



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

## **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**

**Walda Verdandi López Vallejo**

Asesorado por la Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar

Guatemala, mayo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**WALDA VERDANDI LÓPEZ VALLEJO**

ASESORADO POR LA INGA. NORA LEONOR ELIZABETH GARCÍA TOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
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:

### **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha agosto de 2012.

**Walda Verdandi López Vallejo**

Guatemala 6 de junio de 2014

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Respetable Ingeniero Urquizú

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL** elaborado por la estudiante Walda Verdandi López Vallejo con número de carné 2009-15239.

Dicho trabajo llena los requisitos para dar aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y las conclusiones del mismo.



Ingeniera Nora Elizabeth García Tobar  
Ingeniera Mecánica Industrial  
Colegiado No. 8121  
No. de colegiado: 8121  
Asesora



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**, presentado por la estudiante universitaria **Walda Verdandi López Vallejo**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

María Martha Wolford Estrada  
Ingeniera Industrial  
Colegiada 6059

Inga. María Martha Wolford de Hernández  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2014.

/mgp



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 titulado **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**, presentado por la estudiante universitaria **Walda Verdandi López Vallejo**, 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 2015.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **AHORRO ENERGÉTICO EN EL REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL**, presentado por la estudiante universitaria: **Walda Verdandi López Vallejo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Angel Roberto Sic García  
Decano

Guatemala, mayo de 2015

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por otorgarme las destrezas necesarias para culminar mi carrera universitaria y poner en mi vida buenas personas que me alentaron.
<b>Mi esposo</b>	Por estar en los momentos buenos y malos, brindarme siempre su apoyo incondicional y las palabras de aliento para continuar, por ser mi todo, por ser mi cielo. Porque sin él no hubiese podido lograr mi graduación.
<b>Mi hijo</b>	Por ser paciente durante todo el proceso.
<b>Mi madre</b>	Por ser una mujer fuerte y luchadora, una maestra admirable y por ser quien me inculcó a dar siempre lo mejor de mí.
<b>Mi padre</b>	Por enseñarme su perseverancia y darme su apoyo intelectual.
<b>Mi hermana</b>	Por ser parte importante en el proceso de toda mi carrera, porque me apoyó en todo momento y por levantarse temprano a cuidar a mi hijo.
<b>Mis hermanos</b>	Por apoyarme, darme el aliento y ánimo que necesitaba y por tenerle paciencia a mi hijo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Por todas las bendiciones que me ha brindado, su respaldo en todo momento, las fuerzas para seguir adelante y su misericordia.

### **Mi esposo**

Por haber sido un excelente compañero de trabajo de graduación y amigo, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por brindarme una familia. Te adoro, amor.

### **Mis padres**

Ruth Vallejo y Ronaldo López, por su apoyo incondicional, por su amor y su entrega cada día. Por darme la guía y las herramientas para ser una mejor persona. Por brindarme su tiempo sin esperar nada a cambio. Gracias por su paciencia, sus consejos, su sacrificio y su fe.

### **Mis hermanos**

Lourdes López Vallejo por su compañía en mis desvelos, su apoyo en los momentos difíciles, por escucharme siempre. Ronal y Pebbles López Vallejo, gracias por su apoyo, su comprensión, por siempre estar allí y darme aliento, por siempre obligarme a dar lo mejor de mí.

**Mis amigos**

Por ser mis compañeros de estudio, de desvelos, de aventuras.

**Mis amigas**

Por ser una parte muy importante de mi vida, por el apoyo recibido desde el día que las conocí, por ser más que unas amigas, por ser como unas cómplices. Por todo el apoyo recibido para la realización de este trabajo de graduación. Por todos los consejos y el apoyo recibido en los momentos difíciles de la vida. Por las tareas que juntas realizamos y por todas las veces que a mí me explicaron, gracias, por la confianza que en mí depositaron.

**Inga. Nora García**

Gracias por su tiempo invertido, por compartir de su experiencia y conocimientos, por su apoyo y dedicación.

**Ing. César Urquizú**

Por brindarme su apoyo, por su comprensión, por compartir su conocimiento, por ser un catedrático, un profesional y un empresario ejemplar.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Definición del problema .....	4
1.3. Justificación del trabajo de investigación.....	6
1.3.1. Importancia del trabajo de investigación.....	8
1.3.1.1. Delimitación .....	9
1.3.1.2. Alcance .....	12
2. ANTECEDENTES.....	13
2.1. Centro comercial Mega Plaza.....	13
2.1.1. Mapa con ubicación geográfica .....	15
2.1.2. Cuantificación eléctrica de Mega Plaza .....	16
2.1.3. Generalidades .....	18
2.1.3.1. Subsistema de generación .....	20
2.1.3.2. Subsistema de distribución primaria.....	21
2.2. Antecedentes de sistemas de ahorro de energía .....	26
2.3. Gráfica de incremento económico de la energía conforme el tiempo.....	29

2.4.	Desarrollo de estrategias de proyectos de ahorro de energía....	33
2.5.	Medidas de bajo costo para proyectos de ahorro de energía ....	34
2.6.	Medidas costosas para proyectos de ahorro de energía.....	36
2.6.1.	Sistemas de administración de energía .....	36
2.6.2.	Motores eléctricos más eficientes .....	37
2.6.3.	Sistemas de iluminación más eficientes.....	38
3.	MARCO METODOLÓGICO UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DEL REACONDICIONAMIENTO ELÉCTRICO DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA.....	39
3.1.	Análisis económico.....	39
3.1.1.	Costos de oportunidad .....	40
3.1.2.	Valor temporal del dinero .....	41
3.1.3.	Tasa de actualización.....	43
3.1.4.	Criterios de evaluación.....	43
3.2.	Caracterización de los proyectos de ahorro energético .....	49
4.	SITUACIÓN ACTUAL DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA .....	51
4.1.	Medidas de bajo costo en el centro comercial Mega Plaza.....	51
4.1.1.	Tarifa de energía .....	52
4.2.	Medidas costosas en el centro comercial Mega Plaza.....	71
4.2.1.	Conductores.....	72
4.2.2.	Motores .....	76
4.2.3.	Banco de condensadores.....	79
4.2.4.	Iluminación .....	80
4.3.	Modelos económicos planteados en proyectos de ahorro de energía .....	81
4.3.1.	Formulaciones matemáticas para la selección de conductores.....	81

4.3.2.	Formulaciones matemáticas para la selección de un motor .....	91
4.3.3.	Formulaciones matemáticas para la selección de un banco de condensadores .....	99
4.4.	Medidas de bajo costo para proyectos de ahorro de energía..	103
4.4.1.	Análisis tarifario .....	104
4.4.2.	Análisis del comportamiento del personal .....	105
4.5.	Medidas costosas para proyectos de ahorro de energía .....	109
4.5.1.	Análisis de conductores.....	110
4.5.2.	Análisis de la potencia reactiva .....	117
4.5.3.	Análisis de iluminación .....	120
4.6.	Análisis FODA .....	124
5.	SITUACIÓN MEJORADA DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA	129
5.1.	Análisis global del ahorro de energía del centro comercial Mega Plaza.....	129
5.1.1.	Evaluación del crecimiento del consumo de energía .....	134
5.1.2.	Evaluación de la inversión necesaria.....	138
5.1.3.	Operación del proyecto de ahorro de energía .....	142
	CONCLUSIONES .....	143
	RECOMENDACIONES .....	145
	BIBLIOGRAFÍA.....	147
	ANEXO .....	151



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Centro comercial Mega Plaza vista frontal .....	14
2.	Centro comercial Mega Plaza vista interior .....	14
3.	Municipio de Estandzuela, departamento de Zacapa .....	15
4.	Municipio de Estandzuela .....	16
5.	Generador de emergencia 300 KVA .....	21
6.	Potencia activa (en kilovoltiamperio), potencia reactiva (kVAR) y factor de potencia $f_p$ durante ciclo de carga semanal .....	23
7.	Frecuencias de resonancia paralela para varios tamaños de capacitor .	24
8.	Gráfica de incremento económico de la energía conforme el tiempo ....	30
9.	Consumo de electricidad per cápita en Guatemala.....	30
10.	Electricidad-consumo en Guatemala .....	31
11.	Consumo de energía promedio (kilovoltiamperio mes) en Mega Plaza .	32
12.	Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología en Guatemala .	52
13.	Histórico del precio spot en Guatemala en el 2013.....	53
14.	Tarifa social de energía eléctrica en Guatemala .....	54
15.	Tarifa no social de la energía eléctrica en Guatemala .....	55
16.	Conductores con su corriente admisible .....	73
17.	Triángulo de potencias .....	100
18.	Evolución de consumo de energía eléctrica en Mega Plaza .....	135

## TABLAS

I.	Cuantificación eléctrica de Mega Plaza .....	17
II.	Electricidad-consumo en Guatemala .....	31
III.	Consumo de energía promedio (kilovoltiamperio/mes) del centro comercial Mega Plaza del período 2010-2011.....	32
IV.	Opciones tarifarias en media tensión.....	58
V.	Opciones tarifarias en baja tensión.....	59
VI.	Cliente de baja tensión .....	66
VII.	Pérdidas parásitas de un motor .....	78
VIII.	Eficiencia de los motores según normas .....	78
IX.	Normas para la demanda de energía calorífica .....	79
X.	Niveles de iluminación teóricos según establecimiento .....	81
XI.	Consumo de energía con cambio de tipo de tarifa para 2011-2012 .....	105
XII.	Consumo de energía innecesario para el período 2011-2012 .....	107
XIII.	Pago mensual innecesario de energía eléctrica en la opción tarifaria MT2 durante el período 2011-2012 .....	108
XIV.	Pago mensual innecesario de energía eléctrica en la opción tarifaria MT4 FP durante el período 2011-2012.....	109
XV.	Evaluación económica del cambio de dimensión de los conductores del sistema eléctrico de Mega Plaza durante el período 2011-2012 ....	113
XVI.	Consumo de energía eléctrica innecesaria por incorrecto dimensionamiento de conductores período 2011-2012 .....	114
XVII.	Consumo de potencia eléctrica para las subestaciones del centro comercial período 2011-2012 .....	116
XVIII.	Cálculo del banco de condensadores necesarios para la compensación reactiva del consumo de energía eléctrica del centro comercial durante el período 2011-2012 .....	119

XIX.	Consumo de energía reactiva en exceso por cada una de las subestaciones del centro comercial durante el período 2011-2012 .....	119
XX.	Evaluación económica del cambio de focos incandescentes por focos ahorradores por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012 .....	121
XXI.	Consumo innecesario de energía eléctrica por la utilización de focos incandescentes por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012 .....	121
XXII.	Consumo de potencia según tipo de lámpara para alumbrado público.....	122
XXIII.	Evaluación económica del cambio de luminarias de vapor mercurio por vapor de sodio en alumbrado público por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012 .....	123
XXIV.	Consumo innecesario de energía eléctrica por la utilización de lámparas de vapor de mercurio por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012 .....	124
XXV.	Matriz FODA centro comercial Mega Plaza .....	126
XXVI.	Análisis FODA.....	127
XXVII.	Consumo de energía eléctrica por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013 .....	130
XXVIII.	Pago por consumo de energía eléctrica por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013 .....	131
XXIX.	Consumo de energía eléctrica con nueva subestación de Mega Plaza durante el período 2012-2013 .....	132
XXX.	Pago por consumo de energía eléctrica con nueva subestación de Mega Plaza durante el período 2012-2013 .....	133
XXXI.	Evolución del consumo de energía eléctrica total promedio mensual (kilovatio-hora-mes) por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013 .....	134

XXXII.	Resumen de modelo de consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013 .....	136
XXXIII.	Análisis de la varianza del consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013 .....	136
XXXIV.	Coeficientes para el consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013 .....	137
XXXV.	Inversión por compra de condensadores de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013.....	138
XXXVI.	Inversión por cambio de conductores del sistema eléctrico de Mega Plaza durante el período 2012-2013.....	139
XXXVII.	Inversión requerida para el proyecto de ahorro de energía de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013 .....	142

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AT</b>	Alta tensión
<b>BT</b>	Baja tensión
<b>\$</b>	Dólares, moneda estadounidense
<b>h</b>	Hora
<b>HP</b>	Horas de punta
<b>HFP</b>	Horas fuera de punta
<b>KVAR</b>	Kilovoltiamperios reactivos
<b>kW</b>	Kilo Watts
<b>lx</b>	Lux
<b>MT</b>	Media tensión
<b>MΩ</b>	Mega Ohms
<b>%</b>	Porcentaje

**Q**

Quetzales, moneda guatemalteca

**V**

Voltios

## GLOSARIO

<b>Ahorro energético</b>	Reducción que hacen los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía para disminuir costos y promover sustentabilidad económica, política y ambiental.
<b>Análisis Foda</b>	Metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (debilidades y fortalezas) y su situación externa (amenazas y oportunidades) en una matriz cuadrada.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI por sus siglas en inglés) es una organización privada sin fines lucrativos que administra y coordina la normalización voluntaria y las actividades relacionadas a la evaluación de conformidad en los Estados Unidos.
<b>Armónicos</b>	Frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge</i> , medida americana para tamaños de cable.

<b>Banco de condensador</b>	Conjunto de capacitores que, mediante un equipo electrónico que mide el coseno fi, agrega capacitores a medida que aumenta la carga inductiva y los desconecta si baja.
<b>CA-10</b>	Ruta Centroamericana 10.
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computador (del inglés Computer Aided Design).
<b>Capacitación</b>	Acción de calificar al personal en nuevas disciplinas o profundizar en conocimientos que puedan ser útiles para su área de trabajo.
<b>Capacitor</b>	Dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.
<b>Conductores</b>	Son los encargados de dirigir la corriente a todos los componentes de la instalación eléctrica. Sin ellos, la instalación como tal, no podría existir.
<b>Corriente</b>	Flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.
<b>Corriente alterna</b>	Corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.

<b>Corriente continua</b>	Flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo.
<b>Corriente monofásica</b>	Corriente que se obtiene de tomar una fase de la corriente trifásica y un cable neutro.
<b>Corriente trifásica</b>	Conjunto de tres corrientes alternas de igual frecuencia, amplitud y valor eficaz que presentan una diferencia de fase entre ellas de $120^\circ$ , y están dadas en un orden determinado.
<b>DEOCSA</b>	Distribuidora Occidental de la Unión FENOSA, empresa dedicada a la generación y distribución de energía eléctrica en Guatemala.
<b>DEORSA</b>	Distribuidora del Oriente de la Unión FENOSA, empresa dedicada a la generación y distribución de energía eléctrica en Guatemala.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala.
<b>Eficiencia energética</b>	Práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía.
<b>Factor de potencia</b>	Relación entre la potencia activa, $P$ , y la potencia aparente, $S$ .
<b>Flujo de carga</b>	Cantidad escalar que expresa una medida del campo eléctrico que atraviesa una determinada superficie, o

expresado de otra forma, es la medida del número de líneas de campo eléctrico que penetran una superficie.

**Hardware**

Corresponde a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

**IEEE**

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, abreviado como IEEE; en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers, es una asociación mundial de técnicos e ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

**INDE**

Instituto Nacional de Electrificación.

**Instalación eléctrica**

Uno o varios circuitos eléctricos destinados a un uso específico y que cuentan con los equipos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de ellos y los aparatos eléctricos conectados a los mismos.

**ISO**

Organización Internacional de Normalización o ISO (del griego, ἴσος (isos), 'igual'). Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional.

<b>Luminaria</b>	La combinación de un módulo o una luz para motor con equipo de control para formar un sistema de iluminación.
<b>Mega Plaza</b>	Centro comercial estudiado en el trabajo de graduación.
<b>Motor</b>	Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas.
<b>NEC</b>	National Electrical Code.
<b>Ojos de buey</b>	Tipo de luminaria circular.
<b>Organigrama</b>	Representación gráfica de la estructura de una empresa u organización. Representa las estructuras departamentales y hace un esquema sobre las relaciones jerárquicas y competenciales de vigor en la organización.
<b>Página web</b>	Nombre de un documento electrónico adaptado para la World Wide Web y que puede ser accedida mediante un navegador para mostrarse en un monitor de computadora o dispositivo móvil.
<b>Panel de contactores</b>	Panel que alberga dispositivos electromecánicos que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente.

<b>PCC</b>	Punto de acople común.
<b>Pérdidas parásitas</b>	Fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa.
<b>Plan estratégico</b>	Documento en el que los máximos responsables de una empresa o institución establecen la estrategia a seguir en un largo plazo, a través de unas líneas de actuación para la gestión eficaz y eficiente de la organización.
<b>Potencia activa</b>	Representa la capacidad de un circuito para poder realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo.
<b>Potencia reactiva</b>	No es una potencia (energía) realmente consumida en la instalación, ya que no produce trabajo útil debido a que su valor medio es nulo.
<b>SAE</b>	Sistema de administración de energía.
<b>Sitio web</b>	Colección de páginas web relacionadas y comunes a un dominio de internet o subdominio en la World Wide Web en internet.
<b>Software</b>	Equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, comprende el conjunto de los componentes necesarios que hacen posible la

realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos, que son llamados hardware.

**Tensión**

Salto de potencial eléctrico o la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.



## RESUMEN

A todos les preocupa el consumo energético del hogar o del negocio, se procura ahorrar al máximo antes de recibir la debida valoración de la factura. Además, con un ahorro energético se busca el mayor confort, de seguridad, y en definitiva por alcanzar un bienestar apropiado a las necesidades de la familia o los empleados.

El consumo de energía eléctrica se ha elevado a un ritmo superior al crecimiento económico, porque está relacionado con mayores niveles de vida y propósitos no materializados, mezcla que lleva a reflexionar, sobre todo si se tiene en cuenta que en energía se gasta una importante cantidad de dinero.

Esta realidad pone de manifiesto que la electricidad no es solo ese enchufe donde se conectan los equipos, es el final de la inmensa cadena que se origina en las grandes centrales de generación y para que llegue hasta un comercio debe: ser generada en plantas, utilizando torres, transformadores y cantidades de cables; distribuida en menores bloques de energía, hasta el comercio. Todo este sistema eléctrico debe mantenerse al día, lo cual requiere personal especializado y alta tecnología en materiales y equipos.

Con el trabajo de graduación se pretende comparar la inversión monetaria a realizar *versus* el beneficio obtenido a través de reemplazar las instalaciones eléctricas antiguas por unas que generen ahorro energético; así creando un estudio verídico que nos indicará que, para generar ahorro energético se deben hacer grandes inversiones pero darán beneficios notables tanto económicos como ambientales.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar el ahorro energético en el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas en un comercio.

### **Específicos**

1. Generar un diagnóstico del sistema de energía eléctrica de iluminación en el comercio Mega Plaza.
2. Propiciar la implementación de los equipos adecuados de iluminación que se deben usar para lograr un ahorro en el consumo de energía.
3. Fortalecer los lineamientos del programa para el ahorro de energía en el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas.
4. Desarrollar un estudio con la finalidad de considerar, no solamente las necesidades actuales de energía eléctrica, sino también, desarrollar las bases para optimizarla.
5. Presentar todas las alternativas del programa de ahorro de energía en el comercio Mega Plaza y hacer un cálculo del consumo de iluminación con nuevas luminarias para evaluar la factibilidad de una posible sustitución.



## INTRODUCCIÓN

Consumir energía es sinónimo de movimiento, desde las necesidades más básicas y primitivas, a las más modernas y sofisticadas como un proceso industrial, la mejora de las condiciones de vida de los hombres o de su nivel de bienestar han exigido siempre disponer de un excedente de energía que pudiese ser consumido. El consumo de energía, sobre todo en la industria, es por tanto sinónimo de progreso, de aumento de la infraestructura, los bienes y servicios disponibles y de la satisfacción de las necesidades de los consumidores.

Un principio esencial para el ahorro de energía consiste en conocer cómo funcionan los equipos y aparatos en el comercio o industria, los diferentes tipos de energía que consumen y el distinto aprovechamiento que podemos obtener de ellos.

En el primer capítulo, se presenta el problema y la importancia de su investigación. En el segundo capítulo, se hace una reseña del centro comercial Mega Plaza, así como también antecedentes de varios sistemas de ahorro de energía, tanto de los que requieren una inversión considerable como de los que no. El tercer capítulo trata de los métodos que se utilizaron para realizar el análisis del ahorro energético. En el capítulo cuatro se da a conocer la situación actual del centro comercial, incluyendo un análisis FODA, y por último, en el capítulo cinco se da a conocer el análisis global del ahorro de energía del centro comercial después de haber aplicado las mejores opciones de mejora en cuanto a las instalaciones eléctricas al centro comercial Mega Plaza.

Es importante tener en cuenta que la trascendencia y la complejidad que hoy en día supone el consumo de energía en el interior de los comercios, no están reñidas con la posibilidad de hacer un buen uso de esta energía y utilizarla con la mayor eficiencia para obtener disminución de costos y comprobar si esto tiene una repercusión positiva para el comercio a estudiar.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde finales de 1998, el consumo de energía eléctrica se ha elevado a un ritmo superior al crecimiento económico, ya que suple las necesidades del aparato productivo, porque está relacionado con mayores niveles de vida y propósitos no materializados, mezcla esta que lleva a reflexionar, sobre todo si se tiene en cuenta que en energía se gasta una importante cantidad de recursos.

Debido a este ritmo de crecimiento se deben tomar una serie de acciones que impiden que aumente el índice físico del consumo energético, y para esto resulta imprescindible identificar y explotar todas las reservas de eficiencia, extendiéndose el proceso al acomodo de carga, lo que es sinónimo de eliminar todas las producciones y servicios que no están haciendo trabajo útil en el horario de máxima demanda.

Sin embargo, es fácil percibir que algo se está malgastando cuando se observa una llave que derrama agua, combustible, petróleo, entre otros, pero cuesta percibir que está sucediendo igual cuando se deja encendida una lámpara, se tiene la radio, el televisor y el calentador de agua funcionando mientras se está planchando o leyendo el periódico.

Esta realidad pone de manifiesto que la electricidad no es solo ese enchufe donde se conectan los equipos, es el final de la inmensa cadena que se origina en las grandes centrales de generación.

Para que llegue hasta un comercio debe: ser generada en grandes y costosas plantas, en el mismo instante en que se requiera; transportada hasta los centros poblados, recorriendo muchos kilómetros y utilizando inmensas torres, transformadores y cantidades de cables; distribuida en menores bloques de energía, hasta el comercio, utilizando cientos de transformadores, postes y kilómetros de cable; entregada, medida y facturada, para lo cual se requiere de equipos de medición, herramientas, personal para emitir y entregar facturas, así como para atender reclamos y solicitudes.

Todo este sistema eléctrico debe mantenerse al día, lo cual requiere personal especializado y alta tecnología en materiales y equipos. Es de imaginarse cómo se podría vivir sin la vital electricidad, qué sería de todos los adelantos y la tecnología, si un día dejara de existir. Nada, en su gran mayoría, tendría el valor que por ello se paga, sin la electricidad para hacerlo funcionar. Todo esto para reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso, ni los que la hacen posible.

En vista de esto se están emprendiendo planes, programas económicos y energéticos, con la finalidad de aumentar las reservas existentes y paliar el uso desproporcionado que se tiene de la energía eléctrica, como es el caso del presente trabajo que enmarca dentro de sus lineamientos un programa de ahorro de energía eléctrica por iluminación, en una institución comercial, ya que la iluminación es la responsable por, más o menos, de 20 por ciento<sup>1</sup> del consumo de energía, abarcando en este número la industria, el comercio y las residencias.

---

<sup>1</sup> [www.constructorelectrico.com/home/instalaciones-electricas-en-centros-comerciales](http://www.constructorelectrico.com/home/instalaciones-electricas-en-centros-comerciales). Consulta: 12 de julio de 2012.

Además, son muchas las posibilidades de reducción del consumo de energía que se gasta en iluminación, desde el simple cambio de una lámpara hasta la implementación de nuevos sistemas con equipamiento electrónico inteligente. Pensando en ello se ha desarrollado una tecnología de bajo consumo de energía, lámparas, balastos, controles electrónicos y sistemas de iluminación que ahorran energía, tienen una mayor duración y ayudan, de esta forma, a evitar riesgos de suministro.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Partir de las necesidades del cliente para diseñar un proyecto viable es una condición necesaria para garantizar un correcto funcionamiento de las instalaciones. En ese sentido, indica que el estudio previo del proyecto es fundamental; sin embargo, resalta que lo más importante es la factibilidad de energía eléctrica en la zona en la que se construirá el centro comercial.

La falta de energía no es dato menor, este tipo de edificaciones utiliza grandes cantidades, siendo el sector de iluminación el que más consume. Es por ello que países como Japón o Venezuela, debido a sus respectivas crisis energéticas, han tomado diversas medidas para restringir el uso de la electricidad. En los centros comerciales la demanda energética es notable; de allí parte todo su funcionamiento, y un buen plan debe dar constancia de ello. Se debe estimar el consumo que requieren las áreas comunes, los locales, el cálculo y diseño de los tableros, el alumbrado exterior e interior, las instalaciones de emergencia, control, equipos, accesorios, luminarias.

Si se tienen en cuenta estos factores, se confecciona el proyecto de conformidad con la normatividad aplicable.<sup>2</sup> Otro elemento a considerar es el uso de la tecnología, como en este caso se va a aplicar para reacondicionar el centro comercial Mega Plaza, tomando en cuenta principalmente materiales como transformadores, cables, registros y pozos de visita; accesorios de conexión, entre otros, deben presentar la certificación correspondiente.

Un edificio construido expreso para ahorrar energía cuesta entre un 2 a 4 por ciento más que un edificio convencional. Un termostato para la calefacción cuesta unos cuantos quetzales. Una caldera de alta eficiencia no es mucho más cara que una convencional. Cambiar los cristales de vidrio simple por unas de doble cristal puede suponer un gasto considerable, y reforzar todo el aislamiento de un edificio puede resultar ya una gran inversión.

La eficiencia energética puede conseguirse gastando desde muy poco a bastante dinero. Pero incluso si se ha invertido mucho dinero, comenzará a recuperarse en un plazo de tiempo muy corto, al verse reducidas las facturas de energía. El plazo de amortización de la instalación realizada para mejorar la eficiencia energética del centro comercial variará dependiendo del gasto inicial y del precio de la energía comercial. Lo mejor viene después; una vez amortizada la instalación, se podrán recoger sus beneficios durante toda la duración de su vida útil, que puede ser fácilmente de décadas.

## **1.2. Definición del problema**

La preocupación en el consumo energético del hogar o del negocio, hace que se procure ahorrar al máximo antes de recibir la valoración de la factura.

---

<sup>2</sup> [www.constructorelectrico.com/home/instalaciones-electricas-en-centros-comerciales](http://www.constructorelectrico.com/home/instalaciones-electricas-en-centros-comerciales). Consulta: 12 de julio de 2012.

Además, con un ahorro energético se busca el mayor confort, adaptándose a cada espacio según las exigencias personales, y en definitiva por alcanzar un bienestar apropiado a las necesidades de la familia o los empleados.

Es importante, que el ahorro energético en iluminación no esté reñido con la calidad del servicio. Los sistemas de iluminación de un local comercial han de proporcionar el nivel luminoso adecuado para cada zona, creando un ambiente agradable y una buena sensación de confort, así como el rendimiento cromático adecuado.

Los sistemas de calefacción y climatización representan también un apartado importante dentro del consumo energético de un local comercial. Este hecho, junto con la evolución de los costes energéticos, ha hecho que en los edificios de nueva construcción se consideren los aspectos de diseño desde la óptica energética y que este enfoque, desde el punto de vista del ahorro energético, sea compatible con otros factores del diseño como pueden ser los estéticos o el confort.

Las características de acondicionamiento térmico están basadas en el confort de los usuarios de las instalaciones del local y se define como la sensación agradable y equilibrada entre humedad, temperatura, la velocidad y la calidad del aire, y está en función de la ocupación y de la actividad que se vaya a desarrollar en cada uno de los locales a climatizar.

La primera opción para un buen rendimiento térmico consiste en tomar las medidas necesarias para reducir las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor en verano, para disminuir, de este modo, la demanda de energía necesaria para el acondicionamiento térmico del local. Estas pérdidas

de calor van a depender, en primer lugar, de las características constructivas del edificio.

El aislamiento exterior del edificio es fundamental a la hora de obtener un buen comportamiento energético del edificio, por lo que es importante partir de un buen diseño que incluya el aislamiento tanto de las paredes, las ventanas, el suelo y el techo, de forma que se minimicen las pérdidas a través de los cerramientos del local.

Con el trabajo se pretende comparar la inversión monetaria a realizar *versus* el beneficio obtenido a través de reemplazar las instalaciones eléctricas antiguas por unas que generen ahorro energético; así creando un estudio verídico que nos indicará que, para generar ahorro energético se deben hacer grandes inversiones, pero darán beneficios notorios tanto económicos como ambientales. Entonces, ¿será posible lograr un ahorro energético significativo reacondicionando las instalaciones eléctricas de un centro comercial?

### **1.3. Justificación del trabajo de investigación**

El elevado coste que actualmente representa la energía y la necesidad de la conservación medioambiental y del entorno ecológico, hacen que sea de gran importancia el análisis de los criterios de diseño y de operación de todas aquellas actividades que requieran para su funcionamiento consumos de energía significativos.

El objetivo de reducción de la demanda de energía implica la necesidad de mejorar la eficiencia energética en los establecimientos existentes en el sector del comercio, tanto a nivel de instalaciones, como a nivel de uso y funcionamiento. Se realizará un análisis de las medidas de ahorro energético

aplicables a los establecimientos comerciales, que van desde las medidas más sencillas de aplicación como sustitución de lámparas, hasta las más complejas, como los sistemas de gestión energética.

En vista de los aumentos y la situación energética que atraviesa el país, que por ende lleva al aumento en la factura eléctrica del centro comercial Mega Plaza, se tuvo necesidad de iniciar un proyecto cuya finalidad es reducir el consumo de energía eléctrica, así como también los costos. Este proyecto contempla la elaboración de todas las posibles estrategias a seguir para optimizar el uso de la electricidad, a través de un programa de ahorro dirigido a una instalación comercial, que está siendo afectado por la situación económica del país.

Los incesantes recortes presupuestarios han llevado a la instalación comercial a no realizar las inversiones necesarias para cumplir con un funcionamiento óptimo, tal es el caso del servicio eléctrico, que cada día presenta el problema de derroche de energía eléctrica y la despreocupación por parte de todo el personal que labora en dicha institución, afectándolos de manera directa.

Este trabajo presenta alternativas de ahorro de energía eléctrica utilizados en el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas de Mega Plaza, porque se demostró que los mismos producen mayor impacto en el consumo de energía en el comercio, en general, estaría consumiendo menos, resultando un equilibrio entre oferta y demanda de energía, con un consecuente ahorro.

### **1.3.1. Importancia del trabajo de investigación**

La gran importancia de realizar una gestión energética adecuada en el centro comercial surge como una necesidad frente a una serie compleja de factores y condiciones de contorno, entre los que se pueden destacar, por un lado, la tendencia alcista en los precios del suministro energético, unido a una alta variabilidad de los mismos, factor que incorpora nuevos parámetros en los análisis de viabilidad técnico-económico precisos.

El incremento de los precios de la energía<sup>3</sup>, así como la incertidumbre de su suministro, ha hecho que los estudios integrales de energía sea una importante estrategia para los comercios alrededor del mundo. Al realizarse el estudio integral de energía se desarrollará e implementará un programa sistemático para la gestión de la energía.

El estudio aporta dos ventajas importantes: una mayor protección ante los problemas de suministro de la energía y beneficios superiores por reducción de costos de energía. Una planificación cuidadosa puede minimizar los riesgos de un futuro energético cambiante, aproximadamente un 20 por ciento. Todos los comercios deben prepararse ante la posible escasez o interrupciones en el suministro de energía.

Primeramente, los problemas potenciales de suministro deben ser vigilados para determinar la probabilidad de que ocurran realmente y qué impacto podrán tener en las actividades del centro comercial Mega Plaza.

Después, deben establecerse planes específicos para asegurarse el suministro de energía ante los casos previstos de máxima emergencia. Con

---

<sup>3</sup> Según administradores de Mega Plaza. (No proporcionaron datos históricos).

estas estrategias, el centro comercial Mega Plaza puede ayudar a mantener sus ganancias estables y evitar la pérdida de ventas derivados de estos problemas de suministro de energía.

El reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas es una estrategia importante para mejorar la rentabilidad, ya que en algunas industrias los costos de energía representan un gran porcentaje del costo de producción total. Pero la energía es el aparato cuyos costos crecen más rápidamente y uno de los pocos costos que pueden ser realmente controlados por expertos en el uso de la energía. A través de los estudios de energía, el centro comercial puede implantar un programa sistemático para utilizar eficientemente la energía y ahorrar dinero.

Se considera de vital importancia el estudio de la climatización del centro comercial, así como la iluminación del mismo, dado que un análisis en profundidad de estos aspectos puede conducir a un muy importante ahorro energético, además de una mayor calidad en la utilización del centro comercial, integrando nuevos sistemas y equipos de alta eficiencia energética.

#### **1.3.1.1. Delimitación**

El trabajo de graduación se llevará a cabo en la empresa Ingeniería y Construcción Eléctrica, S. A., el cual está llevando a cabo el proyecto del reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas del centro comercial Mega Plaza ubicado en el municipio de Estanzuela, departamento de Zacapa en el kilómetro 140,5 ruta CA-10.

Grupo de Ingeniería y Construcción Eléctrica S. A. fue fundado en marzo de 1989, con el propósito de proyectar, diseñar, ejecutar y prestar asesorías de

consultoría a las diferentes aplicaciones en el campo de las ingenierías eléctrica y electrónica.

Las principales áreas en que Grupo de Ingeniería y Construcción Eléctrica S. A. se ha posesionado están el diseño, construcción, montaje e interventora de:

- Líneas de transmisión y subtransmisión de energía.
- Redes de distribución de energías aéreas y subterráneas.
- Instalaciones internas de energía.
- Corrección de factor de potencia.
- Sistemas eléctricos completos en plantas industriales.
- Subestaciones de alta, media y baja tensión y su equipo asociado.
- Sistemas eléctricos asociados con centrales hidroeléctricas.
- Protección control y medida de sistemas eléctricos.
- Tableros de media tensión, centros de control de motores y tableros de distribución.
- Asesorías en la elaboración de especificaciones de equipos eléctricos, documentos de licitación y análisis de propuestas.
- Montaje, operación y mantenimiento de plantas diesel de emergencia.
- Mantenimiento y operación de sistemas eléctricos industriales y plantas hidroeléctricas.
- Instalaciones de energía, telecomunicaciones, sistemas de iluminación y semaforización.
- Construcción de canalizaciones subterráneas para extensión de redes de energía, telecomunicaciones y obras de infraestructura en concreto.
- Instalaciones para redes hospitalarias.

Además, la empresa presta servicios en la comercialización de todo tipo de materiales para la industria y la construcción.

## Servicios

La empresa se especializa en instalaciones nuevas, reparaciones y adiciones eléctricas, abajo se mencionan algunos servicios de esa especialización.

### Residencial

- Telefonía y automatismo
- Instalación y armado de tablero
- Sistema de bombeo (agua y cloacas)
- Portones eléctricos
- Iluminación de parques, jardines y piscinas

### Comercial

- Instalaciones eléctricas de oficinas, clínicas, entre otros
- Iluminación y diseño
- Equipos de luz de emergencia
- Urgencias las 24 horas
- Redes telefónicas y de cómputo
- Tableros de media y baja tensión

### Industrial

- Instalaciones eléctricas industriales
- Montajes industriales
- Tendidos de cables y ductos especiales
- Mantenimiento de motores
- Corrección de factores de potencia

- Emergencias de energía
- Automatización

### **1.3.1.2. Alcance**

Ahorrar energía eléctrica no es reducir el nivel de bienestar o grado de satisfacción de las diferentes necesidades, si no es dar lugar a una reflexión y un cambio en los comportamientos que conduzcan a un uso racional de la misma. Dado el uso racional y efectivo de la energía se logrará minimizar costos. Destacar las situaciones competitivas se presenta como el objetivo principal de un programa de ahorro de energía, donde se consideran estrategias para el ahorro, las áreas pertinentes al programa, presupuestos y estimaciones de ahorro, entre otros.

Para el caso específico del comercial Mega Plaza el programa de ahorro de energía eléctrica permitirá obtener el mejor costo beneficio de los sistemas de iluminación, ya que se considerará la sustitución de todas las luminarias que presentan bajo rendimiento, también se tratará de obtener un sistema de distribución de energía eléctrica que esté acorde a las normas de seguridad exigidas por el NEC, haciendo un balance total de todos los tableros eléctricos.

De esta manera se estarían resolviendo la mayoría de los problemas eléctricos que se presentan en el comercio. Asimismo, este trabajo de graduación contendrá los aspectos más relevantes sobre un alumbrado eficiente, donde se tiene: diseño eficiente y, bajo normas, uso apropiado de lámparas, balastos adecuados y mantenimiento frecuente al sistema eléctrico y opciones tarifarias mejores.

## **2. ANTECEDENTES**

Se presenta un marco teórico, donde se plantean los antecedentes de la investigación y las bases teóricas sobre los sistemas eléctricos; así como también una reseña del centro comercial Mega Plaza.

Usar la energía de manera eficiente permite realizar todas las actividades requeridas y ahorrar dinero. En las fortalezas, se notarán las ventajas en términos económicos y medioambientales que las medidas de eficiencia energética generan, sumadas a los beneficios a nivel país. Existen simples medidas que se puede implementar en el centro comercial Mega Plaza y así disminuir el consumo de energía eléctrica.

### **2.1. Centro comercial Mega Plaza**

Mega Plaza es un proyecto en una ubicación privilegiada, a 400 metros de distancia de la entrada al municipio de Estanduela. Comprende un área de influencia, muy importante, para lo que se integran empresas de gran prestigio como; El Gallo más Gallo, Restaurante el Establo, Biggest, Bullocks, Gimnasio Scandinavia, boliches, piscinas, canchas profesionales de la empresa Profutbol, cines, el registro de la propiedad y una variedad de comercios que complementan un lugar idóneo para realizar varias actividades de todo tipo.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> [www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza](http://www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza). Consulta: 12 de julio de 2012.

Figura 1. **Centro comercial Mega Plaza vista frontal**



Fuente: Centro comercial Mega Plaza. [www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza](http://www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza).  
Consulta: julio de 2012.

Figura 2. **Centro comercial Mega Plaza vista interior**

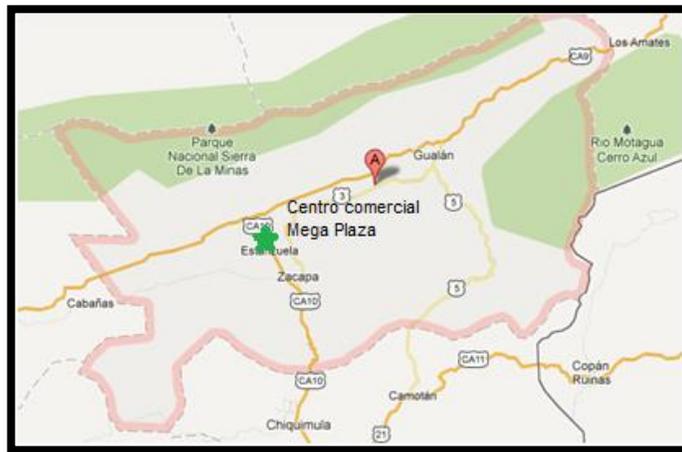


Fuente: Centro comercial Mega Plaza. [www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza](http://www.construgua.com/centro-comercial-mega-plaza).  
Consulta: julio de 2012.

### 2.1.1. Mapa con ubicación geográfica

Al hablar de ubicación geográfica del centro comercial Mega Plaza, se refiere a mostrar la ubicación gráfica del mismo. El municipio de Estanduela se localiza en la latitud de: 14°59'55" y longitud de 89°34'25", se encuentra a una altura de 195 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de 141 km de la ciudad capital y a 5 km de la cabecera departamental de Zacapa sobre la ruta CA-10 que conduce hacia Esquipulas.

Figura 3. Municipio de Estanduela, departamento de Zacapa



Fuente: Zacapa, Estanduela. [maps.google.com.gt/maps?hl=es&tab=wl](https://maps.google.com.gt/maps?hl=es&tab=wl).

Consulta: julio de 2012.

Figura 4. **Municipio de Estanzuela**



Fuente: <http://www.maplandia.com/guatemala/zacapa/zacapa/>. Consulta: noviembre de 2014.

### **2.1.2. Cuantificación eléctrica de Mega Plaza**

Los electricistas se encargan de la instalación de cables, la iluminación, los tomacorrientes y otros componentes eléctricos necesarios en los hogares y las empresas. Antes de que un electricista sea contratado, suele preparar un presupuesto indicando cuál será el costo del proyecto. Una estimación eléctrica representa el total de los costos de materiales, la mano de obra, los gastos generales y la ganancia y suele estar acompañado de una lista de los trabajos incluidos en el precio o cuantificaciones eléctricas.

Debido a la complejidad de los sistemas eléctricos, se necesita tener algunos conocimientos básicos y experiencia en este campo para preparar un presupuesto exacto.

Tabla I. **Cuantificación eléctrica de Mega Plaza**

<b>Cuantificación Final Mega Plaza 9 de Enero del 2012</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad instalada</b>	<b>Cantidad sin instalar</b>	<b>Total</b>
<b>Tomacorriente Twist Lock para mantenimiento, L5-15R, 120V</b>	24	0	24
<b>Tomacorriente doble polarizado para pasillos, 120V</b>	60	0	60
<b>Salidas para cámara</b>	23	0	23
<b>Salidas de sonido</b>	30	6	36
<b>Tomacorriente tipo péndulo para cámaras</b>	2	1	3
<b>Tomacorriente doble polarizado para plaza financiera, 120V</b>	6	0	6
<b>Iluminación ojos de buey de 2x30 en pasillos, 8"</b>	96	0	96
<b>Iluminación ojos de buey de 2x30 en plaza financiera, 8"</b>	14	0	14
<b>Iluminación luminaria para caja octogonal, empotrar 1 nivel PF</b>	0	14	14
<b>Iluminación ojos de buey de 2x30 en corredores y torres, 8"</b>	40	0	40
<b>Iluminación faroles tipo colonial, para columnas de pasillos</b>	80	0	80
<b>Iluminación faroles tipo poste, estilo colonial para plaza principal</b>	0	4	0
<b>Poste para iluminación exterior</b>	28	20	48
<b>Bases para postes de iluminación exterior</b>	31	17	48
<b>Luminarias para iluminación exterior</b>	54	41	95
<b>Bases, postes para iluminación que no se puede ejecutar</b>	0	33	33
<b>Luminarias que harían falta para instalar, porque no se pueden ejecutar</b>	0	54	54
<b>Paneles de contactores para control de iluminación exterior</b>	0	3	3
<b>Locales que posee Mega Plaza con instalaciones eléctricas</b>			
<b>Locales</b>	46	0	46
<b>El gallo más gallo</b>	1	0	1
<b>Kioscos</b>	18	0	18
<b>Locales del Food Court</b>	6	0	6

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.3. Generalidades**

Al hablar del sistema eléctrico del centro comercial Mega Plaza se refiere a los subsistemas de generación, subsistemas de distribución (primaria y secundaria) y las instalaciones eléctricas interiores.

Un sistema eléctrico está compuesto, en términos generales, por los siguientes subsistemas:

- Generación de energía
- Transmisión
- Subestaciones
- Distribución
- Consumo

Cada subsistema contiene, a su vez, diferentes componentes físicos. Por razones técnicoeconómicas, la energía se genera, transmite y distribuye, en forma trifásica.

- Generación

La energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas. Una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, que produce energía en corriente alterna sinusoidal a voltajes intermedios, entre 6 000 y 23 000 voltios.

- Transmisión

La energía se transporta, frecuentemente a gran distancia de su centro de producción, a través de la red de transporte, encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura de forma mallada, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido. Estas líneas están generalmente construidas sobre grandes torres metálicas y a tensiones superiores a 66 000 voltios.

- Subestaciones

Las instalaciones llamadas subestaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras (subestación elevadora) y en la periferia de las diversas zonas de consumo (subestación reductora), enlazadas entre ellas por la red de transporte.

- Distribución

Las redes de distribución de energía se encuentran en áreas urbanas y rurales, pueden ser aéreas, o subterráneas (estéticamente mejores, pero más costosas). La red de distribución está formada por la red en AT (suele estar comprendida entre 6 000 a 23 000 voltios) y en BT (400/230 V).

- Consumo

En los centros de consumo de la energía eléctrica, este se puede realizar en baja o alta tensión.<sup>5</sup>

### **2.1.3.1. Subsistema de generación**

Mega Plaza cuenta con 2 generadores de emergencia cada una de ellos de 300 KVA, esto para poder energizar solo y únicamente los tableros de mantenimiento los cuales suman en total 4.

Los generadores de emergencia pueden ser de tamaños muy variados. Existen 2 tipos de generadores de emergencia:

- Generadores de emergencia de reserva fijos: se instalan como parte del sistema eléctrico y tienen un interruptor automático.
- Generadores de emergencia móviles: se utilizan en el caso de pocos circuitos eléctricos.

Los aspectos básicos a tener en cuenta antes de comprar un generador de emergencia son: el clima, los productos delicados y la corriente de agua, hay que determinar los elementos necesarios en caso de emergencias y la suma total de vatios necesarios para determinar el tipo de generador que se necesite.

---

<sup>5</sup> [www.tuveras.com/lineas/sistemaelectrico.html](http://www.tuveras.com/lineas/sistemaelectrico.html). Consulta: 12 de julio de 2012.

Figura 5. **Generador de emergencia 300 KVA**



Fuente: Centro comercial Mega Plaza.

### **2.1.3.2. Subsistema de distribución primaria**

Mega Plaza está conectado a la red eléctrica del sistema nacional interconectado, empleando una línea primaria de 34,5 KV, luego por medio de la derivación hacia el centro comercial se utilizó cable tipo URD 1/0 para conectarse hacia los transformadores Pad Mounted y bajar la tensión de 34,5KV a 208/120 V.

- Análisis de flujo de carga

La mala regulación de voltaje y el bajo factor de potencia afectan negativamente el rendimiento de los equipos, la eficiencia del sistema eléctrico y el costo de energía. Las configuraciones operativas del sistema dan lugar a la desigualdad de distribución de cargas o sobrecargas de circuitos alimentadores.

El análisis de flujos de carga calcula la distribución de carga y los perfiles de tensión para examinar el rendimiento del sistema, determinando la eficacia de la regulación y corrección del factor de potencia.

Este análisis provee información fundamental para la toma de decisiones ante alguna contingencia, y sirve para evitar cargos por la compañía suministradora por bajo factor de potencia, conforme al artículo 64 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

El análisis de flujos de carga se realiza conforme a las recomendaciones del IEEE Std. 141. Utilizando el software de ingeniería EDSA.<sup>6</sup>

Como criterios generales para la selección de elementos se tienen:

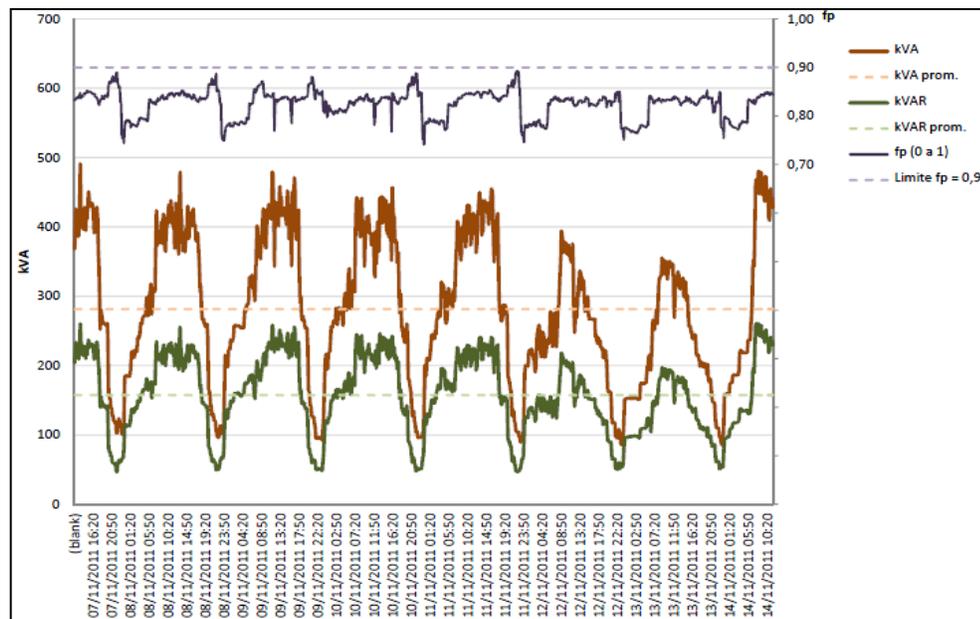
- Utilizar la menor cantidad de etapas de bloques de capacitores que cubran el rango de inyección de reactancia.
- La división de los pasos en bloques de capacitores de igual capacidad, además de simplificar la configuración tiene la ventaja de tamaños estandarizados para elementos de repuestos como fusibles o contactores.
- Los criterios para seleccionar la configuración de secuencia de capacitancias óptimas se basan en:
  - Menor demanda o mayor reducción de demanda en kVA.
  - Factor de potencia  $> 0,9$  (en atraso o inductivo) el mayor porcentaje del tiempo.
  - Factor de potencia en adelanto o capacitivo ( $kVAR < 0$ ) el menor porcentaje del tiempo.
  - Mínima magnitud de los kVAR capacitivos en sobrecompensación.

---

<sup>6</sup> [www.servelec.mx/analisis-de-flujos-de-carga.html](http://www.servelec.mx/analisis-de-flujos-de-carga.html). Consulta: 08 de enero de 2014.

- Promedio del factor de potencia próximo al valor objetivo o SETPOINT (SP).
- Menor rango de desviación del factor de potencia compensado, esto significa una curva lo más plana posible.
- El nuevo factor de potencia debe procurar permanecer sobre 0,9 durante más del 95 por ciento del tiempo.
- La proporción del tiempo total en cada paso debe ser repartida lo más equilibradamente, evitando pasos innecesarios que solo se usen esporádicamente.

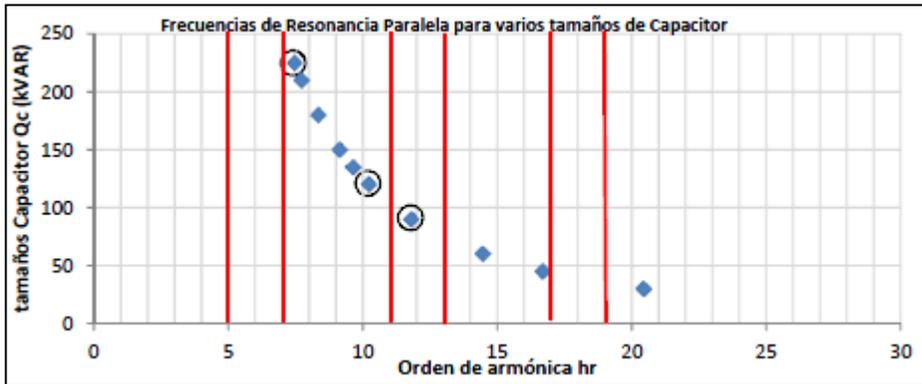
Figura 6. **Potencia activa (en kilovoltiamperio), potencia reactiva (kVAR) y factor de potencia fp durante ciclo de carga semanal**



Fuente: Datos obtenidos de Grupo de Ingeniería y Construcción Eléctrica.

Notas: Medidas basadas en valor eficaz (RMS) promedio de 10 min. Según IEC-61000-4-30. El factor de potencia esta siempre fuera del límite (<0,9), con valores más bajos en períodos de menor carga.

Figura 7. **Frecuencias de resonancia paralela para varios tamaños de capacitor**



Fuente: datos obtenidos de Grupo de Ingeniería y Construcción Eléctrica.

Aquí se puede ver como varía la frecuencia de resonancia u orden armónica (hr) del sistema al instalar diferentes tamaños de capacitores para la corrección del factor de potencia mediante la fórmula  $hr = \sqrt{(MVAsc/Qc)}$ .

Las líneas rojas representan los órdenes armónicos a evitar, especialmente 5ta, 7ma y 11va armónica. Para el PCC se estima el nivel de cortocircuito en 12,5 MVAsc basados en la capacidad del transformador (750 kVA) aguas arriba, su impedancia asumida de ( $Z=5,23\%$ ) y en un nivel de cortocircuito del primario asumido en 100 MVAsc.

Se consideran los siguientes límites para los capacitores según IEEE 18-2002. La mayor posibilidad de un evento de resonancia se consigue alrededor de la armónica de 7mo orden al aplicar una compensación reactiva trifásica de 225 kVAR, y en la armónica de 11vo orden al aplicar compensaciones reactivas trifásicas de 90 o 120 kVAR.

De acuerdo a los valores registrados de distorsión armónica, en el sistema eléctrico en estudio se obtiene que tenga baja contaminación armónica. Aplicando simulaciones con el máximo espectro de armónicas individuales existente, con 420 kW de potencia activa máxima registrada y para todas las combinaciones de capacitancia (30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 210, 225 kVAR) evaluadas en la corrección del factor de potencia, no se producirán puntos de resonancia paralela con el sistema y el nivel tensión estará en valores tolerables por los capacitores.

Para el presente caso, la mejora del factor de potencia puede ser lograda simplemente mediante compensación de reactivos a través de bancos de capacitores conectados en forma escalonada y automática, asumiendo se adopte una solución basada en compensación central desde el punto de acople común (PCC).

De decidir efectuar una mejora del factor de potencia, para lograr resultados óptimos se estima utilizar un equipo de compensación reactiva automática de secuencia binaria para la inyección de reactivos capacitiva, el cual permitirá incrementar este parámetro a valores de hasta 0,95 de acuerdo a la integración de kW/kVA durante el período semanal.

La configuración recomendada para el equipo es dos bloques de capacitancia 480 V: uno de 30 (3x10) y el siguiente de 60 (3x20) kVAR en conexión Delta.

## **2.2. Antecedentes de sistemas de ahorro de energía**

Los sistemas de control de una instalación son de los medios más eficaces para la reducción del consumo de energía, ya que si funcionan adecuadamente ayudan a garantizar que la vivienda opere en conjunto del modo indicado.

La incorporación de medios pasivos para el mejoramiento de las condiciones ambientales de las viviendas puede resultar relativamente sencilla y factible de ser aplicada en el reacondicionamiento. No obstante, se piensa que, si se quieren garantizar unas condiciones de confort y ahorro energético aún mayores, podría llevarse a cabo la implementación de sistemas activos, lo cual puede resultar algo más complejo, principalmente, por la incorporación de sistemas y tecnologías que en la actualidad requieren de gastos de adquisición, instalación y mantenimiento muy costosos.

Si bien al tomar en cuenta en el diseño de viviendas y otras edificaciones los principios bioclimáticos y de ahorro energético se puede reducir el consumo hasta en un 50 por ciento, con la incorporación de sistemas mixtos, donde se aprovechan las llamadas energías limpias para el funcionamiento de sistemas mecánicos de control ambiental en interiores, se puede alcanzar ahorros hasta de un 70 por ciento.<sup>7</sup>

En la actualidad se puede encontrar en el mercado un sin número de productos que ayudan a resolver muchos de los problemas generados a partir de un mal diseño o de una mala gestión de las viviendas. Los avances tecnológicos permiten, en muchos casos, mejorar las condiciones de confort energético en las edificaciones.

---

<sup>7</sup> [www.energia.ivace.es/attachments/guia\\_locales.pdf](http://www.energia.ivace.es/attachments/guia_locales.pdf). Consulta: 12 de julio de 2012.

Pero, en muchas ocasiones, estos sistemas no se incorporan en función del ahorro energético, ni de la posibilidad de integrar estos sistemas a los sistemas pasivos existentes, sino para modificar artificialmente las condiciones térmicas o lumínicas del interior.

Se cree que estas nuevas tecnologías podrían ser aplicadas de un modo más equilibrado. El objetivo de su incorporación en la vivienda no tendría que ser el de acondicionar artificialmente el interior, sino trabajar en equipo con los sistemas naturales de acondicionamiento.

En este sentido, se piensa que se puede incorporar nuevas técnicas para ayudar a generar un ambiente confortable como, por ejemplo, la utilización de sistemas informáticos de control, los que además de subir y bajar las persianas o cerrar y abrir las ventanas en los momentos adecuados según las condiciones climáticas, pueden funcionar como respaldo de los mecanismos reguladores de la ventilación o iluminación, puesto que ayudarían a evitar los cambios bruscos de temperatura, humedad o niveles lumínicos.

Además, permitirían controlar la vivienda en momentos en que no se encuentran los ocupantes para garantizar unas condiciones interiores óptimas cuando regresen a su hogar. Estos sistemas también pueden ofrecer ciertos servicios de seguridad, ya que, además de sistemas de detección de intrusos, de alarma, existen mecanismos para controlar los cierres o aperturas de válvulas de gas, agua, electricidad. Por otra parte, junto a los sistemas antes mencionados, se podrían señalar otras alternativas que permitirían unos determinados ahorros energéticos como puede ser la inclusión de sistemas de recogida de aguas de lluvia, tanto en los tejados como en los jardines, aguas que previamente depuradas pueden reutilizarse en el riego del jardín.

Igualmente, la incorporación de electrodomésticos de bajo consumo energético como lavadoras que ahorran agua en su lavado, refrigeradoras y lámparas de bajo consumo, así como reguladores de cargas y otros aparatos para el hogar, podrían ayudar a disminuir los elevados consumos energéticos que, en la actualidad, están generando tantos problemas, no solo a nivel de ciudad y comunidad, sino también a escala mundial.

Dentro de los sistemas artificiales de control lumínico, se deben tomar en cuenta dos aspectos relevantes. Uno, relacionado con el uso de la iluminación artificial de bajo consumo energético y, el otro, con los sistemas que gestionan y controlan esta iluminación artificial. En primer lugar, debe considerarse la incorporación de sistemas artificiales de iluminación que garanticen un reducido consumo energético. Asimismo, las lámparas deben garantizar una correcta iluminación general o específica de las zonas de trabajo de la cocina, los espejos, las áreas de lectura, etc. En todo caso, una de las ideas que puede ser manejada es la de aumentar la iluminancia específica sin elevar en gran cuantía la general, lo que permitirá una mayor calidad lumínica y ahorro energético.

En segundo lugar, se cree que tanto la incorporación de los sensores como de los sistemas generales de control podrá reducir el consumo energético debido a la iluminación artificial, al mismo tiempo que garantizará un aumento en la calidad de vida de quienes vivan o trabajen en estos espacios.

Estos sistemas de gestión permitirán administrar mejor el encendido y apagado de las luminarias, puesto que podrán ser controladas: por sensores de presencia, por un sistema general de control lumínico, o por las propias personas. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, la principal fuente luminosa debe ser el Sol, puesto que ofrece una serie de ventajas, tanto de tipo económico como psicológico.

### **2.3. Gráfica de incremento económico de la energía conforme el tiempo**

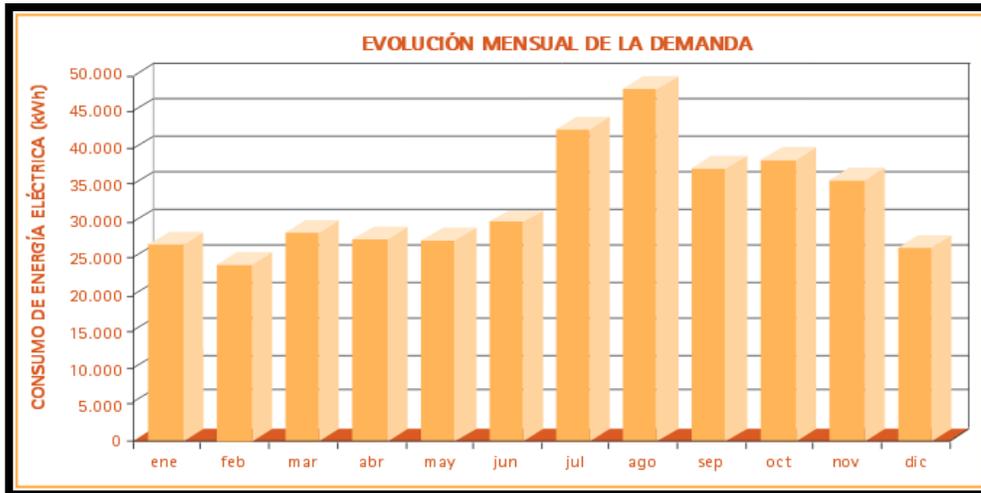
El crecimiento económico exige, forzosamente, la disponibilidad de recursos para la producción de material y la reproducción y ampliación de las capacidades físicas de producción. Uno de estos recursos fundamentales para el crecimiento económico viene a ser las fuentes de energía primaria.

Cuando no se observan cambios sustanciales de productividad factorial, el crecimiento económico, puede inducir incrementos proporcionales de demanda energética, para el consumo como el insumo. Mientras que un aumento de la productividad determinado por la introducción de nuevas técnicas y tecnologías en los procesos de producción, induciría variaciones de la demanda energética en menor proporción. La disponibilidad de energía primaria como restricción del crecimiento obliga, forzosamente, a la optimización en el consumo de ésta.

Los cambios en la productividad y en la eficiencia del consumo energético, se estiman a partir del cálculo del coeficiente de energía (CE) o coeficiente de eficiencia energética. Este mide el cambio esperado en el consumo de energía primaria cuando el PIB crece en un 1 por ciento. En términos de política económica, el CE mide la cantidad de energía primaria requerida por cada 1 por ciento de crecimiento esperado del PIB. La eficiencia energética, CE, se calcula dividiendo el consumo de energía primaria entre el PIB, para un período determinado.

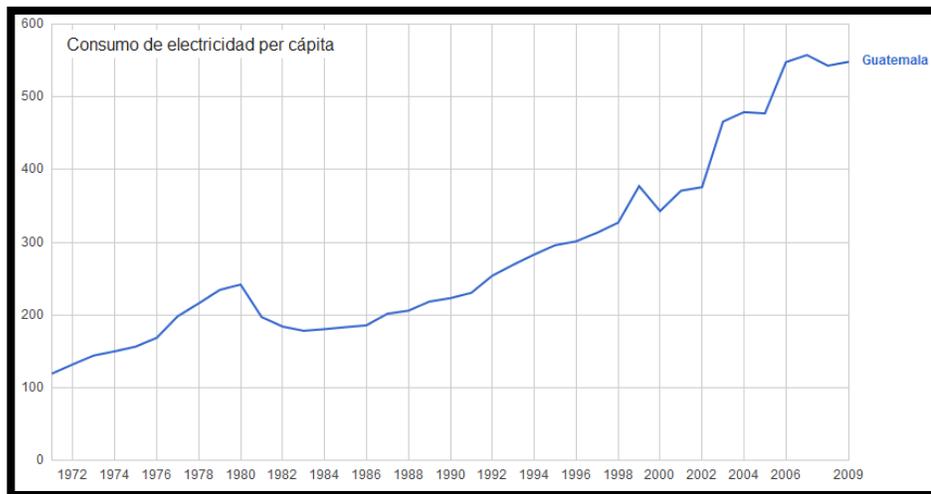
Si bien es cierto que ante un aumento del PIB debería esperarse un incremento proporcional en el consumo de energía primaria, los siguientes gráficos evidencian que, las variaciones presentadas por ambos indicadores no han sido proporcionales.

Figura 8. **Gráfica de incremento económico de la energía conforme el tiempo**



Fuente: elaboración propia.

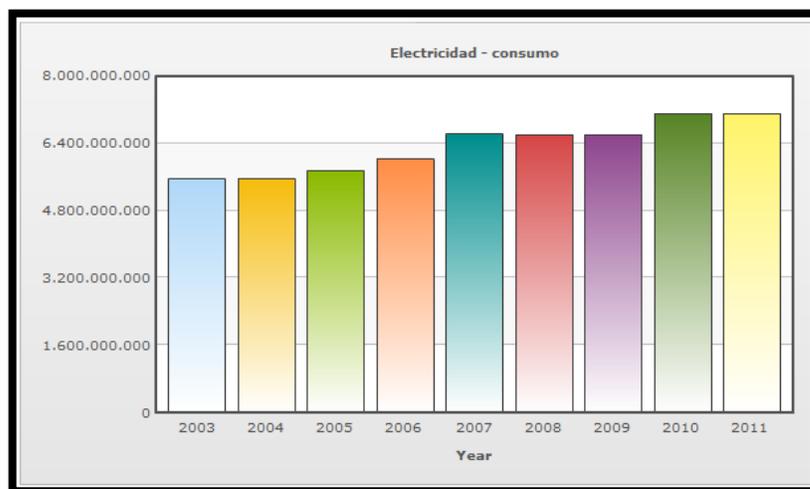
Figura 9. **Consumo de electricidad per cápita en Guatemala**



Fuente: gráfica de incremento económico de la energía conforme el tiempo.

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=195>. Consulta: julio 2012.

Figura 10. **Electricidad-consumo en Guatemala**



Fuente: electricidad-consumo. <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=195>.

Consulta: julio 2012.

Tabla II. **Electricidad-consumo en Guatemala**

Año	Electricidad - consumo	Posición mundial	Cambio porcentual	Fecha de la información
2003	5.559.000.000	102		2001
2004	5.559.000.000	102	0,00 %	2001
2005	5.760.000.000	99	3,62 %	2002
2006	6.025.000.000	98	4,60 %	2003
2007	6.625.000.000	98	9,96 %	2005
2008	6.617.000.000	99	-0,12 %	2006 est.
2009	6.617.000.000	99	0,00 %	2006 est.
2010	7.115.000.000	97	7,53 %	2007 est.
2011	7.115.000.000	96	0,00 %	2007 est.

Fuente: electricidad-consumo. <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=195>.

Consulta: julio 2012.

Definición: esta cifra consiste del total de electricidad generada anualmente más importaciones y menos exportaciones, expresada en kilovatios-hora. La discrepancia entre la cantidad de electricidad generada y/o importada y la cantidad consumida o exportada se contabiliza como pérdidas en transmisión y distribución.<sup>8</sup>

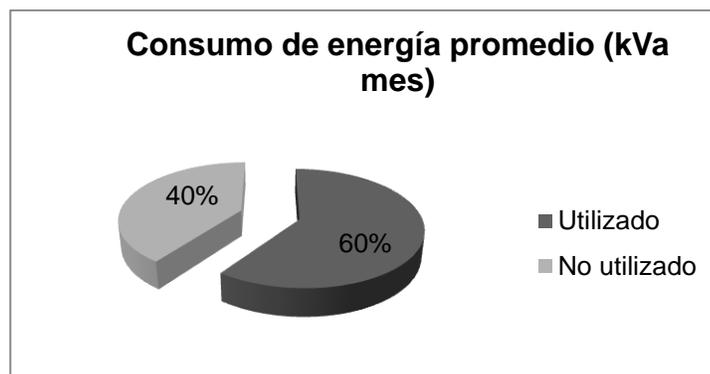
- En Mega Plaza

Tabla III. **Consumo de energía promedio (kilovoltiamperio/mes) del centro comercial Mega Plaza del período 2010-2011**

<b>Carga de Mega Plaza</b>		
Carga Instalada al 100 por ciento	1325	KVA
Carga Instalada al 60 por ciento	795	KVA

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Consumo de energía promedio (kilovoltiamperio mes) en Mega Plaza**



Fuente: elaboración propia.

<sup>8</sup> <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=195>. Consulta: 12 julio 2012.

## **2.4. Desarrollo de estrategias de proyectos de ahorro de energía**

En casi todas las instalaciones de una empresa puede descubrirse un número sorprendentemente grande de oportunidades para ahorrar energía, que varían desde las obvias, como el uso de apagadores, hasta sistemas que implican avanzadas tecnologías de conversión energética. La identificación de maneras de ahorrar energía requiere imaginación e ingenio, así como de un sólido conocimiento de los principios técnicos.

Esta labor consiste en encontrar modos de eliminar tareas innecesarias que consumen energía y de minimizar el trabajo requerido para realizar las tareas necesarias. Algunas estrategias que se pueden aplicar para eliminar tareas innecesarias son: mejores controles, eliminación de pérdidas del sistema y diversas modificaciones al sistema.

Las estrategias dirigidas a minimizar el trabajo requerido para tareas necesarias incluyen recuperación de calor en la conversión de energía y diversas modificaciones al sistema. Las estrategias de recuperación de calor varían, desde complejos sistemas para generar energía eléctrica o térmica, hasta simples termo cambiadores que se pueden usar para calentar agua con el calor de desecho del equipo.

Algunos ejemplos de incremento de eficiencia de conversión son motores más eficientes para convertir energía eléctrica en trabajo mecánico y, fuentes luminosas más eficientes para convertir energía eléctrica en luz. Algunas modificaciones al sistema que pueden reducir el trabajo requerido para realizar tareas como la utilización adecuada de conductores.

No hay un método fijo para descubrir todas las posibilidades de ahorro de energía en una instalación. El enfoque más común es revisar listas de medidas de conservación energética que hayan sido aplicadas en otros sitios. Sin embargo, aun cuando las listas de medidas son útiles, no pueden sustituir una planificación estratégica, eficiente y creativa.

Durante el proceso de identificación de oportunidades para proyectos de ahorro de energía, el paso inicial es concentrarse primero en las medidas de conservación no costosas. Se debe estimar el potencial de ahorro de estas medidas antes de evaluar otras de mayor costo. Luego se podrán hacer estimaciones del potencial de ahorro de las medidas más costosas, a partir del menor nivel de consumo energético que resultaría al implementar las medidas de bajo costo. Aunque esto parece obvio, ha habido numerosas ocasiones en las que se han aplicado medidas costosas, pero se han omitido alternativas más sencillas y baratas.

## **2.5. Medidas de bajo costo para proyectos de ahorro de energía**

Las medidas no costosas de conservación incluyen desactivar el equipo eléctrico cuando no se necesita, reducir los servicios de alumbrado y climatización hasta los niveles recomendados, reprogramar las operaciones que consumen mucha electricidad para realizarlas en horas de poca demanda, ajustar apropiadamente los controles del equipo y dar mantenimiento con regularidad. Estas medidas se pueden iniciar de inmediato, pero sus beneficios usualmente dependen de un esfuerzo permanente. Para garantizar buenos resultados, se necesita un programa de administración energética que asigne las responsabilidades de mantener estas medidas de bajo costo y de vigilar su eficacia.

En las empresas, con frecuencia es posible lograr ahorros energéticos muy grandes desconectando o desactivando los sistemas de alumbrado durante las horas inhábiles. Esto se puede hacer de manera manual o, en los proyectos de climatización, mediante reguladores horarios no costosos. Si ya hay instalados elementos de este tipo, se deben mantener en buen estado y poner apropiadamente a tiempo. Durante las horas de trabajo, se deben apagar las luces en áreas no ocupadas. El frecuente apagado y encendido de las lámparas causa cierta disminución en la vida de estas, pero tal acortamiento, generalmente no es significativo en comparación con los ahorros de energía. Como regla empírica, las luces se deben apagar en un espacio que vaya a estar desocupado durante más de 5 minutos.

Las mediciones de niveles de iluminación, temperaturas y flujos de aire, que excedan los niveles recomendados. Los niveles de iluminación se pueden reducir instalando lámparas de baja potencia o eliminando algunas de ellas. En las luminarias fluorescentes, excepto para lámparas de encendido instantáneo, o balastos o reactores, también se deben desconectar porque consumen energía aunque las lámparas hayan sido retiradas.

Debido a que la mayoría de compañías de servicio eléctrico cobran más por la electricidad durante los períodos de demanda alta, se pueden ahorrar cantidades considerables de dinero reprogramando la operación de algunos equipos. Como ejemplos de actividades que se han reprogramado para ahorrar costos de electricidad; están el encendido de hornos cerámicos eléctricos, la operación de bombas para piscinas, la pulverización final en plantas productoras de cemento y el bombeo de agua de pozos a tanques de almacenamiento.

## **2.6. Medidas costosas para proyectos de ahorro de energía**

Las más importantes adiciones, modificaciones o reemplazos de equipo consumidor de energía usualmente requieren de montos significativos de capital. Por consiguiente, estas medidas se someten a un escrutinio más minucioso antes de que la gerencia decida aplicarlas. Aunque el enfoque fundamental de eliminar tareas innecesarias y minimizar el trabajo que requieren las necesarias siga vigente, el auditor debe dedicar mucha más atención a las tareas de estimar costos y ahorros cuando considere las medidas costosas de conservación.

Solo se describirán algunas de las muchas medidas posibles que implican costo de capital. Estas acciones se han elegido porque ilustran algunos de los planteamientos más comunes del ahorro energético; sin embargo, no son apropiadas en todas las instalaciones y no representan la mayoría de los ahorros en muchos casos. Aunque el no haber realizado estas medidas al centro comercial Mega Plaza, le ha costado aproximadamente Q 100 000,00 en facturas eléctricas.

### **2.6.1. Sistemas de administración de energía**

Un sistema de administración de energía (SAE) (o EMS, de Energy Management System) es un sistema de control central computarizado para servicios a edificaciones, especialmente de climatización. Dependiendo de su complejidad, el SAE puede funcionar como un simple regulador horario (o interruptor de tiempo) para activar el equipo cuando sea necesario, cambiar automáticamente el ciclo de operación de un equipo eléctrico grande para reducir la demanda máxima, o programar la operación del sistema en respuesta a las tendencias de temperatura externa o interna.

Por ejemplo, se minimice el tiempo preliminar de calentamiento antes de que se ocupe un edificio por las mañanas. Aunque un sistema así puede ser un componente valioso de los sistemas complejos de servicio energético en empresas, se debe reconocer que las funciones de un SAE con frecuencia duplican los servicios de equipos menos costosos como reguladores horarios, controles de temperatura e interruptores manuales.<sup>9</sup>

### **2.6.2. Motores eléctricos más eficientes**

El reemplazo de los motores eléctricos comunes de potencia integral (de 1 HP o más) por motores de alta eficiencia producirá, por lo general, una mejoría en la eficiencia a plena carga. Aunque este ahorro es relativamente pequeño, el reemplazo de electromotores plenamente cargados puede seguir siendo económico para motores que operan de manera continua en áreas donde los costos de electricidad son altos. Los electromotores sumamente subcargados son mejores candidatos para reemplazo.

La eficiencia de los motores eléctricos comunes empieza a disminuir notablemente de carga, y su sustitución por un motor más pequeño de alta eficiencia puede producir una rápida ganancia. Los motores que deben funcionar con carga parcial durante una parte significativa de su ciclo operativo también son buenos candidatos al reemplazo, ya que los electromotores de alta eficiencia suelen tener mejor rendimiento a carga parcial que los ordinarios.

---

<sup>9</sup> <http://www.acee.com.mx/index.php/sistema-de-administracion-de-energia>. Consulta: 13 de julio de 2012.

Los motores de alta eficiencia (de inducción) normalmente giran con mayor rapidez que los comunes al mismo régimen de velocidad, pues operan con menos deslizamiento. La instalación de un motor de alta eficiencia para impulsar un ventilador o una bomba de agua puede incrementar en realidad el consumo de energía debido al aumento de velocidad, ya que la potencia consumida en ventiladores y bombas crece con el cubo de la velocidad. Las poleas en una impulsión de ventilador o de bomba de agua se deben ajustar o cambiar para evitar este problema.<sup>10</sup>

### **2.6.3. Sistemas de iluminación más eficientes**

El cambio de aparatos de alumbrado a fuentes luminosas más eficientes suele ser práctico cuando las luces se usan durante una porción significativa del año. El uso de reactores o balastos ahorradores de energía en lámparas fluorescentes proporciona una reducción en el consumo de potencia por ese concepto, pero el costo se puede justificar por los ahorros en el costo de energía si las luces están encendidas la mayor parte del tiempo.<sup>11</sup>

Los controles de alumbrado adicionales, como los atenuadores automáticos de iluminación, pueden reducir el consumo de energía aprovechando mejor la luz diurna. También se debe dedicar atención a la eficiencia de las luminarias y (en iluminación de interiores) a la eficiencia de las paredes para dirigir luz a las áreas donde se necesita.

---

<sup>10</sup> <http://www.acee.com.mx/index.php/sistema-de-administracion-de-energia>. Consulta: 13 de julio de 2012.

<sup>11</sup> *Ibíd.*

### **3. MARCO METODOLÓGICO UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DEL REACONDICIONAMIENTO ELÉCTRICO DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA**

A continuación se comprenderá el tipo y diseño de la investigación, la población o universo de estudio, así como los instrumentos y técnicas de recolección de la información.

El marco metodológico ayudará a entender qué herramientas se utilizaron para poder hacer un mejor análisis de la situación en la que se encuentra actualmente el centro comercial Mega Plaza y cómo se puede mejorar la misma con el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas del centro comercial.

#### **3.1. Análisis económico**

El análisis económico de proyectos de inversión tiene por objetivo el estudio de la evolución de los resultados de la empresa y de la rentabilidad de los capitales empleados. La evaluación económica constituye una herramienta muy importante para la investigación, pues esta se debe tomar a partir de amplio análisis que cubra los aspectos técnicos, económicos, financieros de riesgo e intangibles.

El análisis económico cash flow, se efectúa manejando el modelo económico del proyecto, constituido por la sucesión temporal de flujos de fondos positivos y negativos, que determinan el posible atractivo económico del proyecto.

Para que el análisis económico sea completo es preciso considerar el valor temporal del dinero, dada la importancia de ocurrencia de los flujos de fondos en el tiempo. La construcción del modelo económico del proyecto se apoya en planteamientos hipotéticos que se traducen en proyecciones futuras.<sup>12</sup>

### **3.1.1. Costos de oportunidad**

La evaluación económica de un proyecto de inversión mediante la determinación de los fondos generados menos los fondos absorbidos, requiere una estimación del coste de utilización de los activos involucrados en el proyecto. Para ello, es indispensable considerar las alternativas reales existentes, para la utilización de dichos activos.

En este sentido los únicos costes aplicables en el análisis económico son los costes de oportunidad, entendiendo como tal es la mejor remuneración real alternativa a la que se puede optar para el activo incorporado al proyecto, es decir, la decisión de invertir en el proyecto implica el sacrificio de los ingresos que se hubieran podido obtener en otras aplicaciones de estos mismos recursos. Por tanto, el coste de oportunidad es el mayor beneficio sacrificado.<sup>13</sup>

Es evidente que en aquellos activos que se obtienen mediante alquiler o compra en un mercado abierto, el coste de oportunidad coincide con el pago realizado.

---

<sup>12</sup> [www.maf.fcecon.unr.edu.ar/index.php/component/content/article/54](http://www.maf.fcecon.unr.edu.ar/index.php/component/content/article/54). Consulta: 13 julio de 2012.

<sup>13</sup> *Ibíd.*

### 3.1.2. Valor temporal del dinero

Para realizar una correcta evaluación de los flujos de fondos de un proyecto, es preciso tener en cuenta el valor cronológico del dinero. El origen de este concepto estriba en que el dinero tiene un coste de utilización significativo, por un lado, dicho coste se puede presentar en forma de intereses que es necesario desembolsar si ha sido prestado o bien como el coste de oportunidad equivalente a los intereses que se obtendrían de otras aplicaciones.

Por consiguiente, dado un cierto capital se podrá disponer de él incurriendo en coste de oportunidad o, por el contrario ceder su uso durante un período de tiempo, recibándose a cambio unos intereses por la falta de disponibilidad de dicho capital.

Habitualmente se trabaja con una tasa de interés que se expresa como un porcentaje del capital y que se refiere a un cierto período de tiempo.<sup>14</sup>

En términos matemáticos se dan las siguientes fórmulas:

$$F = P(1 + i)^n$$

$$F = Ax \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$P = Ax \frac{(1 + i)^n - 1}{ix(1 + i)^n}$$

---

<sup>14</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 81.

Donde:

F = valor futuro

P = valor presente

A = amortización

Ejemplo

Para corregir el problema de banco de condensadores se necesita una inversión de Q 179 639,46 considerando la pérdida de Q 31 903,29

Donde:

F = valor futuro

P = valor presente

A = amortización

$n = 5$  meses

Inversión= Q. 179 639,46

$i = 2,5$  % mensual

$$F = 179\,639,46(1 + 0,025)^5 - 31\,903,29(1 + 0,025)^5 = 203\,245,56 - 36\,095,64 \\ = 167\,149,92$$

Para corregir el problema de condensadores realizando una inversión de Q 179 639,46 considerando la pérdida de Q 31 903,29 se obtiene que el gasto real del dinero en el tiempo sea de Q 167 149,92.

### **3.1.3. Tasa de actualización**

Los flujos de fondos de cualquier proyecto que se analice se deben actualizar con un tipo o tasa que debe ser igual a la rentabilidad mínima aceptable (TREMA) de esta forma al actualizar dichos flujos el proyecto sería aceptable, según que el valor actualizado neto total resultase positivo o negativo.

En condiciones de capital disponible para invertir limitado, que es el caso más frecuente, la TREMA equivale a la rentabilidad del proyecto más atractivo pendiente de financiar dentro de la cartera de proyectos que la empresa posee. En términos económicos la TREMA es el coste de oportunidad del capital que representa la rentabilidad de otras oportunidades de inversiones existentes y no desarrolladas. De otro modo representa también el valor del capital para la empresa ya que es el fruto que esta podría obtener mediante su inversión.<sup>15</sup>

### **3.1.4. Criterios de evaluación**

Para llevar a cabo la valoración económica de los proyectos existen diferentes métodos que puede clasificarse en dos grandes grupos, según que tengan en cuenta o no el valor temporal del dinero. Los cuales son: los métodos estáticos y los métodos dinámicos.

---

<sup>15</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 39.

- Métodos estáticos

Estos métodos se caracterizan por tomar en consideración el factor tiempo. Ello quiere decir que para estos métodos el momento en que se produzca el flujo de fondos (positivo o negativo) es irrelevante. Tan solo se toma en consideración la cuantía de ese flujo de fondos.<sup>16</sup>

Actualmente, ese planeamiento resulta muy simplista, dentro de un contexto de tipos de interés generalizadamente altos. No obstante se van a exponer los principales criterios, ya que algunos de ellos aportan indicadores muy útiles y significativos o se siguen utilizando con frecuencia. Dentro de este grupo se consideran los métodos clásicos: el período de retorno de la inversión y el del rendimiento de la inversión.

- Período medio de recuperación de inversión (PMRC)

También es denominado *payback time* o *payoff*. Se trata de calcular el número de años que son necesarios para recuperar la cantidad de dinero invertida en el proyecto. Para ello se suman algebraicamente los flujos de fondos positivos de los diferentes períodos hasta llegar a aquel en que iguale la cantidad monetaria invertida.

Este criterio es muy fácil de aplicar siendo adecuado en situaciones de incertidumbre o de limitaciones financieras. Entre los inconvenientes que presenta este criterio los principales son: no valora adecuadamente la influencia del tiempo, no considera la vida del proyecto ni lo que ocurre transcurrido el tiempo de reembolso de la inversión y no cuantifica adecuadamente la rentabilidad.

---

<sup>16</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 58.

- Rendimiento de la inversión

Existen diversos conceptos y fórmulas sobre el rendimiento de la inversión o rentabilidad simple: beneficios, flujo de fondos, márgenes, etc. Que hace años se utilizaban para valorarla. Hoy los métodos dinámicos o con actualización se han impuesto de tal forma que la mayor parte de esos criterios estáticos, han quedado en desuso.

Entre los que se siguen empleando destaca el siguiente:

EL ROI *Return on Investment* cuya fórmula es:

$$\frac{\frac{\sum C_j + A_j}{n}}{\frac{(I_o + I_f)}{2}}$$

Donde:

$C_j$  = flujos netos en el año  $l$

$A_j$  = amortizaciones en el año  $l$

$I_o$  = inversión inicial

$I_f$  = inversión final (total)

$n$  = número de años

Ejemplo

La primera información que hay que tener para calcular el ROI es el retorno de la inversión. En este ejemplo, es de Q 547 821,89.

Después, se necesita saber cuál fue la inversión inicial. En este escenario, se invirtieron Q 179 639,46 en el problema de banco de condensadores.

Ahora es el momento de establecer la ecuación.  $ROI = (Q\ 547\ 821,89 - Q\ 179\ 639,46)$  dividido entre  $Q\ 179\ 639,46$ , multiplicado por 100.

Una vez que la ecuación está configurada, se puede calcular el ROI. En este caso, la respuesta es 205 por ciento, lo que significa que el centro comercial tiene un retorno del 205 por ciento de su inversión.

Se trata pues de unos criterios que ofrecen la ventaja frente al período de retorno de tomar en cuenta todos los flujos de fondo del proyecto, sin embargo olvida el elemento de riesgo que supone que dichos flujos se produzcan con mayor o menor lentitud. Ambos criterios olvidan el elemento financiero.<sup>17</sup>

- Métodos dinámicos

Este grupo de métodos tiene como característica fundamental que toman en consideración el momento en que se produce cada flujo de fondos. Siempre es preferible percibir una suma de dinero hoy que mañana, el dato que mide la devaluación del dinero como consecuencia de la espera, esto es, el precio que hay que pagar por disponer del dinero actual, frente a la alternativa de hacerlo dentro de un período y tiempo dado es el interés.

---

<sup>17</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 68.

La característica general que presentan los criterios con actualización es la introducción del concepto interés. No todos lo hacen de la misma forma, pues unos emplean directamente el tipo de interés TREMA, mientras que otros calculan un tipo de interés propio para comparar, el del dinero con el de otras inversiones.<sup>18</sup>

- Tasa Interna de Retorno (*TIR*)

La tasa de rentabilidad interna de un proyecto, también llamada *Internal rate off return*, aquel valor de la tasa de actualización que hace igual a cero el flujo de fondos acumulado, actualizado al final de la vida del proyecto se trata de hallar el valor de  $i$  para el cual se cumple :

$$\sum \frac{C_j}{(1+i)^n} - C_o = 0$$

Siendo:

$C_o$  = valor de la inversión inicial

$C_j$  = valor de flujos correspondiente al período  $n$

$i$  = tasa de la rentabilidad interna

La TIR puede definirse como la tasa a la que se remuneran los fondos invertidos en un proyecto de manera que al final de la vida del mismo se hayan recuperado dichos fondos y los intereses devengados cada año por el saldo acumulado pendiente de recuperación.

El criterio de selección de un proyecto será pues el siguiente:

---

<sup>18</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 78.

Un proyecto será aceptable económicamente cuando su TIR sea mayor que la TREMA. Como en el método del VAN, se tiene en cuenta el factor tiempo. En el polinomio del cual se deduce la tasa de rentabilidad interna tienen menos valor los flujos monetarios cuanto más alejados se hallen en el tiempo.

De lo expuesto se deduce que el criterio de la TIR tiene dos ventajas fundamentales:

Mide el atractivo económico de los proyectos con un indicador fácil de comprender y juzgar y permite ordenar los proyectos según sus rentabilidades, independientemente del tamaño de los mismos.<sup>19</sup>

### Ejemplo

Una inversión requiere un desembolso inicial de Q 179 639,46, generando unos flujos de caja mensuales de Q 80 500,60 en el primer año, Q 20 898,20 en el segundo y Q 26 732,74 en el tercero, siendo la tasa de descuento utilizada para valorar la inversión del 5 por ciento.

$$0 = 179\,639,46 + \frac{80\,500,60}{(1+r)} + \frac{20\,898,20}{(1+r)^2} + \frac{26\,732,74}{(1+r)^3}$$

$$r = 8,53\%$$

Por tanto, la inversión es efectuable según la TIR ya que genera una rentabilidad superior a la exigida (8,53 % > 5 %).

---

<sup>19</sup> BLANK y TARQUIN, *Ingeniería económica*, México, Mc GrawHill, 2006, p. 179.

### **3.2. Caracterización de los proyectos de ahorro energético**

Como se ha dicho anteriormente, no hay un método fijo para descubrir todas las posibilidades de ahorro de energía en una instalación. El enfoque más común es revisar listas de medidas de conservación energética, sin embargo, aun cuando las listas de medidas son útiles, no pueden sustituir una planificación estratégica inteligente.

Esta planificación estratégica consiste en la identificación de oportunidades de ahorro de energía y la aplicación de medidas de corrección costosas y no costosas, para el caso del centro comercial Mega Plaza, estas se clasificarían en: medidas de bajo costo, el análisis de tarifa de la energía, las cuestiones organizacionales y de conducta del personal y las medidas de alto costo, estaría: en los bancos de capacitores, capacidad de los conductores, eficiencia de los motores, sistemas de iluminación , intercambiadores de calor, gestión de la energía eléctrica.



## **4. SITUACIÓN ACTUAL DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA**

Se presenta un marco diagnóstico de la situación eléctrica que tiene la institución actualmente, para tener una referencia de cómo funcionan los equipos; además se muestra la demanda eléctrica de las instalaciones de dicho comercio, haciendo énfasis en los sistemas de iluminación.

La información recolectada para poder hacer el diagnóstico, servirá para hacer un análisis FODA al final del capítulo, el mismo permitirá tener un mejor enfoque de qué proyectos se llevarán a cabo para tener resultados óptimos.

### **4.1. Medidas de bajo costo en el centro comercial Mega Plaza**

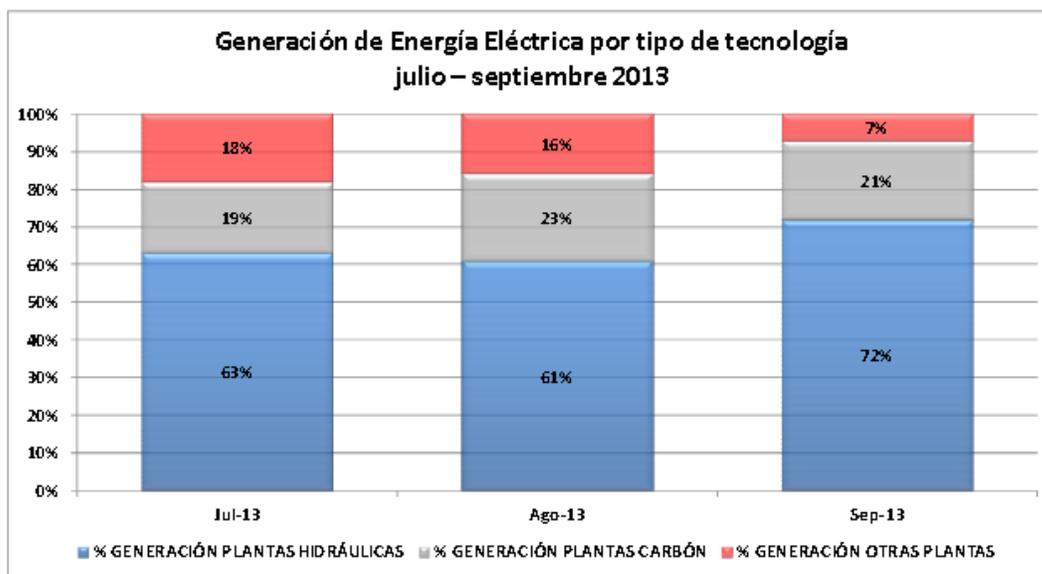
Como medidas de bajo costo se toman en cuenta: el análisis de la tarifa de energía, las opciones tarifarias y las opciones de aplicación. Se les llama medidas de bajo costo, ya que no son cifras elevadas de capital las que se utilizan para ejercitarlas.

Se analizan las opciones tarifarias, ya que en Guatemala existen diversos tipos de opciones tarifarias que ayudan a comercios grandes, o a fábricas, a no tener un pago muy elevado por su factura eléctrica; al tener ya estudiadas las diferentes opciones tarifarias se verán las opciones de aplicación que más le convengan al centro comercial Mega Plaza.

#### 4.1.1. Tarifa de energía

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) informa que debido a los resultados del presente invierno y los avances en la diversificación en la matriz eléctrica que hoy refleja una mayor utilización de generación hídrica y de carbón, así como a actuales precios de compra de las distribuidoras, los cuáles han mostrado una reducción de costos entre el 7 al 23 por ciento (promedio 14 %), todas las categorías tarifarias mostrarán una baja para el trimestre de noviembre de 2013 a enero de 2014.<sup>20</sup>

Figura 12. **Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología en Guatemala**



Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

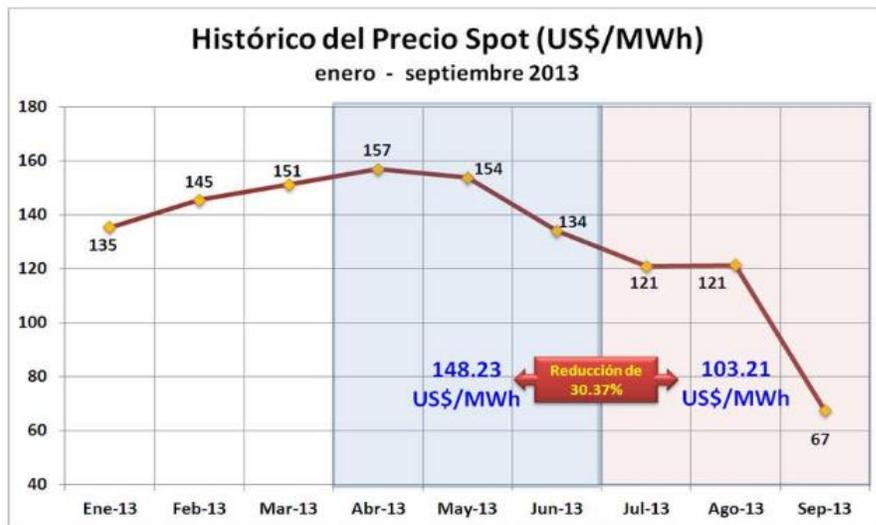
[www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

<sup>20</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

En la figura 12 se mostró la mezcla de tecnologías que determinó el precio de oportunidad de compra de las distribuidoras para el referido trimestre. Además, esta combinación tecnológica, en la matriz energética y el presente invierno, incidió directamente en el precio de oportunidad de la energía (*Spot*) resultando en una rebaja de 30,37 por ciento respecto al trimestre anterior.

Por lo tanto, el ajuste tarifario que se aplicará para el trimestre de noviembre 2013 a enero 2014, se calculó tomando como base las compras de energía realizadas por las distribuidoras EEGSA, DEOCSA y DEORSA durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2013. Derivado de lo anterior, las tarifas de distribución de energía eléctrica de EEGSA, DEOCSA y DEORSA, vigentes para los meses de noviembre 2013 a enero 2014, son las siguientes:

Figura 13. **Histórico del precio spot en Guatemala en el 2013**



Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

- Tarifa social

Según lo informado por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), para la facturación de noviembre 2013, los usuarios de las distribuidoras EEGSA, DEOCSA y DEORSA, seguirán gozando del ajuste INDE, de manera que pagarán: 0,50 Q/kWh para los usuarios con consumos de 1 a 50kWh al mes, que corresponde al 42 por ciento de familias guatemaltecas; 0,75 Q/kWh para los usuarios con consumos de 51 a 100 kWh al mes que corresponde al 29 por ciento de familias guatemaltecas, y 1,85Q/kWh por los primeros 100 kWh de consumo para los usuarios con consumo de 101 a 300 kWh al mes que corresponde al 23 por ciento de familias guatemaltecas. Finalmente, el 94 por ciento de familias guatemaltecas mantendrán estables sus tarifas e incluso podrán percibir una rebaja.<sup>21</sup>

Figura 14. **Tarifa social de energía eléctrica en Guatemala**

Tarifa social				
DIST.	Ago - Oct 13 (Q/kWh)	Nov 13 - Ene 14 (Q/kWh)	VARIACIÓN UNITARIA	VARIACIÓN %
DEOCSA	2.028451	2.017273	-0.011178	-1%
DEORSA	1.927234	1.916604	-0.010630	-1%
EEGSA	1.801288	1.713949	-0.087339	-5%

Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

<sup>21</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

- Tarifa no social

Con el propósito de mantener el objetivo de estabilidad tarifaria definido por el Ministerio de Energía y Minas, las tarifas sociales se continuarán beneficiando de un aporte extraordinario del INDE de Q 43,9 millones y con base en las disposiciones del artículo 87 del RLGE, la recuperación de saldos para el siguiente trimestre queda de la siguiente manera: EEGSA 100,12 MQ a favor de los usuarios y para DEOCSA y DEORSA, 92,02 MQ a favor de los usuarios de las tarifas no sociales y de 18,68 MQ perteneciente a la distribuidora para las tarifas sociales.<sup>22</sup>

Figura 15. **Tarifa no social de la energía eléctrica en Guatemala**

Tarifa no social				
DIST.	Ago - Oct 13 (Q/kWh)	Nov 13 - Ene 14 (Q/kWh)	VARIACIÓN UNITARIA	VARIACIÓN %
DEOCSA	1.812077	1.802087	-0.009990	-1%
DEORSA	1.970663	1.925098	-0.045565	-2%
EEGSA	1.828037	1.774617	-0.053420	-3%

Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

<sup>22</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

- Clientes en media (MT) y baja tensión (BT)

Son clientes en media tensión (MT) aquellos que están conectados con su empalme a redes cuya tensión de suministro es superior a 1 kV (kV = kilovoltio) y menor a 30 KV. Son clientes en baja tensión (BT) aquellos que están conectados a redes cuya tensión de suministro es igual o inferior a 1 kV.

Los consumos de clientes en media tensión (MT) podrán ser medidos, tanto en media como en baja tensión. En este último caso, se considerará un recargo por pérdidas de transformación, equivalente a un 2 por ciento para el sector típico 1 y de 2,5 por ciento para los otros sectores, en el monto total consumido en unidades de potencia y energía.<sup>23</sup>

- Clientes con tensiones de suministro superiores a media tensión (MT)

Las tarifas para aquellos clientes de servicio público de electricidad, cuyos suministros se efectúen en tensiones iguales o superiores a 30 kV, se obtendrán con la metodología y criterios regulados para los precios en barra según el boletín.

- Horas de punta (HP) y fuera de punta (HFP)

Se entenderá por horas de punta (HP) el período comprendido entre las 18:00 y 23:00 horas de cada día de todos los meses del año, exceptuándose a solicitud del cliente, los días domingo, días de descanso que correspondan a

---

<sup>23</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

feriados y feriados que coincidan con días de descanso, siempre y cuando el cliente asuma los costos de inversión para la medición adicional.

Se entenderá por horas fuera de punta (HFP) al resto de horas del mes no comprendidas en las horas de punta (HP).<sup>24</sup>

- Demanda máxima

Se entenderá por demanda máxima al más alto valor de las demandas integradas en períodos sucesivos de 15 minutos, en el período de un mes. La demanda máxima anual es el mayor valor de las demandas máximas mensuales en el período de 12 meses consecutivos.

- Período de facturación

En general, el período de facturación es mensual y no podrá ser inferior a 28 días ni exceder los 33 días calendario.<sup>25</sup>

#### Opciones tarifarias

- Definición de las opciones tarifarias

Las opciones tarifarias para clientes en media (MT) y baja tensión (BT) son las siguientes:

---

<sup>24</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

<sup>25</sup> *Ibíd.*

Tabla IV. **Opciones tarifarias en media tensión**

Media tensión		
Opción	Medición del suministro	Cargos de facturación
MT2	Medición de dos energías activas y dos potencias activas. 2E2P  Energía: punta y fuera de punta Potencia: punta y fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa en horas de punta. Cargo por energía activa en horas fuera de punta. Cargo por potencia en horas de punta. Cargo por exceso de potencia. En horas fuera de punta. Cargo por energía reactiva.
MT3	Medición de dos energías activas y una potencia activa. 2E1P  Energía: punta y fuera de punta Potencia: máxima del mes  Calificación de potencia: P: cliente presente en punta FP: cliente presente en fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa en horas de punta. Cargo por energía activa en horas fuera de punta. Cargo por potencia. Cargo por energía reactiva.
MT4	Medición de una energía activa y una potencia activa. 1E1P  Energía: total del mes Potencia: máxima del mes  Calificación de potencia: P: cliente presente en punta FP: cliente presente en fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa. Cargo por potencia. Cargo por energía reactiva.

Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

Tabla V. **Opciones tarifarias en baja tensión**

Baja tensión		
Opción	Medición del suministro	Cargos por facturación
BT2	Medición de dos energías activas y dos potencias activas. 2E2P  Energía: punta y fuera de punta Potencia: punta y fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa en horas de punta. Cargo por energía activa en horas fuera de punta. Cargo por potencia en horas de punta. Cargo por exceso de potencia en horas fuera de punta. Cargo por energía reactiva.
BT3	Medición de dos energías activas y una potencia activa. 2E1P  Energía: punta y fuera de punta Potencia: máxima del mes  Calificación de potencia: P: cliente presente en punta FP: cliente presente en fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa en horas de punta. Cargo por energía activa en horas fuera de punta. Cargo por potencia. Cargo por energía reactiva.
BT4	Medición de una energía activa y una potencia activa. 1E1P  Energía: total del mes Potencia: máxima del mes  Calificación de potencia: P: cliente presente en punta FP: cliente presente en fuera de punta	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa. Cargo por potencia. Cargo por energía reactiva.
BT5	Medición de energía activa total 1E	Cargo fijo mensual. Cargo por energía activa.
BT6	Exclusivamente para casos especiales. 1P	Cargo fijo mensual. Cargo por potencia activa.

Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

## Condiciones de aplicación generales

- Cargo fijo mensual

El cargo fijo mensual es independiente del consumo, y se efectuará incluso si éste es nulo.

- Facturación de energía activa

La facturación por energía activa se obtendrá multiplicando el o los consumos de energía activa, expresado en kilowatts-hora (kWh), por el respectivo cargo unitario, según corresponda.

- Facturación de potencia activa

La facturación de potencia activa se obtendrá multiplicando los respectivos kilowatts (kW) de potencia activa por el precio unitario correspondiente, según se señala en las condiciones específicas para cada opción tarifaria.<sup>26</sup>

Este cargo se facturará, incluso si el consumo de energía es nulo. La facturación de potencia se podrá efectuar según las siguientes modalidades a elección del cliente.

---

<sup>26</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

- Modalidad de facturación por potencia contratada

El término potencia contratada para fines de la presente resolución solo será utilizada para la facturación de la potencia activa.

La potencia contratada será definida por el cliente. En esta alternativa la potencia a facturar se denomina potencia contratada, y se actuará según el procedimiento definido en las condiciones específicas. Los clientes podrán decidir entre dos opciones de contratación de potencia:<sup>27</sup>

- ✓ Potencia contratada para consumos estacionales

Los clientes con regímenes de consumo estacional podrán definir sus potencias contratadas, para las horas de punta y fuera de punta, en cada uno de los períodos estacionales.

Los clientes solo están permitidos a definir hasta dos (2) períodos estacionales en el término de un año. Dichos períodos se denominarán: período estacional alto y período estacional bajo. El período estacional alto, está comprendido por los meses consecutivos donde se presentan los mayores consumos del cliente. El período estacional bajo está comprendido por el resto de meses del año.

---

<sup>27</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

Para definir los períodos estacionales, las empresas distribuidoras y los clientes tendrán en cuenta la estadística del consumo del cliente para los últimos dos años, como máximo, siendo el cliente el responsable de definir dichos períodos. Si la máxima demanda anual del sistema de distribución, se presentara durante el período estacional alto, el cliente deberá compensar a la empresa distribuidora por los mayores gastos originados por la compra de potencia a los generadores. Los clientes y las empresas distribuidoras deberán definir en sus contratos los mecanismos necesarios para efectuar dicha compensación, de ser necesario.

En cualquier caso, la facturación anual de potencia del cliente no podrá ser superior a la correspondiente a contratar la potencia del período estacional alto para todo el año como en la opción de contratación 3.1.2.<sup>28</sup>

Esta opción de contratación de potencia solo es válida para las opciones tarifarias MT2 y BT2.

- ✓ Potencia contratada para consumos no estacionales

Los clientes deberán definir sus potencias contratadas, para las horas de punta y fuera de punta, con una validez de un año.

---

<sup>28</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

✓ Renovación de la potencia contratada

Las potencias contratadas definidas por el cliente tendrán una vigencia anual. Antes de 30 días del término de la vigencia de las potencias contratadas, la empresa distribuidora comunicará por escrito a los clientes el hecho, solicitándoles sus nuevas potencias contratadas, y de no mediar respuesta del cliente en el término de 30 días, la empresa distribuidora renovará automáticamente las potencias contratadas y la opción tarifaria para un período adicional.<sup>29</sup>

✓ Modificación de la potencia contratada durante el período de vigencia

Durante la vigencia de la potencia contratada, los clientes podrán variar por una sola vez dicha potencia con el acuerdo previo de la empresa distribuidora. En el caso de reducción el cliente se comprometerá al pago de un remanente, el cual representará el costo en que la empresa distribuidora incurre frente a su suministrador; y solo será procedente para clientes que soliciten una disminución de potencia mayor a 50 kW.

Para cada uno de los períodos horarios, si la potencia contratada es inferior al promedio de las dos más altas demandas máximas mensuales del cliente, durante el período de vigencia del contrato, se procederá a actualizar automáticamente su valor. La nueva potencia contratada será igual a dicho promedio.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

<sup>30</sup> *Ibíd.*

✓ Derechos otorgados por la potencia contratada

Los clientes podrán utilizar la potencia contratada sin restricciones durante el período de vigencia de dicha potencia.

▪ Modalidad de facturación por potencia variable

El cliente podrá elegir la modalidad de facturación por potencia variable en lugar de la de potencia contratada sólo cuando tenga los equipos de medición necesarios. En esta alternativa la potencia a facturar se denomina potencia variable, y se procederá según el procedimiento definido en las condiciones de aplicación específicas.

La potencia variable será determinada como el promedio de las dos mayores demandas máximas del cliente, en los últimos doce meses, incluido el mes que se factura.<sup>31</sup>

○ Facturación de energía reactiva

La facturación por energía reactiva se incluirá en las opciones tarifarias MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4 de acuerdo a lo siguiente:

- Consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30 por ciento de la energía activa total mensual sin cargo alguno.
- Consumo de energía reactiva inductiva que exceda el 30 por ciento de la energía activa total mensual.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

<sup>32</sup> *Ibíd.*

La facturación del exceso de la energía reactiva inductiva es igual al producto de dicho exceso por el costo unitario (expresado en Q./kVARh), según se muestra en las siguientes relaciones:

$$factura = KVARh \text{ en exceso} \times CER$$

$$CER = \text{carga por energía reactiva, expresado en } Q./_{kV} ARh$$

- Consumo de energía reactiva capacitiva, no está permitido el consumo de energía reactiva capacitiva (inyección de energía reactiva a la red). En todo caso la empresa distribuidora deberá coordinar con el cliente la forma y plazos para corregir esta situación.
- Determinación de la potencia contratada

La potencia contratada del cliente no podrá ser mayor que la potencia conectada solicitada por él mismo para su suministro. La potencia contratada, tanto en hora punta como en hora fuera de punta, se determinará mediante la medición de la demanda máxima con instrumentos adecuados.

- Clientes de media tensión (MT)

Alternativamente, el cliente podrá solicitar una potencia contratada distinta de esta. En este caso, la distribuidora podrá exigir la instalación de equipos limitadores de potencia, especificados por ella misma, la que será de

cargo del cliente. Los equipos limitadores de potencia podrán ser colocados en los circuitos de baja tensión del cliente.<sup>33</sup>

- Clientes de baja tensión (BT)

Cuando la demanda máxima no se mida se determinará como sigue. A la potencia instalada en el alumbrado se sumará la potencia del resto de la carga conectada, estimada de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla VI. **Cliente de baja tensión**

No. De motores o artefactos eléctricos conectados	Potencia máxima estimada como porcentaje (%) de la carga conectada
1	100
2	90
3	80
4	70
5 o más	60

Fuente: *boletín ajuste tarifario*.

[www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: octubre de 2013.

Cada aparato de calefacción se considerará como motor para efectos de aplicar esta tabla. Los valores de potencia máxima que resulten de aplicar esta tabla deberán modificarse, si es necesario, de forma tal que la potencia máxima estimada no sea en ningún caso menor que la potencia del motor o artefacto más grande, o que el 90 por ciento de la potencia sumada de los dos motores o artefactos más grandes, o que el 80 por ciento de la potencia sumada de los tres artefactos o motores más grandes.

<sup>33</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

Se entenderá como carga conectada en motores o artefactos la potencia nominal de estos equipos. Alternativamente el cliente podrá solicitar potencias contratadas distintas de las determinadas mediante el procedimiento anterior.

En este caso, la distribuidora podrá exigir la instalación de un limitador o de limitadores, en caso que ello sea necesario, los que serán de cargo del cliente.<sup>34</sup>

- Facturación en un mes con dos pliegos tarifarios

Cuando durante el período de facturación se presenten dos pliegos tarifarios, se deberá calcular el monto a facturar, proporcionalmente a los días respectivos de cada pliego considerando las tarifas vigentes en cada uno de ellos.

- Condiciones de aplicación específicas
  - Opciones tarifarias MT2 y BT2

Estas tarifas consideran precios diferenciados para la facturación de potencia según si esta se efectúa en horas de punta o bien en horas fuera de punta.

- Clientes no estacionales

La facturación por potencia comprende lo siguiente:

---

<sup>34</sup> [www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf](http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Ajuste%20Tarifario%20noviembre%202013%20-%20enero%202014.pdf). Consulta: 30 de octubre de 2013.

✓ Facturación de potencia en horas de punta

Esta es igual al producto de la potencia a facturar en horas de punta por el cargo mensual de la potencia de punta.

✓ Facturación de potencia en horas fuera de punta

Esta es igual al producto del exceso de potencia en horas fuera de punta por el cargo mensual de potencia de fuera de punta. El exceso de potencia en horas fuera de punta es igual a la diferencia entre la potencia a facturar en horas fuera de punta menos la potencia a facturar en horas de punta, siempre que sea positivo, en caso contrario será igual a cero.

▪ Clientes estacionales

Esta modalidad asume que el período estacional alto de los clientes no es coincidente con el período de punta del sistema de distribución y que además no origina mayores costos a la empresa distribuidora ante su suministrador. Si este no fuera el caso y existe un perjuicio a la empresa distribuidora, los clientes deberán acordar con la empresa distribuidora una compensación, según lo indicado en las condiciones generales.

En esta modalidad, la facturación por potencia comprende:

✓ Facturación de potencia en horas de punta

Esta es igual al producto de la potencia a facturar en horas de punta, del período estacional bajo, por el cargo mensual de la potencia de punta.

✓ Facturación de potencia en horas fuera de punta

Esta es igual al producto del exceso de potencia por el cargo mensual de potencia de fuera de punta. El exceso de potencia es igual a la diferencia entre la máxima potencia a facturar del cliente, sea en cualquier período horario o estacional, menos la potencia a facturar en horas de punta, del período estacional bajo, siempre que sea positivo, en caso contrario será igual a cero.

○ Opciones tarifarias MT3, MT4, BT3 y BT4

Estas tarifas consideran precios diferenciados para la facturación de potencia según si los clientes se encuentran calificados como presentes en punta o presentes en fuera de punta.

La facturación por potencia es igual al producto de la potencia a facturar por el cargo de potencia respectivo.

▪ Calificación del cliente

La calificación del cliente se efectúa según el grado de utilización de la potencia en horas de punta o fuera de punta. El cliente será calificado como presente en punta cuando:

El cociente entre la demanda media del cliente en horas de punta y su demanda máxima es mayor o igual a 0,5 entendiéndose por demanda media en horas de punta al consumo de energía durante dichas horas dividido por el número de horas de punta.

En caso contrario, el cliente deberá ser calificado como presente en fuera de punta. La empresa calificará al cliente como presente en punta o bien como presente en fuera de punta. Cualquier reclamo sobre la calificación deberá ser efectuado ante la empresa distribuidora.<sup>35</sup>

- Información necesaria para efectuar la calificación del cliente

La calificación del consumo del cliente debe realizarse con base en los registros de potencia y energía. Para los registros de potencia antes mencionados, se instalarán provisionalmente los equipos apropiados para efectuar los registros correspondientes por un período mínimo de tres días consecutivos. La empresa distribuidora para fines de verificación podrá mantener los equipos de medición por un período mayor.

- Vigencia de la calificación para las opciones tarifarias MT3, MT4, BT3 y BT4
  - ✓ Suministros con medición adecuada de potencia y energía para la calificación (2E1P). La calificación se realizará mensualmente de acuerdo a las lecturas realizadas al suministro y se actualizará automáticamente según lo definido anteriormente.
  - ✓ Suministros sin medición adecuada de potencia y energía para la calificación (1E1P). El cliente, de acuerdo con la empresa distribuidora, definirá el período de vigencia de la calificación, pero considerando que dicho período no podrá ser menor de 3 meses ni mayor de un año. Antes de

---

<sup>35</sup> BLANK y TARQUIN. p.180.

15 días de cumplirse el período de vigencia de la calificación, la empresa distribuidora consultará al cliente si desea que se le efectúe una nueva calificación, de no mediar respuesta en el término de 15 días, la empresa asumirá que el cliente desea mantener su calificación. La empresa distribuidora podrá efectuar las mediciones necesarias, para modificar la calificación. La tarifa de alumbrado público se encuentra comprendida en la opción tarifaria BT4 y es calificada como presente en punta.

- Opciones tarifarias BT5 y BT6
  - Opción tarifaria: BT5

Solo podrán optar por esta tarifa los clientes alimentados en baja tensión (BT) con demanda máxima de hasta 20 kW o aquellos clientes que instalen un limitador de potencia de hasta 20 kW nominal en horas de punta.

- Opción tarifaria: BT6

Solo podrán optar por esta tarifa los clientes alimentados en baja tensión (BT) con una alta participación en la hora punta, tales como avisos luminosos, cabinas telefónicas y semáforos, no comprendiéndose el uso residencial.

#### **4.2. Medidas costosas en el centro comercial Mega Plaza**

Se exponen los métodos de alto costo para el centro comercial Mega Plaza, entre ellos están los conductores, motores, banco de condensadores y la iluminación.

Se les llama medidas costosas ya que, estas son las que más abarcan el capital de la inversión, más no así por lo que se presentará ahorro al final de cada mes en la factura eléctrica.

#### 4.2.1. Conductores

Tradicionalmente se utiliza el criterio de minimizar el costo en la compra de los conductores eléctricos. Esto se logra escogiendo el conductor de menor sección que le permite resistir las condiciones extremas esperadas, es decir, cuya corriente máxima resistible,  $I_{max}$ , supera la corriente máxima del proyecto,  $I_p$ , también se considera como exigencia un máximo de caída de tensión en el extremo de la carga.

Ambos requerimientos determinan la existencia de una sección mínima  $S_{min}$ , impuesta por las condiciones de carga y caída de tensión máximas y por las características del conductor y tipo de canalización.

Las expresiones algebraicas que se aplican en el criterio tradicional son las siguientes:

- Por corriente máxima de diseño de conductores

$$I_{mx}(k, S_{(i,j)}) \times F_{tem(i,k)} \times F_{cond(i,k)} \times V_{alormotor} > I_{tarm}$$

$I_{mx}(k, S_{(i,j)})$ : corriente que soporta el conductor  $i$ , de sección  $j$ , que es canalizado del modo  $k$ . (A)

$F_{tem(i,k)}$ : factor de corrección por temperatura ambiental del conductor  $i$ , canalizado en forma de  $k$ . (%)

$F_{cond(i,k)}$ : factor de corrección por número de conductores canalizados, del conductor i, canalizado en forma k. (0/1)

$Valormotor$ : si se utiliza en motores “Valor motor”=0.8, si no se utiliza “Valor motor”=1

$Itarm$ : corriente rms que incluye armónicas.

### Ejemplo

En el siguiente cuadro se muestran datos de algunos conductores con su corriente admisible, según datos del proveedor CELASA. Se puede tener acceso a todo el archivo en el catálogo de este proveedor.

Figura 16. **Conductores con su corriente admisible**

Conductor		Capacidad de corriente (Amperes)			
Calibre AWG-MCM	Sección mm <sup>2</sup>	Instalaciones en tubo, máximo tres conductores		Instalaciones al aire libre	
		Temperatura máxima de operación del conductor			
		70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
18	0,821	9	14	13	18
	1	11	16	16	24
16	1,31	13	18	19	24
	1,5	15	22	23	27
14	2,08	20	25	28	35
	2,5	20	27	28	35

Fuente: *catálogo del proveedor de materiales eléctricos CELASA.*

Si se observa la figura 16 se tiene lo siguiente:

- El conductor de calibre 18 AWG-MCM, sección de 0,821 mm<sup>2</sup>, para una instalación en tubo a una temperatura máxima de operación de 70 °C, tiene una capacidad de corriente máxima de 9 amperios.
- El conductor de calibre 14 AWG-MCM, sección de 2,08 mm<sup>2</sup>, para una instalación en tubo a una temperatura máxima de operación de 70 °C, tiene una capacidad de corriente máxima de 20 amperios.

Si se usa el conductor 18 AWG para la alimentación de un circuito eléctrico, su corriente de diseño debe ser de 0,80\*9 amperios, que es igual a 7,2 amperios.

Si se usa el conductor 16 AWG para la alimentación de un circuito eléctrico, su corriente de diseño debe ser de 0,80\*13 amperios, que es igual a 10,4 amperios.

Esto significa que si para la alimentación de un circuito, se necesita una corriente mayor se debe usar el conductor de mayor sección.

- Por tensión de servicio

$$V_{nom} < V_{serv}$$

$V_{serv}$ : tensión de servicio del conductor (i) según base de datos de conductores.  
(kV)

$V_{nom}$ : voltaje nominal del consumo. (kV)

El valor de la menor sección  $S(i,j)$  que cumple con las dos desigualdades anteriores se llama sección mínima ( $S_{min}$ ).<sup>36</sup>

### Ejemplo

Al determinar la caída de tensión en el conductor que se debe utilizar, para la alimentación de un circuito cuya máxima demanda es de 1kW. La tensión de la red a donde se conectará este circuito es de 220V monofásico con un factor de potencia de 0,95 y su longitud hasta el tablero es de 15m se obtuvo lo siguiente:

La sección del conductor, por capacidad de corriente, la hemos determinado y, el resultado fue un conductor 18 AWG cuya sección, según el catálogo de CELASA es de 0,821 mm<sup>2</sup>.

Ahora calculamos la resistencia del conductor para esos 15 m, usando la resistividad del cobre de 0,017

$$R = 0,017 \frac{15}{0,821} = 0,3106\Omega$$

Ahora calculamos la caída de tensión que es igual a:

$$\Delta V = IXR = (4,78A)(0,3106\Omega) = 1,48V$$

---

<sup>36</sup> Procobre, *Mallas de tierra*, Adaptación y traducción de la publicación N° 119 de la Copper Development Association, Inglaterra "Earthing Practice", efectuada por el Ingeniero Civil Electricista, Nelson Morales Osorio, Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Asesor del Programa de Investigaciones en Energía (PRIEN), Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1999, p. 77.

Al analizar el circuito y consideramos que a nuestro punto de suministro, que es donde está el medidor de energía, llega una tensión de 220V, a nuestro tablero, con una máxima demanda de 1kW, llegará  $220V - 1,48V = 218,5V$ .

Podemos decir que este valor es aceptable, pero existe una mayor caída de tensión desde nuestro tablero hasta cada una de los artefactos de nuestro local, por lo que debemos ser muy rigurosos es la selección de este conductor.

Para una mejor selección del conductor de alimentación, el código nacional de electricidad recomienda una caída de tensión máxima del 2,5 por ciento de la tensión nominal y, 1,48 V representa el 0,7 por ciento de la tensión nominal. Por lo tanto, por caída de tensión se selecciona el conductor de calibre 18 AWG.

#### **4.2.2. Motores**

La gestión adecuada de un parque de motores de una planta industrial y la selección técnica económica de los motores requeridos ya sea para proyectos nuevos, ampliaciones de instalaciones existentes y en la sustitución de motores antiguos, requiere de la aplicación de métodos de selección tomando relevancia el criterio de ahorro energético.

Los criterios de ahorro energético evalúan los beneficios económicos, en el corto y mediano plazo, vinculados a una adecuada elección o sustitución de un motor. Para este cálculo se toman en cuenta factores tales como los precios relativos de los motores comparados, eficiencias relativas, el precio de la energía y potencia, y además consideran las condiciones de operación a las que se encuentran sometidos los motores como su factor de carga, horas de uso mensual, calidad de la red (regulación y desbalances de voltajes y/o

corrientes), condiciones ambientales (temperatura ambiente de operación, altitud de la faena) y la historia de los antecedentes asociados a la operación del motor son necesarios para la determinación efectiva del rendimiento de dicho motor; de modo de realizar una correcta determinación de los beneficios económicos asociados a la selección o sustitución de motores.<sup>37</sup>

La comparación económica es un problema especial en aquellos motores cuya eficiencia es desconocida, para estos casos se propone una metodología que permite estimar la eficiencia. Las dos principales diferencias entre las diferentes normas empleadas para medir la eficiencia de un motor se relacionan con:

- La forma de medir o estimar las pérdidas parásitas (*stray load losses*) en un motor.
- Las formas de establecer la diferencia o tolerancia entre el valor de la eficiencia especificada por el fabricante en la placa del motor, que es el resultado de una media estadística, y la eficiencia de cada motor.
- Diferencias en la estimación de las pérdidas parásitas

La dificultad que conlleva medir las pérdidas parásitas en un motor, ha llevado sugerir en las normas valores estándar para ellas. La tabla siguiente muestra los valores sugeridos por las Normas IEC e IEEE.

---

<sup>37</sup> Procobre. *Mallas de tierra*, p. 42.

**Tabla VII. Pérdidas parásitas de un motor**

Potencia HP	Norma IEC	Norma IEEE
1-25	0,5%	1,8%
126-500	0,5%	1,5%
501-2499	0,5%	1,2%
2500-más	0,5%	0,9%

Fuente: normas IEC, normas IEEE. Consulta: octubre de 2013.

Al adoptar estos valores para las pérdidas parásitas, por cierto se obtienen diferentes valores para la eficiencia de un motor. La tabla siguiente muestra los valores típicos obtenidos, para motores de diferentes potencias nominales.

**Tabla VIII. Eficiencia de los motores según normas**

Potencia HP	Eficiencia %		
	Norma IEC	Norma IEEE	Norma NEC
10	85,49 %	84,40 %	85,70 %
125	94,6 %	93,0 %	95,1 %
500	96,2 %	95,0 %	96,6 %
2000	96,3 %	95,5 %	96,8 %
3500	96,8 %	96,0 %	97,0 %

Fuente: normas IEC, normas IEEE, normas NEC. Consulta: octubre de 2013.

Es decir, la diferencia entre la eficiencia de motores calculada según las sugerencias de diferentes normas lleva a sugerir al usuario que confirme, de parte del proveedor, la norma que empleará en la evaluación de la eficiencia del motor, y el método de medida que empleará según cada norma (ya que el suponer un valor para las pérdidas parásitas es sólo un método de evaluación de la eficiencia; siempre existe la opción de medir estas pérdidas con dinamómetro, para lo cual cada norma sugiere un procedimiento).<sup>38</sup>

En este caso del centro comercial Mega Plaza, la potencia en HP de los motores deberá tener una eficiencia del 96 por ciento debido a que se está utilizando la norma IEEE.

Tabla IX. **Normas para la demanda de energía calorífica**

Factores	Definición	Norma
Climatología	Zona climática	NB CT 79
Calidad de cerramientos	Estudio higro térmico	NB CT 79
Características funcionales	Proyecto	NBE
Sistema energético	Proyecto	Según marcas

Fuente: normas NB CT79, NBE. Consulta: octubre de 2013.

Observaciones: Estas normas están planteadas con base en Normas Técnicas Internacionales Europeas emitidas en el año 2000.

#### **4.2.3. Banco de condensadores**

El consumo de energía activa que se transforma en trabajo está asociado con el consumo de energía reactiva utilizada en la generación de campos magnéticos de: transformadores, motores asíncronos, equipos de soldadura, lámparas fluorescentes y otros.

<sup>38</sup> Procobre. *Mallas de tierra*, p. 46.

Este consumo es costoso ya que ello ocasiona una corriente eficaz para una potencia activa dada y es más elevada si el factor de potencia es más bajo.

Al instalarse un banco de condensadores, se elimina el cargo por energía reactiva de su recibo de luz: disminuye las pérdidas por recalentamiento en cables, transformadores y motores. Liberan capacidad instalada en planta, transformadores y cables. Evitan el desgaste de motores por recalentamiento causado por el bajo voltaje.

#### **4.2.4. Iluminación**

- Niveles de iluminación recomendados

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

En el primer caso estarían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local.

Tabla X. **Niveles de iluminación teóricos según establecimiento**

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
<b>Zonas generales de edificios</b>			
Zonas de circulación, pasillos.	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, almacenes y archivos.	100	150	200
<b>Comercios</b>			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestra	500	750	1000

Fuente: [www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Iluminacion/ficheros/IluminacionPuestosTrabajoN.pdf](http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Iluminacion/ficheros/IluminacionPuestosTrabajoN.pdf). Consulta: octubre de 2013.

### 4.3. Modelos económicos planteados en proyectos de ahorro de energía

En orden de poder comparar el ahorro energético del antes y después se hicieron formulaciones matemáticas que se presentan a continuación. Estas servirán como se dijo antes a entender el antes y después del reacondicionamiento en las instalaciones eléctricas del centro comercial.

#### 4.3.1. Formulaciones matemáticas para la selección de conductores

- Criterio de ahorro de energía

La sección del conductor incide directamente en las pérdidas de energía y en el costo del mismo. Es posible obtener una sección óptima la que, al

aumentar en los ahorros por pérdidas de energía, compensa los costos asociados al aumento de la sección.

Para los fines de eficiencia en ahorro energética, lo que se debe evaluar es la conveniencia de usar una sección mayor que  $S_{min}$  y, si es así, cuántos valores estándares mayores que el mínimo.

Las expresiones y conceptos algebraicos que se aplican en el criterio de eficiencia en ahorro energético tradicional son las siguientes:

- Expresiones algebraicas

A continuación se desarrolla la expresión algebraica de la valoración económica de las pérdidas asociadas a la conducción eléctrica y del ahorro por aumento de sección del conductor.

Básicamente, las pérdidas energéticas por unidad de longitud del conductor eléctrico pueden ser expresadas en la siguiente fórmula:

$$Pérdida_{energía} = R(s) \times I^2$$

En donde:

$R(s)$ : resistencia del conductor por unidad de longitud.

$I$ : corriente media del circuito.

Descomponiendo estas variables en otras más básicas, e incorporando la valoración y actualización económica de la energía, se han desarrollado las expresiones necesarias. Hay que notar que tanto la expresión de las pérdidas como la del ahorro energético consideran la tasa de descuento, por lo que sus

valores son actualizados. La resistividad del conductor, supone que el metal utilizado es cobre.

También han sido omitidas, en la determinación de la resistencia del conductor en corriente alterna, otras variables de poca relevancia, tales como: el diámetro exterior y la separación de los centros de los conductores y la temperatura de operación.

Por otro lado, se obtiene que el costo del conductor es una función aproximadamente lineal de la sección, i.e.:

$$C(s) = k \times S$$

Por cada proyecto queda determinado el tipo de conductor (*i*), y el tipo de canalización, con lo cual, *i* y *k* pasan a ser números fijos para todos los cálculos relacionados con los proyectos asociados.

Independientemente del número de proyectos a evaluar, se le debe calcular a cada uno de ellos los valores siguientes:

- Corriente máxima por cada conductor (*I<sub>p</sub>*)

$$I_p = \frac{P_{max}}{V_{nom} \times f_p \times \sqrt{numf}} \times \frac{1}{N_{cond}}$$

*P<sub>max</sub>*: potencia activa nominal del consumo (kW).

*V<sub>nom</sub>*: voltaje nominal del consumo (kV), entre fases si el sistema es trifásico

*f<sub>p</sub>*: factor de potencia del consumo (0/1).

*numf*: número de fases (1 o 3) si el sistema es monofásico o trifásico.

$N_{cond}$ : número de conductores por fase utilizados en la alimentación.

- Pérdidas

Conductividad del cobre=0.0183

Factor de pérdidas ( $F_{per}$ )

$$(F_{per}) = 0.9 \times FC^2 + 0.1 \times FC$$

Donde:

$FC$ : factor de carga

- Corriente de armónicas

$$I_{o_1} = (O_{n_1} \% / 100) \times I_p$$

$$I_{o_2} = (O_{n_2} \% / 100) \times I_p$$

$$I_{o_3} = (O_{n_3} \% / 100) \times I_p$$

$$I_{o_4} = (O_{n_4} \% / 100) \times I_p$$

$$I_{o_5} = (O_{n_5} \% / 100) \times I_p$$

Donde:

$O_{n_i} \%$ : porcentaje de la corriente de orden ni respecto de la corriente fundamental ( $I_p$ ). (%)

$I_p$ : corriente fundamental (A), en valor efectivo

$I_{o_i}$ : corriente de armónica de orden ni, en (A), en valor efectivo.

- Corriente total rms

Sea:

$$ITARM = \sqrt{I_p^2 + I_{o_1}^2 + I_{o_2}^2 + I_{o_3}^2 + I_{o_4}^2 + I_{o_5}^2}$$

Dado:

*ITARM*: corriente RMS que incluye cinco armónicas

*I<sub>p</sub>*: corriente fundamental (A)

*I<sub>o1</sub>*: corriente de orden n1 (A)

*I<sub>o2</sub>*: corriente de orden n2 (A)

*I<sub>o3</sub>*: corriente de orden n3 (A)

*I<sub>o4</sub>*: corriente de orden n4 (A)

*I<sub>o5</sub>*: corriente de orden n5 (A)

- Costo de pérdidas

$$C_{proyecto} = ITARM \times \rho \times \frac{12}{100} \times (F_{per} \times Nh \times P_{ener} + P_{pot})$$

*C<sub>proyecto</sub>*: costo incurrido por pérdidas

*ITARM*: corriente RMS que incluye armónicas (A)

*ρ*: resistividad del cobre igual a 0,0183, en Ohms mm<sup>2</sup>/m

*F<sub>per</sub>*: factor de pérdidas  $F_{per} = 0.9 * FC^2 + 0.1 * FC$

*Nh*: número de horas mensuales de consumo.

*P<sub>ener</sub>*: precio mensual de la energía (\$/kWh/mes)

*P<sub>pot</sub>*: precio de la potencia, cargo mensual (\$/kW)

- Condiciones para la selección

Estas condiciones son las mismas que se dan con el criterio tradicional:

Por corriente máxima de diseño de conductores

Por caída de potencial

Por tensión de servicio

- Evaluación de proyectos y selección de conductores

En esta evaluación se ha propuesto una evaluación simultánea con tipos de proyectos con diferentes secciones de conductores, enmarcados en:

- Costo adicional  $C_{(S(i,j))}$

$$C_{(S(i,j))} = (P_{(S(i,j))} - P_{S_{min}}) \times \left(1 - \frac{d}{100}\right) \times cf \times N_{cond} \times \frac{1}{N_{pol}}$$

$P_{S_{min}}$ : precio por metro del conductor de sección  $S_{min}$  (\$/m)

$P_{(S(i,j))}$ : precio por metro del conductor de sección  $S(i,j)$  (\$/m)

$d$ : descuento (por ciento) de precio del conductor

$N_{cond}$ : número de conductores por fase.

$cf$ : constante función del número de fases  $N_{mf}$  (=2 si el número de fases es 1; 3 si el número de fases es 3).

$N_{pol}$ : número de polos del conductor.

- Ahorro  $A_{(S(i,j))}$

$$Año_{(S(i,j))} = C_{proyecto} \left( \frac{1}{S_{min}} - \frac{1}{S(i,j)} \right) \times cf \times N_{cond}$$

$Año_{(S(i,j))}$ : ahorro en pérdidas / largo asociado a la selección S(i,j) de conductor correspondiente a un año. Este valor no aparece en pantalla.

$C_{proyecto}$ : costo de las pérdidas del proyecto

$S_{min}$ : sección mínima del conductor.

$S_{(i,j)}$ : sección del calibre j del conductor i. (mm<sup>2</sup>)

$Cf$ : constante función del número de fases Numf (=2 si el número de fases es 1; 3 si el número de fases es 3).

$N_{cond}$ : número de conductores por fase.

$$A_{(S(i,j))} = Aaño_{(S(i,j))} \times \frac{(1 + \frac{r}{100})^N - 1}{\frac{r}{100} \times (1 + \frac{r}{100})^N}$$

$A_{(S(i,j))}$ : ahorro en pérdidas por unidad de largo asociado a la sección S(i,j) de conductor de tipo I actualizado en un período de N años a una tasa de descuento r(%).

r: tasa de actualización (%).

N: período de evaluación (años).

- Beneficio  $B_{(S(i,j))}$

$$B_{(S(i,j))} = A_{(S(i,j))}I - C_{(S(i,j))}I$$

$B_{(S(i,j))}$ : beneficio asociado a la selección S(i,j) del conductor de tipo I.

- Tasa interna de retorno

Se calcula a partir de  $inv$ ,  $ing$  y el número de años ( $N$ ). Calcula una tasa interna de retorno (TIR); al hacerla igual a  $r$  el beneficio  $B(S(i,j))$  debe resultar nulo en los  $N$  años especificados por el usuario.

- Inversión ***inv***

$$inv = -C_{(S(i,j))}$$

$C_{(S(i,j))}$ : costo adicional asociado a sección  $S(i,j)$

$inv$ : costo adicional con signo menos.

- Ingresos ***ing***

Los ingresos producidos por el producto de la inversión son iguales al ahorro anual  $A$  año( $S(i,j)$ ), en pérdidas por unidad de largo asociado a la sección  $S(i,j)$ .

- Tiempo de recuperación de capital (***TRC***)

Se calcula a partir de inversión, ingreso y la tasa de descuento ( $r$ ). Calcula un número de años  $N_{fin}$ ; al emplear este número de años el beneficio  $B(S(i,j))$  debe resultar nulo a la tasa  $r$  especificada por el usuario.

- Sección óptima ***Sopt***

Se realiza los cálculos para todas aquellas secciones superiores a la mínima. Se obtiene la sección óptima  $Sopt$  que cumple simultáneamente 4 requisitos:

$Sopt > Smin$ : la sección óptima debe ser mayor que la mínima.

TIR > rmin: la tasa interna de retorno debe ser mayor que la especificada por el usuario.

TRC > Nmax: el período de recuperación del capital debe ser menor que el período máximo especificado por el usuario.

Sopt: es tal que maximiza B(S(i,j)).

- Cálculo de corriente y sección del conductor neutro

Si el sistema Eléctrico considera la utilización del conductor neutro que se dan en caso de circuitos trifásicos, entonces se calcula la corriente de neutro en base a la siguiente expresión:

$$I_{n_{rms}} = \sqrt{(\sum^n I_{onq})^2 + (0.6I_p)^2}$$

$I_{n_{rms}}$ : corriente rms por el neutro.

$I_{onq}$ : corriente de orden nq

$I_p$ : corriente de la fundamental.

Luego se debe calcular la sección utilizada en el neutro, la cual debe cumplir:

$$\text{Sección Neutro} = I_{n_{rms}} / J$$

$$J = \frac{I_{mx\_optimo} \times F_{tem\_optimo} \times F_{cond\_optimo} \times \text{Valor Motor}}{S_{optimo}}$$

*Imx\_optimo*: corriente máxima del conductor óptimo.

*Ftem\_optimo*: factor de corrección por temperatura de la corriente máxima asociada al conductor óptimo.

*Fcond\_optimo*: factor de corrección por número de conductores canalizados de la corriente máxima asociada al conductor óptimo.

*ValorMotor*: si se utiliza motores entonces "ValorMotor" = 0,8. Si no se utilizan entonces "ValorMotor" = 1

El criterio de selección indica que, para una tasa de descuento y horizonte de estudios predeterminados, se debe escoger aquella sección, mayor o igual a la mínima, que maximiza el beneficio y, además, cuyos tiempos de recuperación de capital (TRC) y tasa interna de retorno (TIR) están dentro de rangos considerados aceptables por el usuario.

El TRC es aquel valor del horizonte de estudio que, para una tasa de descuento determinada, anula el beneficio; la TIR, análogamente, es la tasa de descuento que, para un horizonte determinado, anula el beneficio.<sup>39</sup>

Para cada proyecto se especifica el tipo de conductor y el tipo de canalización, convirtiéndose en parámetros fijos para todos los cálculos relacionados con los proyectos asociados en el caso del centro comercial Mega Plaza.

---

<sup>39</sup> Procobre, *Mallas de tierra*, p. 15.

#### 4.3.2. Formulaciones matemáticas para la selección de un motor

Los criterios de ahorro energético utilizan las siguientes fórmulas para la evaluación económica comparativa entre un motor patrón clásico y los motores alternativos eficientes:

- VAN de análisis

$$VAN = A1x \frac{(1 + \frac{r}{100})^N - 1}{\frac{r}{100} x (1 + \frac{r}{100})^N} - I$$

Donde:

*A1*: corresponde al ahorro anual en el primer año.

*N*: corresponde al horizonte de evaluación. La variable corresponde al número de años del Horizonte de evaluación.

*r*: corresponde a la tasa de descuento impuesta al proyecto

*I*: corresponde a la diferencia entre el precio del motor alternativo y el costo de reparación evitado (cuando el motor patrón es obsoleto) ó la diferencia entre el precio del motor alternativo y el precio del motor patrón.

Se ha supuesto que su valor residual es cero.

- Ahorro económico en motores

Se refiere al ahorro que se logra en el primer año, por concepto de menor energía consumida, al sustituir el motor actual por uno nuevo de mayor rendimiento. Se puede evaluar como:

$$A1 = 12 \times 0.746 \times (\$_E \times T \times (\frac{FC^1 \times Pn^1}{na} - \frac{FC^2 \times Pn^2}{nef}) + \$_P \times (\frac{Pn^1}{na} - \frac{Pn^2}{nef}))$$

Donde:

$A1$ : ahorro del primer año (\$).

$\$P$ : costo de la potencia en el año presente (\$/kW).

$\$E$ : costo de la energía en el año presente (\$/kWh).

$FC^1$  y  $FC^2$ : factor de carga del motor patrón y alternativo (0/1).

$Pn^1$  y  $Pn^2$ : potencia nominal del motor patrón y alternativo (HP)

0,746: factor de conversión de unidades (HP a kW).

$T$ : horas de uso del motor en el mes.

$na$ : rendimiento del motor actual (0/1). Corresponde al rendimiento de placa original del motor, modificado según las condiciones de operación la historia de reparaciones del motor.

$nef$ : rendimiento del motor nuevo (eficiente)(0/1) Corresponde al valor de placa, modificado según las condiciones de operación.

### c) **Evaluación de rendimiento**

Para determinar el "ahorro en el primer año ( $A1$ )" se utilizan los valores de los rendimientos. Estos valores corresponden a los valores de eficiencia nominales (100 por ciento) son corregidos principalmente por las condiciones de operación. Las correcciones realizadas suponen que los efectos son independientes.

- Rendimiento del motor actual ( $na$ )

El rendimiento del motor actual ( $n_a$ ) puede diferir de su rendimiento original nominal, ( $n_0$ ) por diversas causas que se pueden agrupar como sigue:

- Condiciones electromecánicas de operación diferentes a las nominales
- Condiciones ambientales diferentes a las nominales
- Estado deficiente del motor (por reparaciones)

Así, el rendimiento del motor actual corresponde al rendimiento de placa del motor sujeto a las correcciones, las que quedan representadas en la siguiente expresión:

$$n_a = K_v * K_f * K_d * K_c * K_T * K_a * K_r * n_0$$

Siendo:

$n_0$ . = Rendimiento de placa del motor a 100% de carga.

La expresión anterior considera que la eficiencia original del motor se modifica debido a las circunstancias siguientes:

- ✓ trabajar con voltaje diferente al nominal ( $K_v$ )

Considera el efecto sobre el rendimiento cuando se trabaja con voltaje diferente del nominal ( $K_v$ ).

En este caso, cabe indicar que la situación considerada es aquella que, debido a la mala regulación de voltaje de la instalación, el motor queda operando con voltaje aplicado, usualmente inferior al nominal.

Su rango de validez es para tensiones menores a 110 por ciento de la tensión nominal (es decir, no considera la saturación de la máquina). Su efecto se centra en cuantificar como varían las pérdidas Joule (estator y rotor), en el fierro y mecánicas (estas últimas se pueden considerar constantes).

$$Kv = \frac{1}{no + (1 - no)x(1 + 0.6x\left(\frac{Vn}{Va}\right)^2 - 1) - 0.2x(1 - \left(\frac{Vn}{Va}\right)^2)}$$

Con:

Vn = Voltaje nominal (de placa).

Va = Voltaje con que se alimenta el motor en la realidad (promedio de las tres fases).

✓ Trabajar con frecuencia diferente a la nominal (Kf)

La variación de la frecuencia de alimentación afecta principalmente las pérdidas en el fierro y las mecánicas (roce y ventilación). Al igual que en el caso de la corrección por voltaje, no se considera saturación magnética en la máquina. Los fabricantes aseguran que este fenómeno no ocurre si la frecuencia es a lo sumo un 5 % inferior a la frecuencia nominal.

$$Kf = \frac{1}{no + (1 - no)x(0.2x\frac{fn}{fa} + 0.05x\frac{fa}{fn} + 0.05x\left(\frac{fa}{fn}\right)^2 + 0.7)}$$

Con:

fn = frecuencia nominal (de placa)

fa = frecuencia con que opera el motor en la realidad (frecuencia leída).

✓ Trabajar con voltaje y/o corrientes desequilibradas (Kd)

Cuando los 3 enrollados de un motor quedan sometidos a voltajes de diferentes magnitudes, se alteran los flujos magnéticos y las pérdidas en el núcleo con respecto a las condiciones nominales. Igualmente, el desequilibrio de voltajes provoca un desequilibrio en las corrientes por los 3 enrollados, modificando las pérdidas Joule respecto de las condiciones nominales.

$$Kd = \frac{1}{no + (1 - no)x(0.6x\left(1 + \frac{2}{3}fdesI^2\right) + 0.34x\left(1 + \frac{2}{3}fdesV^2\right) + 0.1)}$$

Con:

fdes.I = factor de desequilibrio de corriente.

$$fdesI = \frac{I_{a,b,c}}{I_p}$$

Con  $I_{a,b,c}$  = mayor valor {  $|I_p - I_a|$  ,  $|I_p - I_b|$  ,  $|I_p - I_c|$  }

Donde:  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  son las corrientes de fase.

$$I_p = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

fdes.V = factor de desequilibrio de voltajes.

$$fdes.V = [V_{a,b,c}] / V_p$$

Con  $V_{a,b,c}$  = mayor valor {  $|V_p - V_a|$  ,  $|V_p - V_b|$  ,  $|V_p - V_c|$  }

Donde:  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  son los voltajes de fase.

$$V_p = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

- ✓ Trabajar con carga diferente a la nominal ( $K_c$ )

$K_c$ : factor que considera el efecto de trabajar con el motor actual con carga diferente a la nominal.

Las pérdidas Joule son las más afectadas cuando el motor trabaja con un grado de carga diferente del valor nominal. La relación propuesta para evaluar el factor de corrección requiere evaluar el grado de carga definido como la razón entre la potencia mecánica del motor en operación y la potencia nominal.

Cuando la información del motor contiene la eficiencia a 50 por ciento, 75 por ciento, 100 por ciento de la carga, se determina la parábola que pasa por estos tres puntos. Seguidamente se interpola la eficiencia en el factor de carga establecido por el usuario. En el caso que una de las eficiencias (a 50 por ciento, a 75 por ciento) no esté informada, se asume que el comportamiento del factor de corrección sigue la expresión siguiente:

$$K_c = \frac{fc}{fcxno + (1 - no)x(0.6fc^2 + 0.4)}$$

Con:

$F_c$ =factor de carga (0/1).

- Rendimiento del motor nuevo ( $\eta_{ef}$ )

El rendimiento del motor nuevo es corregido considerando las mismas condiciones de operación señaladas en el caso de la eficiencia actual. Sin embargo, como en los motores nuevos (eficientes) las pérdidas Joule están

significativamente disminuidas en el estator, la distribución de pérdidas es diferente. Igualmente, el diseño actual de los motores es tal que el máximo de rendimiento se logra a un 75 por ciento de la carga, lo que también altera la distribución de pérdidas con carga nominal. Esto se refleja en que las relaciones para los factores K, las que cambian en algunos factores numéricos, según se indica a continuación:

$$nef = K'v \times K'f \times K'd \times K'c \times K'T \times K'a \times K'r \times nef,n$$

Siendo

nef,n = rendimiento nominal (de placa) del motor nuevo (0/1).

Donde:

- Trabajar con voltaje diferente al nominal (K'v)

$$K'v = \frac{1}{nef + (1 - nef) \times \left(1 + 0.5 \times \left(\left(\frac{Vn}{Vop}\right)^2 - 1\right) - 0.3 \times \left(1 - \left(\frac{Vop}{Vn}\right)^2\right)\right)}$$

Con:

Vn = voltaje nominal (de placa)

Vop = voltaje operación (promedio de las tres fases).

- Trabajar con frecuencia diferente a la nominal (K'f)

$$K'f = \frac{1}{nef + (1 - nef) \times \left(0.3 \times \frac{fn}{fop} + 0.06 \times \frac{fop}{fn} + 0.06 \times \left(\frac{fn}{fop}\right)^2 + 0.58\right)}$$

Con:

$f_n$  = frecuencia nominal (de placa)

$f_{op}$  = frecuencia de operación (frecuencia leída).

- Trabajar con voltaje o corrientes desequilibradas ( $K'd$ )

$$K'd = \frac{1}{nef + (1 - nef)x(0.5x\left(1 + \frac{2}{3}fdesI^2\right) + 0.4x\left(1 + \frac{2}{3}(fdesV)^2\right) + 0.1)}$$

Con:

$fdes.I$  = factor de desequilibrio de corriente.

$$fdesI = \frac{I_{a,b,c}}{I_p}$$

Con  $I_{a,b,c}$  = mayor valor {  $|I_p - I_a|$  ,  $|I_p - I_b|$  ,  $|I_p - I_c|$  }

Donde:  $I_a, I_b, I_c$  son las corrientes de fase.

$$I_p = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

$fdes.V$  = factor de desequilibrio de voltajes.

$fdes.V = [V_{a,b,c}] / V_p$

Con  $V_{a,b,c}$  = mayor valor {  $|V_p - V_a|$  ,  $|V_p - V_b|$  ,  $|V_p - V_c|$  }

Donde:  $V_a, V_b, V_c$  son los voltajes de fase.

$$V_p = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

- Trabajar con carga diferente a la nominal ( $K'c$ )

$$K'c = \frac{f'c}{f'cxnef + (1 - nef)x(0.5f'c^2 + 0.5)}$$

Con:

$f'c$  = factor de carga motor nuevo (0/1). Cuando la potencia del motor nuevo es distinta al motor actual, se utiliza un factor de carga corregido tal que

$$f'c = P_a / P_n$$

$f'c$  donde:  $P_a$  es la potencia del motor actual y  $P_n$  es la potencia del motor nuevo.

#### 4.3.3. Formulaciones matemáticas para la selección de un banco de condensadores

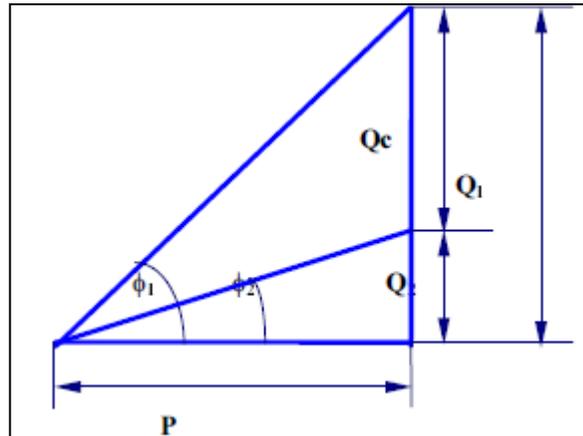
Sea una instalación con un factor de potencia  $\cos \phi_1$ , correspondiente a la potencia reactiva  $Q_1$  y las condiciones de mejora que se desea obtener sea  $\cos \phi_2$  mayor, reduciendo la potencia reactiva a  $Q_2$  con ayuda de condensadores.

La potencia de los condensadores será por tanto:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \times \tan j_1 - P \times \tan j_2 = P \times (\tan j_1 - \tan j_2) = P \times f$$

Para elevar el factor de potencia (de  $\cos \phi_1$  a  $\cos \phi_2$ ), se ha utilizado la siguiente relación:

Figura 17. **Triángulo de potencias**



Fuente: *Triángulo de potencias*. [es.m.wikipedia.org/wiki/Factor\\_de\\_potencia](http://es.m.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia).

Consulta: octubre de 2013.

A continuación se exponen varias formas de calcular la potencia activa  $P$  y el  $\cos \phi_1$ , necesarios para el cálculo de la potencia de los condensadores.

Se puede calcular la potencia reactiva para realizar la corrección del factor de potencia de tres maneras:

1. A partir del recibo de la compañía eléctrica
  2. Partiendo de las lecturas de los contadores de activa y reactiva.
  3. Por tabla
- Cálculo a partir del recibo de la compañía eléctrica

La empresa suministradora proporciona los datos de energía activa y energía reactiva durante un período de tiempo determinado (normalmente 2 meses), a partir de estos datos, se calcula la potencia de condensadores.

### Ejemplo

Para un período de 2 meses los consumos han sido los siguientes:

Energía reactiva: 63 590 KVAR/h

Energía activa: 54 350 KWh

Suponiendo una jornada de trabajo de 8 horas y 30 días al mes.

$$\tan \varphi_1 = \frac{W_r}{W_a} = \frac{63\,590}{54\,350} = 1,17$$

$$t = 8 * 25 * 2 = 480 \text{ horas}$$

$$P = \frac{W_a}{T} = \frac{54\,350}{480} = 113,23 \text{ KW}$$

Tomando el  $\cos \varphi_2 = 0,9$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = P \times f = 113,23 \times 0,68 = 77 \text{ KVAR}$$

Con un contador de activa, un voltímetro y un amperímetro.  
Considerando una red trifásica equilibrada.

$$P = \frac{W_a}{T}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * V * I}$$

Con ayuda de un fasímetro se obtiene directamente el  $\cos \varphi_1$ ; además se mide V e I.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi_1$$

- Cálculo partiendo de las lecturas de los contadores de activa y reactiva

Se hacen las lecturas de consumo de energía activa  $W_a$  y reactiva  $W_r$ , durante el mayor período de tiempo posible T.

Se calcula:

$$\tan \varphi_1 = \frac{W_r}{W_a}$$

$$P = \frac{W_a}{T}$$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = P \times f$$

Ejemplo

Primera lectura

Contador de reactiva: 2 520 KVAR/h

Contador de activa: 655 KWh

Al cabo de T=8 horas, se realiza otra lectura:

Segunda lectura

Contador de reactiva: 4 674 KVAR/h

Contador de activa: 2 767 KWh

Con estos datos se realizan los siguientes cálculos:

$$\tan \varphi_1 = \frac{W_r}{W_a} = \frac{4\,674 - 2\,520}{2\,767 - 655} = 1,02$$

$$P = \frac{W_a}{T} = \frac{2\,767 - 655}{8} = 264KW$$

Tomando el  $\cos \varphi_2 = 0,9$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = P \times f = 264 \times 0,54 = 143 KVAr$$

- Cálculo de la potencia reactiva por tabla

Para efectuar el cálculo debemos conocer:

1. La potencia activa consumida en KW.
2. El  $\cos \varphi_{inicial}$
3. El  $\cos \varphi_{final}$ <sup>40</sup>

#### 4.4. Medidas de bajo costo para proyectos de ahorro de energía

Incluyen un análisis de la conducta del personal respecto al ahorro de energía y el análisis tarifario para elegir la opción más adecuada para el consumo de energía eléctrica.

---

<sup>40</sup> Procobre, *Mallas de tierra*, p. 78.

El presente proyecto de ahorro de energía está enfocado a la cuantificación del consumo óptimo de energía del sistema eléctrico del centro comercial Mega Plaza, en Estanzuela, Zacapa, el cual propone alternativas de reducción mediante dos etapas fundamentales planteadas en el marco metodológico.

Se establecen y evalúan los factores que determinan el nivel de consumo óptimo de energía eléctrica en el centro comercial Mega Plaza. Según el método de investigación de determinar el análisis en situación sin cambios, es decir la situación actual con el sistema eléctrico compuesto de 4 subestaciones, con 4 transformadores Pad Mounted.

#### **4.4.1. Análisis tarifario**

En el análisis tarifario corresponde a los cálculos realizados, se deduce que el costo facturado por el consumo de energía eléctrica en el tipo de tarifa MT2 es mayor que la tarifa MT4 FP; lo que significa cambiar la opción tarifaria a las subestaciones 1, 3, 4, y mantener la tarifa de MT2 a la subestación 2; representando un ahorro de 44 099 KWh, promedio mensual, que representa un ahorro de 39,4 por ciento promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012.

Tabla XI. **Consumo de energía con cambio de tipo de tarifa para 2011-2012**

Subestaciones	Tipo de tarifa previa	Tarifa propuesta	Consumo de energía KWh mes	Consumo de energía KWh mes propuesto	Ahorro de consumo de energía KWh mes	Ahorro
SE 01	MT2	MT4 FP	52 198	35 995	16 203	37 %
SE 02	MT2	MT2	9 740	9 740	0	0 %
SE 03	MT2	MT4 FP	7 496	3 329	4 167	9 %
SE 04	MT2	MT4 FP	41 824	18 095	23 729	54 %
Total			111 258	67 159	44 099	100 %

Fuente: elaboración propia según un análisis tarifario

Observaciones: MT2, MT4 FP son los tipos de tarifas existentes.

Los cálculos de los datos mostrados son obtenidos con el Software CALTAR V1.00. El consumo es propuesto porque en realidad no varía, lo único que varía es la forma de pago por ese consumo, que equivale al consumo de energía propuesto bajo condiciones nuevas de pago por energía.

#### 4.4.2. Análisis del comportamiento del personal

El comportamiento del personal respecto al consumo de energía eléctrica muestra los siguientes resultados:

- Consumo innecesario de energía eléctrica durante las horas de día

En base a las mediciones realizadas y la elaboración de los diagramas de cargas para las subestaciones 01 y 04 se ha estimado el consumo de energía eléctrica utilizados innecesariamente de 3,5 KW para cada una; y para las subestaciones 02 y 03 se ha observado también un consumo innecesario de 1,5 KW para cada una.

Representando 10,00 KW, de consumo innecesario de energía eléctrica durante las horas de día en todo el centro comercial; por el encendido de lámparas donde no es necesaria la iluminación artificial.

- Consumo innecesario de energía eléctrica durante las horas de la noche

Los diagramas de carga se han elaborado para las subestaciones de mayor demanda de potencia (críticas), del centro comercial.

Para la sub estación 01, en base a las mediciones realizadas en campo durante 24 horas, se ha obtenido el diagrama de carga diario respectivo, en donde se aprecia el comportamiento del consumo de energía eléctrica y/o variación de la carga en función del tiempo en dicha sub estación; se observa que las máximas demandas en horas de punta y fuera de punta son aproximadamente iguales.

Por otro lado se observa que existe un consumo innecesario de energía eléctrica durante la noche; a pesar de desenergizar el circuito de alumbrado público a las 5:00 a.m., lo que significa que hay un considerable número de lámparas de uso interior que funcionan en horas de la noche. Se estima que existe un consumo innecesario que alcanza unos 10 KW en la sub estación 01, 5,50 KW en la sub estación 02 y 5,50 KW en la sub estación 03.

Para la sub estación 04; de la misma forma en base a las mediciones realizadas, se ha elaborado el diagrama de carga diario, en el cual se observan las variaciones de la carga; a las 18:30 p.m. la curva llega al máximo valor (47,90 KW) y a partir de las 19:30 p.m. la curva tiende a mantenerse constante hasta las 5:30 a.m. (33,67 KW), lo que indica que existe un consumo innecesario también durante la noche; verificándose que, en las diferentes

edificaciones de la zona de comida, pasillos, etc.; permanecen encendidas las lámparas de uso interior de los diferentes ambientes, durante el horario nocturno, sirviendo éste como alumbrado público para la vigilancia y resguardo del centro comercial; se estima que existe un consumo innecesario de 15 KW durante la noche en la sub estación 04.

Tabla XII. **Consumo de energía innecesario para el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo de energía eléctrica innecesaria					Consumo de energía KWh mes	Consumo de energía innecesario KWh mes	Ahorro por SE de energía
	Energía durante el día KW	Horas durante el día	Energía durante la noche KW	Horas durante la noche HP	Horas durante la noche HFP			
SE 01	3,5	2	10	5	7	52 198	3 810	40%
SE 02		2		5	7	9 740	0	0%
SE 03		2		5	7	7 496	0	0%
SE 04	3,5	2	15	5	7	41 824	5 610	60%
Total	7		25			111 258	9 420	100%

Observaciones: este consumo innecesario de energía eléctrica se consiguió mediante un análisis del diagrama de carga instalado en las SE del centro comercial Mega Plaza.

Fuente: elaboración propia.

Para el período 2011-2012 el consumo innecesario de energía ascendía al 8,4 por ciento del promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012 se observa que la SE 02 y la SE 03 están sin valores de consumo de energía esto se debe a que el diagrama de cargas diarias solo se han aplicado a las críticas de la SE 01 y SE 04 por representar el 47 y 38 por ciento respectivamente del consumo de energía total.

El tipo de consumo de energía es uno solo pero, dependiendo de la opción tarifaria en que se encuentre el consumidor, en este caso el centro comercial, el pago por este es distinto lo cual se observa en los siguientes cuadros:

- Considerando tarifa MT2

Tabla XIII. **Pago mensual innecesario de energía eléctrica en la opción tarifaria MT2 durante el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo de energía eléctrica innecesaria					Costo de energía MT2 en HFP (Q./KWh)	Costo de energía MT2 en HP (Q./KWh)	Pago innecesario por energía consumida
	Energía durante el día KW	Horas durante el día	Energía durante la noche KW	Horas durante la noche HP	Horas durante la noche HFP			
SE 01	3,5	2	10	5	7	0,32	0,44	1 387,60
SE 02		2		5	7	0,32	0,44	0
SE 03		2		5	7	0,32	0,44	0
SE 04	3,5	2	15	5	7	0,32	0,44	2 048,21
Total	7		25			Total	Q./	3 435,81

Fuente: elaboración propia.

El análisis del consumo de energía eléctrica comparando el comportamiento del día *versus* el comportamiento de noche muestra un resultado de gasto innecesario demás de Q 3 435,81 mensual.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que no se están analizando comportamientos propios de gasto innecesario de energía durante el día, es decir para el objetivo de investigación se está hallando solo el nivel de consumo de energía normal.

- Considerando tarifa MT4 FP

Tabla XIV. **Pago mensual innecesario de energía eléctrica en la opción tarifaria MT4 FP durante el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo de energía eléctrica innecesaria					Costo de energía MT4 en HFP (Q./KWh)	Costo de energía MT4 FP en HP (Q./KWh)	Pago innecesario por energía consumida
	Energía durante el día KW	Horas durante el día	Energía durante la noche KW	Horas durante la noche HP	Horas durante la noche HFP			
SE 01	3,5	2	10	5	7	0,36	0,36	1 355,02
SE 02		2		5	7	0,36	0,36	0
SE 03		2		5	7	0,36	0,36	0
SE 04	3,5	2	15	5	7	0,36	0,36	1 995,19
Total	7		25			Total	Q./	33 350,21

Observaciones: a pesar de tener en la opción tarifaria MT2 y MT4 FP el mismo consumo de energía, el pago por dicho consumo en ambos tipos de tarifa es distinto.

Fuente: elaboración propia.

El análisis del consumo de energía eléctrica comparando el comportamiento del día *versus* el comportamiento de noche para una tarifa propuesta de MT4 FP nos muestra un resultado de gasto innecesario demás de Q 3 350,21 mensual, comparando entre ambos escenarios con MT2 y MT4FP.

#### 4.5. **Medidas costosas para proyectos de ahorro de energía**

El proyecto de ahorro de energía se compone de una serie de datos tales como: especificaciones técnicas del estado actual de los materiales y funcionamiento de los equipos eléctricos existentes, mediciones, cálculos de los diferentes parámetros eléctricos, identificación de las subestaciones y redes eléctricas críticas, diseño de bancos de capacitores para elevar el factor de potencia y reducir el consumo de energía reactiva.

Lo que implica un cambio de conductores es un cambio gradual de lámparas fluorescentes, la instalación de un banco de condensadores, selección adecuada de motores más eficientes.

El proyecto de ahorro de energía ha sido realizado con el propósito de determinar cuantitativamente las posibilidades de ahorro energético en el centro comercial Mega Plaza, incluyendo cuestiones técnicas y conducta del personal. Estableciendo las nuevas bases para proyectar futuras instalaciones.

#### **4.5.1. Análisis de conductores**

Los conductores más utilizados en las redes eléctricas secundarias existentes del centro comercial son del tipo NYY, WP y TW.

Los conductores subterráneos NYY, corresponden a las redes más antiguas existentes en el centro comercial, de secciones 10, 16, 25, 35, 50 y 70 mm<sup>2</sup>; las que se encuentran en un total abandono, sin ninguna clase de mantenimiento, con buzones para empalmes y de paso, inundados de agua y basura; los empalmes en la mayoría de los casos no están correctamente aislados y otros no tienen ningún tipo de aislamiento; incumpliendo con las Normas Técnicas de Protección y Seguridad, dadas por el Ministerio de Energía y Minas (Dirección General de Electricidad), además estipulados en el Código Nacional de Electricidad, tomo IV; última edición.

Los conductores aéreos WP, de secciones 16, 25 y 35 mm<sup>2</sup>, han sido instalados de manera precaria, sin considerar ninguna norma de una correcta ejecución de obra; están instalados por los techos de las actuales construcciones, adosados mediante portalíneas y aisladores tipo carrete, también existen conductores instalados en postes mediante aisladores tipo pin.

Además se tienen algunos cables de tensión que son insuficientes para la mencionada red aérea; por otro lado, erróneamente, en ciertos tramos han sido utilizados como conductores subterráneos, lo que ocasionará fallas más

frecuentes en dichos circuitos perjudicando el funcionamiento del sistema eléctrico en su conjunto.

Los conductores tipo TW, de secciones 12, 10 y 8 AWG, han sido instalados también en forma precaria, sin considerar que los niveles de aislamiento que estos poseen no corresponden a una instalación eléctrica exterior, ni subterránea; son sólo para uso de instalaciones eléctricas interiores.

#### Caídas de tensión

Las normas de calidad de servicio eléctrico así como el Código Nacional de Electricidad (NEC), establecen una caída de tensión máxima de 5 por ciento de la tensión nominal (tensión nominal = 220 V). Sin embargo, en lo que corresponde a mediciones de los circuitos de la sub estación 04, se tiene caídas de tensión que superan dicho porcentaje, alcanzando valores del orden de 12,28 y 12,61 por ciento, medidos en horas fuera de punta, los mismos que son debidos al incorrecto dimensionamiento de los conductores de la red eléctrica secundaria, habiéndose instalado estos sin tomar en cuenta los parámetros, como las distancias que recorren los circuitos y las cargas que alimentan; las áreas más afectadas por la caída de tensión son el área de comida y su área de comercio cercana.

En la red eléctrica secundaria de la subestación 01, se aprecia que las caídas de tensión también alcanzan valores superiores al 5 por ciento permitido, siendo los máximos de 7,02 por ciento, en el área de pasillos, esto se debe a que la derivación que alimenta a la misma, posee conductores de dimensiones incorrectas.

Las redes eléctricas secundarias de la subestación 02 y subestación 03, de acuerdo a las mediciones realizadas, se han determinado que los porcentajes de caídas de tensión, en todos los circuitos, están por debajo del margen permisible (5 por ciento).

Los valores de caídas de tensión por encima del 5 por ciento permitido, inciden en el deterioro y mal funcionamiento de equipos electrónicos tales como computadoras, lámparas y otros artefactos de consumo de energía eléctrica.

#### Deterioro del aislamiento de conductores subterráneos

Las redes eléctricas de distribución secundaria subterráneas de la subestación 01, presentan el mayor deterioro del aislamiento de sus conductores (disminución del nivel de aislamiento). De acuerdo a normas para conductores subterráneos, estos deben estar en el orden de los  $8M\Omega$  (para las mediciones entre fases) y  $5M\Omega$  (para las mediciones entre fase y tierra).

Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas del nivel de aislamiento en las instalaciones mencionadas anteriormente están por debajo de los  $2M\Omega$  en las mediciones entre fases y  $4,5M\Omega$  en las mediciones entre fase y tierra. Esto debido al envejecimiento y falta de mantenimiento de dichos conductores y empalmes en las mencionadas redes eléctricas secundarias, lo que es más crítico en la época de lluvias, por la saturación del suelo y la subida del nivel freático del agua. Por las razones antes mencionadas existen pérdidas eléctricas por fugas a tierra.

Tabla XV. **Evaluación económica del cambio de dimensión de los conductores del sistema eléctrico de Mega Plaza durante el período 2011-2012**

Sub estación	Circuito	Sección	VAN	TIR	B/C
SE 01	C-1	85 mm <sup>2</sup>	1 051,69	10%	1,49
	C-2	42,4 mm <sup>2</sup>	900,97	56%	5,07
	C-3	42,4 mm <sup>2</sup>	118,8	4%	1,01
	C-4	21,2 mm <sup>2</sup>	pérdida	negativo	0,12
SE 02	C-1	42,4 mm <sup>2</sup>	1 351,54	19%	2,09
	C-2	21,2 mm <sup>2</sup>	347,39	7%	1,29
	C-3	21,2 mm <sup>2</sup>	pérdida	negativo	0,03
SE 03	C-1	85 mm <sup>2</sup>	512,27	6%	1,2
	C-2	33,60 mm <sup>2</sup>	2 729,72	38%	3,57
	C-3	42,40 mm <sup>2</sup>	1 343,99	18%	2,02
SE 04	C-1	107,0 mm <sup>2</sup>	2 099,19	14%	1,7
	C-2	42,4 mm <sup>2</sup>	pérdida	negativo	0,53
	C-3	85 mm <sup>2</sup>	405,09	1%	0,97
	C-4	42,4 mm <sup>2</sup>	2 197,37	29%	2,81

Observaciones: se considera en el cálculo los circuitos a los que acompaña cada sub estación.

Fuente: elaboración propia.

Un correcto dimensionamiento de los conductores calculados en el software EVASEL muestra que durante el tiempo de vida del conductor estimado moderadamente en 10 años, se está perdiendo 13 058,00 dólares.

El consumo innecesario de energía por este dimensionamiento inadecuado se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla XVI. **Consumo de energía eléctrica innecesaria por incorrecto dimensionamiento de conductores período 2011-2012**

Sub estación	Consumo KWh mes	Pérdida de energía KWh mes	Ahorro
SE 01	52 198	696	16%
SE 02	9 740	571	13%
SE 03	7 496	1 542	35%
SE 04	41 824	1 581	36%
Total	111 258	4 390	100%

Observaciones: La SE 04 pierde gran cantidad de energía debido a la gran distancia que tiene respecto a la SE 01. La SE 03 pierde gran cantidad de energía debido a que los conductores que tiene son de diámetro de conductor inadecuado.

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas por consumo de energía por inadecuado dimensionamiento ascienden a 4 por ciento del promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012.

#### Sobrecarga de transformadores y redes eléctricas

Con las mediciones registradas en campo y los cálculos realizados (diagrama de carga), así como por el análisis del estado de cuenta se ha determinado que la sub estación 01 se encuentra en situación crítica.

Es decir su transformador trabaja en condiciones de sobrecarga; lo que ocasiona cortes de energía eléctrica de 18:00 a 19:00 horas, debido al accionamiento automático del relé diferencial de sobrecorriente, como

protección del transformador. En dicho instante se ha determinado que el mencionado transformador opera a 8,36 por ciento de exceso de su potencia nominal, lo que significa que alcanza los 135,45 KVA (para una corriente de 340 A y una tensión de 230 V), siendo su potencia nominal 125 KVA.

De igual forma se ha encontrado que el circuito que alimenta al área de comida perteneciente a las redes eléctricas secundarias de la subestación 01; tiene el conductor trabajando sobrecargado, lo que genera frecuentemente el sobrecalentamiento de dicho conductor, por el incorrecto dimensionamiento del mismo.

El transformador de la sub estación 02, trabaja por debajo de su potencia nominal entre el 40 y 50 por ciento de su capacidad instalada, siendo su potencia nominal 80 KVA. De igual forma sucede en el transformador de la sub estación 03, donde trabaja también por debajo de su capacidad instalada, entre el 30 y 40 por ciento, siendo su potencia nominal 100 KVA; en ambos casos no se aprovecha la capacidad instalada de sus respectivos transformadores.

La subestación 04, tiene su transformador que trabaja por debajo de su potencia nominal entre el 70 y 75 por ciento, siendo su potencia nominal de 100 KVA.

Durante el período de mediciones en campo, se ha detectado el sobrecalentamiento de un conductor correspondiente a una de las fases que conecta uno de los bornes del lado secundario del transformador con una de las barras del tablero de distribución de la sub estación 04. Donde una evaluación inicial nos determinaba que el transformador estaba trabajando sobrecargado.

Sin embargo, resulta que existe un empalme en el conductor de la fase antes mencionada, con un conductor de 1,00 m de longitud aproximadamente y de menor sección; lo que provoca el excesivo sobrecalentamiento en el interior del tablero de distribución.

Por otro lado, se ha detectado que también los conductores de los circuitos: C-1 (área comida) y C-3 (área pasillos), pertenecientes a la subestación 04, se sobrecalientan en horas de máxima demanda, todo ello debido al incorrecto dimensionamiento de los mismos, que corresponden a las redes eléctricas secundarias de la mencionada subestación.

Tabla XVII. **Consumo de potencia eléctrica para las subestaciones del centro comercial período 2011-2012**

Sub estación	Situación	Potencia nominal KVA	Potencia trabajo KVA	
SE 01	Critica sobrecarga	125	135	108%
SE 02	Normal aliviado	80	36	45%
SE 03	Normal aliviado	100	30	30%
SE 04	Aparente sobrecarga	100	70	70%

Observaciones: el verdadero problema de la SE 04 estaba en el correcto funcionamiento de los conductores lo que aparentemente parecía sobrecarga.

Fuente: elaboración propia.

El hecho de que un transformador trabaje en sobrecarga acorta su tiempo de vida útil, lo que a la larga significa un cambio prematuro del mismo, con la correspondiente pérdida de recursos económicos.

#### **4.5.2. Análisis de la potencia reactiva**

Se ha determinado que en las subestaciones 01, 02, 03 y 04 del centro comercial Mega Plaza, existe un exceso de consumo de energía reactiva que sobrepasa en todos los casos el 30 por ciento del consumo de energía activa (de acuerdo a la Ley de Concesiones Eléctricas); debido al uso masivo de lámparas fluorescentes, computadoras y algunos motores eléctricos.

Debido a que el consumo de energía reactiva puede aumentar por la implementación de la red de comunicaciones con fibra óptica y cableado estructurado; generándose mayores pérdidas eléctricas).

Inconvenientes de factor de potencia bajo

- La disminución del rendimiento de las instalaciones eléctricas, originando pérdidas por efectos Joule.
- El aumento de caídas de tensión proporcionales a la corriente.
- Penalizaciones en el consumo de energía reactiva cuando existe un bajo factor de potencia; es decir, se incrementa el consumo de energía reactiva y al sobrepasar el 30 por ciento del consumo de la energía activa, el centro comercial realizará el pago por dicho consumo; de acuerdo a la Ley de Concesiones Eléctricas.
- Sobrecarga del transformador de distribución.

## Instalación de bancos de condensadores de potencia

La instalación de bancos de condensadores de potencia en el sistema eléctrico del centro comercial Mega Plaza, está justificado por:

- Reducción de pérdidas de potencia activa en los conductores.
- Incremento de la potencia activa disponible en el secundario del transformador.
- Mejoramiento de la tensión en las redes eléctricas.
- Reducción del consumo de energía reactiva.

Los bancos de condensadores de potencia, además, tienen dimensiones reducidas, son fáciles de instalar, no necesitan de constante mantenimiento.

## Evaluación económica del banco de condensadores

Con los datos ya tabulados con el software SPSS, obtenidos a través de un análisis de estadística inferencial de la mediana y la desviación estándar, para una mejor selección la potencia reactiva adecuada proyectada a 4 bancos de condensadores, localizados en distribución global para cada uno de los transformadores, se utiliza el software Cal-Condensador para la evaluación económica de condensadores, mostrando los siguiente resultados.

**Tabla XVIII. Cálculo del banco de condensadores necesarios para la compensación reactiva del consumo de energía eléctrica del centro comercial durante el período 2011-2012**

Sub estación	Potencia activa KWh/mes	Potencia reactiva KVARh/mes	Compensación			
			KVAR	VAN	TIR	B/C
SE 01	15 133	12 043	60	36 971	158 %	15,79
SE 02	4 577	4 983	15	10 427	84 %	8,39
SE 03	2 863	4 633	15	11 477	90 %	9,04
SE 04	22 738	19 086	50	35 555	83 %	8,29

Observaciones: a partir del 30 % de exceso de energía se paga una tarifa de penalización.

Fuente: elaboración propia.

Como se observa la inclusión de banco de condensadores tienen un TIR, B/C altos, lo que indica que la compra de estos equipos es beneficiosa.

**Tabla XIX. Consumo de energía reactiva en exceso por cada una de las subestaciones del centro comercial durante el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo KWh mes	Consumo de energía reactiva en exceso
SE 01	52 198	7 503
SE 02	9 740	3 610
SE 03	7 496	3 774
SE 04	41 824	12 265
total	111 258	27 152

❖ Observaciones: La SE 04 tiene una alta pérdida de energía reactiva esto se debe a la alta caída de tensión que tiene 12,28 % > 5 % permitido

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas por consumo de energía reactiva con penalización e innecesaria ascienden a 24 por ciento del promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012.

#### **4.5.3. Análisis de iluminación**

Uso de lámparas incandescentes

Actualmente en Mega Plaza, existen funcionando aproximadamente 150 lámparas incandescentes, que tienen un elevado consumo de energía eléctrica, que por esa razón ya no se utilizan en las nuevas edificaciones

Dentro de la oferta del mercado actual hay una variedad de lámparas que superan significativamente la eficiencia de las mencionadas y consumen menor energía, con los mismos o mayores niveles de iluminación.

Las más utilizadas son las lámparas fluorescentes de 35 W (incluye el consumo del equipo de arranque), que podrían reemplazar a las lámparas incandescentes de 100 W, representando un ahorro de 65 W por cada una de ellas.

**Tabla XX. Evaluación económica del cambio de focos incandescentes por focos ahorradores por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012**

Sub estación	No. Focos incandescentes	No. Focos ahorradores	Criterios económicos		
			VAN	TIR	B/C
SE 01	50	50	988,1		
SE 02	30	30	592,86		
SE 03	30	30	592,86		
SE 04	40	40	790,48		
Total	150	150	2 964,29	29%	3.36

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el software Cal-Illuminación se observa que la sustitución de focos incandescentes por focos ahorradores en el centro comercial, permiten un ahorro en 10 años de \$ 2 964,29.

**Tabla XXI. Consumo innecesario de energía eléctrica por la utilización de focos incandescentes por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo de energía	
	Consumo KWh mes	Consumo innecesario de focos KWh mes
SE 01	52 198	445
SE 02	9 740	267
SE 03	7 496	267
SE 04	41 824	356
total	111 258	1 336

Fuente: elaboración propia.

El consumo de energía por la utilización de focos incandescentes asciende a 1,2 por ciento del promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012.

#### Alumbrado público

Las luminarias existentes son del tipo MIRH-64 con lámparas de vapor de mercurio de 125 W, las cuales no son usadas en los nuevos sistemas de alumbrado público, por la mayor potencia que consumen y por su bajo nivel de iluminación con respecto a las lámparas de vapor de sodio. Recomendándose un cambio para reducir las potencias de consumo.

Asimismo, en el centro comercial actualmente existen instaladas 88 lámparas de vapor de mercurio de 125 W, de las cuales funcionan 46 aproximadamente; que podrían reemplazarse por lámparas de menor consumo como las de vapor de sodio de 70 W, de acuerdo a las especificaciones técnicas que se presentan a continuación:

**Tabla XXII. Consumo de potencia según tipo de lámpara para alumbrado público**

Tipo de lámpara	Potencia (W)	Flujo (lumen)	Vida útil (horas)	Eficiencia luminosa (lm/W)
Vapor de Hg	125	6 333	24 000	47,36
Vapor de Na	70	5 800	24 000	75,32

Fuente: catálogos del fabricante.

Con los datos obtenidos del centro comercial se utiliza el software Cal-Iluminación para evaluar el cálculo económico de sistemas de iluminación mostrando los siguientes resultados:

**Tabla XXIII. Evaluación económica del cambio de luminarias de vapor mercurio por vapor de sodio en alumbrado público por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012**

Sub estación	No. Luminarias vapor Hg	No. Luminarias vapor Na	Criterios económicos		
			VAN	TIR	B/C
SE 01	20	20	2 284,6		
SE 02	10	10	571,15		
SE 03	30	30	1 713,45		
SE 04	20	20	1 142,3		
Total	80	80	4 569,19	78 %	8,07

Fuente: elaboración propia.

El cambio de luminarias de vapor de mercurio por lámparas de vapor de sodio permite un ahorro en 10 años de \$ 4 569,19.

Tabla XXIV. **Consumo innecesario de energía eléctrica por la utilización de lámparas de vapor de mercurio por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2012**

Sub estación	Consumo de energía	
	Consumo KWh mes	Consumo innecesario de focos KWh mes
SE 01	52 198	407
SE 02	9 740	203
SE 03	7 496	610
SE 04	41 824	407
total	111 258	1 627

Fuente: elaboración propia.

El consumo de energía por la utilización de luminarias de vapor de mercurio asciende a 1,4 por ciento del promedio mensual. Considerando el consumo mensual de energía eléctrica entre el período 2011-2012.

#### 4.6. Análisis FODA

Fue necesaria la aplicación del análisis FODA, la cual es una herramienta de análisis estratégico que permite analizar los elementos necesarios con que cuenta la empresa para la planificación estratégica, proporcionando la información necesaria para la implementación de acciones, medidas correctivas y generación de nuevos y mejores proyectos.

#### Factores Internos

- Fortalezas

- F1. La existencia de personal capacitado.
- F2. Buena comunicación con los trabajadores.
- F3. Excelente servicio prestado al centro comercial.
- F4. Intención positiva de aplicar el plan de ahorro energético.

- Debilidades

- D1. No existe un manual de organización.
- D2. No hay formulario para registro de fallas.
- D3. No cuentan con un plan de orientación al personal para el ahorro energético.
- D4. No existe un sistema de orientación visual de ahorro energético.

### **Factores Externos**

- Oportunidades

- O1. Existencia de empresa que haga seguimiento a la problemática.
- O2. Existencia de OHM para vigilar el cumplimiento del plan de ahorro energético.
- O3. Ganar confianza y liderar el mercado competitivo.

- Amenazas

- A1. Incremento en el consumo de carga energética de Mega Plaza.
- A2. Aplicación de sanciones importantes por parte de OHM de no cumplir con el plan de ahorro energético.
- A3. Aumento por decreto gubernamental del valor de factor de carga.

Tabla XXV. **Matriz FODA centro comercial Mega Plaza**

I N T E R N O S	<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>	E X T E R N O S
	F1: La existencia de personal capacitado.	O1: Existencia de empresa que haga seguimiento a la problemática.	
	F2: Buena comunicación con los trabajadores.	O2: Existencia de OHM para vigilar el cumplimiento del plan de ahorro energético.	
	F3: Excelente servicio prestado al centro comercial.	O3: Ganar confianza y liderar el mercado competitivo.	
	F4: Intensión positiva de aplicar el plan de ahorro energético.		
	<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>	
D1: No existe un manual de organización.	A1: Incremento en el consumo de carga energética de Mega Plaza.		
D2: No hay formulario para registro de fallas.	A2: Aplicación de sanciones importantes por parte de OHM de no cumplir con el plan de ahorro energético.		
D3: No cuentan con un plan de orientación al personal para el ahorro energético.	A3: Aumento por decreto gubernamental del valor de factor de carga.		
D4: No existe un sistema de orientación visual de ahorro energético.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Análisis FODA**

<p><b>Externos</b> <b>Internos</b></p>	<p><b>OPORTUNIDADES</b> O1: Existencia de empresa que haga seguimiento a la problemática. O2: Existencia de OHM para vigilar el cumplimiento del plan de ahorro energético. O3: Ganar confianza y liderar el mercado competitivo.</p>	<p><b>AMENAZAS</b> A1: Incremento en el consumo de carga energética de Mega Plaza. A2: Aplicación de sanciones importantes por parte de OHM de no cumplir con el plan de ahorro energético. A3: Aumento por decreto gubernamental del valor de factor de carga.</p>
<p><b>FORTALEZAS</b> F1: La existencia de personal capacitado. F2: Buena comunicación con los trabajadores. F3: Excelente servicio prestado al centro comercial. F4: Intensión positiva de aplicar el plan de ahorro energético.</p>	<p><b>FO</b> <b>F1, O1:</b> Aprovechar los cursos de capacitación por medio de convenios con otras entidades para explotar el potencial del uso de tecnología, como agente clave. <b>F2, O2:</b> Ampliar la cobertura del servicio prestado en Mega Plaza. <b>F2, O3:</b> Capacitar continuamente al personal.</p>	<p><b>FA</b> <b>F1, A2:</b> Orientar al personal sobre las diferentes penalizaciones que incurriría la empresa de no cumplir con el plan <b>F3, A2:</b> Motivar y enseñar al personal sobre los aspectos y características para la aplicación del plan de ahorro energético.</p>
<p><b>DEBILIDADES</b> D1: No existe un manual de organización. D2: No hay formulario para registro de fallas. D3: No cuentan con un plan de orientación al personal para el ahorro energético. D4: No existe un sistema de orientación visual de ahorro energético.</p>	<p><b>DO</b> <b>D1, O1:</b> Realizar un manual de organización para llevar el control de la data y consumo. <b>D3, O3:</b> Realizar campañas de concientización para que los trabajadores ejecuten el plan de ahorro energético. <b>D4, O3:</b> Prestar servicio de manera eficiente haciendo uso racional del recurso eléctrico.</p>	<p><b>DA</b> <b>D2, A3:</b> Comunicar sobre los incrementos del valor de factor de carga periódicamente. <b>D4, A1:</b> Diseñar formularios para la recolección de datos y reprogramación de encendido y apagado de los equipos.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta, tanto los factores externos como los internos, se puede mejorar la situación actual del centro comercial Mega Plaza por medio de proyectos sencillos y rápidos. Entre tales proyectos se encuentran: realizar campañas de concientización para que los trabajadores ejecuten el plan de ahorro energético, para así poder prestar un servicio de manera eficiente haciendo uso racional del recurso eléctrico; comunicar sobre los incrementos del valor de factor de carga periódicamente utilizando formularios para la recolección de los datos y reprogramar el encendido y apagado de los equipos.

Se podría aprovechar los cursos de capacitación por medio de convenios con otras entidades para poder explotar el potencial del uso de la tecnología. Orientar al personal sobre las diferentes penalizaciones que incurriría el local de no cumplir con el plan de ahorro energético.

## **5. SITUACIÓN MEJORADA DEL CENTRO COMERCIAL MEGA PLAZA**

Presenta todas las alternativas del programa de ahorro de energía en el comercio Mega Plaza haciendo un cálculo del consumo de iluminación con nuevas luminarias para evaluar la factibilidad de una posible sustitución de las instalaciones eléctricas.

En esta parte se muestra qué tan grande es el impacto de cambiar las opciones tarifarias del centro comercial y cómo estas cambian drásticamente la facturación eléctrica.

### **5.1. Análisis global del ahorro de energía del centro comercial Mega Plaza**

A continuación se muestra en la tabla XXVII el análisis global del ahorro de energía del centro comercial Mega Plaza.

Tabla XXVII. **Consumo de energía eléctrica por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Consumo innecesario de energía eléctrica KWh mes	Consumo de energía eléctrica KWh mes				Total
	SE 01	SE 02	SE 03	SE 04	
	52 198	9 740	7 496	41 824	111 258
Análisis tarifario	0	0	0	0	0
Comportamiento del personal	3 810	0	0	5 610	9 420
Cambio de conductores	696	571	1 542	1 581	4 390
Banco de condensadores	7 503	3 610	3 774	12 265	27 152
Iluminación interior	445	267	267	356	1 335
Iluminación alumbrado público	407	203	610	407	1 627
Total	12 861	4 651	6 193	20 219	43 924

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la pérdida por energía reactiva en la SE 04 eleva en realidad al promedio de pérdidas en todo el sistema, esto se debe a la alta caída de tensión que esta tiene al estar en 12,7 por ciento superior al 5 por ciento permitido por el Código Nacional de Electricidad (NEC).

El análisis tarifario es una opción sobre el tipo de pago por consumo de energía eléctrica, por tanto no es un consumo innecesario de energía, tiene para nuestro cuadro valor cero. Este cuadro para el sistema eléctrico del centro comercial Mega Plaza en el período enero 2011 – noviembre 2012 muestra que el consumo nivel de normal de energía en Mega Plaza es de 76 754KWh mes y el nivel de consumo óptimo de energía es de 67334 KWh mensual, pero tiene un factor distorsionante muy fuerte que son las pérdidas por caída de tensión de la SE 04, que amerita un cambio en el sistema eléctrico de Mega Plaza.

El cual se realiza en noviembre del 2012 al poner en funcionamiento otra nueva SE 05 que divide la carga de la SE 04 en dos cargas por consumo de energía que es la estudiada posterior al mes anteriormente mencionado. El consumo por energía eléctrica no solo permite encontrar niveles normales y

óptimos de consumo de energía sino que también analiza el pago por esta energía que difiere la correlación que existe entre ellos por inclusión de la opción tarifaria sobre los mismos consumos de energía.

En el cuadro siguiente se encuentran, también, de forma cuantificada los factores que influyen en el nivel de consumo de energía eléctrica por precio. En ese cuadro se aprecia que se puede llegar a ahorrar Q 20 325,50 mensuales, con lo cual el pago por consumo sería de Q 42 064,01 mensuales lo que significa que se podría ahorrar hasta en un 31 por ciento de lo que actualmente se paga.

**Tabla XXVIII. Pago por consumo de energía eléctrica por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Subestaciones	SE 01	SE 02	SE 03	SE 04	Total
Pago MT2	10 291,82	2 355	5 379,09	5 270,46	23 296,37
Análisis tarifario	3 194,63	0	2 990,24	2 990,24	9 175,11
Banco de condensadores	481,72	589,3	75	876,75	2 022,77
Cambio de conductores	105,71	86,7	234,02	239,93	666,36
Comportamiento del personal	1 355,02	262,06	262,06	710,23	2 589,37
Iluminación interior	279,96	167,98	167,98	223,97	839,89
Iluminación alumbrado público	647,3	161,83	485,48	323,65	1 618,26

Observaciones: Las unidades monetarias están en diferentes monedas y se aproximó a Q.

Fuente: elaboración propia.

Estos costos no son nada despreciables porque suponen un ahorro anual al centro comercial de Q 245 786,30 que durante el tiempo de vida del proyecto

estimado en 10 años es de Q 2 457 871,45 o sea 248 821,51 dólares que podrían ser utilizados de mejor manera.

El consumo normal de energía en el centro comercial Mega Plaza es de 91 045 KWh mensual en el período 2012– 2013 comparado con el consumo óptimo de energía del período 2011-2012 que era de 67 334KWh mensual se ha incrementado en 35 por ciento; esto se debe a lo antes explicado de la existencia de una nueva subestación que da como resultado los siguientes datos:

**Tabla XXIX. Consumo de energía eléctrica con nueva subestación de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Consumo innecesario de energía eléctrica KWh mes	Consumo de energía eléctrica KWh mes					Total
	SE 01	SE 02	SE 03	SE 04	SE 05	
	62 395	13 305	15 652	15 763	38 729	145 844
Análisis tarifario	0	0	0	0		0
Comportamiento del personal	3 810	0	0	2 805	2 805	9 420
Cambio de conductores	752	708	1 912	1 823	1 817	7 123
Banco de condensadores	12 001	3 729	1 039	4 772	13 753	35 294
Iluminación interior	445	267	267	178	178	1 335
Iluminación alumbrado público	407	203	610	203	204	1 627
<b>Total</b>	<b>17 526</b>	<b>4 907</b>	<b>3 828</b>	<b>9 781</b>	<b>18 757</b>	<b>54 799</b>

Observaciones: Se observa que la pérdida por energía reactiva en la SE 05 es mayor que los pabellones antiguos en todo el sistema, esto se debe a que el cine entró en funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

El consumo normal de energía en Mega Plaza es de 100 465 KWh mensual, el consumo óptimo de energía en Mega Plaza es de 91 045 KWh mensual.

Al estimar finalmente, en el cuadro adjunto, las posibilidades reales del ahorro de energía en la situación con la nueva subestación y establecer que el consumo promedio de Mega Plaza asciende Q 67 585,64 y encontrar también de forma cuantificada los factores que influyen en el nivel de consumo de energía eléctrica se muestra que, a pesar de encontrarse mejores soluciones, con el cambio de tarifa a MT3 en SE04 y SE 05 existe posibilidad de ahorro de Q 31 903,60 mensuales, por el incremento de energía reactiva lo que significa que se podría ahorrar hasta en un 47 por ciento de lo que actualmente se paga lo que significa que en relación al 31 por ciento inicial, sin la nueva subestación, las pérdidas se han incrementado en la nueva situación y se seguirán incrementado si no se corrige con urgencia este problema.

Tabla XXX. **Pago por consumo de energía eléctrica con nueva subestación de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Sub estaciones	SE 01	SE 02	SE 03	SE 04	SE 05	Total
Pago MT2	10 316	2 623	3 250	3 036	4 722	23 947
Análisis tarifario	1 927,97	378,39	494,56	409,76	0	3 210,68
Banco de condensadores	1 492,51	868,03	565,21	1 022,55	450,68	4 398,98
Cambio de conductores	105,71	86,7	234,02	239,93	237	903,36
Comportamiento del personal	245,52	62,43	77,35	72,26	112,38	569,94
Iluminación interior	279,96	167,98	167,98	111,99	111,99	839,9
Iluminación alumbrado público	647,30	161,83	485,48	162	162	1 618,61

Observaciones: El pago propuesto por cambio de tarifa para SE 05 no es un cambio.

Fuente: elaboración propia.

Para corregir este problema principal del banco de condensadores se necesita una inversión de Q 179 639,46 que se recuperaría en 5,2 meses considerando la pérdida de Q 31 903,29 antes mencionada o en 1 año 7 meses en la SE 03 y SE 05 como máximo (las otras SE tienen período de recuperación

más cortos 11 meses promedio), si se considera solo el rubro de banco de condensadores.

Estos costos por pérdida de energía global en la nueva situación no son nada despreciables porque suponen un ahorro anual del centro comercial de Q 382 842,40 que durante el tiempo de vida del proyecto estimado en 10 años es de Q 3 828 424,03 o sea 387 569,44 dólares.

### 5.1.1. Evaluación del crecimiento del consumo de energía

Cuando hacemos una evaluación para hallar el consumo óptimo de energía eléctrica se observa que el consumo óptimo de energía era de 67 664 KWh mes para el período 2011-2012 y de 91045 KWh mes para el período 2012-2013, lo que significa que el crecimiento de consumo de energía no es estático sino dinámico, por tanto es necesario encontrar un modelo que explique el crecimiento de consumo de energía. Para lo cual del estado de cuenta del consumo de energía del centro comercial Mega Plaza se proyectan los siguientes datos:

Tabla XXXI. **Evolución del consumo de energía eléctrica total promedio mensual (kilovatio-hora-mes) por cada una de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Sub estación	Año de evaluación					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
SE 01	67 248	59 440	62 820	62 026	57 911	65 916
SE 02	13 885	8 228	15 333	10 973	11 647	14 140
SE 03	9 166	9 032	10 610	13 094	15 054	15 835
SE 04	37 862	37 071	46 254	46 740	48 760	15 873
SE 05	0	0	0	0	24 661	31 753
Total	128 161	113 771	135 017	132 833	158 033	143 517

❖ Observaciones: Los datos son de la base de datos de Mega Plaza.

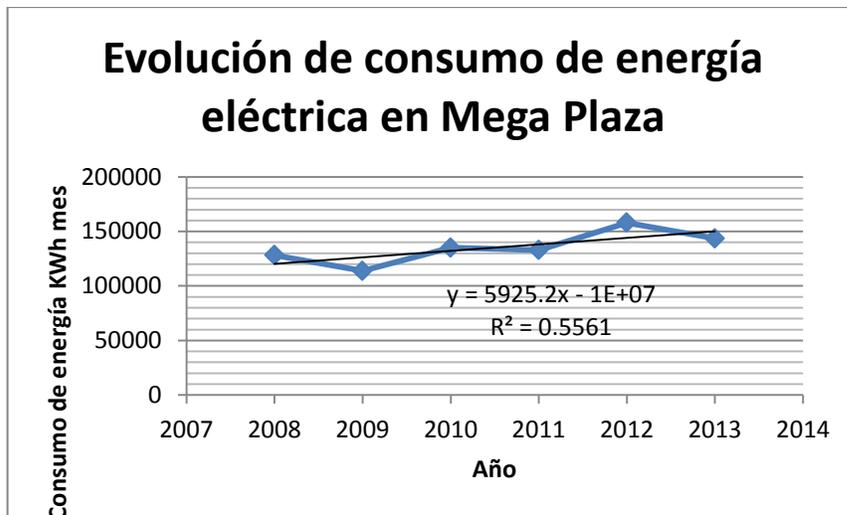
Fuente: elaboración propia.

De este cuadro se muestra que el crecimiento de energía no ha sido constante, si no que ha tenido subidas y bajadas, en 2009 se dio el valor más bajo.

Hay un incremento de consumo de energía eléctrica más alto en el 2012; aparentemente en el 2013 bajó el consumo. Si no se hubieran hecho las correcciones, como agregar una SE 05, esto sería una realidad. Se modificó en algo el sistema, razón que justifica ésta aparente bajada de consumo de energía eléctrica.

Al graficar este crecimiento de consumo de energía se observa lo mostrado en la figura 18.

Figura 18. **Evolución de consumo de energía eléctrica en Mega Plaza**



Fuente: elaboración propia.

Para encontrar un modelo adecuado que permita la representación de estos datos, se aplica el procedimiento estadístico de análisis de regresión lineal, para lo cual el modelo aplicable es.

$$Y = b_0 + b_1x_1$$

Se puede observar que la variable del año de consumo de energía  $x_1$ , está categorizada con valores 0, 1, 2, 3, 4, 5 según el año de consumo, mediante el sistema estadístico SPSS los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla XXXII. Resumen de modelo de consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013**

Modelo	R	R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error
1	0,745953	0,556446	0,445558	11 067,73

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXXIII. Análisis de la varianza del consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013**

Modelo	Suma de cuadrados	df	Cuadrados medios	F	Sig.
Regresión	614 686 209	1	614 686 209	5,01807	0,088612
Residual	489 978 188	4	122 494 547		
Total	1 104 664 397	5			

Observaciones: a constante Año, b variable dependiente Consumo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Coefficientes para el consumo de energía eléctrica de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013**

Modelo	(constantes)	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		b	Error estándar	Beta		
1	Año	114 487,133	10 303,4917		11,1114889	0,00037322
		5 926,62857	2 645,69242	0,74595316	2,2401049	0,08861163

Observaciones: a dependiente variable Consumo

Fuente: elaboración propia.

El modelo para realizar el pronóstico solicitado se obtiene con:

$$Y = 11\ 487 + 5\ 926 X1$$

El coeficiente de determinación (R cuadrado) indica que el 55,6 por ciento de los datos son explicados por el modelo, el mismo que está consignado en la tabla 30; el valor de F de la tabla 31 es de 5,018; permite determinar la dependencia del consumo de energía eléctrica por año.

El consumo de energía eléctrica óptimo por tanto, por criterio porcentual, comenzaría en un valor de 69 287 KWh mes y se incrementaría anualmente en 5 926 KWh mes. Para el modelo anteriormente calculado de la evolución del consumo de energía eléctrica.

### 5.1.2. Evaluación de la inversión necesaria

Para el análisis tarifario

La inversión por análisis tarifario es un costo por trámite por SE de Q 56,63 por 5 subestaciones es decir Q 283,15, produciéndose un ahorro anual de Q 109 012,56. Lo cual justifica la inversión.

Para el banco de condensadores

La inversión por banco de condensadores se describe en la siguiente tabla:

Tabla XXXV. **Inversión por compra de condensadores de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

Sub estación	Costo banco de condensadores \$
SE 01	4 250
SE 02	3 440
SE 03	920
SE 04	4 240
SE 05	5 250
Costo total	18 100

Fuente: elaboración propia.

La inversión por banco de condensadores es de \$ 18 100 dólares o Q 179 375,21 y permite un ahorro anual de Q 149 440,65, por tanto se podría recuperar la inversión en 1 año y 2 meses aproximadamente.

Por el cambio de conductores

La inversión por cambio de conductores se describe en la siguiente tabla durante el período de los años 2012-2013:

**Tabla XXXVI. Inversión por cambio de conductores del sistema eléctrico de Mega Plaza durante el período 2012-2013**

SE	Circuito	Inversión \$	Sub total
SE 01	C-1	1 598	8 359
	C-2	194	
	C-3	523	
	C-4	6 044	
SE 02	C-1	1 025	8 558
	C-2	801	
	C-3	6 732	
SE 03	C-1	1 534	3 256
	C-2	921	
	C-3	801	
SE 04	C-1	1 819	3 237
	C-2	943	
	C-3	475	
SE 05	C-1	1 032	2 201
	C-2	500	
	C-3	669	
		Total	25 611

Fuente: elaboración propia, con programa Evasel.

La inversión exclusiva por cambio de conductores asciende a 25 611 dólares al cambio actual vendría a ser Q 253 812,39. Sin embargo la inversión no solo se considera para el cambio neto de conductores, sino todos los elementos que participan en su instalación, correspondientes a un estudio de remodelación de redes; el Grupo de Ingeniería y Construcción Eléctrica a realizado un proyecto de remodelación de redes eléctricas secundarias y alumbrado público de un centro comercial similar, cuyo costo de inversión fue de Q 1 840 559,56, este costo tiene algunas observaciones: la remodelación de redes está planteada con cable subterráneo los cuales por naturaleza son costos elevados, comparados con las instalaciones aéreas, el mantenimiento de éste tipo de redes también es alto. Considerando la inversión de redes aéreas su costo de inversión no se recupera en el tiempo de vida útil, pues sólo alcanza a valores de Q 247 240,49 de recuperación en pérdidas, si no se consideraría el beneficio adicional por el uso de conductores la inversión no sería rentable, y menos si la inversión fuera con redes subterráneas.

Al analizar la inversión por medio de: su B/C, su TIR o su VAN no se justificaría su cambio, sin embargo las instalaciones ya son antiguas y tienen que cambiarse, obligatoriamente, porque sus pérdidas van aumentando y su confiabilidad se va reduciendo, teniendo el grave peligro de afectar equipos de nueva tecnología, diseñados para ciertos rangos de calidad de energía eléctrica que no cumplirían por estar los conductores obsoletos.

Por el comportamiento del personal

La inversión por la reducción de pérdidas por comportamiento de personal está sujeta a la sostenibilidad de proyectos de ahorro de energía a través de la creación y funcionamiento de un comité de gestión energética.

Para la iluminación interior

La inversión por el cambio de incandescentes a focos ahorradores asciende a \$ 1 155,00 al tipo de cambio sería Q 11 444,90, según los resultados arrojados por el Software Cal-Iluminación permitiendo un ahorro anual de Q 28 535,81, por tanto se recuperará la inversión en 5 meses aproximadamente.

Por el alumbrado público

La inversión por reemplazo de lámparas de vapor de mercurio por lámparas de vapor de sodio de alta presión ascienden a \$ 6 222,00 dólares al tipo de cambio sería de Q 61 661,47, según los resultados arrojados por el software Cal-Iluminación permitiendo un ahorro de Q 54 996,13, por tanto se recuperará el capital en 1 año y 2 meses aproximadamente.

La inversión requerida para el proyecto de ahorro de energía del centro comercial Mega Plaza se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XXXVII. **Inversión requerida para el proyecto de ahorro de energía de las subestaciones de Mega Plaza durante el período 2011-2013**

Descripción	Inversión Q	Ahorro anual Q	Tiempo de recuperación del capital
Análisis tarifario	283,15	109 012,56	2 días
Banco de condensadores	179 375,21	149 440,65	1 año 2 meses
Cambio de conductores	253 812,39	30 682,08	no se recupera
Comportamiento del personal	0	0	
Iluminación interior	11 444,90	28 535,81	5 meses
Iluminación alumbrado público	61 661,47	54 996,13	1 año 2 meses
<b>Total</b>	<b>506 577,12</b>	<b>372 667,23</b>	

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.3. Operación del proyecto de ahorro de energía

Para la operacionalización del proyecto, y la sostenibilidad del mismo, se sugiere que se forme un comité de gestión energética que sirva de enlace entre las decisiones económico administrativas de las autoridades del centro comercial y las acciones técnico operativas de la oficina de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

1. En el análisis de iluminación se encontró que existen funcionando, aproximadamente, 150 lámparas incandescentes, las cuales tienen un elevado consumo de energía eléctrica; debido a esa razón ya no se utilizaron en las nuevas edificaciones. Dentro de la oferta del mercado actual hay una variedad de lámparas que superan significativamente la eficiencia de las mencionadas y consumen menor energía; las utilizadas son las lámparas fluorescentes de 35 W, las cuales reemplazaron a las lámparas incandescentes de 100 W, representando un ahorro de 65 W por cada una de ellas.
2. El consumo por energía eléctrica no solo permite encontrar niveles normales y óptimos de consumo de energía, sino que también analiza el pago por esta energía, que difiere la correlación que existe entre ellos por inclusión de la opción tarifaria, sobre los mismos consumos de energía. Se encontraron también de forma cuantificada los factores que influyen en el nivel de consumo de energía eléctrica por precio y se puede ahorrar Q 20 325,50 mensuales, con lo cual el pago por consumo sería de Q 42 064,01 mensuales lo que significa que se podría ahorrar hasta en un 31 por ciento de lo que actualmente se paga.
3. Un obstáculo que se encontró, por la implementación de una mentalidad de ahorro energético, es que la inversión por la reducción de pérdidas por comportamiento del personal está sujeta a la sostenibilidad del proyecto de ahorro de energía a través de la creación y funcionamiento de un comité de gestión energética.

4. En el análisis tarifario correspondiente al período 2011-2012 se deduce que el costo facturado por el consumo de energía eléctrica en el tipo de tarifa MT2 es mayor que la tarifa MT4 FP; por lo que se cambió la opción tarifaria a las subestaciones 1, 3, 4, y se mantuvo la tarifa MT2 a la subestación 2, representando un ahorro de 44 099 KWh, promedio mensual, lo cual representa un ahorro mensual del 39,4 por ciento. Esto optimiza el ahorro energético en cuando a los cambios de opción tarifaria.
  
5. En la inversión exclusiva por cambio de conductores la cifra asciende a \$ 25 611 al cambio actual vendría a ser Q 253 812,39. Sin embargo en la inversión no solo se consideró el cambio neto de conductores si no todo los elementos que participan en su instalación, correspondientes a un estudio de remodelación de redes; la remodelación de redes está planteada con las instalaciones aéreas, el mantenimiento de este tipo de redes también es alto, considerando la inversión de redes aéreas su costo de inversión no se recupera en el tiempo de vida útil pues sólo alcanza a valores de Q 247 240,49 de recuperación en pérdidas, si no se considerara el beneficio adicional por el uso de conductores la inversión no sería rentable.

## RECOMENDACIONES

1. Dado que las pérdidas de energía eléctrica se han incrementado en los últimos 4 años, se recomienda, que las autoridades del centro comercial empiecen a tomar en serio el concepto de pérdidas de energía eléctrica y concienticen a los trabajadores del centro comercial respecto al ahorro energético.
2. Tomando en cuenta tanto los factores externos e internos del análisis FODA, se puede mejorar la situación actual del centro comercial Mega Plaza por medio de proyectos sencillos y rápidos. Entre tales proyectos se recomienda realizar campañas de concientización para que los trabajadores ejecuten el plan de ahorro energético, para así poder prestar un servicio de manera eficiente haciendo uso racional del recurso eléctrico.
3. Para motivar a los empleados del centro comercial se recomienda aprovechar los cursos de capacitación por medio de convenios con otras entidades para explotar el potencial del uso de la tecnología. Se deberá asegurar que el personal esté consciente sobre las diferentes penalizaciones que recibiría el local de no cumplir con el plan de ahorro energético.
4. Para controlar los incrementos del valor de factor de carga periódicamente se recomienda utilizar formularios para la recolección de los datos y así reprogramar el encendido y apagado de los equipos automáticos.

5. Para contribuir con la sostenibilidad del proyecto se sugiere que se forme un comité de gestión energética, la conformación de este comité de gestión sería Ad Honorem y estaría conformado por tantas personas como sectores esté dividido el centro comercial. Se sugiere que sea Ad Honorem para evitar la politización de un aspecto netamente técnico en el centro comercial Mega Plaza.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR CABRERA, Carlos. Eficiencia energética en la Comunidad Europea: hacia una estrategia de racionalización del uso de la energía. España: 1998. 246 p.
2. \_\_\_\_\_. *Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial*. España: 2006. 545 p.
3. ALVARADO PÉREZ, Jaime Fernando. *Análisis de flujo de carga* [en línea]. <<http://www.servelec.mx/analisis-de-flujos-de-carga.html>>. [Consulta 08 de enero de 2014].
4. BLANK Y TARQUIN. “*Análisis económicos en el tiempo*”. En: *Ingeniería económica*. México, D.F.: Mc Graw Hill, 2006. p. 50-134.
5. *Cal-condensador Software*. [en línea] <[http://www.globalsolution.com/calelectricity\\_software.cfm](http://www.globalsolution.com/calelectricity_software.cfm)>. [Consulta: septiembre de 2012].
6. *Cal-iluminacion Software*. [en línea] <[http://www.globalsolution.com/calelectricity\\_software.cfm](http://www.globalsolution.com/calelectricity_software.cfm)>. [Consulta: septiembre de 2012].
7. *Evasel Software*. [en línea]. <[http://www.globalshopsolutions.com/evasel\\_software.cfm](http://www.globalshopsolutions.com/evasel_software.cfm)>. [Consulta: septiembre de 2012].

8. GODOY, Felipe. *Ahorro de energía* [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos55/ahorro-de-energia/ahorro-de-energia4.shtml>>. [Consulta: 08 de enero de 2012].
9. HERNÁNDEZ, Allan. *Consumo de energía eléctrica* [en línea]. <<http://www.escelsa.com.br/investigadores/merc.energ./consumoenergía/.html>>. [Consulta: 20 de marzo de 2012].
10. IEC. *Eficiencia de motores*. IEC 60364. Guadalajara: IEC, 1999.
11. IEEE. *Eficiencia de motores*. IEEE 100, IEEE 519/92, IEEE 450, IEEE 452, IEEE 739-1984. Maryland, Estados Unidos: IEEE, 2011.
12. MARTÍNEZ APARICIO, Fernando. *Sistema de administración de energía* [en línea]. <<http://www.acee.com.mx/index.php/sistema-de-administración-de-energia.html>>. [Consulta: 13 de julio de 2012].
13. NEC. *Eficiencia de motores*. NEC-10. PARTE 9-1. Chicago, Estados Unidos: NEC, 2002.
14. NTIE. *Demanda de energía calorífica*. NB CT79, NBE. España: NTIE, 2000.
15. PROCOBRE. "Mallas de tierra". En: *Earthing Practice, Adaptación y traducción de la publicación N° 119 de la Copper Development Association*. Santiago de Chile: PRIEN, 1999. p. 77-80.

16. VELTRI, Robert. *Estrategias operacionales para optimizar el consumo de energía eléctrica en las instalaciones operacionales del complejo petroquímico "José Antonio Anzoátegui"*. Diario Oficial, 1997. 267 p.
  
17. WESTINGHOUSE. *Luminarias. En: Manual del alumbrado*. México: Dossat, S. A., 1984. p. 60-61.



## ANEXO

### Tablas para el cálculo de sección de conductores por intensidad máxima admisible en circuitos interiores

- Para conductor aluminio aislado en circuitos interiores.

Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones interiores, para conductores de aluminio en tubos, tensión de aislamiento hasta 1 kV y temperatura ambiente 40°C							
Norma: UNE 20 460-5-523							
Sección mm <sup>2</sup>	Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductores de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2
	PVC3	PVC2			XLPE3	XLPE2	
2,5	13.5	14	16	17	18	20	
4	18.5	19	22	24	24	27.5	
6	24	25	28	30	31	36	
10	32	34	38	42	42	50	
16	42	46	51	56	57	66	
25	54	61	64	71	72	84	
35	67	75	78	88	89	104	
50	80	90	96	106	108	127	
70		116	122	136	139	162	
95		140	148	167	169	197	
120		162	171	193	196.5	228	
150		187	197	223	227	264	
185		212	225	236	259	301	
240		248	265	300	306	355	

Fuente: <http://automatismoindustrial.com/3-7-1-calculo-de-la-seccion-de-conductores-por-intensidad-maxima-admisible-o-calentamiento/>. Consulta: julio 2013.

- Para factor de agrupamiento.

Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos o varios cables multiconductores. Grupos homogéneos de cables cargados por igual									
Norma UNE 20 460-5-523									
DISPOSICIÓN DE LOS CABLES CONTIGUOS	No. De circuitos o cables multiconductores								
	1	2	3	4	5	9	12	16	20
Empotrados o embutidos. Métodos A1/A2 y B1/B2	1,00	0,80	0,70	0,70	0,58	0,50	0,45	0,40	0,40
Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas. Método C	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
Capa única en el techo. Método C	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
Capa única sobre bandejas perforadas. Métodos E y F.	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc. Métodos E y F	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

Fuente: <http://automatismoindustrial.com/3-7-1-calculo-de-la-seccion-de-conductores-por-intensidad-maxima-admisible-o-calentamiento/>. Consulta: julio 2013.