



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE
SOLOLÁ**

Mario Roberto Castellanos Aguilar

Asesorado por el MSc. Ing. Víctor Manuel De León Contreras

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE
SOLOLÁ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ROBERTO CASTELLANOS AGUILAR
ASESORADO POR EL MSC ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
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 INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE
SOLOLÁ**

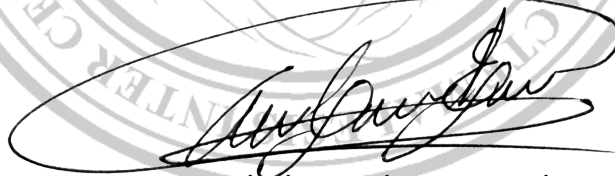
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 11 de agosto de 2018.

Mario Roberto Castellanos Aguilar

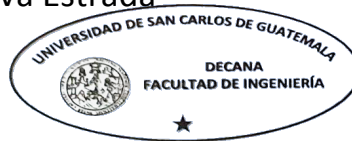
DTG. 299.2020.

La Decana 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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Roberto Castellanos Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ADSE-MEAPP-020-2018

Guatemala, 11 de agosto de 2018.

Director
Otto Fernando Andrino González
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 del (la) estudiante **Mario Roberto Castellanos Aguilar** carné número 200312759, 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,

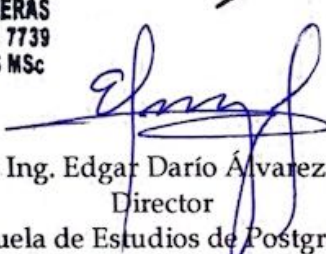
"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Víctor Manuel De León Contreras
Asesor (a)

VICTOR MANUEL DE LEON CONTRERAS
INGENIERO ELECTRICISTA COL. 7739
FORM. Y EVALUAC. DE PROYECTOS MSc

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



M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/LZLA.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación 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.



REF. EIME 07. 2020.

Guatemala, 11 DE FEBRERO 2020

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 dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ, presentado por el estudiante universitario; MARIO ROBERTO CASTELLANOS AGUILAR, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





DTG. 299.2020.

La Decana 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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Roberto Castellanos Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por proveer salud, fuerza y guardarme en todo momento.
Mi madre	María Magdalena Aguilar García, como un reconocimiento por todo su amor dedicación, confianza, esfuerzos y apoyo cada día de mi vida.
Mi hermana	Heidi Lisbeth Castellanos Aguilar, por su cariño, apoyo y comprensión.
Mi esposa	Brenda Aracely Yol Castro de Castellanos, por su compañía y apoyo en todo momento.
Mis hijas	Mariana Magdalena y Abigail Aracely Castellanos Yol, por ser luz que ilumina mi vida.
Mi sobrina	Morelia Elisabeth Chavarría, por sus detalles tan originales.
Mis tíos	Juan, Micaela, Thelma Yolanda, Marta Luz Aguilar, con especial cariño por sus sabios consejos.
Mis primas	Leslie Yohana y Brenda Liseth García, por compartir conmigo tantos recuerdos de los momentos vividos.

Mis abuelos

Timoteo Aguilar y Candelaria García.

Mis familiares

En general, por su aprecio, apoyo y consejos en los momentos que he compartido con cada uno.

Mis amigos

Oscar René León Coloma, Levi Gamaliel Chavarría y muchos más que me han apoyado en el camino, hasta alcanzar la meta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. OBJETIVOS	19
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	21
7. MARCO TEÓRICO.....	23
7.1. Calidad de la energía y eficiencia energética	23
7.2. Beneficios de la eficiencia energética.....	25
7.3. Análisis de consumos.....	26
7.4. Energías renovables.....	26
7.5. Sistema solar fotovoltaico.....	29

7.6.	Ventajas de los sistemas fotovoltaicos.....	30
7.7.	Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica	30
7.8.	Información básica para el diseño de un sistema solar fotovoltaico no conectado a la red eléctrica	32
7.9.	Instalaciones fotovoltaicas conectadas de la red eléctrica	32
7.10.	Sistemas de emergencia o respaldo	33
7.11.	Equipo de transferencia	34
7.12.	Análisis financiero	35
7.13.	Marco legal.....	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	399
9.	METODOLOGÍA	43
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	47
11.	CRONOGRAMA	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
13.	REFERENCIAS	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de una instalación solar fotovoltaica.	31
2.	Diagrama unifilar de un sistema de emergencia	34
3.	Cronograma de actividades	49

TABLAS

I.	Recursos financieros.....	51
----	---------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Flicker	Es una variación rápida y cíclica de la tensión, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.
NTGDR	Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía.
NTSD	Norma técnica del servicio de distribución.
TIR	Tasa interna de retorno.

RESUMEN

Es importante girar y ver la necesidad energética en las instalaciones de los edificios existentes, no por la capacidad de generación instalada en el sistema nacional interconectado, sino desde el punto de vista de eficiencia energética, es decir, la capacidad de hacer uso eficiente de la energía eléctrica.

Para ello, el presente trabajo da la pauta para realizar un análisis de las instalaciones eléctricas existentes del hospital departamental de Sololá y brindar las recomendaciones necesarias para la mejora de la infraestructura eléctrica.

Se presentará el diseño de un sistema de generación con paneles solares, para el abastecimiento de energía eléctrica al hospital, para ello se tomará en cuenta el área disponible para la instalación del equipo necesario.

Es importante realizar un análisis económico de la solución por implementar. Para tal fin, será necesario utilizar el valor actual neto, la tasa de retorno y la relación costo/beneficio.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la vulnerabilidad de las redes aéreas de distribución, como las que tienen las empresas que brindan el servicio de energía eléctrica en el país, se hace necesario, en los hospitales, tener un suministro de energía que sea sostenible, en caso de una eventualidad que desencadene en una suspensión del servicio eléctrico.

Como trabajo inicial, se realizará una evaluación de las instalaciones eléctricas existentes en el hospital departamental de Sololá, en el sistema de iluminación, el sistema de fuerza normal y en el de emergencia. Por sistema de emergencia ha de entenderse el generador eléctrico y la transferencia automática, así como determinar la incorporación de más áreas de atención al sistema, con las cargas optimizadas.

Para optimizar cargas, se realizará un análisis de eficiencia energética a las instalaciones eléctricas del hospital, es decir, se realizará el inventario de los equipos médicos y de oficina, del sistema de iluminación y servicios generales, análisis de consumos eléctricos por equipo y por área, priorización de consumos de energía de mayor a menor y propuesta de mejora técnico – financiera. En tal sentido que pueda realizarse un programa de trabajo en conjunto con el personal administrativo, para así determinar un cronograma y el presupuesto.

Continuando con la evaluación de las instalaciones existentes, se instalará, de manera temporal, un equipo analizador de redes eléctricas, para estimar la carga instalada, la potencia consumida del sistema, factor de potencia,

desbalance de cargas, análisis de armónicos, entre otros, los cuales serán analizados para proponer la mejora correspondiente.

El siguiente paso para las mejoras del sistema eléctrico es el proponer un diseño para un sistema solar fotovoltaico, conectado a la red, con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica y contar con un sistema de respaldo energético durante el tiempo de producción solar. De tal manera se fomenta la generación de energía eléctrica con tecnologías basadas en recursos renovables.

Aprovechando la energía solar, se puede dimensionar un sistema de generación por medio de fuentes renovables, utilizando paneles solares y que esté conectado al sistema eléctrico existente. Para ello, es necesario calcular la potencia del inversor, de los alimentadores eléctricos y de las protecciones eléctricas que llevará el sistema, con la intención de hacerlo menos dependiente de la red de distribución de la empresa distribuidora local.

En el capítulo inicial se desarrollará una auditoría energética con el fin de evaluar el estado actual de las instalaciones eléctricas, para determinar las áreas de mejora, para los sistemas de iluminación, fuerza normal y de emergencia y demanda energética de los equipos médicos. Se instalará el equipo de medición de parámetros eléctricos para determinar la calidad de energía suministrada por la empresa distribuidora, tales como regulación de voltaje y frecuencia y conocer los parámetros propios del hospital: el factor de potencia, el desbalance de cargas, energía consumida entre otros, que servirán como aspectos de mejora.

En el segundo capítulo se realizará el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos, conectado a la red de distribución de la empresa distribuidora local; se tomará en cuenta el área disponible, para la instalación de los equipos.

El capítulo 3, se destinará para estimar la factibilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico, para ello se cuenta con las herramientas necesarias como el valor actual neto, tasa interna de retorno y relación beneficio/costo.

En el capítulo 4, se presentan los resultados de los análisis realizados, tanto técnicos como económicos, para tomar acciones de mejora.

En capítulo 5, se establece una discusión que resume los resultados.

2. ANTECEDENTES

La tesis doctoral *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo*, desarrollada en la Universidad de Salamanca, centra el trabajo en un problema relevante, el consumo de energía en los hospitales. “De tal forma que define al consumo de energía, como la relación que existe entre la energía demandada y el rendimiento que muestra la instalación” (López, 2011, p. 33).

Como lo describe López (2011), se considera que un edificio es eficiente energéticamente, si consume menos energía exterior, en otras palabras, si consume menos energía que no ha sido generada por el edificio mismo a partir de tecnologías consideradas renovables. También indica que para hospitales no se puede considerar eficiencia energética si esta medida conlleva sacrificar el confort de los pacientes o del personal que ahí labora. Para ello anota que la iluminación en los hospitales debe satisfacer de tal manera que garantice las condiciones óptimas para que el personal desempeñe sus tareas adecuadamente y para lograr un ambiente confortable para el paciente.

López (2011) considera a la energía eléctrica como la fuente más necesaria, debido a que alimenta los sistemas de iluminación, permite el funcionamiento de las instalaciones de ventilación y climatización, ascensores, equipos de cómputo, equipos médicos, entre otros.

En su trabajo López (2011), indica que como medidas estratégicas para eficiencia energética en los hospitales se puede mencionar: aprovechar la iluminación natural y mejorar el sistema de iluminación artificial, con tecnología eficiente. Asimismo, recomienda diseñar los circuitos de iluminación de tal

manera que se apaguen cuando estén próximos a la iluminación natural, así como instalar detectores de presencia y temporizadores para disminuir el consumo energético.

López (2011) indica que es necesario diseñar sistemas fotovoltaicos para generar energía eléctrica y térmica para aguas calientes, calefacción y deshumidificación.

En la tesis de maestría de López (2015) titulada *Sistema de gestión de la energía, mediante la metodología ISO 50001:2011, para la Ciudad Universitaria, zona 12*, se indica que por medio de su investigación se logrará establecer una metodología para monitorear y evaluar los recursos energéticos en los edificios de la universidad y que el objetivo de la norma ISO 50001 es apoyar con establecer las medidas necesarias para optimizar el consumo energético y llevarlo a una eficiencia óptima.

Como eficiencia energética describe López (2015), el seguimiento para reducir las pérdidas producidas en el proceso o servicio, con la incorporación de hábitos adecuados de uso y con el cambio de tecnologías antiguas por otras más eficientes, se logra optimizar el consumo de los recursos energéticos disponibles. De tal manera que una auditoría energética es una herramienta que permite identificar el consumo de energía.

López (2015) indica que, para realizar un mapeo del edificio para la revisión energética, es necesario un recorrido por los edificios, para conocer sus instalaciones y áreas de servicio, con esto se logra establecer una ruta para recopilar los datos necesarios.

En la tesis de maestría, *Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso*, Becerra y Riquetti (2015), enfocan el estudio en el consumo energético, basado en los sistemas de vapor y eléctrico, por ser las de que tienen mayor consumo. Para el consumo de energía eléctrica se pueden enlistar los sistemas de iluminación, climatización, ascensores, compresores, bombas, calderas, lavandería y cocina.

Para conocer el consumo real de energía eléctrica del hospital, Becerra y Riquetti (2015), realizaron mediciones en los parámetros de calidad de energía, definida para este estudio como la ausencia de interrupciones, caídas de tensión y sobretensiones de la energía eléctrica suministrada al usuario. Teniendo en cuenta que el objetivo de la calidad de energía está enfocado en los parámetros que influyen en el correcto funcionamiento de los equipos y dispositivos en el hospital, se analizaron los siguientes: los niveles de voltaje, la potencia demandada, *flicker*, distorsión armónica y factor de potencia.

Para el hospital el consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación representa el 52.55 % del consumo anual, según el estudio realizado. Como lo indican los autores, “el objetivo de un adecuado diseño del sistema de iluminación, no solo es proporcionar luz, sino permitir a las personas que reconozcan lo que ven y que no provoque fatiga en el trabajo” (Becerra y Riquetti, 2015, p. 99).

Para analizar la factibilidad de la inversión a las mejoras al sistema térmico y al sistema eléctrico, Becerra y Riquetti (2015), utilizan los indicadores financieros como la tasa interna de retorno, TIR y el periodo de recuperación de la inversión.

En el estudio que Molina y Taracena (2011), realizaron como tesis de maestría denominada *Propuesta para el mejoramiento del sistema de energía, vapor y agua del hospital de accidentes 7-19, área de quirófanos*, indican que un hospital sustentable tiene como objetivo atender, diagnosticar y dar seguimiento o tratamiento a los pacientes, con el uso de tecnologías denominadas inteligentes.

Diseñar un hospital sustentable, según explican Molina y Taracena (2011), es crear un hospital que sea saludable, viable económicamente, que sea amigable con el ambiente y que cubra las necesidades de la sociedad.

La recomendación que proporcionan Molina y Taracena (2011), es que la planta de emergencia deberá estar conectada a las áreas de las unidades de salud que se consideren vulnerables y sensibles, esto con el fin de afrontar cualquier contingencia que suspenda el suministro de energía eléctrica. También recalcan que la planta de emergencia debe tener un mantenimiento programado, revisión periódica de los controles de funcionamiento y abastecimiento de combustible necesario.

En el análisis que describe Juárez (2013), en la tesis *Estudio de calidad de la energía eléctrica en los quirófanos de adultos, para el Hospital San Juan de Dios*, se indica que se pretende recabar información para reconocer los parámetros (tales como el bajo factor de potencia, sobre voltajes, sobretensiones, entre otros) que afectan el suministro eléctrico.

En el mismo documento se indica que el fin del estudio del análisis de calidad de energía eléctrica es tener un sistema robusto, eficiente y que sea confiable, tanto para el personal que labora en el Hospital General San Juan de Dios, como en los pacientes que requieren utilizar los quirófanos de adultos.

Se resalta que el estudio de la calidad de energía eléctrica “es necesario, para caracterizar los parámetros eléctricos en un sector particular, para el caso en análisis, el circuito que alimenta los quirófanos de adultos, para determinar soluciones eficientes” (Juárez, 2013, p. 23).

Como resultado del análisis de calidad de energía para el circuito eléctrico que alimenta los quirófanos, tenemos: corrección del factor de potencia, balance de cargas y sustitución de tableros de distribución y la implementación de una unidad de respaldo. Juárez (2013), anota que la metodología utilizada para calcular la rentabilidad de las mejoras al circuito que alimenta los quirófanos es la relación beneficio / costo.

En el trabajo titulado *Planificación para la remodelación del sistema eléctrico del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*, Robles (2007), indica que se hace necesario realizar un diseño nuevo debido a que el hospital ha tenido crecimiento por el número de personas afiliadas a la institución y por ende crece la demanda de atención médica.

Robles (2007) hace la observación acerca de que es necesario realizar un inventario de todos los equipos que se alimentan, para tener el cálculo de la demanda máxima estimada, con este dato se realiza en nuevo diseño eléctrico.

Para determinar la calidad de energía eléctrica del hospital, Robles (2007) indica que se instaló un analizador de redes, que le proporcionó diferentes parámetros eléctricos, entre los que se puede indicar, la corriente de fase, el desbalance entre fases, el voltaje de línea y de fase, el factor de potencia, entre otros. El análisis de calidad de energía permitió visualizar problemas que afectan a la eficiencia del sistema eléctrico del hospital y otorga la oportunidad de realizar propuestas de mejoras.

Robles (2007), menciona que los armónicos son producto de cargas no lineales conectadas al sistema eléctrico, las cuales ocasionan perturbaciones sobre la red de distribución y una consecuencia es el calentamiento en los motores, alimentadores eléctricos, transformadores, entre otros. Entre las cargas no lineales se pueden enlistar las siguientes: variadores de velocidad, rectificadores de corriente, equipos de soldadura y hornos de arco.

Asimismo, el autor explica que: “tener un sistema de protección contra rayos es blindar a un edificio, a las personas que están ahí y a los equipos de las descargas atmosféricas” (Robles, 2007, p. 131).

Robles (2007), propone en su diseño instalar un sistema de alimentación ininterrumpida, por sus siglas en inglés UPS, *Uninterrupted Power System*, para los quirófanos.

La recomendación de Robles (2007), de implementar la remodelación de las instalaciones eléctricas del Hospital de Ginec Obstetricia, es para evitar fallas tanto en los conductores o en las protecciones eléctricas y que desencadene en accidentes que pueden ser lamentables para el personal administrativo, de mantenimiento, médicos, pacientes y visitantes y daños a equipos conectados al sistema.

En el estudio técnico económico que realizó Pérez (2013) para la utilización de paneles solares, como suministradores de energía eléctrica para alimentar el sistema de iluminación del Hospital Distrital de La Tinta, ubicado en el departamento de Alta Verapaz, identificó que el 74 % del consumo energético corresponde al sistema de iluminación, por lo que recomienda utilizar tecnologías más eficientes.

En los hospitales, salas de consulta, entre otros, la iluminación artificial debe servir para dos objetivos principales: “garantizar las condiciones adecuadas para desarrollar las tareas correspondientes y contribuir a generar una atmósfera en la que el paciente se sienta confortable, esto garantiza la máxima eficiencia energética” (Ezquerro, Gandolfo, Ramos y Urraca, 2001, p. 7).

Siguiendo con el trabajo desarrollado por Pérez (2013), es viable alimentar el sistema de iluminación del Hospital Distrital de La Tinta, con energía proveniente de un sistema de generación por paneles solares, debido a que su recuperación se realizará en un periodo de siete años.

En el análisis energético que realizó Pérez (2013), se recomienda que el Hospital Distrital de La Tinta debe realizar una gestión ante la distribuidora local de energía eléctrica para modificar la potencia contratada en su momento, para obtener un ahorro, respecto de este rubro.

Martínez (2016), se toma la tarea de indicar en su trabajo que la energía solar, es la energía en forma de radiación electromagnética, luz, calor, y rayos ultravioletas que proviene del sol, también hace mención que este tipo de energía se puede aprovechar en dos formas: conversión térmica y conversión fotovoltaica.

Según indica De León (2008), la energía solar es la procedente del sol. Para el caso de las energías renovables, se comprende por energía solar la luz solar que incide en la tierra en sus componentes visibles e invisibles, infrarrojos y ultravioleta.

González (2009), expresa que la energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales

semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, y que se logra generar corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

Pérez (2013), anota que los componentes básicos necesarios para una instalación fotovoltaica conectada a la red son: el generador fotovoltaico, inversor y las protecciones respectivas.

Como herramientas de evaluación financiera Pérez (2013), utiliza el valor actual neto (VAN), la relación beneficio / costo, la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación.

De León (2008), da la recomendación de que la planta de emergencia deberá estar conectada a las áreas más vulnerables y críticas de las unidades de salud, para afrontar cualquier emergencia y/o contingencia que represente la suspensión del suministro de energía eléctrica por parte del distribuidor. Por lo tanto, debe tener un mantenimiento programado, controles de funcionamiento y suficiente combustible para generar energía eléctrica durante las jornadas de servicio.

El énfasis que hacen Bratu y Campero (1995), es que gran cantidad de instalaciones eléctricas, es decir complejos comerciales, centro asistenciales y edificios para la industria, cuentan con una planta de emergencia, también llamado grupo electrógeno, para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Debido al servicio público que brindan, especialmente en hospitales, se requiere de una fuente de energía eléctrica que funcione mientras la red suministrada por el distribuidor presente interrupción en el servicio.

En la descripción González, Pérez y Santos (2009), comentan que la conexión del generador fotovoltaico a la red general de distribución no deberá provocar averías o fallas, ni disminución de las condiciones de seguridad o alteraciones superiores.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un suministro de energía eléctrica adecuado, es decir sostenible, sin interrupciones, es un respaldo importante para las actividades que se desarrollan en el Hospital Departamental de Sololá.

Como el hospital data del 8 de mayo de 1948, nace la oportunidad de realizar una guía para el cálculo y diseño de las instalaciones eléctricas y proveer pautas para el diseño de un sistema fotovoltaico, que sea conectado a la red de distribución de baja tensión (120/240 voltios), y que tenga capacidad de entregar su energía a la red.

Es pertinente realizar un análisis a las instalaciones eléctricas del Hospital de Nacional de Sololá, debido a que la NTSD, Norma Técnica del Servicio de Distribución, indica que, entre las obligaciones del usuario, está realizar las modificaciones necesarias para evitar introducir perturbaciones en la red del distribuidor que afecten la calidad del servicio eléctrico de distribución. “Entre las perturbaciones se puede mencionar, la distorsión armónica y el factor de potencia” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 12).

Entre las causas, que mueve a realizar el análisis: un sistema de iluminación ineficiente, debido a luminarias con tecnologías antiguas u obsoletas, mejorar el nivel de iluminación y la falta de un diagnóstico de las instalaciones eléctricas en general, ya que por el cableado antiguo que se tiene conlleva un riesgo de sobrecarga, calentamiento de los conductores y, por ende, el peligro de que al fallar el aislamiento se produzcan cortocircuitos, lo que puede provocar un incendio y llevar a pérdidas humanas y materiales.

Los efectos que se consideraron son: baja eficiencia energética, altos costos de facturación por el servicio de energía eléctrica y riesgo de cortocircuito por tener instalaciones antiguas, llegando a tener una probabilidad de la suspensión de las actividades de consultas del hospital por falta del suministro de energía eléctrica por fallas propias.

El subsector eléctrico en Guatemala ha venido transformando su matriz energética, disminuyendo su dependencia del petróleo y aumentando la implementación de fuentes de energías renovables, entre estas se puede mencionar la solar fotovoltaica, eólica, biomasa, por mencionar algunas.

En síntesis, los sistemas de generación de energía eléctrica con fuentes renovables apoyan para mitigar la problemática del cambio climático, y da auge en el cumplimiento del protocolo de Kioto y al cumplimiento de las políticas energéticas nacionales.

La pregunta central del planteamiento es: ¿Es energéticamente eficiente el Hospital Departamental de Sololá?

La cual responde las siguientes preguntas: ¿Cuál es el diagnóstico de las instalaciones eléctricas existentes?, ¿Cuál es el diseño apropiado para un sistema fotovoltaico para la red eléctrica del Hospital de Sololá?, ¿Cuál es la factibilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico?

4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo corresponde a la línea de investigación, Formulación, gestión, seguimiento y evaluación de proyectos energéticos: preparación, formulación y evaluación de un proyecto, de la Maestría de Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El hospital departamental Juan de Dios Rodas, con dirección final calzada Venancio Barrios, zona 2, ubicado en Sololá, funciona desde el 8 de mayo de 1948, según indica el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. La asistencia que presta el hospital en la consulta externa es de cirugía general, ginecología y obstetricia, nutrición, odontología, pediatría, entre otros y cubre a la población del municipio de Sololá y a los municipios cercanos de los departamentos de Quiché, Escuintla, Chimaltenango, Suchitepéquez y Totonicapán, según se detalla en su página electrónica (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2017).

Desde 1948 a la fecha, las instalaciones físicas del inmueble han tenido cambios en cuanto a la necesidad del crecimiento, por lo que se torna necesario realizar una inspección general a las Instalaciones Eléctricas del Hospital Nacional de Sololá, con la finalidad de tener un servicio continuo y de calidad. En este aspecto se propone un estudio para determinar la calidad del servicio de energía eléctrica que provee la distribuidora local.

Se ejecutará una auditoría energética, haciendo énfasis en los sistemas de iluminación, inspección de los paneles de distribución y verificación el factor de potencia.

Una propuesta para reducir el costo de facturación de la energía eléctrica es la instalación de paneles solares fotovoltaicos, por lo que se realizará el diseño del sistema de generación y se entregará una evaluación técnica indicando su factibilidad, al mismo tiempo se contribuye con diversificar la matriz energética del país. Esto cumpliendo con la Norma técnica de generación distribuida y usuarios auto productores con excedentes de energía de la Comisión Nacional de Energía.

Entre los beneficiarios, se puede mencionar al Hospital de Sololá y a los pacientes que son atendidos.

5. OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta para que el hospital de Sololá sea edificio energéticamente eficiente.

Específicos

- Evaluar el estado de las instalaciones eléctricas existentes y presentar las medidas de mejora propuestas, su costo y tiempo de recuperación de la inversión.
- Diseñar un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para el hospital departamental de Sololá.
- Estimar la factibilidad de la implementación un sistema solar fotovoltaico.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A la fecha, el suministro de energía de respaldo no abastece a todo el sistema eléctrico del Hospital Departamental de Sololá.

En la actualidad, cuenta con una planta de emergencia que no cubre todo el sistema eléctrico, por lo que se tiene considerado alimentar solo las cargas que se consideren críticas, tales como las salas de operaciones y pasillos de uso general entre otros. En caso de suspensión del servicio eléctrico por parte del distribuidor, solo las áreas denominadas críticas serán abastecidas por el servicio de generación de energía eléctrica del grupo electrógeno, de tal forma las áreas denominadas no críticas estarán sin energía.

Ante tal situación se propone realizar la evaluación de las instalaciones eléctricas en general, para proponer su mejora, que incluirá instalación de un equipo de medición para evaluar los parámetros eléctricos tales como: regulación de voltaje, desbalance de fases, factor de potencia, potencia demandada o consumida máxima, realizar un diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas existentes y evaluación del sistema de iluminación.

Para mejorar el respaldo de generación se propone realizar un diseño del sistema de generación solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Calidad de la energía y eficiencia energética

La calidad de la energía se puede definir, según indica Harper (2008), como la ausencia de interrupciones al servicio de energía eléctrica, sobretensiones, frecuencia y variaciones del voltaje suministrado al usuario.

Harper (2008) indica que una fluctuación de voltaje es una disminución momentánea en el voltaje nominal del distribuidor de energía eléctrica y este puede ser causado por una falla remota en algún punto en el sistema de potencia.

Según lo describe Serra (2007), la eficiencia energética eléctrica, es la reducción de las potencias y energía demandadas al sistema eléctrico sin tener que afectar a las actividades cotidianas en edificios, industrias o cualquier proceso de transformación.

En el análisis que da Autonell, et al. (2012), definen a la eficiencia energética y uso racional de la energía eléctrica, como el rendimiento de la energía que se ha consumido y de las instalaciones necesarias para su generación, transporte y utilización, a fin de garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos conectados a la red de distribución.

Convine resaltar que se entiende como eficiencia energética de un proceso “al cociente entre la energía efectivamente aprovechada y la energía consumida” (AChEE, 2013, p. 9).

También se le puede entender como el conjunto de acciones que permiten la optimización entre la energía consumida y los servicios finales, sin sacrificar la producción, así se refiere la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2013), a la eficiencia energética. En otras palabras, es hacer más con menos consumo de energía.

Herramienta que permite al cliente o empresa conocer su consumo energético, es como define López (2015), a la auditoría energética.

Para la evaluación de parámetros eléctricos tales como distorsión armónica, factor de potencia, desbalance de cargas, consumo típico, entre otros, es necesario instalar un equipo de medición o analizador de redes, a lo cual Monnéy (2017) indica que la tarea de un registrador, es la de almacenar registros de los parámetros eléctricos durante un periodo establecido.

Se conoce como analizador de redes, “a los instrumentos de medida que son capaces de medir varios parámetros eléctricos de manera simultánea” (Autonell, *et al.*, 2012, p. 172).

Las armónicas como lo comenta Harper (2008), distorsionan la forma de onda del voltaje y la corriente de 60 Hz.

El factor de potencia, como lo visualiza Cantos (2016), permite cuantificar la utilización de la potencia activa, es decir la potencia útil, respecto de la potencia aparente, en otras palabras, la potencia total.

La ecuación se representa de la siguiente manera:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

En donde:

$\cos \varphi$ es el factor de potencia

P, la potencia real (kW)

S, la potencia aparente (kVA)

Entre las ventajas de compensar la energía reactiva están la “disminución de pérdidas, mejora de la tensión de red, aumento de la capacidad de las líneas de alimentación y transformadores y la reducción de costos por penalizaciones” (Autonell, *et al.*, 2012, p. 70).

El parpadeo del sistema de iluminación o *flicker*, “es una consecuencia de las fluctuaciones de tensión, cuya consecuencia se manifiesta en forma de fluctuaciones de intensidad luminosa” (Autonell, *et al.*, 2012, p. 137).

7.2. Beneficios de la eficiencia energética

Entre los beneficios que se adquieren por implementar un plan de eficiencia energética se pueden mencionar “los económicos, ambientales y ya para el país, los descritos a continuación” (AChEE, 2013, p. 9).

Beneficios económicos, debido a que reduce los costos de producción y operación. La AChEE (2013), anota que entre los beneficios ambientales se tiene la reducción de consumo de recursos de hidrocarburos y, por lo tanto, disminuye la emisión de gases contaminantes.

Beneficios para el país, según indica la AChEE (2013), aumenta la seguridad de abastecimiento de energía eléctrica y disminuye la dependencia de fuentes de generación no renovables.

7.3. Análisis de consumos

Como perfil de consumo eléctrico o perfil de carga, denomina Cantos (2016), a la curva que presenta la distribución diaria de potencia que se demanda en cada hora.

La curva de demanda, como lo presenta Cantos (2016), proporciona información de simultaneidad de algunos consumos, esto es importante para determinar la potencia máxima demandada.

Para tener un óptimo diseño a un sistema de generación con paneles fotovoltaico, se debe procurar, como primer paso, la eficiencia en el uso de la energía que se generará, es decir, “identificar las oportunidades de ahorro energético” (Solar Energy International, 2015, p. 42).

7.4. Energías renovables

La norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, emitida por la Comisión Nacional de Energía (2014), establece que las tecnologías para la generación de energía eléctrica consideradas como renovable, son las que utilizan las fuentes siguientes: biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica, solar y otras que determine el Ministerio de Energía y Minas.

La biomasa, según Rodríguez, González, Rojas y Palacios (2013), consiste en todo material que tenga origen biológico producido por vegetales por medio de la captación de energía solar y agua, por medio de la fotosíntesis.

Como el conjunto de materia biológicamente renovable, presenta Creus (2014), a la celulosa, madera, carbón vegetal, entre otros elementos. En otras palabras, es la forma en la naturaleza, siendo estas plantas terrestres y acuáticas o residuos de animales y materias, que almacenan energía solar.

A la energía eólica, Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009), de igual manera Rodríguez, *et al.*, (2013), indican que es aprovechada por medio de la energía cinética proveniente del viento, la cual se transforma en energía mecánica, para posteriormente convertirse en energía eléctrica y producir electricidad.

Entre las ventajas que menciona Creus (2014) sobre la energía eólica es que no genera residuos, el tiempo de construcción es relativamente rápido y se pueden realizar las construcciones tanto en tierra firme como en el mar. Como desventajas, se pueden citar: el impacto sobre la flora y la fauna, riesgo que se rompan las aspas, riesgo de descargas electroatmosféricas.

La geotermia, según lo define Rodríguez, *et al.*, (2013), es la ciencia que está relacionada con el calor interior de la tierra y la aplicación es la localización de yacimientos de agua caliente para utilizarlos en la generación de energía eléctrica, secado industrial o calefacción.

La energía hidráulica es la contenida en una masa de agua elevada en comparación a un nivel de referencia, en otras palabras, “la energía potencial del agua se debe transformar en energía cinética y la energía cinética en energía mecánica, por medio de turbinas hidráulicas que están colocadas en la base de los embalses” (Carta *et al.*, 2009, p. 49).

Las centrales hidráulicas o hidroeléctricas “se deben construir en los cauces de los ríos, en donde el caudal de agua en movimiento es abundante y continuo” (Rodríguez *et al.*, 2013, p. 206).

Creus (2014), indica que la energía hidroeléctrica es más limpia en comparación con la combustión de los derivados del petróleo y del carbón, resaltándolo como ventaja.

La energía solar, como lo especifican Carta, *et al.*, (2009), es la energía radiante que procede del sol y que llega a la superficie terrestre, en infrarrojo, luz visible y ultravioleta.

Como energía radiante que es producida por el sol, resultado de reacciones nucleares de fusión en su interior y que llega al planeta Tierra en cuantos de energía llamados fotones, así describen Rodríguez *et al.* (2013) a la energía solar.

Según Carta *et al.* (2009), el potencial energético solar, es muy variable ya es está en función de la estación del año y hora del día.

Los factores que determinan la intensidad de la radiación solar son: “el día de año, la hora, la altitud y la latitud y la orientación del dispositivo receptor” (Rodríguez *et al.*, 2013, p. 296).

Para Carta *et al.* (2009), existen los métodos de aprovechamiento de la energía solar, se pueden agrupar en dos grandes grupos, fotovoltaicos y térmicos.

7.5. Sistema solar fotovoltaico

El proceso de conversión fotovoltaica es el “aprovechar de la energía proveniente del sol para la producción de energía eléctrica, en otras palabras es el resultado de la interacción de la radiación solar con un material semiconductor que desemboca en producir corriente eléctrica” (Rodríguez *et al.*, 2013, p. 297).

El Código Eléctrico Nacional, versión 2008 en español, define al sistema solar fotovoltaico como “todos los componentes necesarios que, combinados, convierten la energía proporcionada por el sol, en energía eléctrica adecuada para la conexión de una carga o equipo” (National Fire Protection Association, 2007, pág. 37).

González, Pérez y Santos (2009) explican como descripción elemental de un sistema solar fotovoltaico, al conjunto de componentes tanto mecánicos, como eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica.

González, *et al.* (2009), expresa que la energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, y que se logra generar corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

La conversión fototérmica la explican Rodríguez, *et al.* (2013) como el aprovechamiento de la energía solar para producir calor.

7.6. Ventajas de los sistemas fotovoltaicos

Las ventajas que ofrecen los sistemas fotovoltaicos, en comparación con las fuentes de generación de energía eléctrica convencionales (Solar Energy International, 2015) son:

- **Modularidad:** los módulos permiten ser añadidos de manera gradual, para incrementar la potencia instalada y energía producida.
- **Durabilidad:** la mayoría de los módulos fotovoltaicos, están garantizados por los fabricantes, para operar durante 25 años
- **Reducción de la contaminación sonora:** los sistemas fotovoltaicos operan silenciosamente.

Enríquez (2014), presenta que la instalación fotovoltaica, puede ser: aislada a la red eléctrica y conectada a la red eléctrica del distribuidor.

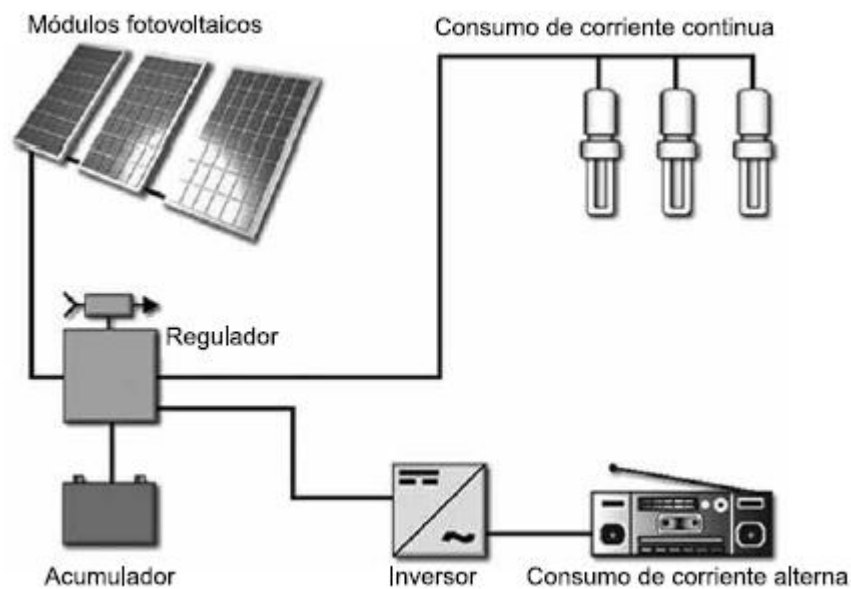
7.7. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica

Para las instalaciones fotovoltaicas que son aisladas de la red eléctrica, “se puede tener como aplicación, para alumbrado público, para sistemas de bombeos de agua para comunicaciones y señalización” (Enríquez, 2014, p. 79).

Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo es un sistema que se abastece por sí mismo, así lo describe Pareja (2010), esto debido a que aprovecha la irradiación solar para generar energía eléctrica, que es necesaria para alimentar una vivienda, un sistema de riego, un pozo o un sistema de telecomunicación entre otros.

Pareja (2010), al igual que Carta, *et al.* (2009) indica que un sistema fotovoltaico autónomo o aislado de la red, está formado por varios subsistemas, tales como: de captación o generador fotovoltaico, almacenamiento o baterías, regulación y convertidor de corriente.

Figura 1. **Esquema de una instalación solar fotovoltaica**



Fuente: Carta, Calero, Colmenar y Castro. (2009). *Esquema de una instalación.*

Al subsistema de captación, lo constituye el panel fotovoltaico, cuya función “es convertir la radiación solar en energía eléctrica” (Carta et al., 2009, p. 237).

Para el Código Eléctrico Nacional, un sistema autónomo es “un sistema solar fotovoltaico que suministra energía eléctrica independiente de una red de distribución de energía eléctrica” (National Fire Protection Association, 2007, pág. 665).

7.8. Información básica para el diseño de un sistema solar fotovoltaico no conectado a la red eléctrica

El primer paso para diseñar un sistema fotovoltaico autónomo, según el análisis de *Solar Energy International* (2015), es determinar el momento del año con el mayor consumo y luego seleccionar un mes que se utilizará como base para diseñar el sistema.

Para determinar el mes de diseño, tomando en cuenta que la carga es constante a lo largo del año, se hará referencia al mes con menor radiación. El arreglo del sistema solar fotovoltaico se instalará “con un ángulo de inclinación que obtenga del mayor valor de radiación durante el mes de diseño” (Solar Energy International, 2015, p. 37).

Para la recolección de datos de erradicación, se solicitará la misma al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh, debido a que cuenta con una estación de monitoreo en Sololá.

El otro paso importante es estimar el consumo de la carga, para ello tomaremos el promedio diario de energía eléctrica consumida.

7.9. Instalaciones fotovoltaicas conectadas de la red eléctrica

En el caso de las instalaciones fotovoltaicas que son conectadas a la red eléctrica, “se puede aplicar en tanto a nivel domiciliario como comercio y hospitales o servicios públicos, para intercambio de energía” (Enríquez, 2014, p. 79).

El inversor es “el elemento del sistema solar fotovoltaico que fija la potencia nominal de la instalación y se calcula como la sumatoria de todos los inversores existentes” (Aranda y Ortego, 2011, p. 70).

7.10. Sistemas de emergencia o respaldo

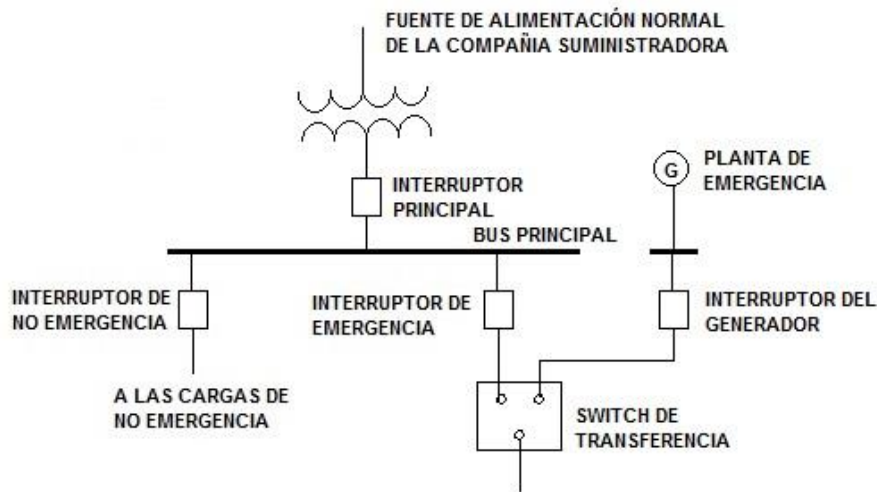
Los sistemas de emergencia están proyectados “para transferir de manera automática energía eléctrica a sistemas de iluminación, de fuerza o ambos, para las áreas y equipos designados en caso de falla de la alimentación comercial, para la seguridad de las personas” (National Fire Protection Association, 2007, p. 689).

Según Miralles y Zubiaurre (2015), se entiende como generador eléctrico, “a todo aparato, equipo o máquina que sea capaz de producir energía eléctrica por medio de otra clase de energía” (p.21).

El sistema de emergencia comúnmente empleado, según lo indica Enríquez (2006), es la llamada planta de emergencia, consistente de un motor de combustión acoplado a un generador de corriente eléctrica. Estas operan por medio de transferencias eléctricas o *switch* de transferencia, que pueden ser manuales o eléctricas.

Bratu y Campero (1995), explican que las plantas de emergencia constan de un motor de combustión interna que está acoplado a un generador de corriente alterna. El cálculo de la capacidad de una planta eléctrica se hace en función de las cargas que deben operar permanentemente.

Figura 2. **Diagrama unifilar de un sistema de emergencia**



Fuente: Enríquez. (2006). *Diagrama unifilar de un sistema de emergencia*.

La figura anterior representa el diagrama unifilar de una instalación eléctrica general, el cual tienen un sistema de emergencia de respaldo, como lo anota Enríquez (2006), teniendo como alimentación principal la red de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Como indica el Código Eléctrico Nacional, “el suministro de corriente debe ser tal que, si falla el suministro de energía comercial al edificio, la alimentación del sistema de emergencia debe estar disponible, pero no debe demorar más de 10 segundos” (National Fire Protection Association, 2007, p. 691).

7.11. Equipo de transferencia

Según el Código Eléctrico Nacional, el equipo de transferencia se debe diseñar e instalar de modo que prevenga la interconexión accidental de las fuentes de alimentación de la red comercial y la red de emergencia, al realizar

cualquier operación del equipo de transferencia. De igual manera, “debe permitir el funcionamiento paralelo del sistema de emergencia con la red de alimentación comercial” (National Fire Protection Association, 2007, p. 690).

7.12. Análisis financiero

Los métodos principales que utilizan el concepto de flujo de caja descontando son: “el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)” (Sapag y Sapag, 2008, p. 317).

El criterio del valor actual neto o VAN, plantea que un proyecto debe aceptarse si su valor actual neto es igual o mayor a cero, según lo indica Sapag (2008), en otras palabras, el VAN es la diferencia de todos los ingresos y todos los egresos expresados actualmente.

Sapag (2008) indica que el criterio de la tasa de retorno o TIR evalúa el proyecto en función de una tasa de rendimiento por periodo, con la cual el total de los beneficios actualizados son iguales a los egresos o desembolsos expresados al tiempo actual.

Un proyecto debe aceptarse, según Sapag (2008), si la tasa que se calcula es mayor al compararla con la tasa de descuento de la empresa, en caso contrario debe rechazarse el proyecto.

7.13. Marco legal

En lo que se refiere al diseño de las instalaciones eléctricas nos basásemos en el Código Eléctrico Nacional, por sus siglas en inglés NEC, *National Electrical Code*, que indica que “un hospital es un edificio o parte de este, utilizado para

cuidados médicos, obstétricos o quirúrgicos, las 24 horas del día” (National Fire Protection Association, 2007, p. 490).

El sistema de emergencia se debe enfocar a los circuitos denominados esenciales de seguridad para “salvaguardar la vida del paciente y brindar la operación efectiva del hospital durante el periodo en que el servicio de energía normal esté interrumpido por cualquier razón” (National Fire Protection Association, 2007, p. 495).

Para la evaluación del servicio de energía eléctrica, la base serán las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, NTSD, dado que “establece los derechos y obligaciones, tanto de la empresa distribuidora de energía eléctrica como del usuario” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 6).

El artículo 13 de la NTSD, indica que entre las obligaciones del usuario están “realizar las instalaciones interiores, incluyendo modificaciones y reparaciones necesarias para evitar introducir perturbaciones a la red eléctrica del distribuidor, y, por ende, que afecte la calidad del servicio de energía eléctrica” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 12).

Según lo establece la NTSD, los indicadores de referencia para calificar el suministro de energía eléctrica de la distribuidora y del usuario son: “regulación de tensión, desbalance de tensión en servicios trifásicos, distorsión armónica, factor de potencia, entre otros” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 13).

Para el caso del factor de potencia la CNNE (1999), establece que el valor mínimo admitido para el factor de potencia está de acuerdo con la potencia del usuario. Para usuarios con potencia hasta 11 kW, el valor mínimo de factor de

potencia es 0.85, para usuarios con potencias superiores a 11 kW de 0.90, referido en el artículo 49 de la NTSD.

Para la determinar del factor de potencia, según el artículo 50 de la NTSD, se utiliza la ecuación:

$$F_{potp} = \text{EnergActp} / \sqrt{(\text{EnergActp}^2 + \text{EnergReactp}^2)}$$

Donde:

F_{potp} : factor de potencia para el periodo horario

EnergActp : energía activa registrada en el periodo medido

EnergReact : energía reactiva registrada en el periodo medido

La Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía, NTGDR, indica que son tecnologías “con recursos renovables aquellas que utilizan para generar energía eléctrica las siguientes fuentes: biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica, solar y otras” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 7).

La NTGDR, resalta que un usuario autoprodutor con excedente de energía, es el usuario que “inyecta o provee energía eléctrica al sistema de distribución, producido por una generación considerada con fuentes de energía renovable” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 7).

Textualmente el artículo 36 de la NTGDR, indica:

En el caso de usuarios autoprodutores que cuenten, dentro de sus instalaciones de consumo, con excedentes de energía renovable para

inyectarla al sistema de distribución, pero que manifiesten expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deberán informar al distribuidor involucrado de tal situación, por medio del formulario correspondiente. Cumplido este requisito podrán operar en esta modalidad. Estos usuarios no requerirán de autorización alguna; sin embargo, deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de este o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las NTSD. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 19)

Artículo 40, emitido norma de la CNEE, expresa:

Los usuarios autoprodutores con excedentes de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución. Para efectos de la facturación mensual del usuario, el distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al Usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución, el distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del UAEE; no obstante, el Distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada Usuario, según la tarifa correspondiente. Para el caso de tarifas sin medición de potencia, el distribuidor podrá cobrar los cargos por distribución correspondientes en función de la energía que entregue al usuario. Todos los cargos deben ser detallados en la factura. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 20)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Calidad de la energía y eficiencia energética
- 1.2. Beneficios de la eficiencia energética
- 1.3. Análisis de consumos
- 1.4. Energías renovables
 - 1.4.1. Energía de la biomasa
 - 1.4.2. Energía eólica
 - 1.4.3. Energía geotérmica
 - 1.4.4. Energía hidráulica
 - 1.4.5. Energía solar
- 1.5. Sistema solar fotovoltaico
- 1.6. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica
- 1.7. Instalaciones fotovoltaicas conectadas de la red eléctrica
- 1.8. Análisis financiero

- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 2.1 Auditoría energética
 - 2.1.1. Datos generales. Descripción del edificio
 - 2.1.1.1. Características generales del edificio
 - 2.1.1.2. Características generales de las principales instalaciones
 - 2.1.2. Descripción de las instalaciones. Toma de datos
 - 2.1.2.1. Diagrama unifilar
 - 2.1.2.2. Sistema de iluminación
 - 2.2.3. Sistema de emergencia (planta eléctrica)
 - 2.2.4. Demanda energética
 - 2.3. Suministro energético
 - 2.3.1. Suministro eléctrico
 - 2.3.2. Suministro de combustible
 - 2.4. Definición y análisis de los principales focos de consumo
 - 2.4.1. Potencia instalada
 - 2.4.2. Potencia demandada
 - 2.4.3. Indicadores de desempeño.
 - 2.4.4. Desglose anual de los perfiles de consumo
 - 2.5. Diagnóstico energético
 - 2.5.1. Distribución del consumo energético total
 - 2.5.2. Perfiles anuales de consumo
 - 2.5.3. Estudio de consumo. Determinación de los principales consumidores.
 - 2.5.4. Gestión de los suministros energéticos
 - 2.5.5. Gestión de la demanda
 - 2.6. Mantenimiento
 - 2.6.1. Formulación de propuestas

- 2.6.2. Sistema de Iluminación: plan de mejora de la eficiencia energética de la instalación
- 2.6.3. Sistema eléctrico: plan de mejora en el diseño del sistema eléctrico lo que comprende el rediseño de tableros eléctricos, conductores, balance de cargas y redistribución de circuitos eléctricos en áreas principales.
- 2.6.4. Sistema solar autoprodutor
- 2.6.5. Sistema solar de calefacción
- 2.7. Evaluación financiera del plan de ahorro energético
 - 2.7.1. Sin necesidad de inversión
 - 2.7.1.1. Mantenimiento correcto
 - 2.7.1.2. Negociación del contrato de energía
 - 2.7.2. Con necesidad de inversión
 - 2.7.2.1. Inversión recuperable a corto plazo. Optimización del sistema de iluminación
 - 2.7.2.2. Inversión recuperable a largo plazo. Sistema solar autoprodutor y térmico

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos se propone la siguiente metodología:

- Objetivo: evaluar el estado de las instalaciones eléctricas existentes

Para evaluar el estado de las instalaciones eléctricas existentes del hospital, se debe realizar una auditoría energética, la cual es una herramienta técnica de evaluación del uso actual de la energía.

La metodología para el estudio de la mejora de la eficiencia energética del Hospital Departamental de Sololá es realizar la auditoría energética de la cual proporcionará información para realizar el diagnóstico energético. Con esta información, se formularán las propuestas técnicas para la mejora del sistema eléctrico.

En la auditoría energética, es necesario la toma de los datos de los sistemas de iluminación, sistemas de fuerza normal y de emergencia y demanda energética de los equipos médicos. Con la información recopilada se procederá al análisis de la potencia instalada, la potencia consumida o demandada y poder tener un diagnóstico energético.

En el análisis del diagnóstico energético, se ha de tener información de la distribución del consumo energético total del hospital, el perfil anual de consumo o historial de facturación, para determinar los sistemas de mayor consumo, en los cuales se enfocarán las mejoras.

Para analizar otros parámetros eléctricos propios de la instalación del hospital, se propone instalar temporalmente un analizador de redes, para evaluar la regulación de voltaje y frecuencia, desbalance de fases, potencia consumida, factor de potencia y análisis de armónicos, para luego presentar las mejoras que se puedan realizar al sistema eléctrico.

El siguiente paso es la formulación de propuestas técnicas para el ahorro energético y el análisis costo-beneficio de las oportunidades de mejora.

Se presentará un informe técnico proponiendo las mejoras a las autoridades del Hospital Departamental de Sololá.

- Objetivo: diseñar un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para el Hospital Departamental de Sololá

Análisis del consumo de energía del hospital, para proceder a seleccionar el sistema fotovoltaico, es decir, cálculo de la cantidad de paneles solares, orientación e inclinación y selección del inversor.

En este paso se analiza el área disponible para instalar los paneles solares, pueden ser techos sin utilizar o campos para tal efecto.

- Objetivo: estimar la factibilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico

Con el diseño desarrollado, se procede a realizar el presupuesto del sistema solar fotovoltaico planteado.

Para realizar el estudio de prefactibilidad del diseño propuesto, se utilizará como herramientas financieras el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio/costo y el periodo de inversión.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis empleado es de tipo cuantitativo. Se realizará un análisis de eficiencia energética a las instalaciones eléctricas existentes del hospital, para ello se realizará un inventario de los equipos instalados y análisis de los consumos de energía por equipo y área. Luego presentarán mejoras necesarias que promuevan el ahorro de energía eléctrica.

Se solicitará información al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh, en cuanto a los datos estadísticos de la radiación solar en el departamento de Sololá, de los últimos años.

Se desarrollará el diseño de un sistema solar fotovoltaico, conectado a la red del distribuidor de energía eléctrica local.

Se realizará un análisis económico, para determinar si las mejoras propuestas son viables para su ejecución, para ello nos auxiliaremos de los métodos de la tasa interna de retorno, TIR; el valor actual neto, VAN; la relación costo / beneficio y el periodo de recuperación de la inversión.

11. CRONOGRAMA

Figura 3. Cronograma de actividades

Item	Nombre de la Actividad / Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Instalación del equipo de medición de parámetros eléctricos	■																				
2	Análisis e interpretación de las lecturas, obtenidas con del equipo de medición		■	■																		
3	Levantamiento de información para realizar un diagrama unifilar general de la instalaciones eléctricas existentes			■	■	■																
4	Realizar un inventario de equipos eléctrico con tiempo de utilización para establecer el consumo			■	■	■	■															
5	Realizar un informe proponiendo las mejoras							■	■	■												
6	Realizar mediciones del nivel lumínico									■	■											
7	Toma de medidas de cada ambiente										■	■										
8	Evaluar y análisis el nivel lumínico actual											■	■									
9	Realizar una propuesta para un adecuado nivel lumínico												■	■								
10	Analizar el área, que en teoría se utilizará para instalar los paneles solares													■	■	■						
11	Diseño de un sistemas solar fotovoltaico															■	■	■				
12	Presupuesto del sistema solar fotovoltaico planteado																	■	■	■		
13	Realizar un estudio de prefactibilidad del diseño propuesto																				■	■

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Tabla I. Recursos financieros

Recurso	Cantidad	Tiempo (mes)	Costo P/Mes (Q)	Monto (Q)
Asesor	1	5	600.00	3,000.00
Estudiante de postgrado	1	6	400.00	2,400.00
Equipo analizador de redes eléctricas (alquiler)	1	1	7,000.00	7,000.00
Equipo luxómetro (alquiler)	1	1	950.00	950.00
Software Relux, gratuito	1	4	0.00	0.00
Traslado al hospital de pruebas	4	5	250.00	5,000.00
Consumibles	1	5	150.00	750.00
Monto estimado				19,100.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. AChEE. (2013). *Manual de gestor en eficiencia energética sector hospitalario*. Santiago, Chile: Agencia Chilena de Eficiencia Energética.
2. Aranda, A., y Ortego, A. (2011). *Integración de energías renovables en edificios*. Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza, Universidad de Zaragoza.
3. Autonell, J., Balcells, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., García, B., y Ros, J. (2012). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.
4. Becerra, E., y Riquetti, C. (2015). *Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del hospital Vicente Corral Moscoso*. Ciudad de México, México. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/jspui/bitstream/21000/10931/1/T-ESPE-049520.pdf>.
5. Bratu, N., y Campero, E. (1995). *Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y diseño*. 2ª. ed. Ciudad de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
6. Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A.

7. Carta, J. A., Calero, J., Colmenar, A., y Castro, M.-A. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Barcelona, España.
8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con excedentes de energía*. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>.
10. Creus, A. (2014). *Energías renovables*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
11. De León, V. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio del aprovechamiento*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Enríquez, G. (2006). *La calidad de la energía en los sistemas eléctricos*. México, D.F., México: Limusa, S.A. de C.V.
13. Enríquez, G. (2008). *El ABC de la calidad de la energía eléctrica*. México, D.F., México: Limusa.

14. Enríquez, G. (2014). *Instalaciones y sistemas fotovoltaicos*. México, D.F., México: Limusa, S.A. de C.V.
15. Ezquerro, G., Gandolfo, M., Ramos, A., y Urraca, J. (2001). *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación*. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado de http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493f9379c1bec/1228906163_Guia_Eficiencia_Energetica_Iluminacion_Hospitales_IDAE.pdf.
16. González, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona, España: Reverté.
17. González, J., Pérez, R., & Santos, A. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid, España: Recuperado de http://www.frenteestudiantil.com/upload/material_digital/libros_varios/proyectos/Centrales%20de%20energias%20renovables%20-%20Gonzalez.pdf.
18. Juárez, H. (2013). *Estudio de calidad de energía en los quirófanos de adultos, Hospital General San Juan de Dios*. (Tesis Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0847_EA.pdf.
19. López, M. (2011). *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo*. (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca. Salamanca, España. Recuperado de https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/.../DC_Lopez_Cristia_M_HospitalesEficientes.pdf.

20. López, M. (2015). *Sistema de gestión de la energía, mediante la metodología ISO 5000:2011, para la Ciudad Universitaria, zona 12, Universidad de San Carlos*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5345/1/Mario%20Ren%C3%A9%20L%C3%B3pez%20De%20Le%C3%B3n.pdf>.
21. Martínez, B. (2016). *Suministro de energía eléctrica con paneles individuales a la Aldea Searranx, Livingston, Izabal*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
22. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2017). *Hospital Sololá*. Recuperado de <http://hospitalsolola.gob.gt/portal/Institucional/Rese%C3%B1aHist%C3%B3rica.aspx>.
23. Miralles, J., y Zubiaurre, Joseba. (2015). *Electricista de mantenimiento*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
24. Molina, F. E., y Taracena, W. E. (2011). *Propuesta para el mejoramiento del sistema de energía, vapor y agua (EVA) del Hospital de Accidentes 7-19, Área de Quirófanos*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5281/1/Fernando%20Estuardo%20Molina%20Solares%20%26%20Walfred%20El%C3%ADas%20Taracena%20Jim%C3%A9nez.pdf>.

25. Monnéy, J. A. (2017). *Análisis de eficiencia energética de un sistema fotovoltaico, conectado a la red para la generación de energía renovable, en una planta de fabricación de muebles*. (Tesis de Maestría) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7159/1/Ing.%20Jorge%20Alberto%20Monn%C3%A9y%20Alvarez.pdf>.
26. National Fire Protection Association. (2007). *NFPA 70, Código Eléctrico Nacional Edición 2008*. Boston, MA, Estados Unidos. Recuperado de <https://ia800403.us.archive.org/0/items/codigo-electrico-nacional-2008-nfpa/codigo-electrico-nacional-2008-nfpa.pdf>.
27. Pareja, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.
28. Pérez, H. E. (2013). *Estudio técnico/económico para la utilización de paneles solares, en el circuito de iluminación del hospital distrital La Tinta, Alta Verapaz, de acuerdo con la norma NTGDR*. (Tesis de Licenciatura) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0851_EA.pdf.
29. Robles, J. (2007). *Planificación para la remodelación del sistema eléctrico del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0658_EA.pdf.

30. Rodríguez, J., González, L., Rojas, A., y Palacios, J. (2013). *Energía y ambiente*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.
31. Sapag, N. y Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá, D.C., Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
32. Serra, J. (7 de julio de 2007). *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*. Madrid: Circutor. Recuperado el 7 de julio de 2017, de http://circutor.com/docs/GUIA_EEE_SP-LR.pdf.