

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS ECONÓMICO DEL AHORRO ENERGÉTICO QUE PRESENTA EL
PROTOTIPO DEL PROYECTO LLAMADO LA CASA ALEMANA CONTRA
VIVIENDAS GUATEMALTECAS DEL CASCO URBANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ESWIN ESTUARDO SOTO SOTOVANDO

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLES LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne 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:

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL AHORRO ENERGÉTICO QUE PRESENTA EL PROTOTIPO DEL PROYECTO LLAMADO LA CASA ALEMANA CONTRA VIVIENDAS GUATEMALTECAS DEL CASCO URBANO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de mayo de 2011.

Eswin Estuardo Soto Sotovando

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de estudiar y aprender lo que es la verdadera educación.

Facultad de Ingeniería

Por ser la fuente de profesionales emprendedores y trabajadores.

Mis amigos de la facultad

Daniel, David, Estuardo y todos los que estuvimos en proyectos apoyándonos.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría y la salud.
Mis padres	Miguel Ángel Soto e Irma Sotovando. Su amor y apoyo será siempre mi inspiración.
Mi esposa	Heidy Karina. Por su comprensión en estos últimos años.
Mi hija	Diana. Por darme esa chispa diariamente.
Mi familia	Por el ánimo recibido en cada ocasión que la necesitaba.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA DEL CASCO URBANO DE GUATEMALA.....	1
1.1. Estadísticas del consumo de las viviendas de un casco urbano.....	1
1.2. Promedio de consumo	4
1.3. Estudio de cargas	7
2. EL PROTOTIPO DEL PROYECTO LLAMADO LA CASA ALEMANA ...	13
2.1. Historia del proyecto La Casa Alemana.....	13
2.2. La creación de La Casa Alemana.	15
2.3. La estructura de La Casa Alemana.....	16
2.3.1. Elementos activos.....	17
2.3.1.1. Laminillas fotovoltaicas	18
2.3.1.2. Techo fotovoltaico.....	20
2.3.1.3. Fachada fotovoltaica.....	21
2.3.2. Elementos pasivos.....	22
2.3.2.1. Termoaislamiento al vacío por medio de paneles aislantes	23

	2.3.2.2.	Elementos de ventanas y de ventilación.....	25
	2.3.2.3.	Ventilación mecánica.....	27
	2.3.2.4.	Técnicas de iluminación	28
	2.3.2.5.	Aparatos domésticos eficientes	33
	2.3.3.	Datos técnicos del prototipo llamado La Casa Alemana	34
3.		TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES	37
3.1.		Tipos de energía renovables	37
	3.1.1.	Bioenergía	38
	3.1.2.	Energía eólica	39
	3.1.3.	Energía geotérmica	41
	3.1.4.	Energía solar	44
	3.1.4.1.	Aprovechamiento de la radiación solar.....	47
	3.1.4.2.	Energía térmica	47
	3.1.4.3.	Energía fotovoltaica.....	50
	3.1.5.	Hidroenergía.....	57
4.		JUSTIFICACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	61
4.1.		Cuantificación de energía solar que es posible transformar en energía eléctrica	61
	4.1.1.	Energía solar	62
	4.1.2.	Medición de la energía solar	62
	4.1.3.	Aprovechamiento de la energía solar en Guatemala.....	64
	4.1.4.	Eficiencia de los paneles solares	66

4.2.	Sostenibilidad.....	67
4.2.1.	Sostenibilidad ecológica	67
4.2.2.	Sostenibilidad económica	68
4.2.3.	Sostenibilidad social	68
4.2.4.	Sostenibilidad técnica	69
4.3.	Posibilidad de ofrecer energía eléctrica en lugares remotos....	69
4.3.1.	Sistemas fotovoltaicos autónomos	70
4.4.	Posibilidad de verter energía a la red, gracias a las actuales regulaciones de la ley de energía eléctrica	71
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	75
5.1.	Análisis de la demanda	75
5.2.	Determinación de la oferta generada por sistemas fotovoltaicos	76
5.2.1.	Caso I: sistema autónomo	77
5.2.1.1.	Análisis financiero para el caso I.....	80
5.2.2.	Caso II: autoproducer	83
5.2.2.1.	Análisis financiero para el caso II.....	85
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	APÉNDICE.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Variabilidad del consumo eléctrico de unas muestras de las viviendas del casco urbano de Guatemala	2
2.	Variabilidad menor que el 20% del consumo eléctrico de las muestras de las viviendas del casco urbano de Guatemala	3
3.	Prototipo de La Casa Alemana	13
4.	Elementos básicos que conforman el proyecto de exhibición.....	16
5.	Instalación de las laminillas fotovoltaicas.....	19
6.	Vista de perfil y de planta de la ubicación de los paneles solares del prototipo	21
7.	Distribución de los paneles solares en la fachada del prototipo	22
8.	Forma constructiva de los paneles termoaislantes	24
9.	Ventilación cruzada.....	26
10.	Causas y efectos del calentamiento de bombillas por funcionamiento	30
11.	Diagrama de las bombillas de inducción.....	32
12.	Clasificación de la potencia eólica en Guatemala.....	41
13.	Representación por bloques de la generación geotérmica	43
14.	Radiación directa anual	46
15.	Sistema de calentamiento de agua por medio de energía solar	49
16.	Energía fotovoltaica	51
17.	Sistema fotovoltaico autónomo	52
18.	Panel solar	53
19.	Acumuladores para módulos fotovoltaicos	55

20.	Regulador de carga	56
21.	Inversor para sistemas fotovoltaicos	57
22.	Representación de una hidroeléctrica en bloques.....	58
23.	Aplicación de turbinas según la potencia de generación y los saltos de agua	60
24.	Configuración del sistema solar autónomo.....	70

TABLAS

I.	Resultados de análisis estadístico de la muestra de consumo eléctrico de los hogares del casco urbano.....	7
II.	Consumo eléctrico de los diferentes elementos que contienen los hogares del casco urbano	8
III.	Porcentajes del consumo de cada elemento eléctrico	10
IV.	Recorrido de las visitas del proyecto en Latinoamérica.....	14
V.	Comparación del consumo de las diferentes bombillas comerciales en la actualidad.....	29
VI.	Datos técnicos de la construcción física del prototipo	34
VII.	Metros cuadrados de paneles fotovoltaicos instalados en el prototipo.....	35
VIII.	Eficiencia de las células solares según su composición química ..	66
IX.	Proyectos calificados para optar a los incentivos de la ley	72
X.	Número de paneles solares que se necesitan para abastecer la demanda en estudio.....	78
XI.	Número de elementos del sistema autónomo.....	79
XII.	Número de elementos del sistema autónomo con reinversión de acumuladores	81
XIII.	Datos de análisis económico para el caso I.....	82

XIV.	Número de elementos del sistema autoprodutor	84
XV.	Datos de análisis económico para el caso II	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Centígrados o Celsius
°K	Grados Kelvin
Hz	Hertz
kWp	Kilowatt pico
Lm	Lumen
msnm	Metros sobre el nivel del mar
%	Porcentaje
-	Valor negativo
+	Valor positivo
W	Watt

GLOSARIO

Aislamiento térmico de vacío

Sistema de aislamiento térmico el cual ofrece un aislamiento eficiente comparado con los sistemas de aislamientos convencionales con resinas de poliuretano, madera, etcétera.

Autoproduccion de energía eléctrica

Es la persona individual o jurídica, titular poseedora de una central de generación de energía eléctrica, cuya producción destina exclusivamente a su propio consumo.

BEP

Barril equivalente de petróleo. Es la unidad equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril de petróleo crudo, que es equivalente a 1 700 kilovatios-hora.

CENEE

Comisión Nacional de Energía Eléctrica, se establece según la Ley General de Electricidad.

$\text{Cos}\phi = \text{fp}$

Indica la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, dando como parámetro cuanta potencia activa puede absorber una carga eléctrica.

Distribuidor de energía eléctrica	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
GDR	Generador Distribuido Renovable.
Iluminación Homogénea	Cuando se tiene un lugar o espacio iluminado artificialmente de tal forma que no se aprecien sobras de las personas u objetos que están bajo dicha iluminación.
Kilowatt pico	Generación máxima de energía eléctrica a través de una celda solar.
LGE	Ley General de Electricidad de Guatemala.
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad de Guatemala.
Sistema de Transmisión de energía eléctrica	Representa el sistema formado por líneas de transmisión, los transformadores de potencia, estructuras y sus respectivas protecciones. Se utiliza para transportar la energía eléctrica desde su generación hasta un gran usuario o al punto de unión con un distribuidor.

TIR	Tasa Interna de Retorno, medidor financiero que se utiliza para encontrar la ganancia mensual que representa la inversión en un proyecto.
TIRM	Tasa Interna de Retorno Mínima, es el medidor financiero, que indica cual es la tasa mínima para que un proyecto encuentre el balance entre cero pérdidas y cero ganancias.
Usuario	Persona propietaria del inmueble donde se está dando el servicio de proveer la energía eléctrica.
VNA	Valor Neto Actual.
Watt	Es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W y es equivalente a 1 Joule por segundo. El Watt es producido por un diferencial 1 voltio por 1 una corriente eléctrica de 1 amperio.

RESUMEN

En la actualidad, existe una gran necesidad de ahorrar energía eléctrica ya que los recursos naturales, los cuales se están explotando, están disminuyendo con el uso excesivo de la misma, tomando en cuenta esta necesidad, nacen las iniciativas de no solo buscar dicha energía, sino también, se trata de generar energía eléctrica por medio de recursos renovables, con el único fin de frenar la degradación del ambiente y maximización de los recursos naturales que hasta hoy se cuentan para su explotación, como los productos derivados del petróleo, que son altamente contaminantes, sólo por citar alguno.

Un gran porcentaje de la demanda de energía eléctrica del sistema eléctrico, lo representan los hogares de todo el territorio guatemalteco y si se busca una forma de ahorrar dicha energía en cada hogar y, que además se implementen métodos de generación de electricidad a nivel del usuario final.

En el presente trabajo de graduación, primero, se calcula la demanda de un hogar promedio del casco urbano, luego se halla el porcentaje de cada carga conectada en un hogar y con esto se puede apreciar cuáles son las cargas que afectan de mayor manera en la factura de consumo eléctrico y así tener un panorama más general de las cargas que a diario se utilizan.

Luego se estudia el prototipo de casa ecológica llamada La Casa Alemana, el cual promueve la República Federal de Alemania bajo la dirección del Ministerio Federal de Economía y Tecnología (BMWI). Este prototipo presenta interesantes propuestas para el ahorro energético y para la generación de energía eléctrica por medio de celdas solares, logrando así un hogar ecológico e independiente de la distribución actual de la energía eléctrica.

Haciendo seguidamente, un repaso de las diferentes energías renovables conocidas en la actualidad y con estas bases ya se tiene un panorama general de la posibilidad de la implementación de generación de energía eléctrica por medio de paneles solares en los hogares, tomando en cuenta la demanda promedio se hace un análisis económico de la inversión inicial que representa implementar esta forma de generación y se hace examinando dos formas de instalación: una que es autónoma o independiente de la red y otra que tiene la capacidad de verter energía eléctrica a la red convencional y gozar de una reducción de su factura de gasto mensual de energía eléctrica.

Por último se citan las respectivas conclusiones de la investigación y se denotan los pros y contras de este sistema de ahorro y generación de energía.

OBJETIVOS

General

Conocer las soluciones expuestas en el prototipo de vivienda llamado La Casa Alemana y encontrar cuales serían viables a implementar en las viviendas guatemaltecas del casco urbano.

Específicos

1. Conocer el porcentaje de consumo de cada uno de las cargas instaladas en el hogar.
2. Demostrar la viabilidad económica de la implementación del uso de paneles solares.
3. Conocer la eficiencia de los paneles solares que hoy en día se comercializan y con esto comprender qué eficiencia es la mínima requerida para que los proyectos de paneles fotovoltaicos sean rentables.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la problemática del costo de la energía eléctrica tiene a toda la población en constante preocupación ya que día a día el pago de la misma tiene mayor repercusión en el bolsillo de los hogares guatemaltecos.

Además, se encuentra por otro lado la preocupación mundial sobre los daños ocasionados al ambiente por quema de hidrocarburos y fósiles en la generación de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta que La Casa Alemana es un prototipo de vivienda que reúne las mejores propuestas presentadas en el concurso internacional Solar Decathlon convocado por la Agencia Estadounidense de Energía U.S. Department of Energy (DOE), se estudian las propuestas eléctricas tanto como generación y ahorro energético para así promover, en un futuro, alternativas de generación de energía eléctrica, las cuales ayudarían a evitar en un porcentaje aceptable, que se sigan utilizando derivados del petróleo los cuales son altamente contaminantes y encarecedores del costo del kilowatt por hora que los guatemaltecos pagan de mes en mes.

1. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA DEL CASCO URBANO DE GUATEMALA

1.1. Estadísticas del consumo de las viviendas de un casco urbano

En la actualidad las viviendas del casco urbano de Guatemala consumen energía eléctrica con una variación la cual depende de los aparatos conectados internamente en cada vivienda y de la iluminación necesaria según las necesidades de cada hogar.

Para facilitar una idea general del consumo eléctrico mensual se debe obtener un valor promedio, la variabilidad y el porcentaje de viviendas que mantiene el consumo, para lo cual se tomaron muestras de 3 meses de consumo eléctrico para cada una de las 300 viviendas tomadas al azar por lo tanto se manejan 900 datos de consumo eléctrico (ver apéndice 1).

La variabilidad de cada consumo se obtiene con realizar la división de la desviación estándar entre el promedio de cada una de las muestras:

Variabilidad = desviación estándar / promedio

Donde la desviación estándar se define como: la medida de la dispersión de los valores respecto a la media o promedio de la muestra y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde x_i es el número que se desea hallar la desviación estándar, \bar{x} es el promedio de la muestra y n es el número de la muestra.

El promedio se define como: la sumatoria de n elementos numéricos divididos por el número n de elementos, quedando su fórmula como la siguiente:

$$\text{Promedio} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Haciendo el cálculo de la variabilidad para cada una de las muestras de consumo eléctrico se llegó a obtener un esquema mostrado en la gráfica 1.

Figura 1. **Variabilidad del consumo eléctrico de unas muestras de las viviendas del casco urbano de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta la gráfica anterior, se puede deducir que existe una gran variabilidad de consumo eléctrico entre las muestras participantes para este análisis, con lo cual se llega a trabajar sobre las viviendas las cuales tengan una variabilidad menor al 20% y con esto se logra obtener un grupo de muestras con consumo considerablemente constante.

Ya realizada esta selección de muestras, la representación queda de la manera mostrada en la figura 2.

Figura 2. **Variabilidad menor que el 20% del consumo eléctrico de las muestras de las viviendas del casco urbano de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Se busca trabajar sobre hogares con una variabilidad del consumo eléctrico menor al 20% porque se necesita tener una muestra representativa en cuanto a consumo eléctrico constante, dado que no sería de mucha ayuda tomar en cuenta hogares que tengan una variabilidad de un 83% por ejemplo, que en un mes cualquiera consuma 300 kilowatt por hora y en el mes siguiente su consumo disminuya hasta unos 50 kilowatt por hora, por un motivo muy lejano al alcance de este análisis.

Haciendo el recorte arriba descrito se obtiene un estimado más representativo para el fin de este estudio.

1.2. Promedio de consumo

Para obtener un promedio representativo y viable para un análisis se debe trabajar con el grupo recortado de muestras con una variabilidad menor al 20%, dado que serían las que garantizan de tal modo que mantendrán su consumo de energía eléctrica constante.

Para obtener un promedio o medida de tendencia central sobre una población de datos, de consumo de energía eléctrica en este caso, existen varias fórmulas de análisis estadístico entre las cuales están:

- Media
- Mediana
- Mediana armónica
- Moda

Donde las medidas de tendencia central anteriores se pueden definir de la siguiente manera:

Media: también llamada promedio, es el resultado de sumar todos los valores de la muestra y dividir dicha suma dentro del número de valores, así:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Mediana: es la medida que deja al mismo número de valores a la izquierda y a la derecha, representando así el eje central del número de datos. La fórmula de esta medida se describe a continuación:

$$M_e = x_{(n+1)/2}$$

Donde

X= es el valor del elemento que representará la mediana

n = es el número de elementos de la muestra

De esta manera si se tiene una muestra de cinco valores entonces el tercer valor representaría la mediana, ya que con esto se está dejando dos valores antes y dos valores después, si se tuviera una muestra con un número de n valores par, entonces, la mediana sería el promedio de los dos valores centrales.

Esta medida de tendencia central no toma importancia que tan variable sea la dispersión de cada valor entre uno y otro, haciendo esta medida no tan confiable a la hora de estar buscando la tendencia central del grupo de valores en cuestión.

Media armónica: la media armónica denominada por H es una medida de tendencia central, la cual ayuda a corregir la susceptibilidad de la mediana respecto a valores extremadamente grandes comparados con los demás, pero no así para los valores pequeños, ya que se denomina como el recíproco de los recíprocos de la media aritmética, quedando su fórmula así:

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} = \frac{n}{\left(\frac{1}{x_1} + \dots + \frac{1}{x_n}\right)}$$

Donde

N = es el número de valores de la muestra.

Moda: es la medida de tendencia central la cual toma el valor que más se repite de un grupo de una muestra o grupo de valores. Esta medida tiende a dar un resultado con énfasis en la repetitividad de los datos y haciendo mención de que dato es más común.

Para el análisis que se persigue, de dar a conocer el consumo eléctrico promedio de las viviendas del casco urbano, se utilizaron las medidas de tendencia central arriba descritas y a continuación se da a conocer el resultado de dicho cálculo.

Tabla I. **Resultados de análisis estadístico de la muestra de consumo eléctrico de los hogares del casco urbano**

Medida de tendencia central	Consumo de las viviendas en kWh por mes			
	Mayo	Junio	Julio	General
Media	71,40	77,33	77,08	75,16
Mediana	66,00	71,00	73,00	70,00
Media armónica	43,57	46,82	46,40	45,55
Moda	68,00	71,00	99,00	68,00

Fuente: elaboración propia.

Luego de observar la anterior tabla de consumo eléctrico de los meses en cuestión, se llega a la conclusión que la medida de tendencia central llamada media arroja una medida aceptable de consumo eléctrico con un promedio de consumo eléctrico de 75,16 kilowatt por hora, por mes de los hogares del área urbana de Guatemala.

1.3. Estudio de cargas

En la actualidad se puede encontrar en los hogares del casco urbano un grupo de electrodomésticos dentro de los cuales se encuentran enlistados en la tabla II.

Tabla II. **Consumo eléctrico de los diferentes elementos que contienen los hogares del casco urbano**

Descripción	Consumo Watts
Carga general	
Cafetera	800 a 900
Calentador de ducha	3 500 a 4 000
Lavadora de ropa	1 200 a 1 400
Licuadaora	400
Microondas	1 200
Minicomponente	150
Plancha	800 a 1 200
Refrigerador	100 a 120
Reproductor de DVD	10 a 20
Televisión	80 a 100
Computadora de mesa	
CPU	900 a 1 000
Monitor	180 a 200
UPS	600 a 750
Impresora	50 a 70
Iluminación	
Lámparas de cielo	150
Lámparas de mesa	60
Ojos de buey	100

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar que se obtuvieron diferentes consumos para un mismo electrodoméstico debido a la variabilidad de producción de las diferentes marcas que se encuentran en el mercado, por lo que, se tomaron datos de consumo de los mismos de un hogar donde se obtuvieron los consumos para cada electrodoméstico e iluminación que se describen en la tabla II de la sección de apéndices.

Para realizar un análisis concreto de la importancia de consumo eléctrico de cada electrodoméstico en un hogar, se debe determinar el porcentaje de consumo a modo que se pueda realizar una correcta observación de la importancia de propiciar cambios, que se justifiquen frente al consumo de cada elemento.

El porcentaje de consumo eléctrico de cada elemento que contiene un hogar se detalla en la tabla III.

Tabla III. **Porcentajes del consumo de cada elemento eléctrico**

Descripción	Porcentaje del consumo total de cada elemento
Calentador eléctrico de ducha	47,92%
UPS	8,98%
Lámparas de cielo	8,98%
Plancha	7,19%
Televisión	7,19%
Refrigerador	5,18%
Ojos de buey	2,88%
Lavadora de ropa	2,88%
Monitor	2,16%
Cafetera	1,92%
Minicomponente	1,44%
CPU	1,20%
Lámparas de mesa	0,96%
Microondas	0,72%
Licuadaora	0,32%
Impresora	0,06%
Reproductor de DVD	0,05%
Total	100,00%

Fuente: elaboración propia.

De la tabla III se puede hacer mención lo siguiente:

- Se observa que el calentador eléctrico de ducha es el elemento que contribuye en mayor parte al consumo de energía eléctrica total del hogar con un 47,92%.

- Se observa que los electrodomésticos ineficientes contribuyen en buena parte al consumo eléctrico del hogar.
- Que el uso de bombillas incandescentes en las lámparas aumentan el consumo eléctrico de una forma innecesaria ya que su ineficiencia se debe al calor emitido por dichas bombillas.

Tomando en cuenta las anteriores observaciones y los datos de la tabla III se puede llegar a crear un panorama general de los posibles cambios que se pueden realizar en los hogares del casco urbano de Guatemala, con lo cual es el centro de este trabajo de investigación. Dichos cambios son: uso de bombillas y electrodomésticos más eficientes, calentadores de agua solares y generación de energía eléctrica por medio de celdas solares.

En los siguientes capítulos se hace mención de las posibles energías renovables a utilizar en los hogares y de las soluciones para reducir en lo posible, el gasto energético eléctrico actual.

2. EL PROTOTIPO DEL PROYECTO LLAMADO LA CASA ALEMANA

2.1. Historia del proyecto La Casa Alemana

La casa Alemana es un conjunto de exposiciones móvil de las iniciativas de propuestas de energías renovables y la implementación de eficiencia energética de la República Federal de Alemania bajo la dirección del Ministerio Federal de Economía y Tecnología (BMWi).

Figura 3. Prototipo de La Casa Alemana



Fuente: www.lacasaalemana.com. Consulta: febrero de 2011.

La Casa Alemana tuvo como propósito dar a conocer y difundir al mayor número de latinoamericanos acerca de la implementación de posibilidades innovadoras para crear edificios altamente eficientes y amigables con el ambiente.

La Casa Alemana tuvo un recorrido por gran parte de Latinoamérica comenzando en abril del 2010 en la ciudad de Sao Pablo, Brasil y acabando en el Distrito Federal de México, teniendo el recorrido como se detalla en la tabla IV.

Tabla IV. Recorrido de las visitas del proyecto en Latinoamérica

	Ciudad	País	Fecha Inicio	Fecha Finalización
1	Sao Pablo	Brasil	10/04/2010	28/04/2010
2	Montevideo	Uruguay	17/05/2010	25/05/2010
3	Buenos Aires	Argentina	08/06/2010	22/06/2010
4	Asunción	Paraguay	30/06/2010	14/07/2010
5	Santiago de Chile	Chile	09/08/2010	20/08/2010
6	Santa Cruz	Bolivia	17/09/2010	26/09/2010
7	Lima	Perú	11/10/2010	20/10/2010
8	Quito	Ecuador	08/11/2010	18/11/2010
9	Bogotá	Colombia	03/12/2010	15/12/2010
10	Caracas	Venezuela	02/02/2011	16/02/2011
11	San José	Costa Rica	24/03/2011	28/03/2011
11	Guatemala	Guatemala	02/05/2011	16/05/2011
13	Distrito Federal	México	30/06/2011	15/07/2011

Fuente: www.lacasaalemana.com. Consulta: en febrero 2011.

Uno de los propósitos de estas exposiciones fue dar a conocer las posibilidades de construir edificios altamente eficientes sin tener que sacrificar la apariencia y confort, creando así, ambientes comprometidos a la constante búsqueda de aportar a las diferentes posibilidades que ayuden a preservar los recursos naturales que hoy en día se están viendo amenazados por el uso desmedido de los mismos.

2.2. La creación de La Casa Alemana

La Casa Alemana utiliza las contribuciones de la Universidad Técnica de la ciudad alemana de Darmstadt, estas contribuciones se propusieron por estudiantes de esta universidad, en el concurso internacional Solar Decathlon convocado por la Agencia Estadounidense de Energía U.S. Department of Energy (DOE).

Los estudiantes de la Universidad Técnica de Darmstadt, conquistaron el primer puesto el 2007 y 2009, por las casas de suministro energético el cual tenía como fuente principal la energía solar. Estos proyectos estaban bajo la dirección del profesor Manfred Hegger.

La Casa Alemana hace uso de ambos modelos ganadores y las expone a todo público, realizando esta labor se tuvo que transformar esas propuestas y las adecuaron para Latinoamérica, acentuando en el uso de la energía solar, ya que es una fuente energética que se tiene a disposición de forma abundante y que se puede considerar infinita, de tal modo que, su aprovechamiento se justifica cada día más anteponiendo de énfasis el cuidado del ambiente, evitando así, el uso excesivo de la quema de hidrocarburos proveniente del petróleo.

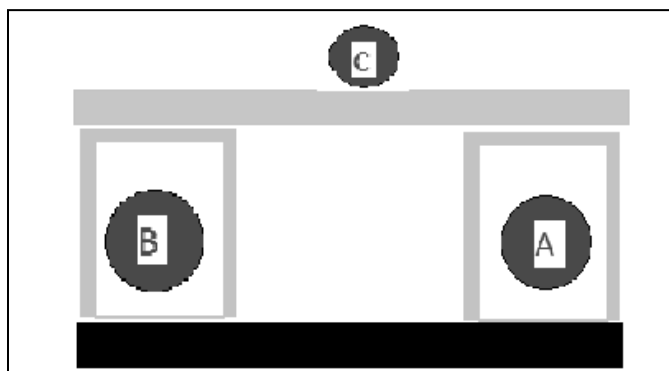
La Casa Alemana tiene como finalidad ofrecer a los visitantes un acercamiento inmejorable a la arquitectura y técnica sostenible en la construcción, en los materiales y en los sistemas técnicos.

El traslado del prototipo de país en país justificó algunos cambios que se propiciaron teniendo en cuenta que se tenía que armar y desarmar y al mismo tiempo ofrecer a los visitantes un paseo agradable dentro de su instalación, que a su vez fuera rápido y muy productivo, con esto se logra llevar el mensaje de eficiencia energética a más personas, reduciendo el tiempo de recorrido pero sin perjudicar la exhibición de los conceptos involucrados que van desde construcción, eficiencia y confort.

2.3. La estructura de La Casa Alemana

La Casa Alemana se compone de tres elementos los cuales son: un contenedor-habitáculo A, otro contenedor con espacio técnico B y un techo C de estilo flotante encima de ambos espacios, tal y como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Elementos básicos que conforman el proyecto de exhibición



Fuente: elaboración propia.

El contenedor habitacional A está compuesto de una capa externa aislada térmicamente la cual fue diseñada bajo la norma de capa pasiva, con esto se reduce la utilización de energía para aumentar o disminuir la temperatura del habitáculo. Bajo este concepto se observan con facilidad las soluciones activas y pasivas que sirven para la construcción de una vivienda.

En el otro contenedor de exhibición técnica denotado B, se encuentra abierto hacia el espacio de entrada al área común bajo techo. En esta sección se exhiben tres formas diferentes de construcción de paredes con cualidades aislantes térmicas, las cuales proveen de una forma fácil de comprender lo eficiente que puede ser construir paredes con aislamiento térmico y como estas medidas de construcción son masivas y a la vez livianas.

Las propuestas que presenta el prototipo llamado La Casa Alemana consta de dos clases de elementos: activos y pasivos, donde los activos son elementos que generan energía eléctrica y los pasivos son los que actúan de una forma indirecta en la generación, pero sí en una forma directa en el ahorro de energía eléctrica, ayudando ambos a la eficiencia que representa el prototipo.

A continuación se enlistan los elementos activos y pasivos.

2.3.1. Elementos activos

La Casa Alemana genera electricidad por medio de los siguientes tres elementos activos:

- Laminillas fotovoltaicas
- Techo fotovoltaico
- Fachada fotovoltaica

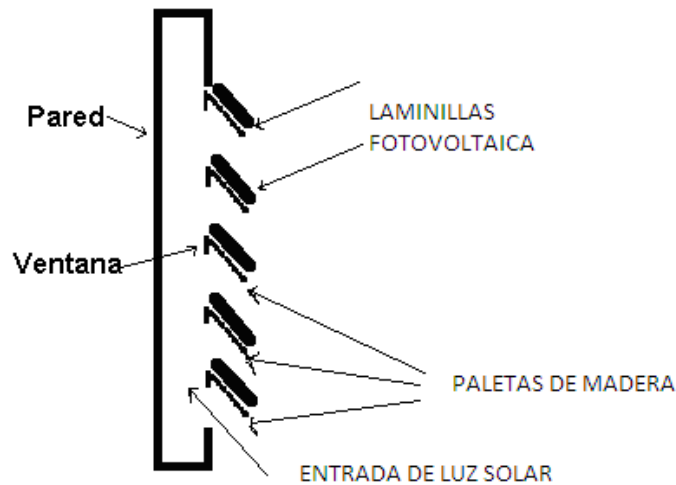
Estos tres elementos activos generan energía eléctrica aprovechando de una forma eficiente la energía solar la cual se puede considerar gratuita.

2.3.1.1. Laminillas fotovoltaicas

Como se puede observar en la figura 3, las laminillas fotovoltaicas están instaladas encima de paletas de madera, las cuales están orientadas hacia el sol para así, optimizar la captación de energía solar. Este método de laminillas fue desarrollado directamente para la casa Solar Decathlon 2007. Este sistema demuestra que, además de generar energía eléctrica también provee una adecuada protección antisolar: regulan la luz del día y garantizan la privacidad del habitante. Este método contribuye en un 25% de la generación eléctrica total de La Casa Alemana.

El sistema de protección de rayos solares y la forma de instalación de las laminillas se representa en la figura 5.

Figura 5. **Instalación de las laminillas fotovoltaicas**



Fuente: elaboración propia.

Todo el sistema técnico necesario para este sistema insular es tan práctico y compacto que cupo sin problemas en el armario en la pared izquierda del módulo A de La Casa Alemana, además el equipo técnico tiene la capacidad de acoplarse a la red convencional.

El almacenamiento de energía se hace a través de un acumulador el cual tiene como finalidad proveer energía eléctrica a La Casa Alemana cuando los paneles solares y las laminillas no estén generando energía solar, tal es el caso de las horas nocturnas y así garantizar la utilización de la energía eléctrica cuando sea posible.

Los elementos técnicos que conforman el almacenamiento y conversión de energía eléctrica serán explicados de una forma más detallada en el capítulo número cuatro.

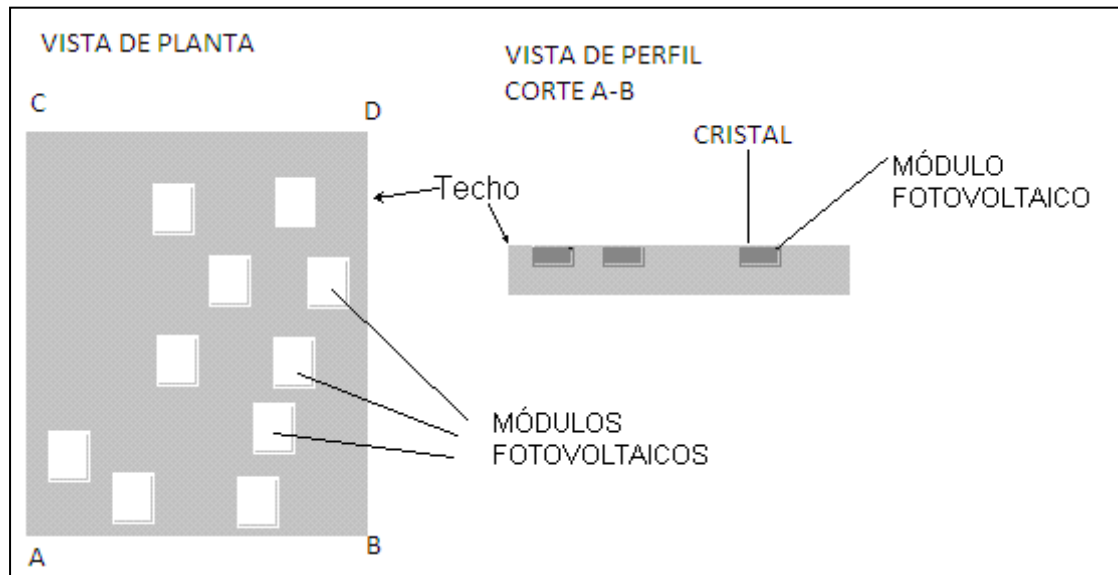
2.3.1.2. Techo fotovoltaico

Este techo está conformado por módulos fotovoltaicos novedosos de tipos CIS (Cobre Índigo – Selenio) que es un compuesto químico que tiene por fórmula química $CuInSe_2$ el cual se lee Diseleniuro de Cobre. Este elemento por su estructura cristalina pertenece a la familia de las calcopiritas.

Estos módulos están instalados dentro de un cristal y así de esta manera se protegen de las influencias ambientales, como se observa en la figura 6.

Estos módulos de La Casa Alemana representan una nueva tecnología, que por medio del comportamiento de la temperatura y de luz de baja intensidad alcanzan valores altos de eficiencia comparados con los actuales módulos solares que se pueden obtener en el mercado de generación de energía eléctrica.

Figura 6. **Vista de perfil y de planta de la ubicación de los paneles solares del prototipo**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1.3. Fachada fotovoltaica

La fachada fotovoltaica demuestra de una forma fácil la implementación de paneles solares en las paredes y aislamiento de fachada al mismo tiempo logrando así una nueva implementación del aprovechamiento de la radiación solar que reciben las diferentes construcciones como hogares o edificios. Esta fachada está compuesta por ocho módulos de igual tamaño cada uno haciendo un área de 6 metros cuadrados.

Hoy en día es importante proveer de un adecuado aislamiento térmico a las fachadas ya que por medio del choque de la radiación solar en las mismas ayudan a aumentar la temperatura en el interior de la construcción y con esto exponiendo la ineficiencia en cuanto a las actuales edificaciones.

Los paneles están instalados en la fachada como se representa en la figura 7.

Figura 7. **Distribución de los paneles solares en la fachada del prototipo**



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Elementos pasivos

Los elementos pasivos son elementos que no contribuyen a la generación de energía eléctrica que necesita el prototipo, pero si son elementos que optimizan los recursos que demanda la construcción aumentando así la eficacia del uso de la energía eléctrica.

Los elementos pasivos que presenta el prototipo llamado la Casa Alemana son los siguientes:

- Termoaislamiento al vacío por medio de paneles aislantes
- Elementos de ventanas y de ventilación
- Ventilación mecánica

2.3.2.1. Termoaislamiento al vacío por medio de paneles aislantes

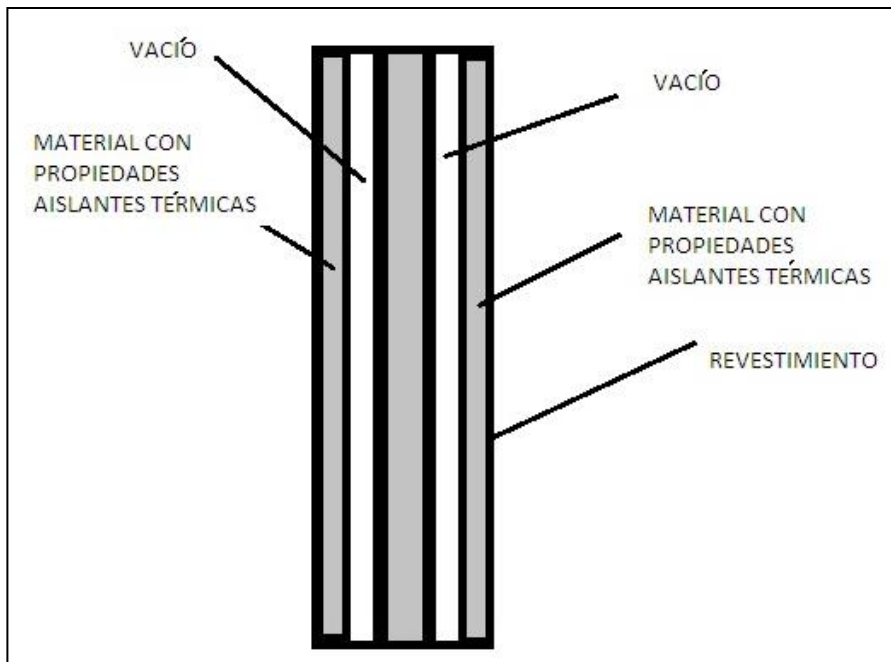
El sistema de aislamiento al vacío presenta una conductividad térmica de 8 a 10 veces menos conductividad térmica que los sistemas de aislamiento tradicionales. Este sistema consiste en un complejo material que está compuesto de un film multicapa sellado que preserva el vacío, en ocasiones también incluyen un material absorbente que constituye su núcleo y una parte inmaterial, el vacío, que proporciona las propiedades termoaislantes deseadas.

Este sistema fue investigado a profundidad para proveer un mejor comportamiento del aislamiento en edificios, cámaras frigoríficas, embalajes para transporte o en neveras.

La utilización de estos paneles de aislamiento térmico al vacío en edificios, ayuda a minimizar el uso de aislantes térmicos más gruesos y el uso excesivo de sistemas de enfriamiento tales como aire acondicionado o ventiladores eléctricos. Si se minimiza la utilización de estos sistemas de enfriamiento, entonces, se minimiza el requerimiento de energía eléctrica lo que conlleva un ahorro energético.

A continuación se representa un corte transversal de la forma básica de un panel con aislamiento térmico con el uso de materiales multicapa y vacío.

Figura 8. **Forma constructiva de los paneles termoaislantes**



Fuente: elaboración propia.

Estos paneles tienen como partes:

- Revestimiento
- Material de relleno
- Vacío

El revestimiento tiene como finalidad impedir o reducir en todo lo posible, la entrada de gases atmosféricos dentro del panel, garantizando así el nivel de aislamiento en vacío requerido.

Este revestimiento puede fabricarse de poliméricos tales como copolímeros de alcohol etileno-vinilo, de capas poliméricas en que una fina capa de aluminio, con un espesor generalmente comprendido entre 4 y 10 micrometros tal como lo indica la oficina española de patentes y marcas en la publicación número 2 208 559 de la patente con nombre Forro al Vacío para Aislamiento Térmico y procedimiento para su fabricación con fecha del 16 de junio de 2004.

En esta publicación también se menciona el tipo de material que se utiliza para esta adaptación de aislamiento térmico al vacío, haciendo la notación que el relleno está compuesto por dos clases de capas, una que es de tipo barrera, instalada en los extremos del relleno que pueden ser de materiales poliméricos con buenas propiedades mecánicas, por ejemplo, poliacrilonitrilo (PAN) o una poliolefina.

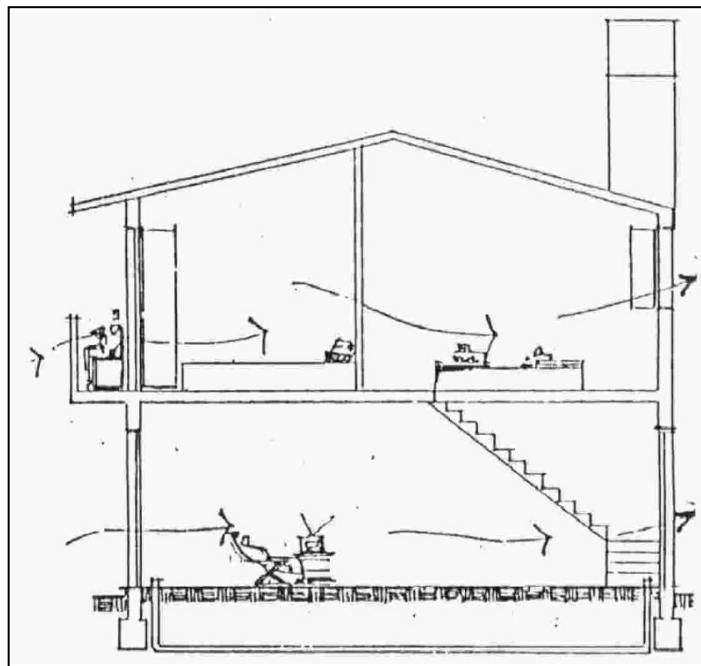
2.3.2.2. Elementos de ventanas y de ventilación

Las ventanas están compuestas de tres capas de cristales presentando así propiedades altas de aislamiento y que a la vez son altamente transparentes para no sacrificar la luminosidad. Las ventanas están instaladas en la parte alta del cuarto con un marco de madera de roble.

Estas ventanas están aisladas en su núcleo ayudando así a aumentar el aislamiento térmico, contribuyendo al ahorro energético general. Si se aumenta el aislamiento térmico se reduce la necesidad del uso excesivo de aire acondicionado a aire caliente, para mantener el cuarto a una temperatura deseada.

La ventilación se realiza mediante una trampa ubicada junto a la ventana, con este sistema se apoya sobre el principio de ventilación cruzada que presenta una forma de renovar el aire de una forma eficiente y homogénea.

Figura 9. **Ventilación cruzada**



Fuente: <http://www.fceia.unr.edu.ar>. Consulta: febrero de 2011.

La ventilación cruzada se basa en instalar una entrada de aire en la parte inferior de una habitación y la salida de aire se ubica en una esquina superior opuesta, con esto garantizando un flujo constante de aire si así se requiere. A continuación se observa el principio de ventilación cruzada.

2.3.2.3. Ventilación mecánica

La ventilación mecánica se basa en el principio de automatización ambiental automática que no es más que monitorear la temperatura ambiental a través de sensores de calor y al momento de sobrepasar la temperatura deseada se activa una bomba calorífica de *invertir-Split*, que funciona como unidad de compresor controlada por inversor.

La tecnología de inversor disminuye las revoluciones del compresor por medio de este sistema, se ahorra energía eléctrica y se evitan las fluctuaciones bruscas de temperatura en la habitación. De esta manera las funciones de calefacción o refrigeración pueden ser adaptadas de una forma rápida y eficiente a la temperatura correspondiente.

La aspiración de aire se hace a través de un filtro de aire regenerable, el cual consiste en tomar el aire de la habitación (a nivel del techo) y llevarlo a la temperatura deseada, luego inyectarlo de nuevo a la habitación (a nivel del suelo) este método toma el principio de buscar una función exponencial de temperatura la cual es más eficiente contra la forma convencional que consiste en tomar temperatura del exterior, la cual, estará en una temperatura muy distante a la que se busca en la habitación.

2.3.2.3. Técnica de iluminación

Como se vio en el primer capítulo, el consumo de energía eléctrica en un hogar es de gran medida en el uso de la misma para la iluminación artificial y si se encuentra la manera de minimizar esta utilización, se estaría facilitando un ahorro energético considerable.




Debido a la demanda y necesidades de los diferentes hogares guatemaltecos del área urbana, la utilización de energía eléctrica para iluminación no se puede reducir más allá de tomar las siguientes consideraciones:

- Iluminación por sectores.
- Iluminación general homogénea (si llegara a ser necesario).
- Automatización de iluminación a través de sensores de movimiento o por horarios.

Las anteriores consideraciones contribuyen al uso eficiente de la energía, pero para minimizar aún más esta demanda se deben implementar elementos de iluminación con la tecnología LED (*lighting emitting diode* por sus siglas en inglés), que consiste en la nueva tecnología de iluminación a base de diodos los cuales deben su eficiencia lumínica al poco amperaje que necesitan para su funcionamiento y a la baja pérdida de energía en calor, que es lo contrario que presentan los actuales elementos de iluminación, tal es el caso de las bombillas incandescentes y los tubos de gas neón.

Como se puede observar en la tabla V, la comparación de consumo eléctrico la tecnología LED está por debajo de las demás tecnologías más comunes utilizadas en los hogares del casco urbano de Guatemala.

Tabla V. **Comparación del consumo de las diferentes bombillas comerciales en la actualidad**

						
	Diodo emisor de luz LED		Fluorescente		Incandescente	
Lúmenes	Watts	Precio Q	Watts	Precio Q	Watts	Precio Q
450	4 a 5	120,00	9 a 13	12,00	40	2,00
800	6 a 8	140,00	13 a 15	15,00	60	2,50
1100	9 a 13	150,00	18 a 25	20,00	75	3,00
1800	16 a 20	200,00	23 a 30	25,00	100	4,00
2600	25 a 28	230,00	30 a 35	30,00	150	6,00
Emisión de calor	3,4 BTU x hora		30 BTU x hora		85 BTU x hora	

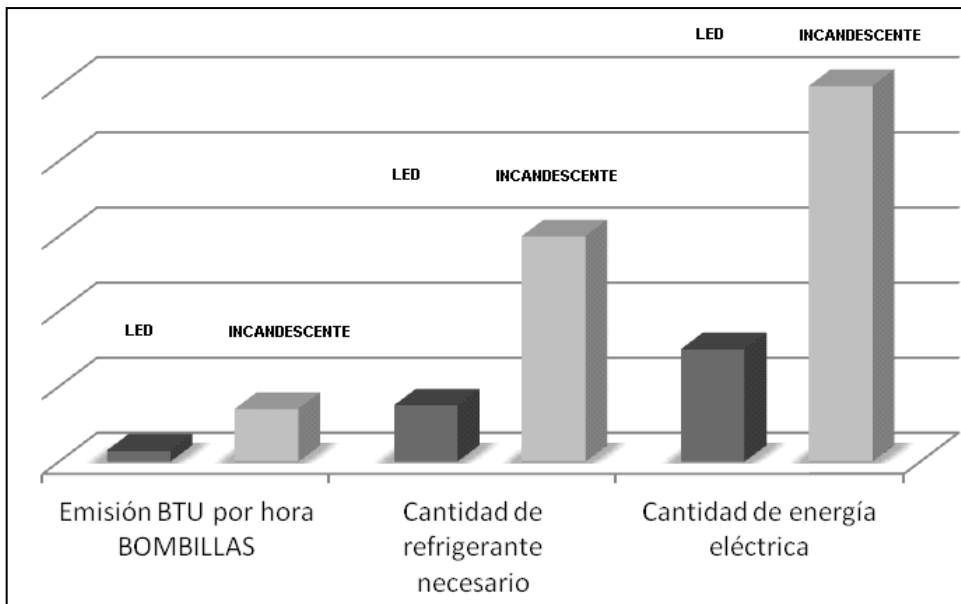
Fuente: elaboración propia.

Respecto al cuadro anterior se observa que las bombillas LED no utilizan mucha energía en producción de calor con respecto a las demás tecnologías haciendo de la tecnología LED más eficiente ya que estas bombillas se utilizan para iluminación y no como elementos calefactores, por ende es una característica que reduce considerablemente evitando así el no aprovechamiento eficiente de energía eléctrica.

En el cuadro anterior se puede observar en la última línea, la emisión de calor en unidades BTU que es la abreviatura en inglés de las palabras British Thermal Unit la cual traducida es la unidad de energía inglesa.

Una BTU es equivalente a la energía que se requiere para aumentar en un grado Fahrenheit a una libra de agua en condiciones atmosféricas ideales. Unas 12 000 BTU por hora son igual a una tonelada de refrigeración por lo tanto, si en un hogar se utilizan bombillas que emitan calor de forma excesiva (como las bombillas incandescentes) esto conlleva a la necesidad de utilizar más refrigerante lo cual se deduce a un aumento de utilización de energía eléctrica y de aquí donde se deduce la eficiencia que presentan las bombillas LED.

Figura 10. **Causas y efectos del calentamiento de bombillas por funcionamiento**



Fuente: elaboración propia.

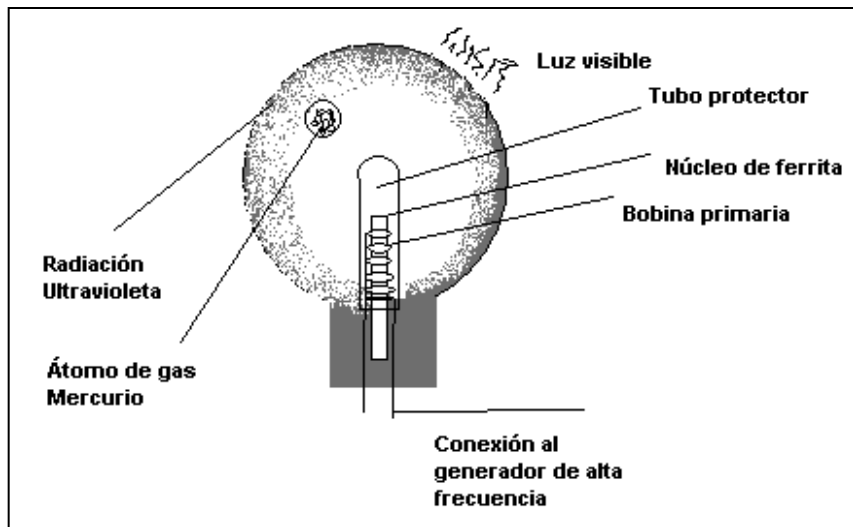
En la anterior gráfica se observan dos clases de columnas para cada serie, una columna es oscura la cual representa el caso de utilización de bombillas LED en un ambiente que necesita tener una temperatura requerida y las columnas claras, representan el caso de la utilización de bombillas como las incandescentes, las cuales aumentan el consumo de energía eléctrica gracias a su exceso de emisión de calor al ambiente haciéndolas ineficientes eléctricamente.

Otra tecnología a tomar en cuenta, es la fabricación de las bombillas por inducción, esta clase de bombillas, hasta la fecha, no han sido comercializadas con gran importancia en el mercado guatemalteco, pero esto no merma sus ventajas comparándolas así con las bombillas LED.

Las bombillas por inducción tienen como principio inducir una corriente eléctrica en un gas por medio de la generación de un campo magnético. El campo magnético es generado por una bobina sin filamentos y una antena acopladora, la cual obtiene su potencia por un generador de alta frecuencia.

El mercurio, gas que contienen estas lámparas, al estar inmerso en un campo electromagnético de alta frecuencia se ioniza creando así, choques de sus partículas liberando con estas, pequeños paquetes de energía los cuales se visualizan como luz, tal y como se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Diagrama de las bombillas de inducción**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de las ventajas que presentan estas bombillas se pueden citar las siguientes:

- Ahorro de energía eléctrica de un 60% comparándolas con las incandescentes.
- Bajo calentamiento del ambiente que las rodea.
- Luz suave sin parpadeo.
- Alto factor de potencia hasta el 95%.
- Encendido rápido y hasta en temperaturas de -25 grados centígrados.

Dentro de las pocas desventajas que presentan estas bombillas está el precio comparándolas con las otras tecnologías disponibles, por ejemplo: una bombilla LED de 1 800 lúmenes cuesta alrededor de Q200,00 y una bombilla de inducción cuesta alrededor de Q490,00, pero, se espera que el precio disminuya a través que se comercialicen las mismas, estando así cada vez más cerca de ser una opción para los hogares e industria.

2.3.2.5. Aparatos domésticos eficientes

La Casa Alemana en su contenedor habitáculo A contiene dos aparatos domésticos los cuales son: la cafetera y la nevera de bajo consumo, contribuyendo así a mantener el concepto de eficiencia tanto de energía eléctrica como de espacio, gracias al tamaño pequeño que presentan estos aparatos.

La importancia de escoger aparatos eléctricamente eficientes hoy en día a la hora de comprar se agudiza cada vez más debido a la constante búsqueda de ahorrar energía eléctrica pero sin sacrificar funcionalidades de los mismos.

La Casa Alemana con estos ejemplos de ahorro energético deja claro que se pueden obtener buenos ahorros energéticos con tan solo usar aparatos eléctricos eficientes, además sin dejar de mencionar el ahorro económico que esto representa.

2.3 3. Datos técnicos del prototipo llamado La Casa Alemana

En la tabla VI se detallan las distribuciones de área constructivas del prototipo La Casa Alemana.

Tabla VI. Datos técnicos de la construcción física del prototipo

	Aprox. m ²
Superficie bruta básica del techo	82
Superficie bruta básica del piso superior	38
Superficie de exposición (área de demostración de tecnologías)	60
Superficie neta básica del contenedor A	11
Superficie neta básica del contenedor B	10
Volumen bruto de los dos contenedores	42

Fuente: <http://www.lacasaalemana.com>. Consulta: febrero de 2011.

Datos técnicos de generación eléctrica por medio de elementos fotovoltaicos.

Tabla VII. **Metros cuadrados de paneles fotovoltaicos instalados en el prototipo**

	Área m ²	Potencia Kwp
Elementos fotovoltaicos en el techo	Aprox. 9	1,05
Elementos fotovoltaicos en la pared	Aprox. 6	0,50
Laminillas fotovoltaicas	Aprox. 10	0,34
Potencia Total	Aprox.	1,89

Fuente: <http://www.lacasaalemana.com>. Consulta: febrero de 2011.

Donde kilowatt pico significa la potencia generada en el momento en que la energía solar está en el momento de entrega total a los paneles fotovoltaicos y laminillas.

3. TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables, conocidas también como energías limpias encierran un concepto de no afectar al ambiente mediante su aprovechamiento. Estas energías se encuentran en el ambiente de una forma abundante, tal es el caso del aprovechamiento de la energía del sol, agua, viento, entre otras.

Estas energías se caracterizan en no afectar al ambiente de una forma drástica como es el caso de las energías que hoy en día se están explotando, por citar uno en particular, el uso del petróleo y sus derivados.

“Según el Ministerio de Energía y Minas, el consumo energético es en un 42,61% por medio de los derivados del petróleo, haciendo esto, el encarecimiento de estos recursos día a día”.¹

3.1. Tipos de energías renovables

A continuación se describen las diferentes fuentes de energía consideradas como energías limpias o renovables:

- Bioenergía
- Energía eólica
- Energía geotérmica

¹ MEM. Reglamento de la Ley General de Electricidad. Guatemala, marzo de 1997.

- Energía solar
- Hidroenergía

3.1.1. Bioenergía

Es la que proviene de residuos orgánicos de origen animal y vegetal. Esta energía encierra los conceptos de biocombustibles y biomasa.

Biocombustibles, son el producto de reacciones químicas de residuos de animales o vegetales y de fermentaciones de subproductos vegetales.

Para la obtención de los biocombustibles se pueden utilizar especies de uso agrícola tales como el maíz o la mandioca, ricas en carbohidratos o plantas oleaginosas como la soja, girasol y palmas. También se pueden emplear especies forestales como el eucalipto y los pinos.

El consumo en Guatemala con respecto a la bioenergía, como dato representativo, en el 2003 fue de 47,3 millones de BEP, con lo cual el 26,4 millones de BEP fueron provenientes de la biomasa que equivale a un 56% del consumo de energía total. Dando así un panorama general de la importancia del uso de la bioenergía en el país.

“También los residuos agroindustriales, principalmente el bagazo de caña de azúcar (ingenios), toman importancia en cuanto a la participación de la Bioenergía en el país, generando así el 10% de la generación total instalada del país siendo unos 182,7 MW”.²

² GARCÍA PRADO, Rommel Calaric. Caracterización energética de Guatemala. p. 72.

Centroamérica, por ende Guatemala, se encuentra en una posición favorable en cuanto a la producción de biomasa se refiere. Su clima tropical y su posición geográfica le permite producir biomasa durante los 365 días del año, es decir, que el proceso de fotosíntesis se realiza sin interrupción representando un alto grado de producción y aprovechamiento solar mediante la biomasa.

Entre sus ventajas se encuentran, la reducción de la dependencia de los productos derivados del petróleo, no emiten CO₂, el uso de algunos residuos vegetales y de origen animal, desechos porcinos o bovinos por ejemplo, ayudan a la reducción de la contaminación ambiental.

3.1.2. Energía eólica

Esta energía es producida por el aprovechamiento del movimiento del aire, es decir, que es aprovechada la energía cinética que posee el aire al trasladarse con una velocidad de un punto a otro.

La energía eólica es transformada principalmente en energía eléctrica por medio de aerogeneradores los cuales tienen aspas que captan el viento y conforme la velocidad del mismo, estas tienden a rotar y dar movimiento al eje del rotor del generador.

Una característica importante de esta energía renovable es que la generación de energía eléctrica es linealmente proporcional al área expuesta de las aspas de los aerogeneradores.

Existen dos clases de turbinas de viento las horizontales y las verticales y pueden ser empleadas para bombear agua, transformar energía eléctrica o incluso energía termal a través de la fricción.

La generación de energía eléctrica por medio de la energía eólica ha sido unas de las implementaciones más significativas de utilización de energías renovables, proveyendo así de electricidad a comercios, negocios y empresas de servicios públicos.

Dentro de esta tecnología las metas son mejorar la fiabilidad o confiabilidad a largo plazo, mantenimiento de bajos costos y buena eficiencia sobre un rango mayor de condiciones del viento.

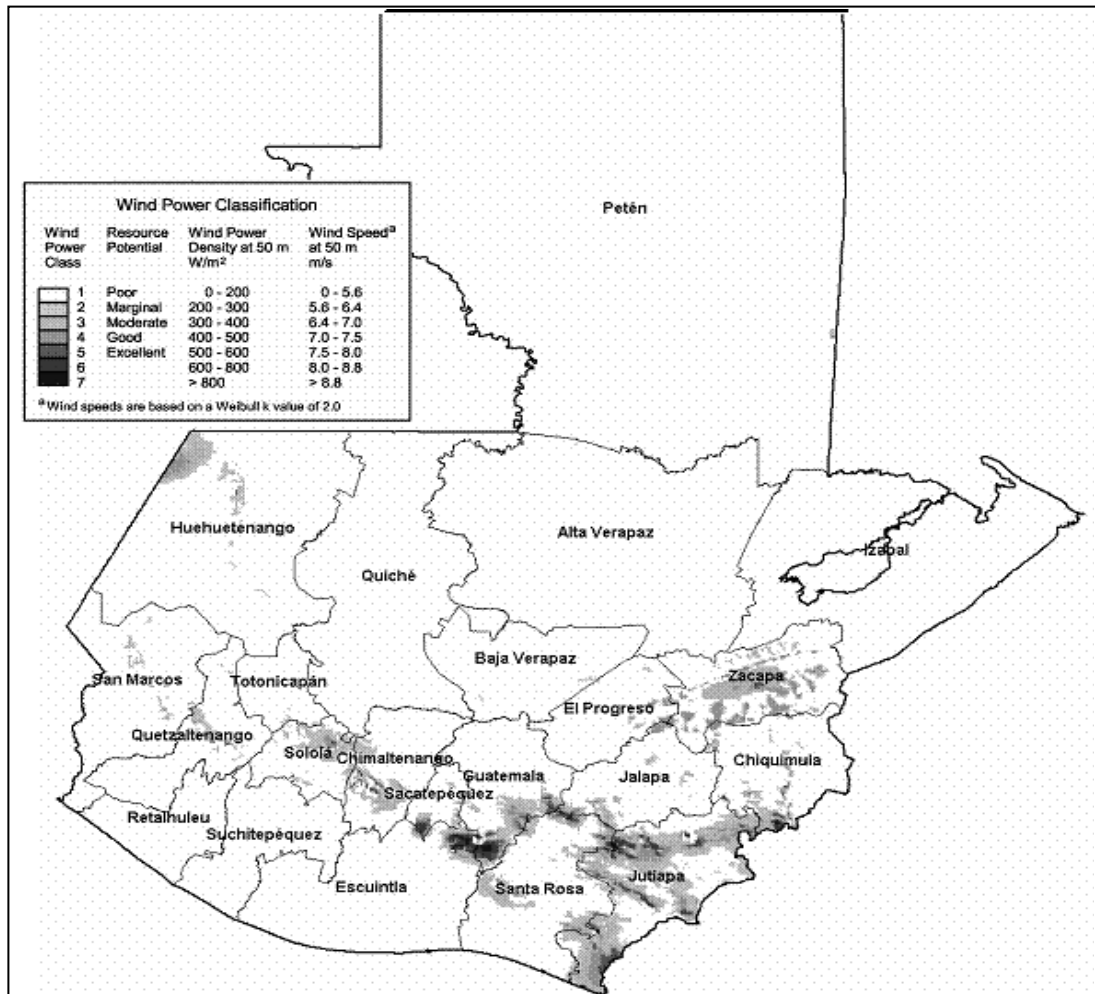
Guatemala es un país que podría, teóricamente, generar unos 7 800 megawatts de energía eléctrica por medio del aprovechamiento de la energía eólica que es 1,5 veces la capacidad estimada de las hidroeléctricas que se podrían construir en el país y cinco veces del consumo del país entero.

“Centroamérica cuenta con vientos que soplan en ambos hemisferios llamados vientos alisios, los cuales presentan las características de poseer una velocidad y dirección relativamente constante, ayudando así a beneficiar el aprovechamiento de dicha energía”.³

Según mediciones realizadas durante un año por el MEM, Santa Rosa, Sacatepéquez, Escuintla, Zacapa y Jutiapa son los departamentos que ofrecen un mayor potencial para el aprovechamiento de esta energía. La figura muestra el mapa de densidad de energía eólica potencial en Guatemala.

³ ICAITI. Conferencia centroamericana sobre energía y desarrollo. Tegucigalpa, Honduras, 25 y 26 de marzo de 1981.

Figura 12. Clasificación de la potencia eólica en Guatemala



Fuente: GARCÍA PRADO, Rommel Calaric. Caracterización energética de Guatemala. p. 73.

3.1.3. Energía geotérmica

La energía geotérmica, es la energía proveniente del calor del centro de la tierra en forma de vapor, tal y como se puede observar en fumarolas, termales, géiser y volcanes de una forma natural.

La formación del vapor es por la evaporación del agua que circula por debajo de la superficie de la tierra y que hace un contacto con el magma, que es la roca fundida conocida también como magma, que se encuentra a temperaturas altas.

Esta energía se considera renovable si el calor extraído no es mayor que el abastecido desde el centro de la Tierra, es decir, si se capta el vapor en los posos geotérmicos de una forma natural sin apresurar a la subida del mismo y si el agua que trae el calor a la superficie es reinyectada, cerrando así, un ciclo de captación de vapor y reinyección de agua al mismo sitio.

El calor está concentrado en un reservorio, que es una formación rocosa permeable subterránea que almacena el calor y permite que el fluido circule y lleve el calor del mismo a la superficie.

Actualmente se emplea esta energía de las siguientes formas:

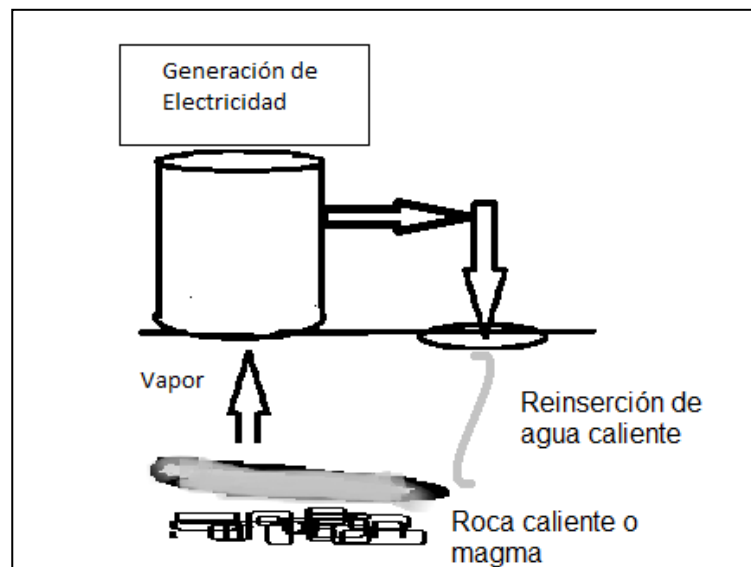
- Generación de electricidad.
- Calefacción de edificios, casas e invernaderos.
- Secado de frutas, verduras, granos, cacao, forrajes, madera, y otros cultivos.
- Acuicultura.
- Pasteurización.

- Mayor extracción de petróleo.
- Minería.
- Otros procesos industriales.
- Lavandería.

El proceso de conversión de la energía geotérmica en electricidad se da de la siguiente manera:

Primero se capta el vapor proveniente del centro de la Tierra luego se hace circular en tuberías que lo presurizan inyectándolo en el final a una turbina la cual gira y por estar conectada al rotor del generador se genera la energía eléctrica. En la figura 9, se observa el ciclo de la energía geotérmica.

Figura 13. **Representación por bloques de la generación geotérmica**



Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de los pozos va decayendo conforme el pasar del tiempo y aprovechamiento del mismo, ya que la temperatura del pozo disminuye por la reinserción del agua excedente del vapor ascendente dando como resultado una vida útil promedio de 24 años para las plantas geotérmicas.

Este sistema tiene un alto costo de inversión inicial y un alto riesgo de excavaciones de pozos no muy eficientes dado que se procede a excavar en lugares que por estudios indican que se trata de pozos altamente eficientes, pero en muchas ocasiones se trata de pozos pequeños con relativamente poco tiempo de duración y muy ineficientes.

También poseen otra dificultad estos sistemas, que es el alto costo de mantenimiento dada la corrosión de las tuberías y de la turbina por tratarse de un sistema de condensación de vapor de agua.

En contraparte se destaca por no verse afectada la generación a condiciones climáticas adversas en la superficie y ofrecer una cogeneración constante durante los 365 días del año si así se requiriera.

En lugares donde es posible acceder a esta energía, las personas la utilizan para la calefacción de ambientes y para calentar agua la cual la utilizan para la ducha, representando así un ahorro sustancial y mayor comodidad.

3.1.4. Energía solar

En términos físicos se entiende por energía solar a la energía proveniente del Sol. Por parte de las energías renovables se entiende por la energía solar y la luz solar que incide en la capa terrestre en su forma visible y no visible como es el caso de la luz infrarroja y la ultravioleta.

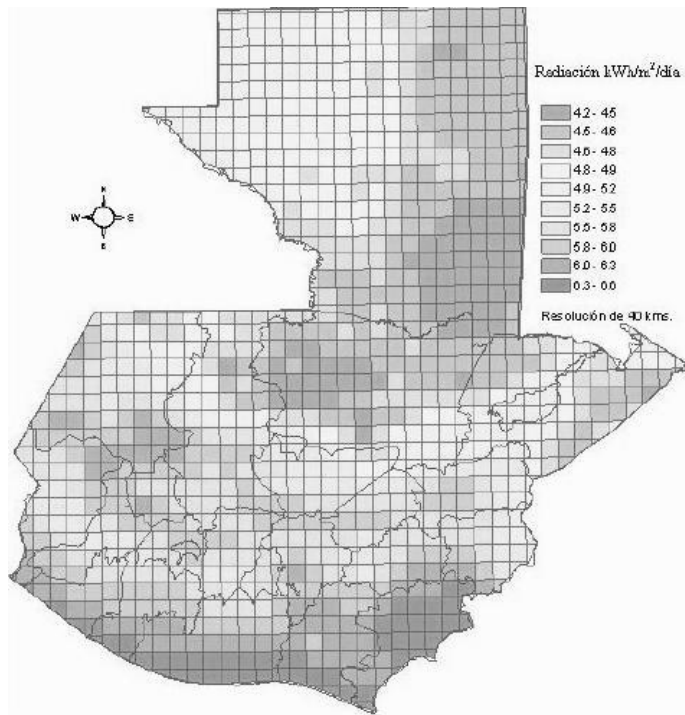
La energía solar es aprovechada naturalmente por el fenómeno de fotosíntesis que tiene un papel importante con respecto a la bioenergía. También se puede aprovechar con la intervención del humano en la transformación de la misma en calor (energía térmica) y en la transformación en electricidad (energía fotovoltaica).

La cantidad de energía solar que recibe un sitio depende de la ubicación del mismo. Cuando se habla de ubicación se refiere a la latitud del sitio el cual entre más cercano se encuentre al Ecuador mayor será la intensidad con que llega la luz a incidir en dicha superficie. Por otro lado, la intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas.

La radiancia o irradiancia es la magnitud que describe la intensidad de la radiación solar y se mide en vatios por metro cuadrado, también es conocido como brillo solar.

Existe otro término utilizado en el aprovechamiento de la energía solar y es la radiación, el cual se utiliza para establecer la cuantificación de la densidad de la energía solar incidente en una superficie plana. La radiación está expresada en vatio-hora por metro cuadrado.

Figura 14. Radiación directa anual



Fuente: DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería, USAC y Estudio de Aprovechamiento. p.36.

Se ha determinado un valor promedio de la radiación solar incidente en Guatemala de 5,4 kilovatios/ metros cuadrados x día.

Como es evidente, existe un gran potencial no aprovechado, en gran porcentaje, hasta hoy en día en Guatemala de la radiación diaria, que si se aprovechará de una forma eficiente se estaría aportando un gran avance al país y a sus habitantes con respecto a la evolución de ahorro del requerimiento de la generación de energía por medios no renovables.

3.1.4.1. Aprovechamiento de la radiación solar

Tomando en cuenta que Guatemala se encuentra ubicado arriba del Ecuador a unos 14,5 grados a una altura del 1 458 metros sobre el nivel del mar y una variación de inclinación de -23 grados a 23 grados, lo cual conlleva a una clara visión de la gran cantidad de radiación solar durante todo el año, de allí la gran cantidad de energía solar que se puede aprovechar.

“En la búsqueda constante de ofrecer una alternativa para la generación de energía eléctrica y de consumo a baja escala es propicio considerar el uso de la energía fotovoltaica, dado que el consumo de energía de los países aumenta en un 10% cada año”.⁴

El uso de la energía solar es hoy en día de suma importancia dada la problemática del encarecimiento de los productos provenientes del petróleo y sus derivados y, abonando así el gran potencial que Guatemala recibe a diario en forma de radiación solar.

3.1.4.2. Energía térmica

Es uno de los aprovechamientos de la energía solar, la cual ofrece grandes ahorros económicos por la utilización del calor que ofrece la radiación solar. Este ahorro se debe a la transformación de la energía eléctrica en calor, pero implica un gasto excesivo en dicha transformación más allá de la utilizada para iluminación.

⁴DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC, y Estudio de Aprovechamiento. p. 21.

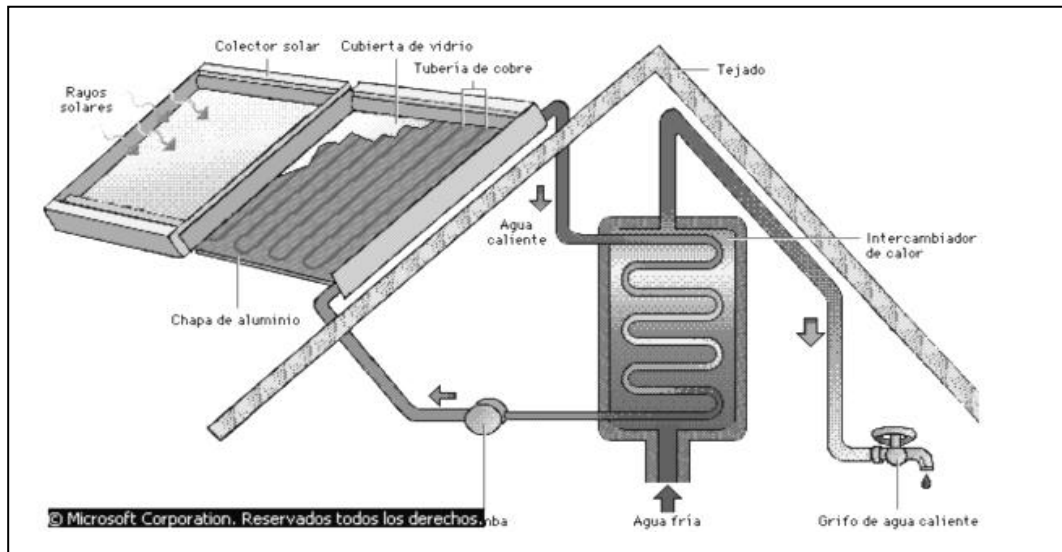
Dentro de la transformación de energía solar en térmica se encuentran las siguientes aplicaciones:

- Calefacción y refrigeración de hogares.
- Calentamiento de agua para ducha en los hogares.
- Calentamiento de agua para uso industrial.

La climatización de agua para la ducha es una de las aplicaciones que últimamente se está utilizando con mayor aceptación, esto debido al gran consumo que representa climatizar el agua por medio de resistencias eléctricas y por ende conlleva a un gran gasto económico. Esta captación de energía solar se efectúa por medio de colectores de placa plana.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. **Sistema de calentamiento de agua por medio de energía solar**



Fuente: Calentador de agua solar. <http://damr.net/2007/05/01/calentador-de-agua-solar>.

Consulta: mayo de 2011.

La instalación de los colectores de placa plana varía respecto a la ubicación del lugar de instalación. En el hemisferio norte se orientan hacia el sur y en el hemisferio sur hacia el norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud.

“En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15 grados de latitud y se orientan unos 20 grados latitud sur o 20 grados de latitud norte”.⁵

⁵ Energía. http://www.solociencia.com/temas_energia/colectores_placa_plana.htm. Consulta: junio de 2011.

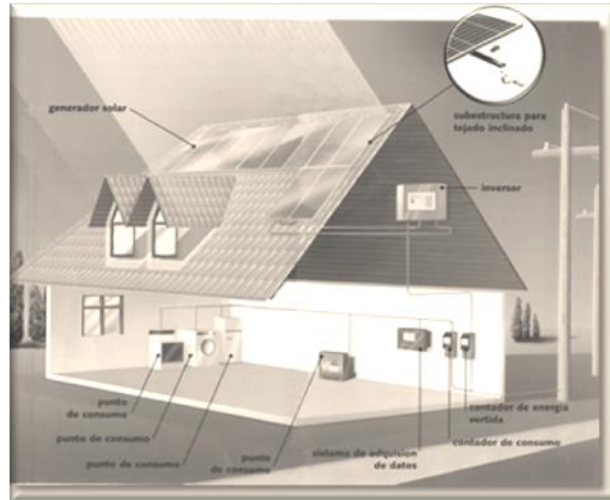
Además de los colectores de placa plana, los sistemas también poseen bombas de circulación, sensores de temperatura en lugares específicos para el control de la temperatura del medio de conducción, el cual puede ser aire, agua o una mezcla de agua con anticongelante y un dispositivo para almacenamiento de la energía, tal sería el caso de un cisterna o tanque con aislamiento térmico, en vacío o con espuma de poliuretano.

La aplicación más común hoy en día en los hogares con respecto a la utilización de la energía térmica es: calentar el agua potable por medio de la energía solar, para utilización en la ducha o lavar trastos. Este método consiste en utilizar un colector de agua el cual hace circular el agua en tubos que están expuestos a la radiación solar y al mismo tiempo calientan el agua y esta se eleva por que la temperatura provoca que las moléculas del agua se expandan haciendo así, que ocupen mayor volumen, pero pesando lo mismo, esto implica que el agua caliente flote y el agua fría, más densa, esté en el fondo de un tanque.

3.1.4.3. Energía fotovoltaica

Por otra parte se utiliza la energía solar para transformarla y generar energía eléctrica conocida como energía fotovoltaica, la cual tiene como principal elemento el panel solar el cual a su vez tiene como alma las celdas solares.

Figura 16. **Energía fotovoltaica**



Fuente: Sistema solar. <http://www.solanerosolarenergy.es/fotovoltaica.html>. Consulta: junio de 2011.

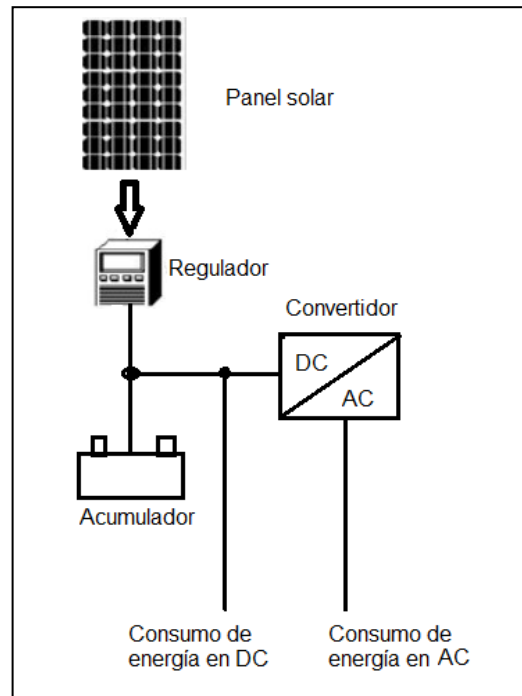
Cuando se menciona equipo solar se refiere a la utilización de elementos que transforman la energía solar en otra energía para su adecuado aprovechamiento.

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar, se utilizan los sistemas fotovoltaicos, los cuales se conforman por los siguientes elementos:

- Paneles solares
- Acumulador
- Regulador
- Inversor

En la figura 17, se ejemplifica un sistema fotovoltaico base.

Figura 17. **Sistema fotovoltaico autónomo**



Fuente: elaboración propia.

- Paneles solares

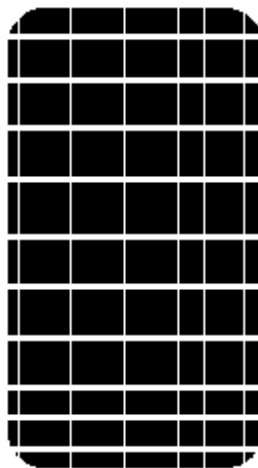
La energía del Sol se recoge en paneles solares y se convierte en electricidad basándose en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales semiconductores, lo que genera un flujo de electrones en el interior del material el cual está contenido en las llamadas celdas fotovoltaicas.

Los paneles solares físicamente están fabricados en forma de emparedado, con una capa de cristal, otra de acetato de vinilo, las celdas que se desean colocar, otra de substrato orgánico y de último otra capa de vidrio.

“Las celdas fotovoltaicas forman los paneles solares, las cuales, por lo general, generan una tensión de medio voltio”.⁶ Las formas de conectar las celdas en los paneles suelen ser: en serie, paralelo o en serie-paralelo, estas suelen variar con base al potencial (voltaje) o al amperaje requerido.

La forma comercial de un panel solar es como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Panel solar**



Fuente: elaboración propia.

⁶ DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería, USAC y Estudio de Aprovechamiento. p. 46.

En la instalación de los paneles solares, se busca siempre que al medio día solar los rayos lleguen de una forma perpendicular a la superficie del panel y dando un ángulo de +15 grados hacia el punto cardinal en que se pone el Sol con el fin de aprovechar los rayos del atardecer.

- Acumuladores

El acumulador, comúnmente conocido como baterías, es el elemento que tiene por finalidad almacenar la energía eléctrica en Corriente Directa –DC– y proveen, al sistema fotovoltaico, ofrecer la energía eléctrica cuando se requiera.

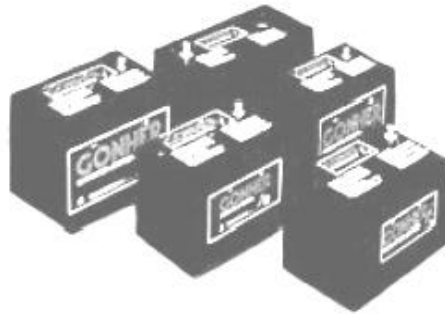
Existen diferentes clases de acumuladores, según su constitución interna, de plomo-acido o de gel y, por su voltaje de operación, 2,6 o 12 voltios DC.

Los primeros acumuladores, están compuestos por plomo y ácido sulfúrico, lo cual hace que sean altamente contaminantes al cabo de la culminación de su vida útil, que es de 4 a 5 años si reciben el mantenimiento adecuado y los acumuladores de gel, son menos contaminantes y su vida útil está entre 7 a 9 años, mientras que los paneles solares tienen una vida útil entre 25 a 30 años.

Los acumuladores están compuestos por vasos o celdas, cada uno contiene un electrodo positivo y uno negativo, cada celda puede llegar a ofrecer 2 voltios DC.

La capacidad de almacenaje de los acumuladores se mide en Amperios-hora A/h.

Figura 19. **Acumuladores para módulos fotovoltaicos**



Fuente: Acumuladores. <http://www.grupogonher.com>. Consulta: junio de 2011.

- **Regulador**

El regulador, es un elemento electrónico que tiene la finalidad de limitar la carga o descarga de los acumuladores en un voltaje determinado, valor propuesto por el fabricante de los acumuladores, para evitar un daño irreversible en los mismos.

También tiene otra finalidad el regulador en un sistema fotovoltaico, que es el de optimizar la eficiencia del sistema completo, lo cual lo logra, ofreciendo la cantidad de energía que se está demandando en el momento preciso.

Existen dos tipos de reguladores: los paralelos o shunt y los de tipo serie, siendo el más utilizado para sistemas pequeños los shunt y los de tipo serie para sistemas grandes.

Figura 20. **Regulador de carga**



Fuente: Reguladores. <http://cleanpress.files.wordpress.com>. Consulta: marzo de 2011.

- **Inversor**

El inversor, es otro elemento importante en los sistemas fotovoltaicos, ya que se encarga en convertir la corriente directa o comúnmente conocida como DC por sus siglas en inglés (Direct Courrent) a Corriente Alterna AC, pues el panel por sí mismo, genera energía eléctrica de 12 voltios en DC.

El uso de inversores se hace necesario en los lugares que se necesita energizar cargas eléctricas en CA, tal es el caso de bombillas, televisores, cargadores de celular o cualquier elemento eléctrico que necesite esta clase de energía.

Figura 21. **Inversor para sistemas fotovoltaicos**



Fuente: Microinversores. <http://desenchufados.net>. Consulta: marzo de 2011.

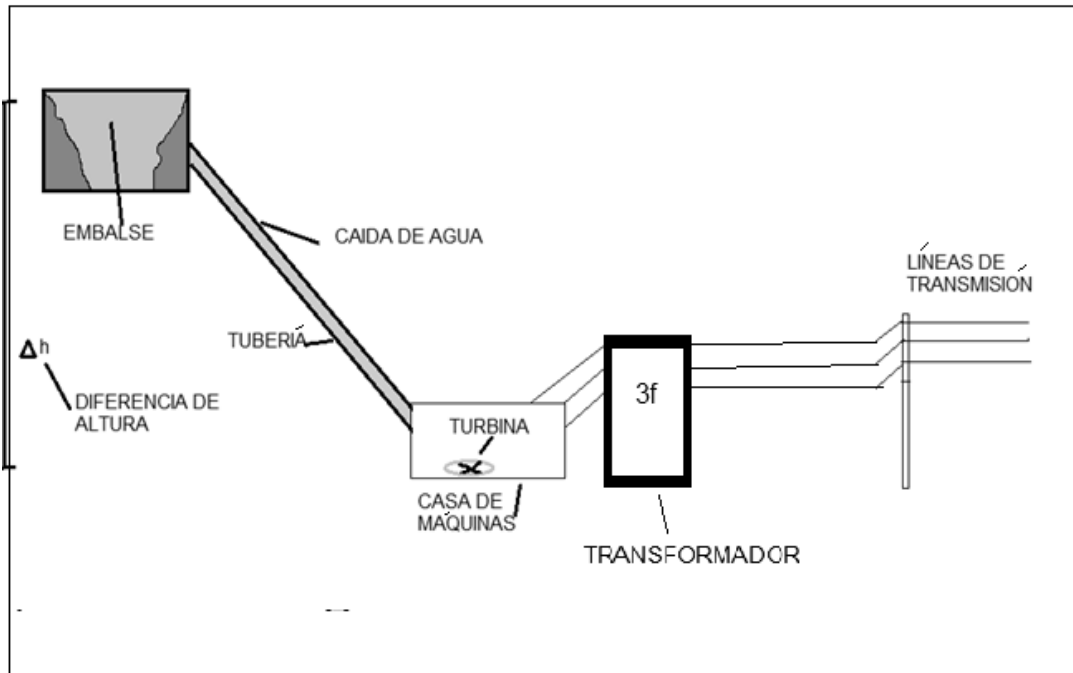
3.1.5. Hidroenergía

La hidroenergía o energía hidráulica es básicamente el aprovechamiento de la energía cinética del movimiento de grandes volúmenes de agua, reposados o el simple caudal que presentan ríos, transformada a energía mecánica para luego transformarla en energía eléctrica por medio de una turbina acoplada a un generador eléctrico.

Para aumentar la generación de energía eléctrica por medio de este método, se debe implementar en ríos con las más altas velocidades, pero ante esta limitante de velocidades de los caudales de ríos, se optó por aumentar la velocidad del agua mediante el aprovechamiento de la gravedad. Si se acumula un volumen de agua el cual se deja correr colina abajo en una tubería, el agua, toma una velocidad que es proporcional a la altura de la caída de agua, haciendo así, posible obtener mayor velocidad entre mayor sea la altura de la caída de agua.

Este proceso se puede observar en la figura 22.

Figura 22. Representación de una hidroeléctrica en bloques



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 22, este método de generación de energía eléctrica se conforma de los siguientes elementos importantes tales como el embalse, la tubería de presión, cuarto de máquinas, transformador trifásico y por último, las líneas de transmisión.

El embalse tiene como finalidad reunir en un solo lugar agua, para tener una reserva y utilizarla cuando se requiera, ya sea para épocas de sequilla o cuando se requiera generar más energía eléctrica.

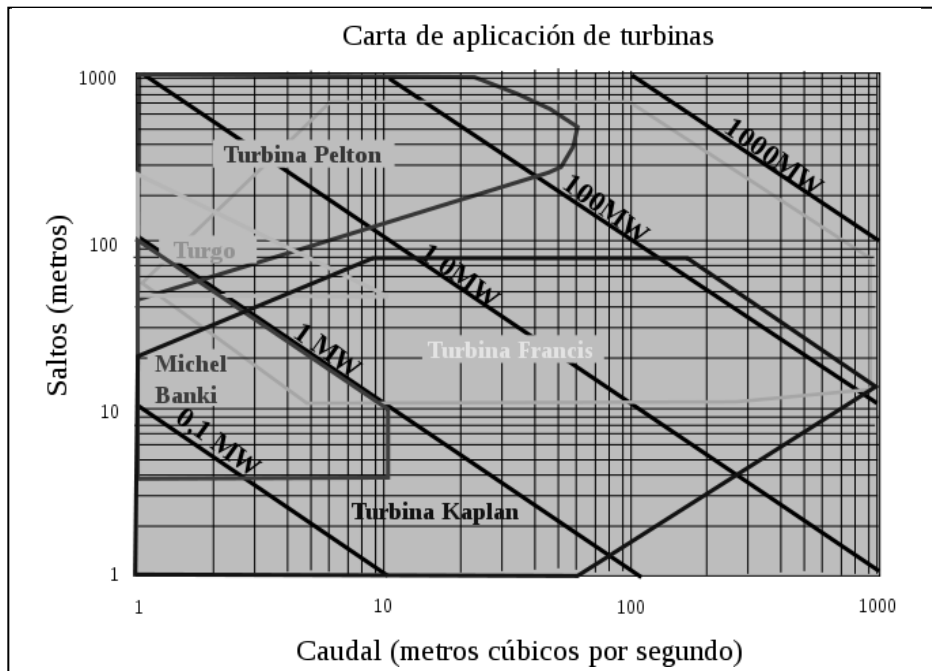
La tubería de presión tiene como finalidad llevar el agua al cuarto de máquinas, se apoya en anclajes que soportan la presión del agua y la dilatación por cambios de temperatura.

El cuarto de máquinas es el área donde llega el agua con gran presión debido a la diferencia de alturas entre esta área y el embalse y es donde se transforma la energía mecánica, que ofrece el caudal de agua, en energía eléctrica a través de las turbinas. En el cuarto de máquinas se encuentran los controles de las variables hidráulicas y eléctricas. Entre las variables hidráulicas a controlar están: caudal, velocidad, volumen de entrada y presión.

Entre las variables eléctricas que se controlan en el cuarto de máquinas se encuentran: excitación del primotor, corriente de excitación del estator y cuando se ha transformado la energía mecánica a energía eléctrica se procede a controlar las variables eléctricas como: potencia aparente generada (compuesta por reactiva y real), voltaje generado y la frecuencia de salida.

Las turbinas son los elementos que utilizan la energía mecánica del caudal del agua para generar un movimiento rotatorio el cual a su vez está ligado al eje del rotor del generador eléctrico. Existen diferentes clases de turbinas entre las cuales se encuentran: Turbinas Kaplan, Francis, Pelton, Michael banki y Turgo.

Figura 23. **Aplicación de turbinas según la potencia de generación y los saltos de agua**



Fuente: Turbina hidráulica. <http://commons.wikimedia.org>. Consulta: abril de 2011.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

El uso de la energía solar se justifica en sus ventajas tales como:

- Cuantificación de energía solar que es posible transformar en energía eléctrica.
- Sostenibilidad.
- Posibilidad de ofrecer energía eléctrica en lugares remotos.
- Facilidad de vender energía a la red gracias a las actuales regulaciones de la Ley de Energía Eléctrica.

4.1. Cuantificación de energía solar que es posible transformar en energía eléctrica

La cualificación de la energía solar que es posible transformar en energía eléctrica se hace prescindible para cada proyecto de aprovechamiento solar, dado que, en cada región varía la irradiancia con respecto a la latitud en donde se encuentre dicha región.

4.1.1. Energía solar

Como se mencionó en el capítulo anterior, la energía solar es la energía proveniente del Sol, también se entiende por energía solar, la luz que incide en la superficie de la Tierra en sus componentes visibles, invisibles, infrarrojos y ultravioletas.

4.1.2. Medición de la energía solar

Cuando se requiere medir cuánta energía solar llega a un área determinada de la Tierra, se hace uso del concepto de radiancia o irradiancia y se mide en vatios por metro cuadrado.

La irradiancia de la energía solar en la tierra depende de la latitud del sitio: mientras más cerca se encuentre del Ecuador, esta será mayor ya que el área en cuestión recibirá la energía de una forma más perpendicular con respecto a la línea horizontal de la Tierra.

Otros factores que afectan a la irradiancia son: la época del año, la hora del día y las condiciones atmosféricas.

La irradiancia es medida como la energía solar que incide en una placa plana de un metro cuadrado, la cual tiene que estar de una forma perpendicular a la fuente de energía, el Sol en este caso, para así maximizar la captación de la energía.

La irradiancia afuera de la atmósfera terrestre es de alrededor de 1 354 vatios por metro cuadrado con una variación de 50 vatios por metro cuadrado, esta variación es debida a la distancia entre el Sol y la Tierra que cambia con respecto al tiempo.

En un día despejado la irradiancia es mayor debido a la ausencia de nubes y se puede llegar a medir en la superficie terrestre alrededor de 1 000 vatios por metro cuadrado. Este da a entender que aproximadamente la cuarta parte de la irradiancia es absorbida por la atmósfera.

La irradiancia, en función de la hora del día, contribuye al entendimiento del comportamiento variable y cambiante durante el día de un sistema solar y por ende, contribuye a un diseño más específico del sistema solar a instalar.

Para obtener una mejor cuantificación de la energía solar aprovechable hoy en día, se hace uso de un término llamado radiación, el cual cuantifica la densidad superficial de la energía solar en una superficie plana. Por otro lado, también se puede entender la radiación como el promedio de energía solar durante un día que incide sobre una superficie plana de un metro cuadrado.

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

Para los diseños técnicos de proyectos de aprovechamiento solar, fotovoltaico, es de mucha utilidad saber el valor de la radiación solar en el lugar de instalación, con lo cual se hace más claro cuánto de energía solar será capaz el sistema de recolectar y transformar la energía solar en energía eléctrica. La radiación es aprovechada en sus componentes directa y difusa.

La radiación directa es la energía que llega directamente del foco solar, sin que sufra reflexiones o deflexiones intermedias. La radiación difusa o RD es la radiación que ha sido reflejada o atenuada por las nubes u otros elementos naturales o artificiales que han interactuado con la energía solar antes de llegar a la superficie terrestre. La capa de Ozono tiene un papel importante en esta radiación, ya que tiende a atenuar la energía solar al momento que la atraviesa y sufre una deflexión.

La radiación directa se puede concentrar ya que es direccional, en cambio, la radiación difusa no se puede direccionar ya que es omnidireccional, es decir, que viaja a todas partes en forma difusa.

Como se mencionó en el capítulo tres, el potencial de la radiación solar que incide en la ciudad de Guatemala, es un valor promedio de 5,4 kilovatio por metro cuadrado por día.

4.1.3. Aprovechamiento de la energía solar en Guatemala

Una de las cualidades del gran potencial que representa la energía solar que puede ser aprovechada en Guatemala, es la ubicación geográfica en la que se encuentra, ya que entre más cerca se encuentre el área en cuestión al Ecuador terrestre, mayor será la captación solar al momento de querer aprovechar dicha energía.

Guatemala, un país tropical de América Central, que se ubica a 14,5 grados arriba del Ecuador terrestre, esto reforzando lo dicho anteriormente, lo cual ejemplifica que Guatemala es capaz de recaudar gran cantidad de energía solar y así transformar gran cantidad de esta energía en energía eléctrica o térmica, según sea la necesidad.

“Según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE– en su documento publicado en su página con perspectivas de mediano plazo (2010-2015), el aumento de generación con combustible base será del 16% al 41% en promedio del 2010 al 2015”.⁷ Con lo cual se hace necesaria la generación de energía eléctrica por otros medios que no utilicen combustible base.

Además, en el mismo documento hace constar que se calcula un 50% de generación de energía eléctrica por medio de la conversión de energías renovables, tales como, las que se trataron en el tercer capítulo.

De los 5,4 kilovatio por metro cuadrado por día, que inciden en Guatemala se puede aprovechar el 20% por la eficiencia actual de los paneles solares, los cuales son monocristalinos y un aprovechamiento del 10% en los policristalinos. Los paneles monocristalinos, son los que están formados solamente por secciones de silicio con un mínimo de boro, reconocidas por su forma octagonal o circular, en cambio, los policristalinos están formados por varios cristales de silicio, que luego se funden para crear obleas del material dopado.

La cantidad de energía solar que se transforma en energía eléctrica en un panel solar, son proporcionales a la eficiencia de los paneles solares, entre mayor sea la eficiencia del panel solar, mayor será la energía eléctrica de salida.

⁷ CNEE. Perspectivas de mediano plazo para el suministro de electricidad del sistema eléctrico nacional (2010 – 2015). <http://www.cnee.gob.gt/peg/Docs/Perspectivas%20PEG.pdf>. Consulta: marzo de 2011.

4.1.4. Eficiencia de los paneles solares

Los paneles solares, comúnmente conocidos, aunque el nombre correcto es módulos fotovoltaicos, están conformados por celdas (células fotovoltaicas) que generan energía eléctrica mediante la incidencia sobre ellas de la luz solar.

El parámetro estándar utilizado para saber cuál será la máxima potencia que podrá entregar el panel solar es la potencia pico, la cual está calculada en las siguientes condiciones:

- Radiación 1 000 watt por metro cuadrado
- Temperatura de la célula 25 grados centígrados⁸

La eficiencia de los paneles solares, hoy en día, se han llegado a valores de hasta un 20%, lo cual se detalla en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Eficiencia de las células solares según su composición química**

Materiales de fabricación de las células solares	Eficiencia %
Silicio monocristalino	12 al 15
Silicio policristalino	11 al 14
Silicio amorfo	6 al 7
Teluluro de cadmio	7 al 8

Fuente: Celdas Solares. <http://podersolarmx.tripod.com/id11.html>. Consulta: agosto de 2011.

⁸ WIKIPEDIA. Panel fotovoltaico. http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico. Consulta: marzo de 2011.

La eficiencia puede parecer muy pequeña a simple vista, pero hoy en día, los fabricantes están experimentando con otros elementos químicos con los cuales, se podría llegar hasta una eficiencia del 50%, esto se llegaría a obtener si se agrega una capa delgada de silicio con antireflejante para así, absorber la mayor cantidad de energía solar. Pero estos avances aún están en los laboratorios y se espera que en un futuro no muy lejano sean comerciales.

4.2. Sostenibilidad

La sostenibilidad es una condición que garantiza que un proyecto perdure de forma duradera junto con los beneficios e impactos positivos. Para evaluar la sostenibilidad de un proyecto es necesario delimitar la misma en las siguientes partes:

- Sostenibilidad ecológica
- Sostenibilidad económica
- Sostenibilidad social
- Sostenibilidad técnica

4.2.1. Sostenibilidad ecológica

La transformación de la energía solar a energía eléctrica es altamente sostenible ya que la fuente de la energía, en este caso el Sol, es inagotable.

La baja contaminación que presenta este sistema, lo está convirtiendo en una opción altamente competitiva, ya que no se requiere invadir al ambiente para su aprovechamiento, tal es el caso, de la utilización de las superficies de los techos de las casas, que de no ser aprovechada de esta forma, se perdería en forma de calor en los mismos techos.

4.2.2. Sostenibilidad económica

Aunque los costos de la inversión inicial son altos, al querer implementar un sistema solar, a mediano plazo se nota una rentabilidad, tomando en cuenta su vida útil, que es de 25 a 30 años, la rentabilidad sube y si a esto se le suma la facilidad que hoy ofrece la actual legislación de convertir, a cada usuario de estos sistemas, en un autogenerador y vender la energía no utilizada en el momento de su generación la rentabilidad es aún mayor.

Si se aprovecha la oportunidad de poseer sistemas fotovoltaicos interconectados con el sistema de distribución actual de energía eléctrica, se estaría ahorrando el uso de acumuladores, los cuales, encarecen la rentabilidad, ya que, a cada 5 años se requiere un cambio de los mismos, sin mencionar el efecto al ambiente que esto representa.

4.2.3. Sostenibilidad social

La aceptación social de estos sistemas, está creciendo día a día, si se promueve adecuadamente esta forma de generar energía eléctrica, acentuando las ventajas de poseer electricidad para bombeo de riego de agua o iluminación por las tardes y noche en áreas remotas y sin necesidad de depender de algún recurso natural, no más que la abundancia de la luz solar.

Es conveniente que la academia técnica, que corresponde a la Facultad de Ingeniería, difunda e incentive a la población en general, sobre el aprovechamiento de esta energía y la gran capacidad de generación que existe.

Uno de los puntos sobresalientes en cuanto a la divulgación de este tema, tendrá que ser, sobre el ahorro económico que representa y de la contribución a la desaceleración de la contaminación ambiental con el uso de esta tecnología.

4.2.4. Sostenibilidad técnica

La sostenibilidad técnica, es favorable, teniendo en cuenta la vida útil de los paneles solares que es, según los fabricantes, de 25 a 30 años y agregando, la posibilidad de ser autogeneradores y así verter energía a la actual red eléctrica, con lo cual, también ejemplifica un ahorro económico para el usuario de estos sistemas.

4.3. Posibilidad de ofrecer energía eléctrica en lugares remotos

Los sistemas fotovoltaicos nacen, primero, con la idea de dar una alternativa de generación de energía eléctrica al alcance de la mayoría de la población, no económicamente pero si técnicamente y segundo, de ofrecer energía eléctrica en lugares remotos donde, actualmente no es posible conectarse a la red actual de distribución de la misma.

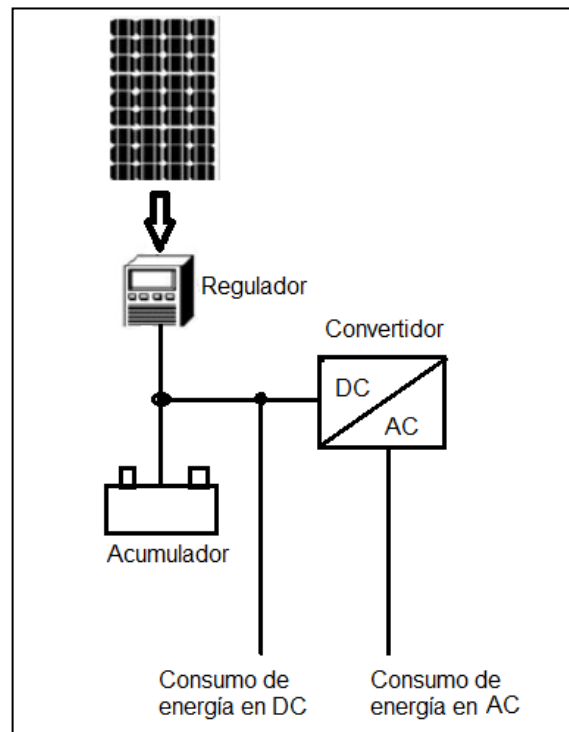
Las poblaciones que se encuentran en áreas remotas, también tienen la necesidad de proveerse de energía eléctrica, ya que, con la utilización de la misma: se incrementa el desarrollo económico y social. La utilización de sistemas fotovoltaicos en estas poblaciones o donde sea necesario, se hace por medio de la configuración de sistemas fotovoltaicos autónomos.

4.3.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Los sistemas autónomos, tienen la particularidad de utilizar acumuladores para guardar la energía eléctrica, durante el día y disponer de la misma a la hora que sea requerida.

La figura 24, se ejemplifica, por medio del sistema de bloques, la constitución de un sistema fotovoltaico autónomo:

Figura 24. Configuración del sistema solar autónomo



Fuente: elaboración propia.

4.4. Posibilidad de verter energía a la red, gracias a las actuales regulaciones de la ley de energía eléctrica

Con el fin de incentivar una búsqueda de una solución a la problemática energética actual, se impulsó una ley de incentivos, la cual se cita a continuación con unos segmentos de los artículos 1,2,5 y 6, de la misma, 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 preinversión 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.

Tabla IX. **Proyectos calificados para optar a los incentivos de la ley**

	Proyecto de generación	Potencia (MW)
1	Hidroeléctricos	177,4
2	Biomasa	66
3	Geotérmico	25
		268,4
4	Biocombustible	340 000 litros
5	Solar	115 paneles

Fuente: DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería, USAC y estudio de aprovechamiento. p. 28.

Un autogenerador es la persona que tiene su propia pequeña generadora de energía eléctrica y que tiene un excedente de energía la cual, le vende a terceros o a la empresa eléctrica, ahorrándose así el uso de acumuladores, los cuales, sirven para almacenar la energía eléctrica y que al final contribuyen a la contaminación del ambiente. Estos sistemas con ausencia de acumuladores aumentan la vida útil de todo el sistema fotovoltaico hasta unos 20 a 30 años y libres de mantenimiento constructivo.

Actualmente, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNE– está impulsando regulaciones, las cuales tienen como fin permitir la generación de energía eléctrica menor a 5 megawatt para que con esto puedan existir autogeneradores pequeños e impulsar la proliferación de los mismos.

La facilidad de vender energía eléctrica a la red actual, es por medio de un medidor de energía en dos direcciones, el cual mide la energía que se está vertiendo a la red y la que se consume, este resta la primera a la segunda y así entrega el residuo de energía consumida y este será el consumo por el cual se estaría pagando a la empresa distribuidora local.

Este sistema viene a beneficiar a toda aquella persona que genere energía por medio de sistemas fotovoltaicos ya que evita que se utilicen acumuladores y todo el gasto que conlleva con ello, ya que cada acumulador se necesita cambiarlo a cada 4 o 5 años, según datos de los actuales fabricantes.

Además, del beneficio económico de no requerir acumuladores, también está el beneficio ambiental ya que los mismos, terminada su vida útil se convierten en grandes contaminantes ambientales debido a sus componentes tales como, ácido sulfúrico, plomo, plástico y otros.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Análisis de la demanda

Este estudio económico se realizará con el siguiente orden: primero, se repasará la demanda de energía eléctrica en una vivienda promedio del casco urbano de Guatemala, luego se calculará la oferta generada por paneles solares fotovoltaicos y por último se realizará el cálculo de la Tasa Interna de Retorno y otros medidores económicos para estudiar la factibilidad del uso de esta tecnología.

En el primer capítulo se estudió la demanda en porcentajes, tanto teóricos como reales, de una vivienda del casco urbano, la cual se detalla en la tabla III. En esta tabla se aprecia que el calentador de la ducha demanda el 47,92% de la demanda total, lo cual, a simple vista se aprecia que no es viable económicamente conectarlo al sistema de abastecimiento eléctrico por medio de sistemas solares, ya que la conexión del mismo duplicaría el número de paneles a necesitar y con esto encareciendo grandemente la inversión inicial.

La solución más aceptable para los calentadores de agua, es utilizar sistemas de calentamiento de agua por medio de energía solar, los cuales se detallan con más profundidad en el capítulo 3 en el inciso 3.5.2. del presente trabajo.

Además, se determinó que la demanda mensual es de 75,16 kilovatios por hora (en forma real y no teórica) al mes lo cual equivaldría a una demanda anual de 901,16 kilowatios por hora al año.

$$\text{Demanda anual} = (75,16 \text{ kWh/mes}) * (12 \text{ meses}) = 901,16 \text{ kWh al año}$$

5.2. Determinación de la oferta generada por sistemas fotovoltaicos

“Los paneles solares hoy en día más comerciales tienen un área física de 0,45 metros cuadrados, de la cual se estima un área efectiva de generación de 0,31 metros cuadrados con lo cual ofrece 50 vatios hora, ya incluyendo las pérdidas que puede ocasionar el calentamiento del panel, pérdidas en uniones eléctricas y la participación de sus elementos tales como baterías, regulador y convertidor”.⁹

La radiación en Guatemala se estima de unos 5,40 y 5,96 vatios por día en promedio de unas 6 horas efectivas de luz tanto directa e indirecta.

Si se toma el máximo de radiación que es de 5,96 vatios por día y que se utilicen paneles solares con generación de 50 vatios por hora entonces se tendría lo siguiente en generación:

Generación diaria: $(50 \text{ W/h}) * (6\text{h/día}) = 300$ vatios por día, esta sería la energía generada, en promedio, por un sistema fotovoltaico instalado en la ciudad de Guatemala con un panel solar.

⁹ DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería, USAC y estudio de aprovechamiento. p. 61.

Tomando en cuenta que los principios que presenta el prototipo de La Casa Alemana consta en el ahorro energético por medio de uso de lámparas a base de tecnología LED y el uso de electrodomésticos altamente eficientes, con lo que respecta a los cambios eléctricos necesarios que se deberían realizar en una vivienda del casco urbano de Guatemala.

Además, del ahorro energético, también el prototipo de La Casa Alemana propone la generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos, utilizando: paneles solares (en el techo) y rejillas solares (en las ventanas).

El prototipo La Casa Alemana, como se vio en el segundo capítulo, genera la siguiente cantidad de energía eléctrica de 1,89 kilovatio pico lo que equivaldría a utilizar 20 paneles de los que se pueden encontrar comercialmente lo que equivaldría a una inversión, según la clase de conexión que se utilice en la vivienda a mejorar eléctricamente:

Caso I: sistema autónomo

Caso II: sistema de autoproducción

5.2.1. Caso I: sistema autónomo

En esta comparación se utiliza el sistema autónomo, como lo propone el prototipo de vivienda, esto es utilizando acumuladores como elemento extra comparado al sistema de autoproducción.

Para la vivienda promedio, que tiene un consumo de 75,16 kilovatios por hora por mes, la cual fue tratada en el primer capítulo y en la tabla II del apéndice, de la cual se tratará de abastecer solamente el 52,3% de la demanda lo cual sería $75,16 \text{ kilovatio por hora por mes} * 0,523 = 39,30 \text{ kilovatio por hora por mes}$, esto para eliminar del abastecimiento de energía eléctrica a la ducha de baño ya que es demasiado ineficiente tratar de abastecer de energía a la misma por tratarse de una carga muy grande.

La inversión inicial, según datos de un proveedor local de sistemas fotovoltaicos, sería la detallada en la tabla X.

Tabla X. **Número de paneles solares que se necesitan para abastecer la demanda en estudio**

	Potencia generada por panel	Horas efectivas	Días al mes	kWh/mes por panel solar	Potencia total demanda kWh *	No. paneles requeridos
	0,05	6	30	9	39,30	4,37

* Potencia demanda de una vivienda promedio sin el consumo del calentador de agua de la ducha

Fuente: elaboración propia.

El número de paneles requeridos se calculó utilizando los datos de la tabla X y se procedió de la siguiente manera:

$$\# \text{ paneles} = \frac{\text{Potencia demandada kWh}}{(\text{potencia (kW)/panel}) * (\text{horas efectivas/día}) * (\text{días})}$$

$$\# \text{ paneles} = \frac{39,30 \text{ kWh}}{(0,05 \text{ kW/panel}) * (6 \text{ h/día}) * 30 \text{ días}} = 4,37$$

De la tabla X, se deduce que, se necesitan un sistema solar fotovoltaico, con 5 paneles aproximadamente y en total, los elementos detallados en la tabla XI, para abastecer la demanda de energía eléctrica de la vivienda promedio

Tabla XI. **Número de elementos del sistema autónomo**

	Descripción	Costo en Q	Unidades	Costo Total en Q
1	Panel solar de 50 W	1 700,00	5	8 500,00
2	Regulador de 20 amperes	1 700,00	2	3 400,00
3	Convertidor de 500 W	800,00	1	800,00
4	Acumulador de 12 voltios	1 100,00	23	25 300,00
	Total			38 000,00

Fuente: elaboración propia.

Donde el cálculo de los bancos de acumuladores es de la siguiente manera, (solamente para grupos pequeños de sistemas fotovoltaicos):

$$\text{Banco de acumuladores} = \frac{L*d}{0,3292 * V}$$

Donde:

L = es la carga total en watt.

d = son los días de autonomía, que para este cálculo se usaran 12 horas de autonomía que vendría siendo 0,5 días, debido que se necesitaría aproximadamente 12 horas de uso en promedio por día.

V = es el voltaje del sistema en corriente directa.

Entonces para este sistema queda de la siguiente manera:

$$\text{Banco de acumuladores} = \frac{250 \text{ W} * 0,5}{0,3292 * 12} = 22,84 \text{ acumuladores}$$

Aproximando al número inmediato superior, queda que se necesita 23 acumuladores para el sistema.

5.2.1.1. Análisis financiero para el caso I

Para esta clase de generación llamada autónoma, se tiene el inconveniente que se debe realizar una reinversión económica a cada 5 años, debido por la vida útil de los acumuladores, entonces su Valor Presente Neto –VPN– es de Q65 803,00 entonces la inversión inicial al Valor Presente Neto será como se indica en la tabla XII.

El cálculo del VPN se realiza de la siguiente manera:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

V_t representa los flujos de caja en cada período t

I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión

n es el número de periodos considerado

K es la tasa de interés (tomando como tasa de interés del 5,5% tomada del Banco de Guatemala para el mes de marzo del 2012).

Este cálculo se realiza mediante la hoja de cálculo de Excel de forma iterativa y se desarrolla en la tabla del apéndice 3.

Tabla XII. **Número de elementos del sistema autónomo con reinversión de acumuladores**

	Descripción	Costo en Q	Unidades	Costo Total en Q
1	Panel solar de 50 W	1 700,00	5	8 500,00
2	Regulador de 20 Amperios	1 700,00	2	3 400,00
3	Convertidor de 500 w	800,00	1	800,00
4	Acumulador de 12 voltios	1 100,00	23	65 803,00
			Total	Q78 503,00

Fuente: elaboración propia.

Del dato real que se obtuvo de demanda en la vivienda del casco urbano de Guatemala, se tiene que la demanda es de 39,30 kilovatio por hora por mes, con lo cual aún se está dentro del límite para pagar la tarifa social, la cual tiene un valor de Q1,29 kilovatio por hora por mes y multiplicando ambos términos se llega a un gasto mensual en energía eléctrica de $(39,30 * 1,29) = Q50,75$ y al año sería un gasto de Q609,00 en ahorro de pago de energía eléctrica.

Calculando, para este caso, los parámetros financieros tales como la Taza Interna de Retorno Mínima (TIRM), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Neto Actual (VNA) y el Valor Presente Neto (VPN), los cuales son indicadores importantes a la hora de decidir si un proyecto es favorable económicamente, de otros proyectos en comparación.

Para este caso I, se realizaron los cálculos en el programa Excel y los resultados se citan en la tabla II del apéndice, de la cual se extrajeron los datos de la tabla XIII.

Tabla XIII. **Datos de análisis económico para el caso I**

TIRM	-Q0,04615267
TIR	No aplica
VNA	-Q53 399,8618
INVERSION	-Q78 503,00
VNA	-Q53 399,86
VPN	-Q131 902,86

Fuente: elaboración propia.

De los anteriores datos, se puede observar que al obtener un VPN con valor de -Q131 902,86 desfavorables entonces se deduce que, el proyecto tiene una pérdida económica significativa y por ende no tiene una TIR válida generando un resultado (no aplica) lo que significa que no hay manera que se recupere lo invertido debido al incremento de la inversión a cada 5 años, en la compra de los acumuladores y por la baja eficiencia de los paneles que hoy se encuentran de forma comercial.

5.2.2. Caso II: autoproduccion

“Es la modalidad de generación de energía eléctrica por medio de recursos renovables, que se conectan a la red actual de distribución con la generación inferior o igual de 5 MW se establece en la –RGLD–”.¹⁰

Considerando la posibilidad de conectarse a la red actual de distribución eléctrica, convirtiendo así al cliente en un autoproduccion y así verter energía eléctrica, excedente, a la red general y restar al final del mes, la energía vertida a la red, del propio consumo de la vivienda.

¹⁰CNEE. Ley general de electricidad de Guatemala.

<http://www.cnee.gob.gt/pdf/marcolegal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>. Consulta: febrero de 2011.

“El Usuario Autoprodutor o Generador Distribuidor Renovable, puede ser una persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable. Estos serán considerados como Participantes del Mercado Mayorista”.¹¹

Con este caso, se ahorra la utilización de acumuladores ya que la energía que no utilice, la puede vender al distribuidor de energía, ayudando así, directamente el bolsillo del cliente final.

Siguiendo el esquema, el sistema fotovoltaico, queda constituido por los elementos enlistados en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Número de elementos del sistema autoprodutor**

	Descripción	Costo en Q	Unidades	Costo Total en Q
1	Panel solar de 50 W	1 700,00	5	8 500,00
2	Regulador de 25 Amperios	1 700,00	2	3 400,00
3	Convertidor de 500 w	800,00	1	800,00
	Total			12 700,00

Fuente: elaboración propia.

¹¹ Marco legal. -

<http://www.cnee.gob.gt/pdf/marcolegal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>. Consulta: febrero de 2011.

5.2.2.1. Análisis financiero para el caso II

Para este caso, se puede observar que se tiene un gran ahorro económico, al no necesitar acumuladores y además de verter energía eléctrica sobrante a la red y con esto obtener un ahorro económico, reflejado en la factura mensual.

Al igual que el dato real que se obtuvo de demanda en la vivienda del casco urbano de Guatemala, se tiene que la demanda es de 39,30 kilovatio por hora por mes, con lo cual aún se está dentro del límite para pagar la tarifa social, la cual tiene un valor de Q1,29 kilovatio por hora por mes y multiplicando ambos términos se llega a un gasto mensual en energía eléctrica de $(39,30 * 1,29) = Q50,75$ y al año sería un gasto de Q609,00.

Con respecto a la energía que se verterá al sistema eléctrico, se tiene lo siguiente:

Son 5 paneles con una capacidad de producción de 50 vatios con 6 horas efectivas en promedio al día, estos llevan a obtener 1 500 Wh/día y al año se estaría generando 1 500 vatios por hora por día * 365 días / año * 1 kilovatio / 1 000 vatios = 547,5 kilovatios por hora por año.

Si se toma el valor de la tarifa social como mínimo, sería una remuneración de $547,50 \text{ kWh/año} * Q1,29 / \text{kWh} = Q706,28$ anuales.

Calculando por medio del programa Excel para este caso sus datos de VPN, VNA, TIRM y TIR y dejando los datos completos en la tabla II en el apéndice y se citan a continuación.

Tabla XV. **Datos de análisis económico para el caso II**

TIRM	0,04
TIR	0,03
VNA	Q14 492,42
INVERSION	-Q19 500,00
VNA	Q14 492,42
VPN	-Q5 007,58

Fuente: elaboración propia.

De los datos anteriores se constata que se obtiene un VPN negativo y una TIR demasiado pequeña con lo cual indica que no son suficientes los 30 años que ofrecen los fabricantes para recuperar la inversión.

Por lo cual se puede deducir que este caso tampoco es viable económicamente, aunque más favorable que el caso I pero no deja de estar lejos de lo que se busca, encontrar una retribución económica a través de generar energía eléctrica por medio de esta tecnología.

CONCLUSIONES

1. Una de las propuestas viables en el medio es generar energía eléctrica por medio de paneles solares en el techo y no es viable utilizar muros en las viviendas compuestos por los mismos, dado la dificultad de la compra de los mismos en el mercado ya que actualmente no son comerciales.

2. Aún no es económicamente viable, generar energía eléctrica por medio de paneles solares, por la ineficiencia de los paneles solares que hoy en día son comerciales, ya que la eficiencia de los mismos están por el 20% para los más eficientes y 10% al 12% para el resto. Pero si se toman en cuenta los siguientes puntos, se pueden tomar como una alternativa de generación eléctrica:
 - Que se utilice esta generación con fines ilustrativos y de educación para el estudiantado de las instituciones.

 - Para fomentar el cuidado del ambiente.

 - Si se toma en cuenta el valor agregado de estos sistemas en cuanto al cuidado del ambiente.

 - Si se utilizan para generar energía eléctrica para comunidades remotas, donde aún no es posible tener el acceso a la red convencional de distribución de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Que en los actuales hogares del casco urbano de Guatemala se utilicen bombillas de tecnología LED, debido a su bajo consumo eléctrico. Este cambio se debe hacer paulatinamente dado el costo de las mismas que es de Q90,00 comparado con las incandescentes con un costo de Q2,50, según precios actuales de un proveedor local.
2. Instalar en las viviendas calentadores de agua por medio de paneles solares, ya que aproximadamente el 48% del consumo eléctrico de las viviendas se debe a la utilización de duchas con calentadores eléctricos. Tomando esta medida, la factura de consumo eléctrico tendrá una disminución de más de un tercio de su valor actual, lo cual representa una importante ayuda al bolsillo del guatemalteco. Teniendo en cuenta que el calentador de agua solar tiene un precio de Q7 000,00 de 1 000 litros de capacidad, el cual abastece de agua caliente para un máximo de 4 habitantes.
3. Para que un proyecto de generación de energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos, sea económicamente viable se debe tomar en cuenta la utilización de paneles que ofrezcan una eficiencia mayor al 20%.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable – NTGDR – y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía*. Guatemala: CNEE, 2008. 15 p.
2. _____. *Perspectivas de mediano plazo para el suministro de electricidad del sistema eléctrico nacional*. [en línea] <http://www.cnee.gob.gt/PEG/Docs/Perspectivas%20PEG.pdf>. [Consulta: 13 de febrero de 2012].
3. DE LEÓN MORALES, Víctor Herbert. *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio de aprovechamiento*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 123 p.
4. GARCIA PRADO, Rommel Galaric. *Caracterización energética de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 128 p.
5. Hormiga solar. *Colectores solares de placa plana*. [en línea] <http://www.hormigasolar.com/colectores-solares-de-placa-plana>. [Consulta: 11 de febrero de 2012].

6. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial .
Conferencia sobre el desarrollo. Tegucigalpa: ICAITI, 1981.
61 p.
7. Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la ley General de Electricidad: Acuerdo Gubernativo Número 256-97*, Guatemala: MEM, 1997. 61 p.
8. _____. *Definiciones*. [en línea]
<http://www.mem.gob.gt/Portal/memdocuments/DGE/DER/DEFINICIONES.pdf>. [Consulta: 10 de febrero de 2012].
9. _____. *Reglamento de la ley General de Electricidad: Acuerdo Gubernativo Número 256-97*, Guatemala: MEM.1997. 61 p.
10. Neoteo ABC. *Llegan al 50% en rendimiento en células solares convencionales*. [en línea]
<http://www.neoteo.com/llegan-al-50-de-rendimiento-en-celulas-14209>. [Consulta: 23 de enero de 2012].
11. WIKIPEDIA. *Panel fotovoltaico*. [en línea] fotovoltaico.
http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico. [Consulta: 18 de diciembre de 2011].

Apéndices

Apéndice 1. **Datos de consumo de hogares del casco urbano de los meses de mayo, junio y julio del 2011**

Cliente No.	Consumo Mayo kWh	consumo junio kWh	consumo julio kWh	Promedio del consumo kWh	Desviación estándar	Desviación estándar/prom.
1	20	22	9	17	7	0,41176471
2	25	163	90	92,6667	69,0386365	0,74502126
3	25	24	71	40	26,8514432	0,67128608
4	0	14	10	8	7,21110255	0,90138782
5	101	127	163	130,333	31,1341185	0,2388807
6	15	16	19	16,6667	2,081666	0,12489996
7	67	71	78	72	5,56776436	0,07733006
8	12	20	16	16	4	0,25
9	80	134	40	84,6667	47,1734389	0,5571666
10	39	64	47	50	12,7671453	0,25534291
11	76	150	203	143	63,7887137	0,44607492
12	44	49	19	37,3333	16,0727513	0,43052012
13	1	0	0	-0,3333	0,57735027	1,73205081
14	32	130	109	90,3333	51,5978036	0,5711934
15	24	40	13	25,6667	13,5769412	0,52897174
16	110	151	132	131	20,5182845	0,15662813
17	90	87	81	86	4,58257569	0,05328576
18	110	111	104	108,333	3,7859389	0,03494713
19	21	25	21	22,3333	2,30940108	0,10340602
20	24	48	31	34,3333	12,3423391	0,3594856
21	33	48	50	43,6667	9,29157324	0,21278412
22	93	92	89	91,3333	2,081666	0,02279196
23	21	25	17	21	4	0,19047619
24	137	146	152	145	7,54983444	0,05206782
25	130	167	188	161,667	29,3655127	0,18164235
26	1	24	0	-8,3333	13,5769412	1,62923295
27	0	3	2	1,66667	1,52752523	0,91651514
28	104	115	112	110,333	5,6862407	0,05153692
29	11	11	12	11,3333	0,57735027	0,05094267
30	1	0	0	-0,3333	0,57735027	1,73205081
31	0	1	3	-1,3333	1,52752523	1,14564392
32	78	88	82	82,6667	5,03322296	0,06088576
33	80	93	89	87,3333	6,65832812	0,0762404
34	2	5	5	4	1,73205081	0,4330127

Continuación del apéndice 1.

35	3	7	12	7,33333	4,50924975	0,61489769
36	122	135	138	131,667	8,50490055	0,06459418
37	85	48	54	62,3333	19,857828	0,31857478
38	23	46	41	36,6667	12,0968315	0,32991359
39	44	55	48	49	5,56776436	0,11362784
40	12	13	15	13,3333	1,52752523	0,11456439
41	11	12	14	12,3333	1,52752523	0,1238534
42	281	262	386	309,667	66,785727	0,21566973
43	167	170	105	147,333	36,6924152	0,24904354
44	79	90	87	85,3333	5,6862407	0,06663563
45	55	39	100	64,6667	31,6280466	0,4890935
46	32	32	29	31	1,73205081	0,05587261
47	25	48	50	41	13,892444	0,3388401
48	40	37	92	56,3333	30,9246396	0,5489581
49	53	74	100	75,6667	23,5442845	0,31115795
50	188	225	225	212,667	21,36196	0,10044809
51	39	46	55	46,6667	8,02080628	0,17187442
52	17	93	45	51,6667	38,4360941	0,7439244
53	68	112	91	90,3333	22,0075745	0,24362629
54	118	69	107	98	25,7099203	0,26234613
55	14	104	67	61,6667	45,236416	0,7335635
56	184	291	179	218	63,2692658	0,29022599
57	30	36	31	32,3333	3,21455025	0,09941908
58	25	32	31	29,3333	3,7859389	0,1290661
59	37	50	81	56	22,6053091	0,40366623
60	69	83	84	78,6667	8,38649708	0,10660801
61	28	55	22	35	17,5783958	0,50223988
62	143	180	215	179,333	36,0046293	0,20076931
63	112	109	81	100,667	17,0977581	0,16984528
64	142	154	150	148,667	6,11010093	0,04109933
65	24	27	28	26,3333	2,081666	0,07905061
66	106	135	157	132,667	25,5799401	0,19281362
67	145	170	170	161,667	14,4337567	0,08928097
68	99	69	67	78,3333	17,9257729	0,22883965
69	0	4	17	-7	8,88819442	1,26974206
70	154	438	337	309,667	143,959485	0,46488531
71	103	117	89	103	14	0,13592233
72	380	1006	468	618	338,886412	0,54835989

Continuación del apéndice 1.

73	54	59	57	56,6667	2,51661148	0,04441079
74	64	70	73	69	4,58257569	0,06641414
75	51	52	50	51	1	0,01960784
76	67	77	88	77,3333	10,5039675	0,13582717
77	108	120	113	113,667	6,02771377	0,05302974
78	3	0	2	1,66667	1,52752523	0,91651514
79	202	228	264	231,333	31,1341185	0,13458553
80	118	186	158	154	34,176015	0,22192218
81	61	48	71	60	11,5325626	0,19220938
82	51	55	58	54,6667	3,51188458	0,06424179
83	48	58	48	51,3333	5,77350269	0,11247083
84	54	70	73	65,6667	10,214369	0,15554877
85	65	70	103	79,3333	20,6478409	0,2602669
86	73	99	98	90	14,7309199	0,16367689
87	77	110	103	96,6667	17,3877351	0,17987312
88	13	9	9	10,3333	2,30940108	0,22349043
89	43	7	9	-19,667	20,2319879	1,02874515
90	66	27	53	48,6667	19,857828	0,40803756
91	84	94	97	91,6667	6,80685929	0,07425665
92	36	35	33	34,6667	1,52752523	0,04406323
93	61	74	62	65,6667	7,23417814	0,11016515
94	53	65	64	60,6667	6,65832812	0,10975266
95	60	74	77	70,3333	9,07377173	0,12901097
96	133	146	160	146,333	13,5030861	0,09227621
97	68	91	99	86	16,0934769	0,18713345
98	60	74	68	67,3333	7,02376917	0,1043134
99	12	20	17	16,3333	4,04145188	0,24743583
100	45	115	111	90,3333	39,310728	0,43517411
101	329	328	332	329,667	2,081666	0,00631446
102	49	71	83	67,6667	17,2433562	0,25482792
103	42	60	81	61	19,5192213	0,31998723
104	85	77	81	81	4	0,04938272
105	128	193	144	155	33,8673884	0,21849928
106	44	61	50	51,6667	8,6216781	0,16687119
107	36	46	45	42,3333	5,50757055	0,13010009
108	15	30	19	21,3333	7,76745347	0,36409938
109	225	200	185	203,333	20,2072594	0,09937996
110	46	68	57	57	11	0,19298246
111	91	108	96	98,3333	8,73689495	0,08884978

Continuación del apéndice 1.

112	20	29	35	28	7,54983444	0,26963694
113	152	185	192	176,333	21,36196	0,12114533
114	13	14	12	13	1	0,07692308
115	29	24	22	25	3,60555128	0,14422205
116	8	23	23	18	8,66025404	0,48112522
117	32	44	32	36	6,92820323	0,19245009
118	141	86	69	98,6667	37,6342043	0,38142775
119	31	23	55	36,3333	16,653328	0,45834848
120	17	27	35	26,3333	9,01849951	0,34247466
121	79	90	83	84	5,56776436	0,06628291
122	32	37	31	33,3333	3,21455025	0,09643651
123	59	67	66	64	4,35889894	0,0681078
124	28	52	36	38,6667	12,2202019	0,3160397
125	90	92	104	95,3333	7,57187779	0,07942529
126	99	108	113	106,667	7,09459888	0,06651186
127	17	23	17	19	3,46410162	0,18232114
128	74	82	77	77,6667	4,04145188	0,05203586
129	113	116	127	118,667	7,3711148	0,06211614
130	125	81	11	72,3333	57,4920284	0,79482067
131	9	7	12	9,33333	2,51661148	0,26963694
132	68	83	99	83,3333	15,5026879	0,18603226
133	0	0	54	-18	31,1769145	1,73205081
134	0	216	170	128,667	113,777561	0,88428156
135	46	81	95	74	25,2388589	0,34106566
136	109	101	100	103,333	4,93288286	0,04773758
137	13	20	30	21	8,54400375	0,40685732
138	188	207	158	184,333	24,7049253	0,1340231
139	84	86	85	85	1	0,01176471
140	25	30	29	28	2,64575131	0,09449112
141	158	52	156	122	60,6300256	0,49696742
142	60	43	42	48,3333	10,1159939	0,20929643
143	113	105	96	104,667	8,50490055	0,08125701
144	0	59	7	-22	32,2335229	1,46516013
145	13	9	9	10,3333	2,30940108	0,22349043
146	19	24	36	26,3333	8,73689495	0,33178082
147	70	66	68	68	2	0,02941176
148	45	42	45	44	1,73205081	0,03936479
149	0	38	14	-17,333	19,2180471	1,10873349
150	65	68	65	66	1,73205081	0,02624319

Continuación del apéndice 1.

151	99	59	82	80	20,0748599	0,25093575
152	26	36	30	30,6667	5,03322296	0,16412684
153	10	10	4	8	3,46410162	0,4330127
154	2	2	0	1,33333	1,15470054	0,8660254
155	66	63	68	65,6667	2,51661148	0,03832403
156	0	16	0	-5,3333	9,23760431	1,73205081
157	68	66	70	68	2	0,02941176
158	83	88	89	86,6667	3,21455025	0,03709096
159	118	95	94	102,333	13,5769412	0,13267369
160	49	53	55	52,3333	3,05505046	0,05837676
161	33	41	26	33,3333	7,5055535	0,2251666
162	38	43	45	42	3,60555128	0,08584646
163	68	71	68	69	1,73205081	0,02510219
164	100	128	93	107	18,5202592	0,17308653
165	10	11	12	11	1	0,09090909
166	60	62	75	65,6667	8,14452782	0,12402834
167	139	131	135	135	4	0,02962963
168	66	69	65	66,6667	2,081666	0,03122499
169	160	162	176	166	8,71779789	0,05251685
170	40	127	46	71	48,5901225	0,68436792
171	95	89	95	93	3,46410162	0,0372484
172	5	14	25	14,6667	10,0166528	0,6829536
173	0	254	30	-94,667	138,799616	1,46619312
174	10	39	50	33	20,6639783	0,62618116
175	54	64	63	60,3333	5,50757055	0,0912857
176	25	32	3	20	15,132746	0,7566373
177	31	36	58	41,6667	14,3643076	0,34474338
178	10	12	24	15,3333	7,57187779	0,49381812
179	88	76	84	82,6667	6,11010093	0,07391251
180	19	19	23	20,3333	2,30940108	0,1135771
181	8	35	42	28,3333	17,953644	0,63365802
182	33	23	21	25,6667	6,42910051	0,25048444
183	74	66	77	72,3333	5,6862407	0,07861162
184	74	80	76	76,6667	3,05505046	0,03984848
185	41	31	32	34,6667	5,50757055	0,15887223
186	23	24	17	21,3333	3,7859389	0,17746589
187	60	0	0	-20	34,6410162	1,73205081
188	22	35	34	30,3333	7,23417814	0,23848939
189	27	37	36	33,3333	5,50757055	0,16522712

Continuación del apéndice 1.

190	75	75	72	74	1,73205081	0,02340609
191	74	80	87	80,3333	6,5064071	0,08099262
192	99	88	97	94,6667	5,85946528	0,06189576
193	114	107	130	117	11,7898261	0,10076774
194	7	10	14	10,3333	3,51188458	0,3398598
195	19	21	23	21	2	0,0952381
196	99	82	87	89,3333	8,73689495	0,09780106
197	93	93	94	93,3333	0,57735027	0,0061859
198	34	11	10	18,3333	13,5769412	0,74056043
199	46	131	116	97,6667	45,3688586	0,46452756
200	94	88	93	91,6667	3,21455025	0,03506782
201	22	83	71	58,6667	32,3161466	0,55084341
202	16	7	6	9,66667	5,50757055	0,56974868
203	98	100	96	98	2	0,02040816
204	9	17	18	14,6667	4,93288286	0,33633292
205	20	14	16	16,6667	3,05505046	0,18330303
206	52	58	58	56	3,46410162	0,06185896
207	159	160	141	153,333	10,6926766	0,06973485
208	20	122	126	89,3333	60,0777274	0,67251187
209	60	68	64	64	4	0,0625
210	51	67	88	68,6667	18,5562209	0,27023623
211	44	36	46	42	5,29150262	0,12598816
212	136	97	154	129	29,1376046	0,2258729
213	100	100	99	99,6667	0,57735027	0,00579281
214	31	34	38	34,3333	3,51188458	0,1022879
215	10	4	8	7,33333	3,05505046	0,41659779
216	13	26	24	21	7	0,33333333
217	59	86	75	73,3333	13,5769412	0,18514011
218	24	27	13	21,3333	7,3711148	0,34552101
219	45	55	50	50	5	0,1
220	100	116	115	110,333	8,96288644	0,08123462
221	216	220	247	227,667	16,8621865	0,07406524
222	63	81	75	73	9,16515139	0,12555002
223	94	95	107	98,6667	7,23417814	0,07331937
224	203	175	96	158	55,4887376	0,35119454
225	0	10	1	-3,6667	5,50757055	1,50206469
226	51	73	97	73,6667	23,0072452	0,31231555
227	52	71	65	62,6667	9,71253486	0,15498726
228	47	51	43	47	4	0,08510638

Continuación del apéndice 1.

229	100	96	99	98,3333	2,081666	0,02116948
230	98	100	97	98,3333	1,52752523	0,01553415
231	50	61	59	56,6667	5,85946528	0,10340233
232	55	67	65	62,3333	6,42910051	0,10314065
233	59	71	73	67,6667	7,57187779	0,11189967
234	87	110	98	98,3333	11,5036226	0,11698599
235	92	107	114	104,333	11,2398102	0,10772981
236	27	34	28	29,6667	3,7859389	0,12761592
237	88	69	76	77,6667	9,60902354	0,12372133
238	105	118	129	117,333	12,0138809	0,10239103
239	0	2	2	1,33333	1,15470054	0,8660254
240	47	49	60	52	7	0,13461538
241	84	81	24	63	33,808283	0,53663941
242	98	100	111	103	7	0,06796117
243	11	16	19	15,3333	4,04145188	0,26357295
244	69	66	0	45	39	0,86666667
245	32	43	37	37,3333	5,50757055	0,14752421
246	20	21	26	22,3333	3,21455025	0,14393509
247	56	70	67	64,3333	7,3711148	0,11457691
248	3	3	3	3	0	0
249	37	43	49	43	6	0,13953488
250	87	72	80	79,6667	7,5055535	0,09421197
251	51	63	57	57	6	0,10526316
252	86	74	78	79,3333	6,11010093	0,07701808
253	76	93	90	86,3333	9,07377173	0,1051016
254	132	199	209	180	41,8688428	0,23260468
255	46	57	53	52	5,56776436	0,10707239
256	58	71	70	66,3333	7,23417814	0,10905796
257	67	98	67	77,3333	17,8978583	0,23143782
258	86	89	90	88,3333	2,081666	0,02356603
259	46	77	57	60	15,7162336	0,26193723
260	0	2	5	-2,3333	2,51661148	1,07854778
261	44	53	45	47,3333	4,93288286	0,10421584
262	95	121	119	111,667	14,4683563	0,12956737
263	71	90	83	81,3333	9,60902354	0,11814373
264	61	99	74	78	19,3132079	0,24760523
265	25	25	28	26	1,73205081	0,06661734
266	16	25	41	27,3333	12,6622799	0,46325414
267	58	65	70	64,3333	6,02771377	0,09369503

Continuación del apéndice 1.

268	16	15	15	15,3333	0,57735027	0,03765328
269	136	163	138	145,667	15,0443788	0,10327949
270	23	29	9	20,3333	10,2632029	0,50474768
271	108	108	123	113	8,66025404	0,07663942
272	91	123	112	108,667	16,2583312	0,14961654
273	44	92	62	66	24,2487113	0,36740472
274	68	90	75	77,6667	11,2398102	0,14471859
275	23	38	33	31,3333	7,63762616	0,24375403
276	35	26	33	31,3333	4,72581563	0,1508239
277	59	86	92	79	17,5783958	0,22251134
278	0	151	37	-62,667	78,7040871	1,25591628
279	103	87	131	107	22,2710575	0,20814072
280	124	118	147	129,667	15,30795	0,11805617
281	51	58	63	57,3333	6,02771377	0,10513454
282	247	132	155	178	60,8522802	0,34186674
283	67	68	61	65,3333	3,7859389	0,05794804
284	17	18	17	17,3333	0,57735027	0,03330867
285	54	51	46	50,3333	4,04145188	0,08029375
286	16	17	18	17	1	0,05882353
287	40	41	40	40,3333	0,57735027	0,01431447
288	44	45	42	43,6667	1,52752523	0,03498149
289	66	85	81	77,3333	10,0166528	0,12952568
290	0	0	1	-0,3333	0,57735027	1,73205081
291	18	19	18	18,3333	0,57735027	0,03149183
292	40	39	35	38	2,64575131	0,06962503
293	17	18	94	-43	44,1701257	1,02721222
294	61	60	53	58	4,35889894	0,07515343
295	75	85	96	85,3333	10,5039675	0,12309337
296	11	21	15	15,6667	5,03322296	0,32126955
297	50	51	50	50,3333	0,57735027	0,01147054
298	14	71	28	37,6667	29,7040962	0,78860432
299	46	32	47	41,6667	8,38649708	0,20127593
300	312	165	163	213,333	85,4536912	0,40056418

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Promedio teórico del consumo de los electrodomésticos e iluminación de una vivienda del casco urbano de Guatemala**

Descripción	Consumo kW	Horas de uso al mes aprox.	Unidades	Consumo de energía en kWh/mes	Porcentaje del consumo total de cada elemento	Descripción del uso observado
Carga general						
Cafetera	0,8	4	1	3,2	1,92	Con un uso 1 hora acumulada a la semana
Calentador eléctrico de ducha	4	20	1	80	47,92	Con un uso de 5 horas acumuladas a la semana
Lavadora de ropa	1,2	4	1	4,8	2,88	1 hora acumulada a la semana
Licuada	0,4	1,33	1	0,532	0,32	20 minutos de uso acumulado por semana
Microondas	1,2	1	1	1,2	0,72	Con uso de 15 minutos semanales acumulados
Minicomponente	0,15	16	1	2,4	1,44	Con un uso de 4 horas acumuladas a la semana
Plancha	1	12	1	12	7,19	Con uso de 3 horas acumuladas a la semana
Refrigerador	0,12	72	1	8,64	5,18	Con una activación automática a cada 5 min. Con una duración de 30 segundos. Por vez
Reproductor de DVD	0,01	8	1	0,08	0,05	Con un uso de 2 horas acumuladas por semana
Televisión	0,1	60	2	12	7,19	Con un uso de 15 horas acumuladas a la semana

Continuación del apéndice 2.

Computadora de mesa						
CPU	0,1	20	1	2	1,20	Con un uso de 5 horas acumuladas a la semana
Monitor	0,18	20	1	3,6	2,16	Con un uso de 5 horas acumuladas a la semana
UPS	0,75	20	1	15	8,98	Con un uso de 5 horas acumuladas a la semana
Impresora	0,05	2	1	0,1	0,06	Con un uso de 1/2 hora por semana
Iluminación						
Lámparas de cielo	0,075	40	5	15	8,98	Uso de 10 horas acumuladas a la semana
Lámparas de mesa	0,05	8	4	1,6	0,96	Con un uso de 2 horas acumuladas por semana
Ojos de buey	0,1	12		4,8	2,88	Con un uso de 3 horas acumuladas a la semana
		TOTAL DE LA CARGA	166,952	100,00		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Cálculo con Excel Tasa Interna de Retorno (TIR), Tasa Interna de Retorno Mínima (TIRM) y Valor Neto Actual (VNA, Valor Presente Neto)**

CASO I de forma autónoma

CASO II de forma autoproductor

Descripción	Costo Total en Q.	Descripción	Costo Total en Q.
10 Paneles	15 300	10 Paneles	15 300
Regulador	3 400	Regulador	3 400
Convertidor	800	Convertidor	800
23 acumuladores reinversión cada 5 años	25 300		
Total	78 503,00	Total	19 500
Demanda de EE a cubrir anual Q.	608,40	Demanda de EE a cubrir anual Q.	608,40
		Flujo vertido anual Q.	706,28
Año	Caso I	Caso II	
0	-78 503,00	-19 500,00	
1	608,40	706,28	
2	626,65	727,47	
3	645,45	749,29	
4	664,82	771,77	
5	-24 615,24	794,92	
6	705,30	818,77	
7	726,46	843,34	
8	748,26	868,64	
9	770,70	894,69	
10	-24 506,18	921,54	
11	817,64	949,18	
12	842,17	977,66	
13	867,43	1 006,99	
14	893,46	1 037,20	
15	-24 379,74	1 068,31	
16	947,87	1 100,36	
17	976,30	1 133,37	
18	1 005,59	1 167,37	
19	1 035,76	1 202,39	
20	-24 233,17	1 238,47	
21	1 098,84	1 275,62	
22	1 131,80	1 313,89	
23	1 165,76	1 353,31	

Continuación del apéndice 3.

24	1 200,73	1 393,90
25	-24 063,25	1 435,72
26	1 273,85	1 478,79
27	1 312,07	1 523,16
28	1 351,43	1 568,85
29	1 391,98	1 615,92
30	-23 866,27	1 664,40
TIRM	-5%	0,03
TIR	#jDIV/0!	0,03
VNA	-53 399,86	14 492,42
INVERSION Q.	-78 503,00	-19 500,00
VNA	-53 399,86	14 492,42
VPN	-131 902,86	-5 007,58

Tasa de interés líder 5.5 %

Tasa promedio del Banco de Guatemala.

Flujo a favor tienen un incremento de 3 %, considerando que la tarifa de EE tiene un incremento del 3 % anual

Fuente: elaboración propia.