

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



**Propuesta de Proyecto de Árboles Solares en el Campus Central de la
Universidad de San Carlos de Guatemala.**

Carlos Humberto Aroche Sandoval

Maestría en Administración Industrial y Empresas de Servicios

Guatemala, agosto de 2016.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



**Propuesta de Proyecto de Árboles Solares en el Campus Central de la
Universidad de San Carlos de Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por

Carlos Humberto Aroche Sandoval

**Para optar al grado de Maestro en Artes
Maestría en Administración Industrial y de Empresas de Servicios**

Guatemala, agosto de 2016.

JUNTA DIRECTIVA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	DECANO
MA. Elsa Julieta Salazar de Ariza	SECRETARIA
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	VOCAL I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	VOCAL II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	VOCAL III
BR. Andreina Delia Irene López Hernández	VOCAL IV
BR. Carol Andrea Betancourt Herrera	VOCAL V

CONSEJO ACADÉMICO

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Rubén Dariel Velásquez Miranda, Ph.D.
María Ernestina Ardón Quezada, MSc.
Jorge Mario Gómez Castillo, MA.
Clara Aurora García González, MA.
José Estuardo López Coronado, MA.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
I. MARCO TEÓRICO	2
A. Antecedentes	2
1. La Energía	2
2. Energía Solar	5
2.1. Medición de la energía solar	5
3. Antecedente Global	6
3.1. Estudios.....	7
3.2. Autoridad Nacional.....	8
4. Energías Alternativas	10
5. Ventajas y desventajas de la energía solar	13
5.1. Ventajas	14
5.2. Desventajas	15
5.2.1. Aprovechamiento de Radiación Solar.....	15
5.3. Energía Fotovoltaica	19
5.3.1. Conjunto de panel solar.....	20
5.3.2. Entorno e instalación.....	21
5.3.3. Panel solar	21
6. Paneles solares fotovoltaicos	23
6.1. Desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el mundo	24
6.1.1. Autoconsumo fotovoltaico y paridad de red	25
6.2. La energía del futuro	26
6.2.1. Rendimiento Paneles Fotovoltaicos.....	27
6.2.2. Funcionamiento interno de los Paneles Solares	28
6.2.3. Electrificación solar con corriente alterna AC.....	34
B. Sostenibilidad	35
1. Sostenibilidad ecológica.....	35
2. Sostenibilidad Económica	35
3. Sostenibilidad Social	36
4. Sostenibilidad Técnica	36
C. DESCRIPCIÓN DE ÁRBOLES SOLARES	37

II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	49
III.	JUSTIFICACIÓN	50
IV.	OBJETIVOS.....	51
	A. Objetivo General	51
	B. Objetivos Específicos	51
V.	METODOLOGÍA	52
	A. Método	53
	B. Técnicas	53
	C. Instrumentos	53
X.	BIBLIOGRAFIA	70
XI.	ANEXOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de Potencial Solar en la República de Guatemala.....	17
Figura 2.	Esquema simple de un sistema fotovoltaico.....	20
Figura 3.	Paneles solares de celdas fotovoltaicas.....	22
Figura 4.	Panel solar fotovoltaico	24
Figura 5.	Celda fotovoltaica	31
Figura 6.	Regulador	32
Figura 7.	Acumulador.....	33
Figura 8.	Árbol Solar	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Proyectos calificados para optar a los incentivos de la ley	12
Tabla 2:	Informe de la meteorología de energía solar en la superficie en la ciudad capital de Guatemala.....	55
Tabla 3:	Presupuesto del equipo del sistema solar fotovoltaico	58
Tabla 4:	Presupuesto de obra civil	58
Tabla 5:	Presupuesto del sistema eléctrico para el sistema solar fotovoltaico.....	59
Tabla 6:	Resumen del costo total del proyecto.....	59
Tabla 7:	Conocimiento de los paneles solares	61
Tabla 8:	Aceptación de un proyecto para reducir gasto de energía eléctrica.....	62
Tabla 9:	Posible uso de los paneles solares	63
Tabla 10:	Consideración de factibilidad del proyecto	64
Tabla 11:	Colaboración del proyecto en conservar los recursos naturales	65

RESUMEN

No tienen hojas ni flores, pero sí ramas. No proporcionan oxígeno o frutos, pero sí dan luz. Estos artefactos funcionan como cualquier otra luminaria solar. La diferencia radica básicamente en su diseño y multifuncionalidad.

En la actualidad se ha tratado en forma recurrente el tema generado por la crisis energética, la cual se debe principalmente al aumento desproporcionado de la demanda de energía eléctrica, especialmente por parte de las industrias y las instituciones gubernamentales que cada vez consumen mayor cantidad de energía en sus procesos productivos o institucionales. El aumento de la población también contribuye a esa situación.

Poco a poco se han ido tomando las medidas que apuntan a una mejor utilización de los recursos naturales y energéticos existentes, mediante la aplicación de políticas de eficiencia energética para equipos eléctricos, las cuales se irán masificando gradualmente hacia equipos que demanden más energía.

En el mismo contexto anterior, la tecnología fotovoltaica se está insertando lentamente en sistemas de iluminación, dadas sus ventajas de eficiencia en la conversión y su bajo consumo de energía, en el corto plazo y gracias al desarrollo tecnológico se transformarán en una alternativa muy conveniente, tanto en el aspecto técnico como económico.

La utilización de sistemas alternativos de generación eléctrica, como los sistemas fotovoltaicos, han permitido disminuir la demanda de energía eléctrica de la red de distribución, o bien alimentar de energía a aquellos sectores en los que existen servicios eléctricos. Actualmente, es una alternativa relativamente cara para sectores de baja radiación solar, ya que es necesario contar con una gran superficie captadora para poder generar la energía requerida.

Los árboles solares son un nuevo concepto basado en la tecnología fotovoltaica que, además de embellecer las calles, tienen otro tipo de funciones benéficas para el entorno y el medio ambiente.

Estos objetos captan la luz que proviene del sol, ya que tienen en la parte superior placas solares con las que adaptan la energía para proporcionar luz, ondas wi-fi e infinidad de funciones dependiendo de cómo estén programados.

Con estas energías alternativas se busca tener una adaptación funcional, estética y eficaz de los paneles solares, ya que con ellos se protege al medio ambiente, sin olvidar que con el uso de estos productos la comunidad de la Universidad de San Carlos de Guatemala, experimente la innovación en el uso sustentable de energía.

INTRODUCCIÓN

En la necesidad cotidiana de hacer un balance energético y buscar el equilibrio económico para suplir la necesidad de la demanda energética, en la población guatemalteca, en todos sus sectores, no se escapa el sector académico de la Universidad de San Carlos, que requiere un monto considerable de energía eléctrica para el uso de sus instalaciones, las cuales en su mayoría requieren todo el tiempo de iluminación.

Aunado con el refuerzo que se debe dar a la teoría sobre los contextos energéticos y como suplirlos, en las carreras técnicas que imparte la Facultad de Ingeniería, se plantea en el siguiente estudio una instalación de energía eléctrica renovable y limpia, en uno de los edificios de la mencionada unidad académica.

El estudio realizado es de tipo exploratorio y se toma como muestra a estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se recabó información a través de la observación directa, entrevistas y encuestas, utilizando cuadros de vaciado para almacenar ordenadamente los datos.

La propuesta consiste en hacer una instalación cuya estructura emula un árbol, formado de paneles solares, los cuales se utilizarán para la recarga de equipos portátiles de cómputo, celulares, gadgets entre otros, así como la utilización de energía limpia, buscando generar más energía sin tener un costo extra en las facturas actuales, con un impacto directo en la reducción de las facturas del servicio eléctrico.

I. MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes

1. La Energía

La energía se define como la capacidad que tiene un sistema para desarrollar un trabajo. Se considera a la materia como una concentración intensa de energía y a la radiación como una de sus manifestaciones. La energía tiende principalmente a producir calor y como este se pierde en parte por irradiación, no toda la energía se transforma en trabajo.

Según la fórmula de Einstein la energía es igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz: $E = mv^2$.

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural. (Oliva, 2015)

En 2011, la Agencia Internacional de la Energía expresó lo siguiente: "El desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas". (AIE, 2011)

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030. (Teske, 2008)

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las energías no renovables en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Otras tecnologías solares, como la energía solar termoeléctrica está reduciendo sus costes también de forma considerable. (Swanson, 2009)

Existen varios tipos de energía:

- a) *Energía atómica:* Es la contenida en los átomos y puede utilizarse al ser liberada mediante la fusión o división del núcleo en el caso de los átomos pesados, o bien su fusión o condensación en los átomos livianos.

- b) *Energía cinética:* Es la que posee un cuerpo por virtud de su movimiento y se calcula con la siguiente fórmula: $E_c = \frac{1}{2} mv^2$

- c) *Energía calorífica:* Es la que se obtiene por medio del calor.
- d) *Energía de ionización:* Es la energía mínima necesaria para ionizar una molécula o átomo en estado normal.
- e) *Energía eléctrica:* Es la que se obtiene de la electricidad; pueden ser de tres tipos:
- Hidroeléctrica, si se basa en turbinas las cuales son movidas por agua.
 - Termoeléctrica, si es una máquina de vapor o combustión interna la que hace que trabajen los generadores.
 - Atómica, si la fuerza generadora es un reactor atómico.
- f) *Energía hidráulica:* La que se obtiene por saltos de agua.
- g) *Energía magnética:* Es la que existe en un campo magnético y puede orientar hacia el Este la aguja imantada, atraer al hierro, desviar de su trayectoria las cargas eléctricas en movimiento y ejercer acción recíproca sobre un campo eléctrico.
- h) *Energía mecánica:* Es la que se obtiene por el trabajo de una fuerza cualquiera.
- i) *Energía nuclear:* Es la energía atómica.
- j) *Energía potencial:* Es la que posee un cuerpo por virtud de su posición en un campo de gravedad eléctrico, magnético u otros.
- k) *Energía química:* Es la que se produce en las reacciones químicas por desprendimiento o absorción del calor.

- l) *Energía radiante:* Es la que produce y transmite radiaciones.
- m) *Energía solar:* Es la que emana del Sol y es la fuente básica de toda energía existente en la Tierra.

2. Energía Solar

Energía solar es la energía procedente del sol. En el contexto de las energías renovables, se entiende por energía solar la luz solar que incide en la tierra en sus componentes visibles e invisibles, infrarrojos y ultravioleta. (De León, 2008)

2.1. Medición de la energía solar

La intensidad del flujo energético solar que incide en la tierra depende de la latitud del sitio: mientras más cerca del ecuador, la luz incide de forma más perpendicular en la tierra; es decir, con una intensidad más alta.

Por otro lado, la intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas. La magnitud que describe la intensidad de la radiación solar, se conoce como radiancia o irradiancia y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). En términos populares también se llama brillo solar.

La radiación es la energía solar que incide en una placa plana de un metro cuadrado. Como la posición de la tierra con respecto al sol cambia constantemente, el ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie cambia según la hora del día y según el día del año. Por eso, la orientación y la inclinación de la superficie determinan la cantidad de energía solar que recibe. Fuera de la atmósfera, la irradiancia tiene un valor que se admite actualmente como de $1,354 W/m^2$ con variaciones de alrededor de $50 W/m^2$ según varía la distancia entre la tierra y el sol. Cuando el cielo está completamente despejado, la irradiancia en el suelo terrestre es de alrededor de $1,000 W/m^2$. Así la cuarta parte de la energía procedente del sol es amortiguada por la atmósfera.

Para efectos de utilización de la energía solar, el término radiación se usa para cuantificar la densidad superficial de energía solar incidente en una superficie plana. Por lo general, se entiende por radiación solar el promedio diario de la irradiancia que incide sobre una superficie plana de un metro cuadrado.

La radiación se mide entonces en vatio-horas por metro cuadrado (Wh/m^2).

Para el diseño técnico de la mayoría de los sistemas solares, la radiación proporciona el dato más importante, porque representa la energía que se puede aprovechar. Este dato permite realizar un diseño básico del sistema.

La irradiancia, en función de la hora del día, puede contribuir al entendimiento de las características dinámicas del sistema solar y permite afinar el diseño técnico. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa.

La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación difusa RD es aquella que está presente en la atmósfera gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar de las nubes y otros elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa es direccional y puede reflejarse y concentrarse, mientras que la difusa no, pues es omni-direccional.

En cuanto al potencial de la radiación solar incidente en Guatemala, se ha determinado un valor promedio de 5.4 kilovatios/m²/día. El término sistema solar se refiere a cualquier equipo o dispositivo para la conversión de energía solar en otra forma de energía aprovechable. (De León, 2008)

3. Antecedente Global

El consumo de energía en los países sube cada año aproximadamente en un 10 por ciento, y Guatemala no es la excepción, según referencia del Ministerio de Energía y Minas, el consumo energético, por biomasa es del 46 % y el 42.61 es por derivados del

petróleo lo cual hace que, al mismo tiempo, el incremento de combustible esté ligado al incremento de los precios del petróleo.

Las empresas eléctricas a nivel regional y nacional no están en capacidad de suministrar suficiente energía para sus clientes y además hay un desabastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales por falta de instalaciones.

Las formas de energía usadas, que consumen petróleo y / o sus derivados son no renovables. Respecto al impacto del consumo de energéticos derivados del petróleo:

En el año 2005, las importaciones de derivados del petróleo ascendieron a cerca de US \$ 1,500 millones, lo que representa el 17% de las importaciones, el 44.5 % de las exportaciones y el 4.5 % del PIB. En cuanto al impacto en la Balanza comercial: De cada 100 Dólares obtenidos por la actividad exportadora del país, 44.5 dólares se utilizaron para la importación de combustibles y lubricantes.

Se estima que para el año 2006, las Importaciones de derivados del petróleo se ubicarán en el orden de los US \$ 2,000 millones. (Más de la mitad se destina para atender el consumo del sector transporte). (MEM, 2005)

3.1. Estudios

Se ha conocido diversidad de estudios, programas, propuestas y ofertas de casas comerciales para solucionar de una u otra forma la problemática generalizada de la necesidad del uso de energía eléctrica en contraposición a su costo y, en estos últimos tiempos se ha reforzado el renglón que debe considerar una energía generada con medios limpios amigables al medio ambiente, principalmente proveniente de fuentes renovables de la misma naturaleza.

Entre estas fuentes de energía renovable se mencionan las producidas por medio de Biomasa, energía producida por la fuerza de los vientos o Eólica, la energía producida por la fuerza de las corrientes de agua, la energía producida por la captación de radiación

o energía solar. La tecnología desarrollada para captación y generación de energía solar se denomina fotovoltaica, la cual consiste en una serie de celdas fotosensibles sensibles a la luz que transmiten un impulso eléctrico, el cual busca almacenar para su aprovechamiento posterior por medio de un juego de baterías o acumuladores o por uso directo.

Se tuvo la oportunidad de tener a la vista documentos de investigación relacionados con la observancia del uso de energía solar como fuente generadora, entre los que se menciona:

Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural Buena Vista, San Marcos, Guatemala

Aplicación de la energía solar en las aldeas de Huite, Zacapal, Guatemala y del Modelo de sistema energético descentralizado basado en tecnología fotovoltaica para electrificación de poblaciones rurales aisladas.

En los referidos estudios, se da a conocer que desde hace algún tiempo hay inquietud de desarrollar proyectos relacionados con el tema de energía fotovoltaica. (De León, 2008).

3.2. Autoridad Nacional

El Ministerio de Energía y Minas según Ley del Organismo Ejecutivo (Decreto 114-97, según el Artículo 34, tiene la potestad de atender el régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía, proveniente las fuentes que la generen, como los hidrocarburos y la explotación de recursos mineros.

El Ministerio de Energía y Minas promulgó la Ley General de Electricidad, y la correspondiente reglamentación para Energía Renovable en Guatemala, contemplando en el Decreto No. 52-2003 la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de

Energía Renovable, con el Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, en el Acuerdo Gubernativo No. 211-2005.

A continuación se transcribe un segmento de La ley General de electricidad:

“Es libre la instalación de centrales generadoras, las cuales no requerirán de autorización de ente gubernamental alguno, y sin más limitaciones que las que se den de la conservación del medio ambiente y de la protección a las personas, a sus derechos y a sus bienes. No obstante, para utilizar con estos fines los que sean bienes del Estado, se requerirá de la respectiva autorización del Ministerio, cuando la potencia de la central exceda de 5 MW...”

“Los proyectos de generación y de transporte de energía eléctrica deberán adjuntar evaluación de impacto ambiental, que se determinará a partir del estudio respectivo, el que deberá ser objeto de dictamen por parte de la Comisión Nacional del Medio Ambiente – CONAMA – “

Se presenta el Artículo 39 del Acuerdo Gubernativo 68-2007, el cual obliga a los distribuidores de energía a permitir la conexión de EE que genera el funcionamiento de nuevos generadores con energía renovable.

Se reforma el Artículo 39, el cual establece los siguientes límites para los agentes del mercado eléctrico: Generadores: potencia máxima de 5 MW (antes de esta reforma 10 MW); Comercializadores: comprar o vender bloques de energía de por lo menos 2 MW (antes 10 MW); Distribuidores: tener un mínimo de 15 mil usuarios (antes eran 20 mil clientes); Transportistas: capacidad mínima de 10 MW (anteriormente 10 MW). Sobre el peaje: los costos anuales por el peaje (transporte de energía a través de las líneas de transmisión) serán como mínimo el 3 por ciento del costo total de la inversión.

El plan de expansión del sector eléctrico se realizará cada 2 años por medio del Órgano Técnico Especializado, con la participación de los agentes privados y de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el cual cubrirá un horizonte de 10 años.

Según los artículos transcritos, se puede analizar qué tanto la Ley de Incentivos, como la Ley General de Electricidad, establecen un respaldo para desarrollar proyectos de desarrollo de fuentes de energía renovable, incluyendo las fuentes de energía eléctrica por captación de radiación solar.

Esto queda afirmado con el Acuerdo Gubernativo 68 – 2007, el cual manda a los distribuidores de energía eléctrica a aceptar conexiones particulares generadoras de electricidad, especialmente si son de fuentes de energías alternas renovables.

Con fecha 24 de octubre de 2008, entra en vigencia la “Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable –NTGDR- y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía”

En base a la consideración que en Guatemala existe suficiente potencial para obtener EE por medio de fuentes renovables, en todo el territorio Nacional, por medio de plantas de generación de pequeña escala y conexión al Sistema Eléctrico Nacional a través de sistemas o redes de distribución.

Esta norma establece para los Generadores de energía Renovables, su control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. La misma es de aplicación obligatoria para Distribuidores y Generadores de energía renovables. (CNEE, 2008).

4. Energías Alternativas

Entre energías alternativas es viable considerar la generación de energía eléctrica por captación de energía solar. La radiación solar en promedio da una irradiación de 4.5 a 6.95 KW por hora, por metro cuadrado, por día y permite transformarla a partir de paneles solares, en energía eléctrica, la cual puede ser suministrada a 12 voltios (V) o al voltaje que sea requerido por los usuarios.

El Ministerio de Energía y Minas consciente de la problemática energética del país lanzó un plan piloto de iluminación exterior en las instalaciones del mismo ministerio, con paneles solares reciclados, con la finalidad de demostrar y promover las energías renovables limpias. A la vez los paneles reciclados garantizan disminuir la inversión para captación de energía solar.

A continuación se presenta una parte de la Ley de Incentivos, con segmentos de los artículos Nos. 1, 2, 5 y 6, que aplica a entidades interesadas en generar energía alternativa, renovable.

ARTÍCULO 1. Urgencia e interés nacional. Se declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables. El órgano competente estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con ese fin.

ARTÍCULO 2. Objeto. La presente Ley tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.

ARTÍCULO 5. Incentivos. Las Municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación -INDE, Empresas Mixtas, y las personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de los siguientes incentivos:

- a) Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado -IVA-, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva durante el período de pre inversión y el período de construcción, el cual no excederá de diez (10) años.

ARTÍCULO 6. Certificado de reducción de emisiones. Los certificados de reducción de emisiones pertenecerán a los propietarios de los proyectos, quienes de esa forma se beneficiarán de la comercialización de los mismos.

Estos certificados serán emitidos por el órgano competente, de conformidad a la cuantificación de las emisiones reducidas o desplazadas por el proyecto.

Tabla 1: **Proyectos calificados para optar a los incentivos de la ley**

No.	Proyecto Hidroeléctrico	Potencia (MW)
1	Hidroeléctricos (5)	177.4
2	Biomasa (3)	66
3	Geotérmico (1)	25
		268.4
4	Biocombustibles (1)	340,000 litros
5	Solar (1)	115 paneles

Fuente: FOCER, 2012

Autogenerador se le conoce al propietario de instalaciones de producción de energía que la utiliza para uso propio y tiene excedentes para la venta a terceros. Actualmente la Comisión Nacional de Energía Eléctrica está desarrollando el normativo para aquellos autogeneradores que deseen verter energía captada por celdas fotovoltaicas, en el contexto de que no necesariamente debe ser 5 MW como mínimo, y como debe trabajarse, la instalación y la medición de la energía.

Con lo anterior el propietario (autogenerador) gana dos veces: Produce su propia energía y cobra por ella. Además tiene un sistema completamente libre de mantenimiento, porque no tiene baterías (las cuales serían artefactos contaminantes cuando culminan con su tiempo de vida). Estos sistemas tranquilamente tienen una vida útil mayor de 20 a 30 años.

Con este tipo de idea de cogeneración de energía eléctrica, el estado y las empresas eléctricas ganan también, no tienen que invertir en nuevas centrales de generación, en el aumento de las líneas de distribución y en las pérdidas de distribución energética. (De León, 2008)

5. Ventajas y desventajas de la energía solar

La energía solar es toda aquella que se deriva directamente del sol. Existen muchas otras formas de energía que, de manera indirecta, se derivan del sol. Por ejemplo, la mayoría de las fuentes de energía en uso hoy en día como el gas, el carbón y el petróleo son materiales biológicos muy antiguos que obtienen su energía del sol. Del mismo modo, la energía contenida en la madera tiene su origen en última instancia en el sol, a través del proceso conocido como fotosíntesis.

Sin embargo, cuando mencionamos a la energía solar nos referimos normalmente a la energía directa del sol. Este tipo de energía en general se refiere a la generación de calor o electricidad a través del sol.

La luz del sol se puede usar directamente para generar electricidad por medio de celdas fotovoltaicas. El uso de celdas fotovoltaicas o paneles solares es cada vez más común como una alternativa eficiente y de bajo costo para generar electricidad.

La concentración de la energía solar en forma de calor es otra forma de aprovechar esta forma de energía. En el ambiente doméstico, se usan calentadores solares de agua, que permiten reducir el consumo de otras formas de energía como el gas o la energía eléctrica. También existen tecnologías avanzadas para concentrar el calor del sol en plantas generadoras de electricidad de gran potencia para usos industriales o comerciales.

La energía solar tiene muchísimas ventajas sobre otras fuentes de energía. Las siguientes son algunas de las más importantes: (www.energiasolar.mx, 2013)

5.1. Ventajas

- La energía solar es un recurso renovable prácticamente ilimitado. Hay virtualmente una provisión ilimitada de energía solar que podemos usar y es una energía renovable. Esto significa que la dependencia de combustibles fósiles se puede reducir en proporción directa a la cantidad de energía solar que se produce. Con el constante incremento en la demanda de fuentes de energía tradicionales y el consiguiente aumento en los costos, la energía solar es cada vez más una necesidad.
- No contamina. La energía solar es una excelente fuente de energía alternativa porque no hay contaminación al usarse.
- Tiene un bajo costo de aprovechamiento. El único costo asociado al uso de la energía solar es el costo de fabricación de los componentes e instalación. Tras la inversión inicial no hay costos adicionales asociados a su uso.
- Es adaptable a las necesidades. Los sistemas de energía solar pueden ser diseñados para ser flexibles y expandibles. Esto significa que el primer proyecto solar puede ser pequeño y se puede aumentar en el futuro la capacidad del sistema para adaptarlo a tus necesidades.
- Es limpia. Un sistema de energía solar para generación eléctrica en el hogar puede potencialmente eliminar hasta 18 toneladas de emisiones de gases de invernadero al ambiente cada año.
- La energía solar opera con sistemas silenciosos. No hay contaminación por ruido.
- La encuentras en todos lados. Una gran ventaja de la energía solar es su uso en ubicaciones remotas. Es la mejor forma de proveer electricidad a lugares aislados en todo el mundo, donde el costo de instalar líneas de distribución de electricidad es demasiado alto.

Como se ha visto, la energía solar tiene grandes ventajas que la hacen muy atractiva para cualquier uso, ya sea en el propio hogar, o la generación de energía eléctrica para fábricas y comercios. Sin embargo, también tiene algunas desventajas cuando se la compara con otras fuentes de energía. Algunas de ellas se presentan a continuación: (www.energiasolar.mx, 2013)

5.2. Desventajas

- Los grandes proyectos de generación de energía solar a escala comercial pueden requerir grandes cantidades de tierra. Sin embargo, un sistema para una casa de habitación no tiene este problema.
- Los costos iniciales de instalación de un sistema de energía solar pueden ser altos comparados con otras alternativas. Sin embargo, como se señaló en el apartado de ventajas, no existen costos posteriores, por lo que la inversión inicial se recupera rápidamente. Para algunas familias los costos iniciales pueden ser un obstáculo importante, por lo que en muchos países existen apoyos gubernamentales y esquemas de financiamiento.
- En algunos lugares la luz solar no tiene la intensidad o no es suficientemente constante para proporcionar un flujo de energía permanente. Este prácticamente no es un problema en países como México, ya que ese país cuenta con una excelente captación de luz solar en prácticamente todo su territorio. (www.energiasolar.mx, 2013)

5.2.1. Aprovechamiento de Radiación Solar

Guatemala, país tropical de América Central, ubicado a 14.5° arriba del Ecuador, recibe gran cantidad de radiación solar constantemente, a través de todo el año. Su situación, ayuda a una exuberante vegetación y fauna; además, el país cuenta con muchos accidentes geográficos volcánicos, así como ríos y lagos de importancia dentro del panorama nacional. (De León, 2008).

Guatemala, como país tropical y por su localización geográfica tiene un considerable aporte de radiación solar durante todo el año. El consumo de energía en los países sube cada año aproximadamente en un 10 por ciento. Con el objeto de llevar una alternativa energética para generación de energía eléctrica y de consumo bajo, como lo es considerar una instalación de generación de energía fotovoltaica. Dentro de este estudio se contempla establecer la factibilidad económica de un sistema fotovoltaico, proyectado a 30 años, en comparación con el consumo; específicamente, se menciona que la instalación inicial de paneles solares para captación de energía solar es una inversión que en algunos casos supera la inversión de otro tipo de instalaciones de generadores de energía eléctrica.

Sin embargo, se estima que la vida útil de los paneles solares, es de 30 años, con bajo mantenimiento, lo cual si se considera la inversión inicial diluida en 30 años, representa un consumo de muy bajo costo. A lo anterior se Agrega que el costo disminuye aún tomando en cuenta la no contaminación ambiental al no producir gases de invernadero.

El área para estas instalaciones; si son a gran escala se pueden ubicar en áreas no útiles para usos agrícolas, urbanos, turísticos y otros. Sin embargo, también se pueden considerar útiles las áreas de los techos y terrazas de las viviendas, y de los edificios públicos.

Para optimizar esta situación de conveniencia en el campo energético, así como ambiental, debe plantearse al Congreso de la República Propuestas de Ley, para solicitar y velar para que se instalen este tipo de generadores de energía eléctrica no contaminante, como la captación de energía solar, y sin peligro de agotarse como bien del planeta.

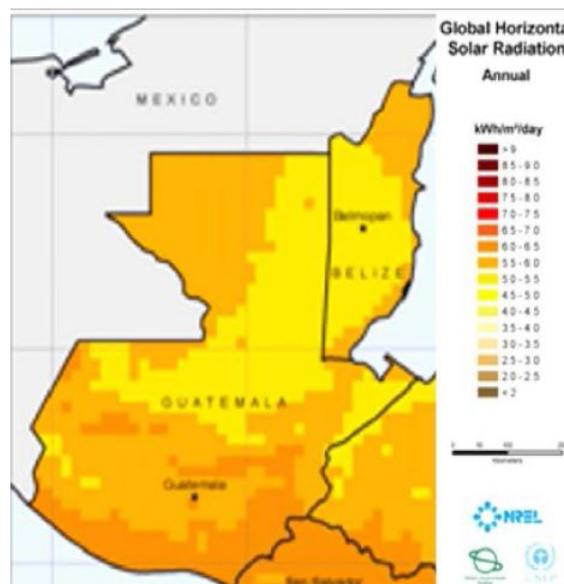
El Ministerio de Energía y Minas consciente de la problemática energética del país lanzó un plan piloto de iluminación exterior en las instalaciones del mismo ministerio, con paneles solares reciclados, con la finalidad de demostrar y promover las energías renovables limpias. A la vez los paneles reciclados garantizan disminuir la inversión para captación de energía solar.

Este planteamiento además conlleva un ahorro sustancial a mediano y largo plazo en el pago de divisas en compra de combustibles derivados del petróleo. Las instalaciones de energía alternativa solar en viviendas en el medio rural, tienen como objetivo conseguir energía eléctrica a bajo costo, sobre todo si son áreas donde no hay red de distribución nacional de energía eléctrica.

La radiación solar en promedio da una irradiación de 4.5 a 6.5 kW por hora por metro cuadrado, por día y permite transformarla a partir de paneles solares en energía eléctrica, la cual puede ser suministrada a 12 voltios (V) o al voltaje que sea requerido por los usuarios. Sin embargo, no sólo debe tomarse en cuenta el argumento de lugares lejanos a las urbes, ya que también son áreas receptoras de radiación solar y que mejor que en áreas que no tengan mayor uso, como los techos y terrazas de viviendas y edificaciones. La energía solar es aprovechable en horas de irradiación de luz; ese aprovechamiento es mejor a mayor altitud. (MEM, 1997)

Figura 1. **Mapa de Potencial Solar en la República de Guatemala**

Radiación Solar Directa Normal, Anual en Kwh/m2/día



Fuente: FOCER, 2012

También se puede considerar colocar los paneles receptores de energía solar, en el punto máximo de los postes de luz; un panel solar para que alimenta a la lámpara incandescente, o a la totalidad de horas de penumbra solar, si al menos el 50% del tiempo lo cual también repercutiría en un considerable ahorro y cese de contaminación al ambiente.

Las empresas eléctricas a nivel regional y nacional no están en capacidad de suministrar suficiente energía para sus clientes y además hay un desabastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales, por falta de instalaciones.

En los países en desarrollo, el 90% del consumo de energía a nivel doméstico se usa para cocinar, principalmente con gas y leña. Todas las formas de energía usadas que se consumen o convierten, provenientes del petróleo y sus derivados, son utilizadas para la producción en general; dichas fuentes de energía no son renovables. Solamente el restante 10% de energía doméstica se usa para luz, radio, televisión y bombeo de agua.

Entre los argumentos que favorecen el uso de energías alternativas, se tiene que las energías renovables como energía solar, energía eólica, energía hidráulica son:

1. Energía renovable propiamente dicha.
2. No se acaban.
3. No contaminan el ambiente, y por lo tanto son más saludables:
 - No hay producción de gases tóxicos;
 - No hay peligro de incendios;
 - Se evita la depredación de bosques para uso de biomasa;
 - No hay producción de gases tóxicos.
4. Se dispone de luz de mejor calidad.
5. Se garantiza la continuidad del suministro de energía.
6. Se evita riesgos en el manejo de combustibles inflamables.
7. En instalaciones de cierta magnitud el dueño de la generación de energía renovable puede venderla a la red local de distribución de energía eléctrica.

8. La Inversión inicial, en algunos casos, es alta, como en el caso de energía solar por los materiales e instalación de paneles solares; sin embargo, tiene aproximadamente una duración entre 20 y 30 años con bajo mantenimiento.
9. Al efectuar cálculos sobre el tiempo de funcionamiento, costo de distribución y mantenimiento en comparación con costo de compra de combustible derivado del petróleo, a largo plazo, se llega al mismo costo y, en algunos casos el costo es menor.
10. Los generadores de energía eléctrica que usan combustibles derivados del petróleo:
 - Son ruidosos;
 - Ocasionan desperdicio de energía y combustible si sólo se desea aprovechar en un aparato eléctrico, ejemplo: 1 televisor;
 - Tienen menor tiempo de vida, aunque la inversión inicial es menor.

La ciudad de Guatemala está a una altura de 1,458 m msnm, y con una variación de declinación solar en todo el país, a través del año entre – 23 o y 23 lo cual permite que siempre reciba radiación solar, característica que debe aprovecharse para desarrollar la energía solar como fuente de energía alterna.

Al considerar lo anterior, y tomar en cuenta que el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala demanda gran cantidad de energía eléctrica, hace oportuno plantear una alternativa de generación energética alterna para la demanda de las instalaciones del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. (De León, 2008)

5.3. Energía Fotovoltaica

La producción eléctrica está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. El término sistema solar se refiere a cualquier equipo o dispositivo para la conversión de energía solar en otra forma de energía aprovechable.

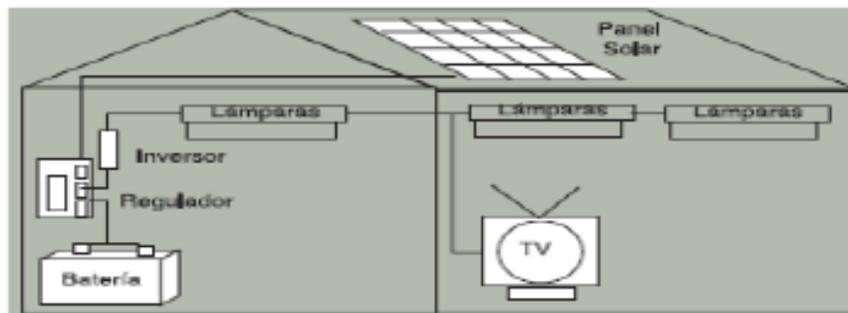
La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. (De León, 2008)

5.3.1. Conjunto de panel solar

El conjunto de una instalación de panel solar consta de un acumulador, un regulador, un convertidor y uno o varios paneles solares compuestos de varias células solares. Éstas últimas son las encargadas de producir la energía eléctrica durante el día, por captación de la radiación solar, la cual es almacenada en el acumulador.

Un sistema fotovoltaico, como lo muestra la figura No.2, es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales: Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica con un módulo o panel fotovoltaico, almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada por medio de la batería, proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada a través del inversor y utilizar eficientemente la energía producida almacenada con las cargas de aplicación en el consumo. (De León, 2008)

Figura 2. Esquema simple de un sistema fotovoltaico



Fuente: FOCER, 2012

5.3.2. Entorno e instalación

Los cuidados del entorno para la instalación son mínimos, especialmente en Guatemala, por ser un país tropical donde la radiación solar es casi constante en todo el año. Lo recomendable es hacer un diseño adecuado de aseguramiento, para evitar que en época de lluvia y con posibilidad de vientos huracanados no se lleven los paneles, así como en la época de fin de año, en la cual es invierno en el hemisferio norte, lo que provoca que en el país entren vientos fuertes y se corre el mismo riesgo.

El otro aspecto a considerar es que los paneles solares queden en lugares descubiertos, y no haya objetos cercanos que provoquen sombra sobre los mismos, interfiriendo el arribo de los rayos solares. La experiencia en otros países y continentes como en Europa, ha dado muy buenos resultados, no sólo de aporte de energía eléctrica, sino de disminución de contaminación ambiental; en esos lugares, ya la consideran como una alternativa de primer orden.

En Guatemala prácticamente todo el país cuenta con un alto porcentaje de tiempo al año de radiación solar en el año, lo cual realmente es una gran ventaja, porque aún en época lluviosa, hay bastante radiación solar. (De León, 2008).

5.3.3. Panel solar

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar, el componente principal básico de los paneles solares son las células de silicio,

Básicamente existen dos tipos de paneles solares dependiendo del uso que se desee dar principalmente, los paneles solares para el calentamiento del agua generalmente para uso doméstico o colectores solares. Se ha manejado en la tecnología paneles solares para el aprovechamiento de la energía solar, los módulos fotovoltaicos para producir electricidad y los colectores o paneles térmicos para agua caliente. Ambos sistemas son totalmente independientes y diferentes.

Es un hecho que los paneles fotovoltaicos son enemigos del calor, por lo que la potencia del panel esta especificada en base a unas condiciones de prueba estándar, (Irradiancia 100 mW/cm², temperatura de la célula 25°C, masa de aire de 1,5, etc.). En la vida real, la temperatura de la célula es muchísimo más elevada, con lo cual la eficiencia de las células cae al aumentar la temperatura, reduciendo la potencia del panel en 15% aproximadamente (TK=-0.44% °C).

Los paneles solares fotovoltaicos están destinados a la producción de energía solar a partir de las células de silicio, en algunos países de Europa el uso de los paneles solares fotovoltaicos, se hace actualmente de forma masiva con paneles con instalaciones de huertos solares dedicados a la producción eléctrica de forma fotovoltaica.

Ejemplo: España es uno de los principales fabricantes de paneles solares a nivel mundial. El principal productor de paneles solares a nivel mundial es Japón. (De León, 2008)

Figura 3. Paneles solares de celdas fotovoltaicas



Fuente: FOCER 2012

6. Paneles solares fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico consiste en una asociación de células, encapsulada en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico (normalmente tedlar). Este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte.

Las células más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio, y se pueden dividir en tres subcategorías:

- Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio, normalmente manufacturado mediante el proceso Czochralski. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio policristalino, también llamado multicristalino, están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Las células de silicio amorfo son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también menos costoso. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares para relojes o calculadoras.

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

- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente). (Perpiñán, 2012)

Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica de silicio policristalino oscilan entre el 14 %-20 %. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en 15 % - 21%. Los más altos se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura que pueden alcanzar un 70 % de rendimiento en la transferencia de energía solar a térmica.

Los paneles solares fotovoltaicos no producen calor que se pueda re aprovechar aunque hay líneas de investigación sobre paneles híbridos que permiten generar energía eléctrica y térmica simultáneamente. Sin embargo, son muy apropiados para proyectos de electrificación rural en zonas que no cuentan con red eléctrica, instalaciones sencillas en azoteas y de autoconsumo fotovoltaico. (Perpiñán, 2012)

Figura 4. Panel solar fotovoltaico



Fuente: FOCER, 2012

6.1. Desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el mundo

Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

Alemania es, junto a Japón, China y Estados Unidos, uno de los países donde la energía fotovoltaica está experimentando un crecimiento más vertiginoso. A finales de 2013, se habían instalado en todo el mundo cerca de 140 GW de potencia fotovoltaica, convirtiendo a la fotovoltaica en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica.

La considerable potencia instalada en Alemania (35 GW en 2014) ha protagonizado varios récords durante los últimos años. Durante dos días consecutivos de mayo de 2012, por ejemplo, las plantas fotovoltaicas instaladas en este país produjeron 22,000 MWh en la hora del mediodía, lo que equivale a la potencia de generación de veinte centrales nucleares trabajando a plena capacidad.

Desde su popularización a finales de los años 1970, la energía solar fotovoltaica se usaba tradicionalmente para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas de la red eléctrica, pero sobre todo, de forma creciente durante los últimos años, para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, mediante inyección a la red o para autoconsumo doméstico. (AIE, 2014)

6.1.1. Autoconsumo fotovoltaico y paridad de red

Estado de la paridad de red de instalaciones solares fotovoltaicas alrededor del mundo:

- Paridad de red alcanzada antes de 2014
- Paridad de red alcanzada sólo para precios pico
- Paridad de red alcanzada después de 2014
- Estados de EEUU que alcanzarán la paridad de red próximamente

Fuente: Deutsche Bank, Febrero de 2015

El autoconsumo fotovoltaico consiste en la producción individual, a pequeña escala, de electricidad para el propio consumo a través de paneles solares. Ello se puede complementar con el balance neto. Este esquema de producción, que permite compensar

el consumo eléctrico mediante lo generado por una instalación fotovoltaica en momentos de menor consumo, ha sido implantado con éxito en muchos países. Fue propuesto en España por la Asociación de la Industria Fotovoltaica ASIF para promover la electricidad renovable sin necesidad de apoyo económico adicional. El balance neto estuvo en fase de proyecto por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE. y ha sido recogido en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 y el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

Para incentivar el desarrollo de la tecnología con miras a alcanzar la paridad de red -igualar el precio de obtención de la energía al de otras fuentes más económicas en la actualidad-, existen primas a la producción, que garantizan un precio fijo de compra por parte de la red eléctrica, en el caso de Alemania, Italia o España. Ese esquema de incentivos ya ha dado sus frutos, logrando que los costes de la energía fotovoltaica se sitúen por debajo del precio de venta de la electricidad tradicional en un número creciente de regiones.

6.2. La energía del futuro

Según informes de Greenpeace, la fotovoltaica podrá suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030. Según un estudio publicado en 2007 por el Consejo Mundial de Energía, para el año 2100 el 70% de la energía consumida será de origen solar.

Por otro lado, algunos países, como es el caso de Tokelau, un archipiélago ubicado en el océano Pacífico, no cuentan con mix eléctrico, ya que obtienen toda la electricidad que necesitan del sol. El país lo forman unos 125 islotes que abarcan un área de 10 km² y cuenta con cerca de 1.500 habitantes. La situación geográfica del archipiélago hace que el uso de combustibles fósiles sea comparativamente mucho más caro y difícil de mantener que un sistema fotovoltaico. (Mosquera, 2013).

La instalación de Tokelau es un ejemplo del que ya han tomado nota otros países de Oceanía. De hecho, las Islas Cook y el archipiélago de Tuvalu también pretenden abastecerse completamente a partir de energías renovables para el año 2020. (Mosquera, 2013)

6.2.1. Rendimiento Paneles Fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos, por sí mismos, pueden presentar cierta deficiencia por su material y es que cuando la temperatura ambiente es muy alta se vuelve deficiente de generación de energía eléctrica. El rendimiento de las células fotovoltaicas que se comercializan en la actualidad está comprendido entre 15% y 25%, es decir, que sólo una pequeña parte de la energía lumínica se aprovecha realmente en forma de energía eléctrica. Este rendimiento es menor cuanto más alta es la temperatura.

El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo se da una disminución considerable, de la tensión en proporción. El efecto global es que la potencia del panel solar disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo.

Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un panel al menos 30 grados por encima de la temperatura del aire circundante, lo que reduce la tensión en:

$2 \text{ mV}/(\text{célula} \cdot \text{grado}) \cdot 36 \text{ células} \cdot 30 \text{ grados} = 2,16 \text{ Voltios}$ y por tanto la potencia en un 15%

Existe una relación directa entre la temperatura y cualquier sistema basado en la electricidad. Los Transformadores de alta tensión indican en su placa de características, entre la información que proporcionan, la eficiencia esperada en potencia, la cual corresponde a un porcentaje específico, el cual aún está supeditado a disminuir con el aumento de temperatura del sistema. (De León, 2008)

En la realidad, la temperatura de la célula es más elevada de lo que indica cualquier fabricante, con lo cual, la eficiencia de las mismas cae al aumentar la temperatura en una proporción aproximada de $TK=-0.44\%^{\circ}C$, reduciendo la potencia del panel 15% aproximadamente.

Los motores eléctricos disminuyen su eficiencia cuando se calientan las baterías para almacenamiento de electricidad. Las celdas fotovoltaicas, los alternadores de las grandes centrales productoras de electricidad y todo lo que tiene relación con la electricidad está sometido a los efectos negativos del incremento de la temperatura.

En valores de porcentaje, la pérdida de potencia de un sistema eléctrico es algo considerable, pero si considera a nivel global, se puede asumir giga vatios por efectos de la temperatura, en instalaciones que, aunque tuvieron una inversión menor respecto a inversiones para sistemas de energía renovable, las pérdidas se hacen cuantiosas.

En tiempos de abundancia energética, se ha despreciado la referida pérdida. Sin embargo, tomando en cuenta que en el tiempo actual el tema energético es considerado crítico, y con el agravante de la alta contaminación ambiental y disminución de recursos naturales no sólo por la contaminación, sino también por el calentamiento global, como consecuencia de las altas emisiones de gases de invernadero.

Por lo que optimizar los vatios de potencia que se obtienen en cualquier sistema generador y / o consumidor de energía, hace imperante mejorar la eficiencia de los mismos, de una forma responsable. (De León, 2008)

6.2.2. Funcionamiento interno de los Paneles Solares

Una instalación fotovoltaica consta de cuatro partes:

- Paneles solares
- Acumulador(es)
- Regulador
- Convertidor (De León, 2008)

6.2.2.1. Paneles

El panel solar se define como la unión de varias celdas que se denominan fotovoltaicas. Dependiendo de la instalación que se desee, se unen celdas para conseguir una tensión conveniente y útil; cada celda puede llegar a producir, por lo general, una tensión de medio voltio. Los paneles solares tienen tipo “sándwich”, están hechos de una capa de cristal, otra de acetato de vinilo, las celdas que se deseen colocar, otra capa de substrato orgánico y, por último, otra serie de capas de vidrio. En los paneles solares que llevan las celdas conectadas en serie, los valores de tensión varían según la cantidad de celdas que se coloquen.

Existen distintos tipos de placas. También de acuerdo a la zona geográfica, instalar la placa requiere de distintos ángulos de inclinación. En lo posible se trata que al medio día solar los rayos lleguen al panel fotovoltaico en forma perpendicular, dando un ángulo de + 15° hacia el punto cardinal en que se pone el sol; de esta manera se aprovechan más los rayos del atardecer.

Los paneles solares, en su mayoría, entregan una tensión en vacío de 17 V.C.C. Esta, al ser conectada a la carga, se estabiliza en 14 V.C.C. También recordamos que los paneles pueden ser conectados en serie elevando la tensión a 24 V.C.C. La energía generada es regulada por un dispositivo, regulador de voltaje, el cual no permite que sobrecargue el banco de baterías y las mantenga a flote.

Luego, esa energía acumulada puede conectarse a una carga en 12 – 24 V.C.C. o bien inversores elevarla y transformarla a 220 V.C.A. mediante el uso de inversores. (De León, 2008)

6.2.2.1.1. Celda fotovoltaica

Estas celdas están fabricadas de silicio. El es un elemento de alta abundancia en la naturaleza, clasificado como metaloide o anfótero, por su característica medio metálica y medio no metálica, con mucha estabilidad física y química. El átomo de Silicio – **Si** - es el

No. 14 de la tabla periódica, ubicado en la columna IV-A (debajo del elemento No.6, el carbono -**C** -), lo que indica que tiene No. de valencia 4, o sea que el referido átomo de Silicio tiene 4 electrones en su orbital más externo.

En el comportamiento metaloide el Silicio -**Si** -, en determinado instante, tiene un silicio positivo y otro negativo, a consecuencia del dopado o intromisión de otros materiales contaminantes (o impurezas) en proporciones muy pequeñas.

Entre los materiales contaminantes se tiene el Fósforo, - **P** - elemento no metal, de la columna V-A, con versatilidad química, y cuyo átomo tiene 5 electrones en su orbital más externo, el cual al combinarse con el Silicio le confiere un electrón, razón por la cual se obtiene Silicio negativo.

De forma similar se añade, también como impureza el Aluminio de la columna III-A, - **Al** - con comportamiento metálico y con 3 electrones en la capa más externa lo que propicia al átomo de Silicio la carga positiva.

Los semiconductores conocidos como celdas fotovoltaicas son capaces de generar cada de ellas una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente de energía la radiación luminosa. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y rebota y otra parte por transmisión atraviesa la célula.

El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra, lo cual genera una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.

Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre 0,25 y 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 mm². (De León, 2008)

Los materiales para la fabricación de las células solares son:

- Silicio Monocristalino: de rendimiento energético hasta 15 - 17%;
- Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético hasta 12 - 14 %;
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %;
- Otros materiales: Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

Actualmente, el material más utilizado es el silicio monocristalino que tiene prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin. (De León, 2008)

Figura 5. **Celda fotovoltaica**



Fuente: FOCER, 2012

6.2.2.2. Regulador

La implementación del regulador en el sistema tiene básicamente tres funciones:

- Evita sobrecargas que puedan producir daños a la batería.
- Impide la descarga de la batería en los periodos de luz solar suficiente.
- Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

- El regulador mantiene constante la tensión y la alimentación del circuito y la carga de baterías.

Existen dos tipos:” el paralelo o shunt” y “los serie”, los más utilizados son los shunt y los serie son para instalaciones mayores. (De León, 2008)

Figura 6.Regulador



Fuente: FOCER, 2012

6.2.2.3. Acumuladores

Los acumuladores sirven para acumular energía y consumirla en horas de poca radiación solar o de noche, estos equipos de acumulación son las baterías. Las baterías están formadas por dos compuestos que son generalmente Plomo y Ácido.

Están contruidos en módulos denominados vasos o celdas, que tendrán dos electrodos: positivo y negativo, cada vaso o celda puede llegar a dar 2 voltios.

La cantidad de energía que puede almacenar una batería depende de su capacidad la cual se mide en A/h. Los acumuladores están compuestos por una serie de láminas y electrodos de plomo.

Los acumuladores son fabricados con Plomo y Ácido sulfúrico, lo que hace que sean altamente contaminantes al ambiente si no tienen un adecuado tratamiento cuando

terminan su vida útil la cual es de, aproximadamente entre 4 y 5 años; mientras, la vida útil de los paneles fotovoltaicos está entre 20 y 30 años. (De León, 2008)

Figura 7. **Acumulador**



Fuente: FOCER, 2012

6.2.2.4. Convertidor

Son los más avanzados de los convertidores de energía cuántica y constituyen el más prometedor camino hacia la potencia electro- solar. Éste proceso es llamado también proceso de foto emisión interna. Se produce básicamente por foto emisión que posee un umbral inferior a la absorción de fotones; y la luz pasa de ser luz a ser electricidad sin pasar antes por un estadio de energía térmica.

Aparte de las células fotovoltaicas existen otras tecnologías, pero la fotovoltaica es la única que posee una absorción óptica muy alta y una resistencia eléctrica lo suficientemente baja como para poder convertir la energía solar en energía útil de modo económico.

Gracias a que hay una amplia elección de semiconductores con el intervalo apropiado de absorción espectral, se puede seleccionar un material apropiado que

abarque el espectro solar. Ésos semiconductores se hacen uniendo partes positivas y negativas de silicio, que actualmente es el de mayor rendimiento. Todas las células solares actuales tienen en común tres características:

1. Un absorbente óptico que convierte los fotones en pares electrón-hueco.
2. Un campo eléctrico interno que separe las cargas.
3. Contactos en los extremos del semiconductor para la conexión con una carga externa.

La parte de los convertidores que absorbe los fotones es el semiconductor que se elige de forma que tenga una banda prohibida similar a la del espectro solar. No podría tomar una célula solar con un valor bajo de energía de banda prohibida aunque pareciera lo ideal para que absorbiese casi todo el espectro, pero la fuerza electromotriz de la célula está limitada por la energía de banda prohibida y, si ésta es pequeña, la energía electromotriz también lo será.

Es poco probable que un fotón tenga el doble de energía que el nivel de fermi por eso siempre habrá un sólo par electrón- hueco por fotón absorbido; y la energía en exceso del fotón se disipa. (De León, 2008)

6.2.3. Electrificación solar con corriente alterna AC

Los proyectos de electrificación individual con el sistema de Corriente Alterna AC de por ejemplo 110 Voltios, que es la tensión normal en casa se instala cuando se necesita equipos eléctricos que funcionan con corriente alterna, o cuando uno o más de los consumidores como refrigeradoras, licuadoras, televisores o motores necesitan la corriente alterna; las distancias entre el sistema solar (paneles o baterías) hasta los consumidores son muy grandes para evitar la pérdida de energía en los cables. La inversión inicial puede incluir el costo del inversor que "convierte" la corriente continua DC a corriente alterna AC

En caso de limitantes económicos, se puede empezar con un pequeño sistema fotovoltaico con corriente continua y, después, adquirir el inversor y aumentar paulatinamente el resto del sistema.

El sistema de energía solar de corriente alterna comprende los siguientes componentes:

- uno o más paneles solares fotovoltaicos
- uno o más acumuladores o "baterías"
- uno o más reguladores
- un inversor, para generación de corriente alterna de 110 V para la red eléctrica local
- sólo un inversor porque la mayoría de los inversores no puede trabajar en paralelo
- uno o más consumidores eléctricos (De León, 2008)

B. Sostenibilidad

1. Sostenibilidad ecológica

La producción de energía, en este caso la transformación de energía del sol a energía eléctrica, es sostenible, porque la fuente de energía es renovable. No genera contaminación como los derivados del petróleo. La fabricación de los paneles tampoco tiene un costo ecológico elevado, como desarrollo de tecnología local; sin embargo si se considera que es tecnología importada en el aspecto económico no es tan atractiva.

2. Sostenibilidad Económica

Hoy en día los costos de los equipos solares, representan un costo de inversión alto. A mediano plazo deben bajar su costo; la implementación de generación de energía eléctrica por captación solar a largo plazo debe ser considerada un recurso renovable sostenible y lugar para ubicar causas como tal, al promoverse, debe abaratar la instalación de las fuentes de captación.

Entre las personas que comercializan la producción de energía con fuentes tradicionales e intereses creados, no se incluyen costos indirectos de los combustibles, distribución, mantenimiento y costos ecológicos.

3. Sostenibilidad Social

La aceptación social de la energía solar, especialmente en países de desarrollo, está creciendo. Los eventuales impactos sociales negativos, tienen que ver más comparando convivir sin luz, a la situación nueva de vivir con electricidad, especialmente para las áreas rurales.

La aceptación técnica no es un problema, si para ello se contempla la capacitación adecuada. Es conveniente hacer que la academia técnica, que corresponde a la Facultad de Ingeniería, refuerce la atención y promueva con responsabilidad el uso de energías renovables limpias, y asista a las instituciones y organizaciones, a quienes compete la labor de impulsar alternativas oportunas de energía a la sociedad guatemalteca, así como de técnicas adecuadas alcanzables para la economía popular.

Las bondades del acceso a energía eléctrica como la luz para estudiar por horas de la tarde o el bombeo y tratamiento de agua potable, entre otros, superan eventuales impactos negativos.

4. Sostenibilidad Técnica

La sostenibilidad técnica, es bastante favorable con el hecho de que la vida útil de los paneles solares es de 25 a 30 años y más aun si se considera la alternativa de autogeneración donde no habría necesidad del uso de acumuladores y, por el mismo hecho de verter energía a la red general de distribución, representaría economía para el usuario.

C. DESCRIPCIÓN DE ÁRBOLES SOLARES

Los árboles solares son un nuevo concepto basado en la tecnología fotovoltaica, que además de embellecer las calles tienen otro tipo de funciones benéficas para el entorno y el medio ambiente.

Estos objetos captan la luz que proviene del sol, ya que tienen en la parte superior placas solares con las que adaptan la energía para proporcionar luz, ondas de la red inalámbrica de internet y otras funciones de acuerdo a la forma que estén programados.

Con esas energías alternativas se busca tener una adaptación funcional, estética y eficaz de los paneles solares, ya que con ellos se protege al medio ambiente, sin olvidar que con el uso de estos productos la comunidad universitaria puede ver lo importante que es innovar para tener un uso sustentable de energía.

Las posibilidades son muchas en cuanto el uso social que se le puede dar a los árboles solares. Incluso se han diseñado prototipos móviles, con una estructura de fácil instalación, que puedan cargar aparatos electrónicos portátiles, teléfonos celulares , si se sale de viaje como a la playa, la montaña o el bosque, por ejemplo.

Figura 8. **Árbol Solar**



Fuente: FOCER, 2012

1. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

La propuesta de hacer un proyecto de Árboles Solares en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se debe a que actualmente, se está revolucionando el nuevo siglo. En este estudio, se mencionan las principales variables que inciden en el mercado de energía renovable en Guatemala, al identificar las razones que determinan el interés en energía renovable, los principales actores que intervienen en su quehacer y el potencial y avance en el corto, mediano y largo plazo.

2. ANTECEDENTES MUNDIALES

Al analizar el panorama internacional de las fuentes de energía renovables, se encuentra que países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá, y Reino Unido han desarrollado tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica y, aunque su participación en la producción mundial aun es pequeña, ellas representan una opción para el suministro eléctrico mundial.

2.1. POTENCIAL DE ENERGIAS RENOVABLES EN GUATEMALA

Guatemala es un país que cuenta con una considerable cantidad de recursos renovables, los cuales a la fecha no han sido aprovechados intensamente. Tal afirmación se deriva del hecho que existiendo un potencial aprovechable de 5,000 MW en energía hidroeléctrica y de 1,000 MW de energía geotérmica, solamente se utiliza aproximadamente el 14% (705 MW) y el 4% (40 MW), respectivamente.

El potencial teórico de energía eólica en Guatemala, para la generación de electricidad es de aproximadamente 7,800 MW, tomando como base las clases de viento de 3 a 7 m/s según un estudio realizado en el 2005. En cuanto a la energía solar, el valor anual de radiación global solar para todo el país, en promedio, es de 5.3kMh/m²/día.

3.5. LA SITUACION ENERGETICA DEL PAIS

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) es un organismo técnico del MEM, con independencia funcional, encargado de formular, implantar y fiscalizar el marco regulatorio y normativo que define las reglas del juego del sub-sector eléctrico y la actuación de los agentes económicos que intervienen en el mismo. Asimismo, es encargado de la determinación de los precios y calidad de la prestación de los servicios de transporte y distribución de electricidad sujetos a autorización, controlar y asegurar las condiciones de competencia en el Mercado Mayorista.

La CNEE, vela por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios, protege los derechos de las y los usuarios y previene conductas en contra de la libre empresa, así como prácticas abusivas o discriminatorias.

3.6. MARCO INSTITUCIONAL DEL SUB-SECTOR ELÉCTRICO

En el marco institucional del sub sector eléctrico, se incluyen las actividades y funciones del Ministerio de Energía y Minas, MEM y de la Dirección General de Energía, DGE, por ser las instituciones encargadas del sub sector estudiado.

Las actividades primordiales del Ministerio de Energía y Minas, están dirigidas a facilitar la realización de inversiones privadas en las diversas actividades del subsector. Mientras que la Dirección General de Energía, es la que se encarga de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al sub-sector eléctrico; además, otorga las autorizaciones para la instalación de centrales generadoras, la prestación de los servicios de transporte y de distribución final de electricidad.

D. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

En el marco de lo establecido en la Ley del Organismo Ejecutivo, el Ministerio de Energía y Minas tiene asignadas las siguientes funciones generales:

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía; promover y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando la aplicación de la política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.
- Coordinar las acciones necesarias para mantener adecuado y eficiente suministro de petróleo, productos petroleros y gas natural, de acuerdo a la demanda del país, y conforme a la ley de la materia.
- Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, explotación, transporte y transformación de hidrocarburos, la compraventa o cualquier tipo de comercialización de petróleo crudo o reconstituido, gas natural, así como los derivados de los mismos.
- Formular la política, proponer la regulación respectiva y supervisar el sistema de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
- Proponer y cumplir las normas ambientales en materia energética.
- Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.

Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.

1. COMISION NACIONAL DE ENERGIA

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica es un organismo técnico del MEM, con independencia funcional, encargado de formular, implantar y fiscalizar el marco regulatorio y normativo que define las reglas del juego del sub-sector eléctrico y la actuación de los agentes económicos que intervienen en el mismo.

2. SISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico lo integran los sub-sistemas de generación, transporte y distribución que, a través de un sistema de control de varios niveles, asegura el flujo continuo de energía eléctrica hacia los usuarios desde el suministro de las plantas generadoras con energía primaria, las transformaciones de energía, el transporte y la distribución y todas las actividades técnicas, administrativas y económicas concernientes.

3. LA ENERGIA SOLAR

La energía eléctrica se genera a través de módulos fotovoltaicos, también llamados paneles o plantas solares fotovoltaicas de conexión a red; una de las principales aplicaciones de la energía solar fotovoltaica más desarrollada en los últimos años, consiste en las centrales conectadas a red para suministro eléctrico, así como los sistemas de autoconsumo, fotovoltaico, de potencia generalmente menor, pero igualmente conectados a la red eléctrica.

4. EL POTENCIAL SOLAR

Sobre el territorio de Guatemala incide, cada año, energía solar de alrededor de 200,000 TWh. La tierra usa esta energía para calentar el ambiente, para el crecimiento de las plantas y la evaporación de agua. Captar el 0.05% de este recurso sería suficiente para cubrir la demanda total de energía del país, térmica y eléctrica, las cuales, aparte de los combustibles para el transporte, son las formas de energía más importantes.

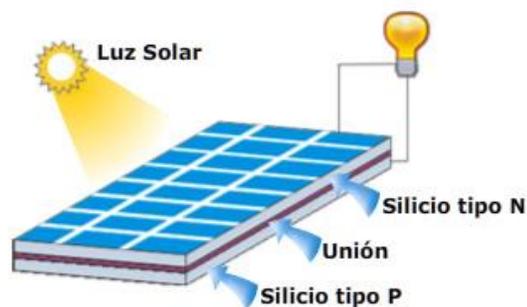
D. ENERGIA SOLAR EN GUATEMALA

Actualmente, la tecnología permite convertir la energía directa de un modulo solar en corriente alterna, sincronizándola con la energía de la empresa eléctrica que provea este servicio que, en Guatemala, puede ser ENERGUATE y la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA). La sincronización consiste en igualar el voltaje y la frecuencia de la energía producida por los inversores de inyección a la red, con el voltaje y frecuencia de la empresa que provee la energía eléctrica. Una vez el sistema se encuentre sincronizado, el sistema fotovoltaico aumenta levemente el voltaje para cambiar la dirección del flujo eléctrico. No toda la energía solar es aprovechable; actualmente los paneles solares fotovoltaicos poseen eficiencias de aproximadamente 17%; si se obtiene una radiación de 5.5kwh/m², la energía aprovechable es de 0.935 kwh, que corresponde al 17% de eficiencia que puede proveer un panel solar instalado en Guatemala.

Los beneficios esperados incluyen: generar su propia energía, ahorrar dinero, reducir la huella de carbono, ayudar a la conservación del ambiente, aprovechar la tarifa social y ayudar a bajar la energía en todo el país. Utilizar la energía solar fotovoltaica, se ahorra dinero y el excedente de energía lo inyecta al contador para que éste gire al revés.

QUE ES UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Un panel solar o modulo solar es un conjunto de celdas fotoeléctricas unidas en una estructura que conforman un panel solar. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de diferente tipo; así produce un campo eléctrico capaz de generar corriente, que puede ser utilizada como electricidad.



1. TIPOS DE PANELES SOLARES

- 1.1. Mono-cristalino; que parte de una sola célula
- 1.2. Amorfo con células de diferentes formas y tamaños
- 1.3. CIGS con celda cobre, indio, galio-selenio-azufre
- 1.4. Poli-cristalino que parte de varias células

2. QUE ES UN INVERSOR SOLAR

Un inversor fotovoltaico es un sofisticado equipo electrónico, que convierte la energía de corriente continua procedente de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Son 2 tipos de inversores los conectados a la red "on grid" y los desconectados "off grid".

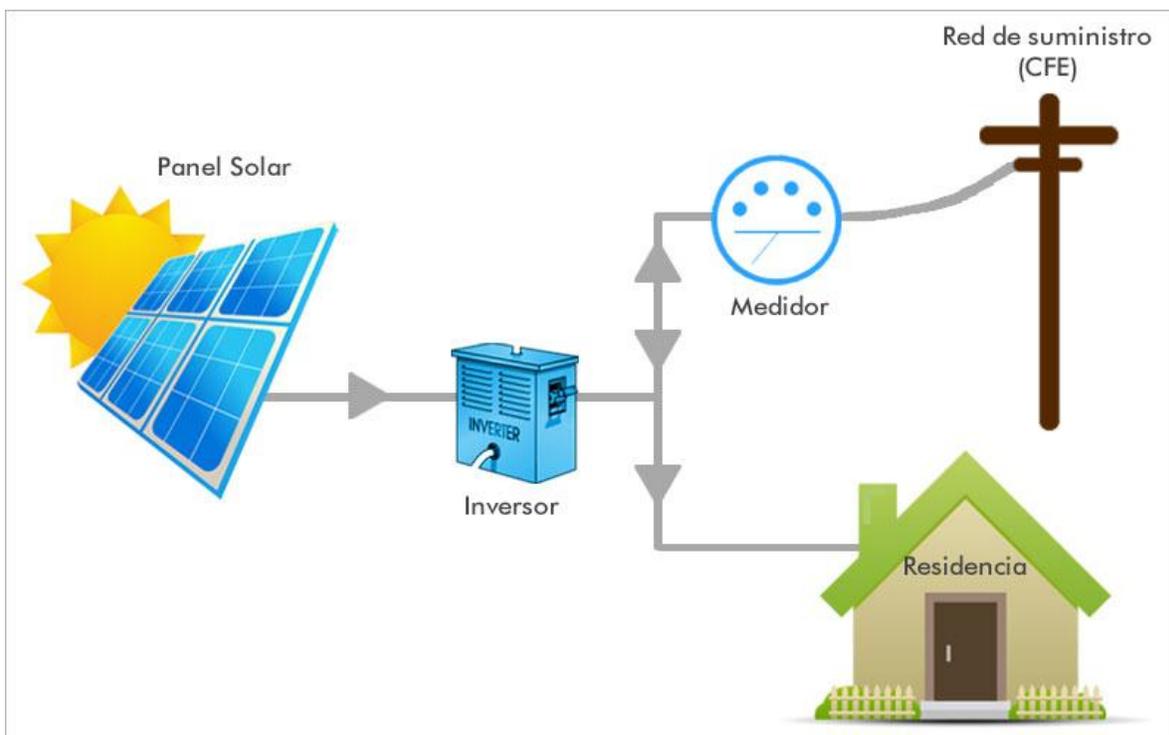
La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua desde los paneles solares, a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y

frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Específicamente, los inversores “off-grid” están diseñados para instalaciones aisladas, sin conexión a la red; ellos entregan la electricidad en corriente alterna al voltaje y frecuencia en que operan normalmente los equipos eléctricos.

DESCRIPCION SISTEMAS CONECTADOS A LA RED “ON GRID”

Son los inversores que permiten conectar la energía de corriente alterna generada a partir de la conversión desde los paneles solares, directamente a la red eléctrica, en forma sincronizada con el mismo voltaje y frecuencia.

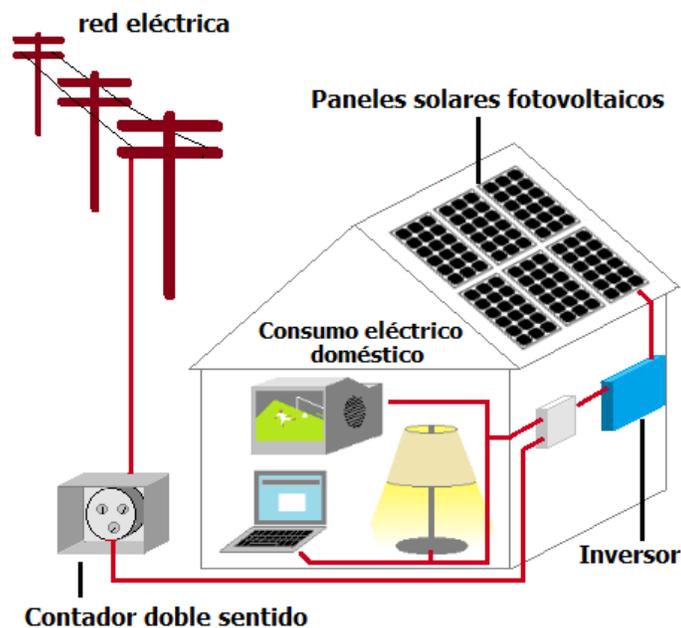
Esto quiere decir que la energía producida por los paneles durante el día va conectada directamente a la red eléctrica de distribución local.



3. DESCRIPCION DE SISTEMAS DESCONECTADOS A LA RED “OFF GRID”

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua desde los paneles solares a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Específicamente los inversores off-grid están diseñados para instalaciones aisladas, sin conexión a la red; y entregan la electricidad en corriente alterna al voltaje y frecuencia en que operan normalmente los equipos eléctricos. En el caso de Guatemala 120/240 VAC monofásico a 60HZ, el sistema aislado se compone de otros componentes como el controlador de carga o regulador y el banco de baterías.

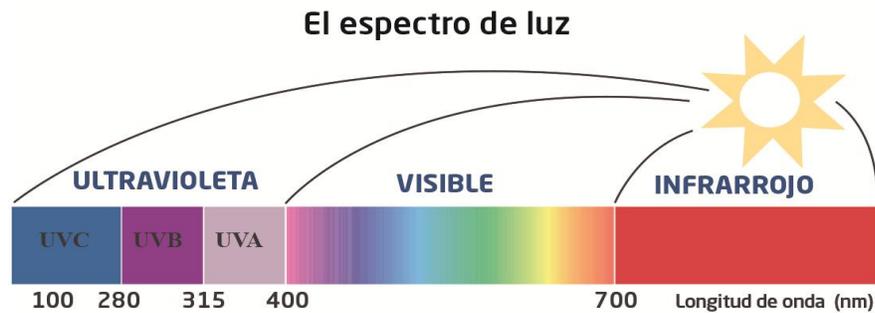


3.1. EL SOL

El sol es la estrella más próxima a la Tierra, la fuente energética desde los primeros tiempos, y ocupa la posición central del sistema que lleva su nombre; y dista de la Tierra una media de 149,5 millones de kilómetros. El sol irradia su energía cada segundo en todas las direcciones y mantiene una constante solar de $1,367 \text{ W/m}^2$.

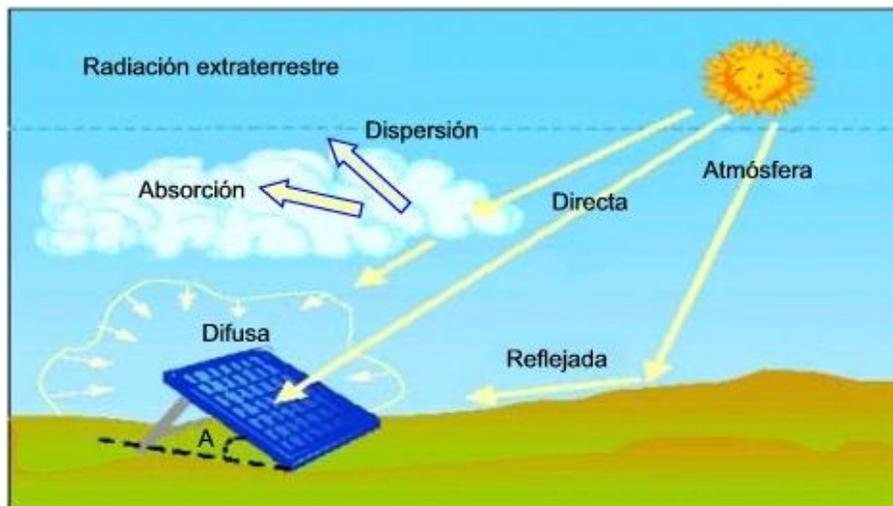
3.2. ESPECTRO SOLAR

- Los rayos ultravioleta: no son visibles y tienen muy pequeña longitud de onda.
- Los rayos luminosos: son los únicos visibles, su longitud de onda corresponde al violeta y al rojo, respectivamente, ya que varía entre 360 y 760 nanómetros.
- Los rayos térmicos o caloríficos: tampoco son visibles y su longitud de onda es mayor de 760 nanómetros y son los rayos infrarrojos.

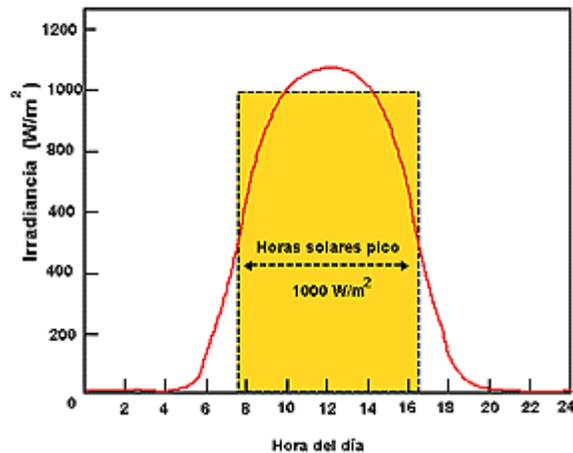
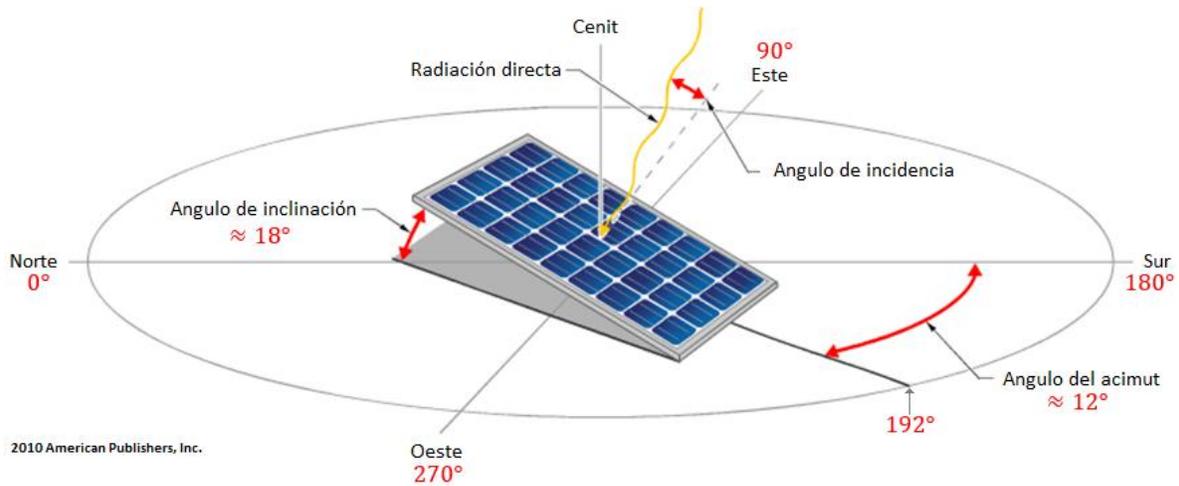


3.3. COMPONENTES DE LA RADIACION SOLAR QUE INCIDEN SOBRE LOS PANELES FOTOBOLTAICOS

- Radiación directa
- Radiación difusa
- Radiación de albedo o reflejada



Posición de los Captadores Solares Fotovoltaico-Horas pico del Sol

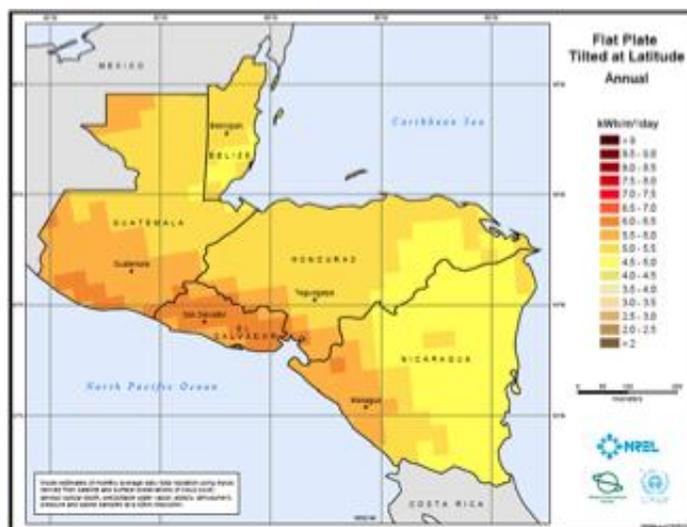


3.4. INSTRUMENTOS DE MEDICION DE LA RADIACION SOLAR

- Piranómetro
- Piroheliómetro
- Heliógrafo
- Albedómetro
- Medidor de irradiación

3.5. RADIACION SOLAR

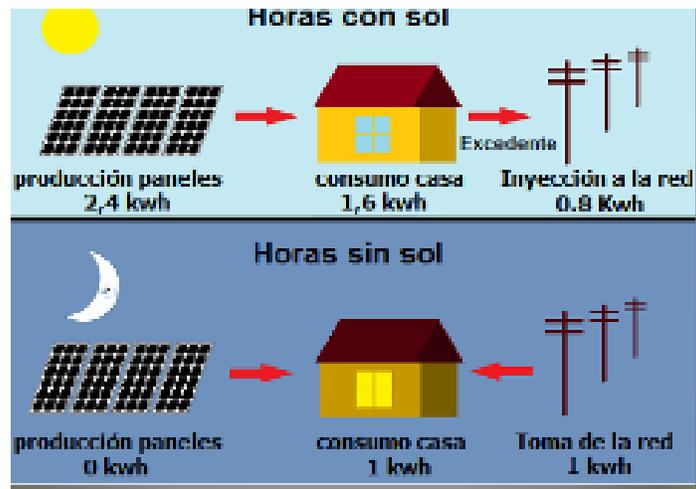
Para Guatemala, se tiene un promedio de radiación solar entre 5.0 a 6.0 $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ dependiendo de la región.



EL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO INYECTADO A LA RED

Hasta hace poco tiempo, en muchos países, legalmente, solo era posible instalar paneles solares para autoconsumo en viviendas, empresas o instalaciones que no tuvieran la posibilidad de conectarse a la red eléctrica. La producción de electricidad y su distribución solo estaba autorizada a las compañías eléctricas, razón por la cual el modelo eléctrico imperante en el mundo es el de las grandes centrales de producción eléctrica que, a través de complejos sistemas de transporte, lo distribuyen a los consumidores.

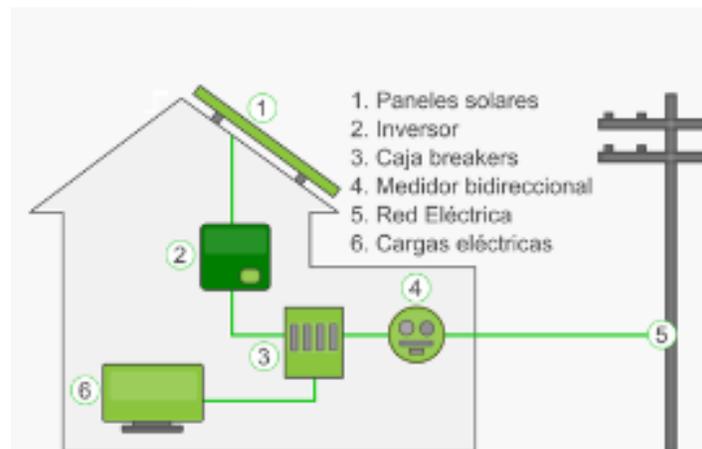
Esa situación, ha empezado a cambiar en los últimos años y algunos países han avanzado legislativamente para permitir, a particulares y empresas que no están en lugares remotos, la instalación de sistemas de energías renovables que generan electricidad para autoconsumo y/o para inyectarla a la red eléctrica. Uno de los esquemas más interesantes y quizá el de mayor futuro, es el que se ha venido a llamar de medición neta, saldo neto o balance neto que también es conocido con el término de Net Metering, en inglés.



BALANCE NETO

- Consumo total día vivienda 2.6 kwh
- Producción de los paneles 2.4 kwh
- Inyección a la red 0.8 kwh
- Toma de la red 1 kwh
- Diferencia ($1\text{kwh} - 0.8\text{kwh} = 0.2\text{kwh}$) es el volumen de electricidad que cobra la compañía eléctrica
- Porcentaje de ahorro: 92.30 %
- Porcentaje tomado de la red 7.70%

COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO INYECTADO A LA RED



II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La crisis energética es un problema que afecta a todos; un ejemplo de esto es el aumento de los costos de la energía eléctrica. Por ello, desde un tiempo a esta parte, ha surgido interés por buscar alternativas que permitan reducir estos costos.

Para reducir costos existen dos opciones de mayor aceptación: la primera es usar de forma eficiente y conciente la energía, a través de dispositivos eléctricos y electrónicos eficientes, con aplicación de medidas de ahorro como, por ejemplo, apagar las luces que no se están utilizando y otras asociadas; la segunda opción es utilizar algún tipo de energía alternativa disponible de forma natural (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.) y, que pueda ser aprovechada para convertirla en energía eléctrica.

Pues bien, el problema que aquí se plantea está dado por el elevado consumo de energía eléctrica a causa del mal aprovechamiento de ésta, junto con la dependencia de centrales hidroeléctricas o de aquellas que utilizan combustibles para la generación de electricidad; para lo cual es necesario buscar una forma alternativa de abastecimiento técnicamente factible y económicamente viable que permita reducir el consumo y los costos por este concepto.

Se propone el caso puntual de un proyecto de implementación de Árboles Solares que podrán reducir los problemas anteriormente mencionados y al mismo tiempo ayuda a la conservación del medio ambiente.

III. JUSTIFICACIÓN

Las posibilidades son muchas en cuanto al uso social que se les puede dar a los árboles solares, incluso en el pasado, se diseñaron prototipos móviles, que pudieran ser utilizados en cualquier lugar para cargar aparatos electrónicos portátiles, si se sale de viaje como a la playa, la montaña o el bosque.

La cantidad de energía eléctrica que se utiliza en la Universidad de San Carlos de Guatemala, aumenta gradualmente año con año. No solo por el incremento de la población en el campus, sino por la introducción de nuevas tecnología empleadas en la enseñanza/aprendizaje, que requieren de este recurso. Las facturas de energía eléctrica pueden reducirse si se utilizan medios alternativos de energía, considerando a los árboles solares como una opción.

Se pretende utilizar árboles solares para el uso de energías renovables en la vida cotidiana. Iluminar pasillos del Campus Central de la USAC, así como su instalación en áreas de mayor afluencia estudiantil para recargar tablets, laptops, celulares y más. Y poder contribuir a la conservación de nuestros recursos naturales.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Realizar una propuesta de proyecto de instalación de árboles solares en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

B. Objetivos Específicos

- Determinar el costo de inversión aproximado del proyecto.
- Conocer la aceptación del proyecto por parte del personal administrativo de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Establecer la mejor ubicación de los paneles solares en el Campus Central. (Por medio de un plano y estudio de la salida y ocultación del Sol).

V. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se requiere de métodos, técnicas e instrumentos de acuerdo a los siguientes puntos:

- Tipo de estudio: exploratorio
- Universo: empresas encargadas de la distribución de paneles solares y sus componentes.
- Población: Universidad de San Carlos de Guatemala
- Muestra: La población Estudiantil, docentes y personal administrativo de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el Campus Central es de aproximadamente 80,000 personas.

Variables

✓ **Variables independientes**

Utilización de energía limpia por medio de la energía solar fotovoltaica.

✓ **Variables dependientes**

Utilización de energía solar fotovoltaica.

Ubicación de los Arboles Solares.

Necesidad de puntos de conexión de corriente continua.

Necesidad de acceso de energía solar

Definidos los puntos anteriores, se utilizaron los siguientes métodos, técnicas e instrumentos para la realización de la investigación:

A. Método

De acuerdo a la estructura de la investigación, para la elaboración del marco teórico se recabó y analizó información a través de dos métodos que son:

- Científico
- Analítico-sintético

B. Técnicas

Observación directa: técnica elegida para la consecución del tercer objetivo planteado en esta propuesta, ya que es necesario determinar estratégicamente la ubicación de los paneles y para ello es necesario recorrer todas las posibles áreas dentro del campus, donde esto puede llevarse a cabo.

Entrevista: para conocer la aceptación del proyecto por parte del personal administrativo se entrevistó a las personas involucradas en el proceso y a los que pudieran beneficiarse del proyecto, por lo que esta técnica fue bastante eficiente para tales fines.

C. Instrumentos

Encuesta: para aquellas personas a las cuales no se tuvo oportunidad de entrevistar, se le envió por vía electrónica una encuesta guiada que permitió obtener la misma información que con la entrevista.

Cuadros de vaciado: toda la información recabada fue almacenada ordenadamente en cuadros de vaciado dentro de un procesador para facilitar el análisis e interpretación de la misma.

**VI. RESULTADOS
ANÁLISIS DE PROPUESTA
DE INSTALACIÓN,
PANELES SOLARES**

Se realizó un análisis del comportamiento de la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, velocidad del aire, temperatura de la tierra, calefacción de la tierra y el enfriamiento de la misma en la ciudad capital de Guatemala durante los 12 meses que comprende el año con el fin de tener un mejor panorama del tipo de panel fotovoltaico a utilizar; así como, de sus dimensiones y de la elevación que tendrá que tener el sistema para funcionar adecuadamente.

Tabla 2: Informe de la meteorología de energía solar en la superficie en la ciudad capital de Guatemala

MES	Temperatura Aire promedio	Humedad relativa	Radiación Solar	Presión Atmosférica	Velocidad Del Aire	Temperatura de la Tierra	Calefacción Grados-día	Enfriamiento Grados-día
	Oc	%	kWh/m ² /d	Kpa	m/s	oC	oC*d	oC*d
Enero	21.3	64.00%	5.18	93.2	4.4	22.7	0	359
Febrero	22.6	59.50%	5.73	93.1	4.2	24.7	0	361
Marzo	23.8	57.10%	6.02	93	3.8	26.8	0	433
Abril	24.8	61.20%	6.05	93	3.5	27.7	0	443
Mayo	23.9	73.00%	5.48	92.9	3.1	26.1	0	437
Junio	23.2	80.10%	5.16	93	3	24.4	0	404
Julio	23.1	76.00%	5.45	93.1	3.3	24	0	417
Agosto	23.3	76.30%	5.34	93	3.2	24.1	0	419
Septiembre	22.7	80.40%	4.73	93	2.8	23.6	0	392
Octubre	22.3	78.00%	4.76	93	3.5	23	0	390
Noviembre	21.9	71.30%	4.9	93.1	3.8	22.8	0	366
Diciembre	21.3	67.70%	4.95	93.2	4.2	22.3	0	360
Anual	22.8	70.40%	5.31	93	3.6	24.3	0	4781

Fuente: Datos experimentales

La instalación de energía solar fotovoltaica conectada a la red produce energía eléctrica a partir de los paneles solares y en tiempo real la inyectan a la red de distribución.

En este tipo de instalación la energía eléctrica generada por los paneles, no se acumula en baterías, sino que se consume o se vierte directamente en la red.

DESCRIPCION DE LA OBRA: ESTRUCTURALES Y ELECTRICAS

Un árbol de siete paneles puede generar un máximo de 1,4 kilovatios, suficientes para hacer funcionar 35 ordenadores portátiles. Una batería almacena el exceso de energía para iluminar la zona por la noche y proporcionar energía de reserva en los días nublados.

El Sistema Solar que se tiene planificado montar como proyecto básicamente consiste en:

- Una estructura de soporte integrada en obra civil y metálica en forma de árbol, con techo, para soporte de carga y peso del sistema solar fotovoltaico.
- Un sistema solar fotovoltaico conformado por los paneles solares, inversor, contador bidireccional, control de producción del sistema.
- Un sistema eléctrico constituido por todo el equipo eléctrico que forma parte del sistema y que comprende desde la generación eléctrica, hasta su inyección en la red, protecciones y flipones, cableado y switches.

ESTRUCTURAS SOLARES

- Es uno de los factores más importantes de las instalaciones solares
- Existen montajes al nivel del suelo y el techo (los más comunes)
- Es uno de los factores que más inciden para el aprovechamiento solar
- En sistemas industriales o de gran tamaño existen los campos o granjas solares
- En sistemas de baja capacidad se aprovechan estructuras con doble o mas finalidades
- En la USAC cumple con los objetivos de protección y generación eléctrica

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS ESTRUCTURAS SOLARES

- Deben de soportar fuertes vientos (100km/h – 159km/h)
- Resistentes a la corrosión (acero galvanizado, aluminio)
- Aceros inoxidable en ciertos casos
- Conexión a tierra.

ESTUDIO FINANCIERO

En esta sección se presentan los principales aspectos que inciden en la inversión del sistema solar fotovoltaico dentro del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como los criterios para su evaluación e indicadores financieros.

LAS INVERSIONES DEL PROYECTO

Inversión Inicial

La inversión inicial para un proyecto de generación fotovoltaico se compone de los paneles solares fotovoltaicos, las baterías, los reguladores, los inversores y las obras civiles que se necesitan para la puesta en marcha del proyecto.

Paneles Solares y Baterías

La inversión de los paneles solares y las baterías está dada por el producto entre la cantidad y el precio unitario del mismo. Se pueden recibir descuentos, dependiendo del proveedor o intermediario, en función de la cantidad que se compre. Por lo tanto, el precio unitario de los paneles y las baterías que se presenta en la siguiente tabla, puede variar de acuerdo a la cantidad que se compre; entre más grande la cantidad el precio disminuye, de igual forma si la cantidad es menor el precio aumenta. Además, en la elaboración del presupuesto se toma en consideración lo siguiente: el precio de los elementos en el exterior, los posibles costos de importación, impuestos, aranceles y transporte.

Tabla 3: **Presupuesto del equipo del sistema solar fotovoltaico**

RUBRO	COSTO TOTAL
Fundición de bases en concreto y bancas	Q 3,500.00
Fabricación e instalación de vigas principales	Q 1,750.00
Fabricación e instalación de costanera de soporte de paneles	Q 3,000.00
Fabricación e instalación de platinas de marcos y columnas	Q 750.00
Angulares y uniones de paneles	Q 1,200.00
Sierras, electrodos, soldaduras, pintura, etc.	Q 1,125.00
Cableado, tomacorrientes, bombillas led, etc.	Q 900.00
Sub total de estructura	Q 12,225.00

Fuente: Datos experimentales

Tabla 4: **Presupuesto de obra civil**

RUBRO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Panel sola Kyocera KD 185 GX	24	Q 2,145.00	Q 51,480.00
Inversor Sunny BOy SMA 3000US	1	Q 17,550.00	Q 17,550.00
Subtotal sistema solar fotovoltaico			Q, 69,030.00

Fuente: Datos experimentales

Tabla 5: Presupuesto del sistema eléctrico para el sistema solar fotovoltaico

RUBRO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Breaker principal	1	Q 440.00	Q 440.00
Flip-on de protección	3	Q 45.00	Q 135.00
Switch principal de alimentación	1	Q 640.00	Q 640.00
Cableado para acometida principal 8	40	Q 7.80	Q 312.00
Cableado para acometida switch inv.	12	Q 7.80	Q 93.60
Medidor eléctrico bidireccional	1	Q 3,603.00	Q 3,603.00
Tubería condulet o ducton	25	Q 12.25	Q 306.25
Cajas de conexión plásticas	4	Q 74.25	Q 297.00
Cableado para aterrizar el sistema	10	Q 6.25	Q 62.50
Materiales eléctricos varios	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
Total presupuesto eléctrico			Q 7,389.95

Fuente: Datos Experimentales

Tabla 6: Resumen del costo total del proyecto

RUBRO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Estructura de obra civil	6	Q 73,350.00
Equipo sistema fotovoltaico	1	Q 69,030.00
Sistema eléctrico fotovoltaico	6	Q 44,339.70
Total		Q 186,719.70

Fuente: Datos Experimentales

ACEPTACIÓN DEL PROYECTO

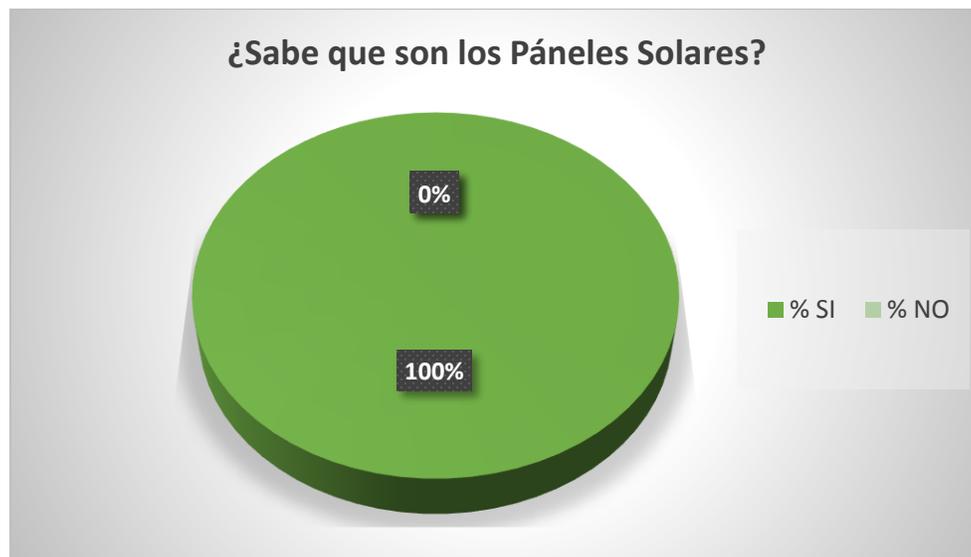
Se diseñó una encuesta que incluye información sobre el uso de los paneles solares, factibilidad y aceptación de estos en el Campus Central, de la USAC. Se tabularon los resultados y, de acuerdo a la opinión de las diferentes autoridades de la Universidad se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 7: **Conocimiento de los paneles solares**

Paneles solares	% SI	% NO
	100	0

Fuente: Datos experimentales.

Grafica No. 1 Conocimiento de los Paneles solares.



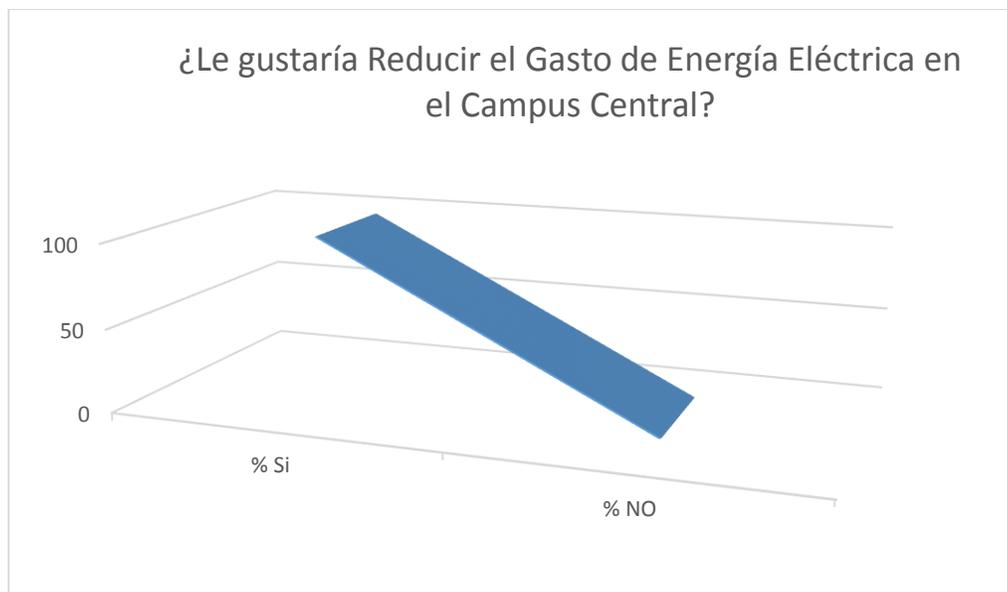
Fuente: Datos Experimentales (Universidad de San Carlos de Guatemala).

Tabla 8: Aceptación de un proyecto para reducir gasto de energía eléctrica

Le gustaría Reducir el gasto de energía eléctrica	% Si	% NO
	100	0

Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No. 2: Aceptación de un proyecto en el cual el costo de la energía se redujera y a la vez conservar más nuestro Medio Ambiente.



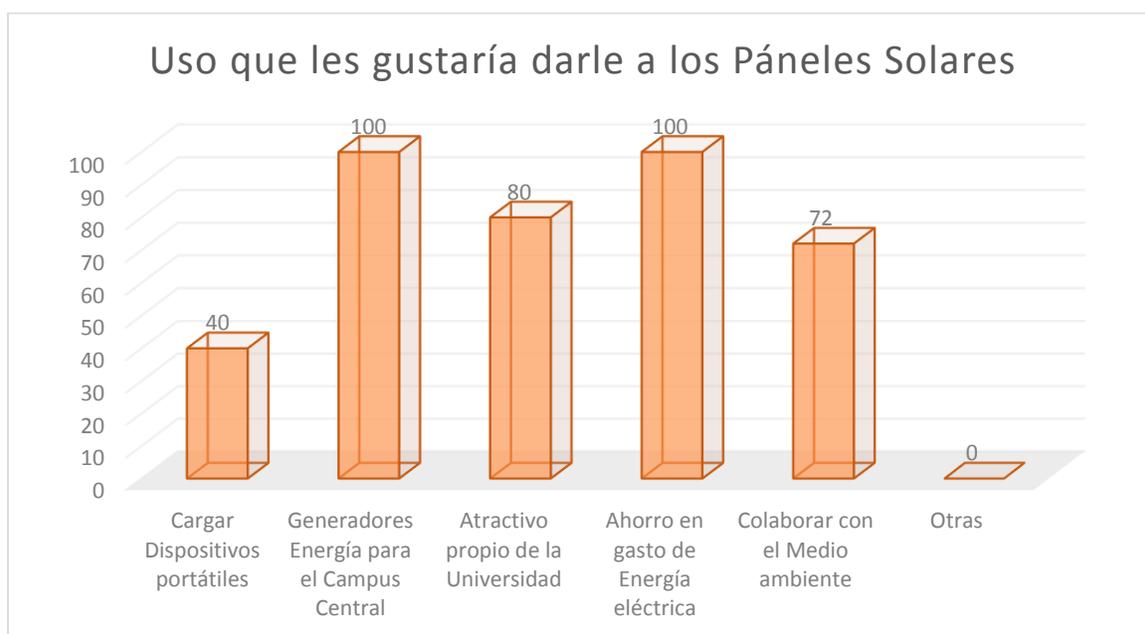
Fuente: Datos Experimentales (Universidad de San Carlos de Guatemala).

Tabla 9: Posible uso de los paneles solares

Uso de los paneles solares	% Respondieron
Cargar Dispositivos portátiles	40
Generadores Energía para el Campus Central	100
Atractivo propio de la Universidad	80
Ahorro en gasto de Energía eléctrica	100
Colaborar con el Medio ambiente	72
Otras	0

Fuente: Datos Experimentales.

Gráfica No. 3: Uso de los Paneles Solares en la Universidad de San Carlos de Guatemala



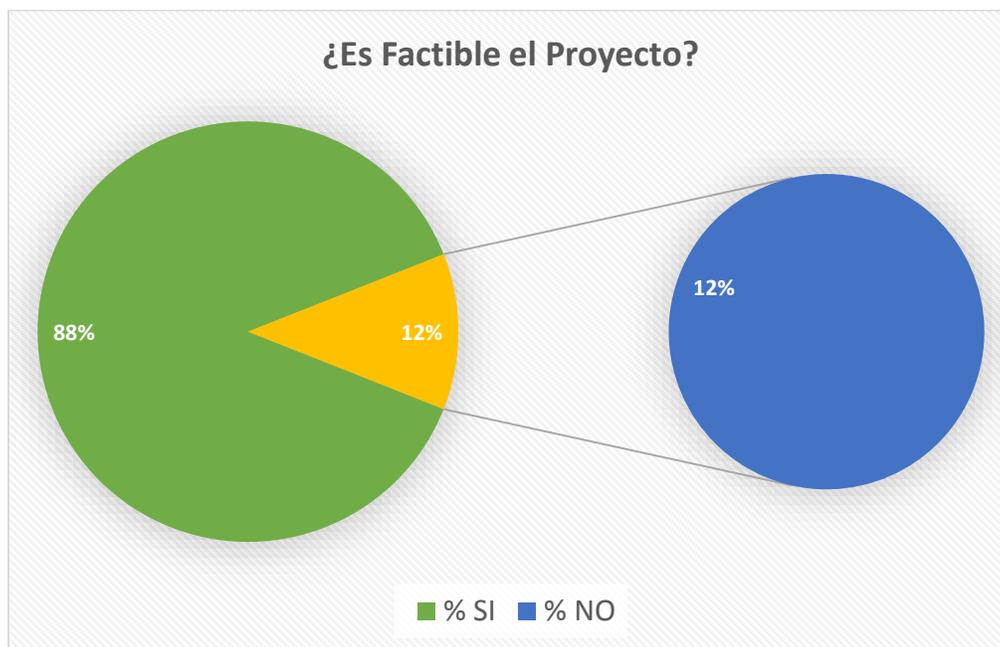
Fuente: Datos Experimentales (Universidad de San Carlos de Guatemala).

Tabla 10: **Consideración de factibilidad del proyecto**

Sería factible Implementar este proyecto	% SI	% NO
	88	12

Fuente: Datos Experimentales

Gráfica No. 4: Factibilidad de la Implementación de Paneles Solares en el Campus Central



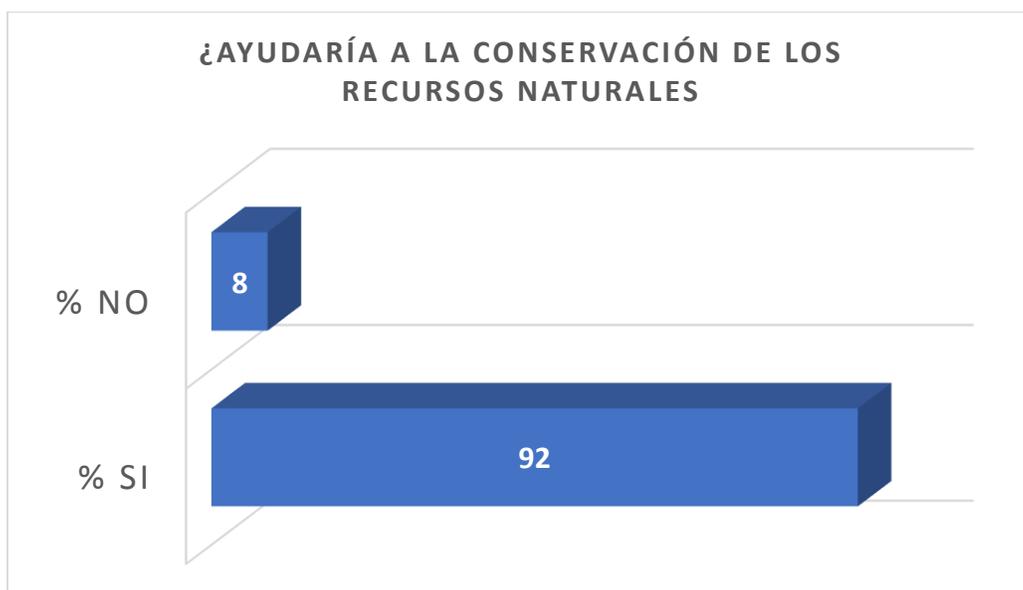
Fuente: Datos Experimentales (Universidad de San Carlos de Guatemala).

Tabla 11: **Colaboración del proyecto en conservar los recursos naturales**

Ayudaría a la conservación de los Recursos Naturales	% SI	% NO
	92	8

Fuente: Datos Experimentales.

Gráfica No. 5: **Colaboración del Proyecto en la Conservación de los Recursos Naturales**



Fuente: Datos Experimentales (Universidad de San Carlos de Guatemala).

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo se realizó como una propuesta de instalación de árboles solares en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, debido a la alta demanda de energía que se tiene por parte del sector estudiantil para la recarga de equipos portátiles de cómputo y gadgets; así como por la necesidad de utilizar energía limpia, y buscando generar más energía sin tener un costo extra en las facturas de pago por este servicio.

Se realizó una encuesta entre las principales autoridades de la Universidad de San Carlos, con el fin de conocer su opinión sobre los árboles solares y, poder así, convertirlo en un proyecto viable, tomando en cuenta la demanda actual de energía eléctrica de la población universitaria. En la gráfica No. 1, se muestra que todos los encuestados tienen conocimiento sobre este tema, además que la mayoría respondió que si le gustaría implementar la utilización de energía limpia y la ampliación de puntos de conexión para corriente sin costo extra; esto se debe a que actualmente se habla mucho sobre el cuidado del medio ambiente y la adecuada utilización de los recursos naturales.

Este tipo de proyectos son factibles, debido a que se analiza el costo y la implementación y es fácil conseguir instituciones o la misma universidad para invertir en estos proyectos que ayudan al medio ambiente. Además que existen varias instituciones que invierten año con año en proyectos de innovación y tecnología tal es el caso de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT y, la Dirección General de Investigación, DIGI, de la USAC. El costo de inversión de este proyecto es de aproximadamente Q186,719.70 el cual generaría 1.4 kilovatios por cada árbol solar, en total se propone instalar 6 árboles solares. Esta cantidad de kilovatios son suficientes para hacer funcionar 35 ordenadores portátiles.

Generar esa cantidad de kilovatios es importante, debido a que existen en la universidad 75,000 estudiantes, quienes usan teléfono celular; además, más o menos la mitad de las personas poseen ordenadores portátiles. Esto sería un beneficio para la población

estudiantil, debido a que actualmente existen muy pocos puntos de conexión a energía eléctrica.

La mejor ubicación para colocar estos árboles solares está en función del tiempo que les dé la luz solar, el ángulo en que se refleje la luz en los paneles y donde exista viento con menor velocidad. Esto es indispensable conocerlo para poder instalarlos y obtener su máxima capacidad. Los lugares que se eligieron para instalar los árboles solares son los siguientes: la Plaza de los Mártires; Plaza Alejandro Cotí, de la Facultad de Ingeniería; Área libre entre la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales y la Escuela de Ciencia Política; en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias; y enfrente al edificio de la Dirección General de Administración. Estos puntos se seleccionaron también, por la cantidad de estudiantes que tiene cada facultad y que la mayoría porta dispositivos electrónicos como celulares y ordenadores portátiles.

Este proyecto se considera importante porque puede contribuir a la reducción de costos; además de proporcionar un mejor servicio a los estudiantes de la universidad de manera limpia e innovadora. Sería de beneficio también para la sociedad en general y, se podría implementar en otras instituciones públicas, para contribuir al buen uso de los fondos económicos y a la conservación de los recursos naturales del país.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se realizó una propuesta de proyecto de instalación de árboles solares en el Campo Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Se determinó el costo de inversión que es de Q186,719.70, aproximadamente, para realizar este proyecto.
3. Se conoció la aceptación del proyecto por parte del personal administrativo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual el 100% si le gustaría reducir gastos de energía eléctrica en el Campus Central.
4. Se estableció que la mejor ubicación para colocar los paneles solares son la Plaza de los Mártires, Plaza Alejandro Cotí de la Facultad de Ingeniera, Área libre entre la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales y la Escuela de Ciencia Política ,en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias y enfrente al edificio DIGA.

IX. RECOMENDACIONES

1. En Guatemala, la mayor limitante para proyectos que involucran nuevas tecnologías, es la escasa fuente de información. No hay muchas empresas que se dediquen a la venta de equipo para la instalación de árboles solares, tampoco hay variedad de estudios realizados en el país que comprueben la eficiencia de los mismos. Por tanto, es necesario emplear más tiempo en la investigación de proyectos, iguales o similares, implementados en otros países; así como, solicitar cotizaciones a varias empresas nacionales y extranjeras, para contrarrestar la incertidumbre en la eficiencia de la implementación de proyectos de esta índole y en el costo total de inversión.
2. Para futuras investigaciones, se recomienda analizar la optimización del diseño teniendo datos más exactos, especialmente de la reducción de energía y recursos en el momento de la implementación en las distintas zonas del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Los sistemas fotovoltaicos están en constante investigación y optimización a lo largo de todo el mundo; además de que día a día su uso va en aumento, lo que hace que el precio de los materiales que los constituyen disminuya gradualmente a lo largo del tiempo, especialmente cuando se habla de paneles solares, ya que estos han reducido su precio en los últimos años.
4. Los proyectos como este, en el que el uso de la tecnología puede contribuir con el desarrollo sostenible, pueden ser presentados ante ciertas instituciones para obtener el financiamiento que permita la instalación de los árboles solares que se propone. Entre estas instituciones está el Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología, CONCYT, y la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala DIGI/USAC.

X. BIBLIOGRAFIA

1. Agencia internacional de energía – AIE -. *Solar energy perspectives: executive summary*. OECD/IEA, 2011.
2. Agencia internacional de energía – AIE -. *Snapshot of Global PV Market: Photovoltaic power systems programme*. PVPS/IEA, 2014.
3. CODESO. *Energía Solar Fotovoltaica*. Ecuador: febrero 2001
4. Comisión nacional de energía eléctrica – CNEE - , *Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR – y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía*. 24-10-2008. Guatemala: 24 de noviembre de 2008
5. Comisión nacional de energía eléctrica –CNEE-, *Tarifa de Consumo Eléctrico, Resolución CNEE 18 -2005*. Guatemala: 31 de enero de 2005.
6. Consernegy biotek. Disponible en web: www.consernegybiotek.com
7. De León Morales, Víctor. *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio del aprovechamiento*. Facultad de Ingeniería. USAC. 2008
8. Dirección general de energía, *Guía para la presentación de solicitudes de autorización definitiva para utilizar bienes de dominio público para la instalación de centrales generadoras utilizadoras de energías renovables no tradicionales*. Guatemala: Octubre 2005
9. Dirección general de energía, ley general de electricidad. *Guía para la presentación de solicitudes de autorización definitiva para utilizar bienes de dominio público para la instalación de centrales generadoras utilizadoras de*

energías renovables no tradicionales., Artículo No. 4. Guatemala: Marzo 2001

10. Guatemala. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68- 86.
11. Ley general de electricidad. Acuerdo Gubernativo No. 68-2007 Ampliación Artículo No. 39. Guatemala: febrero 2007
12. Ley general de electricidad. *Decreto No. 93-96*. Guatemala: enero 1996
13. López López, Luis, *Panel solar hibrido fotovoltaico/ térmico con incremento de eficiencia en sistema fotovoltaico*, [en línea]. Disponible en web: <http://panelsolarhibrido.es>
14. Ministerio de energía y minas, dirección general de energía, *Decreto Número 52-2003 Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Acuerdo Gubernativo No. 211-2005, Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable*. Guatemala: Marzo 2003
15. Ministerio de energía y minas – MEM -. *Reglamento orgánico interno del ministerio de energía y minas, acuerdo gubernativo número 620-2003*. MEM. Guatemala: Marzo 2003
16. Ministerio de energía y minas – MEM -. *Reglamento de la ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo Número 256-97*. MEM. Guatemala: 21 de marzo de 1,997.
17. Mosquera, Pepa. Toquelau, primer territorio del mundo en obtener toda la electricidad del sol. [en línea]. Disponible en web: <http://www.energias-renovables.com/articulo/tokelau-primer-territorio-del-mundo-en-obtener-20130404>

18. Oliva, Juan Andrés. Energía solar que se transforma en educación. [en línea]. Disponible en web: <http://www.guatevision.com/energia-solar-que-se-transforma-en-educacion/>
19. Ovalle Saenz, Flavio Francisco. *Aplicaciones de energía solar y control de panel fotovoltaico*. Facultad de Ingeniería, USAC. 1993.
20. Perpiñán Lamigueiro, Oscar. *Energía solar fotovoltaica*. Creative Commons, España. 2012. [en línea]. Disponible en web: https://procomun.files.wordpress.com/2012/09/esf_operpinansep2012.pdf
21. Sagastume García, Carlos Humberto. *Estudio de prefactibilidad para una pequeña empresa productora de calentadores de agua mediante paneles solares / Carlos Humberto Sagastume García*. Facultad de Ingeniería USAC. 1993.
22. Swanson, Richard. *Photovoltaics Power Up*. Science. Vol. 324. 2009. [en línea]. Disponible en web: <http://www.sciencemag.org>
23. Teske, Sven. *Informe solar Generation 2008*. Greenpeace. Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA). 2008.

XI. ANEXOS

Anexo 1

Encuesta

Propuesta de Proyecto de Arboles Solares en el Campus Central de la Universidad De San Carlos de Guatemala.

Edad: _____ Sexo: _____

Unidad Académica de Trabajo: _____

Instrucciones: Conteste las siguientes preguntas de acuerdo a su opinión

1. ¿Sabe usted que son los Páneles solares ?

SI NO

2. De acuerdo a la cantidad de estudiantes y personal administrativo que labora en la Universidad de San Carlos de Guatemala, el consumo de energía eléctrica es grande, le gustaría la idea de en un proyecto en el cual el costo de la energía se redujera y a la vez conservar más nuestro Medio Ambiente?

SI NO

3. ¿Cuál es el uso que le gustaría darle a los páneles solares en la Universidad de San Carlos de Guatemala? (Puede marcar más de una opción)

- | | |
|--|--------------------------|
| A) Cargar dispositivos Portátiles (Laptop, Celulares, Tablets) | <input type="checkbox"/> |
| B) Generadores de enegía para iluminar el Campus Universitario | <input type="checkbox"/> |
| C) Atractivo propio de la Universidad | <input type="checkbox"/> |
| D) Ahorro en gasto de energía eléctrica | <input type="checkbox"/> |
| E) Colaborar con el Medio Ambiente | <input type="checkbox"/> |
| F) Otra pruepuesta _____ | <input type="checkbox"/> |

4. ¿Considera factible la implementación de éste proyecto?

SI NO

5. ¿De acuerdo a su opinión, considera que este proyecto ayudaría a la conservación de nuestros recursos naturales?

SI NO

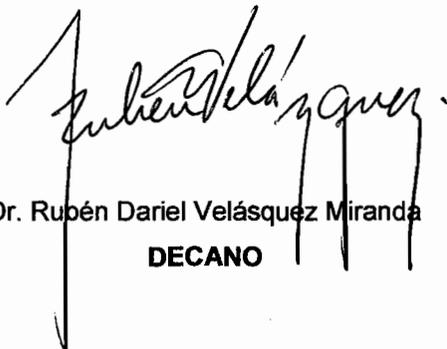
Gracias por su Colaboración



Carlos Humberto Arce Sandoval
AUTOR



MSc. María Ernestina Ardón Quezada
DIRECTORA



Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda
DECANO