



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO COMPLEMENTARIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
DE LA BIBLIOTECA CENTRAL USAC**

**Saira Rosmery Agustin Palacios**

Asesorado por el Msc. Ing. Pedro Julio García Chacón

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO COMPLEMENTARIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA DE LA BIBLIOTECA CENTRAL USAC**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SAIRA ROSMERY AGUSTIN PALACIOS**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. PEDRO JULIO GARCÍA CHACÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

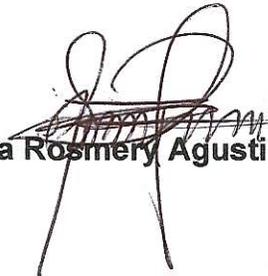
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Roberto Valle González
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
EXAMINADORA	Inga. Miriam Patricia Rubio de Akú
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivóne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO COMPLEMENTARIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
DE LA BIBLIOTECA CENTRAL USAC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 24 de enero 2013.

  
**Saira Rosmery Agustin Palacios**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0005-2013

Guatemala, 24 de enero de 2013.

Director:  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Industrial  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Saira Rosmery Agustín Palacios** con carné número **1999-11200**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

Msc. Ing. Pedro Julio García Chacón.  
Asesor (a)

*Pedro Julio García Chacón*  
INGENIERO AGRÓNOMO  
Colegiado No. 882

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

*Mayra Virginia Castillo Montes*  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



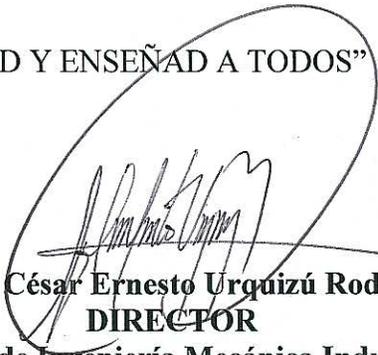
Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.029.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLEMENTARIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA BIBLIOTECA CENTRAL USAC**, presentado por la estudiante universitaria **Saira Rosmery Agustin Palacios**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2013.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLEMENTARIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA BIBLIOTECA CENTRAL USAC**, presentado por la estudiante universitaria: **Saira Rosmery Agustin Palacios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la luz que me ha guiado, la fuente de sabiduría y fortaleza que me ha permitido cumplir mis metas.
<b>Mis padres</b>	Marcelino Agustin Hernández y Josefina Palacios de Agustin. Por ser una fuente de amor inagotable y su ayuda incondicional.
<b>Mi abuela</b>	Juliana Gómez. Por ser un ejemplo a seguir.
<b>Mis hermanos</b>	Rene, Adela, Giovanni, William, Yuliana y Osmar Agustin, por su apoyo incondicional y su amor.
<b>Mis sobrinos</b>	Gabriela, Juan Fernando, Sofía, José, Valentina, Emilio y Jorge Agustin, Andrea y Jimena Recinos.
<b>Mis cuñados</b>	Jorge Recinos, Brenda Veras, Vilma Martínez, Roxana Recinos y Ofelia Villatoro. Por su confianza.
<b>Mis tíos</b>	Marta y Mercedes Gómez, Ismael y Rolando Palacios. Por su apoyo incondicional.

**Mi familia**

En general.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por su infinita misericordia y amor.
<b>Mis padres</b>	Por su apoyo incondicional y sus sabios consejos.
<b>Rolando Palacios y René Agustin</b>	Por ser una fuente de inspiración y un ejemplo a seguir.
<b>A toda mi familia</b>	Por creer en mí.
<b>A mis amigos</b>	Edgar Murga, Luis Pedro Herrera, Angélica Pilo, Josue del Cid, Carlos Rodríguez, Claudia Figueroa, Alejandra Morales, Lilian Velásquez y a todos los que me brindaron su amistad y apoyo incondicional.
<b>A mis amigos de la maestría</b>	Rolando Ramírez, Carlos Rodas, Walter Pacheco, Yanuario Laj, Kennet Estrada, Junnior Mazariegos, Jaime Ríos, Adolfo Macario, Laura Varela, Ronald Rodríguez y a todos los que me brindaron sus conocimientos y su amistad.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas al profesionalismo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. General.....	9
3.2. Específico.....	9
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
6. ALCANCE DEL TEMA.....	15
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	17
7.1. Generación eléctrica.....	17
7.1.1. Radiación solar.....	17
7.1.2. Conversión de radiación solar en energía eléctrica.....	18
7.1.2.1. Celda solar.....	18
7.1.2.2. Tipos de celdas solares.....	19
7.1.2.3. Paneles solares.....	21

	7.1.2.3.1.	Estructura.....	21
	7.1.2.3.2.	Características.....	22
7.2.		Energía solar fotovoltaica.....	24
	7.2.1.	Clasificación de las instalaciones	24
		7.2.2.1. Instalaciones aisladas a la red.....	24
		7.2.2.2. Instalaciones con conexión a la red.....	25
		7.2.2.3. Instalaciones híbridas.....	25
7.3.		Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo.....	25
	7.3.1.	Generador fotovoltaico.....	26
	7.3.2.	Estructura de soporte mecánico para el Generador.....	26
	7.3.3.	Distribución de voltaje.....	26
		7.3.3.1. Regulador de carga.....	27
		7.3.3.2. Inversor.....	27
		7.3.3.3. Cableado.....	27
		7.3.3.4. Protección.....	27
7.4.		Aspectos ambientales.....	28
	7.4.1.	Ventajas.....	29
	7.4.2.	Desventajas.....	30
8.		HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	33
9.		CONTENIDO.....	35
10.		MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	39
11.		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	43
12.		RECURSOS NECESARIOS.....	45
13.		BIBLIOGRAFÍA.....	47

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa solar.....	18
2.	Tipos de celdas solares.....	19

## TABLAS

I.	Historial del consumo de energía del edificio de la Biblioteca Central USAC.....	12
II.	Variables.....	33
III.	Cronograma de actividades.....	43
IV.	Recursos.....	45



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>Cal</b>	Calorías
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>\$</b>	Dólar
<b>h</b>	Hora
<b>kw</b>	Kilowatts
<b>mw</b>	Megawatts
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>Q</b>	Quetzales
<b>volts</b>	Volteos
<b>v</b>	Voltaje
<b>w</b>	Watts



## **GLOSARIO**

<b>USAC</b>	Universidad de San Carlos de Guatemala.
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>VPN</b>	Valor Presente Neto



## **RESUMEN**

El uso de energía eléctrica es fundamental en el funcionamiento de los edificios, tal es el caso del edificio de la Biblioteca Central USAC, en donde derivado de la naturaleza de las actividades que en el mismo se desarrollan, se tiene un alto consumo de energía eléctrica mensualmente, afectando el presupuesto de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Sumado a que la energía utilizada en el edificio es totalmente convencional, implica contribución a la contaminación del ambiente y por ende al cambio climático.

Derivado de la necesidad de disminuir los costos y a la vez la dependencia de la utilización de la energía convencional, se propone el presente diseño de investigación, el cual tiene como objetivo, determinar si la energía fotovoltaica es una alternativa para reducir el consumo de energía convencional del edificio de la Biblioteca Central USAC, a través del diseño de un sistema fotovoltaico complementario con enfoque a la disminución del impacto ambiental.

El diseño de investigación se llevará a cabo a través de un estudio técnico que permitirá conocer la demanda actual del edificio, la infraestructura, equipo, así como la viabilidad económica de utilizar un sistema fotovoltaico complementario, mismo que será de utilidad para impulsar la utilización de energías renovables en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



# 1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es de vital importancia para el desarrollo de la mayoría de las actividades que el ser humano lleva a cabo, por lo que se convierte en un insumo indispensable para el desarrollo económico, social y tecnológico del mismo. Lo anterior aunado al alto consumo de energía, alto costo y la contaminación efecto de la producción de dicha energía, ha impulsado a buscar fuentes alternativas que permitan obtener energía de manera eficiente, con recursos renovables y que no contaminen el ambiente.

Debido a ello han surgido tecnologías que aprovechan las energías renovables, dentro de las cuales se ubica la energía solar fotovoltaica producida a través de la radiación solar. Dicha tecnología está siendo utilizada a gran escala en diferentes países, incluido Guatemala, para el abastecimiento de energía eléctrica en áreas rurales, edificios, plantas de producción, etc., demostrando que es un tipo de energía funcional, eficiente y sobre todo una energía limpia y de bajo costo en cuanto a su producción.

A manera de fomentar el uso de energías renovables, en el presente proyecto se pretende realizar un estudio técnico sobre la energía utilizada en el edificio de la Biblioteca Central USAC, que permita analizar la situación actual de consumo energético del edificio, así como el costo de la misma. Posteriormente, con base al estudio técnico diseñar un sistema fotovoltaico complementario para la reducción de la factura eléctrica, de acuerdo a las necesidades que se determinen.

El proyecto de investigación consta de cinco fases, siendo las siguientes:

1. Antecedentes: este apartado describirá la situación de las energías renovables de Guatemala, así como de la posible tecnología disponible y situación energética del edificio en estudio.
2. Marco teórico: descripción de conceptos teóricos relacionados con la energía solar fotovoltaica, generación eléctrica, diseño del sistema fotovoltaico, así como aspectos ambientales.
3. Auditoría energética: se llevarán a cabo mediciones que permitan determinar la situación del sistema eléctrico y de iluminación, para realizar el diagnóstico de la demanda de energía.
4. Diseño del sistema fotovoltaico: determinación de los componentes ideales para el funcionamiento del sistema, así como la ubicación del mismo. Elaboración de planos y diagramas del proyecto. A la vez se propondrá un plan de mantenimiento del sistema.
5. Análisis económico: evaluación económica de los factores principales a considerar tales como costos del proyecto, valor presente neto, tasa interna de retorno, costo de mantenimiento entre otros.

## 2. ANTECEDENTES

En las últimas décadas se ha desarrollado una manera de aprovechar la energía solar directamente y transformar de una fuente renovable y sin emisiones a energía eléctrica. La energía solar ha protagonizado en los últimos años una progresión debido a las mejoras de la tecnología, asociada a la reducción de costes y principalmente al interés mostrado por las diferentes administraciones en distintos países.

“El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica. En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%”, (Spain 4 all – Guia General de España, 2012).

“La energía solar fotovoltaica se plantea como una solución para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, cada kilovatio de energía solar generada deja de emitir 0,311 kilogramos de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Por este motivo los gobiernos hacen énfasis en el uso de energías renovables y la más proliferada es la fotovoltaica. Australia y Estados Unidos están construyendo las más grandes plantas fotovoltaicas. En 2011, Deming, Nuevo México, (Estados Unidos de Norteamérica estaba en construcción una planta de 300 megavatios, 5 veces la planta en funcionamiento hoy día y en Gila Bend, Arizona en el mismo año entró en funcionamiento una planta de 280 megavatios. En Australia (Mildura, Victoria) se está construyendo una planta de 154 megavatios. El objetivo del gobierno australiano es llegar a 270.000 megavatios mediante

generación fotovoltaica para el año 2020”, (Spain 4 all – Guia General de España, 2012).

“España hasta septiembre de 2007 tuvo un vertiginoso crecimiento de plantas fotovoltaicas conectadas a la red, sin embargo la actual normativa gubernamental, además de reducir el precio de compra ha limitado la cantidad de megavatios instalados por trimestre para la implementación de plantas solares fotovoltaicas. El motivo de esta reducción es la carencia de redes eléctricas”, (Spain 4 all – Guia General de España, 2012).

“En Estados Unidos de América, el Centro de Convenciones de Atlantic City firmó un acuerdo de 20 años con Pepco Energy Services para un techo solar de 2.36 megawatt instalado en el edificio, se estima que el proyecto del edificio de energía solar será el más grande de América. Esto es 13.321 paneles fotovoltaicos cubriendo casi dos tercios del edificio y ahorrando casi 4.4 millones de dólares en costos de electricidad por el acuerdo de 20 años. Bajo los términos del acuerdo entre el centro de convención y Pepco, Pepco pagará la instalación y el centro de convención comprará la electricidad generada por Pepco. Los detalles financieros del proyecto multi millonario no ha sido liberado. La instalación está lista para comenzar dentro de 30 días y ser completado a fines de este año”, (Mundo Solar, 2012).

El proyecto Renault en su estrategia para reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> y en el marco de su plan estratégico lanza, junto a Gestan Solar, el mayor proyecto de energía fotovoltaica dentro del sector del automóvil. Con este proyecto la marca francesa afirma poder reducir 30.000 toneladas de CO<sub>2</sub> gas al año, con lo cual se pretende haber reducido la huella de carbono en un 10% en el 2013 y un total del 20% para el año 2016. Los 450,00 m<sup>2</sup> de placas solares cuyo aporte energético equivale al consumo anual de una ciudad de

15.000 habitantes, la inclusión de políticas ecológicas en los planes estratégicos de las firmas automovilísticas, (Mario Herraiz, 2011).

El proyecto de iluminación domiciliar a través de sistemas fotovoltaicos localizado en la aldea Llano Grande, municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa actualmente beneficia a 67 familias. Previo a que este proyecto fuera una realidad, personal de Electrificación Rural, de la Dirección de Energía del Ministerio de Energía y Minas, realizó una evaluación socioeconómica a la comunidad en donde se ejecutaría el proyecto, por lo que, la Sub Dirección General de Energía, con fecha 12 de agosto de 2011 dirigida a la profesora María Teresa Sánchez García, Representante Legal de la Empresa Organización Comunitaria para el Desarrollo de la Población, emitió un informe técnico favorable para su ejecución basado en las siguientes consideraciones:

- La aldea Llano Grande, se caracteriza porque sus habitantes son de escasos recursos y con bajos consumos energéticos.
- La comunidad se encuentra ubicada en el área rural del país.
- La comunidad está localizada en el municipio de Chiquimulilla, del departamento de Santa Rosa, el cual tiene un bajo índice de electrificación.

Finalmente, Electrificación Rural de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, se siente complacida al haber contribuido con su granito de arena para que el proyecto sea una realidad, ya que 67 familias guatemaltecas cuentan ahora con el servicio de energía eléctrica a través de Sistemas Fotovoltaicos, (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

El Restaurant Trawen, se encuentra ubicado en la avenida principal de Pucón ubicado en la IX Región de Chile, en la ciudad de Pucón, en su

remodelación de su segundo piso con una arquitectura orientada a la sustentabilidad, la eficiencia energética y el uso de energías renovables. El proyecto solar fotovoltaico realizado por la empresa ProSolar permitirá que el segundo piso del restaurante sea totalmente energizado por la energía solar. Gracias a su privilegiada ubicación esperamos que este proyecto sea un ejemplo para todas las personas que visitan y habitan Pucón y que impulse a otras personas y empresas a optar por el desarrollo de proyectos cada vez más sustentables e innovadores para la región. Especificaciones técnicas del proyecto, (Marcelo Espinoza, 2011):

- Potencia instalada: 0,5 kilowatts
- Equipos utilizados:
  - ✓ 5 paneles solares Komaes de 100 watts/ 12 volts
  - ✓ Regulador de carga Steca 45 A
  - ✓ Inversor Victron 12/800/35
  - ✓ Switch remoto PA15
  - ✓ 6 Baterías de ciclo profundo G27
  - ✓ Producción energética estimada anual: 730 kwh

Se ha implementado un sistema fotovoltaico en el Hospital OLV en Aalst, Bélgica. La energía solar alimenta la red eléctrica del hospital, para la que se han concedido certificados de energía respetuosa con el medio ambiente, la capacidad anual es de 31.122 kwh y cada metro cuadrado produce 100w, siendo el total neto del área de superficie de las células fotovoltaicas de 500 m<sup>2</sup>, (SAPA, 2011).

En Guatemala se ha realizado un estudio relacionado con la implementación de un sistema fotovoltaico integral que suministre energía para bombeo de agua y electricidad al conjunto de edificios del orfanato La Ciudad

de los Niños, ubicado en el departamento de Izabal, en Guatemala, así como un sistema de gestión energética global que optimice su funcionamiento, (Jordi García, 2011).

Se han realizado diferentes estudios en el país y pequeños proyectos, con los cuales se da a conocer el interés y la inquietud de desarrollar la energía fotovoltaica como una fuente alternativa de suministro de energía limpia.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 General**

Determinar si la energía fotovoltaica es una alternativa para reducir el consumo de energía convencional del edificio de la Biblioteca Central USAC, través del diseño de un sistema fotovoltaico complementario con enfoque a la disminución del impacto ambiental.

#### **3.2 Específicos**

1. Determinar la demanda de energía del edificio de la Biblioteca Central USAC.
2. Diseñar un sistema fotovoltaico complementario con aplicación al edificio de la Biblioteca Central USAC.
3. Definir mediante un análisis económico, los costos y ventajas de implementar un sistema fotovoltaico complementario del edificio de la Biblioteca Central USAC.



## 4. JUSTIFICACIÓN

La producción de energía eléctrica en varios países sigue siendo en gran parte a base de combustibles fósiles a pesar de la contaminación que causa el uso de los mismos. Tal es el caso de Guatemala, que según su matriz energética la mayor generación de energía que se consume en el país es a base de combustibles fósiles siendo este un 46,06% basada en petróleo, 13,18% carbón, 0,2% diesel. La generación a base de energías renovables se presentan en porcentajes menores como la hidroeléctrica de 37,62% y 2,94% geotérmica, (Política energética de Guatemala, 2008-2022).

Uno de los objetivos específicos de la política energética de Guatemala es modificar la matriz energética del país, a fin de hacerla más eficiente, al disminuir la dependencia del petróleo e impulsar las fuentes renovables que permitan abastecer el consumo de energía y disminuir la contaminación.

A inicios del 2012, el costo de la energía eléctrica en el país ha tenido una tendencia hacia el aumento, lo que repercute en la economía de los usuarios. En el caso del edificio de la Biblioteca Central USAC, como se puede observar en la tabla I el alto consumo de energía se ve reflejado en el alto costo que la Universidad de San Carlos de Guatemala debe sufragar mensualmente.

Del alto costo de la factura eléctrica del edificio de la Biblioteca Central de la USAC y del impacto que provoca el alto consumo de energía contribuyendo con ello a la contaminación del ambiente, surge la necesidad de plantear otra alternativa que permita suministrar energía eléctrica complementaria a base de energía renovable, aprovechando el recurso natural de la energía solar y la

ubicación del propio edificio. El valor anual de radiación global solar para todo el país, en promedio es de 5.3 kwh/m<sup>2</sup>/día y específico para la ciudad capital se ubica en un intervalo de 5.5 a 6.0 kwh/m<sup>2</sup>/día, (Guía Subsector Eléctrico-MEM, 2012).

Tabla I. **Historial del consumo de energía del edificio de la Biblioteca Central USAC**

<b>Mes</b>	<b>kw</b>	<b>Total con IVA (Q)</b>	<b>IVA (Q)</b>	<b>TOTAL (Q)</b>
Enero -12	45,360	92,786.85	9,941.45	82,845.40
Febrero-12	55,160	109,357.30	11,716.85	97,640.45
Marzo-12	44,240	91,536.45	9,807.48	81,728.97
Abril-12	52,080	113,067.56	12,114.38	100,953.18
Mayo-12	55,160	118,456.45	12,691.76	105,764.69
Junio-12	50,680	109,982.94	11,783.89	98,199.05
Julio-12	54,320	125,325.44	13,427.73	111,897.71
	<b>357,000</b>	<b>760,512.99</b>	<b>81,483.54</b>	<b>679,029.45</b>

Fuente: Departamento de Servicios Generales, USAC.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser adaptados a todo tipo de edificios. Estos sistemas permiten captar la radiación solar de manera eficiente y convertirla en energía para el consumo propio de los edificios. El avanzado desarrollo de ésta tecnología permite desarrollar la idea de un plan para aplicarlo al edificio de la Biblioteca Central, con el cual se marcaría un precedente para elaborar programas del uso de energías limpias dentro del campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El aumento de la población y la utilización de las nuevas tecnologías en los distintos sectores han provocado un incremento de la demanda de energía eléctrica en el país, conllevando a mayores emisiones de gases de efecto invernadero y por lo tanto un crecimiento de la huella de carbono. Esto contribuye a acelerar el cambio climático y a la vez repercute en la economía de la población.

En el caso de las edificaciones, el consumo de energía eléctrica depende del tipo de actividades para las cuales se haya diseñado. Tal es el caso del edificio de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual por las actividades que en el mismo se llevan a cabo induce a la utilización de energía eléctrica durante toda la jornada, siendo empleada para iluminación, funcionamiento de equipo de cómputo y otros dispositivos.

El alto consumo de energía se ve reflejado en la factura eléctrica, lo que afecta el factor económico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como el aumento de la huella de carbono del edificio y por ende contaminación al ambiente.

¿Es la energía solar fotovoltaica una alternativa para disminuir el consumo de energía convencional y a la vez contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero en el edificio de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala?

¿Qué tan alta es la demanda de energía eléctrica del edificio?, ¿es factible diseñar un sistema fotovoltaico complementario para el edificio?, ¿cuáles serían las ventajas de la utilización de un sistema fotovoltaico para uso en el edificio?

## 6. ALCANCE DEL TEMA

El presente trabajo de investigación está orientado a aplicarse al entorno nacional en las siguientes edificaciones:

- Edificios
  - ✓ Educativos
  - ✓ Centros empresariales
  - ✓ Centros comerciales
- Viviendas
  - ✓ Rurales
  - ✓ Urbanas
- Instalaciones donde el consumo de energía eléctrica sea elevado
- Proyecto de referencia para estudiantes e investigadores

Las limitaciones del presente trabajo de investigación que pudieran presentarse son:

- Falta de recursos financieros
- Escasa disponibilidad de equipos
- Bajo nivel de conocimiento de los beneficios y uso de la tecnología
- Tecnologías alternas



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

La energía proveniente del sol es catalogada como energía primaria renovable y puede ser aprovechada para transformarla, a través de dos maneras térmica y fotovoltaica.

### **7.1. Generación eléctrica**

Para la generación de electricidad a través de la energía solar, es necesario hacer uso de dispositivos adecuados que permitan su transformación.

#### **7.1.1. Radiación solar**

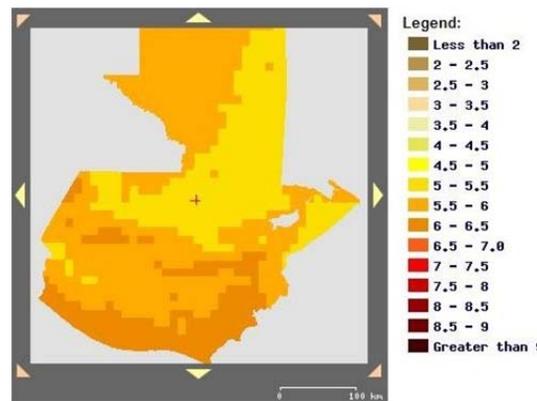
La radiación es un fenómeno que mediante un desplazamiento de ondas, permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. La cantidad que llega a la tierra está condicionada a los dos movimientos que realiza: el de rotación (alrededor de su eje) y el de traslación (alrededor del sol). La radiación llega en forma desigual a las distintas zonas de la Tierra provocando diferencias de temperatura entre las distintas zonas y diferentes climas, (Pablorsk, 2011).

La Tierra recibe la luz y el calor solar, pero también irradia hacia el espacio una cantidad de calor igual a la recibida, evitando así un calentamiento excesivo de su superficie que la volvería estéril. La radiación se mide con diversos instrumentos meteorológicos entre los que se encuentran el bolómetro y el piranómetro, (Pablorsk, 2011).

## Potencial solar en Guatemala

El valor anual de radiación global solar para todo el país, en promedio es de 5.3 kwh/m<sup>2</sup>/día. La importancia de este mapa radica en que se pueden conocer los lugares de acuerdo a su nivel de radiación, la viabilidad para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos y fototérmicos, como calentadores solares, secadores, entre otros, (Guía Subsector Eléctrico-MEM, 2012).

Figura No.1. **Mapa Solar**



Fuente: Subsector Eléctrico-MEM, 2012

### 7.1.2. Conversión de radiación solar en energía eléctrica

Para convertir la radiación solar es necesario contar con dispositivos que capturen la misma y a través de un proceso transformen la energía en electricidad aprovechable para consumo.

#### 7.1.2.1. Celda Solar

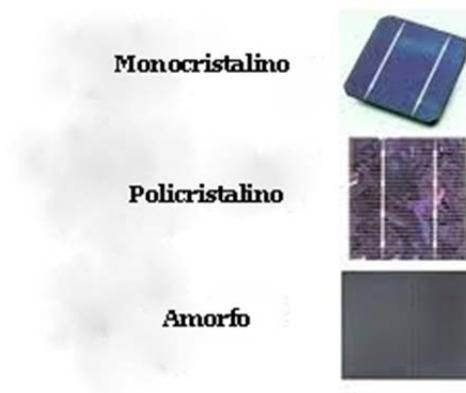
Son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química. La forma más común

de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil, (Textos científicos.com, 2005).

### 7.1.2.2. Tipos de celdas solares

Existen diferentes tipos de celdas solares, que son utilizadas de acuerdo a las necesidades de los proyectos.

Figura No.2. Tipos de celdas solares



Fuente: Subsector Eléctrico-MEM, 2012

#### Amorfas

Este tipo de celdas fotovoltaicas normalmente se utilizan en pequeños paneles solares, como los de las calculadoras, relojes o las lámparas de jardín, cada vez se utilizan más en aplicaciones de mayor tamaño. Se fabrican depositando una película delgada de silicio sobre una hoja de otro material tal como acero. El panel está formado de una pieza y las celdas

individuales no son visibles a simple vista. La eficiencia de paneles solares fabricados con éste tipo de celdas no es tan alta como las hechas de celdas fotovoltaicas individuales, (Miguel Moro, 2010).

## Cristalinas

Estas se conectan en serie para producir paneles solares y producen entre 0.5 y 0.6 watts cada una por lo que 36 celdas fotovoltaicas son necesarias para producir un voltaje de aproximadamente 20 watts, esto es suficiente para cargar una batería de 12 voltios en la mayoría de condiciones y se dividen en, (Miguel Moro, 2010):

- **Silicio Policristalino:** está conformado por pequeños cristales de enorme pureza que hace que sus propiedades eléctricas sean muy diferentes del silicio amorfo. Para que un electrón recorra una micra por un cristal ordenado es un verdadero viaje comparado con el silicio amorfo. El silicio policristalino se usa en paneles solares, son más baratas, pero menos eficientes que las celdas fotovoltaicas monocristalinas. Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de conversión de alrededor 14%, (Miguel Moro, 2010).
- **Silicio Monocristalino:** cuando se requiere de un silicio de mayor pureza y eficiencia eléctrica, es posible entonces obtener silicio monocristalino, en el que el bloque entero de silicio es un único cristal perfecto lo que asegura que los electrones se desplacen más libremente. Estas celdas se obtienen a partir de barras largas y cilíndricas de silicio monocristalino producidas mediante procesos complejos y muy costosos; cada barra se corta en forma de obleas de medio milímetro de espesor, para su

posterior uso en la fabricación de circuitos integrados. Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de alrededor 16%, (Miguel Moro, 2010).

### **7.1.2.3. Paneles solares**

Son un conjunto de células solares fotovoltaicas que captan la radiación luminosa procedente del sol para luego transformarla en corriente continua a baja tensión, (Miguel Moro, 2010).

#### **7.1.2.3.1 Estructura**

Los paneles solares están compuestos por:

- Cubierta frontal: fabricada con vidrio templado y con un grosor de tres o cuatro milímetros, debe ser buen transmisor de la radiación solar y proteger contra los agentes atmosféricos. La superficie exterior de esta cubierta es antirreflexiva y antiadherente, (Miguel Moro, 2010).
- Encapsulado: para proporcionar solidez a las células, éstas se insertan en un material transparente que las aísla eléctricamente. Se emplean cuatro métodos de encapsulado los cuales son: de etileno nivel acetato, el de butiral de polivinilo, de teflón y de resina. El encapsulado debe permitir al igual que la cubierta frontal la transmisión de la radiación solar, y no degradarse con la luz ultravioleta, (Miguel Moro, 2010).
- Cubierta posterior: suele estar fabricado con polifluoruro de vinilo o de poliéster. Al igual que la cubierta frontal sirve para proteger al módulo frente a los agentes atmosféricos y para aislarlo eléctricamente, (Miguel Moro, 2010).

- Marco: fabricado en vidrio anodizado por la mayor parte de fabricantes sirve para proporcionar rigidez y resistencia al módulo, proporcionando además un sistema de fijación. En la actualidad hay muchos modelos de paneles que no poseen marco, principalmente los de capa fina, (Miguel Moro, 2010).

#### **7.1.2.3.2. Características**

Las características de los paneles dependen del tipo de células que lo forman y se describen con los siguientes parámetros:

- Físicas: los paneles suelen presentar siempre formar cuadras o rectangulares, con superficies que van desde aproximadamente  $0.1 \text{ m}^2$  hasta  $1 \text{ m}^2$ , el grosor total, sin incluir el marco protector, no es mayor de 3 cm, son relativamente ligeros y aunque aparentan ser rígidos, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudieran verse sometidos, (Manuel Fernández, 2010).
- Eléctricas: estas dependen del tipo de células que lo forman y dentro de éstas características están:
  - Corriente de cortocircuito: es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones. Correspondería a la medida, mediante un amperímetro de la corriente entre bornes del panel, (Manuel Fernández, 2010).
  - Voltaje a circuito abierto: es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de

un panel, es decir en condiciones de circuito abierto, (Manuel Fernández, 2010).

- Corriente a un determinado voltaje: las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. Lo usual es que en la práctica un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo, el cual posee una determinada resistencia que define la característica eléctrica del circuito, cuya intersección con la propia curva del panel fija el voltaje de operación del mismo y en consecuencia, la intensidad que este entrega al circuito, (Manuel Fernández, 2010).
- Potencia Máxima: es la máxima potencia que el panel suministra en condiciones normalizadas de potencia lumínica y temperatura. Es el dato que se da cuando se habla de la potencia de un panel, (Manuel Fernández, 2010).
- Eficiencia total del panel: es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo, (Manuel Fernández, 2010).
- Eficiencia total del panel: es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo, (Manuel Fernández, 2010).
- Factor de Forma: es un concepto teórico, útil para medir la forma de la curva definida por las variables, (Manuel Fernández, 2010).

## **7.2. Energía solar fotovoltaica**

Este tipo de energía se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

### **7.2.1. Clasificación de las instalaciones**

Dentro de las clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas se puede mencionar:

#### **7.2.1.1. Instalaciones aisladas a la red**

En una instalación aislada, la única energía eléctrica disponible es la obtenida en los módulos fotovoltaicos, por lo general, la potencia instalada es de unos pocos kilovatios. Estas instalaciones se aplican en puntos de consumo alejados de las redes de distribución eléctrica o en los que se aplican criterios de ahorro energético y uso de energías renovables. Este tipo de instalación debe tener una capacidad de acumulación energética (baterías), que garantice el suministro durante las noches y también en los días con poco sol. Los componentes principales son, (José Luis Valentin, 2012):

- Módulos fotovoltaicos
- Baterías acumuladoras de energía
- Regulador de carga
- Inversor
- Conductores de conexión

### **7.2.1.2. Instalaciones con conexión a la red**

Estos sistemas de producción de energía eléctrica están teniendo gran aceptación por parte de particulares y empresas, consiste en inyectar la energía producida por una instalación fotovoltaica a la red de distribución eléctrica a través de un inversor. Existe un marco legal regulador que hace posible que cualquier usuario pueda vender energía producida a las compañías eléctricas. A diferencia del sistema fotovoltaico autónomo, las instalaciones conectadas a red no requieren del uso de los sistemas de acumulación formados por las baterías de acumuladores ni por tanto, del regulador de carga, sin embargo se hace necesario el empleo de un inversor capaz de sincronizar la fase de la corriente alterna generada con la de la tensión de red, (Pablo Alcalde, 2011).

### **7.2.1.3. Instalaciones híbridas**

Este tipo de instalación, además de contar con placas fotovoltaicas para recoger energía utiliza algún otro sistema para generar energía, es decir, usan otra tecnología auxiliar. De este modo, garantizan el suministro eléctrico. Las otras tecnologías o formas de conseguir electricidad son la tecnología eólica o con grupos electrógenos, (Pablo Alcalde, 2011).

## **7.3. Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo**

Para realizar el diseño de un sistema fotovoltaico que permita la generación de energía eléctrica es necesario conocer las características y el funcionamiento de los distintos componentes que lo conforman.

### **7.3.1. Generador fotovoltaico**

Encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos, suele estar constituido por más de un módulo fotovoltaico, aunque hay excepciones en algunas aplicaciones de baja potencia, como los sistemas de iluminación o el mobiliario urbano. Los generadores son los encargados de las conexiones eléctricas y las protecciones cableado, caja de conexión, diodos de bloqueo, diodos de paso y fusibles, (Nuria Martin, Ignacio Fernández, 2007).

### **7.3.2. Estructura de soporte mecánico para el generador**

Pueden emplearse diversos materiales como: aluminio, acero inoxidable, hierro galvanizado o madera tratada, entre otros. La estructura de soporte debe ser capaz de resistir un mínimo de 10 años expuesta a la intemperie, sin que la corrosión o fatiga del material sea apreciable, asimismo debe soportar vientos de altas velocidades (120 km/h), preservar su resistencia a la fatiga y corrosión, (Carlos Prado, 2008).

Los módulos fotovoltaicos con marco deben fijarse a la estructura únicamente mediante elementos de acero inoxidable. El diseño de la estructuras de soporte es necesario que facilite la limpieza de los módulos, (Carlos Prado, 2008).

### **7.3.3. Distribución de voltaje**

Para la distribución de voltaje es necesaria la utilización de diferentes materiales y equipo.

### **7.3.3.1. Regulador de carga**

Es el encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla, (Carlos Prado, 2008).

### **7.3.3.2. Inversor**

Es el encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica, (Carlos Prado, 2008).

### **7.3.3.3. Cableado**

El cable eléctrico es usado para transmitir energía eléctrica y dentro de sus componentes se mencionan dos alambres conductores y una cubierta exterior protectora. Para los cables de energía medios o altos que cargan altos voltajes, los alambres conductores que están dentro de la cubierta exterior protectora pueden ser encerrados individualmente en vainas aislantes. Los conductores eléctricos están hechos comúnmente de cobre. Los polímeros sintéticos hacen de la cubierta exterior un material aislante y protector. Los tipos de cable son, (Carlos Prado, 2008):

- Cable coaxial
- Cable plano
- Cable par trenzado
- Cable blindado

#### **7.3.3.4. Protección**

Los sistemas fotovoltaicos domésticos generalmente operan con tensiones bajas (del rango de 12-24 v). El factor que representa mayor peligro en estos casos es la batería, ya que tienen corrientes de cortocircuito muy altas, además contienen ácido sulfúrico y libera gases inflamables. Para evitar este tipo de riesgos, tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito, (Carlos Prado, 2008).

Dichas protecciones deben tener efecto sobre la línea del generador fotovoltaico y sobre la línea de las cargas. Las protecciones pueden realizarse de manera fácil implementando fusibles, diodos, disyuntores u otros; y pueden o no estar incluidas dentro de la caja del regulador las protecciones se consideran parte del regulador en lo concerniente a caídas de tensión en las mismas, (Carlos Prado, 2008).

La instalación de un sistema de pararrayos completo no es aceptable desde el punto de vista económico, debido a que aumenta el costo inicial instalando un sistema de protección, (Carlos Prado, 2008).

#### **7.4. Aspectos ambientales**

La utilización de la energía solar para la transformación de energía eléctrica implica varios factores ambientales que se denotan en ventajas y desventajas.

#### **7.4.1. Ventajas**

- Todas las energías convencionales tienen pérdidas de calor hacia los alrededores mientras que la energía solar simplemente llega al entorno empleándose o no.
- Una planta de energía solar contribuye a la disminución del calentamiento global gran potencial de materia prima (radiación solar) que se puede captar, sin necesidad excavaciones, presas y sin emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Superficie suficiente para colocación de paneles solares y cubrir la demanda energética.
- Tiene un balance energético muy positivo, esto derivado de las tecnologías y la localización de las instalaciones, ya que genera entre diez y veinte veces más energía de la que se necesitó para producirlas.
- Independencia de importaciones energéticas, esto debido a que es un recurso propio del lugar (radiación solar).
- La radiación solar existente en toda la superficie terrestre lo que permite la ubicación de sistemas fotovoltaicos en cualquier lugar. Comparado con otras energías como la geotérmica, hidroeléctrica que limita los lugares de ubicación de las plantas y la eólica que dependen de las condiciones climáticas.
- Una planta solar ofrece garantía de funcionamiento de varias décadas (20-30 años).

- Se necesita de un mantenimiento mínimo en cuanto a tiempo, costos, profesional especializado.
- Puede ser utilizable en aplicaciones pequeñas, así como en grandes plantas, comparado con otro tipo de energías que para su generación necesitan de grandes espacios para la colocación de sus plantas.
- Gran modularidad, esto debido a que la potencia y tensión que se necesitan se pueden alcanzar adicionando módulos, si se requiere desde 1 kw hasta 10 mw.
- Cuenta con mayor producción entre las 11:00 y las 16:00 horas, período que puede ser aprovechable para la acumulación de energía.
- Puede reducir el precio de la electricidad y las inversiones en las redes eléctricas
- A través de este tipo de energía, es factible suministrar electricidad a áreas rurales, que se encuentran aisladas de la red eléctrica.
- La colocación de paneles solares en las edificaciones, inclusive sustituyendo materiales de construcción, creando diseños arquitectónicos innovadores que ningún otro tipo de energía se puede aplicar.
- Desarrollo tecnológico para los países, así como la creación de nuevas empresas
- Reducción de costes al interconectarse a la red eléctrica.

- No tiene dependencia de las empresas suministradoras.
- Este tipo de energía es catalogada como limpia y renovable ya que su materia prima es infinita.
- No produce residuos que perjudiquen al ambiente, (Marcelo Romero, 2010).

#### **7.4.2. Desventajas**

- Tiene una baja densidad energética, esto derivado a que requiere una gran superficie disponible para su colocación.
- Generación de electricidad puede variar debido a la fuente de materia prima (radiación solar, día y noche).
- En el caso de los sistemas aislados se necesita una mayor capacidad de almacenaje de la energía para abastecer el consumo nocturno.
- Costos altos de inversión para la instalación del sistema fotovoltaico.
- Reciclaje de los componentes de los paneles fotovoltaicos, así como la energía utilizada para producir los paneles, (Marcelo Romero, 2010).



## 8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Implementar un sistema fotovoltaico en el edificio de la Biblioteca Central, USAC, reducirá los costos de energía eléctrica.

Tabla II. **Variables**

<b>Categorías</b>	<b>Variables</b>
Energía	Demanda actual: kw/h
	Demanda complementaria: kw/h
	Radiación disponible: kw
Infraestructura y equipo	Superficie necesaria: m <sup>2</sup>
	Superficie disponible: m <sup>2</sup>
	Eficiencia Tecnología disponible: mono cristal, policristal, silicato amorfo, otros
Factibilidad económica	Costos: Q
	Retorno de la inversión: años
	Reducción de factura eléctrica Q o \$

Fuente: elaboración propia.



## **9. CONTENIDO**

El contenido de la presente investigación se focaliza en el análisis del consumo energético actual para llevar a cabo el diseño un sistema fotovoltaico complementario para energía eléctrica del edificio de la Biblioteca Central USAC.

OBJETIVOS

PROBLEMA

HIPOTESIS

INTRODUCCIÓN

### **1. ANTECEDENTES**

1.1. Desventajas

1.1. Energías renovables en Guatemala

1.2. Energía solar en Guatemala

1.3. Matriz energética de Guatemala

1.4. Tecnología solar en Guatemala

1.4.1. Sistema fotovoltaico para aprovisionamiento en edificios

1.5. Estructura energética del edificio de la Biblioteca Central USAC

### **2. MARCO TEÓRICO**

2.1. Generación eléctrica

2.1.1. Radiación solar

2.1.2. Conversión de radiación solar en energía eléctrica

2.1.2.1. Celda solar

2.1.2.2. Tipos de celdas solares

- 2.1.2.3. Paneles solares
      - 2.1.2.3.1. Estructura
      - 2.1.2.3.2. Características
  - 2.2. Energía solar fotovoltaica
    - 2.2.1. Clasificación de las instalaciones eléctricas
      - 2.2.1.1. Instalaciones aisladas a la red
      - 2.2.1.2. Instalaciones con conexión a la red
      - 2.2.1.3. Instalaciones híbridas
    - 2.3. Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo
      - 2.3.1. Generador fotovoltaico
      - 2.3.2. Estructura de soporte mecánico para el generador
      - 2.3.3. Distribución de voltaje
        - 2.3.3.1. Regulador de carga
        - 2.3.3.2. Inversor (sistema de adaptación de corriente)
        - 2.3.3.5. Cableado
        - 2.3.3.6. Protección
        - 2.3.3.7. Cargas
    - 2.4. Aspectos ambientales
      - 2.4.1. Ventajas
      - 2.4.2. Desventajas

### **3. AUDITORÍA ENERGÉTICA**

- 3.1. Descripción del edificio
- 3.2. Mediciones
  - 3.2.1. Sistema eléctrico
  - 3.2.2. Sistema de iluminación
  - 3.2.3. Equipo eléctrico y electrónico utilizado
  - 3.2.4. Parámetros eléctricos

- 3.3. Diagnóstico de la demanda de energía
  - 3.3.1. Demanda Promedio diaria
  - 3.3.2. Demanda Promedio mensual
- 3.4. Factura eléctrica
- 3.5. Análisis de costos
  
- 4. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO
  - 4.1. Memoria de cálculo
    - 4.1.1. Radicación solar
    - 4.1.2. Ubicación de paneles
    - 4.1.3. Capacidad a instalar (potencia)
  - 4.2. Selección de equipo a instalar
    - 4.2.1. Paneles solares
      - 4.2.1.1. Características
    - 4.2.2. Conductores
    - 4.2.3. Sistema de transferencia
    - 4.2.4. Circuito eléctrico de carga y entrega
  - 4.3. Planos y diagramas unifilares
  - 4.4. Sincronizador
  - 4.5. Plan de mantenimiento del sistema
  - 4.6. Ventajas ambientales del diseño
  
- 5. ANÁLISIS ECONÓMICO
  - 5.1. Costos del proyecto
  - 5.2. Comparación de utilización energía convencional contra energía complementaria fotovoltaica
  - 5.3. Análisis de costos
    - 5.3.1. Beneficio-costo
  - 5.4. Valor presente neto
  - 5.5. Tasa interna de retorno

- 5.6. Costo de mantenimiento
- 5.7. Financiamiento del proyecto
- 5.8. Vida del proyecto

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La metodología y técnicas se desarrollaran de la siguiente manera:

Primera fase:

Para el desarrollo de ésta fase se llevará a cabo recopilación de información para la elaboración de los antecedentes y marco teórico, a través de:

- Revisión bibliográfica
- Revistas
- Artículos científicos
- Páginas web de universidades
- Otros

Segunda fase:

Recopilación de información como base para llevar a cabo la auditoría energética:

- Investigación descriptiva (trabajo de campo)
  - ✓ Mediciones de potencia, carga, etc.
  - ✓ Se utilizarán equipos de medición eléctrica

Análisis de la información obtenida a través de:

- Análisis estadístico descriptivo: (media, moda, coeficiente de variación, etc.)
  - ✓ Demanda actual kw/h
  - ✓ Demanda complementaria kw/h
  - ✓ Radiación disponible Cal/(cm<sup>2</sup> X minuto)
  - ✓ Superficie necesaria m<sup>2</sup>
  - ✓ Superficie disponible m<sup>2</sup>
  - ✓ Eficiencia de la tecnología kw/h
  - ✓ Costos Q
  - ✓ Retorno de la inversión (años)
  - ✓ Reducción de la factura eléctrica Q

### Tercera fase

Se analizarán los siguientes aspectos:

- Evaluación de características técnicas del equipo
- Evaluación de ubicación del sistema
- Evaluación de costos de equipos
- Evaluación de proveedores
- Diseño del sistema con base a resultados obtenidos en análisis de la información (demanda energética, radiación solar, costos, etc.)

### Cuarta fase

Para determinar la viabilidad del diseño del sistema fotovoltaico se llevará a cabo un análisis económico.

## Análisis económico

- Beneficio – costo (determinar la factibilidad del proyecto)
- VPN (cálculo del valor presente neto del proyecto)
- TIR (cálculo del tiempo de recuperación de la inversión)
- Comparación de la utilización de energía renovable contra energía convencional con el objetivo de verificar las ventajas entre una y otra.







## 12. RECURSOS NECESARIOS

### Recurso humano

Para llevar a cabo el presente proyecto se necesitara recurso humano que labore en la Biblioteca Central, que proporcione información y el acompañamiento en el trabajo de campo, asesor del trabajo de graduación y de la persona que elaborara el mismo.

### Recursos materiales

Los recursos materiales son necesarios para el desarrollo del presente proyecto, dentro de los cuales están, equipo de medición, equipo y material de oficina, planos, entre otros.

Tabla IV. Recursos

RECURSO HUMANO	COSTO POR DIA	COSTO POR MES	COSTO TOTAL 8 MESES
Estudiante	Q100.00	Q3,000.00	Q21,000.00
Asesor			Q2,500.00
Imprevistos			Q3,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q26,500.00</b>
<b>Materiales - insumos</b>			
Útiles de oficina		Q400.00	Q2,800.00
Elaboración e impresión de planos			Q3,000.00
Herramientas para mediciones			Q6,000.00
Combustible de vehículo		Q150.00	Q1,050.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q12,850.00</b>
Otros			Q5,000.00
<b>GRAN TOTAL</b>			<b>Q44,350.00</b>

Fuente: elaboración propia.



### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcalde, P. (2011). Electrónica, Primera edición, España, Copright ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 14 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
2. Barsantes, Eduardo, Lechón, Luis (2012). Análisis técnico económico para la implementación de una central solar fotovoltaica en la Parroquia de San Antonio de Pichincha. Tesis de licenciatura en ingeniería eléctrica pública, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
3. Calle, Carmen, Guzmán, Romina (2001). Cálculo de la huella de carbono del ecolodge ulcumano ubicado en el sector de la Suiza, Distrito de Chontabamba, provincia de Oxampampa, Región Pasco. Tesis de licenciatura en ciencias forestales pública, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
4. Creara, s.f. Cálculo de la huella de carbono, Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en [http://www.creara.es/calculo\\_huella\\_carbono.htm](http://www.creara.es/calculo_huella_carbono.htm)
5. De León, Víctor (2008). Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio de aprovechamiento. Tesis magistral pública, USAC, Guatemala.
6. Dirección General de Energía y Minas. 2011. La energía solar llega a la aldea. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/LLANOLARGO.pdf>

7. Espinoza M. 2011. Proyecto Solar Fotovoltaico Trawen – Pucón. Urbeverde.com. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en <http://www.urbeverde.com/proyecto-solar-fotovoltaico-trawen/>
8. Energía y medio ambiente, s.a.. El impacto ambiental de las distintas fuentes energéticas de generación eléctrica. Recuperado el 19 de septiembre de 2012:  
[http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0\\_1150\\_1.pdf](http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_1150_1.pdf).
9. Energía solar. s.f. Celdas fotovoltaicas. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en <http://www.instalacionenergiasolar.com/energia/celdas-fotovoltaicas.html>
10. Energía solar. s.f. Tipos de sistemas fotovoltaicos. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en <http://solete.nichese.com/sistemas.html>
11. Fernández, M. (2010). Energía Solar: Electricidad fotovoltaica, s.e. España, Editorial liberfactory. Recuperado el 13 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
12. González, S. L. Rigali<sup>1</sup>, J. A. (2011). Cálculo del potencial de generación fotovoltaica de la cubierta de un edificio público empleando el software retscreen, y estimación del impacto visual que producirá la integración caso. Terminal de Ómnibus de Santiago del Estero. Avances en energías renovables y medio ambiente, (15), 05.43-04.51

13. González, Eder (2008). Sistema fotovoltaica con mínimo almacenamiento de energía en enlace CD. Tesis magistral pública, Centro de Investigación de Desarrollo Tecnológico, México.
14. Instituto Nacional de Ecología, s.f. Cambio climático en México. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/queeselcc.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/queeselcc.html)
15. Kasat, Valentina (2012). Diseño de un plan de negocios para una empresa proveedora de energía eléctrica solar fotovoltaica. Tesis pública de licenciatura en Ingeniería industrial-civil, Universidad de Chile, Chile.
16. López, F., Prieto, J., Sagrera, A., Wadel, G. (2011). Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca. Informes de la construcción, (63), 89-102.
17. Martín, N. (2007). La envolvente fotovoltaica en la arquitectura. s.e. Barcelon-España, Editorial Reverté. Recuperado el 15 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
18. Ministerio de Energía y Minas. Política Energética de Guatemala 2008-2022. Guatemala.
19. Ministerio de Energía y Minas. Guía del inversionista 2011. Guatemala.

20. Moro M. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas, Primera edición, España, Edificaciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 12 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
21. Mundo Solar. 2011. El proyecto del Edificio a energía solar más grande de América planeado para Atlantic City. Recuperado el 10 de septiembre de 2012 en <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/el-proyecto-del-edificio-a-energia-solar-mas-grande-de-america/>
22. Observatorio de la Sostenibilidad de España (OSE) (S/F). Manual de cálculo y reducción de Huella de Carbono en el sector hotelero (manual), España: Herrero, Jiménez, Luis M.
23. Pablorsk. 2011, Radiación solar. MegaCiencia. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 en <http://megaciencia.com.ar/2011/radiacion-solar/>
24. Paneles solares caseros. (2012). Tipos de celdas fotovoltaicas. Recuperado el 10 de noviembre de 2012 en <http://panelessolarescaseros.net>
25. Prado C. (2008). Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada. Tesis de Bachiller en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Recuperada el 13 de noviembre de 2012 en <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0831t.pdf>
26. Ríos, Luis (1999). Estudio de utilización de almacenaje de la energía solar, precauciones y mantenimiento en los sistemas fotovoltaicos. Tesis de licenciatura de ingeniería eléctrica pública, Universidad Francisco Marroquín, Guatemala.

27. Romero, M. (2010). Energía Solar Fotovoltaica, s.e. Barcelona-España, Ediciones CEAC. Recuperado el 15 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
28. Spain 4 all – Guía General de España. 2012. Antecedentes de la energía solar fotovoltaica. Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado el 13 de septiembre de 2012 en [http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/2\\_Breve\\_Historia/17\\_Medio\\_Ambiente\\_Energia\\_Solar\\_Fotovoltaica\\_Hoy\\_.html](http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/2_Breve_Historia/17_Medio_Ambiente_Energia_Solar_Fotovoltaica_Hoy_.html)
29. Textos científicos.com. (2005). Celdas solares. Recuperado el 13 de noviembre de 2012 en <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.
30. Thomas W. (2003). Sistema de Comunicaciones electrónicas. Primera edición, España, Pearson Educación. Recuperado el 12 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>
31. Valent, J. (2012) Instalaciones solares fotovoltaicas. s.e. España, Editorial Donostierra. Recuperado el 13 de noviembre de 2012 en <http://books.google.com.gt>

