



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE ENERGÍA EN  
EDIFICIOS CON OFICINAS PARA UNA INMOBILIARIA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Alan Isai Arrazola Ortíz**

Asesorado por el MA. Ing. Leonel Rodrigo Chavarría Cuevas

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE ENERGÍA EN  
EDIFICIOS CON OFICINAS PARA UNA INMOBILIARIA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ALAN ISAI ARRAZOLA ORTÍZ.**

ASESORADO POR EL MA. ING. LEONEL RODRIGO CHAVARRIA CUEVAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO 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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADORA	Inga. María del Rosario Colmenares de Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Harry Milton Oxom Paredes
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS CON OFICINAS PARA UNA INMOBILIARIA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

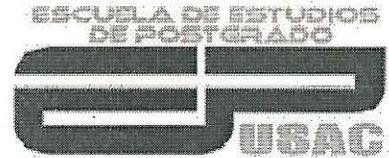
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 24 de enero de 2014.



**Alan Isai Arrazola Ortíz**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



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

000104

**ADSE-MEAPP-0001-2014**

Guatemala, 06 de febrero de 2014.

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

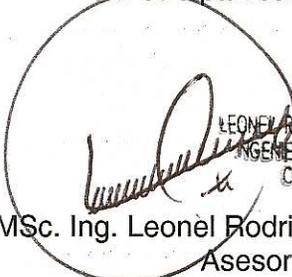
Estimado Director:

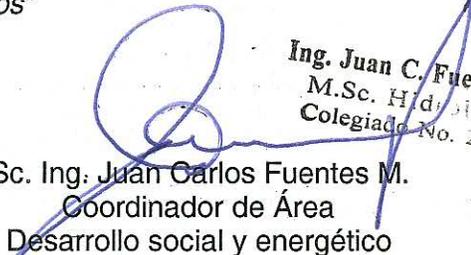
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Alan Isai Arrazola Ortiz** con carné número **2000-11224**, quien opto la modalidad 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"*

  
LEONEL RODRIGO CHAVARRIA CUEVAS  
INGENIERO CIVIL ADMINISTRATIVO  
COLEGIADO N.º 8021  
MSc. Ing. Leonel Rodrigo Chavarría C.  
Asesor (a)

  
Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504  
MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

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



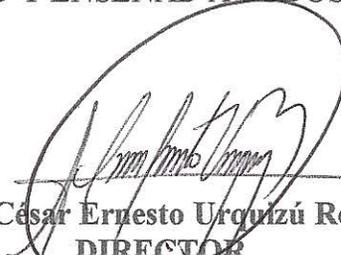
Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.073.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS CON OFICINAS PARA UNA INMOBILIARIA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Alan Isai Arrazola Ortiz, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2014.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 235.2014

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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS CON OFICINAS PARA UNA INMOBILIARIA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Alan Isai Arrazola Ortíz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 21 de mayo de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Creador del universo, mi señor y salvador, por las bendiciones a mi vida, que este logro sea ofrenda agradable ante ÉL, siempre le estaré en deuda.
- Mis padres** Con todo mi cariño y mi amor, por ser ejemplo a seguir, por su motivación y sacrificio para este logro, por siempre mi agradecimiento.
- Mi esposa** Paola Palacios, por tu paciencia, bondad, porque me motivas a ser mejor cada día y por estar siempre a mi lado, te amo.
- Mis hermanos** Deyby y Kimberly Arrazola Ortiz, por estar siempre listos a brindarme su ayuda y por ser personas importantes en mi vida.
- Mis familiares** Por influir positivamente en mi vida, este logro es para ustedes en reconocimiento por su amor.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Creador supremo, a quien debo mi existencia en su misericordia infinita.
<b>Mi esposa</b>	Mi amor, regalo de Dios, que sea colmada de bendiciones por su incansable apoyo y razón de todos mis éxitos.
<b>Mis padres</b>	Todo mi amor y respeto. Por su entrega, dedicación y esfuerzo para brindarme lo mejor de su vida y a quien debo mi educación.
<b>Mis hermanos</b>	Por su cariño y apoyo incondicional.
<b>Mi familia</b>	Por su cariño y apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	01
2. ANTECEDENTES .....	07
3. OBJETIVOS .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
6. ALCANCES.....	21
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	25
8. CONTENIDO.....	31
9. METODOLOGÍA.....	35
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41

11.	NESECIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	43
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	45
13.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO.....	47
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	51

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Clasificación de consumo de energía.....	28
2.	Cronograma propuesto.....	45

## TABLAS

I.	Presupuesto.....	50
----	------------------	----



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AT</b>	Alta tensión
<b>A</b>	Amperios
<b>Bat.</b>	Batería
<b>C.F. o HP</b>	Caballo de fuerza
<b>Cap.</b>	Capacitor
<b>CPS (Hz.)</b>	Ciclos por segundo
<b>Cir.</b>	Circuito
<b>I</b>	Corriente
<b>CA</b>	Corriente Alterna
<b>CD</b>	Corriente Directa
<b>EE</b>	Energía Eléctrica
<b>FP</b>	Factor de Potencia
<b>Hz.</b>	Hertz
<b>J</b>	Joule
<b>k</b>	Kilo
<b>kV</b>	Kilo Volt
<b>kVA</b>	Kilo Volt Ampere
<b>kVAR</b>	Kilo Volt Ampere Reactivo
<b>kVARh</b>	Kilo Volt Ampere Reactivo hora
<b>kW</b>	Kilo Watts
<b>kwh</b>	Kilo Watts hora
<b>MA</b>	Mega Ampere
<b>MV</b>	Mega Volt

<b>μf</b>	Micro faradio
<b>Neg.</b>	Negativo
<b>Pos.</b>	Positivo
<b>R</b>	Resistencia
<b>Temp.</b>	Temperatura
<b>V</b>	Volt
<b>VA</b>	Volt Ampere
<b>VAR</b>	Volt Ampere Reactivo
<b>VARh</b>	Volt Ampere Reactivo hora
<b>W</b>	Watts

## GLOSARIO

<b>Alta tensión</b>	Es aquella cuyo valor entre las fases, es igual o superior a una tensión de 1 Kv.
<b>Baja tensión</b>	Es aquella cuyos valores, en corriente alterna, entre las fases, está por debajo de 1 Kv.
<b>Balance energético</b>	Valor estadístico de un sistema dado, proceso, región o área económica, en un período de tiempo dado, de la cantidad de oferta de energía y la energía consumida, incluyendo las pérdidas por conversión, transformación y transporte, así como las formas de energía no empleadas con fines energéticos.
<b>Capacidad instalada</b>	Suma de la capacidad de generación de los generadores en operación comercial.
<b>Chiller</b>	Sistema centralizado de aire acondicionado, cuya finalidad es enfriar agua.
<b>Cogeneración</b>	Producción simultánea de energía eléctrica y vapor.
<b>Corriente eléctrica</b>	Flujo de electricidad que pasa por un conductor.

<b>Demanda</b>	Medida de las potencias eléctricas instantáneas solicitadas por el mercado consumidor, durante un período especificado.
<b>Eficiencia energética</b>	Uso adecuado de la energía, asociado a la conservación de esta, en otros términos, producir más con menos consumo.
<b>Energías alternativas</b>	Son las que no generan impactos negativos significativos al ambiente. Son consideradas como energías alternativas entre otras la energía solar, eólica, biomasa, centrales hidroeléctricas.
<b>Energía eléctrica</b>	Resulta de la existencia de un diferencial de potencial entre dos puntos, lo que genera la energía capaz para realizar un trabajo.
<b>Energía limpia</b>	Una energía se considera limpia cuando su utilización no tiene riesgos potenciales añadidos, y suponen un nulo o escaso impacto ambiental.
<b>Energía pico</b>	Electricidad abastecida cuando la demanda está en su nivel más alto.
<b>Energía renovable</b>	Las energías de origen renovable, son consideradas como fuentes de energía inagotables, con las siguientes características: suponen un nulo o escaso impacto ambiental.

<b>Frecuencia</b>	Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
<b>Potencia</b>	Es la cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo.
<b>Tensión nominal</b>	Valor asignado a un circuito o sistema como conveniencia para designar su clase de voltaje, por ejemplo: 120/240 V, 480/277 V.
<b>Voltaje</b>	Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.
<b>Watts</b>	Unidad de potencia.



## RESUMEN

En el Proyecto de Ley de Eficiencia Energética, publicado en la página de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) de Guatemala, “El Estado de Guatemala se organiza para proteger a la persona y a la familia; su fin supremo es la realización del bien común”.

Derivado de lo anterior, Guatemala, consciente de los efectos de cambio climático y el alto consumo de los derivados de petróleo como fuente primaria de energía, empieza a dar sus primeros pasos en temas relacionados a eficiencia energética, si a esto le suma la tendencia a nivel mundial del alza a los precios de combustible, fácilmente se puede observar que el país está al borde de un serio problema energético, lo cual genera graves problemas sociales.

El incremento de los precios de la energía eléctrica es indiscutiblemente un tema preocupante para todos los guatemaltecos, al aumentar el costo de este servicio, se incrementa el costo de la canasta básica, de los combustibles, de los arrendamientos y prácticamente de todo.

Guatemala es un país con crecimiento poblacional, esto crea la necesidad de tener más espacios para vivir, trabajar, estudiar, etc. Pero, horizontalmente, la tierra está casi en su totalidad ocupada, y el valor de la misma cada vez es mayor. Es por ello que desde hace varios años, se ha tomado la iniciativa del mercado de la construcción en crecer verticalmente.

Los edificios cada vez son más comunes en la ciudad capital, esto genera un nuevo mercado para las empresas proveedoras de energía eléctrica ya que el costo de la energía es uno de los rubros más altos en los presupuestos de las administraciones de edificios.

Para reducir el monto de este rubro, varias empresas deciden perder cierto confort y creen que de esta manera ahorran energía, cuando la realidad es que con este tipo de medidas lo único que hacen es perder comodidad, es por ello que se debe realizar la pregunta: ¿Cómo puedo hacer más con menos consumo?, si encuentra solución a esta pregunta, habrá encontrado un plan de eficiencia energética.

El presente documento está enfocado a encontrar la eficiencia en un sector exclusivo como lo son los edificios, pero puede ser fácilmente aplicado en cualquier lugar donde exista consumo eléctrico.

# 1. INTRODUCCIÓN

Debido al desarrollo de economías emergentes y al crecimiento de su demanda eléctrica, existe incertidumbre en relación a la capacidad de generación de energía eléctrica y los problemas que puede causar.

El Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud de España, en publicación electrónica (s.f.) afirma que: “la producción y el uso de la energía suponen la principal causa, junto con el transporte, de las emisiones de gases de efecto invernadero, gases responsables del cambio climático. Por ello, una de las formas de actuar para limitar e impedir sus consecuencias ambientales, sociales y económicas, relacionadas con el aumento de temperatura, subida del nivel del mar y disminución de precipitaciones, entre otras, consiste en reducir el consumo energético.”

Derivado de lo anterior, se puede argumentar que el incremento de la demanda eléctrica, está generando una crisis energética global.

Guatemala no es la excepción, en la reunión regional sobre la generación de electricidad realizada en Guatemala en el 2013 por la FAO, se informó que: “La mayor parte de consumo eléctrico en el país se encuentra en la ciudad de Guatemala, debido al crecimiento de zonas industriales.”

El problema radica, como se puede observar en el párrafo anterior, es el crecimiento de zonas industriales, especialmente en el desarrollo inmobiliario que está teniendo el país en la ciudad de Guatemala.

Según la Junta Monetaria, en el encuentro de inversionistas Investment Summit realizado en mayo 2013, Guatemala tendrá un crecimiento de un 7,7 por ciento en el sector de la construcción comparado con el 2012, esto significa un aumento en la demanda de energía, tanto en vivienda como en comercio y servicios, lo que genera problemas de calidad de energía en varios sectores, especialmente comerciales, por lo que se debe encontrar métodos que aporten estabilidad en la calidad del recurso eléctrico.

Como método eficiente para crear estabilidad en la calidad de energía en sectores industriales, se propone centrar esfuerzo en las edificaciones de gran magnitud ya que han tenido un crecimiento constante y en conjunto son de los mayores consumidores a nivel nacional.

Uno de los grandes problemas de los edificios son los altos consumos de energía eléctrica, los cuales pueden llegar a ser hasta de un 40 % del presupuesto mensual del inmueble, lo que genera un incremento en costos operativos y temas de cuotas de mantenimiento, por lo que se ve la necesidad de “ahorrar”, disminuyendo la calidad del servicio y el confort de los usuarios.

Un error típico de las administraciones y juntas directivas es prescindir de servicios que no ven como una necesidad y deciden omitir trabajos de mantenimiento en elevadores, en sistemas de emergencia, sistemas de control de acceso, aire acondicionado, bombas, motores, etc. Pueden llegar al punto de reducir personal con el afán de mantener las cuotas de mantenimiento y continuar de esta forma siendo una buena opción económica en un mercado tan competitivo como lo es el sector inmobiliario de oficinas.

Derivada de esta situación, nace la necesidad de administrar adecuadamente la energía, creando así edificios eficientemente energéticos que garanticen el confort y satisfacción total de sus usuarios.

Es por ello que a continuación se presenta una herramienta que busca facilitar al lector a encontrar métodos que garanticen la disminución de energía eléctrica obteniendo un resultado de satisfacción total para él y para el usuario.

Para entender el problema a fondo y plantear soluciones que ayuden a reducir el consumo de kwh mensual en los edificios, se ha estructurado este documento de tal forma que el lector sea capaz de identificar oportunidades de mejora en un edificio, e incluso elaborar un diagnóstico energético básico, que genere impactos positivos en cuanto a la reducción del pago mensual de energía eléctrica.

Al lograr reducir el consumo de energía se obtendrán múltiples beneficios como mejor ejecución en el presupuesto, aumentar el flujo mensual, invertir en nuevos proyectos de mejora, mantener cuota de mantenimiento y, por supuesto, mantener competitividad en el mercado.

El presente documento se desglosa en seis capítulos distribuidos de la siguiente manera:

El capítulo uno, enmarca conceptos básicos, muchas veces al decir energía se asume que es energía eléctrica, en este apartado se especifican los tipos de energía que se pueden encontrar y sus fuentes, se hace énfasis en la energía eléctrica debido a que es factor importante en esta investigación. Adicional, se da a conocer las entidades del sector eléctrico en Guatemala y los tipos de edificios que se encuentran.

En el capítulo dos, se da a conocer cómo puede ser el consumo de energía eléctrica, qué tipos de usuarios existen y cómo se dividen las tarifas en el mercado guatemalteco, se trata brindar al lector un panorama completo de los tipos de facturación que puede encontrar y sobre todo, que el lector identifique en qué categoría se encuentra.

El capítulo tres desglosa cómo se encuentra la estructura energética de cada proyecto, apoyado con diagramas unifilares. Es en este capítulo donde se identifican que equipos y sistemas trabajan con baja eficiencia y dónde se hace un uso ineficiente de la energía. Este capítulo, es pilar de la investigación ya que derivado de los resultados que se obtengan acá, se podrá hacer una gestión eficiente del uso de la energía.

El capítulo cuatro es la herramienta ideal para hacer un buen análisis del uso de la potencia consumida por el edificio y se muestra cómo optimizar los grandes rubros energéticos dentro de un inmueble vertical.

En el quinto capítulo, se muestra un conjunto de procedimientos que permiten determinar el grado de eficiencia con la que se utiliza la tecnología y los equipos dentro del edificio, por medio de un análisis crítico en la instalación. En esta parte se comprenden los datos obtenidos en el capítulo tres y se recopila información histórica que ayude a realizar un diagnóstico preliminar y un balance energético que dé a conocer el movimiento de los consumos de energía eléctrica en el tiempo, a fin de plantear mejoras en un informe final que detalle su viabilidad.

En el sexto capítulo, se brinda al lector un nuevo panorama de construcción por medio de la arquitectura bioclimática, la cual une un conjunto de técnicas de construcción con recursos y materiales disponibles para reducir

los impactos ambientales, los consumos de energía eléctrica y los costos de construcción, brindando al usuario un ambiente agradable.

A continuación, el presente texto intentará brindar herramientas, al lector, que ayuden a optimizar el uso de energía eléctrica y obtener inmuebles con altos estándares de calidad y confort.



## 2. ANTECEDENTES

A medida que pasa el tiempo, el ser humano ha ido dependiendo cada vez más de los recursos energéticos, convirtiéndose en una sociedad de consumo donde el que más consume es el que más poder adquisitivo tiene y cada vez se aleja la idea de que sea un recurso alcanzable para toda la población guatemalteca.

El *Plan mexicano de estrategia nacional de energía (2012)* afirma que: “A nivel mundial existe una tendencia de proponer planes de uso racional de la energía, esto a fin de disminuir los costos de provisión de los servicios energéticos y la mitigación de los problemas ambientales asociados a la producción, transporte, distribución y consumo de fuentes energéticas.”

En caso se desarrollen planes que logren hacer uso eficiente de los recursos energéticos, se estará avanzando a una zona de desarrollo, vital para países emergentes como Guatemala, es por ello la necesidad de analizar, estudiar y diversificar los grandes consumidores nacionales.

En tal sentido, los edificios representan una importante área a estudiar para detectar potenciales de ahorro.

Ante la falta de conocimiento que se tiene sobre el uso y operación de edificios, países desarrollados, sobre todo en Europa y Norte América, se han dado la tarea de seleccionar edificios para su estudio, permitiendo tener una visión más clara sobre la realidad del consumo eléctrico del sector inmobiliario, lo que ha generado avances en temas de eficiencia energética, brindando

campañas de concientización sobre el uso eficiente de la energía en el lugar de trabajo y capacitación técnica al personal de operación y mantenimiento.

El *Plan de eficiencia energética en edificios de oficinas para EEUU* en el documento *Eficiencia energética en edificios aumenta en EEUU*. (2013). indica: “Estados Unidos auspicia un programa conocido como Better Buildings Challenge (Desafío por unos mejores edificios), en el cual, se ha aumentado un 2,5 por ciento en eficiencia energética desde que se unieron a la campaña en el 2011, los edificios comerciales e industriales representan aproximadamente la mitad del consumo energético total del país.”

El desafío del presidente Obama es que se aumente la eficiencia energética en los edificios públicos y comerciales en un 20 por ciento para el 2020 y duplicar la productividad energética para el 2030.

Aunque en Guatemala aún no existen estudios orientados a la eficiencia energética en edificios, se tienen muchas expectativas en cuanto al empuje y desarrollo que se tiene en estos temas y se espera que en mediano plazo se implementen planes que aporten mejoras en cuanto al consumo en este sector.

En España, observaron que en la medida que el consumo de energía por unidad de producto producido o de servicio prestado sea cada vez menor, aumenta la eficiencia energética, esto fue el punto de partida para que se convirtiera en uno de los grandes generadores de energía eléctrica en Europa, el continente con mayor desarrollo en la industria, generando planes institucionales de gestión energética, por lo que en el 2007 aprobó el Real Decreto 47/2007, el cual es procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, que es también de

obligatoria aplicación a modificaciones, reformas o rehabilitaciones a edificios existentes, en este último caso con una superficie superior a los 1 000 m<sup>2</sup>.

Derivado de lo anterior, el boletín oficial del Estado español (31/01/2007) indica que: “El decreto obliga a los desarrolladores a entregar a los compradores o usuarios un certificado de eficiencia energética, que debe incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios, de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia con fin de favorecer las inversiones en ahorro de energía.”

Esto obliga a los desarrolladores a construir inmuebles de calidad, a nivel Latinoamérica, Brasil y México son los países que más enfoque han tenido en el tema, por lo que han creado comisiones nacionales para el uso eficiente de la energía eléctrica.

Isgro, M. (2010) en el documento *Crisis Mundial* indica que: “Debido a que en conjunto (Brasil y México) generan el 55 % de energía eléctrica a nivel regional, mientras que Centroamérica genera el 4 %, aunque su crecimiento anual es de un 5,9 % comparado con un 4,3 % a nivel mundial, lo que refleja su desarrollo en temas de energía eléctrica.”

La situación para Guatemala es un poco diferente, en la *página electrónica* de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en el *Análisis Sectorial* (2009) se observa que: “Guatemala empieza a tener pasos en este tema, la CNEE tiene proyectos piloto como el plan integral de eficiencia energética, con lo que ya tiene elaborado un anteproyecto de la ley de eficiencia energética que pretende crear programas definidos para tener soluciones a bajo costo y al menor plazo posible, fomentando la creación de equipos que logren reducir los indicadores de intensidad energética del país, fomentando

tecnologías eficientes, modificando el mercado, la gestión energética y los hábitos de consumo.”

Aunque estos pueden ser los primeros pasos que da el país en temas energéticos, se observa con agrado que existen instituciones que ven a futuro grandes oportunidades de mejorar la matriz energética y realizan estudios en función de la generación de estas mejoras.

En la vida diaria se es usuario de más de un edificio, en cada uno de ellos se consume grandes cantidades de energía para satisfacer las necesidades de calefacción, ventilación, iluminación, transporte, etc. La suma de todo esto representa un gran porcentaje del consumo energético de la ciudad de Guatemala y del país.

Según el investigador del IARNA Ing. Agro. Gerónimo Pérez, en documento publicado en el 2013, *Aspectos importantes sobre la electricidad en Guatemala*, menciona: “El consumo de energía eléctrica en el 2013, se distribuye en un 23,6 % (1 870,7 GWh) por parte del sector industrial y agrícola, un 22,4 % (1 777,4 GWh) por parte del sector comercio, un 19,9 % (1 576 GWh) por parte del sector residencial, un 12,4 % (986,5 GWh) por parte del sector servicios, y un 4,1% (328 GWh) por parte del sector administración pública; el 17,5 % restante lo constituyen las pérdidas, el consumo propio de las generadoras y las exportaciones.”

Indudablemente, al atacar el sector de edificios de oficinas, se estará aumentando la eficiencia energética y reduciendo impactos ambientales que genera la producción de dicho recurso.

### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Definir plan de acción de ahorro energético, por medio de auditorías para reducir el consumo de kwh mensual de los edificios, sin perder el confort de los usuarios.

#### **Específicos**

1. Detallar equipos y sistemas según demanda y horarios de operación mensual, a fin de obtener información medible y real.
2. Describir equipos y sistemas que operen con baja eficiencia a fin de optimizar su uso y cuantificar ahorros.
3. Elaborar planes para la eficiencia energética, enfocados en edificios de la ciudad de Guatemala.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El documento *Ciudades Verdes*, publicado por FAO en el 2010, informa que: “Las ciudades y los centros urbanos de países en desarrollo están creciendo a gran escala, hace 10 años el 40 % de la población del mundo (unos 2 000 millones de personas) vivía en zonas urbanas, esta cifra va en aumento y se prevé que para el 2025 la mitad de la población del mundo sea urbana (unos 3 500 millones de personas).”

Si se compara la cantidad de personas que viven actualmente, 2013, en la ciudad, con la cantidad de personas que habitaban en esta hace 25 años, se observa que la cantidad de metros cuadrados por persona es cada vez menor.

Derivado de esto, nace la necesidad de obtener mayor espacio, espacio que horizontalmente es imposible de obtener, no así verticalmente, donde se puede multiplicar fácilmente el área horizontal.

Al crear proyectos verticales, se obtiene mayor empleo, atracción a la inversión y crecimiento de la economía, pero también, una expansión en el consumo de energía, lo cual genera un aumento significativo de la demanda y altos costos de operación para los edificios, es por ello que se decide realizar este trabajo, el cual va de la mano con la eficiencia energética. El presente documento se realiza debido a la necesidad de reducir costos en edificios de oficinas, así como garantizar su óptimo funcionamiento sin disminuir el confort de los usuarios, dado el problema de altos consumos de energía eléctrica y a la necesidad de mantener los proyectos con altos estándares de calidad en relación a servicios, tecnología e infraestructura a fin de aumentar la

rentabilidad de los mismo, garantizándole a los inversionistas, propietarios y usuarios, proyectos rentables y atractivos.

El presente documento se realiza como trabajo de graduación de la maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siguiendo la línea de investigación de uso eficiente de la energía, enfocada a edificios.

Es necesario aclarar que aunque el presente aporta herramientas útiles en el ahorro de energía eléctrica, este no es el único fin del documento, ya que al cumplir con el objetivo de reducir los kwh mensual en los proyectos, se libera cierta cantidad de energía que puede ser utilizada en otros sectores y colaborar con la con la ampliación de la distribución de la energía eléctrica que es uno de los objetivos enmarcados en la política energética 2013 – 2027 de la República de Guatemala.

Uno de los grandes beneficios que aporta este documento es la concientización del uso de la energía y la generación de nuevos conocimientos, útiles y sencillos de aplicar, además de un cambio de visión en el tema de eficiencia, la generación de alternativas que podrá tomar el lector a corto plazo como respuesta a la necesidad de mejorar sus condiciones económicas y la posibilidad de contribuir al desarrollo energético sostenible del país.

El reto es alto, pero, los beneficios son muchos, es por ello la importancia de realizar el presente estudio. Es vital dar a conocer este instrumento para la identificación, cuantificación y medición de la energía en edificios, ya que son estos los puntos de mayor demanda en sectores exclusivos de la ciudad capital.

La energía es un lujo demasiado barato y en algún momento se debe aprender a utilizarlo adecuadamente, los edificios son grandes consumidores de energía por lo que al realizar una buena gestión de este recurso, se pueden hacer edificios eficientes, competitivos y de bajos costos de operación, esto genera nuevas plazas de trabajo, atrae inversión y progreso, entonces, ¿por qué no empezarla a utilizar adecuadamente?



## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Descripción del problema

El documento, *Crecimiento Poblacional del País (2013, 18 de junio)*, menciona que: “La tasa de crecimiento poblacional de Guatemala es de un 2,4 % anual, una de las más altas de América Latina, según el informe nacional de la encuesta mundial de avances del programa de acción de la conferencia internacional de población y desarrollo”, esto genera la necesidad de construcción vertical, tanto para vivienda como para oficina, la cual incrementa cada año en la ciudad capital, especialmente en zonas 10, 14 y 15 donde según Juan Carlos Salazar, gerente de Inspecciones Globales, una empresa generadora de valores de mercado por medio de avalúos e investigaciones, en entrevista realizada por *diario el periódico* el 26 de octubre de 2012, “existen 42 construcciones verticales, de las cuales 19 pertenecen a la zona 15, siendo esta la de mayor crecimiento debido a su excelente ubicación y alta plusvalía.”

Derivado de esto, crece la necesidad de tener edificios con altos estándares de calidad, construcción de primera, finos acabados y cuotas de mantenimiento competitivas en el mercado, especialmente en edificios de oficinas.

Las empresas administradoras de inmuebles con afán de mantener el nivel de ocupación del edificio, tratan de mantener la cuota de mantenimiento, incluso disminuirla, “ahorrando” en diferentes rubros.

Uno de los rubros más altos es el pago de energía eléctrica, el cual se vuelve un problema constante debido a la operación propia del inmueble, por lo que ven acá grandes oportunidades de disminuir gastos, lo que repercute, casi siempre, en una disminución de confort de los condominios y en ocasiones vulnerabilidad en temas de seguridad. Por lo que se puede concluir que para la administración de los edificios, el alto consumo de energía eléctrica es un problema debido al costo de facturación que esto conlleva.

Para el presente documento se tendrá como variable de observación dos edificios de oficinas de similares características, teniendo varios puntos en común. Uno de estos puntos en común es el alto monto de facturación de energía eléctrica debido a la operación de cada proyecto. La facturación ha llegado a superar los \$15 000, lo cual es equivalente a un 40 % del total de ingresos mensuales y puede llegar a poner en serios problemas a las administraciones si sus cuentas por cobrar son altas y el índice de mora aumenta.

Teniendo en cuenta que entre las cuentas por pagar se encuentra salarios, fianzas, seguros, impuestos, servicios de limpieza y seguridad ejecutiva, los mantenimientos pareciera ser el punto de flexibilidad para la ejecución del presupuesto y la cancelación de compromisos con proveedores por lo que el inmueble se deteriora al no ejecutar adecuadamente el presupuesto aprobado por la junta de accionistas y a la postre se tendrán costos mayores en mantenimientos correctivos e imprevistos y la cadena de problemas aumenta ya que el costo de la energía sigue en aumento.

Derivado de lo anterior, es necesario hacer un estudio a profundidad de este tema, para obtener edificios competitivos, con altos estándares de calidad, confort y seguridad, brindando seguridad de inversión al futuro propietario del inmueble y confiabilidad a la empresa desarrolladora.

Para propósito de esta investigación, se formulan los siguientes cuestionamientos a fin de comprender mediante sus respuestas la manera adecuada de administrar la energía en edificios de oficinas y a su vez, crear edificios eficientes

¿Cómo reducir el consumo de energía eléctrica en edificios de oficinas?

Para encontrar una solución fiable a este cuestionamiento, se debe resolver antes las siguientes interrogantes:

¿Qué equipos y sistemas tiene el edificio y cuáles son sus horarios de trabajo?

¿Dónde se hace uso ineficiente de la energía y cómo cuantificarlo?

Y por último, y quizás la más importante debido a que de ella crearan las propuestas para la creación de un sistema de ahorro continuo de EE.

¿Cómo obtener una reducción continua de consumo eléctrico en el edificio?

Para delimitar el problema, se tomará como unidad de análisis dos edificios de oficinas ubicados en la zona 15 de la ciudad de Guatemala, lugares donde se pone en manifiesto la problemática planteada, con límites históricos

de la investigación entre el 2009 y el 2013, período de mayor crecimiento inmobiliario de construcción vertical en la zona.

Los edificios se encuentran en un sector exclusivo de la ciudad capital, cada uno cuenta con 5 niveles de parqueos y 15 niveles de oficinas, entre sus cualidades está el uso de tecnología en controles de ingreso y monitoreo ambiental, ambos proyectos cuentan con 5 elevadores y con sistema de aire centralizado (chiller), además de pozo propio y cisternas elevadas que trabajan con tanques hidroneumáticos para últimos 5 niveles y a los demás niveles les distribuye agua por medio de gravedad, ambos edificios tienen un horario de operación fuerte de 8:00 a.m. a 6:00 p.m., de lunes a viernes, los días sábados su operación es irregular por la mañana y fuera de horarios de oficina existe poco movimiento.

## **6. ALCANCES**

En la actualidad, existe un gran número de documentos, que orientan a la realización de estudios energéticos y medio ambientales, documentos que pueden guiar al lector a obtener puntos de apoyo en la creación de su sistema de gestión y eficiencia energética.

El presente estudio está orientado a un sector muy exclusivo como lo es la construcción vertical para complejos de oficinas, debido a la gran demanda que está teniendo dentro del sector inmobiliario, enfocado a un alcance investigativo descriptivo, donde se busca especificar y analizar a detalle cada una de las características cualitativas de los proyectos.

Un buen diagnóstico energético se convierte en instrumento de modernización, sustituye tecnologías obsoletas, permite mejorar las condiciones actuales, reduce costos y en muchas ocasiones, mejora el rendimiento del personal, es por ello que crece la necesidad de analizar minuciosamente cada uno de los elementos del inmueble.

Luego de especificar las propiedades relevantes de cada inmueble, se analiza cuantitativamente cada elemento con la finalidad de encontrar oportunidades de mejora.

El contenido de este documento no debe entenderse como base para una verificación externa, si no como una herramienta de apoyo para centros de negocios que desean alcanzar una mejora continua en su rendimiento energético y aunque hay que ser ambiciosos a la hora de trazar metas, hay que

estar claros que los aportes que genera el presente no constituyen un ahorro monetario tan grande como para liberar de todos los compromisos monetarios a las administraciones de inmuebles y que cada proyecto trabaja de forma diferente, aunque su estructura y ubicación sea parecida, por lo que el mayor impacto será en la reducción continua de consumo eléctrico y en la estabilidad que pueda realizarse en el balance energético de cada edificio, ya que las variaciones del costo kwh dependen de factores externos a la gestión energética dentro del proyecto.

La base para un buen estudio es la adquisición de los datos a medir, así como la evaluación del potencial de conservación de energía, en la identificación de las medidas de eficacia y en la realización de comparaciones, plasmándolas en un lenguaje sencillo y favorable al lector, por lo que se redacta el presente trabajo de investigación de tal forma que el lector pueda comprender el proceso de optimización de energía con un método sencillo.

Entre los alcances de este documento están:

- Que el lector genere su propio diagnóstico energético
- Que pueda realizar su inventario de consumos con carácter general
  - Por sistemas
  - Por zonas
- Que analice su matriz de consumos, realizando
  - Recopilación de la factura energética, mínimo 12 meses
  - Balance energético
  - Análisis de operación del edificio
- Encontrar propuestas viables
  - Cómo hacer el análisis de viabilidad de los proyectos

Todo ello por medio de seis capítulos, los cuales guían al lector en la comprensión de conceptos básicos, tipos de usuarios, estructura energética de un edificio, para luego hacer la formulación de una auditoria energética, la cual tiene como objetivo la generación de propias soluciones, tanto para edificaciones existentes como para nuevas edificaciones.

Con el capítulo seis se puede generar grandes aportes, realizando proyectos innovadores, con bajos costos de operación, cuotas de mantenimiento por debajo de los del las mercados y un retorno de inversión mayor para el propietario final.

Para el caso de nuevas edificaciones, las mejores alternativas serán las que tengan menor costo de operación e inversión.

Esto no significa que las edificaciones existentes no puedan optimizar el consumo energético, todo lo contrario, en edificaciones existentes puede encontrar muchas oportunidades pero con la diferencia que requiere un costo adicional que muchas personas no están dispuestas a pagar.

Para edificaciones existentes se puede encontrar grandes oportunidades de optimizar la energía sin afectar la calidad de los servicios, teniendo en cuenta que para los propietarios las mejores alternativas son las de menor costo.

Desde el punto de vista técnico, las mejores soluciones son las que menores horas-hombre necesiten para ser aplicadas. Es necesario contar con personal calificado y experto en cada ramo por lo que se recomienda tener como mínimo un técnico electricista que conozca el proyecto, un técnico

hidráulico experto y apoyo de técnicos especializados en las diferentes áreas tecnológicas de cada proyecto.

Cada lector tiene diferente perspectiva, y el presente documento pretende orientar esta perspectiva a la generación de soluciones óptimas

El fin de este estudio es proporcionar herramientas que apoyen a la reducción de consumo eléctrico por medio de auditorías simples, las cuales se dividen en dos etapas.

- Auditoría nivel 1
- Auditoría nivel 2

En la auditoría nivel uno, únicamente se hace una inspección general del edificio a fin de encontrar malas prácticas y apoyar a la gestión eficiente de la energía.

En la auditoría nivel dos se hará un análisis más profundo, a fin de plasmar propuestas de eficiencia energética que aporten a la creación de una cultura de ahorro energético continuo.

Una vez identificados los potenciales de ahorro, así como las acciones necesarias para llevarlos a cabo, se procede al análisis técnico, en conjunto con el personal técnico (o comité formado) que para este fin designe la empresa, con la finalidad de verificar que las acciones propuestas pueden llevarse a cabo sin afectar el confort del usuario ni la arquitectura del edificio.

## 7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En documento, *Situación de la energía en el mundo*, (2013) publicado por Alonzo, H. se cita: “En el 2013, la energía que se consume en el mundo proviene en su mayor parte (un 80 %) de combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural. El elevado crecimiento económico de los países desarrollados tras la segunda guerra mundial y el crecimiento actual de los llamados países emergentes han sido posibles gracias a la existencia de grandes cantidades de energía a bajo precio almacenada en la tierra en forma de combustible fósil”.

No obstante, este modelo energético es difícilmente sostenible por diversas razones, por ejemplo la incidencia de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente, teniendo en cuenta que los recursos energéticos fósiles no son ilimitados y, en algún momento, tendrán que ser sustituidos a gran escala por otras fuentes de energía. También se debe mencionar que el constante crecimiento de los países emergentes hace crecer la demanda de energía, lo cual hace que el precio de esta aumente.

El Departamento de Energía de Estados Unidos (United States Department of Energy (2007). *International Energy Outlook*. Washington, DC. USA. Department of Energy.), indica que: La energía en usos industriales (agricultura, minería, manufacturas, y construcción) consumen alrededor del 37 % del total de los 15 TW a nivel mundial. El transporte comercial y personal consume el 20 %; la calefacción, la iluminación y el uso de electrodomésticos emplea el 11 %; y los usos comerciales (iluminación, calefacción y climatización de edificios comerciales, así como el suministro de agua y saneamientos) alrededor del 5 % del total.

Como se puede observar en el párrafo anterior, la iluminación y uso de electrodomésticos influye muy poco en la matriz energética, contrario al pensamiento general, es por ello que se deben generar planes que ofrezcan un balance energético.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM), en el documento *Balance Energético Nacional* (2010): “El consumo de energéticos por sector de consumo en Guatemala alcanzó para el 2010 los 63 750,23 KBEP (barriles equivalentes de petróleo), lo que representa un crecimiento de 5,76 % con relación al año 2009. El consumo del sector residencial tuvo una participación en el consumo del 61,8 % del total de la energía consumida, seguido por el sector transporte con el 24,9 % y por últimos los sectores industrial y comercio y servicios con el 7,7 % y 3,9 %, respectivamente.”

A este ritmo, de no encontrar soluciones eficientes, pronto se tendrá en el país una severa crisis energética, lo cual llevara a un aumento del costo de energía, imposible de sostener.

Como bien lo indica el IDEA (2010) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), en su Guía Práctica de la Energía, consumo eficiente y responsable: “Los países serán más competitivos en la medida en que aumente su eficiencia energética”.

Es decir, en la medida en que los consumos de energía por unidad de producto producido o de servicio prestado sean cada vez menores.

Esto es lo que está sucediendo en todos los países desarrollados, y en particular en el sector industrial. Sin embargo, en los sectores del transporte y de los edificios, incluyendo los hogares, la situación es diferente, al no aumentar la eficiencia energética como sería deseable.

El consumo de energía en edificios de oficinas en la ciudad de Guatemala depende de:

- Su orientación
- Calidad constructiva
- Nivel de aislamiento
- Grado equipamiento
- Uso que se le da a los equipos

Para lograr la optimización de energía se necesita recolección de datos a partir de la documentación existente del edificio y a través de una inspección in situ del inmueble. Dicha información generará un conjunto completo de datos que sirven para calcular que tan eficientes son nuestros equipos, es en este punto donde empezamos a ver oportunidades de mejora.

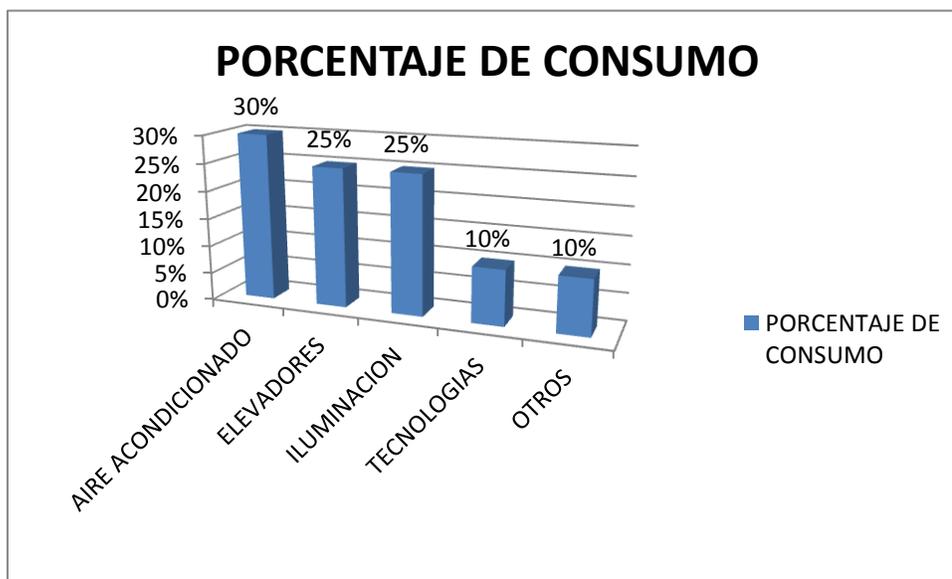
Siguiendo la metodología planteada por el Lic. Gabriel Piloña en su libro *Métodos y Técnicas de Investigación* (2012), “se darán a conocer los resultados, conclusiones, nuevos conocimientos para la correcta aplicación de las mejoras propuestas”.

Si se toma como premisa que la energía es la materia prima esencial de la mayoría de productos y servicios, fácilmente se puede detectar al reducir la materia prima y producir la misma cantidad de productos o servicios, se aumentan utilidades.

El sector inmobiliario aun no ve la optimización de energía como un valor agregado en sus proyectos por lo que distribuyen su matriz energética a base de los costos de los equipos y sistemas y los ahorros que estos representan para el presupuesto de construcción.

En la actualidad la matriz energética de uno de los proyectos en observación se distribuye de la siguiente forma en la mayoría de edificaciones:

Figura 1. **Clasificación de consumos de energía**



Fuente: Estudios propios. (2013). Edificio en zona 15 de la ciudad de Guatemala. Guatemala.

Fácilmente se puede observar donde están las oportunidades de mejora, tanto para edificaciones antiguas como para proyectos nuevos.

Para tener un nivel de referencia y debido a que en Guatemala no se tiene un manual o guía para certificar edificios, se utilizará la herramienta para

certificación de edificios de España. Procedimientos de certificación para edificios existentes. 2012, Madrid, España. IDEA.

La metodología en que se sustenta el estudio esta desglosado de la siguiente manera:

- A. Los procedimientos deben ser realistas y poderse llevar a cabo con los datos disponibles y deben por tanto proporcionar alternativas en caso de que la información disponible sea incompleta o de muy difícil y costosa determinación. (IDAE. (2012). Procedimientos de certificación para nuevas edificaciones).
- B. Se debe hacer lo posible por obtener los diagramas.
- C. En la medida de lo posible, se utilizarán términos y conceptos fáciles de comprender. (IDAE. (2012). Guía de medidas de mejora).
- D. Se pone especial énfasis en la identificación de las medidas de mejora.
- E. Los procedimientos, para asignar la clase de eficiencia de un edificio nuevo y un edificio existente, respectivamente, deben ser medibles por igual. (IDAE. (2012). Guía de recomendaciones de eficiencia energética).

La sociedad debe cambiar los malos hábitos energéticos a los que está acostumbrada, también la mentalidad y empezar utilizar eficientemente la energía, a utilizarla como una materia prima y no como un medio para alcanzar la comodidad, si no se cambia el modelo de vida en el que se vive, tarde o temprano se verán los frutos de estos hábitos.

Se debe educar a la población para que haga uso razonable de la energía, el tiempo se está acabando y encontrar soluciones no es tarea simple.



## 8. CONTENIDO

### ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

#### 1. CONCEPTOS BÁSICOS

- 1.1. Energía
- 1.2. Fuentes de energía
- 1.3. Energía eléctrica
- 1.4. Entidades del sector eléctrico en Guatemala
- 1.5. Edificios
- 1.6. Tipos de edificios

#### 2. CONSUMO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN GUATEMALA

- 2.1. Tipos de usuarios
  - 2.1.1 Usuario regulado
  - 2.1.2 Usuario no regulado
- 2.2. Tipos de tarifas

3. ESTRUCTURA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO
  - 3.1. Consumo eléctrico
  - 3.2. Iluminación
  - 3.3. Aire acondicionado
  - 3.4. Elevadores
  - 3.5. Inyección y extracción de aire
  - 3.6. Sistema hidráulico
  - 3.7. Control de ingreso y monitoreo de CCTV
  - 3.8. Generador eléctrico
  
4. ANÁLISIS DEL USO DE ENERGÍA
  - 4.1. Optimización de tarifas energéticas
  - 4.2. Control de iluminación
  - 4.3. Control de HVAC
  - 4.4. Automatización edificios
  
5. AUDITORIA ENERGÉTICA
  - 5.1. Selección de datos
  - 5.2. Planificación
    - 5.2.1 Análisis histórico de consumos
    - 5.2.2 Análisis de operación
    - 5.2.3 Medición
  - 5.3. Diagnóstico preliminar
  - 5.4. Medidas experimentales
  - 5.5. Balances
    - 5.5.1 Balance energético
    - 5.5.2 Balance de impacto ambiental
  - 5.6. Análisis de mejoras
  - 5.7. Viabilidad de mejoras

- 5.7.1 Costo inversión
  - 5.7.2 Tiempo amortización
  - 5.7.3 Impacto ambiental
- 5.8. Informe final
  
- 6. NUEVAS CONSTRUCCIONES
  - 6.1 Selección de datos
    - 6.1.1 Parámetros de un edificio bioclimático
    - 6.1.2 Aislamiento de edificios
  - 6.2 Fuentes de energía renovable
  - 6.3 Microgeneración
  - 6.4 Aire acondicionado
  - 6.5 Iluminación
  - 6.6 Ahorro energético en ascensores
  - 6.7 Retos en la gestión de energía eléctrica
  
- 7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 9. CONCLUSIONES
- 10. RECOMENDACIONES
- 11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS
- 12. ANEXOS



## 9. METODOLOGÍA

El presente trabajo de graduación tiene un alcance investigativo descriptivo, en el cual se busca especificar los componentes principales e importantes en los proyectos de estudio y analizar sus características cuantitativamente, por lo cual se puede concluir que es de tipo mixto.

Se concluye que es de tipo mixto ya que el método de investigación se divide en dos etapas, la primera etapa es de enfoque cualitativo, se recogen datos desde varios puntos de vista por medio de entrevistas y recorridos en el inmueble.

La segunda etapa es de tipo cuantitativo, es acá donde se toman mediciones de los indicadores que se detallan más adelante.

Para obtener un informe organizado, se describe la metodología en diferentes etapas, distribuidas de la siguiente manera:

### I. Fase observación

El primer paso es realizar un recorrido general en el edificio, esto es para detectar uso de los equipos y horarios de operación, además de identificar fallas y puntos de mejora.

Después de realizar el recorrido, se apunta en bitácora las fallas encontradas y se monitorea la operación por un periodo no menor a diez días

hábiles, esto con la finalidad de encontrar equipos y sistemas que operen a baja eficiencia.

## II. Fase de recolección de información

La técnica de recolección de información será la entrevista, la cual será una comunicación constante entre el investigador y personal operativo y administrativo del edificio en estudio, a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el tema propuesto.

El instrumento para la recolección de datos será un formulario impreso, destinado a obtener mediciones reales y comportamiento de operación del edificio.

## III. Fase ejecución

En esta fase se obtendrán datos reales utilizando el sistema de medición directa a los equipos.

Como variable continua, se utilizará la medición, la cual se llevará a cabo mediante monitorización, con lo que se obtendrán datos de un período no menor a un mes calendario.

Ya teniendo un mapa de la operación del edificio, se procede a medir consumos, para ello se utilizará el sistema de monitoreo y control de tráfico WSMCT para obtener estadísticas de operación para elevadores marca SCHINDLER y el programa EMS Panorama versión 1.5 para estadísticas de operación para elevadores OTIS.

Para obtener información de operación del sistema centralizado de A/C se utiliza el programa Work Space Manager de COMFORT NETWORK para la marca CARRIER.

Adicional, se monitorea diariamente la temperatura de entrada y salida del Chiller por medio de un termómetro laser marca FLUKE.

Para las mediciones primarias, voltaje y corriente, se utiliza un multímetro de gancho marca FLUKE con memoria de lecturas máximas. Se realiza con ayuda del diagrama unifilar un listado de puntos a medir con la finalidad de observar el status del balance energético dentro del edificio y plantear la línea base para la posterior comparación con los planes de acción implementados y de esta forma medir los avances de las medidas tomadas.

Se cuenta con el acceso a la medición en línea de parte de la empresa comercializadora de energía eléctrica, esto ayuda a monitorear operación con intervalos de quince minutos y se cuenta con el apoyo de la administración quien proporciona las facturas mensuales para crear una referencia fidedigna de los consumos históricos.

Una de las partes más importantes es medir la eficacia de la tecnología actual dentro de cada edificio, la cual está basada en tecnología TCP/IP con la cual están interconectados todos los sistemas del edificio por medio de un sistema SENSAPHONE IMS-4000, el cual cuenta con el hardware ICA-500, que enlaza cámaras, detectores de movimiento, sensores de humo y controles de acceso.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación realizada es de descriptiva de tipo cuantitativo. Las variables definidas son:

V1 = potencia contratada

V2 = energía consumida mensualmente

Y como indicadores se han determinado:

I1 = potencia (kw)

I2 = energía consumida (kwh)

I3 = balance energético (Amp.)

I4 = factor de potencia

I5 = temperatura

Teniendo estos datos, se tendrá un panorama completo del uso de la energía dentro del inmueble y con la ayuda de un adecuado plan de mejora se plantearan soluciones que aporten a reducir el consumo de energía.

También se utilizará el muestreo de juicio, seleccionando una muestra representativa de los elementos que parecen representativos o típicos de la población.

Luego de analizar consumos, se procede a realizar planes de acción que lleven a la realización del objetivo principal que es disminuir el consumo de kwh en el edificio y mantener el nivel de confort del usuario.

#### IV. Fase presentación de resultados

Se debe presentar a la administración del proyecto y luego a la junta directiva los hallazgos encontrados y las acciones propuestas.

La presentación del informe se hará en reunión de junta directiva utilizando el método inductivo – deductivo para explicar la realidad de la administración de la energía y su uso eficiente, generalizando para cualquier edificio de oficinas ubicado en el sector de estudio, cuyos rasgos o características, les hacen ser comunes.

Se presenta un cuadro de resultados donde se muestra la información recopilada, la cual se representará gráficamente, procurando su fácil interpretación, ayudando así a la eficiente formulación de planes de acción que serán presentados en el informe final con un análisis de viabilidad en cuanto a costos de inversión, tiempo de amortización y el impacto ambiental que estas puedan tener.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Como primer paso, solicitar los diagramas unifilares del edificio, diagramas de instalación de A/C, de elevadores y de equipos especiales.

En caso no existan planos unifilares, se hace el levantamiento de estos.

Como segundo paso, se hace un reconocimiento del inmueble, se listan equipos y características.

Teniendo el levantado de datos, se procede a realizar una bitácora de amperajes donde se medirán voltajes y corrientes en tableros, cuarto de control de motores (CCM) y transformadores.

Teniendo ésta información, se entrevista a personal operativo del proyecto para conocer la operación y horarios de trabajo de los equipos, luego se traslada a una bitácora de consumos para determinar registros máximos y mínimos según horarios de uso, esto se realiza por medio de fórmula matemática el cálculo de energía consumida derivada de la ley de ohm ( $V=IR$ ), donde Potencia = Voltaje por Corriente ( $P=VI$ ).

Es importante indagar que equipos son monofásicos y que equipos son trifásicos ya que un error en esta parte puede significar una diferencia importante en el balance de líneas en los tableros.

Una de las partes críticas para obtener una medición fiel son los elevadores, ya que manualmente es muy complicado el calcular cuántos picos de voltaje tiene debido a arranques diarios, para conocer de mejor manera la operación de los elevadores utilizaremos dos software, una es el sistema de monitoreo y control de tráfico WSMCT para elevadores SCHINDLER y el otro es el EMS panorama versión 1.5 para elevadores OTIS. Por medio de ambos software se obtendrá a detalle el movimiento de cada cabina, zonas de descanso y tiempo de atención de llamadas.

Otro punto crítico es el calcular el consumo de energía de los controles de acceso, para obtener este dato será utilizado el software DOORS que controla por medio de una red IP todos los accesos del edificio y tiene la capacidad de brindar reportes de acceso de cualquier punto y de la fecha que se desee.

Para conocer la eficiencia del sistema centralizado de A/C se utilizará el sistema Work Space Manager de CARRIER, el cual brinda reportes de eficiencia de operación.

Finalmente, se comparan las medias de la proyección de consumo de energía mensual con la facturación del último mes, por método estadístico, y a partir de este punto se comienza a plantear soluciones por medio de la metodología planteada en la investigación.

Cabe resaltar que la obtención de la información necesaria para la presente investigación puede ser utilizada como instrumento de innovación y desarrollo para nuevos proyectos.

## 11. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con base en la información teórica de las referencias bibliográficas, y los datos experimentales obtenidos en la sección de métodos y técnicas, se espera encontrar las siguientes relaciones:

Entre las necesidades laborales a cubrir están:

- Disminuir el consumo de energía (kwh) en la facturación mensual
- Obtener un contrato de energía con demanda real del edificio, no sobredimensionado o muy bajo.
- Aumentar eficiencia de equipos y sistemas a fin de obtener una operación eficiente, con altos estándares de calidad y a bajo costo.
- Facilitar la creación de planes de acción dinámicos que ayuden al continuo proceso de eficiencia energética.

Para lograr esto se utilizará un sistema de observación directa, levantamiento de datos y análisis de datos históricos, los pasos a seguir serán:

- Identificar problema
- Seleccionar datos
- Monitorización
- Control de consumos
- Diagnóstico
- Revisión y planes de mejora

Dejando detallados los procesos y formatos utilizados para crear un proceso de mejora continua.





### **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

Se poseen los permisos para el acceso a toda la información histórica del proyecto, autorización de las administraciones para realizar mediciones y análisis, contraseñas de equipos para estudiar los software de medición con los que cuentan los proyectos.

Además, se ha autorizado a personal técnico proporcionar la información necesaria para realizar el estudio y cuantificar inversiones por medio de cotizaciones y programa de Excel para cuantificar el tiempo de retorno de la inversión.

Recursos:

Para realizar la investigación se necesitará de los siguientes recursos:

Humano

Se necesita un investigador, con amplia experiencia en el campo, con no menor a 3 años de experiencia en el tema.

Cuando menos un encuestador, esta función la puede realizar el investigador debido al tipo de investigación.

Un técnico electricista.

Como mínimo se necesita encuestar a un supervisor electricista, un supervisor hidráulico y entre diez y doce personas operativas de cada proyecto.

También se necesita entrevistar al personal administrativo, como mínimo al administrador del edificio.

### Físicos

Se necesita visitar como mínimo dos edificios de oficinas con características similares.

- Oficina para centro de operaciones
- Una computadora
- Un escritorio completo

### Tecnológicos

- Computadora personal
- Software para medir eficiencia de equipos
- Un multímetro de gancho
- Una impresora

### Materiales

- Hojas papel bond
- Bolígrafos
- Juego de destornilladores

A continuación se presenta el presupuesto para el desarrollo de la presente investigación.

Se cuenta con la ventaja que los salarios del investigador y personal técnico serán cancelados por las empresas administradoras por lo que se reflejan en el presupuesto como ejecutado.

El software utilizado también será proporcionado por las administraciones, por lo que esto se refleja como ejecutado.

La PC se utilizará la HP Pavilion g4 propiedad del investigador, al igual que el multímetro y el termómetro laser, estos conceptos se reflejan como ejecutados, en caso los inmuebles deseen contar con el equipo, se harán las gestiones pertinentes para la compra de los mismos.

Tabla I. Presupuesto

CONCEPTO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Investigador	Q12,000.00	Q12,000.00	Q12,000.00	Q12,000.00	Q12,000.00	Q12,000.00
Encuestador	Q0.00	Q2,152.50	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Técnico Electricista	Q0.00	Q3,000.00	Q3,000.00	Q3,000.00	Q3,000.00	Q3,000.00
Técnico Hidráulico	Q0.00	Q3,000.00	Q0.00	Q3,000.00	Q0.00	Q0.00
Alquiler de oficina	Q0.00	Q4,000.00	Q4,000.00	Q4,000.00	Q4,000.00	Q4,000.00
Mobiliario de oficina	Q6,000.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Gastos de oficina	Q1,500.00	Q200.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Reuniones	Q0.00	Q200.00	Q200.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Computadora	Q7,000.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Impresora	Q450.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Software	Q16,000.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Multímetro de gancho	Q3,400.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Termómetro láser	Q1,600.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Herramienta	Q2,000.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Combustible	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00
TOTAL						

CONCEPTO	JULIO	AGOSTO	PRESUPUESTADO	EJECUTADO	SALDO
Investigador	Q12,000.00	Q12,000.00	Q96,000.00	Q96,000.00	Q0.00
Encuestador	Q0.00	Q0.00	Q2,152.50	Q0.00	Q2,152.50
Técnico Electricista	Q0.00	Q0.00	Q15,000.00	Q15,000.00	Q0.00
Técnico Hidráulico	Q0.00	Q0.00	Q6,000.00	Q6,000.00	Q0.00
Alquiler de oficina	Q4,000.00	Q4,000.00	Q28,000.00	Q28,000.00	Q0.00
Mobiliario de oficina	Q0.00	Q0.00	Q6,000.00	Q0.00	Q6,000.00
Gastos de oficina	Q100.00	Q100.00	Q2,300.00	Q0.00	Q2,300.00
Reuniones	Q200.00	Q200.00	Q800.00	Q0.00	Q800.00
Computadora	Q0.00	Q0.00	Q7,000.00	Q7,000.00	Q0.00
Impresora	Q0.00	Q0.00	Q450.00	Q450.00	Q0.00
Software	Q0.00	Q0.00	Q16,000.00	Q16,000.00	Q0.00
Multímetro de gancho	Q0.00	Q0.00	Q3,400.00	Q3,400.00	Q0.00
Termómetro láser	Q0.00	Q0.00	Q1,600.00	Q1,600.00	Q0.00
Herramienta	Q0.00	Q0.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q0.00
Combustible	Q150.00	Q150.00	Q1,200.00	Q0.00	Q1,200.00
TOTAL			Q187,902.50	Q175,450.00	Q12,452.50

Fuente: elaboración propia.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

1. Antonio, J. (2010). Domótica e inmótica. Notas de curso diseño tecnológico. Universidad Antonio de Nebrija. España. UAN.
2. Cámara de Industria Guatemalteca. (2013). Notas de congreso nacional de producción más limpia. Guatemala. CIG.
3. De León, E. (2006) Edificios altos de apartamentos en Guatemala. Universidad de San Carlos. Guatemala.
4. Grande, N. (2012). Calidad de energía y eficiencia energética en edificios públicos, Universidad centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador de C.A.
5. Grijalva Sosa, V. (2003). Arquitectura sostenible en Guatemala. Universidad Francisco Marroquín. Guatemala.
6. Guía práctica sobre ahorro y eficiencia en edificios (s.f.) recuperado el 14 de septiembre de 2013, de [web.uvigo.es](http://web.uvigo.es)
7. Hernández, L. (2001). Medio Ambiente y arquitectura. Universidad Francisco Marroquín. Guatemala.
8. Hernández, R. (1998). Metodología de la investigación. México: Editorial McGraw Hill.

9. Ibarra, J. (2012). Análisis de la eficiencia en el consumo de energía en el edificio Yariguies. Universidad de Santander. Colombia
10. Kirschning, I. (1992). Edificios inteligentes. Universidad de las Américas. Puebla, México.
11. Méndez, C. (2001). Metodología, diseño y desarrollo del proceso de investigación. España: Editorial McGraw Hill.
12. Piloña, G. (2012). Guía práctica sobre métodos y técnicas de investigación. (8 Edición). Guatemala, Guatemala: GP editores.
13. Prats, J. (s.f.) Técnicas y recursos para la elaboración de tesis doctorales. Recuperado el 19 de septiembre de 2013, de [www.ub.edu](http://www.ub.edu).
14. Ramírez, T. (1999). Como hacer un proyecto de investigación. (1ra. Edición). Caracas, Venezuela: Editorial Panapo.
15. Salmerón, R. (2011) Tesis doctoral: Procedimientos para el diseño de edificaciones de alta eficiencia energética para tipologías arquitectónicas básicas. Universidad de Sevilla. España.
16. Santana, D. Modelo de auditoría energética en el sector industrial. Universidad Carlos III de Madrid. España.
17. Wadel, g. (2009) Los edificios y la eficiencia. Seminario de gestión ambiental. Logroño, España. DMA.