aerogeneradores pueden crear largas sombras. El efecto, que es conocido como parpadeo de sombra, ocurre cuando las palas de la turbina eólica emiten una sombra en una ventana de una casa cercana, y el movimiento de rotación de las palas cortan la luz del Sol y provocan un parpadeo mientras las palas están en movimiento. Este efecto dura poco tiempo y ocurre sólo en ciertas condiciones específicas combinadas, como los casos en los que:

- El Sol brilla y se encuentra en un ángulo bajo (al amanecer o al anochecer) y
- La turbina está directamente entre el Sol y la propiedad afectada y hay suficiente energía en el viento para hacer que las palas de la turbina se muevan.

Como regla general, el parpadeo de sombra en un vecindario, oficina y vivienda a menos de 500 metros no debe exceder 30 horas al año ni un máximo de 30 minutos al día. A distancias superiores a 10 veces el diámetro del rotor de la turbina, la posibilidad de parpadeo es muy baja.

Aves. Las aves pueden chocar con las palas del rotor de la turbina, o quedar atrapados en la turbulencia que hay detrás del rotor. Las investigaciones han mostrado que el riesgo de choque es relativamente pequeño. El número estimado de choques accidentales para una potencia instalada de 1000 MW es aproximadamente de 21,000 anuales. Si bien esto puede parecer a primera vista un número bastante grande, cuando lo consideramos anualmente, esta cifra es en realidad muy pequeña en comparación con el número de aves que son víctimas mortales del tráfico de automóviles cada año (2 millones anualmente) o el número de pájaros que perecen cada año debido a las líneas eléctricas (1 millón anualmente). La mayoría de los accidentes con los aerogeneradores que implican a los pájaros suceden por la noche, el crepúsculo, o con mal tiempo.

Mantenimiento La mayoría de los sistemas de energía eólica que están disponibles, necesitan la intervención del dueño durante el funcionamiento. Muchos fabricantes ofrecen servicio de mantenimiento para las turbinas eólicas que ellos instalan. El fabricante debe al menos haber detallado la información acerca de los procedimientos de mantenimiento, y debe estar en condiciones de decirle cuándo debe ser llevado a cabo el mantenimiento. La mayoría de las turbinas pueden funcionar durante largos periodos de tiempo sin presentar defectos ni necesitar reparaciones. Por lo general, se programan mantenimientos preventivos trimestralmente o semestralmente dependiendo de la turbina adquirida. Anualmente, se requiere un mantenimiento más completo. El mantenimiento puede abarcar desde una simple comprobación del aceite o hasta revisar la góndola para inspeccionar los engranajes o el dispositivo de orientación de las palas, estas últimas tareas requieren ser llevadas a cabo por un especialista.

4.8 COSTO DE UN AEROGENERADOR

Resulta imposible generalizar el costo de la instalación de un aerogenerador, debido a que cada instalación presentara condiciones y requerimientos particulares, pero por lo general se puede decir que el costo se divide en los siguientes porcentajes:

- Aerogenerador 27%
- Baterías 31%
- Regulador 4%
- Inversor 28%
- Instalación 10%

Aunado a esto, antes de realizar la instalación, es prudente contemplar los costos del mantenimiento que, como ya se mencionó, tiene que ser llevado a cabo mínimamente dos veces por año.

Casos prácticos

5.1 GENERALIDADES

Para fines demostrativos, se estudió el caso de tres viviendas en donde se pretenden instalar equipos para el aprovechamiento de las energías renovables. Para las tres viviendas se comprobó la factibilidad de la implementación de equipos fototérmicos, fotovoltaicos y eólicos. Dos de estos casos, tratan de viviendas unifamiliares, la primera ubicada en la Ciudad de México y la segunda en el estado de Morelos, el tercer caso trata de una vivienda destinada para los investigadores que laborarán en un parque ecológico que la empresa de Petróleos Mexicanos (PEMEX) pretende construir en el estado de Veracruz.

Para conocer que tan factible es llevar a cabo la instalación de los equipos de aprovechamiento de las energías renovables y previo dimensionamiento de dichos equipos, es preciso conocer cuales son las condiciones climáticas del lugar donde se realizará la instalación. Para tal fin se localizaron páginas web dedicadas a los reportes meteorológicos y, después de consultar diversas páginas, se encontró que la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) presenta en su página web, un enlace con toda la información correspondiente a los recursos de energía renovable con los que cuenta cada región del planeta, basta con ingresar las coordenadas geográficas del lugar donde queremos conocer las condiciones y se obtendrán diversas tablas con los datos de radiación solar, velocidad del viento a diferentes alturas, los días nublados y muchos más datos que permiten llevar a cabo las cuantificaciones; los datos que reporta este sitio son tomados de más de 200 satélites y cuenta con una base de datos con los reportes mensuales de hasta 22 años de antigüedad. Otra página web que se puede utilizar para obtener estos datos, es la del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en donde se tiene que elegir la estación de reporte más próxima al sitio donde se desea realizar la instalación de los equipos. El único inconveniente en este caso, es que no presenta reportes mensuales de todos los datos necesarios, para realizar los cálculos que se requieren para la instalación. Es decir, en algunos casos no presenta el reporte de la velocidad del viento o la radiación solar en ciertos días. Aunado a esto, en algunas partes del país no se cuenta con estaciones meteorológicas lo que hace imposible poder contar con datos precisos en toda la República Mexicana y además que los datos que reporta se presentan en lapsos no mayores a 90 días.

5.2 CASO 1. Vivienda unifamiliar en el Distrito Federal

Se trata de una vivienda ubicada al sur-poniente del Distrito Federal, en la delegación La Magdalena Contreras, sus coordenadas geográficas son: Latitud 19°20' Norte y Longitud 99°13' Oeste.

En esta vivienda se pretende llevar a cabo la instalación de equipos fototérmicos, fotovoltaicos y se estudió la factibilidad de la implementación de equipos de aerogeneración. Dicha vivienda en la actualidad cubre sus necesidades energéticas de la forma tradicional, es decir, obtiene la energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el calentamiento del agua que emplea lo efectúa mediante un calentador de paso que trabaja con base en gas licuado de petróleo (Gas LP). En las Figuras 5.1 y 5.2 se muestra el estado actual de la vivienda.



Figura 5.1. Estado actual de la vivienda.¹



Figura 5.2. Entorno actual de la vivienda.¹

Los promedios mensuales de insolación y de radiación normal directa, se pueden ver por medio de las Tablas 5.1 y 5.2. Las características climáticas de esta zona de la Ciudad de México se presentan por medio de las tablas 5.3 y hasta la Tabla 5.5.

¹ Imagen obtenida de: https://www.google.com.mx/maps/@19.319166,-99.240078,3a,75y,329.07h,83t/data=!3m4!1e1!3m2!1s-5r8PpoiGX16afC8y1Kx_g!2e0

Mes	Insolación kWh/m ² día
Enero	4.78
Febrero	5.73
Marzo	6.55
Abril	6.50
Mayo	6.24
Junio	5.60
Julio	5.51
Agosto	5.42
Septiembre	4.95
Octubre	4.92
Noviembre	4.81
Diciembre	4.49
Promedio Anual	5.45

Tabla 5.1. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal (kWh/m² día).¹

Mes	Radiación Directa kWh/m ² día
Enero	6.59
Febrero	7.40
Marzo	7.68
Abril	6.54
Mayo	5.71
Junio	4.62
Julio	4.48
Agosto	4.48
Septiembre	4.22
Octubre	5.15
Noviembre	6.28
Diciembre	6.32
Promedio Anual	5.78

Tabla 5.2. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa (kWh/m² día).¹

Mes	Temperatura (°C)
Enero	14.8
Febrero	17.4
Marzo	20.8
Abril	23.4
Mayo	23.6
Junio	21.0
Julio	20.2
Agosto	20.1
Septiembre	19.1
Octubre	17.7
Noviembre	16.1
Diciembre	14.6

Tabla 5.3. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente (°C).¹

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

Mes	Días nublados
Enero	6
Febrero	4
Marzo	5
Abril	2
Mayo	1
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Septiembre	0
Octubre	2
Noviembre	4
Diciembre	4

Tabla 5.4. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado (día).¹

Mes	Altura sobre el terreno				
	10 m	50 m	100 m	150 m	300 m
Enero	3.07	3.88	4.30	4.57	5.07
Febrero	3.25	4.11	4.56	4.84	5.37
Marzo	3.55	4.49	4.98	5.29	5.87
Abril	3.44	4.34	4.82	5.12	5.69
Mayo	3.08	3.90	4.32	4.59	5.10
Junio	2.87	3.63	4.02	4.28	4.74
Julio	2.80	3.54	3.92	4.17	4.63
Agosto	2.58	3.27	3.62	3.85	4.27
Septiembre	2.43	3.08	3.41	3.63	4.02
Octubre	2.61	3.31	3.67	3.90	4.33
Noviembre	2.85	3.61	4.00	4.25	4.72
Diciembre	2.94	3.72	4.12	4.38	4.86
Promedio Anual	2.95	3.73	4.14	4.40	4.89

Tabla 5.5. Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto.¹

Como se ha descrito a lo largo de este trabajo de tesis, lo primero que se debe efectuar para comenzar con los cálculos tanto de energía fototérmica como fotovoltaica y eólica, es cuantificar la demanda que se debe cubrir con los equipos que se pretenden instalar. Para tal fin, es preciso conocer cuantas son las personas que habitan la vivienda y cuales son sus hábitos de consumo de energía eléctrica y de agua caliente sanitaria (ACS).

Las características de esta vivienda, son las siguientes:

Esta vivienda es habitada por tres personas y se conforma de dos dormitorios, una cocina, dos salas, un comedor, un estudio, un baño completo, un medio baño y una habitación para los servicios.

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

5.2.1 Calentador Solar

Para conocer las características del calentador solar que se necesita en una vivienda, es necesario conocer la demanda de ACS que se desea cubrir. Para tal fin bastara con multiplicar el número de habitantes por la cantidad de litros de ACS que utilizan en promedio al día. De la Tabla 2.2 (Ver página 32), se sabe que por lo general, en viviendas unifamiliares, el consumo de ACS por persona es de 30 l/día , para este caso el consumo de ACS de las tres personas que habitan la vivienda es de 90 l/día . Este dato nos sirve para dimensionar el termotanque, como se explicó anteriormente en el Capítulo 2. El termotanque debe tener la capacidad de almacenar entre el 60% y el 100% de la demanda diaria. De tal modo, que para este caso el volumen del termotanque debe de estar en el siguiente parámetro:

$$54\text{ l} \leq \text{volumen del termotanque} \leq 90\text{ l}$$

Además de este valor, es necesario conocer la demanda de energía que se requiere obtener del sistema y la superficie de captación.

En los tres casos que se describen en este capítulo, se obtuvieron los valores de la demanda energética y la superficie de captación utilizando los datos del mes que presenta un menor promedio de radiación solar. Esto garantiza que se cubra eficientemente el requerimiento energético a lo largo de todo el año.

En este caso, los datos que se emplearon para realizar los cálculos son los que se muestran en la Tabla 5.6.

Datos empleados	
Radiación media mensual más baja del año	4.49 kWh/m ²
Temperatura del agua suministrada en ese mes	14.6 °C
Temperatura prevista del ACS	50 °C
Demanda total diaria de ACS	90 l
Orientación	Sur
Latitud del lugar donde se instalara el calentador solar	19°20'N
Fracción Solar	0.60
Rendimiento de la instalación (η)	0.5

Tabla 5.6. Datos empleados para el cálculo del calentador solar.

Tomando en cuenta todos estos datos, la demanda de energía obtuvo un valor de:

$$Q = 90\text{ l} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (50 - 14.6)^\circ\text{C}$$
$$Q = 90\text{ l} \times \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{l}^\circ\text{C}} \right) \times 35.4^\circ\text{C}$$
$$Q = 3.696\text{ kWh}$$

Una vez obtenido este valor, se procedió a calcular la superficie de captación, para lo cual se emplearon los valores de la fracción solar y el rendimiento de la instalación. Por lo general, el valor de la fracción solar que emplean los fabricantes para realizar este tipo de cálculos es de aproximadamente 0.60 y se acostumbra a considerar un rendimiento de 0.5, esto se debe a que al tomar valores bajos,

tanto de la fracción solar como del rendimiento del equipo, se asegura que el calentador pueda cubrir los requerimientos de ACS a lo largo de todo el año sin tener la necesidad de utilizar equipos de apoyo.

La superficie de captación que se obtuvo es de:

$$A = \frac{FS \times Q}{\eta \times I} = \frac{0.60 \times 3.696 \text{ kWh}}{0.5 \times 4.49 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{2.218}{2.245} \text{ m}^2$$

$$A = 0.988 \text{ m}^2$$

Después de realizar el cálculo, se resume que las características que tiene que tener el calentador solar que se necesita para esta instalación, son las que se enlistan en la Tabla 5.7.

Características del calentador solar sugerido	
Volumen del termotanque	Entre 54 y 90 l
Energía generada	Q = 3.696 kW
Superficie de captación	A = 0.988 m²

Tabla 5.7. Características del calentador solar sugerido.

Al momento de seleccionar el equipo para realizar la instalación, probablemente no se encuentre en el mercado un modelo fabricado exactamente con los requerimientos de esta vivienda. En esos casos, bastara con elegir un modelo que sobrepase ligeramente dichos requerimientos, debido a que de este modo no se corre el riesgo de sufrir de desabasto de ACS en ningún momento del año.

En la actualidad, los fabricantes de calentadores solares presentan en sus catálogos diversos equipos clasificados por la capacidad de almacenamiento del termotanque. De este modo, facilitan la elección de los equipos al dejar únicamente como factor de elección la capacidad de almacenamiento del termotanque. Al igual que en este trabajo de tesis, los fabricantes consideran un consumo de 30 litros al día por persona.

En este caso, en el que la vivienda ya contaba con la instalación de un calentador de Gas L.P., únicamente se integrara el calentador solar a la instalación del modo que se explica en la Figura 2.16 (Ver página 41).

5.2.2 Elección del tipo de energía renovable que se empleara para la generación de energía eléctrica

Para determinar el tipo adecuado de energía renovable, fue preciso estudiar los datos obtenidos de la página web de la NASA. Como ya se mencionó anteriormente, en toda la República Mexicana, se puede implementar la energía solar para la generación de energía eléctrica, pero no en todas las zonas del país se puede utilizar la energía eólica, esto es debido a que se requiere de una velocidad mínima de 4 m/s para poder hacer funcionar correctamente un aerogenerador. En este caso en particular, la velocidad promedio del viento a una altura de diez metros sobre el nivel del suelo, es de aproximadamente 2.95 m/s . Esto es debido a la geografía de la Ciudad de México y a la gran cantidad de edificaciones que existe en la zona donde se realizará la instalación, lo que origina una superficie de

alta rugosidad que impiden contar con velocidades del viento favorables para implementar este sistema (véase la Tabla 5.5).

Considerando que en esta zona del Distrito Federal no es factible la implementación de turbinas eólicas, únicamente se utilizarán equipos fotovoltaicos y a continuación se muestran los cálculos pertinentes para dimensionarlos.

5.2.3 Equipo Fotovoltaico

Para determinar el equipo requerido para esta instalación, fue necesario conocer cual es la cantidad de energía eléctrica que consume la vivienda por día. En el Capítulo 3, se mostró una forma de calcular dicha demanda, pero en este caso, como la vivienda actualmente obtiene la energía eléctrica de la red convencional, bastó con revisar algunos recibos de cobro emitidos por la CFE para conocer el consumo promedio diario de la vivienda, los datos reportados por los recibos de cobros se muestran en la Tabla 5.8.

Periodo de Consumo	Promedio Diario en kWh
Diciembre de 2012 a febrero de 2013	5.01
Febrero a Abril de 2013	5.20
Abril a Junio de 2013	5.01
Junio a Agosto de 2013	5.25
Agosto a Octubre de 2013	4.91
Octubre a Diciembre de 2013	4.96
Diciembre de 2013 a Febrero de 2014	5.01
Demanda Promedio	5.05

Tabla 5.8. Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.

Una vez conocido el promedio diario de la demanda energética, se calculó las horas de Sol pico, con ayuda de los datos de la Tabla 5.1 y la Ecuación (3.1):

$$h. s. p. = \frac{kJ}{m^2} \times (2.784 \times 10^{-4})$$

Al multiplicar, la radiación promedio por 3600, que es el factor de conversión para transformar las unidades de kWh/m² a kJ/m², se obtuvo el siguiente resultado:

$$Radiacion\ promedio = 4.49 \frac{kWh}{m^2} \times 3600 = 16,164 \frac{kJ}{m^2}$$

Al sustituir el valor anterior, se obtiene los siguiente:

$$h. s. p. = 16,164 \frac{kJ}{m^2} \times (2.784 \times 10^{-4}) = \mathbf{4.500\ h. s. p.}$$

Es necesario aplicar un factor de diseño a la demanda de energía diaria que se debe cubrir, en este caso al tratarse de una instalación conectada a red, se trabajó con un factor de diseño del 10 %. Por lo tanto, aplicando el factor de diseño la demanda de energía diaria resulto de la siguiente manera:

$$\text{Consumo efectivo} = 5.05 \text{ kWh} \times 1.10 = 5.555 \text{ kW}$$

Una vez que se le aplicó el factor de diseño a la demanda energética, para conocer la cantidad de energía que debe generar el sistema fotovoltaico, el valor que se obtuvo fue dividido entre la cantidad de horas de sol pico, es decir:

$$\text{Energía que se debe generar} = \frac{5.555 \text{ kWh}}{4.500 \text{ h.s.p.}} = 1.234 \text{ kWp}$$

Esto significa, que en este caso, se necesita una instalación fotovoltaica con las características mostradas en la Tabla 5.9:

Características de la instalación fotovoltaica	
Energía que debe generar el equipo fotovoltaico	1.234 kWp
Demanda promedio diaria que debe cubrir	5.555 kWh
Horas de Sol pico con las que se cuentan	4.500 h. s. p.

Tabla 5.9. Características de la instalación fotovoltaica requerida en este caso.

Al tratarse de una instalación que estará interconectada con la red de la CFE, no es preciso instalar acumuladores para almacenar energía, puesto que toda la energía que se genere por el equipo fotovoltaico y que no sea utilizada en la vivienda, se mandará directamente a la red de la CFE. A su vez, al momento de requerir energía eléctrica en la vivienda, en los momentos donde no se cuente con radiación solar, se tomara la energía de la red de CFE. Por lo tanto lo que si se debe de contemplar en la instalación es el cambio del medidor convencional a uno bidireccional.

Otro punto a considerar al momento de realizar la instalación, es de llevar a cabo el contrato con la CFE para poder realizar la interconexión, algunos fabricantes realizan ellos mismos este trámite, además cuando así lo requiere el comprador, llevan a cabo la solicitud de créditos ante las instituciones correspondientes para financiar la instalación de los equipos.

5.3 CASO 2. Casa de descanso en el Estado de Morelos

En este caso, se trata de un proyecto que contempla la construcción de una casa de descanso, la cual se pretende construir en el poblado de Santiago Tepetlapa, municipio de Tepoztlan en el Estado de Morelos, sus coordenadas geográficas son: Latitud 18°59' Norte y Longitud 99°05' Oeste.

Este proyecto, pretende implementar equipos fototérmicos, fotovoltaicos y estudiar la factibilidad de la implementación de equipos de aerogeneración. En la actualidad el proyecto se encuentra en sus primeras etapas, por tal motivo aún no se cuenta con los planos definitivos y solo se conocen los datos generales de la ubicación. El predio en el que se pretende desarrollar este proyecto, tiene un área de 7000 m² y se encuentra al final de un camino de piedra de una longitud aproximada de 130 m, el poste de la CFE más próximo al predio se encuentra al principio de dicho camino. El estado actual del predio, así como su acceso, se muestran en las Figuras 5.3. y 5.4.



Figura 5.3. Estado actual del predio donde se pretende realizar el proyecto.



Figura 5.4. Camino de acceso al predio donde se pretende realizar el proyecto.

La vivienda esta proyectada en un solo nivel y se distribuirá de la siguiente manera; tres dormitorios con baño completo cada uno, un medio baño, una sala comedor y la cocina, en la parte trasera de la construcción se construirá una habitación para los servicios. Además, se pretende construir una alberca, al aire libre, de 10 m de ancho por 15 m de largo, en donde los primeros 5 m tendrán una profundidad de 1 m y los otros 10 m tendrán una profundidad de 1.5 m. Es decir, la alberca tendrá un área de 150 m², un volumen de 200 m³ y se desea que el agua se encuentre a una temperatura aproximada de 30 °C. Esta casa de descanso pretende ser utilizada los fines de semana y los periodos vacacionales por una familia de 5 integrantes.

Los promedios mensuales de insolación y de radiación normal directa, se pueden ver por medio de las Tablas 5.10 y 5.11. Las características climáticas del poblado de Santiago Tepetlapa se presentan por medio de las tablas 5.12 y hasta la Tabla 5.14.

Mes	Insolación kWh/m ² día
Enero	5.19
Febrero	6.10
Marzo	6.96
Abril	7.06
Mayo	6.66
Junio	6.01
Julio	6.28
Agosto	6.00
Septiembre	5.43
Octubre	5.37
Noviembre	5.26
Diciembre	4.90
Promedio Anual	5.93

Tabla 5.10. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal (*kWh/m²día*).¹

Mes	Radiación Directa kWh/m ² día
Enero	7.51
Febrero	8.20
Marzo	8.53
Abril	7.65
Mayo	6.50
Junio	5.36
Julio	5.85
Agosto	5.49
Septiembre	5.03
Octubre	6.01
Noviembre	7.29
Diciembre	7.27
Promedio Anual	6.72

Tabla 5.11. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa (*kWh/m²día*).¹

Mes	Temperatura (°C)
Enero	19.2
Febrero	21.6
Marzo	24.4
Abril	26.7
Mayo	25.8
Junio	22.6
Julio	21.9
Agosto	22.0
Septiembre	21.0
Octubre	20.4
Noviembre	19.7
Diciembre	18.9

Tabla 5.12. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente (°C).¹

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

Mes	Días nublados
Enero	9
Febrero	9
Marzo	12
Abril	8
Mayo	3
Junio	1
Julio	1
Agosto	0
Septiembre	0
Octubre	2
Noviembre	7
Diciembre	10

Tabla 5.13. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado (día).¹

Mes	Altura sobre el terreno				
	10 m	50 m	100 m	150 m	300 m
Enero	3.15	3.99	4.42	4.70	5.22
Febrero	3.10	3.92	4.34	4.62	5.12
Marzo	3.02	3.82	4.23	4.50	4.99
Abril	2.92	3.70	4.10	4.36	4.84
Mayo	2.39	3.02	3.35	3.56	3.95
Junio	2.21	2.80	3.10	3.30	3.66
Julio	2.36	2.99	3.31	3.52	3.91
Agosto	2.24	2.84	3.15	3.34	3.71
Septiembre	2.17	2.75	3.05	3.24	3.59
Octubre	2.50	3.16	3.50	3.72	4.13
Noviembre	2.91	3.68	4.08	4.33	4.81
Diciembre	3.17	4.01	4.44	4.72	5.24
Promedio Anual	2.67	3.38	3.75	3.99	4.43

Tabla 5.14. Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto.¹

5.3.1 Calentador Solar

Como ya se sabe, para dimensionar un calentador solar es necesario conocer la demanda de ACS que se desea cubrir, en este caso el cálculo también se realizó considerando un consumo de 30 l diarios de ACS por persona, la demanda de ACS al día será de 150 l por lo tanto el volumen del termotanque tendrá que estar entre el siguiente parámetro:

$$90 \text{ l} \leq \text{volumen del termotanque} \leq 150 \text{ l}$$

para conocer la demanda de energía que se requiere obtener del sistema y la superficie de captación se emplearon los datos mostrados en la Tabla 5.15.

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

Datos empleados	
Radiación media mensual más baja del año	4.90 kWh/m ²
Temperatura del agua suministrada en ese mes	18.9 °C
Temperatura prevista del ACS	50 °C
Demanda total diaria de ACS	150 l
Orientación	Sur
Latitud del lugar donde se instalara el calentador solar	18°59'N
Fracción Solar	0.60
Rendimiento de la instalación (η)	0.5

Tabla 5.15. Datos empleados para el cálculo del calentador solar.

Tomando en cuenta estos datos, el valor de la demanda de energía resultó de:

$$Q = 150 \text{ l} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (50 - 18.9)^\circ\text{C}$$

$$Q = 150 \text{ l} \times \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{l}^\circ\text{C}} \right) \times 31.1^\circ\text{C}$$

$$Q = 5.411 \text{ kWh}$$

La superficie de captación que se obtuvo fue:

$$A = \frac{FS \times Q}{\eta \times I} = \frac{0.60 \times 5.411 \text{ kWh}}{0.5 \times 4.90 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{3.247}{2.45} \text{ m}^2$$

$$A = 1.325 \text{ m}^2$$

En resumen, las características que debe presentar el calentador solar que se requiere en esta instalación se enlistan en la Tabla 5.16.

Características del calentador solar sugerido	
Volumen del termostanque	Entre 90 y 150 l
Energía generada	$Q = 5.411 \text{ kW}$
Superficie de captación	$A = 1.325 \text{ m}^2$

Tabla 5.16. Características del calentador solar sugerido.

Para este caso, debido a que el municipio de Tepoztlan cuenta con un excelente recurso solar, no se recomienda la instalación de algún equipo de apoyo para la obtención del ACS.

5.3.2 Calentador solar de agua para alberca

Como se mencionó en el Capítulo 2, dimensionar un calentador solar para una alberca depende de varios factores adicionales al área o volumen de la misma, estos factores incluyen la forma y profundidad de la alberca, temperatura deseada del agua, condiciones del viento, sombras sobre la alberca, cómo se planea usar la alberca e inclusive el color de sus paredes. En este caso solo se sabe que se trata de una alberca que se construirá al aire libre con una superficie de 150 m², los demás factores son desconocidos debido a que aún no se determina cual será la ubicación exacta de la alberca. Por tal motivo, se utilizó el método más sencillo para dimensionar el calentador solar de esta alberca,

este método considera que la superficie de captación que debe tener el calentador esta comprendida entre el 50 y el 100% de la superficie de la alberca, es decir que el equipo que se instaló deberá tener una superficie de captación que este dentro del siguiente parámetro:

$$75 \text{ m}^2 \leq \text{superficie de captación} \leq 150 \text{ m}^2$$

5.3.3 Elección del tipo de energía renovable y el tipo de instalación que se empleara para la generación de energía eléctrica

En el año 2011, los dueños del predio solicitaron a la CFE un presupuesto para realizar las obras de ampliación de la red eléctrica y con ello poder conectar la vivienda a dicha red, se consideró que la ampliación de la red beneficiaria a otras 4 familias que tienen su domicilio en el mismo camino de terracería.

Las características que considero la CFE para poder realizar la ampliación aparecen en la Tabla 5.17.

Características de las obras de ampliación de la red eléctrica	
Carga contratada	0 kVA 0 kW
Demanda contratada	0 kVA 0 kW
Tensión de suministro	23 kV
Tolerancia de la tensión	± 10%
Frecuencia	60 HERTZ
Tolerancia de la frecuencia	± 0.8%
Número de fases e hilos	2F3H
Tarifa	01-3

Tabla 5.17. Características de las obras de ampliación de la red eléctrica.

La descripción de la obra que se tendría que realizar se describe en la Tabla 5.18.

Descripción de la obra de ampliación de la red eléctrica
Construcción de 95 m de L.M.T (línea de media tensión), 2F3H (2 fases, 3 hilos), con conductor de ACSR (1/0)
Construcción de 30 m de L.B.T (línea de baja tensión), con conductor de ACSR (2+1) 3/0-1/0
La instalación de un transformador monofásico de 25 kVA

Tabla 5.18. Descripción de las obras de ampliación de la red eléctrica.

El presupuesto de la obra ascendía a los \$ 122,302.76 M.N. y tenía una vigencia de dos meses. Dicha cantidad tenía que ser cubierta en una sola exhibición, de conformidad con el Art. 39 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones.

Debido al alto costo de la ampliación de la red eléctrica convencional, se consideró la implementación de las energías renovables para cubrir la demanda energética de la vivienda sin tener que interconectarse con la red de la CFE.

Con ayuda de los datos obtenidos de la página web de la NASA se supo que se puede implementar la energía solar para la generación de energía eléctrica, pero no se puede utilizar la energía eólica debido

a que la velocidad promedio del viento en este poblado, a una altura de diez metros sobre el nivel del suelo, es de aproximadamente 2.67 m/s (véase la Tabla 5.14).

5.3.4 Equipo Fotovoltaico

Al tratarse de una vivienda que aún no se ha construido, es imposible cuantificar exactamente la cantidad de energía eléctrica que se consume cada día. Por lo tanto, se realizó la cuantificación de la demanda energética considerando algunos de los aparatos eléctricos que se utilizan con más frecuencia en las viviendas. En la Tabla 5.19, se enlistan algunos de los aparatos electrodomésticos que se emplean con más frecuencias en las viviendas, de esta tabla se seleccionaron algunos aparatos para llevar a cabo los cálculos de este caso.

Aparato	Potencia prom. (W)	Tiempo promedio de uso al día	Tiempo de uso al mes (h)	Consumo mensual (kWh)
CONSUMO BAJO				
Cargador para celular	5	2 h/día	60	0.3
Cargador para tableta	10	3 h/día	90	0.9
DVD	25	3hr 4vec/sem	48	1.2
Licuada mediana potencia	400	10 min/día	5	2
Focos fluorescentes de 15W	15	5 h/día	150	2.25
Focos fluorescentes de 30W	30	5 h/día	150	4.5
Bomba de agua	400	20 min/día	10	5
Computadora portátil	65	4 h/día	120	7.8
Radio grabadora	40	4 h/día	120	8
Secadora de pelo	1600	10 min/día	5	9
Estéreo musical	75	4 h/día	120	9
Focos incandescentes de 60W	60	5 h/día	150	9
Horno de microondas	1200	15 min/día	10	13
Lavadora automática	400	4 h 2vec/sem	32	13
Aspiradora	800	2 h 2vec/sem	16	13
Ventilador de pedestal o torre	70	8 h/día	240	17
CONSUMO MEDIO				
Cafetera	750	1 h/día	30	23
Plancha	1000	3 h 2vec/sem	24	24
Estación de videojuegos	250	4 h/día	120	30
Equipo de computo	300	4 h/día	120	36
TV Color (32-43pulg)	250	6 h/día	180	45
TV Color (43-50 pulg. Plasma)	360	6 h/día	180	65
Refrigerador (14-16 pies cúbicos)	290	8 h/día	240	70
Refrigerador (18-22 pies cúbicos)	375	8 h/día	240	90
CONSUMO ALTO				
Refrigerador (25-27 pies cúbicos)	650	8 h/día	240	156
Aire acondicionado mediano	400	12 h/día	360	144
Aire acondicionado grande	600	12 h/día	360	216

Tabla 5.19. Consumo energético de algunos aparatos electrodomésticos.¹

¹ Fuente <http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/244-consumo-electricidad-aparatos-electricos.html>

En la Tabla 5.20, se muestra los datos de los aparatos electrodomésticos y su consumo energético que se consideraron para el cálculo de la demanda energética en este caso se debe considerar, que al tratarse de una casa de descanso, se entiende que no se tendrán la misma cantidad de electrodomésticos, los cuales se emplean habitualmente en una vivienda ordinaria. El tiempo de funcionamiento de los aparatos también, se consideró menor.

Aparato	Potencia promedio (W)	Tiempo promedio de uso al día	Cantidad de aparatos	Promedio Diario en kWh
Cargador para celular	5	2 h/día	2	0.020
Cargador para tableta	10	3 h/día	1	0.030
Licudadora baja potencia	350	5 min/día	1	0.029
Radio grabadora	40	2 h/día	1	0.080
Focos fluorescentes de 23 W	23	3 h/día	15	1.035
Horno de microondas	1200	5 min/día	1	0.100
Lavadora automática	400	30 min/día	1	0.200
Plancha	1000	15 min/día	1	0.250
TV Color 42 pulgadas	250	3 h/día	1	0.750
Refrigerador (12 pies cúbicos)	250	8 h/día	1	2.000
Consumo Total				4.494

Tabla 5.20. Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.¹

Al tratarse de una instalación aislada de la red convencional, se le aplicó un factor de diseño del 15% a la demanda de energía diaria. Por lo tanto, el resultado obtenido fue el siguiente:

$$\text{Consumo efectivo} = 4.494 \text{ kWh} \times 1.15 = \mathbf{5.168 \text{ kWh}}$$

Se transformó la radiación diaria de kWh/m² a kJ/m², para esto se multiplico por un factor de conversión de 3600, y se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Radiación promedio} = 4.90 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 3600 = 17,640 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

El cálculo de las horas de Sol pico resulto de la siguiente manera:

$$h.s.p. = 17,640 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \times (2.784 \times 10^{-4}) = \mathbf{4.911 \text{ h.s.p.}}$$

La cantidad de energía que debe generar el sistema fotovoltaico, tiene un valor de:

$$\text{Energía que se debe generar} = \frac{5.168 \text{ kWh}}{4.911 \text{ h.s.p.}} = \mathbf{1.052 \text{ kWp}}$$

Al tratarse de una instalación aislada de la red pública fue preciso conocer la cantidad de días de autonomía que se espera pueda cubrir el sistema, para conocer este dato fue necesario saber la cantidad de días continuos en los que se espera no se pueda contar con una buena cantidad de radiación solar y por lo tanto el panel fotovoltaico no pueda funcionar a su 100% de capacidad, de la Tabla 5.13 se conoció que, en esta población, en el mes de marzo se presentan en promedio 12 días de cielo nublado.

¹ Fuente <http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/244-consumo-electricidad-aparatos-electricos.html>

Para obtener la capacidad de energía, que se tiene que almacenar en los acumuladores, fue preciso conocer su profundidad de descarga (DOD, por sus siglas en ingles). En las instalaciones fotovoltaicas y eólicas se deben de instalar baterías de ciclos profundos, estas baterías son diseñadas especialmente para operar en ciclos superiores al 50%.

Para realizar la estimación de la cantidad de energía que se debe acumular en este sistema se consideraron los datos de la Tabla 5.21.

Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular	
Demanda energética	4.494 kWh
Voltaje del acumulador	12 V
Profundidad de descarga DOD	50%
Pérdidas por autodescarga	10%
Factor de seguridad	10%
Días de autonomía del sistema	10 días

Tabla 5.21. Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular.

Para realizar este cálculo se utiliza siempre la demanda energética real. En este caso, se establece un 10% de factor de seguridad y de pérdidas por autodescarga, debido a que es el porcentaje más comúnmente empleado por los fabricantes. En este caso, se consideraron únicamente 10 días de autonomía, debido a que es muy poco probable que los 12 días de cielo nublado se presenten consecutivamente.

El procedimiento que se siguió para realizar este cálculo fue el siguiente:

Se multiplica la demanda energética, por los días de autonomía:

$$\text{Demanda energetica total} = 4,494 \text{ Wh} \times 10 = 44,940 \text{ Wh},$$

este resultado se dividió entre el voltaje de la batería para conocer los amperios hora (Ah) que se requieren

$$\text{Carga total} = \frac{44,940 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 3,745 \text{ Ah},$$

al dividir entre la profundidad de descarga:

$$\text{Capacidad de almacenamiento} = \frac{3,745 \text{ Ah}}{0.5} = 7,490 \text{ Ah},$$

aplicando el 10% de las pérdidas por autodescarga:

$$\text{Capacidad de almacenamiento con autodescarga} = 7,490 \text{ Ah} \times 1.1 = 8,239 \text{ Ah},$$

por último, se consideró un factor de seguridad del 10% para conocer el total de Ah que deben acumularse en las baterías para asegurar que el sistema cuente con 10 días de autonomía

$$\text{Capacidad de almacenamiento total} = 8,239 \text{ Ah} \times 1.1 = \mathbf{9,062.9 \text{ Ah}}.$$

En conclusión, se requiere de una instalación fotovoltaica que cumpla con las características descritas en la Tabla 5.22.

Características de la instalación fotovoltaica	
Energía que debe generar el equipo fotovoltaico	1.052 kWp
Demanda promedio diaria que debe cubrir	5.168 kWh
Carga acumulada	9,062.9 Ah
Días de autonomía	10 días
Horas de Sol pico con las que se cuentan	4.911 h. s. p.

Tabla 5.22. Características de la instalación fotovoltaica requerida en este caso.

5.4 CASO 3. Vivienda para los investigadores del parque ecológico Tuzandepetl.

En el último caso de estudio, se contempla una vivienda que será utilizada por los investigadores que laborarán en el parque ecológico que la empresa de PEMEX, pretende construir en el poblado de Tuzandepetl, el cual se localiza en el municipio de Ixhuatlán del Sureste en el estado de Veracruz. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 18°03' Norte y Longitud 94°25' Oeste. El parque se desarrollará en una área total de 1,104 ha, dentro de un ecosistema selvático en el cual existe una enorme cantidad de especies de fauna y flora.

PEMEX recibió el certificado, por el que se reconoce al parque ecológico como área natural protegida y por consiguiente con la finalidad de preservarlo, contrató a la UNAM, para que instrumentara una serie de medidas tendiente a la preservación del parque. El Instituto de Ingeniería de la UNAM, fue el encargado de determinar los requerimientos energéticos de las instalaciones más representativas del parque ecológico y proponer el o los dispositivos que, utilizando la energía renovable, satisfagan los requerimientos. En la Figura 5.5 se puede observar es estado actual de la zona donde se construirá el parque ecológico.



Figura 5.5. Estado actual de la zona donde se realizara la construcción del parque ecológico.

Para lograr el objetivo de este trabajo de tesis, se contó con el proyecto arquitectónico elaborado por los arquitectos de la empresa Buro Verde. Debido a la naturaleza del proyecto arquitectónico entregado, no fue posible tener datos exactos de los requerimientos energéticos por lo que se realizaron estimaciones y se propusieron dispositivos de energía renovable genéricos.

El parque ecológico contendrá, diversas instalaciones entre las cuales se encuentran; edificios de accesos, área de investigación, casas habitación para investigadores, una casa ecológica, área de comida rápida, comedor para los investigadores, un conjunto de museos, un auditorio, un cocodrilaro, un aviario y una granja infantil.

Aunque se llevó a cabo, el dimensionamiento de todos los equipos de energías renovables que se instalarán en el parque, debido a que el alcance de este trabajo de tesis únicamente abarca la aplicación de las energías renovables en viviendas, en este trabajo, solo se reportó el análisis de los requerimientos de las viviendas que se construirán para albergar a los investigadores y los cálculos para la elección de los equipos que deberán instalarse para cubrir tales requerimientos.

Los promedios mensuales de insolación y de radiación normal directa, se pueden ver por medio de las Tablas 5.23 y 5.24. Las características climáticas de esta zona de la Ciudad de México se presentan por medio de las tablas 5.25 y hasta la Tabla 5.27.

Mes	Insolación kWh/m ² día
Enero	3.84
Febrero	4.73
Marzo	5.79
Abril	6.56
Mayo	6.86
Junio	6.26
Julio	6.23
Agosto	5.96
Septiembre	5.18
Octubre	4.88
Noviembre	4.33
Diciembre	3.59
Promedio Anual	5.35

Tabla 5.23. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Insolación Incidentes en una superficie horizontal (*kWh/m²día*).¹

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

Mes	Radiación Directa kWh/m ² día
Enero	4.31
Febrero	5.11
Marzo	6.05
Abril	6.65
Mayo	6.87
Junio	5.78
Julio	5.73
Agosto	5.41
Septiembre	4.60
Octubre	5.05
Noviembre	5.11
Diciembre	4.10
Promedio Anual	5.40

Tabla 5.24. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de Radiación Normal Directa (*kWh/m²día*).¹

Mes	Temperatura (°C)
Enero	24.0
Febrero	23.8
Marzo	24.4
Abril	25.8
Mayo	27.5
Junio	28.6
Julio	28.7
Agosto	29.0
Septiembre	29.1
Octubre	28.1
Noviembre	26.7
Diciembre	25.1

Tabla 5.25. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de la temperatura ambiente (°C).¹

Mes	Días nublados
Enero	3
Febrero	4
Marzo	5
Abril	5
Mayo	5
Junio	4
Julio	3
Agosto	3
Septiembre	2
Octubre	3
Noviembre	4
Diciembre	3

Tabla 5.26. Promedio Mensual, durante los últimos 22 años, de días con cielo nublado (*día*).¹

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

Mes	Altura sobre el terreno				
	10 m	50 m	100 m	150 m	300 m
Enero	5.14	6.01	6.66	7.08	7.86
Febrero	5.11	5.98	6.63	7.05	7.82
Marzo	5.01	5.86	6.50	6.90	7.66
Abril	4.38	5.14	5.70	6.06	6.72
Mayo	3.92	4.58	5.08	5.40	5.99
Junio	3.83	4.48	4.97	5.28	5.86
Julio	4.26	4.98	5.52	5.87	6.51
Agosto	3.80	4.45	4.93	5.24	5.82
Septiembre	4.00	4.68	5.19	5.51	6.12
Octubre	4.59	5.38	5.96	6.34	7.03
Noviembre	5.01	5.87	6.51	6.92	7.67
Diciembre	5.22	6.11	6.77	7.20	7.99
Promedio Anual	4.52	5.29	5.87	6.23	6.92

Tabla 5.27. Promedio Mensual, durante los últimos 10 años, de la velocidad del viento en (m/s) a diferentes alturas. En una vegetación tipo "Aeropuerto": hierba plana en bruto.¹

Como se puede apreciar en la Figura 5.6, las viviendas de los investigadores estarán divididas en cuatro pequeños departamentos que se conformarán de una recamara, un estudio, un baño completo y una terraza. Cada uno de estos departamentos estará habitado por dos personas, es decir que en total cada vivienda tendrá un total de ocho habitantes.

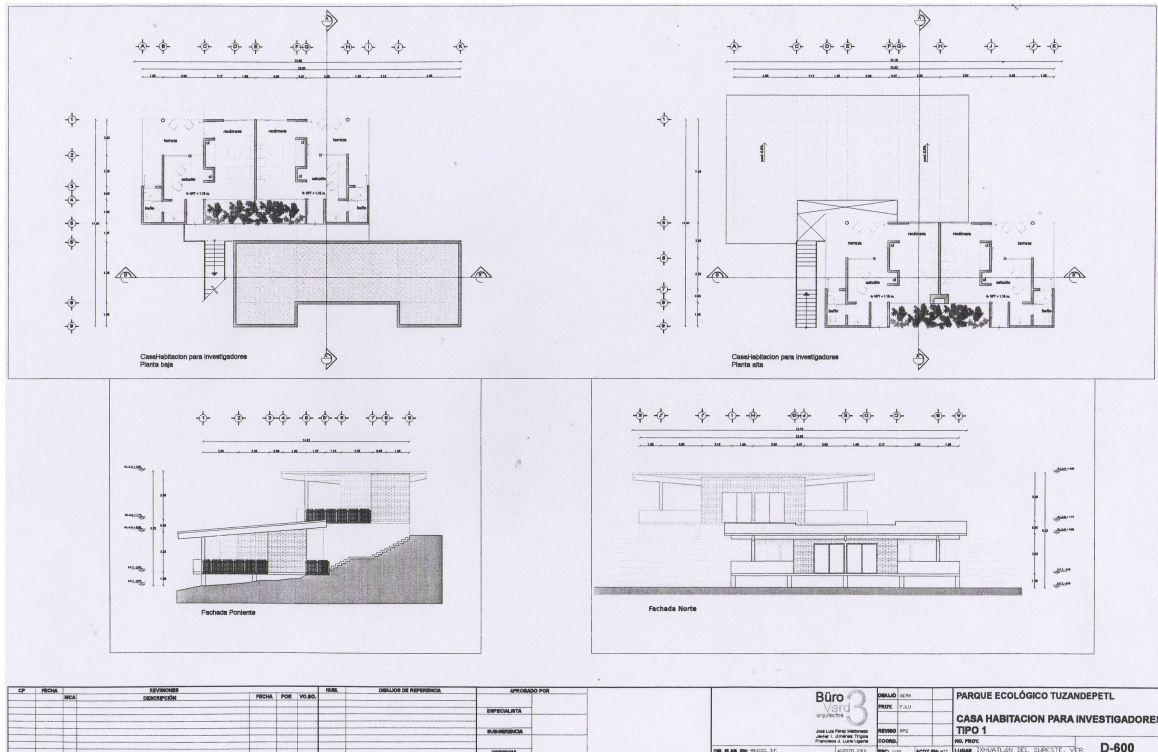


Figura 5.6. Plano arquitectónico de las viviendas que ocuparan los investigadores.²

¹ Fuente <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

² Plano elaborado por: Büro Verd3 arquitectos

5.4.1 Calentador Solar

En este caso también se consideró un consumo de 30 l/día de ACS por persona. Al tratarse de 8 habitantes por vivienda, la demanda de ACS al día será de 240 l por lo tanto el volumen del termotanque tendrá que estar dentro del siguiente parámetro:

$$144 \text{ l} \leq \text{volumen del termotanque} \leq 240 \text{ l}$$

Se recomienda que el volumen del termotanque considere su límite superior debido a que al tratarse de una vivienda para trabajadores de una misma institución es muy probable que inicien sus labores a la misma hora y por lo tanto tengan la necesidad de emplear ACS al mismo tiempo generando que se utilice en su totalidad el volumen de ACS que se encuentre almacenada en el termotanque.

Para conocer la demanda de energía que se necesita obtener del sistema y la superficie de captación se utilizaron los datos que aparecen en la Tabla 5.28:

Datos empleados	
Radiación media mensual más baja del año	3.59 kWh/m ²
Temperatura del agua suministrada en ese mes	25.1 °C
Temperatura prevista del ACS	50 °C
Demanda total diaria de ACS	240 l
Orientación	Sur
Latitud del lugar donde se instalara el calentador solar	18°03'N
Fracción Solar	0.60
Rendimiento de la instalación (η)	0.5

Tabla 5.28. Datos empleados para el cálculo del calentador solar.

Considerando los datos anteriores, el valor de la demanda de energía fue de:

$$Q = 240 \text{ l} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (50 - 25.1)^\circ\text{C}$$
$$Q = 240 \text{ l} \times \left(1.16 \times 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{l}^\circ\text{C}} \right) \times 24.9^\circ\text{C}$$
$$Q = 6.932 \text{ kWh}$$

la superficie de captación obtuvo un valor de:

$$A = \frac{FS \times Q}{\eta \times I} = \frac{0.60 \times 6.932 \text{ kWh}}{0.5 \times 3.59 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{4.159}{1.795} \text{ m}^2$$
$$A = 2.317 \text{ m}^2$$

De tal manera que las características del calentador solar que se requiere en esta instalación se enlistan en la Tabla 5.29.

Características del calentador solar sugerido	
Volumen del termotanque	Entre 144 y 240 l
Energía generada	$Q = 6.932 \text{ kW}$
Superficie de captación	$A = 2.317 \text{ m}^2$

Tabla 5.29. Características del calentador solar sugerido.

Debido a las especificaciones del proyecto, no se realizará la instalación de algún equipo de apoyo adicional para la obtención del ACS.

5.4.2 Elección del tipo de energía renovable que se empleara para la generación de energía eléctrica

Como se mencionó en la descripción del caso, se desea que el total de energía que consuma el parque ecológico se obtenga de la implementación de las energías renovables. Sabiendo que los equipos fotovoltaicos si pueden ser implementados, se estudió la posibilidad de utilizar energía eólica y con base en los datos de la Tabla 5.27 se determinó que si es factible la utilización de turbinas de aerogeneración pues la velocidad promedio del viento en el municipio de Tuzandepetl es de 4.52 m/s .

Una vez conocidos estos datos, se decidió que la instalación que se llevará a cabo tendrá que conjugar equipos fotovoltaicos con equipos de aerogeneración para abastecer la demanda energética de la vivienda.

5.4.3 Equipo fotovoltaico y de aerogeneración.

Al contar únicamente con los planos arquitectónicos, fue imposible conocer exactamente los requerimientos energéticos que se tendrán en cada una de estas viviendas. Para conocer la posible demanda de energía diaria, fue necesario realizar una aproximación considerando algunos aparatos electrónicos que por el tipo de vivienda se pudieran utilizar, cabe mencionar que no se consideraron la utilización de aparatos de cocina puesto que el parque contará con comedores para los investigadores, se podría decir que este tipo de vivienda servirán solamente como dormitorios. El listado de los equipos que se consideraron para el cálculo de la demanda diaria de energía así como su consumo energético se muestran en la Tabla 5.30.

Aparato	Potencia promedio (W)	Tiempo promedio de uso al día	Cantidad de aparatos	Promedio Diario en kWh
Cargador para celular	5	2 hrs/día	8	0.080
Cargador para tableta	10	3 hrs/día	8	0.240
Radio grabadora	40	1 hrs/día	4	0.160
Focos fluorescentes de 23 W	23	3 hrs/día	40	2.760
TV Color 42 pulgadas	250	2.5 hrs/día	4	2.500
Computadora portátil	65	4 hrs/día	8	2.080
Ventilador de pedestal	70	3 hrs/día	4	0.840
Consumo Total				8.66

Tabla 5.30. Promedio diario de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, kWh.

Al valor de la demanda diaria de energía, se le aplicó un factor de diseño del 15%. Por lo tanto, el resultado obtenido fue el siguiente:

$$\text{Consumo efectivo} = 8.66 \text{ kWh} \times 1.15 = \mathbf{9.959 \text{ kWh}}$$

Como la finalidad de este proyecto, no era realizar la elección precisa de los equipos de generación de energía, no se eligió ningún equipo en particular, únicamente se sugirieron las cantidades de energía que éste deberá generar para cubrir los requerimientos. Investigando con los fabricantes de equipos de generación que conjugan la energía solar con la eólica, se logró conocer que por lo regular cuando trabajan en conjunto equipos fotovoltaicos y aerogeneradores, se acostumbra a que las turbinas eólicas se encarguen de generar únicamente entre el 10 y el 20% de total de la energía que proporcionara el sistema.

Por lo tanto, se consideró que el equipo fotovoltaico a implementar proporcionara un 90% de la demanda total es decir:

$$\text{Demanda que cubriera el equipo fotovoltaico} = 9.959 \text{ kWh} \times .9 = \mathbf{8.963 \text{ kWh}}$$

Con base en este resultado, se realizaron los cálculos para dimensionar el equipo fotovoltaico, de tal modo que el cálculo de las horas de sol pico se obtuvo de la siguiente forma:

Empleando el factor de conversión de 3600, se transformó el valor de la radiación solar diaria de kWh/m² a kJ/m² y se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Radiación solar diaria} = 3.59 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 3600 = 12,924 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

el cálculo de las horas de sol pico resultó de la siguiente manera:

$$h. s. p. = 12,924 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \times (2.784 \times 10^{-4}) = \mathbf{3.598 \text{ h. s. p.}}$$

la cantidad de energía que debe generar el sistema fotovoltaico, tiene un valor de:

$$\text{Energía generada} = \frac{8.963 \text{ kWh}}{3.598 \text{ h. s. p.}} = \mathbf{2.491 \text{ kWp}}$$

Para cuantificar la cantidad de energía que genera una turbina eólica, es preciso elaborar la curva de distribución del viento (curva de Weibull) del lugar y a la altura donde se pretende realizar la instalación y se debe conocer la curva de potencia del aerogenerador, esta curva es proporcionada por el fabricante. Con estas dos curvas se puede conocer la producción de energía que generará la turbina. En este caso, al no saber con precisión que equipo se implementará no se cuenta con la curva de potencia y debido a esto resultaría infructuoso elaborar la curva de Weibull, por lo tanto solamente se cuantificara la cantidad de energía que debe generar la turbina eólica.

Se consideró que la turbina eólica cubra con el 10% de la demanda total de energía es decir tendrá que entregar al sistema:

$$\text{Demanda que cubrira el aerogenerador} = 9.959 \text{ kWh} \times 0.1 = \mathbf{0.996 \text{ kWh}}$$

Como se mencionó en el Capítulo 4, a la cantidad total de energía que genera una turbina eólica se le aplican algunas deducciones y un factor de seguridad, de tal modo que se considera que sólo aproximadamente un 60% de la cantidad total de energía que teóricamente puede ser generada por la turbina es la que recibe el sistema.

Por lo tanto, los 0.996 kWh deberán ser solo el 60% de la cantidad total de energía que debe generar la turbina eólica. Para conocer el total de energía que debe general el equipo se utilizó una regla de tres y el resultado quedó de la siguiente forma

$$\begin{aligned} 0.996 \text{ kWh} &\rightarrow 60\% \\ x &= \frac{0.996 \text{ kWh} \times 1}{0.6} \\ x &= \mathbf{1.66 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

donde 'x' es el total de energía que debe generar la turbina.

Al tratarse de una instalación aislada de la red de la CFE se cuantifico la cantidad de días de autonomía que se espera pueda cubrir el sistema, para conocer este dato se necesita saber la cantidad de días continuos en los que se espera no contar con una buena cantidad de radiación solar y por lo tanto el panel fotovoltaico no pueda funcionar correctamente. De la Tabla 5. 26, se sabe que en esta población, son cinco el mayor número de días nublados que se pueden presentar en un mes. Aunque durante los días de cielo nublado la turbina eólica seguirá generando energía, esta cantidad de energía no será suficiente para cubrir la demanda total.

Para conocer la capacidad de energía que se tiene que almacenar en los acumuladores se emplearon los datos de la Tabla 5.31.

Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular	
Demanda energética	8.66 kWh
Voltaje del acumulador	12 V
Profundidad de descarga DOD	50%
Pérdidas por autodescarga	10%
Factor de seguridad	10%
Días de autonomía del sistema	5 días

Tabla 5.31. Datos empleados para calcular la cantidad de energía que se debe acumular.

se consideraron 5 días de autonomía debido a que pudiera ser necesario llevar a cabo un mantenimiento del equipo y se tenga que hacer uso de la energía almacenada en los acumuladores.

El procedimiento que se siguió para este cálculo fue el siguiente:

se multiplicó la demanda energética, por los días de autonomía

$$Demanda\ energetica\ total = 8,660\ Wh \times 5 = 43,300\ Wh,$$

el resultado obtenido se dividió entre el voltaje de la batería para conocer los amperios hora (*Ah*) que se requieren

$$Carga\ total = \frac{43,300\ Wh}{12\ V} = 3,608.34\ Ah,$$

al dividir entre la profundidad de descarga:

$$Capacidad\ de\ almacenamiento = \frac{3,608.34\ Ah}{0.5} = 7,216.68\ Ah,$$

aplicando el 10% de las pérdidas por autodescargas:

$$Capacidad\ de\ almacenamiento\ con\ autodescarga = 7,216.68\ Ah \times 1.1 = 7,938.35\ Ah,$$

por último, se le aumento un 10% del factor de seguridad para conocer el total de *Ah* que se deben acumular para que el sistema obtenga 5 días de autonomía.

$$Capacidad\ de\ almacenamiento\ total = 7,938.35\ Ah \times 1.1 = \mathbf{8,732.18\ Ah}.$$

En conclusión, para este caso, se necesita contar con una instalación que contenga un equipo fotovoltaico y un aerogenerador con las características que se muestran en la Tabla 5.32:

Características de la instalación	
Energía que debe generar el equipo fotovoltaico	2.491 kWp
Energía que debe generar la turbina	1.66 kWh
Demanda promedio diaria que debe cubrir	9.959 kWh
Carga acumulada	98,732.18 Ah
Días de autonomía	5 días
Horas de Sol pico con las que se cuentan	3.598 h. s. p.

Tabla 5.32. Características de la instalación requerida en este caso.

Conclusiones

La energía, en cualquiera de sus formas, es indudablemente el pilar de nuestra sociedad; sin ella es imposible concebir el avance de nuestra civilización. Ya sea en forma de calor o de electricidad, diariamente utilizamos a la energía en nuestras actividades cotidianas.

Por décadas, los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía para poder cubrir con la demanda energética que exige nuestro modo de vida. Debido a la gran cantidad de contaminantes, que se producen en los procesos tradicionales de generación de energía y a los altos costos de los hidrocarburos así como al posible desabasto de los mismos, durante los últimos 20 años, se ha comenzado a popularizar el uso de las energía renovables.

En todo el mundo, la energía solar y eólica son fuentes fiables para la obtención tanto de energía eléctrica como de energía térmica. En nuestro país se emplean desde hace ya varios años, brindando magníficos resultados.

Aunque México cuenta con un excelente potencial, en lo que a las energías renovables se refiere, es también el tercer lugar en el continente americano en la producción de gases de efecto invernadero.

Debido a esto, las actividades realizadas a lo largo de este trabajo de tesis, tuvieron como finalidad comprobar la factibilidad de implementar la energía solar y eólica en pequeña escala en los hogares de nuestro país. Todo esto con la intención de brindar información de manera más simplificada promoviendo el empleo de dichas energías, tratando con esto de eliminar la dependencia de los combustibles fósiles, reduciendo de este modo la emisión de partículas de CO₂ hacia la atmósfera, ayudando así a la conservación y mejora del medio ambiente.

Una vez realizado el trabajo de investigación y análisis, se logró obtener de manera fundamentada, una serie de conclusiones, con base en la viabilidad de la implementación de las energías renovables en viviendas.

Después de conocer las características climatológicas de nuestro país, se determinó que se cuenta con excelentes niveles de radiación solar, los cuales permiten la implementación de sistemas de aprovechamiento tanto fototérmicos como fotovoltaicos en todo el territorio nacional. En contraparte, fue posible determinar que solo en ciertas regiones del país se pueden implementar los dispositivos de energía eólica. Esto se debe, a la baja velocidad del viento que se registra en dichas regiones. Y aunque la energía eólica no se pueda aplicar en el 100% del territorio, sigue siendo una muy buena alternativa de generación de energía eléctrica, esto es debido a que en las zonas en las que es factible su instalación existe un recurso eólico que se cataloga entre bueno y excelente.

El otro aspecto que se tiene que considerar, para determinar que tan rentable es la instalación de equipos de energías renovables, es el económico. El costo y la instalación de los equipos de aprovechamiento de las energías renovables resulta mucho más costoso que los equipos y las instalaciones tradicionales, pero se tiene que considerar que aunque la inversión inicial sea elevada, con el tiempo se realizará un ahorro económico puesto que no se gastará en combustibles para hacer

funcionar estos equipos. Es decir, a largo plazo los equipos de energías renovables resultan una gran inversión.

Esto se puede cuantificar con más facilidad, en el caso de los calentadores solares, debido a que se considera que en estos equipos la inversión inicial es similar al gasto que se realiza, en una instalación tradicional, en la compra de gas LP en un plazo máximo de 5 años y considerando que aproximadamente la vida útil de un calentador solar es de 20 años, se puede afirmar que a largo plazo se realizará un ahorro económico de mínimamente el 75%.

En los equipos de generación eléctrica, es mucho más elevada la inversión inicial y desafortunadamente no se cuentan con los incentivos económicos adecuados, por parte de las dependencias gubernamentales, para fomentar su instalación. Nuestro país carece de una legislación, la cual promueva ampliamente y estimule la implementación de las energías renovables a pequeña escala. Por lo general estas instalaciones se limitan al alumbrado público, a equipos de telecomunicaciones o a zonas rurales en donde no se cuenta con la oportunidad de realizar una conexión con el sistema de red convencional.

Considerando que en la actualidad, las tarifas de la Comisión Federal de Electricidad es de menos de noventa y ocho centavos por cada *kWh* de energía eléctrica consumida, para una vivienda con un consumo mensual menor a los 280 *kWh*, no resulta elevado el costo de obtener al energía eléctrica de manera tradicional. En cambio, si se deseara instalar equipos de energías renovables, el costo resultaría tan elevado que económicamente no sería rentable llevar a cabo la instalación.

Como conclusión general de esta tesis, se pudo determinar que la energía solar y la energía eólica son sin lugar a dudas una excelente alternativa para cubrir la demanda de energía eléctrica y de agua caliente sanitaria de las viviendas de nuestro país. Pero mientras no se generen los apoyos económicos pertinentes y se le brinde una mayor difusión a este tema, aunque se cuente con excelentes cantidades de radiación solar y de energía eólica, se seguirá dependiendo de los hidrocarburos para poder cubrir las necesidades energéticas de nuestra nación.

Bibliografía

- 1) ALMANZA, Rafael y MUÑOZ, Felipe. “Ingeniería de la energía solar”. 1a ed. México D.F.: El Colegio Nacional, 1994. 418 p.
- 2) DUFFIE, John y WILLIAM, Beckman. “Solar engineering of thermal processes”. 3ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 908 p.
- 3) PERALES, Tomás. “Instalación de paneles solares térmicos”. 3a ed. México: Alfaomega, 2011. 160 p.
- 4) SKLAR, Scott y SHEINKOPF, Kenneth. “Consumer Guide to Solar Energy”. 2a. ed. Chicago: Bonus Books, Inc., 1995. 188 p.
- 5) FOSTER, Robert y GHASSEMI, Majid. “Solar Energy, Renewable Energy and the Environment”. Boca Raton: CRC Press, 2010. 352 p.
- 6) Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. “Manuales sobre energía renovable, solar térmica” 1a ed. Costa Rica: FOCER, 2002. 45 p.
- 7) WILSON, Jerry y BUFFA, Anthony. Calor. En: “Física” 5a ed. México: Prentice Hall, 2003. 920 p.
- 8) Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid. “Guía de la energía solar”: CEITCM, 2006. 66 p.
- 9) Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “Guía del usuario. Energía solar fotovoltaica”: EREN, 2006. 24 p.
- 10) Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías (Canarias). “Instalaciones fotovoltaicas”: CICNT, 2002. 108 p.
- 11) LUNA, Rafael. “Diseño de planta solar fotovoltaica con conexión a red”. Trabajo de titulación (Ingeniero industrial). Madrid: UPC, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2007. 272 p.
- 12) AGREDANO, Jaime. “Prospectiva de la tecnología solar fotovoltaica para la generación de electricidad”. México: Instituto de Instalaciones Eléctricas, 2005. 20 p.
- 13) JARA, Wilfredo. “Introducción a las energías renovables no convencionales” 1a ed. Chile: Leaders S. A., 2006, 85 p.
- 14) Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. “Manuales sobre energía renovable, solar fotovoltaica” 1a ed. Costa Rica: FOCER, 2002. 48 p.
- 15) Comisión Económica para América Latina (México). “Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe”: CEPAL, 2004. 159 P.
- 16) PINILLA, Álvaro. “Manual de aplicación de la energía eólica” 2a ed. Colombia: INEA, 2003, 61 p.
- 17) Consejería de Innovación Ciencia y Empresa (Sevilla). “Energía eólica, guía técnica”: CICE, 2009, 14 p.
- 18) Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías (Canarias) . “Instalaciones eólicas”: CICNT, 2002. 108 p.

- 19) GARCÍA, Eduardo y CUBA, Rafael. “Manual teórico de capacitación en energía eólica”. Lima: SENATI, 2005. 133 p.
- 20) ALATORRE, Claudio. “Energías renovables para el desarrollo sustentable en México”. México: SENER, 2009. 70p.
- 21) OBREGOZO, Carlo y ARIVILCA, Roberto. “Energía eólica, manual técnico para pequeñas instalaciones” Perú: Green Energy, 2010. 92 p.
- 22) BURTON, Tony y SHARPE, David. “Wind energy handbook”. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 2001, 644 p.
- 23) Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. “Manuales sobre energía renovable, eólica” 1a ed. Costa Rica: FOCER, 2002. 44 p.
- 24) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “México en el mundo, 2012”. México: INEGI, 2012. 629 p.
- 25) Secretaría del Medio Ambiente (México D.F.). NADF-008-AMBT-2005: “Norma ambiental para el Distrito Federal que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías”: SEDEMA, 2006. 12 p.
- 26) Comisión Federal de Electricidad (México). “Modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración a pequeña escala”: CFE. 3 p.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- 27) Portal de Energías Renovables <<http://www.sitiosolar.com/albercas/>> [Consulta: enero 2013]
- 28) Universidad de las Américas Puebla <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/lopez_s_ja/capitulo3.pdf> [Consulta: enero 2013]
- 29) Wikipedia <<http://es.wikipedia.org/wiki/Termosif%C3%B3n>> [Consulta: febrero 2013]
- 30) Intersolar <<http://www.intersolarweb.com.ar/productos.htm>> [Consulta: febrero 2013]
- 31) Ecoalbercas <<http://www.ecoalbercas.com/calentadores-solares.php>> [Consulta: marzo 2013]
- 32) Comisión Federal de Electricidad <<http://www.cfe.gob.mx>> [Consulta: diciembre 2013]
- 33) Secretaría de Energía <<http://www.sener.gob.mx>> [Consulta: diciembre 2013]
- 34) Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales <<http://www.Semarnat.gob.mx>> [Consulta: septiembre 2013]
- 35) ProMéxico <http://www.promexico.gob.mx/es_us/promexico/Renewable_Energy> [Consulta: junio 2013]
- 36) SolarWeb <<http://www.solarweb.net/wiki/Baterias-fotovoltaicas-Nivel-basico>> [Consulta: julio 2013]
- 37) Global Wind Energy Council <<http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2012/>> [Consulta: noviembre 2013]