



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA LA
TERMINAL AÉREA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

Allan Israel Callejas Reyes

Asesorado por el M.A. Pablo Christian de León Rodríguez

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA LA
TERMINAL AÉREA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALLAN ISRAEL CALLEJAS REYES

ASESORADO POR EL M.A. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2014

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO a. i.	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA LA TERMINAL AÉREA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, el 7 de mayo de 2014.



Allan Israel Callejas Reyes



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

0 0 0 3 0 0

ADSE-MEAPP-0004-2014

Guatemala, 08 de mayo de 2014.

Director:
 Ing. Guillermo Puente
 Escuela de Ingeniería Eléctrica
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Allan Israel Callejas Reyes** con carné número **1999-10703**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

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

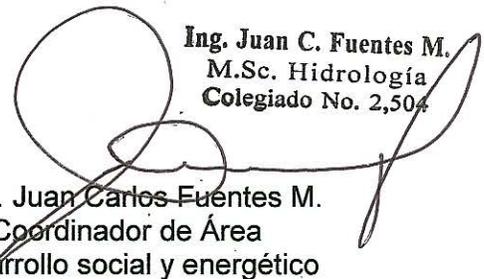
Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

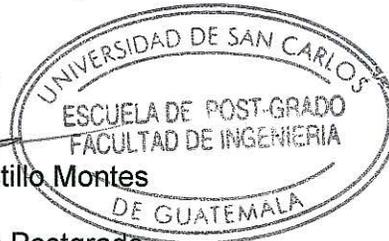
MSc. Ing. Pablo Christian de León R.



MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
 Coordinador de Área
 Desarrollo social y energético



[Handwritten Signature]
 Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
 Directora
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /la



FACULTAD DE INGENIERIA

Doctora
Mayra Virginia Castillo Montes
Directora Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimada Doctora Castillo:

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el Diseño de Investigación, en la modalidad Estudios de Pre-grado y Postgrado Titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA LA TERMINAL AÉREA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, presentado por el estudiante universitario Allan Israel Callejas Reyes, considerando que ha cumplido con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería se procede a darle su aprobación.

TD 14 ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Arceño Puente Romero
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Universidad de San Carlos
de Guatemala

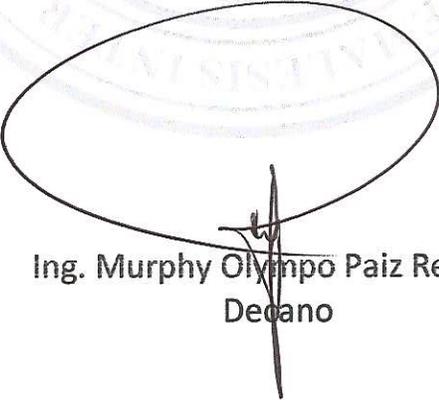


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 334.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA LA TERMINAL AÉREA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, presentado por el estudiante universitario **Allan Israel Callejas Reyes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 16 de julio de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO

- Dios** Que me dio la oportunidad de vivir y una maravillosa familia.
- Mis padres** Justo Callejas y Lesbia Reyes de Callejas, por todo su amor, apoyo moral y económico que desde el inicio de mis estudios recibí y por creer en mí para llegar a cumplir este sueño.
- Mis hermanos** Jessica Yesenia y Alden Alfredo Callejas Reyes, por compartir este logro conmigo, su apoyo incondicional durante toda mi vida, por estar siempre en los momentos que más los he necesitado.
- Mi esposa** Nineth Oliva de Callejas, por todo su amor y por ser mi fuente de motivación e inspiración en estos últimos años de mi vida para poder lograr esta meta.
- Mis hijos** Allan Andrés Callejas Reyes y Emili Sofía Callejas Oliva, por ser el motor de mi vida y fuente de inspiración.
- Mis primos** Con quienes he compartido buenos momentos y por haberme apoyado en cada paso.
- Mis sobrinos** Marvin, Kevin y Christian Monterroso Callejas, Madelin Lourdes y Maggie Regina Callejas Dávila, sigan adelante con su formación académica, Dios los bendiga.

Mi familia

Por el apoyo y cariño que siempre me han demostrado en especial durante el tiempo en el que realice mis estudios

Mis amigos

A todos ustedes que son parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Dios	Por darme la oportunidad de alcanzar esta meta.
Mis padres	Por ser mis guías, ejemplos de vida y brindarme siempre su apoyo incondicional, este mérito es un logro suyo también.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma máter, por haberme albergado durante mis años de formación en tan gloriosa casa de estudios, la mejor de Guatemala.
Facultad de Ingeniería, de manera especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente y ser piedra angular durante mi formación académica.
Mi asesor	M.A. Pablo Christian de León Rodríguez, por orientarme durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	9
5. ALCANCES	11
6. MARCO TEÓRICO.....	13
6.1. Energía solar fotovoltaica	13
6.2. Historia	13
6.3. Célula fotovoltaica	14
6.4. Principios de funcionamiento.....	15
6.5. Paneles fotovoltaicos.....	18
6.6. Eficiencia de una célula solar	20
6.6.1. Potencia máxima	20

6.6.2.	Eficiencia en la conversión de energía	21
6.7.	Definición de un SFCR.....	21
7.	ÍNDICE GENERAL.....	25
8.	METODOLOGÍA	27
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	31
10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	33
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	35
12.	BIBLIOGRAFÍA	37

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Célula fotovoltaica	15
2.	Estructura de la célula solar	17
3.	Esquema de una célula solar y de un módulo fotovoltaico.....	18
4.	Esquema de un SFCR	23
5.	Cronograma de actividades.....	33
6.	Kit de 4 paneles solares, 400 watts.....	35

TABLAS

I.	Presupuesto del generador	36
----	---------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
η	Eficiencia
°C	Grados Celsius
E	Irradiación
KJ	KiloJoules
m	Metro
%	Porcentaje
Pm	Potencia máxima
Q	Quetzales
W	Watt
W/h	Watt por hora

GLOSARIO

DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil.
Eficiencia	La cantidad de energía que es aprovechada en relación a la cantidad de entrada con la salida.
Energía solar fotovoltaica	Es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.
Energía solar	Es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol.
Generador fotovoltaico	Está formado por un conjunto de módulos conectados en serie y en paralelo entre sí.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

RESUMEN

La industria está experimentando un incremento de demanda, así como mejoras que la hacen más eficiente y más barata, lo que es sumamente atractivo para inversionistas y ecologistas. (K. Branker, J.M. Pathak, J. M. Pearce, 2011).

El aeropuerto internacional La Aurora es el principal aeropuerto de Guatemala, así mismo es un complejo de edificios que se asemeja a una ciudad en muchas maneras, ya que alberga a cientos de trabajadores y a cientos de visitantes diariamente, por lo que la eficiencia energética es importante. Lo que significa que se utiliza una alta cantidad de electricidad para suplir las necesidades dentro de este recinto, como lo es la iluminación, alimentación de equipos de cómputo, aire acondicionado, fajas transportadoras, escaleras eléctricas etc., energía que es provista por fuentes de generación que consumen combustibles fósiles.

Es muy importante para el entorno y en general para el medio ambiente la reducción del uso de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de la vida cotidiana, por lo que con este estudio se puede tener un patrón de rendimiento de la tecnología solar fotovoltaica, de lo cual se concluirá si es una solución viable o no, la cual podría ser aplicada en otras instituciones así como en edificios públicos y privados.

Se espera que este estudio sea un aporte significativo para la industria en general ya que se podrá documentar el rendimiento medio del sistema fotovoltaico para la ciudad de Guatemala en particular, el que puede servir de

antecedente para nuevos parques solares que pudieran montarse en el futuro y contribuir a la conservación del medio ambiente.

La investigación describe en la parte inicial la eficiencia energética, con lo que se documenta el uso correcto y consciente de la energía, lo que busca profundizar en las medidas a adoptar para realizar el uso más apropiado dentro del edificio en cuestión, para optimizar el consumo del recurso energético.

Con la información que sea recopilada en el trabajo de campo, los cálculos realizados en el diseño del sistema, además de considerar la información de los aspectos económicos, se procederá a la presentación y a la discusión de resultados

OBJETIVOS

General

Evaluar la tecnología solar fotovoltaica como alternativa energética para la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora.

Específicos

1. Presentar los fundamentos de la energía solar fotovoltaica.
2. Describir la conversión de energía solar fotovoltaica en energía eléctrica y las diferentes aplicaciones que tiene como generador eléctrico.
3. Realizar el diseño de un generador fotovoltaico que sea aplicado a un sistema de iluminación para la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora.
4. Realizar un estudio de prefactibilidad, acerca del generador fotovoltaico que se diseñe para el edificio de la terminal aérea.
5. Presentar los resultados finales acerca de la investigación donde se detalle la conveniencia o no, de la implementación de la tecnología solar fotovoltaica como alternativa energética.

INTRODUCCIÓN

“Los problemas medioambientales, económicos, sociopolíticos y geoestratégicos relacionados con la energía representan un desafío inmediato e inaplazable. Las energías renovables permiten afrontar los problemas medioambientales con las suficientes garantías para que el futuro sistema energético, basado en la diversificación de recursos y la eficiencia en el consumo, sea sostenible a largo plazo.” (Navarro, 2011, julio, p2).

En Guatemala la mayor parte de la energía eléctrica que se consume es proporcionada por medio de combustibles de origen fósil, los que tienen consecuencias con el medio ambiente. La tecnología solar fotovoltaica ofrece una alternativa de generación de energía limpia, en nuestro país no es muy utilizada, pero ya se realizan esfuerzos de algunas empresas privadas, así como existen regulaciones estatales para impulsarla, como lo es la exoneración de impuestos de importación. (Decreto No. 52-2003 la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Artículo 5, Incentivos).

El problema que el estudio buscar mitigar es el nivel de contaminación que se emite a la atmosfera por la generación de energía eléctrica por medio de combustibles fósiles y el alto costo, por pagar del uso de electricidad en este centro de transporte aeronáutico.

Arquitectónicamente el sistema solar fotovoltaico conectado a la red, es una posible solución al problema del alto costo de la energía eléctrica generada por combustibles fósiles que se consume en la terminal aérea del aeropuerto

internacional La Aurora, ya que el sistema genera a través de los paneles fotovoltaicos corriente directa, la cual se conduce hacia un módulo inversor que la transforma en corriente alterna, después de este proceso puede estar lista para el consumo en el edificio y el excedente de esta producción puede verterse a la red de distribución, lo que le generaría ganancias a la institución..

Posteriormente la investigación se enfocará en los aspectos técnicos que se deben considerar como lo es el índice de radiación solar, funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, aplicaciones de los paneles fotovoltaicos, así mismo los factores que pueden hacer que el rendimiento del sistema, no sea óptimo. La parte que se referirá a los cálculos que se deben efectuar, como lo son; dimensionamiento de la instalación, paneles solares a utilizar según las necesidades que se tengan en la terminal aérea entre otros, se referirá al capítulo tres, seguido de la descripción de los aspectos económicos, rentabilidad y periodo de recuperación por la implementación del sistema solar fotovoltaico.

De esto se podrá concluir y recomendar la conveniencia o no de la tecnología solar fotovoltaica como una posible solución al problema.

1. ANTECEDENTES

Entre los años 2001 y 2012 se ha producido un incremento exponencial de la producción de energía fotovoltaica, duplicándose aproximadamente cada dos años. (Roper, L. David 2013). A finales de 2012, se había instalado en todo el mundo más de 100 GW de potencia fotovoltaica, con esto, esta tecnología es actualmente, después de las energías hidroeléctrica y eólica, la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel mundial. (Global Market Outlook for PV until 2016, 2012, mayo).

Esta tecnología ha evolucionado y mejorado muy notablemente con los años por la necesidad de disminuir la dependencia de los derivados del petróleo, lo que permite que sea en la actualidad utilizada para varias aplicaciones, hay que considerar también que depende de la radiación solar, por lo que es importante tomar en cuenta estos índices para las diferentes regiones del mundo, por lo tanto, no se tiene la misma radiación solar al año en Alemania que en Guatemala, lo que significa que pueden producir diferente cantidad de KW (kilowatts). (Dr. Roberto Best y Brown).

La generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos ayuda a disminuir el costo del consumo de energía, por lo que en otros países se ha implementado en edificios y residencias, obteniendo resultados positivos, lo que incentiva cada día a más personas a utilizar este tipo de fuente de energía renovable.

En algunos países como España, Alemania y Estados Unidos ya cuentan con fuentes de energías renovables dentro de las instalaciones de aeropuertos,

en las que se destacan las fotovoltaicas, donde se han obtenido resultados positivos de generación de energía eléctrica. Así mismo, no se ha registrado caso alguno de accidente aéreo donde el reflejo provocado por una instalación fotovoltaica haya sido el factor desencadenante, (Navarro Enrique, 2011, julio), sin embargo hay que considerar los factores meteorológicos para cada lugar de la tierra.

En Guatemala existen esfuerzos de empresas privadas que están impulsando el uso de la energía solar fotovoltaica, pero aun a pequeña y mediana escala, como en el uso domiciliario y algunas aplicaciones en la industria. En lo que a la implementación en aeropuertos únicamente se conoce, de experiencias de otros países que ya están utilizando la energía solar fotovoltaica para reducir los costos de la energía eléctrica y la generación de gases de efecto invernadero, el caso del aeropuerto internacional de Zurich en Suiza, es uno de ellos, en el cual se instalaron 5,000 módulos solares los que generan 270,000 kwh al año con un costo aproximado de 3 millones de Francos Suizos. (Unique, Flughafen Zurich AG, Environmental Services 9/2005).

En el aeropuerto internacional del Cibao, República Dominicana se instaló una planta fotovoltaica de 1.5 megavatios la cual consta de 5,880 paneles, se trata del proyecto de energía limpia más grande de ese país, además de ser el más ambicioso del Caribe y Centroamérica. (Agencia EFE, 2013).

En el caso del aeropuerto internacional de Munich, en Alemania en el año 2003 se inauguró la planta de generación eléctrica a base de paneles fotovoltaicos. Planta que se instaló en el techo de la Terminal 2, la cual produce 445,000 kW/h al año, con lo cual según cálculos de las empresas inversoras, se amortizaría la inversión en un lapso de tiempo de entre dos a tres años. (Roberto R. Ballesteros, 2003).

Otro caso es el de la planta de energía solar Neuhardenberg, que es la mayor de Alemania y una de las plantas de energía solar más grandes del mundo, situada en el antiguo aeropuerto militar de Oderbruchstrbe, en Neuhardenberg, con capacidad de 19.6 Mwh/año de electricidad renovable, que además evita la emisión de 12,700 toneladas de CO₂ al año aproximadamente. La planta se compone de 60,000 paneles fotovoltaicos con potencia máxima de 235-250 W y una tensión a máxima potencia que oscila entre 30,2 y 30,5 V, con una eficiencia del 14,5 % y 15,4 %. El costo aproximado de la planta de 145 MW es de 265 millones de euros, según la fuente el parque aún se encuentra en etapa de construcción. (Bay Energy Group, consultado 2014).

Cada vez son más los edificios que utilizan la energía solar fotovoltaica alrededor del mundo, tomando en cuenta que la posición geográfica de un parque solar, es ventajosa cuando se localiza en los lugares de la Tierra de mayor índice de radiación solar. Este es el caso de uno de los aeropuertos de España, Barajas en Madrid, el cual cuenta con paneles fotovoltaicos para reducir el costo de la energía eléctrica que se consume, con lo cual también reducen las emisiones de CO₂ según AENA, quien administra el aeropuerto. (Illuminet, 2012).

La ubicación geográfica es un factor importante a la hora de considerar el índice de radiación solar, ya que es mayor en algunos lugares de la Tierra, lo que es beneficioso para la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. Se pueden considerar las experiencias de otros países como positivas para esta tecnología de energía renovable, ya que como en el caso de Alemania, donde se tiene un índice de radiación solar menor comparado con el de República Dominicana, donde sin embargo hay más de una planta de generación de energía eléctrica instalada en aeropuertos

utilizando esta tecnología, lo que es un indicador positivo y muy alentador para la implementación en más aplicaciones alrededor del mundo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo de energía eléctrica en la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora tiene como efecto que fuentes de generación externas, en su mayoría plantas generadoras de energía eléctrica que consumen combustibles fósiles, produzcan gases de efecto invernadero y una alta factura por pagar, la cual ronda los 25 millones de quetzales al año. (DGAC).

Por lo que se evidencia que es necesaria una fuente de energía eléctrica alterna, que contribuya a suplir parte de la demanda existente y ayude a disminuir el alto costo del consumo de energía eléctrica que es provista por una fuente de generación externa.

La energía solar fotovoltaica ofrece una potencial solución al problema del “Alto costo de la energía eléctrica que se consume en la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, y los gases de efecto invernadero que se liberan a la atmosfera por la generación de ésta energía por medio de fuentes convencionales”. Esta tecnología capta la radiación solar y a través de una célula solar que transforma esta forma de energía en electricidad, la cual puede ser aprovechada dentro de las instalaciones del edificio.

Con lo anterior se debe evaluar esta tecnología en el área en cuestión, con lo que será necesario hacer pruebas de campo con un equipo de ciertas dimensiones de paneles solares¹, para poder recopilar información que nos permitirá responder a varias interrogantes:

¹ El sistema de paneles solares a escala para la realización de pruebas de campo se dimensionará de acuerdo al presupuesto obtenido, véase Recursos necesarios.

- ¿La potencia entregada por medio del generador fotovoltaico es la adecuada, para considerarse una alternativa energética para la demanda de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora?
- ¿Qué efecto tiene el uso de la tecnología solar fotovoltaica, en el ahorro del consumo de energía eléctrica y en las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan por la demanda energética de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora?
- ¿Qué sistemas eléctricos pueden ser alimentados por medio del generador fotovoltaico, y cuál es el procedimiento técnico para hacer la conexión del generador a la red?

De los resultados obtenidos en las pruebas de campo se puede evaluar si la demanda de energía eléctrica generada por combustibles fósiles se puede reducir por medio del uso de energía solar fotovoltaica, asimismo se describirá el funcionamiento del generador fotovoltaico y como realizar la conexión a la red.

3. JUSTIFICACIÓN

La eficiencia del uso de la energía eléctrica es un factor muy importante en la actualidad, ya que de esto depende el aprovechamiento óptimo y el ahorro en el consumo, esto se traduce en costos de operación, ya que en todas las actividades modernas está involucrada la energía eléctrica.

Para este caso en particular el edificio de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, presenta necesidades energéticas considerables, y la energía solar fotovoltaica cuenta con grandes ventajas, entre las que se destaca, el grado de sostenibilidad cada vez mayor por su tiempo de vida prolongado, recuperación de la inversión en un periodo de tiempo relativamente corto, el desarrollo de nuevas generaciones de paneles solares más eficientes y más baratos. (Geoffrey Carr, 2012).

Un factor muy importante que hay que destacar es que con el uso de esta tecnología, obtienen beneficios tanto el usuario como el medio ambiente, ya que esta fuente de energía eléctrica es considerada energía renovable y libre de emisiones, por lo que no se emiten gases de efecto invernadero y no se contamina la atmosfera, además el usuario ahorra en el consumo de energía eléctrica proveniente de otras fuentes de generación que utilizan combustibles fósiles en su mayoría.

La tecnología solar fotovoltaica brinda una opción de aprovechamiento de energía que es renovable y abundante, lo que tendría impactos económicos, financieros ambientales, de gran beneficio para la institución y por ende para el sistema aeroportuario nacional.

La investigación se enfoca en la evaluación de una tecnología solar fotovoltaica, que podría representar una alternativa energética importante, valiéndose de herramientas que permiten seguir un patrón, como lo son “las líneas de investigación siguientes; Uso Eficiente de la Energía, Diseño y Operación de Proyectos Solares y Eólicos, por último Formulación, Gestión, Seguimiento y Evaluación de Proyectos Energéticos”.

De acuerdo a lo anterior la ruta a seguir en el desarrollo de la investigación evaluará la eficiencia de los sistemas solares para la región en cuestión que en este caso es la zona 13 de la ciudad de Guatemala, utilizando los factores de radiación solar y pruebas de campo, así mismo considerar los factores importantes en el diseño, además de realizar la gestión ante el ente regulador en el país, ya que se pretende que el sistema pueda ser conectado a la red y poder así vender los excedentes de la producción y obtener un beneficio económico, lo que tendría un impacto positivo para la institución.

El sistema, por ser muy flexible podría ser aprovechado hasta en un 100 % del consumo energético de este recinto, por lo que es importante la recopilación de información en las pruebas de campo con lo que se espera tener los resultados positivos para poder dimensionar el sistema que pueda suplir sino todas, algunas necesidades del edificio.

Con lo anterior se podrá documentar un patrón de estudio para este tipo de sistemas de generación de energía renovable, el cual facilitará la toma de decisiones en un futuro para la Dirección General de Aeronáutica Civil y otras entidades que deseen implementarlo como una solución energética.

4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La demanda actual de energía eléctrica de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, es elevada y la tendencia es al alza, por lo que es necesario que se busquen alternativas de obtención de energía que contribuyan al ahorro y a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, que se producen en la generación de esta energía.

La energía solar fotovoltaica es considerada como energía renovable y no libera gases al ambiente. Actualmente se están desarrollando más proyectos fotovoltaicos, alrededor del mundo y su demanda va en aumento. Esta tecnología ya se está empleando en algunos aeropuertos (Europa y Estado Unidos especialmente), por su compatibilidad con este tipo de espacio abierto.

Se deben realizar estudios de compatibilidad con la región, considerando índice de radiación solar, posible potencial eléctrico a generar, además de considerar la posible reflexión lumínica que pudiera afectar las operaciones del aeropuerto La Aurora, con lo que se pretenden hacer pruebas y mediciones en el lugar en cuestión.

5. ALCANCES

Explorar las posibilidades que puede ofrecer, una instalación de energía solar fotovoltaica, montada sobre la cubierta del edificio de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, para disminuir el consumo de energía eléctrica generada por combustibles fósiles, y estimar la cantidad de kilogramos de CO₂ que se dejarían de liberar al ambiente, considerando los aspectos técnicos, económicos y estéticos.

Son de gran relevancia en la investigación los resultados que se obtendrán de la parte práctica del estudio ya que serán indicadores del potencial que se tiene para generar energía eléctrica, así mismo la búsqueda de la máxima integración de las instalaciones, de manera que se afecte lo menos posible a las operaciones que allí se realizan.

Por lo tanto el “nivel de la investigación se ha determinado será de carácter descriptivo y explicativo”, ya que en él se realizará la documentación de los componentes de un sistema solar fotovoltaico, de la misma manera permitirá tener la información necesaria en cuanto al funcionamiento así como el desempeño que se espera podría tener el sistema que se utilice para suplir algunas de la necesidades energéticas que tiene el edificio de la terminal aérea. Con lo que se espera tener un documento de respaldo para uso de futuras aplicaciones en la terminal aérea de La Aurora o alguna otra del sistema aeroportuario nacional, así también en otras instituciones públicas o privadas que se puedan ver beneficiadas con la implementación de esta tecnología.

Con estos resultados se podrá comprobar técnicamente si para el caso de la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora es una solución energética viable o no, ya que debe destacarse que la participación que ha tenido la energía solar fotovoltaica en otros lugares del mundo donde ya se ha implementado esta forma de generación energética, es un hecho para la solución de los problemas locales. Con base en los cálculos que se deben esperar de los resultados de la investigación podremos argumentar si este también es el caso de La Aurora.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

6.2. Historia

El termino fotovoltaico se deriva del griego *phos*, que significa luz y *voltaico*, que deriva del campo eléctrico, esto en honor al físico italiano Alejandro Volta. El término fotovoltaico se utilizó en Inglaterra desde el año 1849. (Alfred Seem 1849).

El efecto fotovoltaico fue reconocido en 1839 por primera vez por el físico francés Becquerel, (Eric Seal, 2003 p. 13) “pero la primera célula solar se construyó en 1883, por Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Esta célula presentaba una muy baja eficiencia de tan solo un 1%”.(Seton Prettejohn, 2011). En 1905 Albert Einstein presento la explicación teórica del efecto fotoeléctrico, que proporciona la base teórica. En 1946 Russell Ohl patentó la célula solar moderna (United States Patent and Trademark Office, Patent #: US002402662), aunque Sven Berglund la había patentado ya con anterioridad.

“En los laboratorios Bell se descubrió, de manera accidental que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz, iniciando así la era moderna de la tecnología de potencia solar”. (Chapin, C. S. Fuller, y G. L. Pearson 1954, p. 16). “Con esto se inicio la fabricación de la primera célula solar comercial empleando una unión difusa de silicio p-n, con una conversión de la energía solar de aproximadamente el 6 %, un logro comparado con las células de selenio que difícilmente alcanzaban el 0.5 %”. (Perlin, John, 2004, p. 21). “Años después el estadounidense Les Hoffman, presidente de Hoffman Electronics, mediante su departamento de semiconductores fue uno de los pioneros en la fabricación y producción a gran escala de células solares. Entre 1954 y 1960, Hoffman logro mejorar la eficiencia de las células fotovoltaicas hasta el 14 %, reduciendo los costos de fabricación para conseguir un producto que pudiera ser comercializado”. (Geoffrey Carr, 2013, p. 43).

6.3. Célula fotovoltaica

“Una célula fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o célula fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad”. (Oscar Perpiñán Lamigueiro, 2012, p. 17).

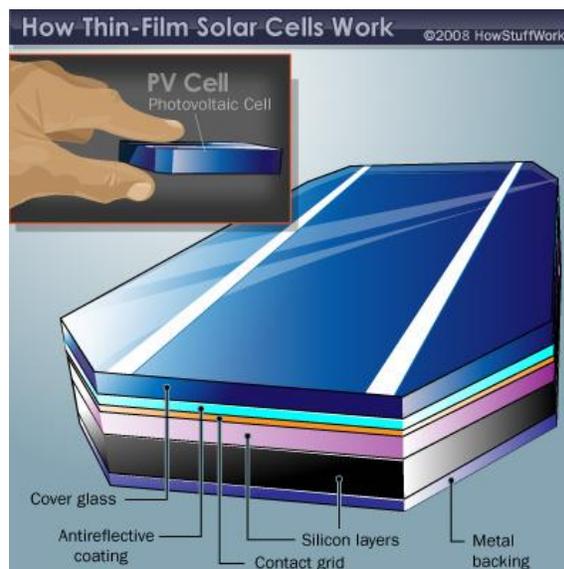
La eficiencia media de conversión de las células fotovoltaicas que se encuentran disponibles comercialmente las cuales son construidas en silicio monocristalino está alrededor del 14 %, esto puede variar dependiendo de la

tecnología de que se trate ya que puede oscilar desde un 6 % en silicio amorfo hasta alcanzar entre 14 y 22 % para las construidas en silicio monocristalino. La vida útil media de este dispositivo es de aproximadamente de 25 años a máximo rendimiento, posteriormente se tiene un decremento en la potencia entregada por debajo de un valor considerable.

6.4. Principios de funcionamiento

“La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable” (Joshua Pearce, 2002, septiembre) obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina. (William Harris, 2008, p. 18).

Figura 1. Célula fotovoltaica



Fuente: *Ciencia Ambiental*, William Harris (2008).

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. La cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar) y la demanda diaria de energía serán los factores que marcarán el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Como norma general esta energía vendrá dada en KJ/m^2 . La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar.

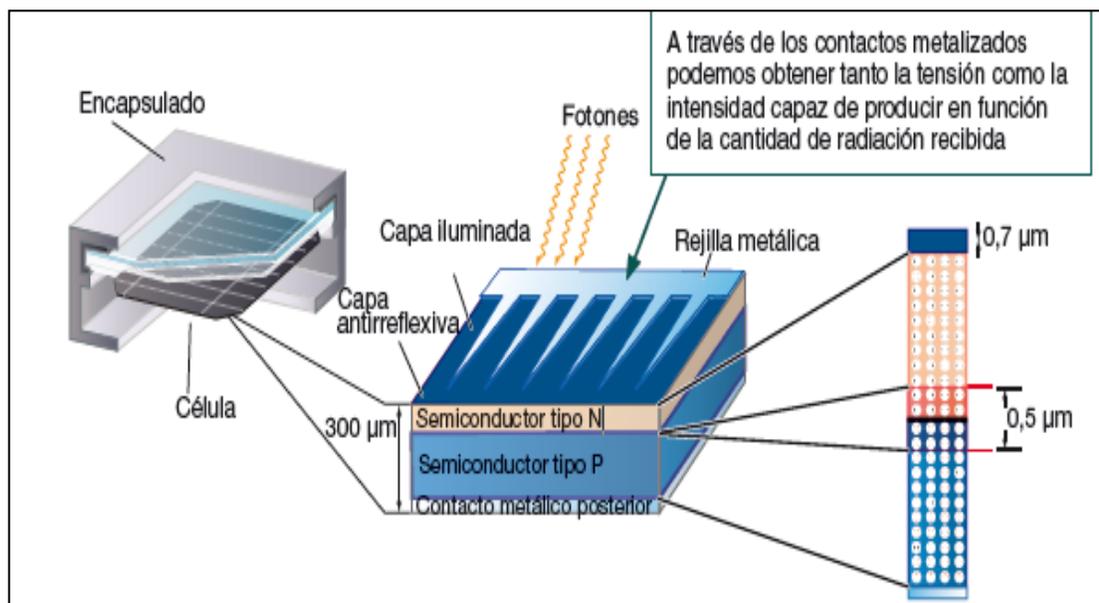
Cuando la luz del Sol incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor arrancándolo, creando así un “hueco”, el cual es normalmente encontrado por el electrón para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, se disipa. Una célula fotovoltaica en principio obliga a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente mezclarse en él; así se produce una diferencia de potencial y por ende la tensión entre las dos partes del material.

Para esto, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n:

- Capa superior de la celda se compone de silicio dopado de tipo n. se tiene en esta capa un mayor número de electrones libres que en una capa de silicio puro, de allí en nombre dopaje n, o carga negativa. El material permanece eléctricamente neutro.

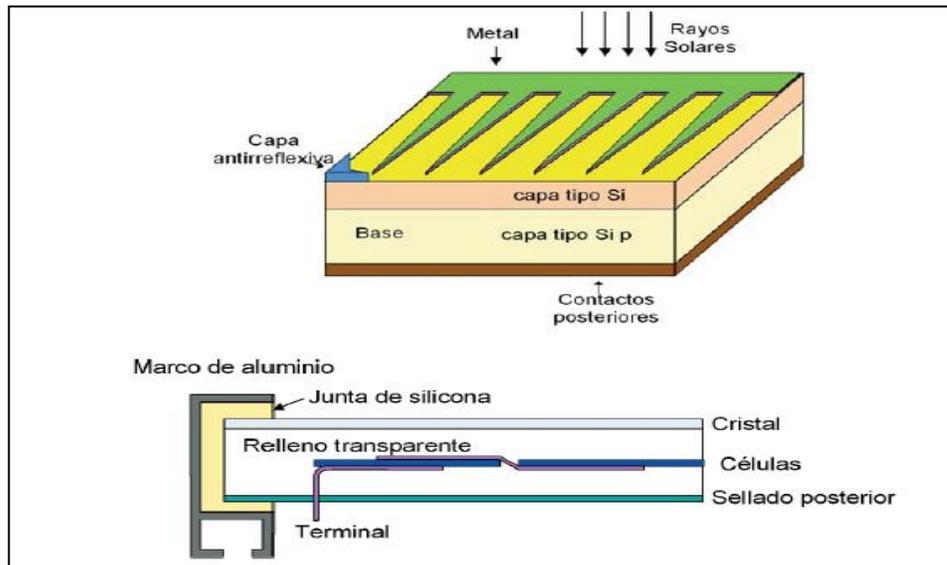
- Capa inferior de la celda se compone de silicio dopado de tipo p. esta capa tiene una cantidad menor de electrones libres que una capa de silicio puro, los electrones esta ligados a la red cristalina, en consecuencia está cargada positivamente. La conducción eléctrica está asegurada por los huecos, positivos (p). (Oscar Perpiñán Lamigueiro, 2012, p. 53).

Figura 2. Estructura de la célula solar



Fuente: *Energía Solar Fotovoltaica*, 2002.

Figura 3. Esquema de una célula solar y de un módulo fotovoltaico



Fuente: *Energía Solar Fotovoltaica*, 2002.

6.5. Paneles fotovoltaicos

Es un dispositivo de células fotovoltaicas que en conjunto funcionan como colector solar que aprovecha la radiación, normalmente se hacen agrupaciones entre 30 a 36 células por panel. Estas células transforman la luz en electricidad, dependen del efecto fotovoltaico. Una celda de silicio de 6 cm de diámetro, al ser expuesta a la luz solar directo puede producir alrededor de 0.5 amperios y 0.5 voltios, siendo un equivalente de 90 W/m^2 , en un rango de usualmente $50\text{-}150 \text{ W/m}^2$, dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m^2

- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

Existen minerales más eficientes que el silicio como por ejemplo el arseniuro, pero también es más costoso. Los paneles fotovoltaicos han disminuido su precio de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, lo que hace que tenga un precio medio de generación eléctrica competitiva con las fuentes de energía convencionales, que en algunos lugares del mundo ha alcanzado la igualdad en la red. (Eficiencia, 2012 noviembre 9).

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

- Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.
- Las células de silicio amorfo. Son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también menos costoso. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

6.6. Eficiencia de una célula solar

Una célula fotoeléctrica, también llamada celda, fotocélula o célula fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

6.6.1. Potencia máxima

Un panel solar o bien una célula solar tienen un rango de voltajes e intensidades de corriente amplio, lo que se puede lograr variando la resistencia de la carga en circuito eléctrico. Por otra parte se puede hacer variando el valor de la impedancia de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (valores de circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o bien, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

La potencia máxima en un panel fotovoltaico varía con el nivel de iluminación que incide en él. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente (y de ahí la potencia transferida), y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, y en tiempo real, la carga para que se transfiera, siempre, la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día. (Oscar Perpiñán Lamigueiro, 2012, p. 50).

6.6.2. Eficiencia en la conversión de energía

La eficiencia en una célula solar (η , "eta"), expresa el porcentaje de luz solar que es absorbida por la célula solar y es convertida en energía eléctrica, cuando una célula está conectada a un circuito eléctrico. Y se calcula como sigue:

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

Dónde:

η = es la eficiencia en la célula solar

P_m = es la potencia máxima

E = es la irradiación dada en W/m^2 , esto bajo condiciones estándar (STC)

A = es el área superficial de la célula solar en metros cuadrados

Las condiciones estándar especifican una temperatura de 25 °C y una irradiación de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Que se refiere a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41.81° sobre la horizontal. Con esto se trata de maximizar la radiación solar que puede captar la célula solar y mejorar la eficiencia del panel solar.

6.7. Definición de un SFCR

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional. Como se muestra en la figura No.4, un SFCR se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La energía producida por este sistema será consumida

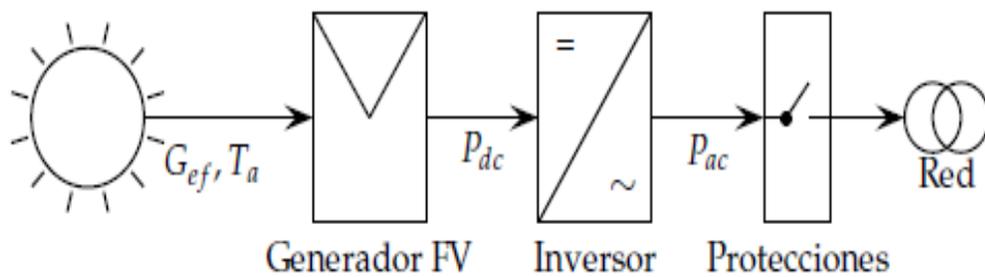
parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo. Es común que existan mecanismos de retribución económica que compensan al propietario del sistema por la energía que su sistema intercambia con la red. Pueden distinguirse, de forma simplificada, dos esquemas: la retribución con prima (feed-in tariff) y el balance neto (net-metering).

En el mecanismo de retribución con prima, generalmente el propietario del SFCR recibe ingresos derivados de la energía total producida (independientemente de la que haya sido consumida en las cercanías del SFCR). En este caso, el diseño no necesita considerar un consumo a satisfacer, como sí será el caso en los sistemas autónomos o de bombeo. Con este mecanismo, el objetivo del diseñador es que la producción anual del sistema sea la máxima posible sin tomar en consideración los consumos cercanos (siendo posible instalar un SFCR sin ningún consumo asociado). Este mecanismo favorece la implantación de los sistemas fotovoltaicos cuando el coste de la energía producida es superior al de la tarifa eléctrica convencional (sin tener en consideración las externalidades ambientales). Aunque formalmente favorece la generación distribuida, sin ningún condicionante adicional puede ocasionar un crecimiento desordenado que disocie las ubicaciones de los sistemas fotovoltaicos de los centros de consumo.

El mecanismo de balance neto compensa los saldos de energía eléctrica entre el SFCR y un sistema de consumo asociado. Cuando la producción del SFCR supera al consumo, la red eléctrica absorbe el excedente puntual, generándose derechos de consumo diferido para el propietario del SFCR. Estos derechos de consumo se pueden ejercer cuando la producción del SFCR no es suficiente para satisfacer el consumo asociado. La interacción entre el SFCR, el consumo y la red bajo este mecanismo de retribución favorece la generación

distribuida y la gestión de la demanda. El diseño de un SFCR en el contexto de este mecanismo debe incluir el consumo asociado como una variable adicional que condicionará el tamaño del generador fotovoltaico. (Perpiñán, 2013, p. 61).

Figura 4. **Esquema de un SFCR**



Fuente: *Energía Solar Fotovoltaica*, Perpiñán (2013).

7. ÍNDICE GENERAL

El contenido general del presente trabajo, se basa en la evaluación de la tecnología solar fotovoltaica como alternativa energética para la terminal aérea del aeropuerto Internacional La Aurora, constituyendo así el tema central del trabajo de investigación.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTADO DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE
PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
 - 1.1 Generalidades de la energía solar fotovoltaica
 - 1.2 Células solares, características, tipos y desarrollo
 - 1.3 Dopado del silicio y la unión p-n
 - 1.4 Funcionamiento de un panel fotovoltaico
 - 1.4.1 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico

2. CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN ENERGÍA ELÉCTRICA
Y APLICACIONES

- 2.1 Irradiación
 - 2.2 Insolación
 - 2.7 Aplicaciones de los paneles fotovoltaicos
 - 2.8 Instalaciones aisladas de la red eléctrica
 - 2.9 Instalaciones conectadas a la red eléctrica
3. DISEÑO DE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO APLICADO A UN SISTEMA DE ILUMINACION PARA LA TERMINAL AEREA
- 3.1 Cálculo de iluminación
 - 3.2 Cálculo de la instalación fotovoltaica
 - 3.2.1 Determinación de la potencia de consumo para el sistema de iluminación
 - 3.2.2 Cálculo de los paneles solares
 - 3.3 Cálculo del regulador
 - 3.4 Cálculo del inversor
 - 3.5 Conmutador
4. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
- 4.1 Rentabilidad y periodo de recuperación de la inversión
5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, Y LA CONVENIENCIA O NO DE LA IMPLEMENTACIÓN
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CON LAS AUTORIDADES DE LA D.G.A.C.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

8. METODOLOGÍA

El diseño de la investigación que se adoptará es de tipo experimental, debido a que se necesita “evaluar la tecnología solar fotovoltaica como alternativa energética para el aeropuerto internacional La Aurora”, rendimiento que implica la comprobación de resultados. Las variables que durante el desarrollo del trabajo de campo se deberán evaluar son: “la potencia entregada por el generador fotovoltaico” y los kilogramos de bióxido de carbono que se dejarían de emitir al ambiente por la generación de energía eléctrica utilizando ésta tecnología renovable, los valores obtenidos serán dependientes de la radiación solar que es lo que produce la energía a través de la célula solar, la cual no tiene un valor constante durante el día, por tanto modificará los resultados dependiendo de la incidencia que esta tenga sobre los paneles solares.

Para realizar la investigación, ésta se organizará en fases, siendo la Fase 1 de 3 el montaje del generador fotovoltaico, que implica la compra del equipo, la instalación de los paneles en el techo del edificio, así también cablear el sistema para instalar el sistema inversor y el controlador de carga, lo que permitirá realizar las pruebas de campo, que consisten en hacer diferentes mediciones de la potencia que entrega el generador durante el día, ya que la radiación solar varía respecto al tiempo, con lo que se procederá a “evaluar la eficiencia de la tecnología solar fotovoltaica para el área del aeropuerto internacional La Aurora, así también se puede estimar la cantidad de “kilogramos de CO₂ que no se emiten a la atmósfera” por el uso de energía solar fotovoltaica.

Seguidamente se organizará la fase 2, en la cual se efectuarán tomas de datos para argumentar de forma estadística el comportamiento de las variables, las cuales son “de tipo cuantitativa”, ya que representan valores que son cambiantes en el tiempo, qué debido a la dinámica de la atmosfera pueden afectar el rendimiento del sistema, así también se describirá la conexión del generador a la red, los beneficios y ventajas que se tienen por utilizar el generador de esta forma.

En el proceso de esta fase se deberá obtener información de tarifa vigentes, también de tipos de generadores que sirven a la demanda energética del aeropuerto, además se harán visitas y consultas al personal de mantenimiento, así como a los departamentos de telecomunicaciones y financiero de la Dirección General de Aeronáutica Civil para obtener información fehaciente y reciente sobre el comportamiento de consumo eléctrico en el edificio, para poder “identificar los focos de consumo de energía eléctrica más significativos de la terminal aérea”, además con las pruebas de campo poder estimar la potencia que el generador fotovoltaico pueda entregar y así determinar la aplicación más conveniente que el generador pueda cubrir.

En la fase 3 se tendrá, la presentación y discusión de resultados, mediante el análisis de la información, de donde se tendrá la redacción del informe final, donde se concluirá si el sistema solar fotovoltaico es una solución viable o no para el problema del “alto costo de la energía eléctrica que se consume en la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, y los gases de efecto invernadero que se liberan a la atmosfera por la generación de esta energía por medio de fuentes convencionales”.

En el alcance de la investigación se pretende dimensionar un sistema real, el que habría de aplicarse al edificio de la terminal aérea del aeropuerto para

suplir la demanda de la aplicación que sea más conveniente para este tipo de generador como puede ser la iluminación que se estima es del 25 % del consumo total, con esto se pretende demostrar la conveniencia de su uso para hacer ver al lector que la integración fotovoltaica es una útil solución para reducir el costo de la energía eléctrica que se consume en este aeropuerto.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se obtendrán datos de consumo actual de energía eléctrica en la terminal aérea del aeropuerto internacional La Aurora, asimismo se solicitará información de horarios y tipos de generadores de energía eléctrica al ente regulador de la tarifa (Administrador del Mercado Mayorista), para poder estimar un valor de CO₂ que se libera al ambiente por el uso de energía eléctrica, sin uso de tecnología solar fotovoltaica, y así poder comparar el posible beneficio que se tendría al utilizarla, así también se realizarán tomas de datos en el sector del aeropuerto La Aurora con un modelo de celdas solares para obtener los posibles valores de generación eléctrica.

Por la naturaleza de la investigación que es experimental y por sus variables de tipo cuantitativas, será necesario aplicar estadísticas climáticas, boletines y reportes meteorológicos, así como imágenes satelitales, para poder analizar el comportamiento de los distintos parámetros meteorológicos que puedan afectar la respuesta de las celdas solares, así como determinar las medidas de tendencia central para conocer la forma en que se encuentran agrupadas las series de datos que se obtendrán en las pruebas de campo.

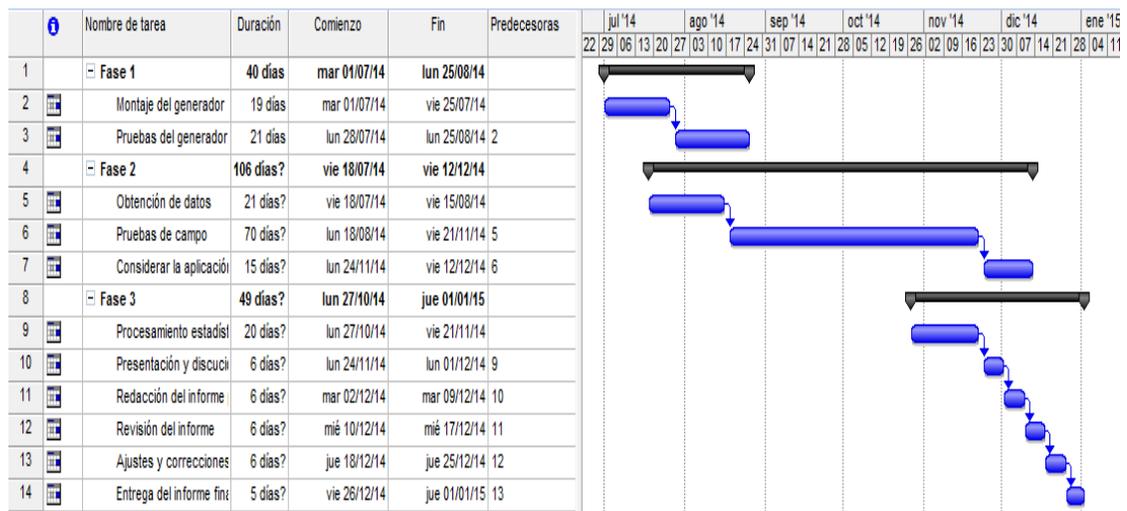
También se utilizarán archivos históricos que se tengan en el INSIVUMEH sobre radiación solar en el departamento de Guatemala, ya que es importante tener valores de años anteriores así como de los meses recientes y con esto poder hacer una base de datos que por medio de la estadística ayude a dar un resultado de más valor a la investigación.

Además de los valores históricos se tabularán los datos obtenidos de las pruebas de campo para poder tener un valor promedio de lo que puede ser el rendimiento de esta tecnología durante los distintos meses del año, obteniendo valores concretos de potencia generada, kilogramos de CO₂ que no se liberan a la atmosfera, estos valores finales se podrán representar mediante gráficas y tablas lo que permitirá un mejor análisis para poder concluir al respecto.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de actividades se detalla por fases la secuencia de los pasos a seguir para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Figura 5. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización de este estudio se cuenta con el apoyo económico de la institución interesada, en este caso de la Dirección General de Aeronáutica Civil de Guatemala, quién brindará al investigador el financiamiento para llevar a cabo el trabajo de campo, así como facilitará el acceso a la terminal aérea, información de consumo y acceso a planos eléctricos. Con lo anterior se considera que los resultados podrán ser aplicados y con ello ser de beneficio para la institución y por ende para el país. Se detalla a continuación la inversión que se deberá realizar para poder adquirir el equipo para realizar el trabajo de campo.

Figura 6. **Kit de 4 paneles solares, 400 watts**



Fuente: Renogy Solar.

A continuación se incluye una tabla con los valores del generador solar, es de hacer notar que la cotización que se tiene del equipo incluye todos los accesorios del generador para realizar el trabajo de campo, las herramientas para hacer las mediciones serán proporcionadas por el investigador y colaboración del personal técnico de la institución, el generador no será conectado a la red eléctrica durante el trabajo de campo, únicamente se utilizara para realizar las mediciones.

Tabla I. **Presupuesto del generador**

Presupuesto para el montaje del generador solar		
Cantidad	Nombre	Precio
1	Inversor 500 W	Q 2,600
4	Paneles Solares 100 W c/u	Q 7,800
1	Controlador de carga	Q 850
40	Pies de cable	Q 550
2	Sets de conectores MC4	Q 260
1	Juego de soportes	Q 450
1	Mano de obra de montaje	Q 2,000
1	Pago de Asesor	Q 2,500
	Total	Q 17,010

Fuente: elaboración propia.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica Cnee, (2008) Norma Técnica para la conexión, operación y control y comercialización de la generación distribuida renovable, usuarios auto productores con excedentes de energía. [en línea]. [Consultado: 2 de octubre de 2013] Disponible en: <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20N TGDR.pdf>
2. De León, V. (2008). Generación Eléctrica Fotovoltaica En La Facultad De Ingeniería Usac y Estudio Del Aprovechamiento. Tesis de Maestría. [en línea]. [Consultado: 5 de octubre de 2013] Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0153_MT.pdf
3. Eeficiencia.es. (2012). El estudio PV Grid Parity Monitor pone de manifiesto que la paridad de red fotovoltaica ya empieza a ser una realidad. [en línea]. [Consultado: 5 de junio de 2013] Disponible en: <http://www.solarsostenible.org/2012/el-estudio-pv-grid-parity-monitor-pone-de-manifiesto-que-la-paridad-de-red-fotovoltaica-ya-empieza-a-ser-una-realidad/>
4. Focer. (2002). Manual sobre energía renovable, Solar Fotovoltaica. [en línea]. [Consultado: 14 de julio de 2013] Disponible en: <http://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bunca.org%2Fpublicaciones%2FFOTOVOLT.pdf&ei=AKUaU6TALqLI0QH3kYGgAg&usg=AFQjCN FYFP1oEHoPxY7kg61-OUcRgPCy4w&bvm=bv.62578216,d.dmQ>

5. Green Peace. Como disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica. [en línea]. [Consultado: 8 de octubre de 2013] Disponible en: http://phys.iit.edu/~segre/phys100/science_2009_324_891.pdf
 1. <http://www.greenpeace.org/international>
6. León, J. (2004). Energía Solar Fotovoltaica: Manual del instalador, Consejería de Economía y Empleo, [en línea]. [Consultado: 5 de julio de 2013] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/190297481/e-Manual-Instalador-Energia-Fotovoltaica>
7. Moro, M. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas, Instalaciones Eléctricas y Automáticas. [en línea]. [Consultado: 21 de julio de 2013] Disponible en: <http://books.google.com.gt/books?id=X22Ctl-VomgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
8. Navarro, E. (2011). Energía solar Fotovoltaica en Aeropuertos. [en línea]. [Consultado: 3 de octubre de 2013] Disponible en: www.obsa.org/Lists/.../Energía_solar_fotovoltaica_aeropuertos_ES.pdf
9. Núñez, G. (2008). Diagnóstico y propuestas de uso eficiente de energía eléctrica en el área de iluminación del aeropuerto internacional de Cd. Obregón, Sonora. [en línea]. [Consultado: 14 de julio de 2013] Disponible en: <http://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v4/art6junio08.pdf>

10. Orbegozo, C. 2010, Energía solar fotovoltaica, Manual técnico para instalaciones domiciliarias. [en línea]. [Consultado: 3 de julio de 2013] Disponible en:
http://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CD4QFjAE&url=http%3A%2F%2Fandree.milaulas.com%2Fpluginfile.php%2F29%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2FManual_ES_Fotovoltaica.pdf%3Fforcedownload%3D1&ei=AKUaU6TALqLI0QH3kYGgAg&usg=AFQjCNFHIJjI56la3L5odINMCDa4LBDedg
11. Organización de Aviación Civil Internacional. (2004). Anexo 14 Aeródromos (Cuarta Edición). [en línea]. [Consultado: 1 de octubre de 2013] Disponible en:
www.lima.icao.int/MeetProg/download.asp?Name=an14
12. Pereda, I. (2005). Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida, Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica de Chile. [en línea]. [Consultado: 2 de enero de 2014] Disponible en:
<http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/pereda.pdf>
13. Perpiñán, O. (2013). Energía Solar Fotovoltaica. [En línea]. [Consultado: 1 de julio de 2013] Disponible en:
<http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>
14. Richard M. (2009). Photovoltaics Power Up, [en línea]. [Consultado: 14 de junio de 2013] Disponible en:
http://phys.iit.edu/~segre/phys100/science_2009_324_891.pdf

15. Rincón, S. (2013). Proyecto de fin de carrera Integración Fotovoltaica en Edificios. [en línea]. [Consultado: 7 de agosto de 2013] Disponible en: uvadoc.uva.es/bitstream/10324/3252/1/PFC-P-76%3B77.pdf

16. Sala, G. (2002). Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, Energía Solar Fotovoltaica. [en línea]. [Consultado:[21 de septiembre de 2013] Disponible en: www.cnee.gob.gt/.../Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf

17. Universidad de San Carlos de Guatemala. [en línea]. Consultado: 17 de septiembre de 2013] Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0153_MT.pdf