



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

César Estuardo Guillermo Díaz

Asesorado por M.Sc. Byron Isauro Quelex Simaj

Guatemala, mayo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA DIRECCIÓN DE LA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POR

CÉSAR ESTUARDO GUILLERMO DÍAZ

ASESORADO POR M.Sc. BYRON ISAURO QUELEX SIMAJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO (a.i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Ing. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

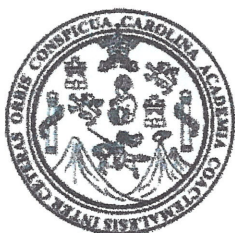
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con fecha noviembre de 2023.



César Estuardo Guillermo Díaz



DIRECCIÓN

ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

EEPFI-PP-002-2024
Guatemala, 07 de mayo 2024

Director
Armando Alonso Rivera Castillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Mtro. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: Gestión y uso eficiente de la energía - Uso eficiente en edificaciones urbanas y rurales, presentado por el estudiante César Estuardo Guillermo Díaz carné número **200413343**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

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

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Byron Isauro Quelex Simaj
Asesor(a)

BYRON ISAURO QUELEX SIMAJ
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 16,560

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepaque
Coordinador de Maestría



Mtra. Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

/rm
cc. Archivo



EEP-EIME-02-2024

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **César Estuardo Guillermo Díaz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecánica Eléctrica

Guatemala, mayo de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.250.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Cesar Estuardo Guillermo Diaz** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, junio de 2024



Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 250 CUI: 2529265441601

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el creador de la vida y permitirme culminar esta etapa de mi vida y por sus infinitas bendiciones.

Mis padres

Pilares de mi vida, por el amor, confianza, comprensión, orientación, guiarme con su ejemplo de lucha y apoyo incondicional.

Mi esposa

Por su amor, comprensión y apoyo.

Mis hijos

Por ser mi fuente de inspiración y fuerza para seguir adelante.

Mis hermanas

Por el apoyo, consejos y confianza que me han brindado en el transcurrir de los años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San	Por ser el <i>alma mater</i> de nuestra enseñanza
Carlos de Guatemala	hacia la vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.3.1. Pregunta central.....	8
3.3.2. Preguntas auxiliares	8
3.4. Delimitación del problema.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15

7.	MARCO TEÓRICO	17
7.1.	Instalaciones eléctricas en edificios.....	17
7.1.1.	Tipos de instalaciones eléctricas	17
7.1.1.1.	Baja tensión.....	17
7.1.1.2.	Media tensión	18
7.1.2.	Clasificación	18
7.1.2.1.	Instalaciones eléctricas en edificios de apartamentos.....	18
7.1.2.2.	Instalaciones eléctricas en edificios de oficinas	19
7.2.	Auditoría energética en edificios	20
7.2.1.	Tipos de auditoría energética	21
7.2.2.	Metodología.....	22
7.3.	Optimización de las instalaciones eléctricas.....	22
7.3.1.	Eficiencia en sistemas de iluminación.....	23
7.3.1.1.	Tipos de luminarias.....	27
7.3.1.2.	Automatización de sistemas de iluminación.....	29
7.3.2.	Eficiencia en sistemas de calefacción.....	29
7.3.2.1.	Tipos de calefacción	30
7.3.2.2.	Eficiencia en equipos	32
7.3.3.	Eficiencia en equipos de respaldo	34
7.3.4.	Eficiencia en equipos de transformación de energía	36
7.4.	Normativo de uso eficiente y calidad de energía	37
7.4.1.	Normativo nacional.....	38
7.4.2.	Entes reguladores	39
7.4.3.	Certificaciones aplicables	40

8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	43
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
10.	METODOLOGÍA	49
10.1.	Tipo de estudio	49
10.2.	Tipos de variables.....	49
10.3.	Fases de estudio	51
10.3.1.	Fase 1: Exploración bibliográfica	52
10.3.2.	Fase 2: Recolección de datos	52
10.3.3.	Fase 3: Análisis de resultados	57
10.3.4.	Fase 4: Análisis económico.....	58
10.3.5.	Fase 5: Presentación y discusión de resultados	59
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	61
12.	CRONOGRAMA.....	63
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	65
	REFERENCIAS	67
	APÉNDICE	73
	ANEXO.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Diagrama unifilar.....	53
Figura 2.	Analizador de red AEMC 8335.....	55
Figura 3.	Cámara termográfica FLIR E95	56

TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de los sistemas de ventilación.....	30
Tabla 2.	Definición de variables.....	49
Tabla 3.	Clasificación de cargas.	54
Tabla 4.	Recolección de datos y análisis	57
Tabla 5.	Cronograma de actividades	63
Tabla 6.	Recursos necesarios para la investigación	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
@	Arroba
Q	Quetzal (moneda de Guatemala)

GLOSARIO

Estadística

Ciencia que se encarga de contabilizar datos y establecer con estos algunos patrones de medición y análisis.

Proceso

Serie ordenada de pasos para llevar a cabo una actividad.

1. INTRODUCCIÓN

Las fallas eléctricas pueden ocurrir en cualquier momento, estas se pueden dar por diversos factores, algunos de los cuales pueden ser: falta de mantenimiento, instalaciones mal realizadas, mal dimensionamiento de conductores y equipos, entre otros. Al no contar con datos de un estudio de eficiencia energética y calidad de energía, es difícil deducir la raíz de dichas fallas, las cuales pueden ser recurrentes.

Al realizar el estudio de eficiencia energética y calidad de energía se podrá determinar cuáles son las áreas de mejora, ya que con este se tendrá un panorama mucho más amplio de las fallas e interrupciones que se puedan dar en las instalaciones. Con dicho estudio también se podrá determinar áreas en las cuales se pueda tener ahorro energético al implementar equipos con nuevas tecnologías y con mayor eficiencia energética.

Con los datos que se obtendrán del estudio se podrá mejorar la eficiencia energética y calidad de energía de los edificios, ya que con estos se podrá realizar mantenimientos preventivos y tener un mayor ahorro energético, aplicando las normas correspondientes, teniendo siempre en cuenta la protección al medio ambiente. Con esto se beneficiará a la administración de los edificios y a la vez al cliente final, ya que se tendrá una mejor calidad de servicio eléctrico a un menor costo.

Esta es una investigación cuantitativa-descriptiva, debido a que se enfocará en la verificación del estado físico de las instalaciones eléctricas y el comportamiento de las magnitudes eléctricas a través de una investigación de

calidad de energía y eficiencia energética, la cual se realizará en cuatro fases, primero mediante una exploración bibliográfica, luego se recolectarán los datos y se realizarán diagramas; se realizarán mediciones de magnitudes eléctricas, para luego realizar una presentación y discusión de resultados, es importante mencionar que se cuenta con todos los recursos necesario para realizar el proyecto, ya que se cuenta con los permisos necesarios, el equipo de medición y los recursos económicos.

En el capítulo 1 se presentarán los antecedentes más importantes para esta investigación. En el capítulo 2 se hará una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos de las instalaciones eléctricas en los edificios, las acometidas eléctricas, las puestas a tierra, conceptos de auditoría eléctrica en edificios, calidad de energía y eficiencia energética en edificios. En el capítulo 3 se mostrará el proceso de obtención de los datos a analizar. En el capítulo 4 se dará el detalle de la presentación de los resultados obtenidos en el estudio realizado. En el capítulo 5 se presentará la discusión de resultados, validando los resultados con las normas que apliquen a dicho estudio. Finalmente se darán las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la continuidad del mejoramiento de las instalaciones.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala no se encontraron estudios publicados respecto al estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica, sin embargo, se cuenta con un estudio de procedimiento para el estudio de la calidad de la potencia eléctrica en el sector textil de Guatemala para reducción de costos de operación y mantenimiento de esta industria (Marroquín, 2012).

Dicho estudio indica que un examen de la calidad de la potencia eléctrica es la herramienta sobre la que se asienta un plan estructurado de ahorro eléctrico. De dicho estudio se obtiene información sobre los parámetros eléctricos, se analizan, se clasifican y se proponen alternativas para corregir los problemas existentes, calcular ahorros y ejecutar las acciones que permitan tener un sistema eléctrico confiable.

En otros países y en instituciones internacionales se han encontrado algunos casos de estudio relacionados con eficiencia energética y calidad de energía eléctrica, los cuales se presentan a continuación.

En la tesis de graduación de maestría titulada *Estudio y análisis de eficiencia energética del sistema eléctrico del hospital IESS-IBARRA*:

Se realiza el estudio a partir del consumo de energía eléctrica del hospital de los años 2013 y 2014, para poder determinar la demanda del hospital, se realizó levantamiento de todos los sistemas eléctricos del hospital y se hace el balance energético, del cual se obtuvo el resultado que el mayor

consumo se encontró en el sistema de iluminación con un 57,14%, para obtener una mejora a la eficiencia del sistema de iluminación se reemplazan la mayoría de luminarias por la tecnología LED, lo cual redujo el consumo de iluminación en un 28,37% de la energía diaria que necesita el hospital y un 29,36% de todo el sistema eléctrico global. (Arellano, 2015)

En la tesis de graduación de doctorado titulada: *Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad de la distribución de energía eléctrica*, Muñoz (2015) indica que la calidad de servicio en un país es indicativo del desarrollo de la industrialización y de la economía.

Ocorre que la forma de conseguir esta puede inducir a objetivos que pueden mermar tanto a las empresas que invierten sus propios capitales (distribuidores y transportistas) como a la propia administración estatal o autonómica que las retribuye por esta actividad. La evolución de las necesidades de la sociedad, unida a los cambios que se están produciendo en la regulación de los sistemas de distribución, ha hecho que se esté haciendo hincapié en la modificación de la regulación de la calidad del servicio.

En la tesis de graduación de maestría titulada *Auditoría energética de las instalaciones de la Empresa Ecuatoriana de Artefactos S.A. ECASA*, Cárdenas (2017) realiza auditoría energética en una empresa que fabrica electrodomésticos de línea blanca, se realiza lista de consumo energético actual por unidad producida, se reconocen las oportunidades de mejora y se propone la realización de las mejoras con cero y bajo costo de implementación, se comienza el proceso con una evaluación sin mediciones para identificar los principales consumidores de energía, obteniendo eléctrica 92 %, diésel 5 % y GLP 3 %. Se

realizan 3 mediciones: calidad de energía eléctrica, sobrecalentamiento en tableros e iluminación en puestos de trabajo.

Con las mediciones se elabora una línea base, clasificada por procesos, donde el termoformado con 32.4kWh, el aire comprimido con 27.1kWh y la inyección de plástico tienen el mayor consumo de energía por unidad producida, con 39.9 kWh por unidad producida respectivamente. Se calculan las pérdidas de energía por sobrecalentamiento, pérdidas en alimentadores, armónicos, distribución inapropiada de turnos, y se obtiene una reducción total de 124.82 a 80.14 kWh por unidad.

En la tesis de graduación de maestría titulada *Metodología de medición de la eficiencia energética en cocinas de inducción para el Ecuador*, Furlán (2017) desarrolló un procedimiento mediante un método experimental, para establecer la manera más eficaz y su correcta aplicación para la toma de muestras de las variables que se utilizan para calcular la eficiencia energética en las cocinas de inducción.

Para esto realizó una deducción de los métodos y leyes que intervienen entre de la transferencia de energía por medio de la inducción del campo magnético, hacia un material ferromagnético. Se obtuvo en los ensayos una eficiencia de 84.71 % para el primer inductor y 88.28 % para el segundo inductor. Con los resultados obtenidos se establece una metodología para hallar la eficiencia energética en función de la repetitividad y reproducibilidad del ensayo, y con ello mejorar el tiempo de prueba y mejorar los métodos utilizados actualmente para medir la eficiencia energética en las cocinas de inducción.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, a pesar de existir tecnología para lograr obtener la mayor eficiencia energética de equipos e instalaciones eléctricas, lamentablemente muchas veces no se utiliza, ya que estas tecnologías aún tienen un costo superior por encima de lo convencional, lo que implica un desaprovechamiento de recursos tanto económico como de equipos e instalaciones.

3.1. Contexto general

A pesar de que existen actualmente herramientas para facilitar el diseño y cálculo de instalaciones eléctricas, lamentablemente se desaprovechan por diversas causas, bien sea por miedo al cambio o por el costo que pueda implicar la adquisición de estas, lo que lleva a realizar un mal e ineficiente diseño eléctrico. Debido a esto y por falta de actualización informática de diseñadores es que aún se realizan cálculos y diseño de equipos con baja eficiencia.

Debido a lo anterior es que los diseñadores proponen en su mayoría equipos con altas pérdidas energéticas, otro inconveniente que se da a raíz de la desactualización es que se diseñan y proponen equipos sobredimensionados, lo que implica un mayor costo del proyecto y mayor costo de mantenimiento.

3.2. Descripción del problema

Se tiene un ineficiente uso de la energía eléctrica, ya sea por equipos con altas pérdidas o por sobredimensionamiento, lo que implica un mayor consumo de energía que no es aprovechada en su totalidad para el funcionamiento de las

instalaciones, sino que parte de esta se pierde por lo anteriormente mencionado. El desaprovechamiento de tecnologías tanto en equipos como en software para el cálculo y diseño de instalaciones eléctricas conlleva al mal uso de equipos e instalaciones eléctricas del inmueble.

3.3. Formulación del problema

Se tienen instalaciones mal realizadas, lo que conlleva un mayor consumo de energía, ya sea por equipos ineficientes o por mal uso de los mismos, así como por problemas que puedan existir en el sistema eléctrico principal del proyecto o por problemas por parte del distribuidor de energía eléctrica.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo realizar un estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en un complejo de edificios en la ciudad de Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

Para poder dar respuesta a la pregunta central es necesario dar respuesta a las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo se podrá determinar la calidad de la energía eléctrica en las instalaciones de un complejo de edificios?
- ¿Cuál será la eficiencia energética eléctrica del complejo de edificios?
- ¿Cómo mejorar la eficiencia y la calidad de energía del sistema eléctrico del complejo luego del estudio de energía?
- ¿Qué beneficios se podrían obtener al mejorar las instalaciones eléctricas del complejo?

3.4. Delimitación del problema

Se tendrá en cuenta que este diseño de investigación del estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica se limita a edificios de vivienda y oficinas en la ciudad de Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en la línea de investigación de gestión y uso eficiente de la energía del área de gestión energética de la Maestría en Energía y Ambiente.

La eficiencia energética y la calidad de energía es uno de los problemas más importantes de todas las empresas e industrias pues se asocia a costos, regulaciones ambientales y relaciones sociales.

La eficiencia energética y calidad de energía corresponde a la capacidad para usar menos energía produciendo la misma cantidad de iluminación, calor y otros servicios energéticos. La calidad de la energía eléctrica se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes.

Este es un conjunto de acciones que permiten emplear la energía de manera óptima, incrementando la competitividad de los edificios de apartamentos y oficinas, mejorando la calidad de vida, uso adecuado y eficiente de equipos, reduciendo costos y al mismo tiempo limitando la producción de gases de efecto invernadero, logrando dos objetivos: disminución de consumo y costo económico.

El estudio beneficiará a la administración de los edificios, específicamente al área o departamento de mantenimiento, ya que indicará las áreas de mejora, y el ahorro energético que se puede obtener al realizar los cambios y/o utilizar

correctamente los equipos. Con esto se logrará disminuir el consumo en kWh, eliminar puntos calientes por mal apriete de terminales, por mal dimensionamiento de conductores y disminuir el consumo por pérdidas por calentamiento de alimentadores.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar un estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en un complejo de edificios en la ciudad de Guatemala.

5.2. Específicos

1. Determinar la calidad de la energía eléctrica en las instalaciones de un complejo de edificios.
2. Calcular la eficiencia energética eléctrica del complejo de edificios.
3. Especificar la forma de mejorar la eficiencia y la calidad de energía del sistema eléctrico del complejo luego del estudio de energía.
4. Enumerar los beneficios que se podrían obtener al mejorar las instalaciones eléctricas del complejo.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Para lograr la eficiencia energética y la calidad de energía eléctrica en edificios es necesario realizar estudios para obtener el mayor beneficio y aprovechamiento de los recursos disponibles, ya que para tener eficiencia energética se debe consumir una menor cantidad de energía eléctrica produciendo la misma cantidad de iluminación, calefacción y demás servicios energéticos. Y, al tener calidad de energía, se logra que los equipos y dispositivos funcionen con las condiciones adecuadas, las cuales permitan mantener continuidad sin afectar su desempeño ni provocar fallas a sus componentes.

La causa principal para la implementación de un plan de eficiencia energética y lograr calidad de energía es que los equipos y dispositivos con mayor eficiencia tienen un costo mucho mayor que los equipos estándar, la mayoría de los inversionistas no realizan un estudio técnico-económico y/o costo-beneficio de la implementación de equipos eficientes, ya que por el tiempo de vida de dichos dispositivos es factible a largo plazo.

Al finalizar el estudio, los resultados obtenidos indicarán el ahorro en kWh, si existen pérdidas en conductores por calentamiento y/o por mal dimensionamiento, y corrección de factor de potencia de ser necesario. Todos estos aspectos serán de beneficio para los edificios, ya que se identificarán las áreas de mayor consumo, áreas de mejora, equipos ineficientes, se sugerirá la utilización de nuevas tecnologías, ya sean equipos más eficientes, automatización de sistemas y/o cambio del sistema de iluminación. Se presentarán diagramas y esquemas, luego de realizar un ensayo en un área de los edificios.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Instalaciones eléctricas en edificios

Las instalaciones eléctricas son el conjunto de componentes que conforman un sistema eléctrico, compuesto por conductores, tableros, transformadores, generadores y demás equipos, que son utilizados para transformar, generar y distribuir la energía eléctrica para los diferentes usos que esta pueda tener, como iluminación, tomacorrientes, ventilación, tanto en inyección como en extracción de aire, automatización y demás (Flores, 2008).

7.1.1. Tipos de instalaciones eléctricas

Existen diferentes tipos de instalaciones eléctricas, las cuales se pueden clasificar de la manera en que se presenta y describe puntualmente en los siguientes incisos.

7.1.1.1. Baja tensión

Es el tipo de instalación más común, es utilizada en residencias y comerciales pequeños, con niveles de tensión o voltaje entre los 120 y 240 voltios (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013).

7.1.1.2. Media tensión

Es el tipo de instalaciones de electricidad utilizadas en comercios e industrias medianas y grandes, con niveles de tensión o voltaje entre 240 y 480 voltios (IECOR, 2016).

7.1.2. Clasificación

En cuanto a establecer una clasificación adecuado, las instalaciones eléctricas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de edificación, entre ellas se deben tomar en cuenta:

7.1.2.1. Instalaciones eléctricas en edificios de apartamentos

Un edificio de apartamentos es una edificación que tiene como función principal generar espacios de vivienda, aquí se aprovecha el espacio para dar una solución económica y eficiente a las necesidades actuales.

Las instalaciones eléctricas para un edificio de apartamentos están clasificadas como un sistema de baja tensión, ya que en su mayoría funcionan con un voltaje máximo de 240 voltios, para proveer la energía suficiente para satisfacer las necesidades del diseño.

De acuerdo al diseño arquitectónico, las necesidades de energía pueden variar, las necesidades básicas son iluminación, tomacorriente de uso general (120V) y tomacorrientes de uso especial (120 y 240V). Los tomacorrientes de uso general son los que se encuentran en áreas comunes (parqueos, pasillos, vestíbulos, bodegas), no tienen un uso definido, en los apartamentos se

encuentran distribuidos en sala, comedor, habitaciones, entre otros espacios, los tomacorrientes de uso especial son los que están ubicados para el uso específico de equipos o electrodomésticos que así lo requieran, tanto en apartamentos como en áreas comunes del edificio.

Además de las necesidades básicas, se pueden requerir instalaciones especiales o específicas para equipos o maquinaria, como por ejemplo aire acondicionado, sistema de control de parqueo, sistema de videovigilancia y sistema de incendio, entre otros elementos (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

7.1.2.2. Instalaciones eléctricas en edificios de oficinas

Un edificio de oficinas es una edificación que tiene como función principal generar espacios de trabajo, ahí se realizan actividades relacionadas con la gestión de negocios (Casto, 2004).

Las instalaciones eléctricas para un edificio de oficinas están clasificadas como un sistema de baja tensión, ya que en su mayoría funcionan con un voltaje máximo de 240 voltios, para proveer la energía suficiente para satisfacer las necesidades del diseño (IDEA, 2001; IDA, 2011).

De acuerdo al diseño arquitectónico, las necesidades de energía pueden variar, las necesidades básicas son iluminación, tomacorriente de uso general (120V) y tomacorrientes de uso especial (120 y 240V) (Ramos y Riveros, 2018). Los tomacorrientes de uso general son los que se encuentran en áreas comunes (parqueos, pasillos, vestíbulos, bodegas), y no tienen un uso definido.

Adicional a las necesidades básicas, se pueden requerir instalaciones especiales o específicas para equipos o maquinaria, como por ejemplo aire acondicionado, sistema de control de parqueo, sistema de videovigilancia y sistema de incendio, entre otros aspectos (Olade, 2016).

En este caso específico a las oficinas únicamente se les provee de una acometida eléctrica con la capacidad para suplir la necesidad de acuerdo a los metros cuadrados según normas internacionales (Rodríguez, 2009).

7.2. Auditoría energética en edificios

Es importante considerar lo siguiente:

La energía ocupa un papel primordial en el desarrollo de todos los sectores productivos cuya utilización debería realizarse con alta eficiencia, bajo impacto medioambiental y al mínimo costo posible; El consumo de energía se ha ido incrementando aunado a la producción de bienes y servicios. (Portillo, 2020, s.p.)

Además:

Las empresas son parte de los grandes consumidores de energía para proporcionar bienes y servicios a la sociedad, y ahora disponen de opciones viables para reducir su consumo energético, mediante acciones que favorecen también la reducción de gastos, el aumento de la

competitividad y la innovación tecnológica. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2010, s.p.)

7.2.1. Tipos de auditoría energética

Existen diferentes tipos de auditoría energética, entre los cuales es posible mencionar:

- Auditoría preliminar: La cual corresponde a la clase más simple y básica, en la cual se realiza un diagnóstico visual del edificio, se recopilan datos básicos y una entrevista mínima, un estudio no muy minucioso sobre la facturación de los servicios energéticos, así como a través de la obtención de otros datos sobre su mantenimiento y explotación obteniéndose un diagnóstico no muy exhaustivo sobre las oportunidades de ahorro y mejora de la eficiencia energética.
- Auditoría detallada: Se realiza una observación más detallada, teniendo una mayor cantidad de información previa sobre los sistemas constructivos, así como de las instalaciones (planos, memorias de proyecto, presupuestos y cualquier otro documento), como de la ejecución de una serie de ensayos o comprobaciones, a través del empleo de equipos técnicos de medición, para obtener

información todavía más real sobre el estado del edificio. (AENOR, 2009, s.p.)

7.2.2. Metodología

Para la buena ejecución de la auditoría energética, se debe:

- Establecer canales de comunicación con personal designado del edificio y el auditor para asegurar que exista una buena transmisión de información y datos. El personal designado del edificio debe tener acceso y conocer todas las instalaciones.
- Solicitar por escrito a la administración del edificio la información, datos y documentos necesarios para la ejecución de la auditoría.
- Establecer un programa de trabajo, acordado entre administración del edificio y el auditor.
- Realizar medidas *in situ*, cuando proceda, con conocimiento y acuerdo de todos los involucrados.
- Elaborar y entregar informe de la auditoría energética (AENOR, 2009).

7.3. Optimización de las instalaciones eléctricas

Mientras que los consumidores desean que se les despache energía de alta calidad por el precio que pagan, la seguridad en el suministro de energía desgraciadamente sufre todavía de algunas dificultades.

La estabilidad del voltaje y la frecuencia representan una necesidad para muchas aplicaciones en la industria. Adicionalmente, los cortes prolongados de energía ya no son la única preocupación que tienen los procesos industriales altamente automatizados, sino que además están requiriendo que no se presenten cortes momentáneas durante estos procesos. Con la diversidad de una industria, estas exigencias están cambiando continuamente y están volviéndose más exigentes.

Ya que muchos de los orígenes de las perturbaciones en el suministro de la energía están fuera del control de las compañías eléctricas, la mayoría de las veces éstas no pueden hacer mucho para protegerse contra ellas, por lo que no podemos esperar que proporcionen un suministro estable de energía. (Arzipe, 2013, s.p.)

7.3.1. Eficiencia en sistemas de iluminación

En la factura de energía eléctrica la iluminación representa aproximadamente el 25 % en hogares y 50 % en oficinas, y en general supone una consecuencia en el gasto de energía eléctrica que debe tenerse en cuenta.

- Eficacia: “Capacidad de convertir la electricidad consumida en luz (Lumen/watt); se refiere a la fuente de luz”. (Cooperación Alemana, 2020, s.p.)

- Eficiencia: “La relación entre los lúmenes saliendo de la lámpara y los lúmenes producidos por la luminaria; Se refiere a los lúmenes entregados por la luminaria”. (Cooperación Alemana, 2020, s.p.)

Para hacer el sistema más eficiente se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Aprovechamiento de la luz natural: La iluminación natural debe estar integrada desde el inicio del diseño del edificio; Los factores como la orientación, la ubicación de otros edificios, los árboles y vegetación que lo rodean es parte de lo que se debe de tener en cuenta en la fase de diseño; Además, se pueden colocar accesorios en las ventanas para controlar el aprovechamiento de la luz natural.
 - Balcones: resguardan de la radiación solar directa y guía la luz el techo interior.
 - Ventanas: para reflejar y transportar la luz natural hacia el espacio interior. Al pintar las paredes de blanco o en tonos claros y hacer que las particiones interiores no sean completamente opacas son algunos trucos para utilizar mejor la luz natural. (Certicalia, 2014, s.p.)
- Lámparas más eficientes: es posible sustituir las bombillas por otras más eficientes. Las bombillas LED y las de bajo consumo con hasta el 2018 las más eficientes.

- Bombillas de bajo consumo: bombillas fluorescentes compactas; comparada con la fluorescente normal, la compacta consume entre un 50 y 80 % menos energía para producir la misma cantidad de luz; al desecharlas se debe de hacer adecuadamente ya que el gas de mercurio que contienen es dañino para el medio ambiente.
- Bombillas LED (diodo emisor de luz): es la tecnología más novedosa para iluminación; Las bombillas LED se caracterizan por su prolongada vida, 70.000 horas, aproximadamente 16 años. Además, no contienen elementos tóxicos. Con el inconveniente de que estas tienen un costo mucho más elevado. (Energía y Sociedad, 2008, s.p.)

Son varios los factores que se deben de tener en cuenta a la hora de elegir una iluminación apropiada para un hogar u oficinas, incluyendo la tecnología de iluminado, que será concluyente para su consumo; a saber: su potencia, el flujo lumínico, el color de la luz que suministra, su vida media y la apertura de la luz; sin embargo, algunas de las características a elegir dependerán del uso al que esté destinada, un factor a tener en cuenta en cualquier caso es su consumo energético, que puede conocerse a través de su etiqueta energética. (Ambientales, 2022, s.p.)

Además de la leyenda energética, puede ser de beneficio conocer los siguientes términos:

- Potencia: es la cantidad de electricidad necesaria para funcionar en Watts (w); mientras mayor potencia necesite para funcionar, mayor será su consumo de energía.
- Color de la luz: de acuerdo a la temperatura a la que funcione la bombilla emitirá luz de un color diferente, desde colores más cálidos (2.000 - 3.000K), idóneos para áreas de descanso como salas o dormitorios, y colores más fríos (5.000 - 7.000K), más adecuados para despachos, cocinas y baños. Pueden encontrarse bombillas con valores intermedios de luz blanca.
- Flujo lumínico: es la cantidad de luz que aporta la bombilla; se expresa en lúmenes (lm), y mientras mayor sea, mayor cantidad de luz emite; lo más común es que se indique la eficiencia lumínica, es decir, los lúmenes por unidad de potencia: lm/W; para saber cuál bombilla aporta un mayor flujo lumínico, habrá que multiplicar la potencia por la eficiencia lumínica de la bombilla.
- Vida útil: es la duración media de la bombilla en horas de funcionamiento.
- Ángulo de apertura: bombillas con las LED, emiten luz focalizada, con ángulos entre 40 y 120°; mientras mayor sea el ángulo, mejor

será la iluminación del ambiente y menor será el efecto foco.
(Ambientales, 2022, s.p.)

7.3.1.1. Tipos de luminarias

Existen diferentes tipos de luminarias, las más comunes son:

- Lámparas incandescentes: emiten luz calentando un filamento por el que pasa la electricidad. Son las menos eficientes y con vida útil más baja.
- Lámparas halógenas: funcionamiento similar a las anteriores, pero con un filamento más corto y un gas halógeno para evitar su evaporación; estas presentan un mayor consumo energético ante otras alternativas de iluminación, teniendo mayor vida útil, pero con precios más elevados.
- Lámparas fluorescentes: producen luz provocando una descarga eléctrica en un vapor de mercurio; tienen vida útil más larga que las bombillas halógenas, y consumos energéticos moderados, no obstante, la calidad lumínica y color de luz no suele ser adecuado para ambientes domésticos; se dice que es mejor dejar las lámparas fluorescentes encendidas en lugar de encenderlas y apagarlas, ya que el mayor consumo de energía lo necesitan para provocar el encendido; sin embargo, y si bien es cierto que

consumen hasta 5 veces más energía para encenderse, dicho consumo se produce durante una fracción de tiempo reducido y apenas equivale, al consumo durante 2 o 3 segundos normales de la lámpara; sin embargo, si es tiempo que su vida útil puede verse disminuida si la frecuencia de encendido y apagado es mayor.

- Lámparas fluorescentes compactas: funcionamiento similar a las lámparas fluorescentes, pero con una composición compacta para uso doméstico; existen lámparas fluorescentes con encendido rápido y muy rápido, para alcanzar su máxima luminosidad.
- Lámparas LED: son diodos que convierten directamente la energía eléctrica en luz; al no poseer filamento, como las lámparas incandescentes, tiene un tiempo de vida mucho mayor y son más resistentes a golpes; hasta el momento son las más eficientes del mercado, con variedad de potencias lumínicas, colores y modelos variados para sustituir otras lámparas menos eficientes; teniendo en cuenta el costo siguen estando por encima de otras alternativas, pero su larga vida útil y ahorro energético obtenido las hacen la alternativa más económica del mercado. (Ambientales, 2022, s.p.)

7.3.1.2. Automatización de sistemas de iluminación

Los sistemas de automatización de iluminación pueden conseguir ahorros de hasta el 60 %. Son comunes en edificios de apartamentos y oficinas en áreas comunes. Los más habituales son:

- Sensores de movimiento: a través de rayos infrarojos accionan la luz cuando detectan la presencia de personas y se apagan al abandonar el área.
- Programadores horarios: para activar y desactivar la luz adecuándose a los horarios de cada edificio.
- Fococeldas: para encender y apagar el alumbrado según los niveles de luz natural. Suelen utilizarse para la iluminación de exteriores.
- Interruptores temporizadores: para el apagado automático de la luz pasado un tiempo determinado. Muy útil para servicios generales.

7.3.2. Eficiencia en sistemas de calefacción

Debe tomarse en cuenta la siguiente información:

Las instalaciones de calefacción y climatización representan un porcentaje muy elevado del consumo de energía eléctrica en los edificios de apartamentos y oficinas; las condiciones climáticas y las características constructivas de las instalaciones van a determinar la demanda térmica para la calefacción; la ventilación general tiene como objetivo el mantener la temperatura. (Quesada, 2020, s.p.)

Además:

Las instalaciones deberán contar con un rendimiento energético cercano a sus máximos, los equipos y conducciones deberán quedar aislados térmicamente, tendrán que equiparse los sistemas con medid de regulación y control, se deberá incorporar sistemas que cuenten con equipos de recuperación de energía, así como la utilización de energía renovable. (Sánchez y Cárcel, 2020, s.p.)

7.3.2.1. Tipos de calefacción

Los sistemas de climatización se pueden clasificar en función de la capacidad de la instalación para ventilar y controlar las condiciones termohigrométricas.

Tabla 1.

Clasificación de los sistemas de ventilación

Categoría	Ventilación	Calentamiento	Refrigeración	Humidificación	Deshumidificación
THM-C 0	X	-	-	-	-
THM-C 1	X	X	-	-	-
THM-C 2	X	X	-	X	-
THM-C 3	X	X	X	-	(X)
THM-C 4	X	X	X	X	(X)
THM-C 5	X	X	X	X	X

Nota. Tesis doctoral. Obtenido de D. Quesada (2020). *Estudio de la eficiencia energética en edificios.* (p. 8) Universidad de Valladolid.

Los niveles de servicio de las instalaciones serán los siguientes:

- THM-C0: sistema de ventilación puro.
- THM-C1: sistema de ventilación con sistema de calefacción o de aire caliente.
- THM-C2: sistema parcial de acondicionamiento de recintos con humidificación.
- THM-C3: sistema parcial de acondicionamiento de recintos con refrigeración.
- THM-C4: sistema parcial de acondicionamiento de recintos con refrigeración y humidificación.
- THM-C 5: sistema completo de acondicionamiento de recintos.

En el sector residencial, la mayor parte de las instalaciones son de tipo THM-C0 a THM-C3, mientras que para el sector terciario el nivel suele ser THM-C3 o THM-C4. El nivel THM-C5 queda reservado a locales especiales en los que el control de las condiciones interiores resulta crítico (laboratorios, museos, quirófanos, etc.) (Quesada, 2020).

Para cada subservicio podría establecerse diferentes calidades, la variación del caudal de ventilación modifica el consumo y la calidad del servicio prestado. Para la ventilación, la norma UNE-EN13779 clasifica la calidad de aire interior en cuatro niveles.

La reglamentación española, a través del RITE, exige aire de óptima calidad (IDA 1) en hospitales, guarderías y laboratorios; buena calidad (IDA 2) para oficinas, museos y aulas, calidad media (IDA 3) para comercios, cines, teatros, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, habitaciones

de hoteles y salas de ordenadores. La calidad más baja (IDA 4) solo es admisible para el resto de los locales (Quesada, 2020).

Por tanto, la mayoría de los edificios del sector terciario deben tener calidades IDA 2 o 3 que equivalen a niveles de ventilación entre 8 y 12,5 l/s por persona (Quesada, 2020).

Para calefacción y refrigeración, la calidad del servicio podría basarse en las temperaturas de consigna de los termostatos, aunque la normativa no fija estrictamente las temperaturas del ambiente interior, estableciendo únicamente una banda de temperaturas de diseño para invierno y para verano. Ahora la modificación de la IT3 del RITE aprobada en el 2009 limita las temperaturas interiores en los edificios públicos a 21° en invierno y 26° en verano (Quesada, 2020).

7.3.2.2. Eficiencia en equipos

La eficiencia global de una instalación de climatización se puede expresar como la intensidad energética según la relación entre energía final consumida por unidad de superficie acondicionada.

$$IE_{CLIMA} = \text{Consumo energía final} / \text{Superficie acondicionada (kWh/m}^2\text{)}$$

Otro enfoque muy generalizado es el termodinámico, que define la eficiencia mediante la comparación de una magnitud con un valor de referencia. En climatización, la magnitud sería el consumo y la referencia podría ser la energía idealmente necesaria para prestar el servicio, con lo que el rendimiento sería:

$$\eta_{CLIMA} = \text{Energía necesaria} / \text{Consumo de energía final}$$

En la expresión anterior, la única magnitud real sería el consumo, medido *in situ* o estimado por algún procedimiento de cálculo. El numerador, denominado frecuentemente demanda, es una magnitud ideal que serviría como modelo de comparación del consumo (Quesada, 2020).

Se analiza la eficiencia de cada uno de los servicios que forman parte de la climatización, calefacción, refrigeración y ventilación (Mide Bien, 2017).

El objetivo de la calefacción es mantener la temperatura por encima de un cierto valor mediante el aporte de la energía térmica a los locales. Su rendimiento podría cuantificarse como cociente entre la energía aportada y el consumo:

$$\eta_{CAL} = \text{Energía térmica aportada} / \text{Consumo calefacción}$$

El rendimiento de la refrigeración podría definirse de forma análoga al de calefacción como el cociente entre la energía térmica extraída y el consumo:

$$\eta_{REF} = \text{Energía térmica extraída} / \text{Consumo refrigeración}$$

La ventilación mecánica es necesaria para garantizar una calidad de aire aceptable. Para obtener el rendimiento se tendría que calcular el caudal de aire de renovación y el consumo asociado:

$$\eta_{AE} = \text{Caudal de aire de renovación} / \text{Consumo ventilación}$$

7.3.3. Eficiencia en equipos de respaldo

Según cálculos en Europa, el mayor consumo de energía eléctrica de una industria está destinado a convertirse en energía motriz a través de motores utilizados para múltiples tareas, aproximadamente el 60 % de la energía está destinada para esta aplicación. Es por eso que es necesario alcanzar una alta eficiencia en este campo para tener ahorros considerables de energía y económicos (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2010).

Al elegir correctamente la potencia de los motores, el máximo rendimiento se consigue cuando estos operan entre el 75 y 95 % de su potencia nominal.

Los motores de alta eficiencia “son motores que prácticamente convierten toda la energía eléctrica que consumen en energía mecánica” (Aymachoque, 2016, s.p.). En su vida útil consumen menor electricidad a una carga constante, son más confiables y tienen menores pérdidas que un motor normal.

Los variadores de velocidad ajustables:

Implican un importante ahorro eléctrico y menores necesidades de refrigeración en los cuartos de los motores. Mejoran la flexibilidad de la producción, porque integran numerosas funciones como aceleraciones y deceleraciones programables, frenadas directas o por rampa. Seleccionar adecuadamente la velocidad del motor, si la carga lo permite, se prefieren motores de alta velocidad, son más eficientes y trabajan con un mejor factor de potencia. (Aymachoque, 2016, s.p.)

Además:

Corregir la caída de voltaje en los alimentadores, un voltaje reducido en las terminales del motor, generan un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión del 5%. para ello utiliza conductores correctamente dimensionados.

Evitar el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de gran y mediana capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda. Seleccione el motor de acuerdo a su ciclo de trabajo: operar un motor para servicio continuo, en accionamiento de operación intermitente ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia.

El arranque de los motores debe de ser en forma secuencial y planificada. Verifique periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada, una alineación incorrecta puede aumentar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

Optimice los sistemas de transmisión: es importante en la selección del sistema de transmisión conocer las características de cada sistema

para adecuarlo a las necesidades específicas. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2010, s.p.)

También se debe tener en cuenta que es importante instalar “equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia”. (Acueducto, 2023, s.p.).

7.3.4. Eficiencia en equipos de transformación de energía

La calidad de la potencia eléctrica consiste en asegurar que dentro de un sistema eléctrico cada uno de los parámetros y propiedades eléctricas estén dentro de los límites estandarizados permitidos, de tal manera que los elementos que hagan uso de estos parámetros puedan funcionar correctamente (Marroquín, 2012).

El inconveniente con la calidad de la potencia eléctrica puede ser visto desde tres aspectos diferentes, según el servicio que se contrata, el servicio que se presta y los equipos que se tienen.

- La primera de ellas, es la que pertenece al lado de los consumidores después del medidor, y es el impacto de los disturbios en los equipos.
- La segunda, también del lado de los consumidores, es que los fabricantes de equipos deben estar al tanto de los niveles de estos

disturbios y la frecuencia con que ocurren, para así definir una tolerancia razonable para sus equipos.

- La tercera que corresponde a ambos lados del medidor, es cómo los disturbios ocasionados por un consumidor afectan a otros consumidores que están conectados a la misma red de suministro. (Zúñiga, 2013, s.p.)

La empresa de suministro de energía eléctrica no puede suponer que proporciona una excelente calidad de energía, ya que algunos de los disturbios quedan fuera del control de la empresa. Por ejemplo, no puede tener el control de que una descarga atmosférica no caiga sobre, ni en las cercanías de una línea de transmisión, o no puede evitar que algún desperfecto en algún equipo genere una interrupción de energía (Marroquín, 2012).

Apoyados en el conocimiento de diseño y en el área eléctrica, los fabricantes deben diseñar y construir equipos que puedan resistir niveles moderados de disturbios. Los usuarios de equipo sensible a los disturbios pueden elegir entre varias opciones para eliminarlos, o al menos reducirlos (Marroquín, 2012).

7.4. Normativo de uso eficiente y calidad de energía

Para este inciso se debe tomar en cuenta la siguiente información:

El funcionamiento de los dispositivos y sistemas electromecánicos en el pasado no eran sensibles a las perturbaciones electromagnéticas. Los

problemas de susceptibilidad derivan en su mayoría de los fenómenos de baja frecuencia como armónicas o los cortes de energía. Los equipos y componentes electrónicos utilizados actualmente, son mucho más sensibles a dichas perturbaciones, especialmente a los fenómenos transitorios.

La enorme propagación en la utilización de los dispositivos y equipos eléctricos ha aumentado el impacto y el riesgo derivado del mal funcionamiento, desperfectos, entre otros, que pueden originarse de las perturbaciones electromagnéticas, por lo cual en los últimos 20 años se han venido desarrollando a nivel mundial normativas técnicas en el área de la calidad de potencia. (Marroquín, 2012, s.p.)

7.4.1. Normativo nacional

En el plan nacional de eficiencia energética se promueve la ley de eficiencia energética, reglamento y normalización, dicha propuesta es planteada por el Ministerio de Energía y Minas con el objetivo de buscar promover un modelo técnico orientado a la eficiencia (Ministerio de Energía y Minas, 2020b).

El plan Nacional de Energía y su Orientación a la Política Energética 2013-2027 pretende la regulación de la eficiencia energética (Ministerio de Energía y Minas, 2020a).

7.4.2. Entes reguladores

Entre las instituciones de normalización reconocidos a nivel internacional están:

- International Electrotechnical Commission (IEC)
- Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE)
- American National Standards Institute (ANSI)
- International Council on Large Electric Systems (CIGRE)
- European Committee for Standardization (CEN)
- Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC)
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT)
- Consejo de Armonización de Normas Electromecánicas Naciones de América (CANENA)
- Standards Council of Canada (SCC)

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés, Institute of Electrical and Electronics Engineers), es una asociación profesional sin fines de lucro dedicada al avance de la innovación tecnológica relacionados con la electricidad; Cuenta con más de 400,000 miembros en más de 160 países, 45% fuera de los Estados Unidos. (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 2020, s.p.)

Además:

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés, American National Standard Institute) es una organización

privada sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de normas de consenso voluntario de productos, servicios, procesos, sistemas y personal en los Estados Unidos. (American National Standard Institute, 2020, s.p.)

7.4.3. Certificaciones aplicables

La calidad de energía y eficiencia energética se rige por la Norma ISO 50001, la intención de esta norma es permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo (Banco Mundial, 2017). La aplicación de esta norma tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía.

La presente norma internacional se aplica a todas las organizaciones sin tener en cuenta el tipo y tamaños de las mismas, así como las condiciones geográficas, culturales o sociales; El éxito de la implementación está en función al compromiso de todos integrantes de los diferentes niveles, así como de sus funciones dentro de la organización, particularmente de la alta dirección.

La aplicación de esta norma a nivel mundial permite el más eficiente uso de las fuentes de energía, mejorando la competitividad y reduciendo

las emisiones de gases de efecto invernadero, así como otros impactos ambientales, siendo aplicable a todo tipo de energía utilizada.
(Organización Internacional de Normalización, 2011, s.p.)

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Hipótesis de investigación: por ser una investigación de tipo cuantitativo-descriptivo, no aplica.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Instalaciones eléctricas en edificios

2.1.1. Tipos de instalaciones eléctricas

2.1.1.1. Baja tensión

2.1.1.2. Media tensión

2.1.2. Clasificación

2.1.2.1. Instalaciones eléctricas en edificios de apartamentos

2.1.2.2. Instalaciones eléctricas en edificios de oficinas

2.2. Auditoría energética en edificios

2.2.1. Tipos de auditoría energética

2.2.2. Metodología

2.3. Optimización de las instalaciones

- 2.3.1. Eficiencia en sistemas de iluminación
 - 2.3.1.1. Tipos de luminarias
 - 2.3.1.2. Automatización de sistemas de iluminación
 - 2.3.2. Eficiencia en sistemas de calefacción
 - 2.3.2.1. Tipos de calefacción
 - 2.3.2.2. Eficiencia en equipos
 - 2.3.3. Eficiencia en equipos de respaldo
 - 2.3.4. Eficiencia en equipo de transformación de energía
- 2.4. Normativo de uso eficiente y calidad de energía
 - 2.4.1. Normativo nacional
 - 2.4.2. Entes reguladores
 - 2.4.3. Certificaciones aplicables
- 3. MEDICIONES Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS
 - 3.1. Voltajes
 - 3.2. Corrientes
 - 3.3. Aislamiento
 - 3.4. Potencia
 - 3.5. Energía
- 4. RECOLECCIÓN DE DATOS
- 5. ANÁLISIS ECONÓMICO
- 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo-descriptivo, se realizarán mediciones de parámetros eléctricos a equipos, conductores, tableros y demás equipos eléctricos para la realización del estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en un complejo de edificios en la ciudad de Guatemala.

10.2. Tipos de variables

A continuación se presentan las definiciones de las variables de estudio. De cada una de estas se proporciona una definición conceptual y una definición operacional.

Tabla 2.

Definición de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Amperio	El amperio es la unidad de intensidad de corriente eléctrica.	Se medirá en amperios (A), utilizando un amperímetro.
Corriente	La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica que recorre un material, debido	Se medirá en amperios (I), utilizando un amperímetro.

Continuación de la tabla 2.

	al movimiento de cargas en el interior del mismo en un circuito eléctrico en función del tiempo. Al caudal de corriente se le denomina intensidad de corriente eléctrica.	
Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Frecuencia	La frecuencia es el número de repeticiones por unidad de tiempo de	Se medirá en hercios (Hz), utilizando un frecuencímetro.
	Cualquier evento periódico. El periodo es la duración de tiempo de cada evento repetitivo, por lo que el periodo es el recíproco de la frecuencia.	
Voltaje	La tensión eléctrica o diferencia de potencial (también denominada voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.	Se medirá en voltios (V), utilizando un voltímetro.
Potencia activa	Es la potencia real entregada, disipada en forma de calor.	Se medirá en vatios (W), utilizando un analizador de red.

Continuación de la tabla 2.

Potencia reactiva	Potencia asociada al campo eléctrico o magnético por elementos capacitivos e inductivos.	Se medirá en volt-amperios reactivos (Var), utilizando un analizador de red.
Potencia aparente	Potencia total que se inyecta al sistema sin considerar el factor de potencia.	Se medirá en volt-amper (VA), utilizando un analizador de red.
Energía	Es la capacidad para realizar un trabajo.	Se medirá en vatios-hora Wh, utilizando un analizador de red.
Desbalance	Cuando la magnitud de tensión suministrada es diferente en un sistema trifásico.	Se medirá en porcentaje (%), utilizando un analizador de red.
Interrupción	Corte total del suministro de energía eléctrica.	Tiene tres clasificaciones, sostenido, temporal y momentáneo, se mide en minutos y segundos.

Nota. Tabla de variables y sus definiciones. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

10.3. Fases de estudio

El estudio se divide en cinco fases, en las cuales se obtendrán los datos históricos para poder discutir los resultados obtenidos durante cada una de las fases.

10.3.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema de estudio y de todos sus componentes. Con esta información se establecerá la base para llevar a cabo el estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en un complejo de edificios en la ciudad de Guatemala.

10.3.2. Fase 2: Recolección de datos

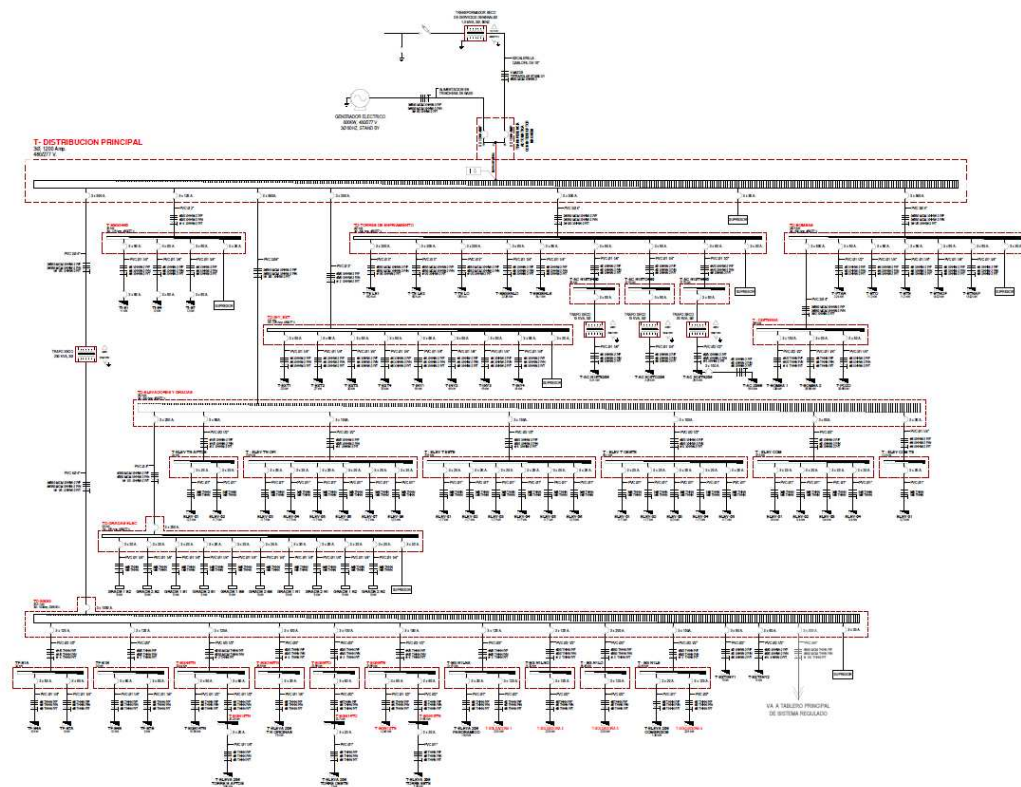
Debido a que esta investigación está basada en la realización de un estudio de eficiencia energética y calidad de energía, se llevará a cabo mediante la utilización de las herramientas disponibles.

- Diagrama unifilar

El diagrama unifilar servirá para comprender cómo están configuradas y estructuradas las instalaciones eléctricas del edificio, realizando visitas técnicas y revisión de dichas instalaciones se podrá comprobar el estado físico y técnico de las instalaciones. A continuación se presenta el diagrama unifilar de las instalaciones.

Figura 1.

Diagrama unifilar



Nota. Diagrama unifilar. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

- Auditoría por clasificación de cargas

La auditoría por clasificación de cargas es importante, ya que debido a esto se podrá conocer la diversidad de cargas y tipos de cargas similares distribuidas en el edificio. En la siguiente tabla se realiza la clasificación de cargas:

Tabla 3.*Clasificación de cargas*

Ubicación	Clase de carga	Cantidad	Voltaje (V)	Potencia (W)
Pasillos	Luminaria			
	Tomacorrientes			
Bodegas	Luminaria			
Parqueos	Luminaria			
Cuartos eléctricos	Luminarias			
	Tomacorrientes			
	Transformadores secos			
Cuartos de maquinas	Bombas			
	Luminarias			
	Tomacorrientes			
Sótanos	Tomacorrientes			
	Lámpara			

Nota. Clasificación de cargas. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Medición de magnitudes eléctricas

Para la recolección de datos es necesario la utilización de equipos de medición para medir los parámetros que determinan el funcionamiento adecuado de los equipos del caso de estudio, para este fin se utilizará un analizador de red AEMC POWERPAD II 8335.

Figura 2.

Analizador de red AEMC 8335



Nota. Foto de un analizador de red. Obtenido de AEMC (2020). *Analizador de red AEMC 8335.* (<https://www.ecosia.org/images?q=Analizador%20de%20red%20AEMC%208335#id=66D377DC4CBADB886BBA272266FE51B0F856A465>), consultado el 18 de diciembre de 2023. De dominio público.

Este equipo tiene la capacidad de monitorear los siguientes parámetros: voltaje, corriente, frecuencia, transitorios, flicker, desequilibrio de tensión trifásica, armónicos, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, energía, entre otros.

- Mediciones termográficas

Saber que los equipos, tableros y demás están conectados correctamente ayuda a prevenir posibles fallas y evitar posibles incendios por mal apriete de bornes, es por esta razón que se realizarán mediciones con cámara termográfica para conocer si las instalaciones están realizadas de manera correcta, se utilizará la cámara termográfica FLIR E95, la cual se muestra en la figura siguiente, en la próxima página:

Figura 3.
Cámara termográfica FLIR E95



Nota. Foto de una cámara termográfica. Obtenido de FLIR (2020). *Cámara termográfica FLIR E95.* (<https://www.ecosia.org/images?q=C%C3%A1mara+termogr%C3%A1fica+FLIR+E95#id=0F8AFC6A4AC7C856B0A9A19407C01551DE58B5B0>), consultado el 18 de diciembre de 2023. De dominio público.

Este equipo tiene la capacidad para detectar fallas eléctricas, con las siguientes características: enfoque automático por láser, rango de temperatura hasta 1500°C, ángulo de visión de 160°, alarma de humedad y rango de alcance de 0.05 a 40 m.

10.3.3. Fase 3: Análisis de resultados

Para efectuar el análisis de resultados será necesario contar con el software adecuado para la interpretación de los datos obtenidos a través de las diferentes herramientas y equipos utilizados para realizar las diferentes mediciones.

A continuación se presenta una tabla con la cual se hará la recolección de datos:

Tabla 4.

Recolección de datos y análisis

Equipo	Potencia	Voltaje	Amperaje	Conductor		Breaker
				Calibre	Ampacidad	
Luminarias						
Bombas						
Motores						
Transformadores						
Condensadora						
Minisplit						
Calentador						

Nota. Recolección de datos y análisis. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Con los datos obtenidos se realizará una comparación de registros de los diferentes parámetros eléctricos de cada uno de los equipos para así determinar el comportamiento de los mismos.

10.3.4. Fase 4: Análisis económico

Se realizará un estudio económico para analizar las diferentes propuestas para el ahorro que se pueda obtener al realizar inversión para la adquisición de equipos nuevos y cambios de tecnología.

En esta fase se realizará el estudio económico utilizando las herramientas VAN y TIR, para analizar cuál de los equipos presenta mayor rentabilidad cuando se requiera realizar una inversión para adquirir un equipo nuevo, conociendo el valor de la energía eléctrica y el consumo de cada uno de los equipos.

El VAN consiste en trasladar a un valor presente los valores de diferentes periodos de tiempo, teniendo una tasa de descuento o tasa de interés para todos los flujos de efectivo.

Para la evaluación del proyecto se considerarán los siguientes criterios:

- $VAN > 0$, es rentable, se acepta
- $VAN = 0$, no genera ganancias
- $VAN < 0$, no es rentable, se rechaza

La TIR es la tasa de interés cuando el VAN es igual a cero, el proyecto es rentable cuando la TIR sea mayor a la tasa de descuento.

10.3.5. Fase 5: Presentación y discusión de resultados

Se realizará validación de los resultados obtenidos por medio del análisis de las variables estudiadas, para determinar los beneficios que conlleva la realización del estudio de eficiencia energética y calidad de energía para el complejo de edificios.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida de los registros del analizador de red AEM Powerpad II muestra valores de parámetros eléctricos, los cuales serán analizados y/o estudiados.

Herramientas de recolección de datos:

- Tabla de características de la red eléctrica
- Tabla de consumo eléctrico de equipos
- Gráfico de comportamiento de consumo eléctrico por equipo
- Tabla de perturbaciones eléctricas
- Gráfico de perturbaciones eléctricas
- Tabla de costo de material y equipo
- Tabla de proyección de flujo de efectivo
- Gráfico de ingresos y egresos mensual
- Tabla de matriz de generación eléctrica
- Gráfico de matriz energética

Herramientas estadísticas:

- Media y desviación estándar de las mediciones
- Gráfico de control comparativo (máximos y mínimos) de voltaje
- Gráfico de control comparativo para la corriente
- Gráfico de control comparativo para la potencia
- Gráfico de dispersión de temperatura contra consumo eléctrico

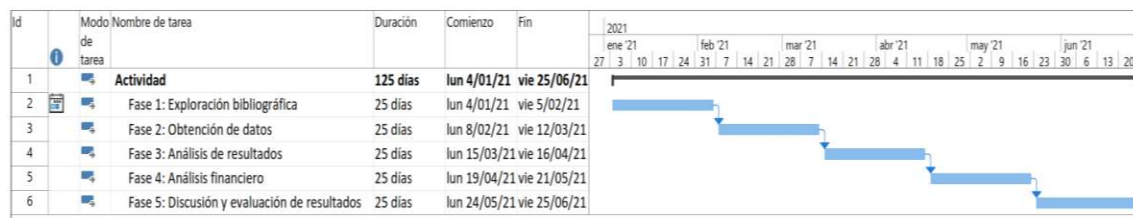
- Gráfico de dispersión de temperatura/consumo eléctrico y su tendencia
- Análisis de tendencias
- Tasa de comparación entre opciones de inversión

12. CRONOGRAMA

Para darle seguimiento detallado al desarrollo de la metodología se establecieron tiempos para el cumplimiento de cada una de las fases. Estos tiempos se muestran en el siguiente cronograma:

Tabla 5.

Cronograma de actividades



Nota. Tabla de cronograma de actividades por fase. Elaboración propia, realizado con Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Factibilidad técnica y financiera: debe analizarse si se cuenta con los recursos necesarios para la realización del trabajo, incluyendo recursos humanos, financieros, tecnológicos, acceso a información, permisos, equipo, infraestructura, entre otros. También se debe cuantificar inversiones y especificar fuentes de financiamiento.

Para realizar la presente investigación se necesitará de los siguientes recursos económicos:

Tabla 6.

Recursos necesarios para la investigación

RECURSOS	COSTO
Movilización	Q 600.00
Materiales	Q 1,500.00
Asesor	Q 2,500.00
TOTAL	Q 4,600.00

Nota. Tabla de recursos de investigación. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Los recursos serán aportados por el estudiante, se consideran suficientes para cubrir los costos de la investigación, por lo que se considera factible la realización del estudio.

REFERENCIAS

Acueducto. (2023). *Equipos de control de temperatura*. Autor.

AEMC. (2020). *Analizador de red AEMC 8335*. AEMC.
<https://www.ecosia.org/images?q=Analizador%20de%20red%20AEMC%208335#id=66D377DC4CBADB886BBA272266FE51B0F856A465>

AENOR. (2009). *Auditorías energéticas*. AENOR.

Ambientales. (2022). *Factores ambientales en la construcción de un edificio*.
Autor.

Arellano, C. (2015). *Estudio y análisis de eficiencia energética del sistema eléctrico del hospital IESS-IBARRA*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional.

Arzipe, M. (2013). *El suministro de energía eléctrica*. Paraninfo.

Aymachoque, T. (2016). *Motores de alta eficiencia*. McGrawHill.

Banco Mundial. (2017). *Eficiencia energética*.
<https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/energy-efficiency>

Cárdenas, O. (2017). *Auditoria energética de las instalaciones de la Empresa Ecuatoriana de Artefactos S.A. ECASA*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional.

- Casto, F. (2004). *Conjunto de instalaciones eléctricas en un edificio*. Pearson.
- Certicalia. (2014). *Aprovechamiento de la luz natural en la construcción de edificios*. Certicalia.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Eficiencia energética*.
<http://www.cnee.gob.gt/wp/?s=eficiencia&submit=lr>
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Calidad*.
<http://www.cnee.gob.gt/wp/?s=calidad&submit=lr>
- Cooperación Alemana. (2020). *Eficacia y eficiencia*. Cooperación Alemana.
- Energía y Sociedad. (2008). *Qué es la eficiencia energética*.
www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/
- FLIR. (2020). *Cámara termográfica FLIR E95*. FLIR.
<https://www.ecosia.org/images?q=C%C3%A1mara+termogr%C3%A1fica+FLIR+E95#id=0F8AFC6A4AC7C856B0A9A19407C01551DE58B5B0>
- Flores, Z. (2008). *Factores que afectan la calidad de la energía y su solución*. Limusa.
- Furlán, J. (2017). *Metodología de medición de la eficiencia energética en cocinas de inducción para el Ecuador*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional.

IDAE (2001). *Guía técnica de eficiencia energética de iluminación oficinas*. IDEA.

IDA. (2011). *Plan de acción de ahorro y eficiencia energética*. IDA.

IECOR. (2016). *Calidad de energía eléctrica*. <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>

Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. (2020). *Sobre la institución*. IEEE.

Instituto Nacional Estadounidense de Estándares. (2020). *Sobre la institución*. INEE.

Marroquín, B. (2012). *Potencia eléctrica en la industria textil*. Limusa.

Mide Bien. (2017). *5 razones para realizar un análisis de calidad de energía*. Mide Bien. <https://midebien.com/5-razones-para-realizar-un-analisis-de-calidad-de-energia/>

Ministerio de Energía y Minas. (2020a). *Calidad*. <https://www.mem.gob.gt/?s=calidad>

Ministerio de Energía y Minas. (2020b). *Eficiencia*. <https://www.mem.gob.gt/?s=eficiencia>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. (2010). *La energía en España*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Muñoz, R. (2015). *Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad de la distribución de energía eléctrica*. [Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche, España]. Repositorio institucional.

Olade. (2016). *Eficiencia energética*. <http://www.olade.org/eficiencia-energetica/>

Organización Internacional de Normalización. (2011). *Norma internacional ISO*. ISO.

Portillo, C. (2020). *Auditoría energética en edificios*. Pearson.

Quesada, D. (2020). *Estudio de la eficiencia energética en edificios municipales comparando herramientas de simulación con medidas experimentales*. [Tesis doctoral, Universidad del Valladolid, España.] Repositorio institucional.

Ramos, E. y Riveros, S. (2018). *Análisis de la eficiencia energética y la calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos agroindustriales CIRNMA S.R.L en la región Puno*. [Trabajo de graduación, Universidad Nacional del Altiplano, Perú]. Repositorio institucional.

Rodríguez, M. (2009). *Instalaciones eléctricas en edificios*. [Trabajo de graduación, Universidad de Cantabria, España]. Repositorio institucional.

Sánchez, J. y Cárcel, F. (2020). *Instalaciones eléctricas en edificios de vivienda*. Autores.

Zúñiga, N. (2013). *Consumidores de energía en la red de suministro eléctrico*.
Panamericana.

APÉNDICE

Apendice 1.

Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
Pregunta principal: ¿Cómo realizar un estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en un complejo de edificios en la ciudad de Guatemala?	Objetivo general: Desarrollar un estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en el complejo de edificios en la ciudad de Guatemala	Consumo eléctrico. Horas de uso efectivo. Calidad de energía. Equipos eficientes. •	Estudio de calidad de energía y eficiencia energética en edificios, auditoría energética.	Utilizar equipo especial para realizar estudio de calidad de energía y eficiencia energética en edificios de apartamentos y oficinas, equipo para realizar mediciones de puntos calientes.

Continuación del apéndice 1.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
Preguntas auxiliares: 1. ¿Cómo se podrá determinar la calidad de la energía eléctrica en las instalaciones de un complejo de edificios?	Objetivos específicos: 1. Determinar la calidad de la energía eléctrica en las instalaciones de un complejo de edificios.	Consumo eléctrico en kWh por áreas. Niveles de voltaje Factor de potencia	Obtener registro histórico de consumo. Realizar mediciones de voltaje y factor de potencia.	Obtener datos de consumo (4 días). Toma de mediciones (6 días).
2. ¿Cuál será la eficiencia energética eléctrica del complejo de edificios?	2. Calcular la eficiencia energética eléctrica del complejo de edificios.	<i>Check list</i> de componentes del sistema (tableros, conductores, tipos de conexiones, generadores, transformadores etc.) <i>Check list</i> del estado del sistema eléctrico actual (conductores, tableros, puntos calientes,	Exploración bibliográfica. Comparación de resultados de observaciones.	Realizar una exploración bibliográfica (5 días). 1. Análisis y conclusiones de resultados de observaciones (4 días).

		conexiones, etc.)		
--	--	----------------------	--	--

Continuación del apéndice 1.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
3. ¿Cómo mejorar la eficiencia y la calidad de energía del sistema eléctrico del complejo luego del estudio de energía?	3. Especificar la forma de mejorar la eficiencia y la calidad de energía del sistema eléctrico del complejo luego del estudio de energía.	Dimensionamiento de equipos en kW, kVA, amperaje y voltaje. Equipos de respaldo adecuado para potencia a suplir. Tecnología a utilizar.	Ensayo a pequeña escala. Exploración bibliográfica para proponer el más adecuado cambio de tecnología.	Realización de ensayo y evaluación de la eficiencia de los equipos de acuerdo a fichas técnicas de los mismos. (10 días)

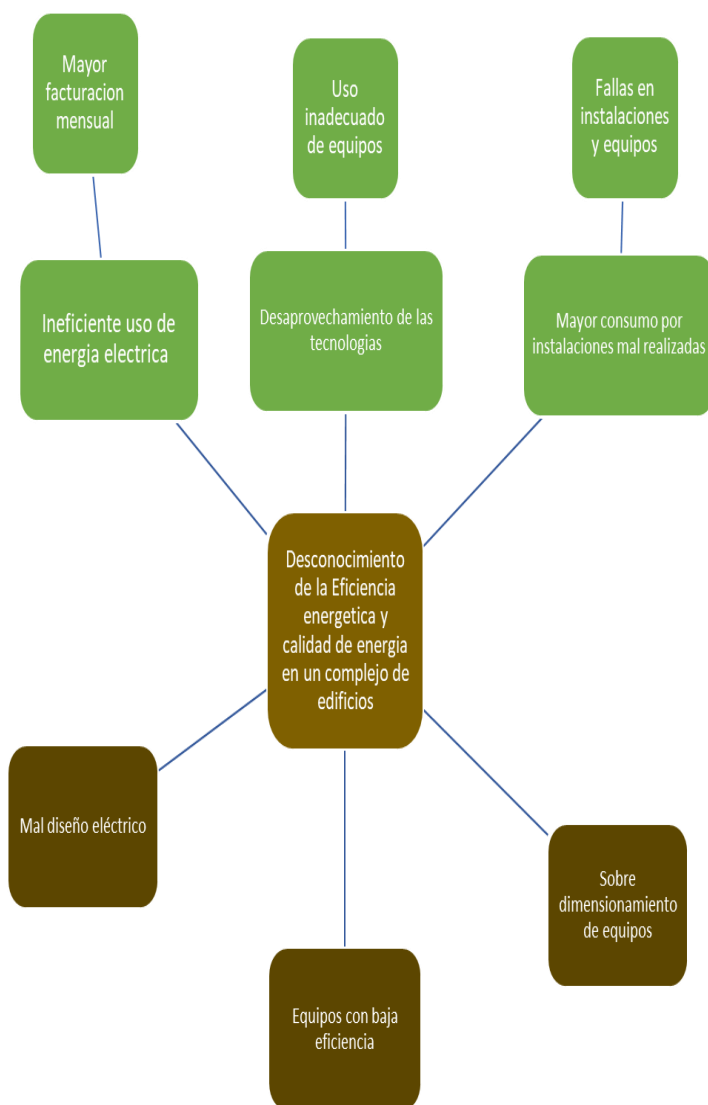
4. ¿Qué beneficios se podrían obtener al mejorar las instalaciones eléctricas del complejo?	4. Enumerar los beneficios que se podrían obtener al mejorar las instalaciones eléctricas del complejo.	Costo de equipos a reemplazar. Ahorro en facturación eléctrica.	Cotizaciones de equipos e instalaciones. Medición de consumo.	Realizar cotizaciones de equipos e instalaciones (6 días) 1. Análisis y conclusiones de mediciones (4 días)
---	---	--	--	--

Nota. Tabla de matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

ANEXO

Anexo 1.

Árbol del problema



Nota. Imagen del árbol del problema planteado en el presente estudio. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.