



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR LA RED ELÉCTRICA INSTALADA EN ÁREA COMERCIAL

Gabriel Ernesto Maltéz Romillo

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR LA RED
ELÉCTRICA INSTALADA EN ÁREA COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GABRIEL ERNESTO MALTÉZ ROMILLO

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR LA RED ELÉCTRICA INSTALADA EN ÁREA COMERCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha abril 2010.

Gabriel Ernesto Maltéz Romillo

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañarme en todo momento, por darme la vida y por permitirme alcanzar este momento.
La Virgen María	Porque en ella encontré consuelo en los momentos más difíciles de mi vida.
Mi madre	Emma Marina Romillo Méndez-Ruiz, en un lugar muy especial a ella por apoyarme en todo momento, confiar en mí y darme el modelo de ser humano a seguir.
Mi padre	Eduardo Rolando Maltéz Aragón, por su cariño y creer en mí.
Mi esposa	Ana Lucía Ponciano Jurado, por ser mi apoyo incondicional, mi brazo derecho y mi compañera de vida.
Mis hijos	Victor Adrián Batz Ponciano y el ser en espera, porque son la luz de mi vida, mi razón de vivir y mi deseo de triunfar.
Mis hermanos	Juan Carlos y Regina, por su apoyo incondicional y su cariño.

Mis sobrinos

Xavier Maltéz Ventura, Juan Diego Cuellar Maltéz, André Maltéz Ventura, Jose Ignacio Cuellar Maltéz, Joaquín Cuellar Maltéz y Sebastián Maltéz Ventura, por la alegría que me inyectan.

Mis amigos

Por darme su apoyo, lealtad, afecto y amistad incondicional.

Mis catedráticos

Por transmitir sus valiosos conocimientos a los futuros ingenieros, semillero del desarrollo de nuestro país.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios donde se forman los mejores profesionales de Guatemala y por ser “Grande entre las del mundo”.

La Facultad de Ingeniería

En especial a la Escuela de Mecánica Eléctrica, por permitir mi formación entre sus ilustres aulas.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi asesor** Ingeniero Otto Andrino, por sus consejos y apoyo en la realización de este trabajo.
- Mi revisor** Ingeniero Romeo López, por sus acertadas sugerencias para la concreción definitiva de este trabajo.
- Mi amigo** Adolfo Escobar, infinitas gracias por apoyarme desde el principio y por tomarse el tiempo para revisar este trabajo y aconsejarme.
- César Fernández y
Guillermo Oliva** Por su apoyo y brindarme el tiempo y las facilidades para terminar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ENERGÍAS RENOVABLES	1
1.1. Energía hidráulica	1
1.1.1. Ventajas de la energía hidráulica.....	1
1.1.2. Desventajas de la energía hidráulica.....	3
1.2. Biomasa	3
1.2.1. Biomasa natural	4
1.2.2. Biomasa residual	4
1.2.3. Cultivos energéticos.....	5
1.2.3.1. Ventajas de la biomasa	6
1.2.3.2. Desventajas de la biomasa.....	7
1.3. Energía mareomotriz.....	7
1.3.1. Ventajas de la energía mareomotriz	8
1.3.2. Desventajas de la energía mareomotriz	9
1.4. Energía eólica	9
1.4.1. Ventajas de la energía eólica.....	10
1.4.2. Desventajas de la energía eólica	11
1.5. Energía solar.....	11
1.5.1. Ventajas de la energía solar	12

1.5.2.	Desventajas de la energía solar	13
1.6.	Energía geotérmica	13
1.6.1.	Ventajas de la energía geotérmica.....	14
1.6.2.	Desventajas de la energía geotérmica	15
2.	TIPOS DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	17
2.1.	Captadores térmicos.....	17
2.1.1.	Captadores de baja temperatura	17
2.1.2.	Captadores de alta temperatura	19
2.2.	Módulo fotovoltaico.....	21
3.	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	25
3.1.	Componentes de la generación fotovoltaica.....	25
3.1.1.	Módulo o arreglos de celda	25
3.1.2.	Inversor de voltaje	27
3.1.3.	Regulador.....	29
3.1.4.	Baterías.....	31
3.2.	Parámetros para la obtención de energía solar	36
4.	DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ..	39
4.1.	Potencia eléctrica	39
4.1.1.	Área disponible	39
4.1.2.	Paneles a instalar	40
4.1.3.	Distribución de paneles.....	41
4.1.4.	Inversor de voltaje	44
4.2.	Cálculo almacenamiento de energía	45
4.3.	Dimensionamiento de materiales	47
4.4.	Diagrama unifilar de instalación eléctrica	52

5.	ANÁLISIS RETORNO DE INVERSIÓN	53
5.1.	Energía anual y costos mensuales	53
5.2.	Recuperación de la inversión.....	55
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	APÉNDICE.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Boceto hidroeléctrica.....	2
2.	Proceso producción biomasa.....	5
3.	Boceto central mareomotriz.....	9
4.	Boceto energía eólica.....	11
5.	Boceto energía geotérmica.....	14
6.	Diagrama colector solar baja temperatura	19
7.	Colector solar de alta temperatura.....	20
8.	Efecto fotovoltaico.....	22
9.	Cédulas monocristalinas y policristalinas.....	26
10.	Panel solar.....	27
11.	Batería.....	36
12.	Radiación solar.....	38
13.	Distancia mínima entre paneles.....	41
14.	Configuración paneles.....	44

TABLAS

I.	Ubicación del proyecto.....	40
II.	Datos paneles.....	41
III.	Cálculos distancias.....	42
IV.	Datos inversor.....	45
V.	Materiales, equipo y costos sistema FV.....	48

VI.	Precio baterías.....	49
VII.	Materiales, costo acometida eléctrica y emergencia.....	49
VIII.	Costo total del proyecto.....	51
IX.	Datos energía esperada anual.....	54
X.	Retorno de la inversión.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
Ah	Amperios hora
Sb	Antimonio
Ca	Calcio
Cl	Cloro
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
Cos	Coseno
CO₂	Dióxido de carbono
FV	Fotovoltaico
°C	Grados centígrados
K	Grados kelvin
Hz	Hertz
kVAp	Kilo voltios amperios pico
kVA	Kilo voltios amperios
Lb	Libras
m²	Metros cuadrados

Ni	Níquel
N	Norte
Pb	Plomo
Sen	Seno
Tan	Tangente
V	Voltios
Vac	Voltios corriente alterna
W	<i>Watts</i>
Wp	<i>Watts</i> pico
Zn	Zinc

GLOSARIO

Baterías	Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente se recarga en su totalidad.
Biomasa	Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
Breaker	Término inglés que sirve para definir a un dispositivo y/o interruptor termomagnético capaz de interrumpir el paso de corriente eléctrica, cuando esta sobrepasa ciertos valores máximos. También conocido como flipón.
Corriente alterna	Corriente eléctrica cuya magnitud y dirección varían cíclicamente.
Corriente directa	Es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. Esto implica un flujo de carga que siempre fluye en una sola dirección.
Cuerpo negro	Es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él.

Ecosistema	Sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico en donde se relacionan (biotopo).
Fotón	Es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.
Energía fotovoltaica	Es la transformación directa de la radiación solar en electricidad.
Irradiación	Es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
Latitud	Distancia angular entre el ecuador y un punto determinado del planeta medida a lo largo del meridiano desde ese mismo punto angular.
Ley de Plank	Ley de radiación del calor, que explica el espectro de emisión de un cuerpo negro.

Longitud	Expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como 0°, tomando como centro angular el centro de la Tierra; habitualmente en la actualidad el meridiano de Greenwich.
Potencia eléctrica	Cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo.
Precio <i>spot</i>	Es el precio que se pacta para las transacciones de energía eléctrica. El precio es pactado por el Administrador del Mercado Mayorista y depende de qué tipo de plantas generadoras están entregando la potencia al sistema.
Semiconductor	Es un elemento que se comporta como un conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. Esa propiedad se utiliza para rectificar corriente alterna, detectar señales de radio, amplificar señales de corriente eléctrica y funcionan como interruptores o compuertas utilizadas en electrónica digital.
<i>Switchgear</i>	Seccionador eléctrico, es un dispositivo mecánico capaz de mantener aislada una red eléctrica.

Transformador

Dispositivo electromagnético estático que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se documentan los diferentes tipos de energía renovable, así como su tecnología y las ventajas y desventajas de cada una de ellas, como la energía hidráulica, la biomasa, energía mareomotriz, eólica, geotérmica y por último los diferentes aprovechamientos de la energía solar.

Se hace mayor mención de la energía fotovoltaica, debido a que es la parte fundamental de la realización de este informe.

Se diseña el sistema fotovoltaico para generar 1 000kVAp, donde se incluyen planos de áreas, tipo de paneles a utilizar, su distribución física, posición y ubicación en el proyecto. Se explica la función del inversor/controlador del sistema, la cual es de convertir la corriente directa de los paneles y transformarla en corriente alterna para entregarla al sistema eléctrico existente.

Como último punto, se analiza la viabilidad del proyecto, si económicamente es positivo generar en gran parte por el sistema fotovoltaico con almacenamiento en baterías, o si se puede solo generar y consumir en horario diurno.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema fotovoltaico para alimentar la red eléctrica de un área comercial y reducir los costos de compra de la energía entregada por el distribuidor.

Específicos

1. Presentar los conceptos de energías renovables para generar electricidad y conocer el uso de cada una.
2. Presentar los sistemas de captación y transferencia de energía solar para entender su comportamiento y posibles aplicaciones.
3. Presentar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos para abastecer sistemas eléctricos.
4. Mostrar el criterio para el diseño de un sistema fotovoltaico que ayudará a identificar las diferentes interrogantes de su instalación.
5. Realizar un análisis de retorno de la inversión que permitirá ver desde una perspectiva económica si es rentable el gasto.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a nivel mundial se ha tratado de disminuir las emisiones de CO₂, incentivando a las empresas y organizaciones para que puedan invertir en proyectos de ahorro energético. Una de estas iniciativas es la de tratar de remplazar la generación de energía a base de combustibles fósiles por fuentes energías renovables.

Estas energías renovables son las hidráulicas, solares, eólicas, biomasa y mareomotriz. Guatemala es rica en recursos naturales, los cuales pueden ser aprovechados para generar energía limpia y poder abastecer a todo el país, sin necesitar el uso de generadoras a base de carbón y/o derivados del petróleo, que son altamente contaminantes y que encarecen los precios de la electricidad.

La energía solar es una fuente abundante, limpia y económica. Las aplicaciones de energía solar son amplias, como para secar alimentos, calentar agua y generar electricidad; esta última es la energía solar fotovoltaica.

En áreas comerciales la energía solar es una buena aplicación, ya que no contamina, se puede instalar en áreas disponibles como techos, donde se aprovecha el espacio disponible y no interrumpe la circulación de las personas, así como no produce contaminación auditiva.

En el presente trabajo de graduación, se lleva a cabo el estudio y análisis de la generación eléctrica por medio de los paneles fotovoltaicos, anotando los puntos necesarios para comprenderla a partir de la posición del sol, los efectos

e intensidades con la que llega la luz solar a la tierra, y la forma en que los paneles fotovoltaicos aprovechan la irradiación solar para producir electricidad.

1. ENERGÍAS RENOVABLES

1.1. Energía hidráulica

Se le denomina energía hidráulica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla; en caso contrario es considerada solo una forma de energía renovable.

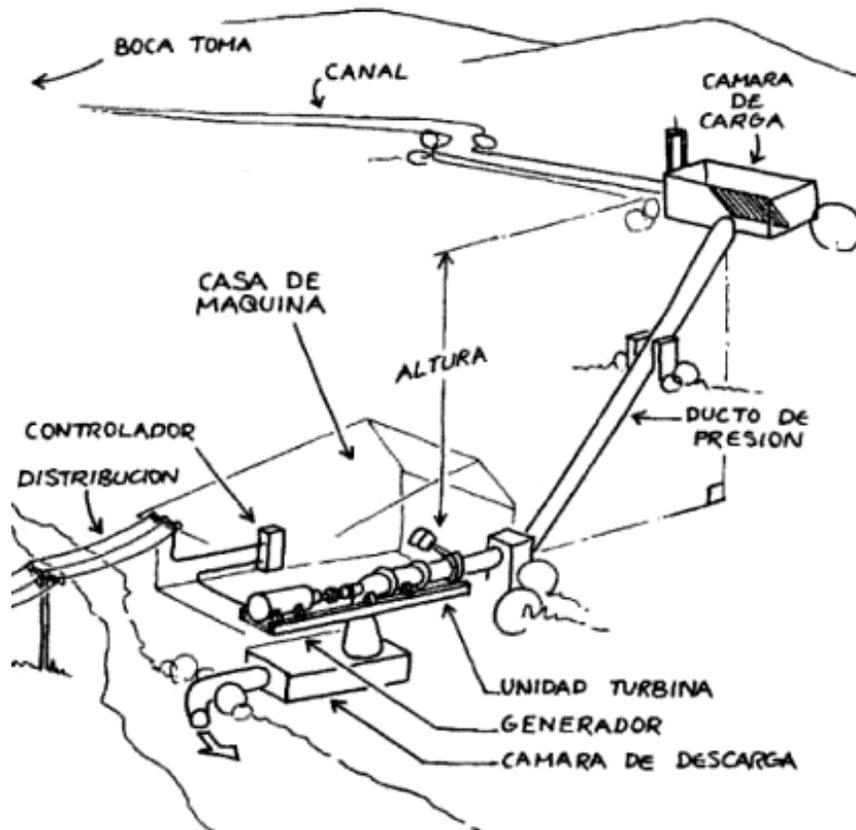
Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua, principalmente la de los mares, se evapore y ascienda por el aire y se mueva hacia las regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que mueva los álabes de una turbina conectada a un generador de energía eléctrica.

1.1.1. Ventajas de la energía hidráulica

Se trata de una energía renovable y limpia, y de alto rendimiento energético.

La gran ventaja de la energía hidráulica es la eliminación de los costos de los combustibles. El costo de operar una planta hidráulica es casi inmune a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles como la gasolina, el carbón o el gas natural. Además, no hay necesidad de importar combustibles de otros países.

Figura 1. Boceto hidroeléctrica



Fuente: www.oni.esuelas.edu.ar. Consulta: enero 2011.

Las plantas hidráulicas también tienden a tener vidas económicas más largas que las plantas eléctricas que utilizan combustibles. Es por eso que hay plantas hidráulicas que siguen operando después de 50 a 100 años. Los costos de operación son bajos porque las plantas están automatizadas y tienen pocas personas durante operación normal. Como las plantas hidráulicas no queman combustibles, no producen directamente dióxido de carbono. Un poco de dióxido de carbono es producido durante el período de construcción de las

plantas, pero es poco, especialmente en comparación con las emisiones de una planta equivalente que quema combustibles.

1.1.2. Desventajas de la energía hidráulica

Son varias, la construcción del embalse supone la inundación de importantes extensiones de terreno.

Las plantas hidráulicas pueden destruir a los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, estudios han mostrado que las presas en las costas de Norteamérica han reducido las poblaciones de trucha septentrional común que necesitan migrar a ciertos locales para reproducirse. Hay bastantes estudios buscando soluciones a este tipo de problema. Un ejemplo es la invención de un tipo de escalera para los peces.

El proceso de generar la electricidad hidráulica cambia los ecosistemas en el río abajo también. El agua que sale de las turbinas típicamente maltrechas no tiene mucho sedimento. Esto puede resultar en la destrucción de los costados de los ríos. Como las turbinas se abren y cierran muchas veces para regular el caudal, la cantidad de agua que hay en el río cambia bastantes veces también. Estos efectos combinados pueden cambiar los ecosistemas dramáticamente.

1.2. Biomasa

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la que almacenan los seres vivos. Por ejemplo, los vegetales cuando realizan la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas; luego los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas.

Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Aunque se puede hacer multitud de clasificaciones, se ha optado por la más apta, la cual divide la biomasa en cuatro tipos diferentes: biomasa natural, residual seca, residual húmeda y los cultivos energéticos.

1.2.1. Biomasa natural

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

1.2.2. Biomasa residual

Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras, que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo de la biomasa residual seca se puede considerar el aserrín, la cáscara de almendra, la pulpa de la aceituna, las podas de frutales, etc.

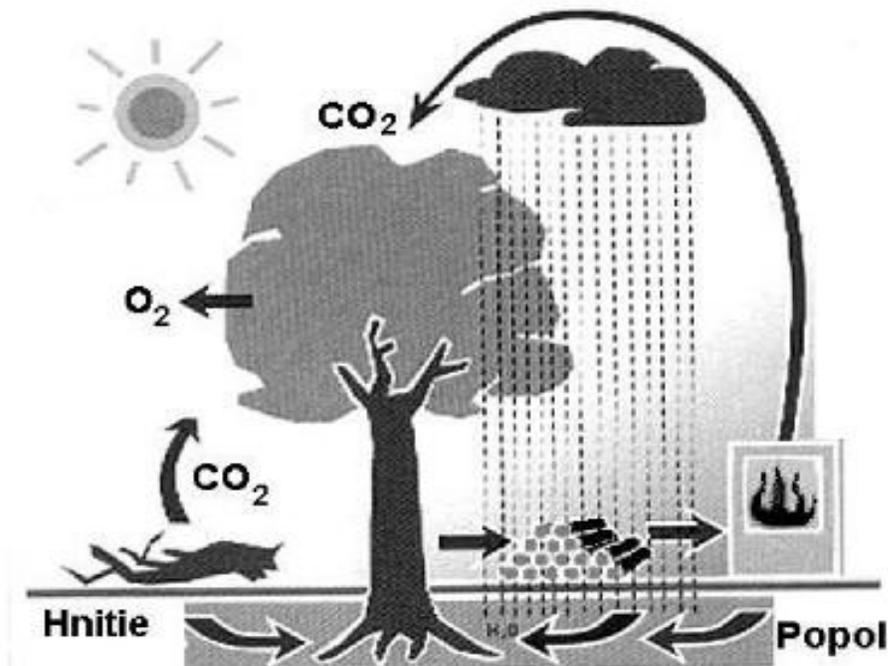
Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos.

1.2.3. Cultivos energéticos

Los cultivos son generados con la finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Los cultivos energéticos se pueden dividir en:

- Cultivos ya existentes como los cereales, oleaginosas, remolacha, etc.
- Lignocelulósicos forestales (álamos, sauces, etc.)
- Lignocelulósicos herbáceos como el cardo *Cynara cardunculus*
- Otros cultivos como la alcachofa.

Figura 2. **Proceso producción biomasa**



Fuente: www.gigaws.com/detodo/imagenes_enero/biomasa.jpg. Consulta: enero 2011.

1.2.3.1. Ventajas de la biomasa

La utilización de la biomasa con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- Disminución de las emisiones de CO₂, aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable se tenga que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO₂, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, se puede considerar que es la misma que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados.
- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa; esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo el aprovechamiento de las tierras.
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos que exceden de los necesarios en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola.
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

1.2.3.2. Desventajas de la biomasa

Entre las más importantes desventajas de esta generación energética están:

- Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- Producción estacional.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.

1.3. Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje.

Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

La energía de las mareas se transforma en electricidad en las denominadas centrales mareomotrices, que funcionan como un embalse tradicional de río. El depósito se llena con la marea, y el agua se retiene hasta la bajamar, para ser liberada después a través de una red de conductos estrechos, que aumentan la presión, hasta las turbinas que generan la electricidad.

Como se observa en la figura, cuando la marea sube, las compuertas del dique se abren y el agua ingresa en el embalse. Al llegar el nivel del agua del embalse a su punto máximo se cierran las compuertas. Durante la marea baja, el nivel del mar desciende por debajo del nivel del embalse. Cuando la diferencia entre el nivel del embalse y del mar alcanza su máxima amplitud, se abren las compuertas dejando pasar el agua por las turbinas.

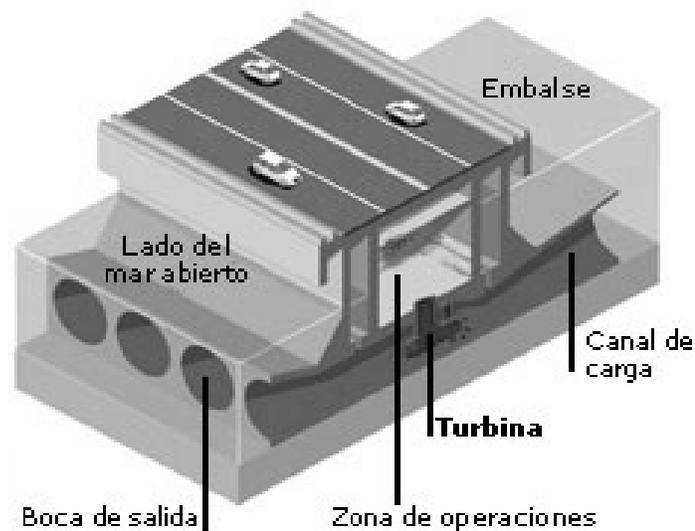
1.3.1. Ventajas de la energía mareomotriz

- Generación renovable, no necesita combustible
- No emite contaminación
- Por la forma de la instalación no produce contaminación sonora
- Bajo costo de materia prima
- No concentra población
- Disponible en cualquier clima y época del año

1.3.2. Desventajas de la energía mareomotriz

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero
- Hay pocas zonas del planeta que se prestan por el oleaje que se produce
- Dependiente de la amplitud de mareas
- Traslado de energía muy costoso
- Efecto negativo sobre la flora y la fauna

Figura 3. Boceto central mareomotriz



Fuente: www.turcon.wordpress.com. Consulta: enero 2011.

1.4. Energía eólica

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

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.

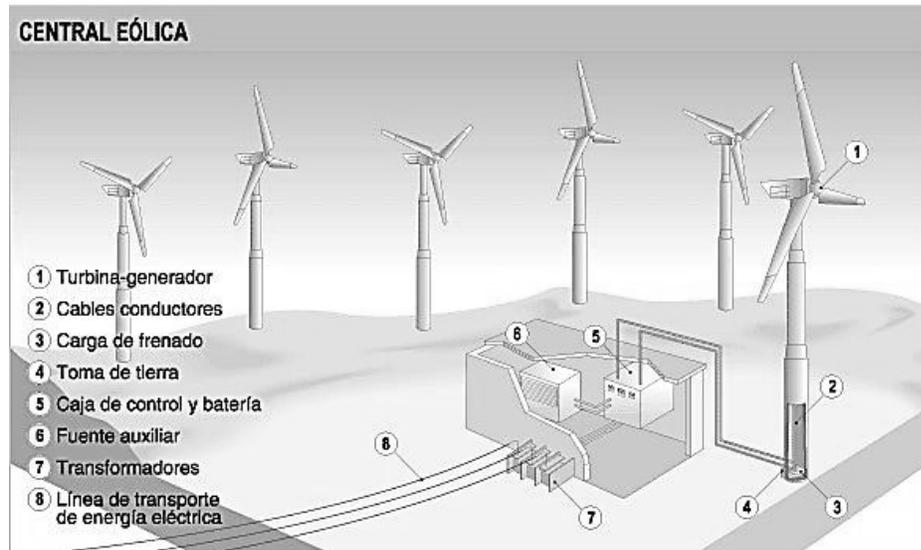
En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos, la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Si bien los parques eólicos son relativamente recientes, iniciando a popularizarse en las décadas de 1980 y 1990, desde hace mucho tiempo la energía eólica se ha utilizado en otras aplicaciones, como: moler granos o bombear agua.

1.4.1. Ventajas de la energía eólica

- Energía segura, limpia y renovable
- No emite gases causantes del efecto invernadero o lluvia ácida
- No requiere grandes movimientos de tierra y la obra civil es mínima
- Fácilmente reversible, es decir, se pueden retirar sin dejar rastro
- Su instalación es compatible con otros usos del suelo

Figura 4. **Boceto energía eólica**



Fuente: www.shv.es. Consulta: enero 2011.

1.4.2. **Desventajas de la energía eólica**

- Discontinuidad del viento
- Impacto visual, ya que genera modificación al paisaje
- Afecciones menores sobre la avifauna
- Efectos sonoros en el entorno del parque

1.5. **Energía solar**

La energía solar es la luz y el calor irradiado por el sol el cual influye sobre el clima y la meteorología de la tierra y sustenta la vida. Desde tiempos ancestrales la energía solar ha sido utilizada por los humanos a través de distintas tecnologías.

Las diferentes tecnologías que captan la energía solar pueden generar electricidad por medio de motores de calor o módulos fotovoltaicos. Con estas tecnologías se puede calentar o enfriar espacios en construcciones solares activas o pasivas, obtención de agua potable por destilación y desinfección, dar luz, calentar agua, energía termal para cocinar, y procesos de alta temperatura para propósitos industriales.

Las tecnologías solares en términos generales se caracterizan como pasivas o activas dependiendo de la forma que se captura, convierte y distribuye la luz solar. Las técnicas solares activas usan paneles fotovoltaicos, bombas o aerogeneradores para convertir la luz solar en un producto útil. Las técnicas solares pasivas incluyen la selección de materiales con propiedades térmicas favorables, diseños de espacios con circulación natural de aire, y la posición de una construcción respecto del sol. Las tecnologías solares activas incrementan el abastecimiento de energía, mientras que las pasivas reducen la necesidad de usar otros recursos.

1.5.1. Ventajas de la energía solar

- Limpia y respetuosa con el medio ambiente, cada kW generado evita la emisión de un kilo de CO₂
- Ayuda en la lucha contra el cambio climático y efecto invernadero
- Es inagotable (al menos en los próximos 6 000 millones de años)
- No disminuye la calidad de aire y suelos
- Contribuye al desarrollo sostenible
- No Contamina acústicamente

1.5.2. Desventajas de la energía solar

- Costo de instalación elevado
- De noche o días nublados no se puede generar

1.6. Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella que se obtiene mediante la extracción y aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Es por tanto esta energía calorífica, un recurso parcialmente renovable y de elevada disponibilidad, producido en las profundidades de nuestro planeta, que se transmite por conducción térmica hacia la superficie.

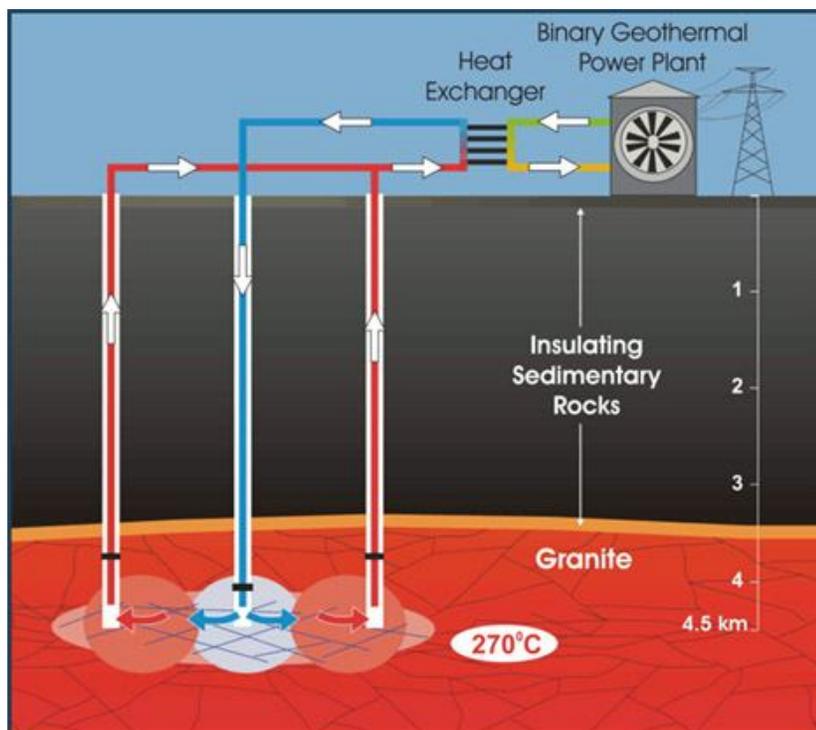
Existen diferentes tipos de áreas térmicas:

- Las áreas hidrotérmicas que contienen agua a alta presión y temperatura almacenada bajo la corteza de la tierra en una roca permeable cercana a una fuente de calor.
- Los sistemas de roca caliente, formados por capas de roca impermeable que recubren un foco calorífico.
- Los recursos de magma que ofrecen energía geotérmica de altísima temperatura y cuyas manifestaciones naturales son fácilmente observables en géiseres y en aguas termales.

Los recursos hidrotérmicos son los más utilizados debido a la existencia de tecnología de perforación de pozos y métodos de conversión de energía para generar electricidad o para producir agua caliente para uso directo.

El uso de la energía geotérmica para electricidad ha crecido mundialmente. Los usos medicinales y turísticos son los más antiguos y tradicionales de aprovechamiento de esta energía. Además, tiene aplicaciones en calefacción de viviendas, agricultura, piscicultura e industria en general.

Figura 5. **Boceto energía geotérmica**



Fuente: www.tecnologia.com. Consulta: abril 2011.

1.6.1. **Ventajas de la energía geotérmica**

- Su coste es bajo y no implica riesgos.
- Es una fuente que evitaría a muchos países la dependencia energética del exterior.

- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón, etc.

1.6.2. Desventajas de la energía geotérmica

- Emisión de ácido sulfhídrico y de CO₂
- Posible contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoniaco, etc.
- Contaminación térmica
- Deterioro del paisaje
- No se puede transportar

2. TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGIA SOLAR

Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, se puede obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos.

2.1. Captadores térmicos

Un captador solar, también llamado colector solar plano, panel solar térmico o concentrador solar, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y aire acondicionado, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica.

2.1.1. Captador de baja temperatura

Son sistemas en los que se alcanzan temperaturas máximas del orden de 80 °C. Sus usos fundamentales son los sistemas de agua caliente sanitaria, calefacción por suelo radiante y climatización de piscinas. El tipo de captador más utilizado en estos sistemas, es el captador solar plano, el cual consiste en una caja metálica plana por la cual circula un fluido, (los colectores pueden utilizar un líquido o un gas para transferir el calor, los líquidos más frecuentes son el agua, una disolución anticongelante o un aceite térmico).

El gas que se suele utilizar como fluido térmico es el aire que se calienta a su paso por el panel. Este tipo de captador aprovecha el efecto invernadero que se crea en su interior debido a sus particulares características constructivas para calentar el fluido que circula por los tubos de su interior. Este fluido posteriormente suele utilizarse para que ceda su energía en un intercambiador de calor a un agua contenida en un depósito de acumulación (en el caso de una aplicación para agua caliente sanitaria). Este tipo de captador puede ser a su vez:

- Captador plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
- Captador plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.
- Panel de tubos de vacío: donde la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío.

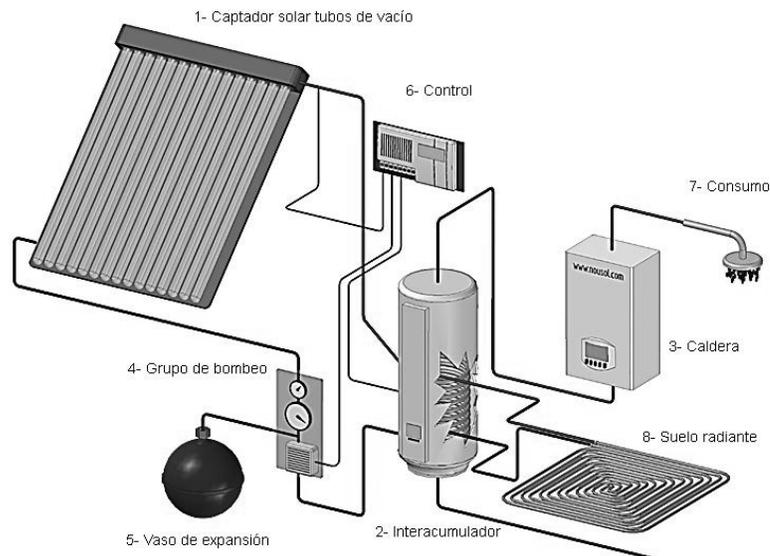
Existen dos sistemas:

- Flujo directo: el fluido circula por los tubos, como en los captadores planos.
- Flujo indirecto: el calor evapora un fluido en el tubo, y transmite su energía al condensarse en el extremo.

2.1.2. Captadores de alta temperatura

Llamado también concentrador solar, su función es concentrar la radiación solar en un punto específico, incrementando la temperatura de un líquido o fluido; el fluido se calienta a alta temperatura mediante espejos parabólicos. Estos pueden ser:

Figura 6. Diagrama colector solar baja temperatura



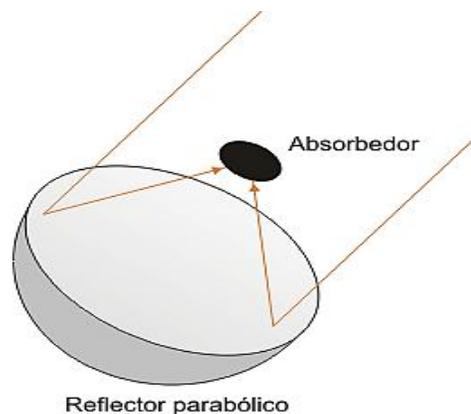
Fuente: www.nousol.com. Consulta: abril 2011.

- Sistemas lineales (disposición cilíndrica): el fluido se calienta al recorrer la línea situada en el foco de la parábola.
- Sistemas puntuales (disposición esférica): con forma de plato, utilizado para concentrar más los rayos y obtener así temperaturas más altas cuando la infraestructura es de dimensiones limitadas.

- Espejos planos o lentes *Fresnal*/lineales, con idéntica función que los concentradores solares lineales.
- Espejos en una central térmica solar concentran la radiación solar en un único punto situado en una torre, en donde se genera vapor de agua para producir electricidad.
- Espejos en un horno solar: son una variante donde se utilizan espejos planos y posteriormente espejos parabólicos para obtener muy altas temperaturas.

Estos captadores al calentar un líquido por arriba de los 150°C hace transformarse en vapor, lo que pone en marcha una turbina acoplada a un generador. Generalmente todas estas instalaciones solares tienen incorporado un dispositivo que permite almacenar una cierta cantidad de energía en forma de calor, para contrarrestar las posibles fluctuaciones que puedan existir de la radiación solar.

Figura 7. **Colector solar de alta temperatura**



Fuente: www.textoscientificos.com. Consulta: abril 2011.

2.2. Módulos fotovoltaicos

El funcionamiento de los paneles se basa en el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad.

La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, pueden ser reflejados, absorbidos, o pasar a través de la célula fotovoltaica.

Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula FV son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra.

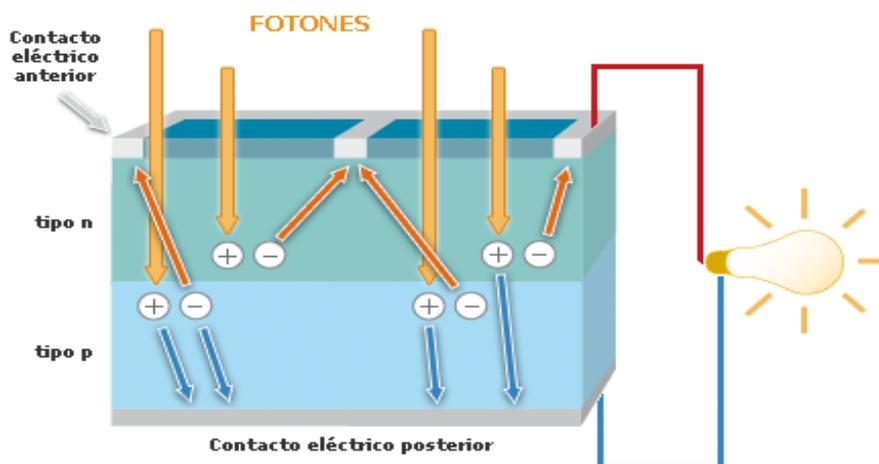
Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que dichas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía.

Desdichadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones.

Además de los semiconductores, las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contacto para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulante transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antirreflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes (por ejemplo la energía de origen fósil).

Figura 8. **Efecto fotovoltaico**



Fuente: www.aplisolar.cl. Consulta: mayo 2011.

Estas células, conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medioambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión.

Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche. Para ello es necesario un sistema fotovoltaico completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como "resto del sistema" o BOS (del inglés *balance of system*). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica, o según el tipo de aplicación como:

- Electrificación rural (lugares de difícil emplazamiento y acceso, viviendas de uso temporal, refugios de montaña).
- Electrificación urbana (alumbrado de vías urbanas y de edificios públicos como museos o colegios).
- Electrificación doméstica (todo uso eléctrico en viviendas unifamiliares, comunidades y cooperativas).

- Telecomunicaciones terrestres (telefonía terrestre y móvil, comunicación para navegación aérea y marítima, repetidores y reemisores de radio y televisión, radioteléfonos, etc.).
- Telecomunicaciones espaciales (los paneles solares de los satélites les dan una autonomía indefinida).
- Seguridad y señalización (dispositivos de alarma, señalización, faros, pasos de trenes, aeropuertos, autopistas, etc.).

3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

3.1. Componentes de generación fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada. Dicho sistema consta principalmente de los siguientes elementos:

3.1.1. Módulos o arreglos de celdas

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (electricidad solar), produciendo voltajes en corriente directa.

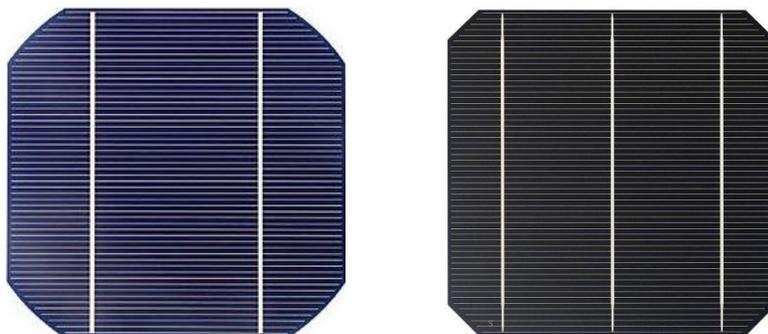
El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1 000 W/m²
- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente)

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- **Cristalinas.** Estas pueden ser:
 - **Monocristalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
 - **Policristalinas:** están construidas básicamente con silicio, mezclado con Arsenio y Galio, son un agregado de materiales.
- **Amorfas:** estas células fotovoltaicas son las más baratas, menos duraderas y con rendimientos muy bajos de alrededor de un 6% que tienden a cero con el envejecimiento. Se construyen a base de evaporar encima de un cristal, en una cámara de emisión de partículas, el material semiconductor o fotorreactivo y colocar un par de electrodos en cada una de las unidades correspondientes para transmitir la energía al circuito interno del aparato.

Figura 9. **Célula monocristalina y policristalina**

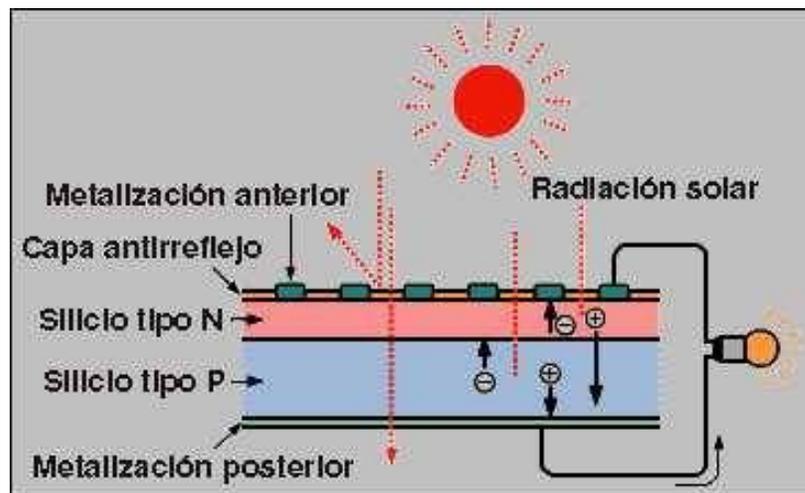


Fuente: www.enforce-eeen.eu. Consulta: mayo 2011

Su efectividad es mayor, cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las cristalinas puede alcanzar el 20% mientras que el de las amorfas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

El nivel de voltaje que entrega el panel depende de la cantidad de material, es decir por la cantidad de celdas y de su configuración fabricada.

Figura 10. **Panel solar**



Fuente: www.sustainable-tech.inf.um.es. Consulta: mayo 2011.

3.1.2. **Inversor de voltaje**

Un inversor solar es un tipo de inversor eléctrico que está fabricado para convertir la corriente directa (DC) que sale de los paneles fotovoltaicos a corriente alterna (AC).

Los inversores solares se deben clasificar en tres diferentes tipos:

- Inversores simples: usados en sistemas fotovoltaicos aislados en donde los inversores toman la corriente directa de baterías cargadas por los paneles solares y/o de otras fuentes, como turbinas eólicas, generadores de energía, etc.
- Inversores de red: los inversores de red están diseñados para apagarse automáticamente cuando el suministro de la red disminuye; esto por razones de seguridad.
- Inversores con batería de apoyo: estos son inversores especiales que están diseñados para tomar la energía de las baterías, administrar la carga de las baterías y exportar el exceso de energía hacia la red eléctrica.

Los inversores solares utilizan procedimientos especiales para manejar los sistemas fotovoltaicos, incluyendo el “punto máximo de seguimiento de poder”.

El punto máximo de seguimiento de poder es una técnica que usan los inversores solares para obtener la mayor cantidad de energía de los paneles solares.

Cualquier panel fotovoltaico o sistema de paneles tendrá un punto máximo de energía: esencialmente, esto define la corriente que el inversor tiene que sacar de los paneles para obtener la máxima cantidad de energía posible.

3.1.3. Regulador

El regulador de carga fotovoltaica es el dispositivo encargado de proteger la batería de los paneles solares frente a las sobrecargas y a las descargas profundas. Esto se logra a través del control constante sobre las baterías y la regulación de la intensidad de carga de la misma manera, para así alargar su vida útil.

Otra cualidad del regulador de carga fotovoltaica que podría situarse más del lado cualitativo es que permite evaluar la calidad de la carga en cuestión.

Por lo general los reguladores de hoy en día introducen microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control que es capaz de adaptarse a las diferentes situaciones de manera automática, dando lugar a las modificaciones manuales de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales.

Este nivel de flexibilidad es importante en un regulador de carga fotovoltaica debido a que no todas las instalaciones son iguales: existen diferencias sustanciales en relación con ellas y será importante poder tener una regulación que se adapte a las exigencias de cada instalación.

En un nivel más específico, existen incluso reguladores que memorizan datos que dan a conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado.

Para obtener estos datos se consideran muchos factores diferentes, como los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga, y descarga y capacidad del batería.

Una de las funciones más importantes del mismo es la regulación de las baterías la cual se logra a través de tres operaciones: igualación, carga profunda y flotación. La igualación permite realizar de manera automática las cargas de igualación de las baterías tras un período de tiempo en el que el estado de carga ha sido bajo, reduciendo por oposición el máximo gaseo en el caso contrario.

Tras la regulación y la igualación, el sistema de regulación permite la entrada de corriente de carga a las baterías sin interrupción, hasta alcanzar el punto de tensión final de la carga. Alcanzando este punto, el sistema de regulación interrumpe la carga y el sistema de control pasa a la segunda fase que es la de flotación. Al alcanzarse la tensión final de carga, la batería estará alcanzando un nivel próximo al 90% de su capacidad y en la siguiente fase se completará la carga.

Con el fin de realizar la carga final de la batería, el regulador de carga fotovoltaica establece una zona de actuación del sistema de regulación dentro de lo que se denomina “buena flotación dinámica”.

La buena flotación dinámica es un rango de tensión cuyos valores mínimos y máximos se fijan entre la tensión final de carga y la tensión nominal. Cuando se alcanza el valor de voltaje de plena carga de la batería, el regulador de carga fotovoltaica inyecta una corriente pequeña con el fin de mantenerla a plena carga: esto quiere decir que inyecta la corriente de flotación. Esta corriente se encargará entonces de mantener la batería a plena carga y cuando la energía no se consume, se empleará en compensar la autodescarga de las baterías.

3.1.4. Baterías

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

Dependiendo de la utilización que se desea dar en instalaciones de electrificación fotovoltaica, es necesario conocer los siguientes conceptos:

- **Capacidad:** es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130Ah es capaz de suministrar 130A en una hora o 13A en diez horas. Para baterías fotovoltaicas es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas. También al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, 24 V; el más utilizado es el de 2 V ya que con su configuración y su tamaño pueden instalarse para dar un voltaje de 48 V y así poder conectarse a un inversor y poder ser cargados/alimentados por los paneles. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone la batería a ser cargado.
- **Eficiencia de carga:** es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa

que toda la energía empleada para la carga puede ser remplazada para la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja, es necesario dotarse de un mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.

- Autodescarga: la autodescarga de una batería consiste en la pérdida de energía por reacción entre los materiales que forman los elementos que la conforman en condiciones de circuito abierto, es decir, cuando no hay carga alguna conectada al circuito de la batería. Depende del tipo de batería y muy directamente de la temperatura, aumentando con esta. Por ello, y dado que los valores estándar suelen venir referidos a una temperatura media (unos 20 ó 25°C) es preciso tener en cuenta que este factor puede alterarse en algunos casos.
- Profundidad de descarga: es el valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de una batería plenamente cargada en una descarga. Como ejemplo, si se tiene una batería de 100Ah y se somete a una descarga de 20Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%, es decir $(20/100)*100 = 20\%$. A partir de la profundidad de descarga puede haber descargas superficiales (de menos del 20%) o profundas (hasta 80%). Ambas se relacionan con ciclos diarios y anuales. Es necesario recalcar que cuanto menos profundos sean los ciclos de carga/descarga, mayor será la duración de la batería. También es importante saber que, para la mayoría de los tipos de baterías, una batería que queda totalmente descargada, puede quedar dañada seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.
- Resistencia interna: formada por la resistencia óhmica de sus componentes (terminales, electrodos, soportes y electrolitos) y por una resistencia virtual variable en función del estado de carga y de las distintas

polarizaciones y concentraciones. Aumenta con las bajas temperaturas, con la descarga de la batería y con el envejecimiento.

- Efecto memoria: es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo: se crean unos cristales en el interior de estas baterías, a causa de una reacción química al calentarse las mismas, bien por uso o por las malas cargas. Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar totalmente la batería antes de realizar una carga; basta con que una de cada pocas cargas sea completa.

Entre las baterías que se ven afectadas por el efecto memoria se encuentran la de níquel cadmio (NiCd) y, en menor grado, la batería de níquel e hidruro metálico (NiMH). Por el contrario, las baterías de plomo y ácido o las de iones de litio, apenas se ven afectadas por el mismo.

Todos estos parámetros característicos de las baterías pueden variar sensiblemente con las condiciones ambientales, tal como ocurría en los módulos fotovoltaicos.

En diferentes fases de desarrollo se encuentran baterías de distintos tipos, algunos de las cuales son:

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

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

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

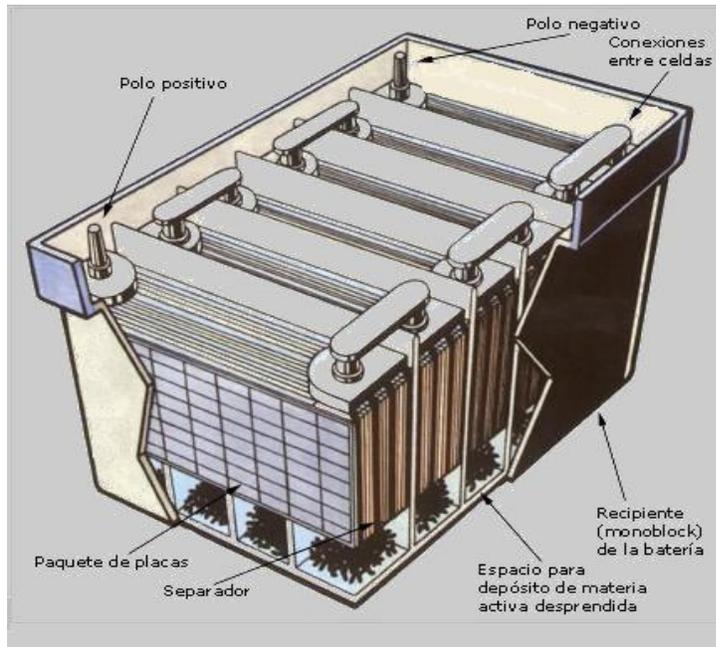
Todas estas baterías pueden presentarse en forma estancada, conocidas como libres de mantenimiento o sin mantenimiento, lo que es beneficioso para algunas aplicaciones. No obstante, presentan una duración muy limitada frente a las baterías abiertas, no existen en el mercado baterías cerradas de alta capacidad y son más caras que las abiertas.

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

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

- Instalarlas en lugares ventilados, evitando la presencia de llamas cerca de las mismas.
- Ajustar el nivel del electrolito hasta la altura recomendada por el fabricante, utilizando siempre agua destilada, nunca agua del grifo y teniendo especial precaución para no tocarlo ni derramarlo.
- Una vez conectadas las baterías, los bornes deben cubrirse con vaselina.
- No utilizar las baterías del sistema fotovoltaico para arrancar vehículos.
- No debe utilizarse conjuntamente baterías de distintos tipos cuando no estén preparadas para ello.
- Con el fin de prevenir posibles cortocircuitos debe respetarse la polaridad; las herramientas deben estar adecuadamente protegidas y las baterías o las terminales deben estar cubiertas para prevenir cortocircuitos accidentales por caída de objetos.
- Las baterías deben estar colocadas por encima del nivel del suelo.

Figura 11. **Batería**



Fuente: www.sabelotodo.org. Consulta: abril 2011.

3.2. **Parámetros para la obtención de la energía solar**

Cuando se evalúan, diseñan o se hacen análisis económicos de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, se requiere de información precisa y detallada de la radiación solar. El conocer las características de la radiación solar no es un asunto sencillo, ya que varía a cada instante. Las condiciones atmosféricas, el clima, las características geográficas, son entre otros, los parámetros más importantes que determinan la cantidad de radiación solar que se recibe en un punto determinado de la superficie terrestre.

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol.

El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6 000 grados Kelvin.

La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiación, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 .

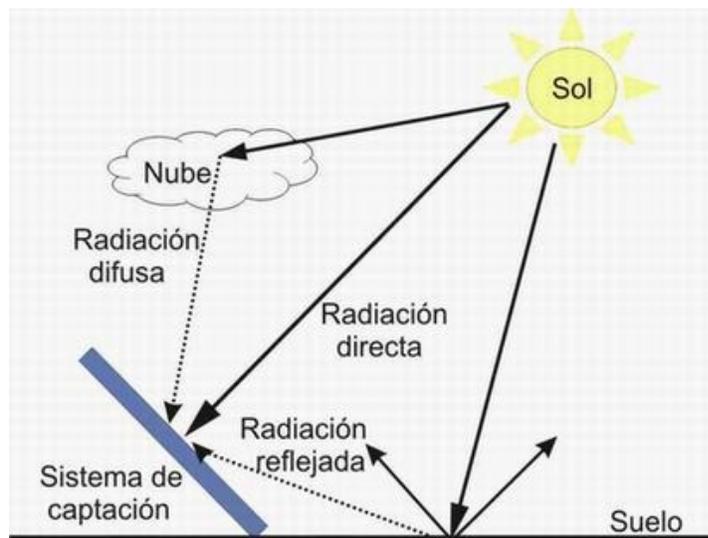
El estudio de la dirección con la cual incide la irradiación solar sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, es de especial importancia cuando se desea conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección en que el rayo salga reflejado dependerá del ángulo en el que incide este. Con tal fin, se establece un modelo que distingue entre dos componentes de la radiación incidente sobre un punto: la irradiación solar directa y la irradiación solar difusa.

- Radiación solar directa: es aquella que llega al cuerpo desde la dirección del Sol.
- Radiación solar difusa es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que chocar, reemisiones de cuerpos, etc.). Por sus características esta luz se considera venida de todas direcciones.
- Radiación solar reflejada como su nombre lo indica es la que se refleja en la superficie terrestre.

La suma de las tres es la radiación total incidente. La superficie del planeta está expuesta a la radiación proveniente del sol. La tasa de radiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares.

Por supuesto, dada la lejanía del sol respecto de nuestro planeta, se puede suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto de dichos rayos, depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar.

Figura 12. **Radiación solar**



Fuente: www.monografias.com. Consulta: abril 2011.

4. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

El objetivo principal de un buen diseño para un sistema fotovoltaico es maximizar los espacios disponibles para que no produzcan sombras que afecten la generación, así como el poder determinar la potencia máxima a generar y según el tipo de panel elegido la cantidad de los mismos a instalar. En este capítulo se determinará cada uno de estas variables con los cálculos necesarios.

4.1. Potencia eléctrica

La potencia a instalar en el proyecto, será de 1 000 KVA picos y para poder generarla se necesitará tener tanto el equipo eléctrico como un área que no genere sombra a los paneles. Por motivos económicos y de espacio disponible, en el diseño del sistema fotovoltaico, se almacenará la energía con baterías y se utilizará para reducir el consumo de energía del área comercial; por estar ligada a la red de distribución, la energía faltante en horas picos puede ser tomada de ella.

4.1.1. Área disponible

Para efectos del análisis y cálculo, se ha considerado aprovechar un área de 24 462,01 mts², tomando en cuenta, como se dijo anteriormente, que los espacios donde serán colocados los paneles solares sean los que generen menos o nada de sombra a los mismos durante el día, y que el área que ocupen esté dentro de la construcción existente.

No modificar o alterar la estructura. En el apéndice se puede observar el plano del área disponible de dicho ejemplo.

En la tabla siguiente se presentan los datos de la ubicación de un área comercial con la finalidad de poder hacer los cálculos necesarios para la instalación de un sistema fotovoltaico.

Tabla I. **Ubicación del proyecto**

DATOS UBICACIÓN DEL PROYECTO	
Descripción	Datos
Latitud	14,4°N
Longitud	90,4°W
Altura	1 488 Metros
Irradiación global	5,3 Kw/m ²
Irradiación difusa	1,7 Kw/m ²

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Paneles a instalar

El tipo de paneles que se deben instalar en un sistema fotovoltaico depende de las características del sistema que se requieran, la capacidad de cada panel solar, dimensiones del mismo y el área disponible para instalarlos.

Para este caso se tomará como ejemplo paneles solares cuyas características, tanto eléctricas como mecánicas, se presentan en la tabla.

Tabla II. **Datos paneles**

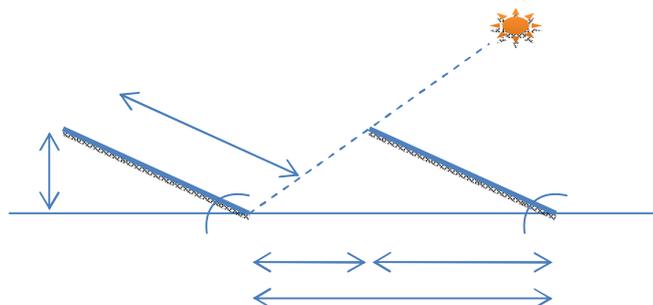
DIMENSIONES	
Descripción	Datos
Largo (m)	2,6
Ancho (m)	2,2
Peso (lbs.)	45
DATOS ELÉCTRICOS	
Descripción	Datos
Potencia pico (W_p)	460
V_m (voltaje máximo)	220
I_m (A) (corriente máxima)	2,08
Temperatura nominal ($^{\circ}C$)	$-45^{\circ}C$ a $+85^{\circ}C$
Eficiencia (%)	13,8

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. **Distribución de paneles**

Para este cálculo se utiliza la fórmula de distancia entre paneles para que estos no produzcan sombras entre sí.

Figura 13. **Distancia mínima entre paneles**



Fuente: elaboración propia.

$$X = L * \left(\frac{\text{sen } i}{\tan hm} + \text{cos } i \right)$$

De dicha fórmula se obtienen los siguientes datos:

Tabla III. **Cálculo distancias**

DISTANCIAS	
DESCRIPCIÓN	DATOS
L (m)	2,6
hm (m)	1,69
X ₁ (m)	2,03
X ₂ (m)	1,98
X (m)	4,01
i	15°

Fuente: elaboración propia.

Para producir los 1 000KVAp es necesario hacer el cálculo de la cantidad de paneles a instalar:

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{\text{Potencia a generar}}{\text{Potencia por panel}}$$

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{1\ 000\ 000\ \text{watts}}{460\ \text{watts}} = 2\ 174\ \text{paneles}$$

Para asegurar una potencia pico mínima de 1 000KVA_p se decide aumentar la cantidad de paneles debido a las diferentes tipos de pérdidas, a un total de 2 200.

Con un total de 2 200 paneles, el área necesaria para producir 1 000KVA_p es de:

$$\text{Área total} = X * A * N$$

Donde:

X = Distancia mínima entre paneles

A = Ancho de los paneles a utilizar

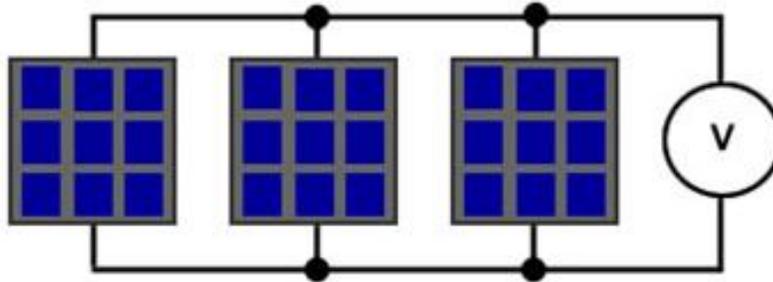
N = Número de paneles a utilizar

$$\text{Área total} = 4,01 * 2,2 * 2\ 200 = 19\ 408,4\ \text{mts}^2$$

Dado que los paneles producen un voltaje de salida de 230 Vdc y el inversor posee un voltaje de entrada de 230 Vdc, los 2 200 paneles a instalar deberán estar conectados en paralelo para poder producir 4 576 amperios de salida.

En la siguiente figura se presenta la configuración de los paneles.

Figura 14. Configuración paneles



Fuente: www.solete.nichese.com. Consulta: enero 2012.

4.1.4. Inversor de voltaje

La función del inversor de voltaje en este caso, sería la de convertir la corriente directa de los paneles a corriente alterna, para entregarla al transformador; adicional a esto el inversor funciona como un controlador que distribuye la energía recibida de los paneles y/o de ser necesario la toma de la calle para abastecer al sistema eléctrico en caso que la generación fotovoltaica no sea lo suficiente, debido a días nublados, alimentación de una carga mayor o que el sistema se esté quedando sin el almacenaje suficiente.

En la tabla que se presenta a continuación se entregan las características mínimas que debe tener el inversor de voltaje para un sistema fotovoltaico que generará 1 000 kVAp de potencia.

El inversor adicionalmente tiene la función de sincronizador, ya que al momento que la carga y el sistema fotovoltaico no pueda entregarla en su totalidad, la red suministrará el restante. Por lo que el inversor hará el sincronismo y actuará para alimentar al sistema.

Tabla IV. **Datos inversor**

DATOS DEL INVERSOR	
Descripción	Datos eléctricos
Voltaje de entrada mínimo	210 V _{DC}
Voltaje de entrada máximo	280 V _{DC}
Potencia nominal del sistema	1 030 kW
Potencia máxima del sistema	1 150 kW
Voltaje de salida nominal	480 V _{AC}
Frecuencia	60 Hz
Potencia nominal de salida	1 000 kW
Potencia máxima de salida	1 100 kW

Fuente: elaboración propia.

4.2. **Cálculo almacenamiento de energía**

Para almacenar la energía es necesario hacer el cálculo de la cantidad de baterías necesarias para mantener la autonomía del sistema; se utiliza la siguiente fórmula.

$$NB = \frac{DM \times TA}{ALM \times CM}$$

Donde:

NB: número de baterías

DM: demanda diaria máxima de consumo de energía

TA: tiempo de autonomía del sistema en ausencia de la radiación

ALM: capacidad de almacenamiento de la batería

CM: valor de la descarga recomendado por el fabricante

La demanda diaria máxima del consumo de energía se establece según los requerimientos del sistema, por lo que la energía a entregar diariamente resulta de multiplicar la demanda máxima del sistema por el periodo diario de uso:

$$DM: 1\ 000kWh \times 14\ horas = 14\ 000kWh/día$$

El tiempo de autonomía se escoge que sea de 3 días.

Para el cálculo de la capacidad de almacenamiento del banco de baterías se escoge una batería de fácil adquisición y de mayor uso en el mercado con las siguientes especificaciones:

- Ah: 963
- Voltaje: 6V

Por lo tanto la energía de cada batería sería:

$$963Ah \times 6V = 5\ 778Wh$$

El valor de la descarga según fabricante es del 50%.

$$NB = \frac{14\ 000\ 000 \times 3}{5\ 778 \times 0,5} = 14\ 537,90\ baterías$$

Con lo cual se obtiene un total de 14 538 baterías para almacenar la energía, para tres días a máxima carga.

4.3. Dimensionamiento de materiales

Para poder dimensionar los materiales y el equipo que serán necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico y entregar la energía generada para alimentar los servicios generales, tales como bombas de agua, iluminación interior, talanqueras, áreas comunes y oficinas administrativas de mantenimiento, se deben tomar en cuenta todos los aspectos que han sido mencionados con anterioridad como dimensiones de los paneles y su ubicación y espaciamiento para mantenimientos preventivos y predictivos, así como la limpieza. También se debe contemplar las conexiones eléctricas para distribuir la energía y entregar el adecuado voltaje al inversor.

En la tabla V se incluye el precio y cantidades del sistema fotovoltaico, su cableado para voltaje en corriente directa y las monturas en acero inoxidable las cuales dispondrán del ángulo de inclinación de 15°, así como el aterrizaje de cada estructura y la tubería necesaria para llevar el cableado en corriente directa.

Los módulos o paneles solares serán sujetos a una serie de monturas, las cuales son de acero inoxidable para mayor durabilidad y anclados físicamente al techo. Cada montura se aterrizará físicamente y en conexión a la red de tierras para su protección.

El inversor entregará un voltaje de 480 voltios y servirá como distribuidor de energía para la carga.

Tabla V. **Materiales, equipo y costos sistema FV**

Componentes sistema fotovoltaico	Cantidad	Costo US\$
Módulos solares (460W)	2 200	\$3 471 160,00
Monturas acero inoxidable	2 200	\$425 040,00
Inversor (480VAC/60Hz)	1	\$403 542,00
Marco protección de rayos L1	800	\$186 000,00
Marco protección de rayos L2	600	\$17 600,00
Marco protección de rayos L3	800	\$2 518,00
Gabinete de poder AC	1	\$4 206,00
Relé de protección y conmutador	1	\$1 682,00
Conectores DC paneles fotovoltaicos	2 500	\$12 584,00
Cableado tipo 1 (metros)	5 000	\$102 375,00
Cableado tipo 2 (metros)	3 000	\$29 592,00
Cableado tipo 3 (metros)	2 500	\$47 340,00
Cableado tipo 4 (metros)	2 000	\$37 800,00
Angular de acero recubierta de zinc (metros)	8 250	\$806,05
Abrazaderas de acero recubierta de zinc	2 500	\$57 288,00
Tubo de expansión (metros)	6 000	\$57 288,00
Equipo recolección de datos	1	\$643,00
Equipo de radiación solar	3	\$2 190,00
Equipo de velocidad del aire	1	\$1 785,00
Medidor de temperatura	1	\$550,00
Cómputo con sistema de monitoreo	1	\$2 365,00
Instrumentos de control y cables de comunicación	1	\$1 075,00
Kit de accesorios	1	\$8 590,00
Ingeniería	1	\$20 000,00
Costo proyecto total		\$4 894 019,05

Fuente: elaboración propia.

El precio de instalar almacenamiento de energía se toma como referencia el encontrado en la página <http://www.tutiendasolar.es>

Tabla VI. **Precio baterías**

Tipo de batería	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Batería ROLLS 6 CS 21P 6V Serie 5 000 963Ah	14 538	\$1 267,00	\$18 419 646,00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se detallan cantidades y precios de la acometida eléctrica del edificio que se conectará a media tensión en 13 200 voltios, desde una acometida aérea, la cual ingresará por medio de cable subterráneo también de media tensión hasta el transformador, el cual entregará a una barra en baja tensión que tendrá como apoyo una planta de emergencia en caso que la energía de la calle se interrumpa y los paneles no entreguen la energía necesaria.

Tabla VII. **Materiales, costo acometida eléctrica y emergencia**

Materiales	Cantidad	Costo US\$
Poste 12 mts concreto	1	\$ 1 200,00
Crucero madera de 8 pies	2	\$ 42,50
Aisladores porcelana tipo pin	3	\$ 12,94
Espiga para crucero de madera	3	\$ 18,04
Breiza de 28"	4	\$ 12,00
Perno rosca corrida de 5/8"x18"	3	\$ 10,18
Perno con ojo de 5/8" x 18"	3	\$ 8,25
Arandela cuadrada de 2"x 2" x 1/8"	3	\$ 0,48
Argolla sin rosca de 5/8"	3	\$ 12,00

Continuación de la tabla VII.

Gancho de ojo para fijación	3	\$ 10,88
Aisladores de suspensión	3	\$ 27,38
Grapa de remate	3	\$ 27,00
Cable aluminio ACSR 1/0	400	\$ 312,00
Cable acero galvanizado 5/16"	30	\$ 18,83
Fijador de ángulo	1	\$ 4,09
Prensa triple de 4" y 3 tornillos	1	\$ 3,90
Remate preformado	3	\$ 6,39
Abrazaderas doble para poste	2	\$ 12,83
Corta circuitos 13,8kV (100A)	3	\$ 185,63
Interruptor media tensión (2200A)	1	\$ 40 000,00
Pararrayos 15kV	6	\$ 700,00
Transformador de 13800V a 120/208v (1500kVA)	1	\$ 47 000,00
Transferencia automática 600V (4000A)	2	\$ 51 000,00
Panel distribución baja tensión (2000A)	2	\$ 2 000,00
Cable media tensión URD (1/0)	300mts	\$ 3 506,25
Terminales media tensión	3	\$ 240,99
Cable cobre THHN (750MCM)	7 200mts	\$ 92 700,00
Cable cobre THHN (500MCM)	7 200mts	\$ 74 700,00
Cable cobre desnudo (4/0)	70	\$ 262,50
Varilla cobre	12	\$ 165,00
Tubería <i>conduit</i> 4"	240mts	\$ 11 250,00
Tubería <i>conduit</i> 3"	70mts	\$ 2 537,50
Tubería PVC 2"	400mts	\$ 4 250,00
Cable cobre THHN (#6)	1500	\$ 12 187,50
Planta de emergencia 1,5MVA	1	\$ 125 000,00
Planta de emergencia 1,5MVA	1	\$ 125 000,00
Obra civil	1	\$ 5 000,00
Mano de obra eléctrica	1	\$ 60 000,00
Costo total		\$ 534 425,04

Fuente: elaboración propia.

Los equipos que se describen, como los *breakers* principales, el *Switchgear*, el transformador tipo seco y el cable que se utilizará para conectar el sistema a la red de distribución del área comercial, fueron calculados tomando en cuenta el voltaje y la corriente que suministrará el sistema. El inversor tiene la función de controlar y actuar en los cambios del flujo de corriente, el nivel de voltaje y la potencia y energía.

El inversor tendrá la función de determinar en qué momento la potencia generada por los paneles no es suficiente para suministrar la potencia demandada por el sistema, y actuar para desconectar del sistema fotovoltaico ciertos circuitos y conectarlos a la red de distribución, asimismo en las noches hacer la misma función.

Tabla VIII. **Costo total del proyecto**

Descripción	Sin almacenaje	Con almacenaje
Equipo y sistema FV	\$ 4 894 019,05	\$ 4 894 019,05
Precio baterías	\$ -	\$ 18 419 646,00
Acometida eléctrica y planta de emergencia	\$ 534 425,04	\$ 534 425,04
Total	\$ 5 428 444,09	\$ 23 848 090,09
Total aproximado	\$ 5 500 000,00	\$ 24 000 000,00

Fuente: elaboración propia.

El valor total se aproxima para tener un dato no tan exacto al momento de la inversión del proyecto y se trabajará ese mismo total aproximado, para hacer el calculo del retorno de la inversión en el capítulo siguiente.

4.4. Diagrama unifilar de instalación eléctrica

En el diagrama unifilar que se presenta en el apéndice se puede observar la distribución de los equipos que conforman tanto el sistema fotovoltaico como el circuito eléctrico de distribución y la planta eléctrica de emergencia.

En el mismo diagrama se describe el transformador, el cual se utiliza para poder elevar el voltaje debido a las cargas que se quiere alimentar. En este caso lo que se busca es que sea una alternativa al suministro principal de toda el área comercial y es por ello que el sistema fotovoltaico se debe conectar directamente a la acometida principal, la cual está alimentada desde la calle en media tensión, por ser el área metropolitana, el voltaje es de 13 200 voltios, y el secundario del transformador, así como la planta de emergencia manejan un voltaje de 480 voltios; este voltaje es también el que entrega el inversor solar.

5. ANÁLISIS RETORNO DE INVERSIÓN

Con base en la factibilidad del proyecto en el retorno de inversión se tomarán 2 puntos: el análisis con almacenamiento y sin almacenamiento, donde se incluyen los precios de las acometidas y de la planta de emergencia.

5.1. Energía anual y costos mensuales

La energía que se calcula se hace con base en las horas de mayor utilización del sol y su intensidad, teniendo generación desde las 6 de la mañana (promedio), por la radiación que es menos intensa a esas horas del día y hasta las 18 horas (promedio). Pero la mayor intensidad se obtendrá de las 10 a las 16 horas; por lo que para el proyecto sin almacenamiento de la energía se estimarán 6 horas de uso y para el proyecto de almacenamiento se utilizarán 12 horas, ya que en momentos que los paneles no puedan generar la energía, las baterías harán el trabajo por él.

Tomando en cuenta los días de poco sol en invierno, se estima que 3 de los 365 días del año no se generará energía y que las noches se utilizarán para hacer mantenimientos y limpieza de los paneles y del inversor.

En la tabla IX se incluyen los datos con instalación de baterías y sin instalación de las mismas.

Tabla IX. **Datos energía esperada anual**

Descripción	Sin almacenaje	Con almacenaje
Potencia máxima instalada	1 000 kVA	1 000 kVA
Horas de utilización diarias (estimadas)	6	12
Días de generación esperados	362	362
Energía total generada	2 172 000,00	4 344 000,00

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el costo de la energía que se ahorraría por instalar los paneles, se toma como referencia el precio en dólares por kWh (\$/kWh) que se compró a la comercializadora durante los 2 últimos años, siendo este un precio de 0,22\$/kWh.

$$\frac{\$0,22}{\text{Kwh}} \times 2\,172\,000\text{Kwh} = \$477\,840,00 \text{ sin almacenaje}$$

$$\frac{\$0,22}{\text{Kwh}} \times 4\,344\,000\text{Kwh} = \$955\,680,00 \text{ con almacenaje}$$

El costo o gasto operativo anual que se tendría en mantenimientos, limpieza de paneles y revisiones periódicas del equipo sería de \$20 000,00 sin almacenaje y por tener más puntos de mantenimiento con más de 17 mil baterías a utilizar, el costo se incrementa a los \$35 000,00 anuales.

5.2. Recuperación de la inversión

Para determinar si el proyecto será de beneficio y si el tiempo que se espera en que la inversión inicial retornará, es necesario detallar el flujo de efectivo tanto de gastos como ingresos. En la tabla X que se muestra a continuación, se detallan los dos proyectos, tanto sin almacenaje como con almacenaje de los datos antes obtenidos.

Tabla X. Retorno de la inversión

Descripción	Flujos sin almacenaje	Flujos con almacenaje
Costo total proyecto	\$ 5 500 000,00	\$ 24 000 000,00
Costo de energía ahorrada	\$ 477 840,00	\$ 955 680,00
Gastos operativos	\$ 20 000,00	\$ 35 000,00
Recuperación en años	12,01	26,07

Fuente: elaboración propia.

De los resultados que se muestran en la tabla X se ve que hay que hacer una inversión de \$24 millones de quetzales, los cuales generarán un ingreso anual superior; pero para proyectos de este tipo, el tiempo de vida de los paneles es de 30 años y la garantía es de 10 años adicional a esto. El tiempo de vida de una batería es de 5 años y se tendría que estimar reemplazos cada 3 años, lo cual encarecería aún más el proyecto.

Pero para el proyecto sin almacenaje el tiempo de recuperación es menos de la mitad que con baterías, y teniendo el mismo tiempo de vida y la misma garantía, se estima que el reemplazo se hará hasta menos de la mitad del tiempo de vida del proyecto.

Como conclusión se elige trabajar con el sistema sin almacenamiento, ya que el costo inicial es más bajo y la recuperación de la inversión retornaría en menor tiempo.

CONCLUSIONES

1. Entre los factores que se deben tomar en cuenta para producir energía solar están la ubicación y el área disponible para la colocación de los paneles y el espacio físico, que puede influir de manera muy significativa, ya que las sombras por objetos o edificios aledaños a la instalación no permitirían generar la energía esperada.
2. Los paneles propuestos y el inversor son los elementos principales económica y funcionalmente, porque se puede determinar la mayor cantidad de *watts* por metro cuadrado de instalación y esto puede servir para generar más con menos costo del proyecto; por esto es necesario determinar cuáles son los que tienen mayor eficiencia, los paneles que por metro cuadrado entregan mayor potencia o los inversores que tienen menos pérdida de energía en la conversión del tipo de voltaje de CA a DC.
3. Para obtener un valor de energía diario real y muy cercano a la potencia máxima o potencia pico instalada, es necesario determinar las horas en que el sol está suministrando la mayor intensidad de radiación solar.
4. Se decidió no almacenar la energía producida por los paneles porque encarece el proyecto debido al costo unitario de cada batería, al mantenimiento anual y a los reemplazos por el tiempo de vida de las mismas, sin contar con el espacio físico que estas baterías ocuparían, el cual es muy grande.

5. Un mantenimiento constante de las instalaciones fotovoltaicas y una limpieza periódica de los paneles, asegura una generación ininterrumpida y una eficiencia de la radiación recibida de los paneles.
6. El monitoreo constante y automático de la generación es una herramienta sumamente necesaria para la correcta operación de cualquier dispositivo que genere una utilidad a cualquier negocio.
7. La utilización de energías alternativas y renovables ayudan de gran manera al planeta y asimismo un proyecto de este tipo hace que la operación sea un poco más autosostenible, ya que no se requerirá (en la mayor parte del tiempo) la utilización de la energía entregada por el distribuidor proveniente de motores a base de combustible fósil.

RECOMENDACIONES

- 1, Para poder entregar la potencia requerida por el sistema, es necesario que los paneles y los inversores sean diseñados para entregar de un 5% a un 10% de la potencia requerida; esto con el objetivo de cubrir las pérdidas por transmisión y conversión de la energía; el costo de hacer esto no eleva tanto el proyecto, ya que el porcentaje de incremento también se puede cubrir con un aumento de la energía producida.
2. Investigar el panel que produce más potencia por metro cuadrado permitirá obtener una mejor distribución de los mismos, así como utilizar mejor el área disponible.
3. Todos los objetos y edificios aledaños del lugar donde se instalarán los paneles fotovoltaicos pueden ocasionar sombras, lo cual obstaculiza la generación fotovoltaica reduciendo la energía recibida del sol; para esto es necesario hacer un estudio y una revisión de los puntos cardinales para determinar la orientación de los paneles y el movimiento del sol para el mejor aprovechamiento del mismo.

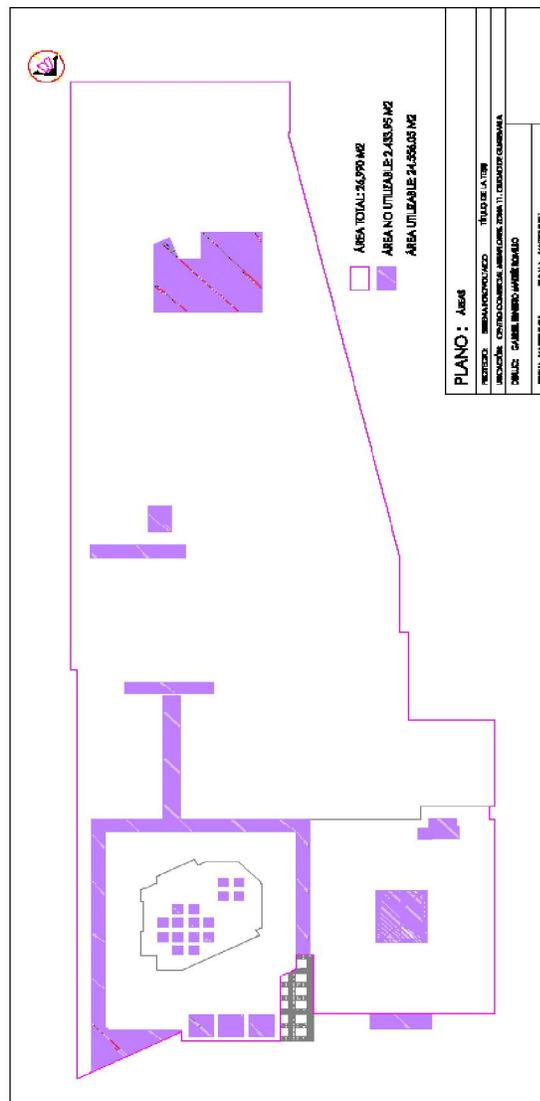
BIBLIOGRAFÍA

1. CENSOLAR. *La energía solar*. [en línea].
<http://censolar.com/menu2.htm> [Consulta: 10 de enero de 2011].
2. COBARG, C. C. *Energía solar - Bases y aplicaciones*. Madrid: Paraninfo, 2001. 175 p.
3. DICKSON, D. *Tecnología alternativa*. Barcelona: Blume, 1980. 200 p.
4. ERENOVABLE. *Energías renovables*. [en línea].
<http://erenovable.com/energias-renovables/> [Consulta: 10 de enero de 2011].
5. GENERACIÓN DEL SOL. *Energía solar*. [en línea].
www.lageneraciondelsol.com [Consulta: 10 de enero de 2011].
6. LUQUE, Antonio. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2a ed. USA: John Wiley & Son, 2011. 354 p.
7. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Energía renovable en Guatemala, un mercado atractivo*. Guatemala: MEM, 2007. 70 p.
8. PORTAL ENERGÍA. *Energías renovables*. [en línea].
www.portalenergia.es [Consulta: 10 de enero de 2011].

9. PORTAL SOLAR. *Energía solar*. [en línea]. www.portalsolar.com [Consulta: 5 de abril de 2011].
10. Q.CELLS. *Paneles solares*. [en línea]. www.q-cells.com [Consulta: 3 de abril de 2011].
11. SOLARWEB. *Energías renovables*. [en línea]. www.solarweb.net [Consulta: 3 de abril de 2011].
12. SOL Y CLIMA. *Energía solar*. [en línea]. www.soliclimate.com [Consulta: 5 de abril de 2011].
13. SUNTECH. *Paneles solares*. [en línea]. <http://am.suntech-power.com/> [Consulta: 11 de enero de 2011].
14. WENHAM, Stuart R. *Applied Photovoltaic*. Reino Unido: Earthscan, 2007. 323 p.

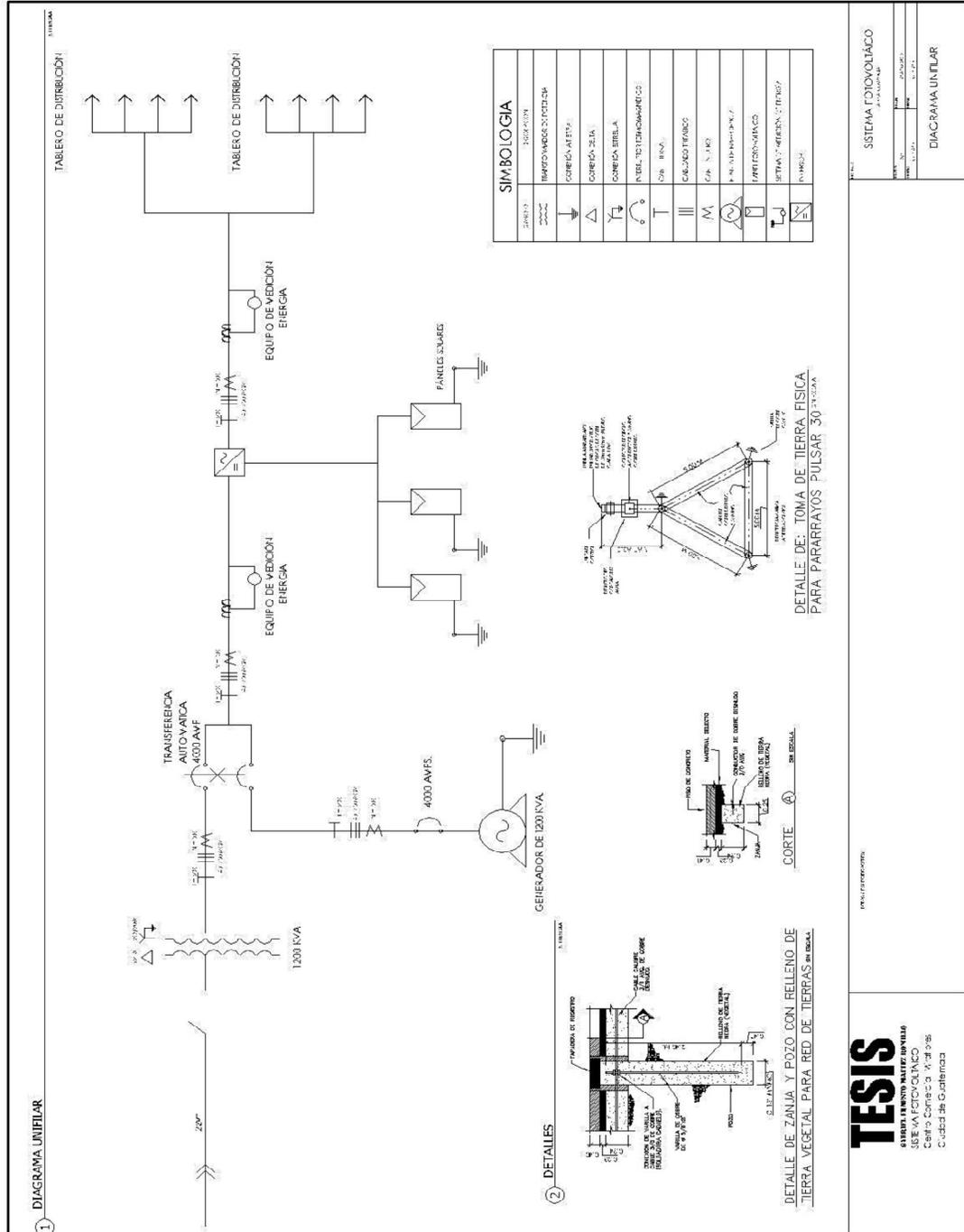
APÉNDICE

Apéndice 1. Sistema fotovoltaico



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Plano sistema eléctrico



Fuente: elaboración propia.