



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN
PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA
NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**

Sergio Alfredo Santos Mejía

Asesorado por Mtro. Ing. Luis Cristian García Estrada

Guatemala, octubre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN
PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA
NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ALFREDO SANTOS MEJÍA

ASESORADO POR MTRO. ING. LUIS CRISTIAN GARCIA ESTRADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

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	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montúfar Urizar
EXAMINADOR	Ing. Edgar Nephtali Carrera Díaz
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN
PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA
NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 6 de noviembre de 2022.



Sergio Alfredo Santos Mejía



EEPM-PP-1547-2022

Guatemala, 6 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. 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 DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Definir estructuras de mando y requerimientos que especifiquen una toma de decisión y encaminen a la solución de estrategias en el área de mantenimiento industrial**, presentado por el estudiante **Sergio Alfredo Santos Mejia** carné número **8730833**, 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 Ingeniería De Mantenimiento.

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.

Atentamente,

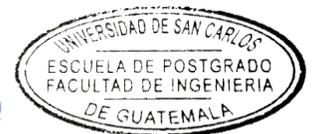
"Id y Enseñad a Todos"


Luis Cristián García Estrada
Ingeniero Electrónico
Col.: 10772

Mtro. Luis Cristián García Estrada
Asesor(a)



Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría





Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1320-2022

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 DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Alfredo Santos Mejia**, 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 Mecanica Electrica

Guatemala, noviembre de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.93.2023

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 DE UN PLAN DE MONITOREO DE ESTADO DE CONDICIÓN PARA ACTIVOS ELÉCTRICOS CRÍTICOS DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA EMPRESA NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN, ZONA 9**, presentado por: **Sergio Alfredo Santos Mejia** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 17/10/2023 18:05:07
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, octubre de 2023

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: 2023 Correlativo: 93 CUI: 1915769560710

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 tan bueno conmigo.
Mis padres	A quienes les debo todo lo que tengo y soy.
Mi hermano	Daniel, el mejor hermano del mundo.
Mis abuelos	Por quienes existo (q. e. p. d.).
Mis amigos	Mi familia extendida González Fajardo, Roxana Gutiérrez y Selvin De León por su amistad.
Ingenieros	Williams Lima, Walter De León, Iván Morales y Elmer Monzón, muchas gracias por su apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Pueblo de Guatemala	Quienes costearon mi formación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi amada <i>alma mater</i> .
Facultad de Ingeniería	Por mi formación, que me ha sido muy valiosa.
Escuela de Mecánica Eléctrica	Por formarme en la especialidad
Escuela de Postgrados de la Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de aprender y complementar mis conocimientos.
Ingenieros	A todos mis catedráticos por compartir sus conocimientos conmigo, especialmente a mi asesor Mtro. Luis García y al Dr. Carlos Alegre.
Mi esposa e hija	Sol González e Ivanka Santos por el apoyo y la comprensión incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XVI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción del problema	7
3.2. Delimitación del problema	7
3.3. Formulación de preguntas orientadoras	8
3.3.1. Pregunta central	8
3.3.2. Preguntas Auxiliares	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	17

7.1.	Energía	17
7.1.1.	Energía mecánica.	19
7.1.2.	Energía eólica	20
7.1.3.	Energía solar.....	20
7.1.4.	Energía hidráulica.	21
7.1.5.	Energía geotérmica	21
7.1.6.	Energía de la biomasa.....	22
7.1.7.	Energía nuclear	22
7.1.8.	Energía química	22
7.2.	Electricidad.	22
7.2.1.	La electricidad en Guatemala	25
7.2.2.	Empresas de electricidad en Guatemala.....	26
7.2.3.	Instituto Nacional de Electrificación	27
7.2.4.	Edificio Torre INDE.....	28
7.3.	Activos en la industria de la electricidad	29
7.3.1.	Acometida eléctrica	29
7.3.1.1.	Cable para media tensión.....	29
7.3.1.2.	Transformador de potencia.....	30
7.3.1.3.	Centro de carga.....	30
7.3.1.4.	Interruptores termomagnéticos.....	32
7.3.2.	Sistema de respaldo de energía de emergencia.	32
7.3.2.1.	Generador Diesel	32
7.3.2.2.	Transferencia automática	33
7.3.2.3.	Cable de cobre THHN para baja tensión.....	34
7.3.3.	Sistema de distribución	34
7.3.3.1.	Transformadores secos de distribución ..	35
7.3.3.2.	Tableros de distribución	36
7.3.4.	Sistema de Puesta a Tierra (SPAT).	37

7.3.4.1.	Varillas, electrodos o jabalinas de puesta a tierra	38
7.3.4.2.	Cable de cobre desnudo.....	38
7.3.4.3.	Barra, platina o placa equipotencial	38
7.4.	ISO 14224	38
7.5.	Mantenimiento.....	39
7.6.	Análisis de criticidad para equipos eléctricos	40
7.7.	Monitoreo de condición	40
7.7.1.	Monitoreo de condiciones en electricidad.....	41
7.8.	Parámetros eléctricos.....	41
7.8.1.	Voltaje.....	41
7.8.2.	Corriente.....	42
7.8.3.	Temperatura.....	42
7.8.4.	Balance de cargas	43
7.9.	Instrumentación de medición eléctrica.....	43
7.9.1.	Voltímetro	43
7.9.2.	Amperímetro	44
7.9.3.	Termómetro IR industrial	45
7.9.4.	Analizador y medidor de calidad de la energía	46
7.9.5.	Telurómetro	47
7.9.6.	Sistema de monitoreo integrado	48
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
9.	METODOLOGÍA.....	53
9.1.	Variables e indicadores	53
9.2.	Operativización de variables	54
9.3.	Población de análisis.....	55
9.4.	Resultados esperados.....	55

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
	REFERENCIAS	63
	APÉNDICES.....	69
	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema de solución.....	15
Figura 2.	Fuentes de energía primaria y secundaria.....	18
Figura 3.	Relación entre la calidad de vida (IDH) y el consumo de energía.....	24
Figura 4.	Subsector eléctrico guatemalteco y su interrelación.	26
Figura 5.	Centro de carga	31
Figura 6.	Motogenerador Diesel.....	33
Figura 7.	Transformador tipo seco	36
Figura 8.	Tablero de distribución eléctrica	37
Figura 9.	Categorización del mantenimiento.....	39
Figura 10.	Voltímetro	44
Figura 11.	Pinza amperimétrica	45
Figura 12.	Termómetro industrial	46
Figura 13.	Medidor de la calidad de la energía	47
Figura 14.	Telurómetro.....	48

TABLAS

Tabla 1.	Variables e indicadores.....	53
Tabla 2.	Cronograma de las actividades.....	59
Tabla 3.	Presupuesto estimado	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Al	Aluminio
A	Amperios
Cu	Cobre
σ	Conductividad
Φ	Factor de potencia
GW	Giga watts
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
°	Grados
Hz	Hercio
H	Hidrógeno
h	Horas
kW	Kilovatio
kV	Kilovoltio
>	Mayor que
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
<	Menor que
Ω	Ohmios
%	Porcentaje
P	Potencia
ρ	Resistividad
W	Vatio

Ns	Velocidad angular o velocidad específica
VA	Voltamperio

GLOSARIO

Acometida eléctrica	Conexión eléctrica que conecta una instalación a la red de distribución.
Ampacidad	Capacidad de conducción o transporte de corriente de un conductor eléctrico.
Amperio	Unidad de medida de flujo de carga eléctrica.
Armónicos	Múltiplos de la frecuencia fundamental del voltaje o corriente en una instalación eléctrica.
AWG	Se refiere a la clasificación del diámetro de un conductor según el <i>American Wire Gauge</i> (calibre de alambre estadounidense).
Barras colectoras	Elementos, generalmente de cobre, utilizados para distribuir la corriente eléctrica dentro de un tablero eléctrico u otro equipamiento.
Big data	También conocido como macrodatos o más variedad en volumen creciente y a velocidad superior de datos. Es un proceso de análisis e interpretación de gran cantidad de datos para extraer valor de ellos.
BM	Banco Mundial.

Busway	Ductobarra, blindobarra. Barras de cobre encapsuladas utilizadas para alimentar cargas en sustitución de cables conductores de cobre.
Cable	Conductor trenzado de varios hilos, su ampacidad se determina de acuerdo a su diámetro AWG.
Caída de tensión	Diferencia de tensión entre dos puntos debido a la distancia existente entre ellos que provoca la disminución en el valor medido en el punto más alejado.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Criptomonetización	Generalización en el uso de criptodivisas como medio digital de intercambio.
Cuarto eléctrico	Infraestructura en donde se encuentra la subestación, los transformadores y tableros de distribución general en un edificio.
Descarbonización	Proceso de reducción de emisiones de carbono, principalmente el dióxido de carbono a la atmósfera.
Diagrama Unifilar	Representación del sistema eléctrico de una instalación de forma simplificada y monofásica.
Dióxido de carbono	Gas incoloro e inodoro a temperatura y presión estándar.

EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
Efecto Invernadero	Fenómeno de regulación de la temperatura del planeta que con la presencia de una capa de gases en la atmósfera, se absorbe y emite radiación infrarroja, provocando un incremento en la temperatura media de la tierra.
EIA	<i>Energy Information Administration</i> (Administración de Información de la Energía EUA).
Empalme	Conexión mecánica de dos o más cables para derivar, extender o dar continuidad a los mismos.
Excel	Programa de hoja de cálculo de MS Office muy popular por ser bastante amigable con el usuario.
FODA	Matriz utilizada para analizar factores internos: fortalezas y debilidades y factores externos: oportunidades y amenazas de una organización.
Fusibles	Elementos de protección eléctrica de bajo punto de fusión, opera por efecto térmico debido al amperaje que circula por ellos.
Gabinete eléctrico	Tablero eléctrico, gabinete donde se concentran protecciones, medición o monitoreo para el funcionamiento adecuado de una instalación eléctrica.

Gas de efecto Invernadero	Es un gas que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo.
Grounding	Puesta a tierra de una instalación eléctrica para protección del personal y equipos.
Huella de carbono	Medida de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, producto de actividades humanas.
IC	Índice de criticidad.
IDH	Índice de Desarrollo Humano.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos).
IIoT	<i>Industrial internet of things</i> (internet industrial de las cosas).
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
ISO	<i>International Standards Office</i> (oficina de normas internacionales).
Isótopo	Son variantes de un elemento que difieren en el número de neutrones que poseen, manteniendo igual el número de protones.

La nube	Se refiere a los servidores a los que se accede a través de Internet, y al <i>software</i> y bases de datos que se ejecutan en esos servidores.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
Método de Wenner	Método de medición de resistividad del suelo que utiliza cuatro electrodos en línea recta e inyecta una corriente eléctrica para determinar el valor de ρ (rho).
Movilidad eléctrica	Integración de nuevas tecnologías para desplazarse.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
<i>Per cápita</i>	Palabra proveniente del latín, traducido: por cabeza, que es un tecnicismo económico utilizado en referencia a una variable económica que se distribuye entre los componentes de un grupo.
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (mantenimiento basado en condición).
Rho (ρ)	Decimoséptima letra del alfabeto griego que en electricidad representa la resistividad de un material.
Robot	Máquina automática programable capaz de realizar tareas repetitivas.

Robotización	Automatización de procesos o tareas rutinarias y repetitivas con el auxilio de robots.
SPAT	Sistema de puesta a tierra.
Tablero eléctrico	Gabinete metálico que contiene barras, interruptores y cables para alimentar y proteger cargas.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en voltios.
TEP	Tonelada equivalente de petróleo.
Tonelada Equivalente de Petróleo	Unidad especial de energía equivalente a 10 millones de kilocalorías.
Tercerizar	Subcontratar o externalizar trabajos o servicios con terceros.
THD	<i>Total harmonic distortion</i> (distorsión armónica total).
Transformador	Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico.
Vatio	Unidad de medida de potencia.

RESUMEN

El trabajo de investigación se conforma con cuatro capítulos desarrollados como se detalla a continuación.

El capítulo 1, el marco teórico, se fundamenta en los conceptos físicos del sector energía y el subsector eléctrico; se establecerán los rangos de valores que debe tener cada parámetro que se utilizará como variable a ser monitoreada.

En el capítulo 2, se mostrará el resultado del desarrollo de la investigación, los datos obtenidos yendo al campo y muestreando el activo crítico se mostrarán ya tabulados y ordenados, ellos serán la línea base.

En el capítulo 3, se presentarán los resultados. Los valores obtenidos para cada parámetro de forma teórica y los datos levantados en campo serán evaluados y comparados para ver su comportamiento y determinar su comportamiento y sus valores de dispersión si estos existen.

Finalmente, en el capítulo 4, se discutirán los resultados obtenidos y se desarrollará y se describirá el plan de monitoreo que se considere más apropiado para el sistema que se determine cuál es el más crítico de todos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye una propuesta de sistematización de un programa de monitoreo a la máquina que tenga el mayor índice de criticidad de acuerdo a su incidencia en el proceso, el medio ambiente y la salud y seguridad.

El problema que presenta actualmente es la inexistencia de una metodología para el mantenimiento, no existen procedimientos escritos ni procesos para realizar el mantenimiento y por lo tanto hay una oportunidad de medir o de mejora en la gestión del mantenimiento.

La importancia de la solución es que este proyecto pretende motivar la evolución de un mantenimiento netamente reactivo hacia un mantenimiento preventivo basado en la condición del activo.

El aporte es el diseño de un plan de monitoreo de condición para los activos críticos.

Los resultados esperados son definir la taxonomía de los equipos eléctricos, determinar el índice de criticidad de los activos eléctricos, establecer una línea base y determinar el comportamiento de los activos críticos en relación a la línea base.

El esquema de solución propone obtener datos teóricos para la línea base, realizar un monitoreo de condición para realizar un análisis y determinar

la dispersión de los parámetros respecto a la línea base, de ahí recomendar una estrategia de mantenimiento para los activos eléctricos estudiados.

La elaboración de la investigación es factible en función de la disponibilidad de recursos financieros y técnicos para ejecutar cada parte del proceso.

2. ANTECEDENTES

Abreu (2021) realizó una propuesta de mejora al sistema de gestión de mantenimiento de activos críticos en la extensión de la Universidad Católica Andrés Bello extensión Guayana para capacitar personal propio que realicen los mantenimientos que se tercerizan. Por medio de observación directa, entrevistas no estructuradas e investigación documental acerca de la operación y el mantenimiento actual se obtuvo el análisis de la situación actual. Utilizando un análisis FODA determinó una propuesta que puede mejorar el rendimiento del equipo de mantenimiento. El aporte metodológico del estudio es la forma de analizar la situación y determinar las debilidades y las amenazas.

Ocoró (2019) diseñó un plan de mantenimiento en Colombia que puede usarse para inspección, diagnóstico y seguimiento de equipo industrial por medio de formatos en hoja de cálculo que generan indicadores de desempeño. Para estructurar el algoritmo se consultó bibliografía técnica y se entrevistó a operarios y técnicos de mantenimiento, se desarrolló una aplicación de Excel para generar órdenes de trabajo. El aporte metodológico es la obtención de análisis de los diversos equipos y el desarrollo de un algoritmo de mantenimiento genérico.

Campos (2019) propusieron una metodología RCM aumentada mediante el uso de normativas y bases de datos, aplicaron su propuesta en el túnel de viento del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada del Instituto Politécnico Nacional de México. Como consecuencia se mejoró la obtención de análisis y por ello mejoró el rendimiento del plan de mantenimiento. El aporte metodológico del estudio es la aplicación de la taxonomía y las bases de datos

en un programa de mantenimiento para adelantarse a modos de falla que ocurren frecuentemente y que con la metodología propuesta pueden anticiparse.

Cala y Hernández (2018), usaron metodologías RCM y las aplicaron a activos inmobiliarios analizaron los modos de fallo y criticidad para diseñar un modelo de mantenimiento que aplicaron a los activos eléctricos pertenecientes a los desarrollos inmobiliarios. Ellos desarrollaron un plan de mantenimiento RCM que tuvo un 45 % de ahorro en costos comparado con el plan de mantenimiento anterior, El aporte metodológico del estudio es la aplicación de las metodologías al tipo de activos específicos del grupo inmobiliario para crear un modelo de mantenimiento.

Castañeda y Pérez (2017) desarrollaron una metodología basados en la norma ISO 55000:2014 que integra la gestión de activos con el mantenimiento y lo aplican a una instalación de media tensión a modo de guía para implementar la norma en las instalaciones eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la ciudad de Bogotá, Colombia. El estudio determinó que existen falencias en el mantenimiento de la subestación, pero son una buena oportunidad de mejorar. También concluye que es importante y beneficioso gestionar los activos bajo la norma ISO 55000 y es recomendable replicar la metodología a las demás subestaciones de la universidad. El aporte metodológico del estudio es el desarrollo de una aplicación de la norma a un activo eléctrico específico como es el caso de la subestación.

Jiménez (2020) planteó una estrategia RCM para nueve subestaciones eléctricas para la empresa Continental Tire Andina incluyendo un análisis de criticidad para enfocar prioridades y así evitar fallas. El aporte metodológico es

la aplicación de una estrategia del mantenimiento que logra mayor eficacia y eficiencia en la empresa donde se desarrolló la investigación.

Cruz (2011) desarrolló un plan de mantenimiento predictivo en la empresa AGR-RACKEND implementando la digitalización de procesos y fichas, el aporte metodológico es la implementación de la estrategia predictiva que obtuvo como resultados un aumento en la disponibilidad y la confiabilidad de los activos y reducción de costos en operación y mantenimiento.

Páez, Villamil y Zaidman, (2022) realizan un estudio en Bogotá en dos plantas eléctricas desde una perspectiva económica y tomando en cuenta la criticidad y la consecuencia en caso de un probable fallo en ellas y su impacto en la reputación de los propietarios. El aporte metodológico es el desarrollo de un análisis de retorno de inversión de la situación actual comparada con la mejoras recomendadas por los autores.

Álvarez (2021) estudiaron una planta eléctrica de alta criticidad en Bogotá y desarrollaron un programa de mantenimiento para mejorar su confiabilidad basados en una estrategia RCM. El aporte metodológico de su trabajo es la obtención de una taxonomía y los sistemas, subsistemas y componentes de una planta eléctrica

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es que no existe un plan de mantenimiento eléctrico escrito ni detallado para aplicarlo a los activos eléctricos del Edificio de la empresa nacional de electrificación. El problema afecta al departamento de mantenimiento y al personal que trabaja en el edificio, el problema existe desde 1991 cuando se ocupó el edificio actual, el edificio cuenta con una planta eléctrica de respaldo, pero esta planta solo genera para alimentar los tableros privilegiados del edificio.

3.1. Descripción del problema

El edificio tiene 30 años de edad, durante su tiempo de vida el mantenimiento ha sido a falla cuando ocurre algún problema, la consecuencia es la falta de análisis y gestión adecuada, no existe análisis de los activos eléctricos en uso. Como consecuencia de lo anterior existe poca confiabilidad del equipo y alto riesgo de ocurrencia de cortes de energía que pueden causar paros de actividades laborales.

Se propone para la solución diseñar un plan de monitoreo de condición como estrategia de mantenimiento de activos eléctricos.

3.2. Delimitación del problema

La propuesta está enfocada en iniciar un plan de monitoreo de condición para el equipo con mayor criticidad entre: la acometida, la generación de respaldo, la red de protección a tierra y la distribución del sistema de suministro

de energía eléctrica del edificio torre de la empresa nacional de electrificación de Guatemala, ubicada en la zona 9 de la ciudad capital.

3.3. Formulación de preguntas orientadoras

Diseño de investigación de un plan de monitoreo de estado de condición para activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación, zona 9.

3.3.1. Pregunta central

La pregunta central de la investigación es ¿qué plan se puede diseñar para monitoreo de estado de condición de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?.

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?
- ¿Cuáles son los valores de los parámetros de operación de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?
- ¿Cuál estado de condición a la fecha de investigación de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pertenece a la línea de investigación del área de administración del mantenimiento de la maestría. La propuesta es importante para la empresa nacional de electrificación porque actualmente no existe un plan de monitoreo para los activos eléctricos críticos de su edificio, eso provoca su deterioro y aumenta la probabilidad de falla de dichos activos, es difícil realizar reparaciones no programadas con anterioridad a un año debido a razones burocráticas, lo anterior justifica la necesidad de monitorear constantemente el estado de dichos activos.

La motivación del investigador surge para realizar un procedimiento de monitoreo que dé análisis útil para gestionar una estrategia de mantenimiento.

El beneficio del estudio consiste en establecer un punto de partida para luego desarrollar el monitoreo de condición y contrastarlo con los datos que constituyen la línea de base desarrollada en este trabajo para detectar y corregir problemas de mantenimiento que estén latentes.

El estudio beneficiará a la empresa de electrificación nacional, a la jefatura de Mantenimiento, a los supervisores de mantenimiento, a los electricistas de mantenimiento y a todos los usuarios del edificio.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan para monitoreo de estado de condición para los activos eléctricos críticos del Edificio Central de la empresa nacional de electrificación.

5.2. Específicos

- Definir qué activos eléctricos son críticos en el edificio central de la empresa nacional de electrificación.
- Caracterizar los valores de los parámetros de operación para los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación.
- Obtener los valores de estado a la fecha de la investigación de las variables establecidas en el plan de investigación para los activos eléctricos críticos

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de investigación es para mejorar la estrategia de mantenimiento y poder obtener mejores resultados que los actuales.

La solución al objetivo general es obtener una línea base de datos actualizados de los parámetros eléctricos definidos críticos para que puedan ser monitoreados en su condición.

La solución del objetivo específico 1 será realizar un levantamiento de activos eléctricos, ubicarlos y codificarlos utilizando criterios ISO 14224 para realizar la taxonomía de equipos y así tener una actualización del inventario de equipo eléctrico del edificio.

La solución del objetivo específico 2 será utilizar el inventario actualizado del equipo eléctrico ya codificado, someter el nuevo inventario a una evaluación de criticidad y determinar cuál es el más crítico para poderlo estudiar.

La solución objetivo específico 3 será utilizar la data obtenida del cumplimiento de los objetivos uno y dos y con ellos desarrollar una línea base que pueda usarse para contrastar con los datos medidos durante la fase de investigación y determinar si el comportamiento del activo crítico está dentro de rango debe intervenir.

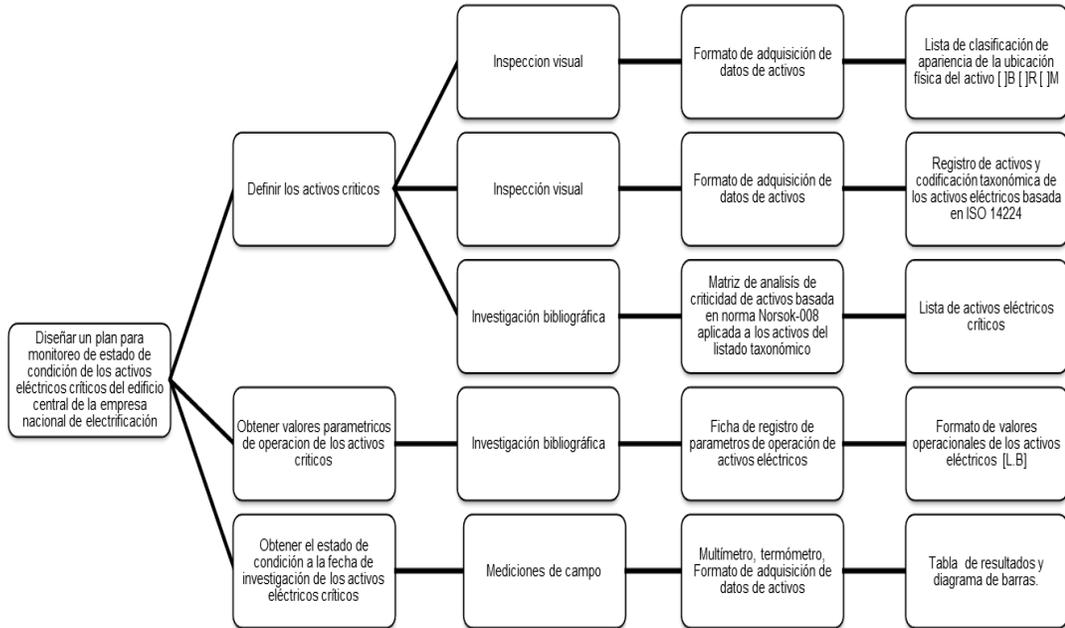
La elaboración de la investigación es factible ya que además de estar autorizada por la jefatura de mantenimiento cuenta con acceso a los equipos

eléctricos, disponibilidad de recursos financieros, técnicos y tecnológicos para su desarrollo.

La validez técnica de la investigación se sustenta en los procedimientos ISO 14224 aplicados a la metodología RCM y la metodología de criticidad Norsok 008 2008 que se utilizarán para desarrollar la investigación.

Figura 1.

Esquema de solución



Nota. Metodología propuesta. Elaboración propia, realizado con Excel.

7. MARCO TEÓRICO

Se presenta el sustento teórico para el desarrollo de la investigación propuesta, se parte de conceptos físicos y se irá desarrollando la relación entre estos procesos y como su evolución nos lleva a una industria, como esa industria aplica esos conceptos físicos tanto en su negocio como en sus propias instalaciones.

Se muestran características de los sistemas que se evaluarán para elegir al sistema que necesite, por su función e importancia, tener un plan de monitoreo de condición

Se presenta el sustento teórico para el desarrollo de la investigación propuesta, se parte de conceptos físicos y se irá desarrollando la relación entre estos procesos y como su evolución nos lleva a una industria, como esa industria aplica esos conceptos físicos tanto en su negocio como en sus propias instalaciones.

Se muestran características de los sistemas que se evaluarán para elegir al sistema que necesite, por su función e importancia, tener un plan de monitoreo de condición.

7.1. Energía

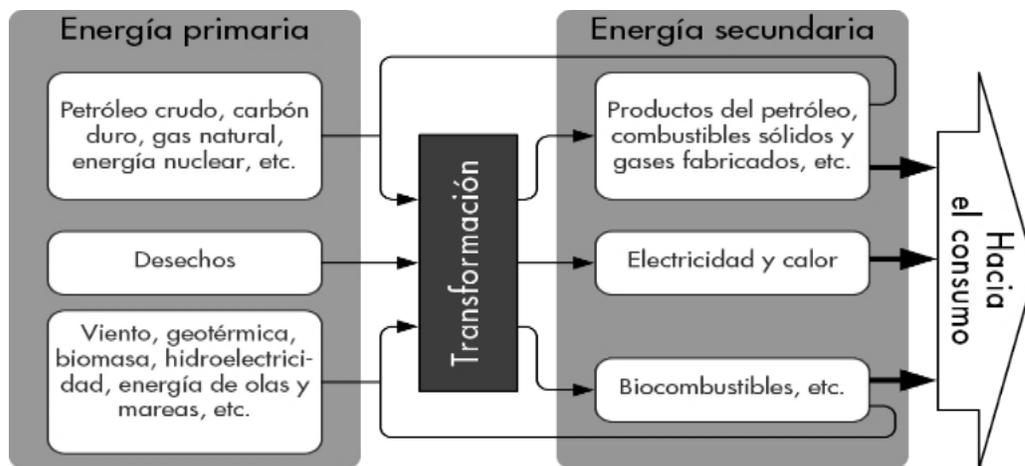
Se define la energía como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo y según el Banco Mundial (2022) el acceso a la energía es el corazón

del desarrollo, lo cual nos muestra la importancia del aprovechamiento de la energía para el desarrollo de la humanidad.

La energía se puede clasificar de varias formas dependiendo de su tipo o de su fuente, por ejemplo. La energía puede ser definida como primaria, cuando no ha sido transformada y está tal cual, en su estado natural, por ejemplo, en forma de leña, petróleo, sol, agua. La energía secundaria es la que ya sufrió algún tipo de transformación como sucede con la energía eléctrica entre otras, algunos tipos de energía pueden ser definidos como primaria y secundaria simultáneamente (Weber, s.f.).

Figura 2.

Fuentes de energía primaria y secundaria



Nota. Origen de fuentes de energía. M. Weber (s.f.). *Fuentes de energía primaria y secundaria.* (<https://stem.guide/topic/fuentes-de-energia-primaria-y-secundaria/?lang=es>), consultado el 10 de octubre de 2022. De dominio público.

Para nuestro estudio vamos a definir seis tipos de energía que usualmente se transforman en energía eléctrica y son:

7.1.1. Energía mecánica

Definida como la suma de la energía cinética y la energía potencial. La energía cinética: es la energía que un cuerpo posee y que es función de su masa y de su velocidad, la ecuación que establece la relación es:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Donde:

E_k : energía cinética

m : masa del cuerpo estudiado

v : velocidad de desplazamiento.

La energía potencial gravitacional es definida como la energía que un cuerpo posee en función de su posición relativa conforme a un marco referencial establecido, la ecuación que define la energía potencial es:

$$E_p = mgh \quad (2)$$

Donde:

E_p : energía potencial en Joules

m : masa (kg)

g : constante de aceleración gravitacional (9.8 m/s²)

h : altura con relación a un marco de referencia (m)

Otros tipos de energía potencial son: la energía potencial elástica, que es energía almacenada en un material deformado.

$$E_p = \frac{1}{2} k \Delta x^2 \quad (3)$$

Donde:

$E_p(x)$: energía potencial en función de un desplazamiento (m)

k: constante característica de cada material (m)

Δx : un desplazamiento dado de longitud x (m)

7.1.2. Energía eólica

Energía producida mediante el aprovechamiento de la energía cinética obtenida del viento. La energía del viento se aprovecha utilizando un transductor que esencialmente consta de: torre, rotor o sistema de captación del viento, caja de engranajes o multiplicadora y el generador eléctrico. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2014).

El acople mecánico entre el rotor y aspas al eje y al generador transformará la energía eólica en energía eléctrica.

7.1.3. Energía solar

Como su nombre lo indica es un tipo de energía cuya fuente es el sol, puede obtenerse y aprovecharse de dos formas: como radiación electromagnética o energía lumínica y como energía calorífica o radiante. El primer tipo de energía solar suele utilizar paneles solares como transductor y almacenarse en bancos de baterías de diverso tipo estacionario, el segundo tipo de energía solar se aprovecha generalmente usando tecnología basada en el efecto invernadero para obtener calor.

Los paneles solares en esencia son placas de material semiconductor que producen corrientes eléctricas mediante una transformación electrónica de sus electrones libres al recibir energía en forma de fotones provenientes del sol.

Para aprovechar el calor radiado desde el sol se utilizan tuberías expuestas a la radiación solar que se envuelven en cubiertas que dificultan el reflejo de la misma y entonces son utilizadas para calentar las superficies y su contenido.

7.1.4. Energía hidráulica

Se define como la energía producida por el flujo de agua al fluir de un nivel a otro, es una forma de energía limpia que se aprovecha al convertir la energía cinética del agua en energía eléctrica utilizando un rotor como transductor.

Es la segunda fuente de generación de energía en el país según la matriz energética de Guatemala, detrás de la cogeneración por quema de biomasa durante la zafra.

7.1.5. Energía geotérmica

Energía proveniente del interior de la superficie terrestre, provocada por la desintegración de isótopos radioactivos, que puede aprovecharse para transformarla en energía eléctrica utilizando una turbina de vapor y el vapor que se extrae de la fuente.

En Guatemala son dos las generadoras existentes que transforman energía geotérmica en electricidad.

7.1.6. Energía de la biomasa

Es la energía producida por combustión de cualquier residuo orgánico, biomasa u otro incluyendo los biocombustibles (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

No se encontró análisis que detalle la capacidad instalada de producción individual con biomasa/bunker de los mayores productores que se supone son los ingenios. Sin embargo, se afirma que los ingenios produjeron en conjunto, son 8 ingenios, 1784 GW durante la zafra 2021-2022 (Azúcar de Guatemala, 2022).

7.1.7. Energía nuclear

Energía obtenida a partir de la fisión de los átomos de un isótopo de hidrógeno. En Guatemala aún no existe la tecnología necesaria para producir electricidad por medio de transformación de energía nuclear.

7.1.8. Energía química

Energía obtenida a través de procesos químicos un ejemplo de este tipo de energía son las baterías o acumuladores de energía eléctrica de corriente directa otro ejemplo es la fotosíntesis que es la conversión de energía solar (radiante) a biomasa.

7.2. Electricidad

Hemos mencionado en los incisos anteriores diversas formas y los lugares donde se genera electricidad utilizando diversas tecnologías y

aprovechando diversas fuentes energéticas primarias disponibles en Guatemala.

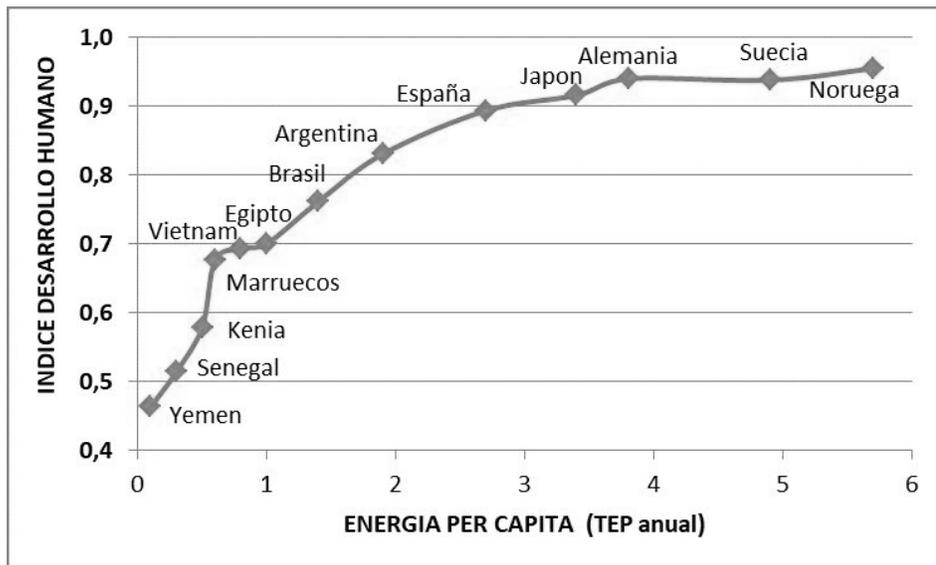
La electricidad es una de las formas de energía secundaria más utilizada gracias a su accesibilidad (Energy Information Administration, 2022).

Y la importancia del acceso a la energía eléctrica es tal que es el objetivo número 7 de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) promovido por la ONU, se considera la electrificación como una tendencia que incluye aspectos que van desde cocinar, reducir el calentamiento global, hasta la movilización terrestre.

La figura 3 muestra que existe una correlación entre el índice de desarrollo humano y el consumo de energía, se puede ver que los países que encabezan los IDHs son los que consumen la mayor cantidad de energía, a más consumo de energía mayor es el IDH, consumo de energía que incluye la electricidad.

Figura 3.

Relación entre la calidad de vida (IDH) y el consumo de energía



Nota. Gráfico que muestra la correlación entre IDH y consumo de energía *per cápita* en consumo de Toneladas Equivalente de Petróleo anual. Obtenido de Total energies. (s.f.). La energía y el desarrollo de la humanidad. (<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/la-energia-y-el-desarrollo-de-la-humanidad>), consultado el 15 de octubre de 2022. De dominio público.

La electricidad no es más que un flujo electrónico a través de materiales conductores, dicho flujo se produce a partir de una diferencia entre dos potenciales distintos, del menor potencial al mayor potencial.

La electricidad es de gran importancia por la facilidad de transportarla a través de largas distancias, tiene el inconveniente de no poder almacenarse salvo en baterías y en cantidades relativamente mínimas.

Se dice que la solución para minimizar la huella de carbono en el planeta es la electrificación total, dado que actualmente en la industria 4.0 la tendencia

es la electrificación de todo desde la movilidad con vehículos eléctricos hasta la robotización de la industria pasando por la nube, el IIoT, la impresión 3D, la criptomonetización y la *big data* (Márquez, 2021).

7.2.1. La electricidad en Guatemala

En Guatemala a partir de 1996 se tiene la estructura siguiente para el sector energía, subsector energía eléctrica:

Un ente rector que es el Ministerio de Energía y Minas (MEM) cuya función es establecer las políticas energéticas nacionales, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) que es un órgano técnico cuya atribuciones son regular y aplicar la normativa vigente a los participantes del mercado mayorista además de definir tarifas, arbitrar en conflictos y generar normativa técnica. Comisión Nacional de Energía Eléctrica y un ente administrador que es la Administradora del Mercado Mayorista (AMM) que opera el sistema y el mercado eléctrico nacional.

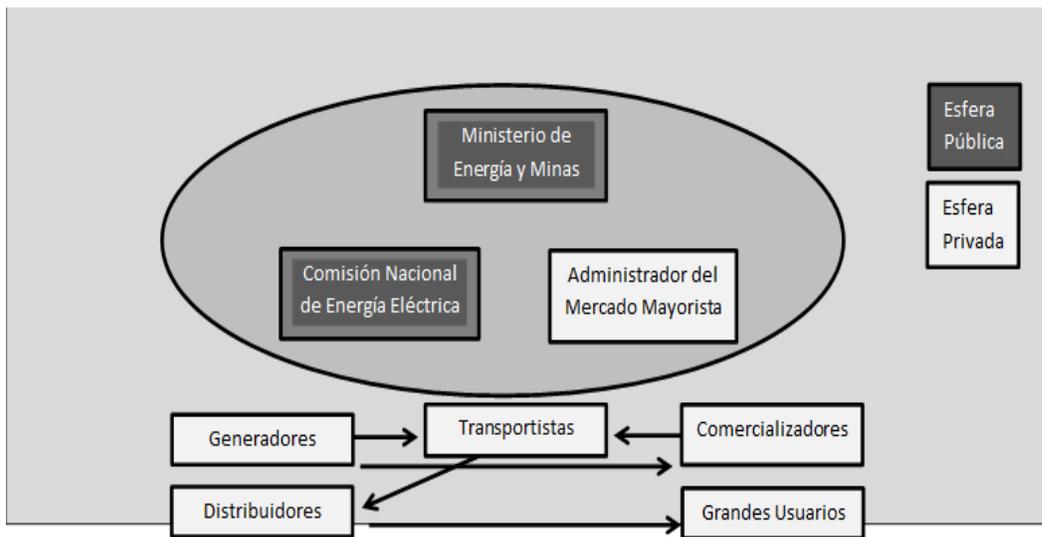
El mercado eléctrico está conformado así:

Empresas generadoras, cuya potencia máxima es mayor a 5 MW, Empresas transportadoras con capacidad mayor a 100 MW, Empresas comercializadoras con bloques de energía mayores o iguales a 5 MW, Empresas distribuidoras con más de 15,000 usuarios regulados y grandes usuarios con demandas mayores a 100 MW.

La figura 4 muestra el subsector eléctrico y su interrelación en Guatemala.

Figura 4.

Subsector eléctrico guatemalteco y su interrelación.



Nota. Descripción de relaciones y ámbitos en el subsector eléctrico nacional. Elaboración propia, realizada con Excel.

7.2.2. Empresas de electricidad en Guatemala

Las diversas empresas que generan, transportan, comercializan y distribuyen energía eléctrica que están mencionadas en la página web del mercado mayorista a la fecha de la investigación son:

Sesenta y tres agentes generadores, cincuenta y tres generadores distribuidos renovables, treinta empresas comercializadoras, tres empresas distribuidoras, catorce empresas de transporte y cinco grandes consumidores, todas ellas listadas y clasificadas en el anexo 1.

7.2.3. Instituto Nacional de Electrificación

De acuerdo a su hoja web el INDE es una institución estatal, pública y autónoma con patrimonio propio y personalidad jurídica. El INDE fue creado en el año 1961.

Dentro de sus propósitos se encuentra atender la escasez de energía eléctrica, expandir la cobertura de energía eléctrica, realizar estudios de potencial energético, colaborar con el aprovechamiento de las fuentes de energía existentes en el país, reforestar cuencas y cuidar del medio ambiente, promover la eficiencia energética y participar en transacciones energéticas locales e internacionales.

La visión de la empresa es ser reconocida por brindar servicios de calidad en generación, transmisión y comercialización de energía eléctrica con responsabilidad social.

La misión de empresa es: contribuir en el desarrollo social y económico mediante la generación, transporte y comercialización de energía eléctrica incrementando la electrificación rural.

Dentro de sus objetivos estratégicos está generar, transmitir y comercializar energía utilizando fuentes renovables de bajo impacto ambiental y lograr la sostenibilidad financiera racionalizando el uso de sus recursos y siendo eficientes en sus proyectos.

7.2.4. Edificio Torre INDE

Es un edificio de siete niveles, incluyendo tres sótanos, se compone de dos torres de oficinas y una torre de 4 niveles de parqueo. Tiene acceso por la 2ª calle y por la 3ª calle en un área de parqueos llamado pool de vehículos de uso exclusivo para vehículos del INDE, este edificio fue vendido en planos en el año 1976, originalmente fue diseñado para ser un centro comercial de 15 niveles y llamado Centro Comercial La Torre, por su cercanía a la Torre del Reformador.

El edificio posee seis niveles más una terraza construida en el año 2018 para detener las filtraciones en las losas inferiores y ampliar el área de parqueo de vehículos. El edificio posee tres sótanos identificados como niveles -1, -2 y -3, una Planta Baja y tres niveles superiores identificados como niveles +1, +2 y +3.

Luego del terremoto de 1976 debido a los altos precios de construcción post terremoto y por problemas con los permisos de construcción por la altura que tenía proyectada fue vendido al INDE por un grupo de propietarios.

Dentro de la infraestructura que posee este edificio aparte de las torres, oficinas y jardinerías que lo componen, cuenta con una acometida eléctrica de trifásica con un transformador tipo seco de 1000 kVA en 13.2 kV/440 V, un respaldo de emergencia Diesel de 400 kVA en 440 V con su transferencia automática de 400 A, un sistema de extracción de agua dura con una bomba sumergible de 20 HP, un sistema hidroneumático de altura continua que abastece al edificio, al sistema sanitario y al sistema contra incendios e hidrante, dos ascensores para 15 personas marca Otis, un sistema de escaleras eléctricas que fueron declaradas irreparables e inseguras, un

sistema de climatización de *heat pumps* y tres torres de enfriamiento que también ya llegaron al fin de su vida útil, varios sistemas de clima tipo paquete, Split y mini Split que se instalaron durante y debido a la pandemia de COVID-19.

El INDE no aplica depreciación en sus activos por lo cual mucha infraestructura obsoleta, que sigue teniendo el valor de libros, no se puede reemplazar y dar de baja. Es una de las curiosidades de la institución.

7.3. Activos en la industria de la electricidad

Activos son todos aquellos elementos que tengan un valor específico para la organización, en este caso detallaremos los activos eléctricos que se involucran dentro de nuestro estudio.

7.3.1. Acometida eléctrica

Este sistema del edificio es la entrada de suministro de energía eléctrica al mismo y está constituido por varios elementos los cuales son:

7.3.1.1. Cable para media tensión

Cable tipo RHH apantallados, para uso en acometidas eléctricas de voltajes de transmisión a 13.2 kV en la ciudad, según la normativa eléctrica del distribuidor EEGSA.

7.3.1.2. Transformador de potencia

Máquina eléctrica no rotativa de tipo seco aislada en resina epóxica que se utiliza para reducir el valor de medio a bajo voltaje aplicando el principio de inducción electromagnética.

Están compuestos de un núcleo, espiras, terminales o bujes de alta y baja tensión, el encapsulado y el gabinete donde están almacenados y protegidos, además de los accesorios de protección y monitoreo.

Su relación de transformación entre espiras y valores de voltaje está dada por la ecuación:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

Donde:

N_1 es el número de espiras del arrollamiento primario.

N_2 es el número de espiras del arrollamiento secundario

V_1 es el voltaje de entrada, en nuestro caso 13.2 kV

V_2 es el voltaje de salida, en este caso 480 VAC.

7.3.1.3. Centro de carga

Usualmente es un gabinete metálico fabricado de acero galvanizado con barras de cobre para la distribución de corrientes, espacios y zapatas para instalar las protecciones termomagnéticas que protegerán los circuitos derivados de él, en algunas ocasiones cuenta con una protección principal, los paneles con interruptor principal reciben los cables conectados al interruptor

principal y los paneles sin interruptor principal reciben los cables directamente a sus barras de distribución.

Estos gabinetes generalmente tienen una puerta y una tapa, la primera permite acceso a los interruptores termo magnéticos para encenderlos o apagarlos, la tapa permite el acceso al cableado, al mecanismo de los interruptores termo magnéticos y al barraje.

Los parámetros característicos para su descripción son: voltaje, número de polos, número de fases, amperaje de barras, frecuencia, tipo de conexión a barras.

Figura 5.

Centro de carga



Nota. Tablero eléctrico de distribución. Elaboración propia.

7.3.1.4. Interruptores termomagnéticos

Son elementos de protección que pueden actuar para proteger el cableado por sobrecarga (térmico) o por cortocircuito (magnético), la operación de los mismos se calibra en base a la curva de operación de cada uno de ellos.

Los parámetros que deben tomarse en cuenta para la operación de estos son: Voltaje de operación, corriente nominal, capacidad interruptora, número de polos.

7.3.2. Sistema de respaldo de energía de emergencia

El sistema que respalda el suministro de energía eléctrica al edificio se compone de una planta eléctrica y una transferencia automática.

7.3.2.1. Generador Diesel

Es una fuente de transformación de energía mecánica a energía eléctrica aplicando la ley de inducción de Faraday que se utiliza como respaldo ante fallos de la red eléctrica comercial, está compuesta de un motor diésel, un generador eléctrico, un tanque de combustible, un alternador, un sistema de control, un sistema de escape, un sistema de combustión, un sistema de lubricación y un sistema de refrigeración.

Sus características son: potencia en kVAs, su factor de potencia, su frecuencia, el voltaje que entrega, el combustible que utiliza, si es de uso continuo o en espera (*stand by*). Existe en diversas presentaciones y para uso en intemperie o bajo techo, con atenuador de ruido, encapsulados, móviles entre otros.

Se diseñan para alimentar las cargas críticas y debido al costo de producción de energía que con este equipo es más caro se debe optimizar su aplicación a cargas esenciales.

Figura 6.

Motogenerador Diesel



Nota. Fotografía frontal de un generador eléctrico. Elaboración propia.

7.3.2.2. Transferecia automática

Elemento de conmutación utilizado para transferir la carga de una fuente de alimentación a otra, existiendo de tipo manual o automática, cuando es una transferencia automática, está detecta la ausencia de tensión y a partir de ello realiza las operaciones de conmutación pudiendo hacerlo antes de transferir la carga (transición abierta) o después de ello (transición cerrada) (EATON, 2022).

Cuenta con enclavamientos de tipo mecánico y eléctrico para protección de la carga alimentada, es un componente del sistema de respaldo de energía.

7.3.2.3. Cable de cobre THHN para baja tensión

Cable de cobre para uso general con forro de PVC, las siglas THHN significan que tiene un forro termoplástico (*thermoplastic*), resiste la alta temperatura (*high heat resistance*) y el forro está cubierto de nylon (*nylon coated*). Puede usarse en interiores entubado, canalizado o en bandeja, soporta temperaturas de hasta 90 °C, voltaje de uso hasta 600 V. El calibre y capacidad de conducción de corriente (ampacidad) del cable viene definida en la escala AWG que significa *American Wire Gauge*, traducido como escala de medida de cable americana (Zi, 2022).

En las instalaciones se utilizan varios cables en paralelo para completar la capacidad necesaria para el flujo de corriente eléctrica que se requiere, los cables están instalados tanto dentro de tuberías enterradas como dentro de tuberías aéreas.

Sistema de distribución

Sistema de distribución de energía dentro del edificio, tiene dos componentes: un transformador seco de 45 kVA que transforma una entrada de 480 V a una salida de 277/120 V y de ahí alimenta un tablero de distribución 277/120 V, en paralelo hay un tablero de distribución 480/277 V que alimenta algunas cargas que requieren ese voltaje para trabajar.

7.3.3.1. Transformadores secos de distribución

Son máquinas eléctricas estáticas que se utilizan para transformar y distribuir energía a diferentes circuitos, en lugar de ser enfriados por aceite estos disipan el calor generado en el aire circundante, su expectativa de vida ronda los 20 años y hay de diversos tipos de aislamiento y con diferentes valores de temperatura de operación, son más confiables en cuanto al riesgo a incendiarse y pueden utilizarse en todo tipo de ambiente exterior o interior.

Aplica la ecuación para relacionar su número de espiras y el voltaje de salida que ofrece.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (5)$$

Donde:

N_1 es el número de espiras del arrollamiento primario.

N_2 es el número de espiras del arrollamiento secundario

V_1 es el voltaje de entrada, en nuestro caso 13.2 kV

V_2 es el voltaje de salida, en este caso 480 VAC

Figura 7.

Transformador tipo seco



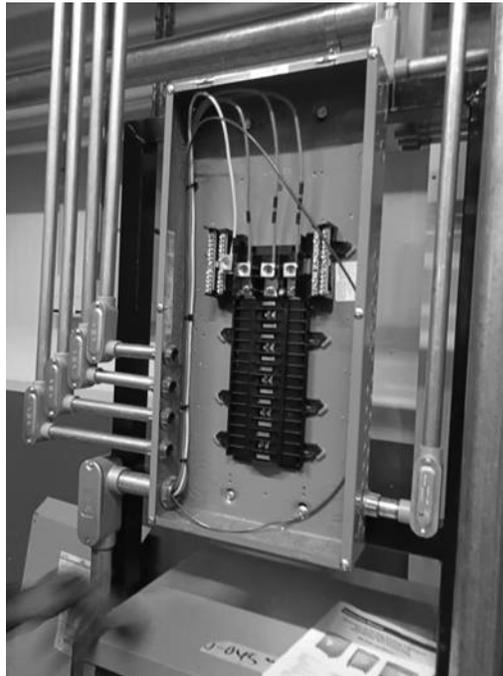
Nota. Foto de los bobinados de un transformador tipo seco de 45 kVA. Elaboración propia.

7.3.3.2. Tableros de distribución

Son tableros eléctricos con similares características al centro de carga, compuestos también de un gabinete metálico, con barras de distribución de menor amperaje, protecciones termomagnéticas para la protección de los circuitos alimentados desde ese tablero, barra de tierra física y barra de neutral, los hay con diferente tipo de conexión a barras y voltajes de aplicación hasta 600 volts.

Figura 8.

Tablero de distribución eléctrica



Nota. Foto del interior de un tablero de distribución eléctrica. Elaboración propia.

7.3.4. Sistema de puesta a tierra (SPAT)

Sistema de baja resistencia con la intención de drenar corrientes parásitas a tierra, proteger al personal operativo de contactos indirectos que pudieran causarles daños incluso mortales y de activar las protecciones de un circuito.

Está compuesto de varias varillas de acero o acero recubierto de cobre, cable de cobre desnudo no menor a un calibre AWG 1/0 o de mayor capacidad en función del diseño a utilizar, una barra o platina equipotencializadora de cobre, soldaduras exotérmicas y un tratamiento de mejoramiento del sistema.

7.3.4.1. Varillas, electrodos o jabalinas de puesta a tierra

Varillas de acero recubiertas de cobre o de cobre utilizadas como picas insertadas a golpes en el suelo con la intención de facilitar el camino de descarga para corrientes de fuga a la tierra a través de ellas.

7.3.4.2. Cable de cobre desnudo

Cable de cobre AWG de calibre adecuado según diseño del SPAT, se recomienda que no sea menor a un AWG 6 y generalmente se utiliza calibre igual o mayor a AWG 1/0 hasta AWG 4/0.

7.3.4.3. Barra, platina o placa equipotencial

Barras utilizadas para conectar las diferentes terminales de cable asociadas a los sistemas de aterrizaje del sistema, en dichas barras se unen a un mismo potencial estos terminales.

7.4. ISO 14224

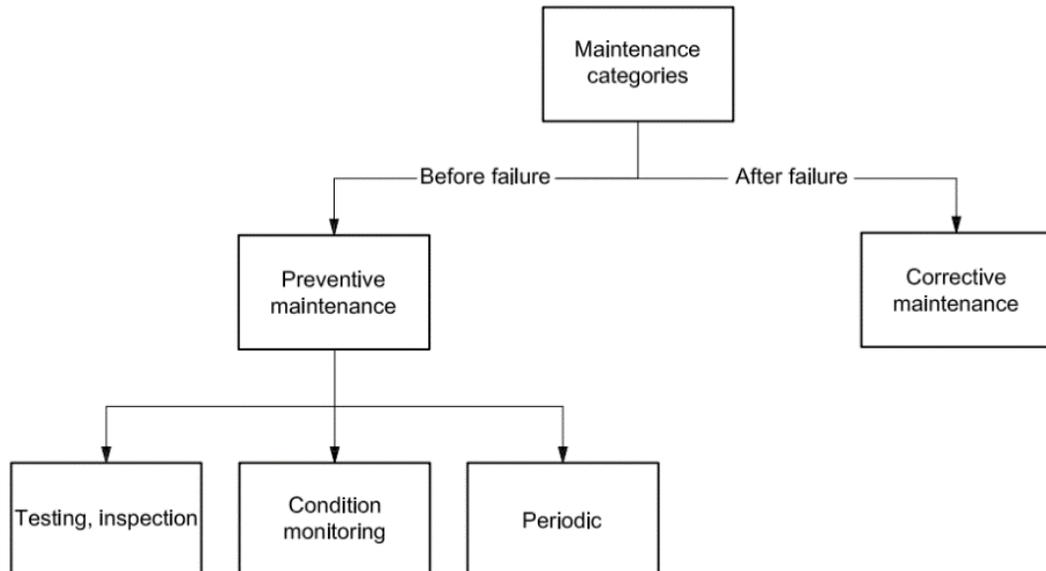
La norma ISO 14224 es la norma que establece los procedimientos para clasificar los activos de una empresa, con esa clasificación se determinan sistemas y se definen sus fronteras para poder analizarlos, establece los modos de fallos de dichos sistemas y propone la implementación del mantenimiento de dichos activos.

7.5. Mantenimiento

Definida como la combinación de todas las acciones administrativas y técnicas, incluyendo la supervisión, entendidas como mantener un ítem o retornarlo a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida.

Figura 9.

Categorización del mantenimiento



Nota. Categorías de mantenimiento. Obtenido y adaptado de BSI Standards Limited (2016). *Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016).* (p. 50).

Los dos tipos de mantenimiento básicos son: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, el primero se divide luego en preventivo de prueba e inspección, en preventivo de monitoreo de condición y el basado en manual o periódico.

7.6. Análisis de criticidad para equipos eléctricos

Este análisis es una técnica que nos permite determinar qué activos son críticos y necesitan mayor atención y recursos debido a su importancia, hay varias metodologías y los resultados de los análisis pueden ser valores cuantitativos, cualitativos o mixtos (Sedisa, 2021).

Para llevar a cabo estos análisis se toman en cuenta su impacto en el medioambiente, la salud y seguridad, la calidad y el lucro cesante, sin embargo, cada analista determina en base a su contexto las variables que considere convenientes (Altmann, s.f.).

7.7. Monitoreo de condición

También conocido como CM, se define como el seguimiento al comportamiento de una variable definida, que puede ser voltaje, corriente, temperatura, entre otros, para detectar cambios en el comportamiento de esa variable con el fin de detectar mal funcionamientos o fallas inminentes.

Puede llevarse a cabo de manera continua y automática mediante sensores o de manera discreta con la ayuda del operario o personal de mantenimiento.

Es parte de un plan de mantenimiento preventivo que ayudará a optimizar los mantenimientos en función de los valores que la variable presente durante el monitoreo (Infraspeak, 2022).

7.7.1. Monitoreo de condiciones en electricidad

Es un programa de monitoreo de una o más variables eléctricas las cuales las define quien diseñe el programa, el voltaje, el consumo de corriente, la frecuencia, el consumo de energía, el factor de potencia, la eficiencia energética, la vibración en un elemento rotativo, la resistencia de aislamiento, el valor de resistividad, la calidad de la energía recibida o producida, la tasa de interrupciones en el suministro o la facturación son algunas de las variables propias de un sistema eléctrico que pueden ser monitoreadas.

En función del tipo de activo eléctrico a mantener determinaremos la o las variables a monitorear y el método que utilizaremos para llevar a cabo dicha monitorización.

7.8. Parámetros eléctricos

Estos son valores de variables propias de sistemas eléctricos, en el caso de este trabajo nos limitaremos a utilizar las siguientes:

7.8.1. Voltaje

Podemos definir el voltaje como un cambio de energía en una carga q . Esto está dado por la ecuación:

$$V = \frac{dU}{q} \text{ (voltios)} \quad (6)$$

Donde:

dU es un diferencial de energía potencial (Joules)

q: carga eléctrica (Coulomb)

V: voltaje (Volts)

7.8.2. Corriente

Matemáticamente se puede definir la corriente la relación de un movimiento de cargas por unidad de tiempo a través de un área.

Una ecuación que representa la corriente eléctrica es:

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ (amperios)} \quad (7)$$

Donde:

i: corriente eléctrica

dq/dt: diferencial de carga en el tiempo.

7.8.3. Temperatura

En un sistema eléctrico los conductores reales están formados por átomos y moléculas en donde ocurren colisiones del flujo de electrones en movimiento impulsados por una fuente de voltaje, estos choques propician un aumento de la temperatura del conductor, este fenómeno se conoce como efecto Joule y está dado por la ecuación:

$$E = Ri^2t \text{ (watts)} \quad (8)$$

Donde:

E: Energía disipada (Joules)

R: resistencia del conductor (ohms)

i: corriente (amperios)

t: tiempo (segundos)

7.8.4. Balance de cargas

Se trata de una división equitativa de consumo de corriente en las fases de un circuito eléctrico en un circuito trifásico.

El desbalance de cargas es provocado generalmente por la alimentación de cargas monofásicas en un sistema trifásico, de acuerdo a la norma IEEE - 1159 un desbalance de 3.5 % en el voltaje aumenta el calentamiento hasta un 25 % en cargas inductivas.

7.9. Instrumentación de medición eléctrica.

Tecnología aplicada a la medición y monitoreo de variables eléctricas que definimos previamente para lograr nuestros objetivos.

7.9.1. Voltímetro

Es un instrumento utilizado para medir una diferencia de potencial expresada en unidades llamadas voltios, hay de dos tipos análogos y digitales, las mediciones de voltaje deben realizarse conectando en paralelo el voltímetro con la carga idealmente la resistencia interna del voltímetro es infinita para no interferir con el voltaje medido en la carga.

Figura 10.

Voltímetro



Nota. Uso de voltímetro. Área tecnología. (s.f). *Medición de voltaje en un tablero eléctrico.* (<https://www.areatecnologia.com/electricidad/fluke.html>), consultado el 20 de octubre de 2022. De dominio público.

7.9.2. Amperímetro

El amperímetro es un instrumento que nos sirve para medir la corriente eléctrica en Amperios que fluye a través de un conductor, los hay análogos y digitales, para medir corriente debemos conectar en serie el amperímetro con la carga, para que la resistencia interna del amperímetro no afecte la medición está idealmente es igual a cero de esta forma se comporta como un conductor.

Para altas corrientes usualmente utilizamos un gancho amperímetro el cual cuenta con un gancho que se posiciona sobre cada conductor al cual vamos a medir la corriente que transporta.

Figura 11.

Pinza amperimétrica



Nota. Ejemplo de uso de amperímetro. Sydec.com.mx. (s.f). *Medición de amperaje utilizando una pinza amperimétrica en cableado de un tablero eléctrico.* (<https://www.sydec.com.mx/comparacion-de-pinzas-amperimetricas-con-multímetros-digitales/>), consultado el 20 octubre de 2022. De dominio público.

7.9.3. Termómetro IR industrial

Dispositivo utilizado para medir temperatura con diversas aplicaciones de mantenimiento en varias áreas.

La medición de temperatura infrarrojo se basa en relacionar la radiación de un cuerpo a más de 0 °K con su temperatura (Martín, 2013).

Figura 12.

Termómetro industrial



Nota. Uso del termómetro industrial. Fluke. (s.f). *Medición de temperatura de tablero eléctrico utilizando un termómetro infrarrojo.* (<https://www.fluke.com/es-gt/informacion/blog/temperatura/termometros-infrarrojos-en-aplicaciones-electricas-industriales-y-de-climatizacion>), consultado el 20 de octubre de 2022. De dominio público.

7.9.4. Analizador y medidor de calidad de la energía

Dispositivo que en general mide valores de corriente, voltaje, relaciones de armónicos de voltaje y corriente. Aún es un equipo costoso que no siempre puede justificarse su uso al no ser económicamente rentable. El dispositivo obtiene valores paramétricos de manera continua y usualmente se instalan en el equipo monitoreado durante un período de tiempo, su aplicación está relacionada a temas de calidad de la energía.

Figura 13.

Medidor de la calidad de la energía



Nota. Ejemplificación del medidor de la calidad de la energía. Powertronicsmexico. (s.f.). *Medición de calidad de la energía utilizando un medidor de calidad de la energía.* (<http://www.powertronicsmexico.com/calidad-de-la-energia.html>), consultado el 20 de octubre de 2022. De dominio público.

7.9.5. Telurómetro

Equipo para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra consta del medidor, tres varillas y tres cables para realizar las mediciones en el área de estudio, hay varios métodos de medición siendo los más usados el método de 3 varillas y el método de Wenner. Existen también telurómetros de inducción que facilitan la realización de actividades de medición ayudando a aumentar la productividad cuando se realice esta actividad, estos telurómetros serán más precisos a medida que aumenta la cantidad de varillas del sistema.

Figura 14.

Telurómetro



Nota. Uso del telurómetro. Grupo Mecsca. (s.f.). *Telúrometro de gancho utilizado para medir resistividad de un cable bajante.* (<https://guatemala.grupomecsa.net/servicios/puestas-tierra/>), consultado el 20 de octubre de 2022. De dominio público.

7.9.6. Sistema de monitoreo integrado

Sistemas donde se integran sensores a los equipos a monitorear conectados a un servidor central que almacenará los datos en dispositivos de almacenamiento como discos duros, dispositivos externos o la nube. Estos sistemas son de monitoreo continuo y generan datos en tiempo real detectando irregularidad en los valores y facilitando la obtención, análisis de datos y las decisiones necesarias para restablecer los parámetros a sus condiciones iniciales, son ideales para el mantenimiento proactivo centrado en confiabilidad, aunque su costo aún alto son la limitante para su uso generalizado en la industria.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. Energía

1.1.1. Energía mecánica

1.1.2. Energía eólica

1.1.3. Energía solar

1.1.4. Energía hidráulica

1.1.5. Energía geotérmica

1.1.6. Energía de la biomasa

1.1.7. Energía nuclear

1.1.8. Energía química

1.2. Electricidad

1.2.1. La electricidad en Guatemala

1.2.2. Empresas de electricidad en Guatemala

1.2.3. Instituto Nacional de Electrificación

1.2.4. Edificio Torre INDE

- 1.3. Activos en la industria de la electricidad
 - 1.3.1. Acometida eléctrica
 - 1.3.1.1. Cable para media tensión
 - 1.3.1.2. Transformador de potencia
 - 1.3.1.3. Centro de carga
 - 1.3.1.4. Interruptores termomagnéticos
 - 1.3.2. Sistema de respaldo de energía de emergencia
 - 1.3.2.1. Generador Diesel
 - 1.3.2.2. Transferencia automática
 - 1.3.2.3. Cable de cobre THHN para baja tensión
 - 1.3.3. Sistema de distribución
 - 1.3.3.1. Transformadores secos de distribución
 - 1.3.3.2. Tableros de distribución
 - 1.3.4. Sistema de puesta a tierra (SPAT)
 - 1.3.4.1. Varillas, electrodos o jabalinas de puesta a tierra
 - 1.3.5.2. Cable de cobre desnudo
 - 1.3.5.3. Barra, platina o placa equipotencial
- 1.4. ISO 14224
- 1.5. Mantenimiento
- 1.6. Monitoreo de condición
 - 1.6.1. Monitoreo de condiciones en electricidad
- 1.7. Parámetros eléctricos
 - 1.7.1. Voltaje
 - 1.7.2. Corriente
 - 1.7.3. Temperatura
 - 1.7.4. Balance de cargas
- 1.8. Instrumentación de medición eléctrica
 - 1.8.1. Voltímetro

- 1.8.2. Amperímetro
- 1.8.3. Termómetro IR industrial
- 1.8.4. Analizador y medidor de calidad de la energía
- 1.8.5. Telurómetro
- 1.8.6. Sistema de monitoreo integrado

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación se propone bajo un tipo de investigación cuantitativa, en un diseño no experimental, de alcance descriptivo. El diseño es no experimental de tipo transversal.

El alcance es descriptivo porque es un diseño de monitoreo del estado de condición para mantener los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación.

9.1. Variables e indicadores

Las variables e indicadores se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Variables e indicadores

No.	Variables	Indicadores
1	Taxonomía	Codificación de activos
2	Criticidad	Crítico/no crítico (IC)
3	Voltajes	Valores: 480V/277V-240V/120V
4	Amperaje	Valores: <200 A
5	Balance de cargas	Valor de tolerancia: menor o igual a 5 %
6	Temperatura	Valor < 70 °C.

Nota. Tabla de variables, parámetros e indicadores. Elaboración propia, realizado con Word.

9.2. Operativización de variables

- Fase 1: revisión documental

Inicialmente se realizará la revisión de documentos escritos sobre la temática. Entre ellos se encuentran tesis, trabajos de graduación, documentos académicos, artículos científicos, fichas técnicas, manuales de operación y mantenimiento, historial de datos.

- Fase 2: trabajo de campo

Se recopilará análisis sobre el estado de los activos eléctricos críticos. En campo se determinará el voltaje, corriente y balance de cargas de los activos críticos por medio de un multímetro cuando aplique y se recolectará la información con el formato del apéndice 3. Por medio de inspección visual se verificará el estado de condición, al identificar equipos dañados, puntos calientes, cables sueltos o flojos, desorden en cableados, componentes dañados o mal dimensionados entre otros. Al revisar placas de equipo se determinará la edad del equipo y se proyectará las horas de uso.

- Fase 3: trabajo de gabinete

La información recopilada, se tabulará y se graficarán las tendencias identificadas. Se utilizará un *software* para la actividad y se tendrá revisión documental de soporte. En función de su impacto en proceso, medio ambiente y seguridad se establecerá la criticidad de los activos. Junto a las horas de uso que se evidencia en cada equipo se determinará la importancia de cada equipo eléctrico a estudiar.

- Fase 4: análisis

Con la información obtenida en la fase 1 se hará un inventario, la fase 2 se determinará el equipo a monitorear, la fase 3 nos dará análisis del comportamiento al momento del estudio del equipo y con esto haremos el plan de monitoreo para detectar comportamientos indeseados antes que se presente o se vuelva una falla.

9.3. Población de análisis

El sistema que tenga mayor índice de criticidad de acuerdo con el resultado del análisis en la fase 3.

9.4. Resultados esperados

Se pretende codificar los activos eléctricos, establecer el estado de condición a la fecha del estudio de los equipos eléctricos, establecer su criticidad para así poder desarrollar una propuesta de monitoreo e

Inspección rutinaria a esos equipos e iniciar un programa de mantenimiento que mejore la atención a esos equipos eléctricos basándonos en algunas de las recomendaciones de las normas ISO 14224 para gestión de mantenimiento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

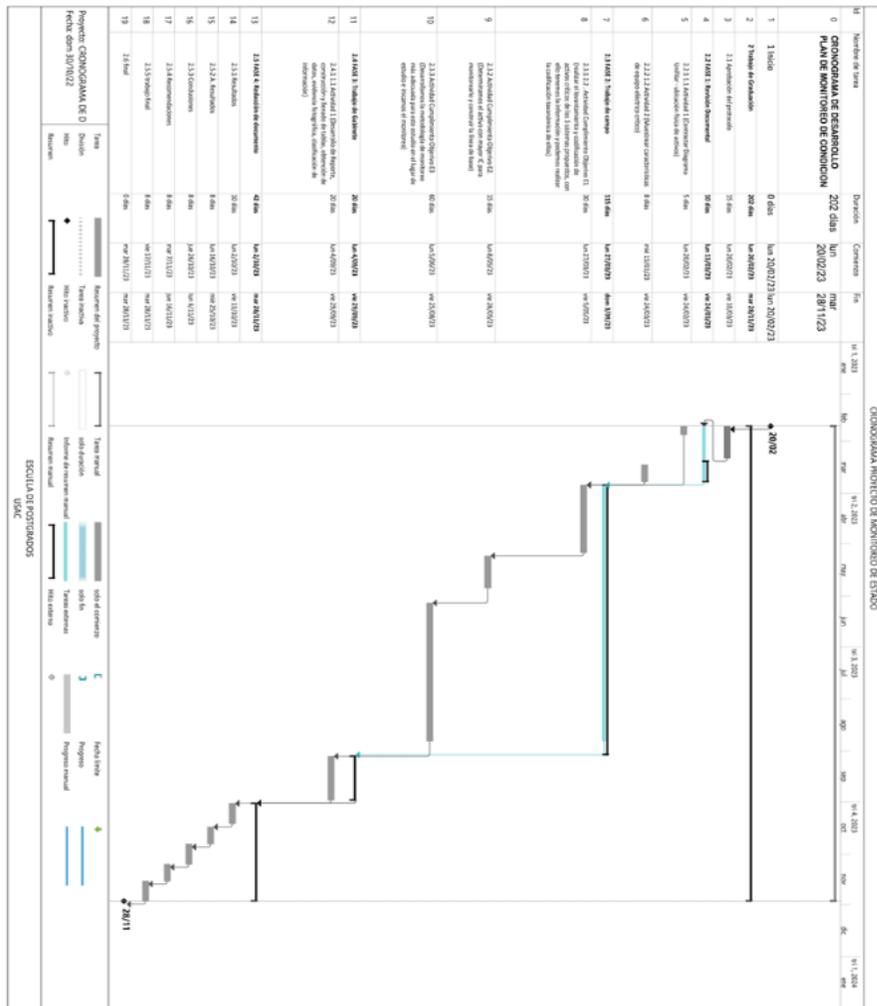
El procedimiento de análisis a desarrollar en el estudio es el siguiente.

- Fase 1, obtención de datos técnicos de manual para los equipos eléctricos instalados en el edificio Torre de acuerdo con el diagrama unifilar del edificio.
- Fase 2, mediante trabajo en campo se ubicarán los activos, se obtendrá toda la información de campo disponible y se codificarán de acuerdo con las recomendaciones de ISO 14224, este trabajo se basará en el diagrama unifilar del edificio. Con metodología conductiva se establecerá de manera cualitativa el estado de cada equipo e instalación y se tabulará el análisis para mostrar total de equipos, datos técnicos, códigos y estado de las instalaciones en una tabla elaborada en una hoja de cálculo Excel.
- Fase 3, los datos de la tabla taxonómica de la fase anterior se utilizarán para analizar con una matriz de evaluación de riesgos el índice de criticidad de los activos eléctricos tabulados en la tabla taxonómica para determinar mediante una evaluación cuantitativa-cualitativa cuál es el sistema que tenga el mayor IC y que será el sistema al cual desarrollarle un sistema de monitoreo de condición.
- Fase 4, teniendo el sistema con mayor IC se monitorearán los indicadores establecidos durante un período para conocer el comportamiento de los mismos, se determinará el comportamiento de los

datos obtenidos mediante un análisis de dispersión con relación a la línea base de la fase 1, el análisis de los resultados del comportamiento obtenidos nos ayudará a diseñar la frecuencia y el procedimiento más recomendable de monitoreo de dicho activo.

11. CRONOGRAMA

Tabla 2.
Cronograma de las actividades



Nota. Cronograma de actividades a realizar para completar la investigación. Elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La metodología sobre cómo desarrollar la taxonomía de equipos y establecer su importancia relativa se encuentra contenida en la norma ISO 14224 junto al método para un monitoreo de mantenimiento basado en condición, la metodología del análisis de criticidad la orienta el estándar Norsok-Z008, 2011 dicho análisis se debe adaptar o personalizar (Castañeda y Pérez, 2017).

El equipo a ser analizado se determinará con el análisis de criticidad, este equipo se encuentra ubicado en la planta baja del edificio en la sala de motogenerador y en la subestación eléctrica del edificio.

El muestreo será llevado a cabo por los técnicos de mantenimiento, el análisis de los datos será llevado a cabo por el autor.

Todos los costos serán financiados por el autor del trabajo de investigación.

Tabla 3.

Presupuesto estimado

Recursos	Cantidad	Descripción	Monto.
Humanos	1	Investigador	Q. 18,000.00
	1	Técnico mantenimiento	Q. 3,000.00
	1	Asesor	Q. 2,500.00
		Parcial RRHH	Q. 23,500.00

Continuación de la tabla 3.

Recursos	Cantidad	Descripción	Monto.
	1	Termómetro	Q. 300.00
	1	Laptop	Q. 3,000.00
Parcial tecnología			Q. 3,800.00
Papelería	1	Impresiones, internet, otros	Q. 3,000.00
Parcial de papelería			Q. 3,000.00
Total, estimado investigación			Q. 30,300.00

Nota. Detalle de presupuesto para realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizada con Word.

REFERENCIAS

- Abreu, J. (2021). *Propuesta de Mejora al Sistema de Gestión de Mantenimiento de los Activos de Planta Física en la UCAB Extensión Guayana* [Tesis de licenciatura, Universidad católica Andrés Bello]. Archivo digital. <http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/36258.pdf>
- Altmann, C. (s.f.). *Las Técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento proactivo*. <https://docplayer.es/5045534-Lastecnicas-de-monitoreo-de-condicion-como-herramienta-del-mantenimientoproactivo.html>
- Álvarez, Y. (2021). *Diseño en un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina*. [Tesis de posgrado, Universidad ECCI]. Archivo digital. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/866/Dise%c3%b1o%20de%20un%20plan%20de%20mantenimiento%20basado%20en%20RCM%20para%20el%20soporte%20del%20sistema%20el%c3%a9ctrico%20%28Planta%20El%c3%a9ctrica%29%20de%20Falabella%20sede%20colina%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Azúcar de Guatemala (2022). *Los ingenios azucareros generaron 1784 GWh de energía renovable durante la zafra 2021-2022*. <https://www.azucar.com.gt/2022/07/20/los-ingenios-azucareros-generaron-1784-gwh-de-energia-renovable-durante-la-zafra-2021-2022/#:~:text=Durante%20la%20Zafra%202021%2D2022%20los%20in>

[genios%20azucareros%20de%20Guatemala,proceso%20de%20elaboraci%C3%B3n%20de%20az%C3%Aacar](#)

Banco Mundial (2022). *Energía*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>

Cala, L. y Hernández, L (2018). *Diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) caso de estudio: sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de Terranum*. [Tesis de postgrado, Universidad ECCI]. Archivo digital.
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2504/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Campos, L. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59.
<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>

Castañeda, D. y Pérez D. (2017). *Metodología para desarrollar un sistema de gestión de activos enfocado al mantenimiento según normatividad ISO 55000:2014. Caso de estudio: Subestación Eléctrica de la Facultad Tecnológica, Universidad Distrital*. [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Archivo digital.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6876/Casta%F1edaGonz%E1lezDanielEI%EDas2017.pdf;jsessionid=AE5334BB203FCCBCD1617640064ECAEA?sequence=1>

Cruz, A. (2011). *Implementación del mantenimiento predictivo en la empresa AGR-RACKEND* [Tesis de licenciatura, Universidad UTTT]. Archivo digital.

<https://www.uttt.edu.mx/catalogouniversitario/imagenes/galeria/63a.pdf>

EATON. (2022). *Fundamentos de los interruptores de transferencia automática (ATS)*. <https://www.eaton.com/mx/es-mx/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/automatic-transfer-switches/automatic-transfer-switch-fundamentals.html>

Energy Information Administration (2022). *Electricidad explicada*. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>

Infraspeak (22 de junio de 2022). *Cómo hacer un análisis de criticidad*. <https://blog.infraspeak.com/es/9-tecnicas-delmantenimiento-basado-en-la-condicion/>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2014). *Norma Técnica de Prevención 1022*. <https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1022w.pdf/6cf91f13-94ef-46cd-b58c-fc27b4d52f01?version=1.0&t=1614697878604>

Jiménez, J. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, a los activos críticos del sistema eléctrico de distribución a nivel de subestaciones, en la empresa Continental Tire Andina S.A.* [Tesis de postgrado, Universidad del Azuay]. Archivo digital. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/9963/1/15593.pdf>

- Márquez, J.V. (2021). *Electrificación y descarbonización un pack indivisible*. El economista.es.
<https://revista.eleconomista.es/agua/2021/marzo/electrificacion-y-descarbonizacion-un-pack-indivisible-LE6600094>
- Martín, M.J. (2013). *La medida de temperatura sin contacto, termometría de radiación*. <https://e-medida.es/numero-5/la-medida-de-la-temperatura-sin-contacto-termometria-de-radiacion/>
- Ministerio de Energía y Minas (2020). *Energía de la biomasa*. <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-de-la-biomasa/>
- Ocoró, F. (2019) *Diseño de un plan de mantenimiento para equipos eléctricos del área de servicios industriales* [Tesis de licenciatura, Universidad autónoma de occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11274/T08652.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Páez, J., Villamil, A. y Zaidman, C. (2022). *Propuesta de mejora basada en RCM al plan de mantenimiento establecido para las plantas eléctricas de la Empresa CCBP en la ciudad de Bogotá D.C.* [Tesis de posgrado. Universidad ECCI]. Archivo digital. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2996/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sedisa. (21 de julio de 2021). *Guía para hacer un análisis de criticidad de equipos*. <https://www.sedisa.com.pe/servicios/blog/guia-parahacer-un-analisis-de-criticidad-de-equipos/>

Weber, M. (s.f.). *Fuentes de energía primaria y secundaria*. Recursohabilidad.

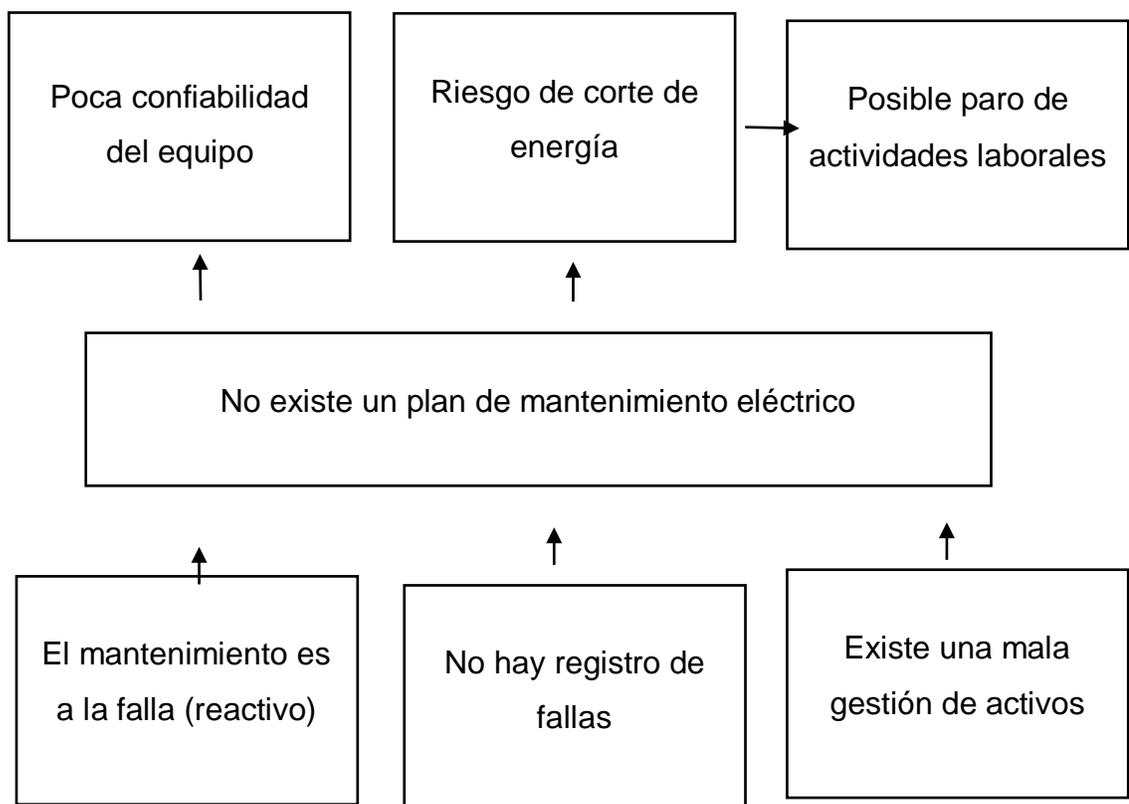
<https://stem.guide/topic/flujos-y-depositos-globales-de-energia/?lang=es>

Zi, R. (10 de diciembre de 2022). *Thhn vs Thwn: Diferencias Clave, Aplicaciones y Costo*. zwcables. <https://zwcables.com/es/thhn-vs-thwn/>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Nota. Árbol de problemas para identificar causas y efectos. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

No.	Objetivo	Pregunta	Variable
1	Definir los activos eléctricos críticos en el edificio central de la empresa nacional de electrificación.	¿Cuáles son los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?	Criticidad
2	Caracterizar los valores de los parámetros de operación para los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación.	¿Cuáles son los valores de los parámetros de operación de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?	Valores de manual de parámetros eléctricos de operación (voltaje, corriente) Temperaturas de operación
3	Definir estado de condición a la fecha de investigación de la gestión de los activos eléctricos críticos.	¿Cuál estado de condición a la fecha de investigación de la gestión de los activos eléctricos críticos?	Mediciones de parámetros eléctricos. (voltaje, corriente, potencia) Temperaturas de operación Balance de cargas.
G	Diseñar un plan para monitoreo de estado de condición de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación	¿Qué plan se puede diseñar para monitoreo de estado de condición de los activos eléctricos críticos del edificio central de la empresa nacional de electrificación?	

Nota. Matriz de coherencia del diseño de investigación. Elaboración propia, realizada en Word.

ANEXO

Anexo 1.

Participantes del mercado eléctrico en Guatemala

Agentes generadores	
1	ACTUN CAN GENERACION, S. A.
2	AGEN, S. A.
3	AGRO COMERCIALIZADORA DEL POLOCHIC, S. A.
4	ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE, S. A.
5	ANACAPRI, S. A.
6	BIOMASS ENERGY, S. A.
7	CENTRAL AGRO INDUSTRIAL GUATEMALTECA, SOCIEDAD ANONIMA
8	CINCO M, S. A.
9	COENESA GENERACION, S. A.
10	COMPAÑIA ELECTRICA LA LIBERTAD, S. A.
11	COMPAÑIA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.
12	EL PILAR, S. A.
13	ELECTRO GENERACION S. A.
14	EMPRESA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
15	EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE
16	ENERGIA DEL CARIBE, S. A.
17	ENERGIA LIMPIA DE GUATEMALA, S. A.
18	ENERGIAS DEL OCOSITO, S. A.
19	ENERGIAS SAN JOSE, S. A.
20	EOLICO SAN ANTONIO EL SITIO, S.A.
21	ESI, S. A.
22	GENEPAL, S. A.
23	GENERADORA DEL ATLANTICO, S. A.
24	GENERADORA DE OCCIDENTE LTDA.
25	GENERADORA DEL ESTE, S. A.

Continuación del anexo 1.

Agentes generadores	
26	GENERADORA ELÉCTRICA DEL NORTE, LIMITADA
27	GENERADORA MONTECRISTO, S. A.
28	GRUPO GENERADOR DE ORIENTE, S. A.
29	HIDRO JUMINA, S. A.
30	HIDRO XACBAL
32	HIDROELECTRICA CHOLOMA, S. A.
33	HIDROELECTRICA EL COBANO, S. A.
34	HIDROELECTRICA RAAXHA, S. A.
35	HIDROELÉCTRICA RÍO LAS VACAS, S.A.
36	HIDROELÉCTRICA SECACAO, S.A.
37	HIDRONORTE, S.A.
38	INGENIO LA UNION, S.A.
39	INGENIO MAGDALENA, S.A.
40	INGENIO PALO GORDO, S.A.
41	INGENIO TULULA, S. A.
42	INVERSIONES ATENAS, S. A.
43	INVERSIONES PASABIEN, S.A.
44	JAGUAR ENERGY GUATEMALA LLC.
45	LUZ Y FUERZA ELECTRICA DE GUATEMALA, LTDA.
46	ORAZUL ENERGY GUATEMALA Y CIA. S. C. A.
47	ORTITLAN, LTDA.
48	ORZUNIL I DE ELECTRICIDAD, LIMITADA
49	OXEC II, S. A.
50	OXEC, S. A.
51	PANTALEON, S.A.
52	PAPELES ELABORADOS, S. A.
53	PUERTO QUETZAL POWER LLC
54	RENACE, S. A.
55	RENOVABLES DE GUATEMALA, S. A.
56	SAN DIEGO, S.A.

Continuación del anexo 1.

57	SERVICIOS CM, S. A.
58	TECNOGUAT, S.A.
59	TERMICA, S. A.
60	TERMICA, S. A. (EXPORTACIÓN)
61	TRANSMISIÓN DE ELECTRICIDAD, S. A.
62	VIENTO BLANCO, S. A.
63	VISION DE AGUILA, S. A.
Generadores distribuidos renovables	
1	AGRICOLA LA ENTRADA, S. A.
2	AGROFORESTAL EL CEDRO, S. A.
3	AGROGENERADORA, S. A.
4	AGROINDUSTRIAL PIEDRA NEGRA, S. A.
5	AGROPECUARIA ALTORR, S. A.
6	AGROPROP, S. A.
7	AGUILAR, ARIMANY, ASOCIADOS CONSULTORES, S. A.
8	CAUDALES RENOVABLES S. A.
9	COMPAÑÍA AGRÍCOLA, O.V., S. A.
10	COMPAÑÍA DE MONTAJES ELECTROMECHANICOS, S. A.
11	COMPRA DE MATERIAS PRIMAS, S. A.
12	CONSTRUCTORA S & M
13	CORALITO, S. A.
14	DESARROLLOS LAS UVITAS, S. A.
15	ENERGIA NACIONAL, S. A.
16	ENERGIAS RENOVABLES AMLO, S. A.
17	ENERGÍA DE LA TIERRA, S. A.
18	FINCA COVADONGA
19	GAS BIOLÓGICO, S. A.
20	GENERADORA DE ENERGIA EL PRADO, S. A.
21	GENERADORA ELECTRICA LA PAZ, S. A.
22	GENERADORA ELECTRICA LAS VICTORIAS, S. A.

Continuación del anexo 1.

Generadores distribuidos renovables	
23	GRUPO CUTZÁN, S. A.
24	HIDRO CONCEPCION, S. A.
25	HIDRO VICTORIA, S. A.
26	HIDROAGUNA, S. A.
27	HIDROELECTRICA EL BROTE, S. A.
28	HIDROELECTRICA EL COROZO
29	HIDROELECTRICA MAXANAL, S.A.
30	HIDROELECTRICA SAC-JA, S. A.
31	HIDROELECTRICA SAMUC, S. A.
32	HIDROELECTRICA SANTA ANITA, S.A.
33	HIDROELÉCTRICA CARMEN AMALIA, S. A.
34	HIDROLECT, S. A.
35	HIDROPOWER SDMM, S. A
36	HIDROSACPUR, S. A.
37	HIDROXOCOBIL, S. A.
38	INDUSTRIAS DE BIOGAS, S. A.
39	LEEVEG, S. A.
40	MONTE MARIA, S. A.
41	OSCAN, S. A.
42	PAPELES ELABORADOS, S. A.
43	PROVEEDORA DE ENERGIA RENOVABLE PEÑA FLOR, S. A.
44	PROYECTOS SOSTENIBLES DE GUATEMALA, S. A.
45	PUNTA DEL CIELO, S. A
46	RECURSOS ENERGETICOS PASAC, S. A.
47	REGIONAL ENERGETICA, S. A.
48	SERVICIOS DE AGUA LA CORONA, S. A.
49	SERVICIOS EN GENERACION, S. A.
50	SIBO, S. A.

Continuación del anexo 1.

Generadores distribuidos renovables	
51	TUNCAJ, S. A.
52	WAK, S. A.
53	XOLHUITZ PROVIDENCIA, S. A.
Comercializadores	
1	BORAX, S. A.
2	CENTRAL COMERCIALIZADORA DE ENERGIA ELECTRICA, S.A.
3	COMERCIALIZADORA CENTROAMERICANA DE ENERGIA LA CEIBA, S. A.
4	COMERCIALIZADORA COMERTITLAN, S. A.
5	COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA, S.A.
6	COMERCIALIZADORA DE ENERGIA PARA EL DESARROLLO, S. A.
7	COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA SAN DIEGO, S. A.
8	COMERCIALIZADORA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.
9	COMERCIALIZADORA ELECTRICA DEL PACIFICO, S. A.
10	COMERCIALIZADORA ELECTRICA LA UNION, S. A.
11	COMERCIALIZADORA ELECTRONOVA, S.A.
12	COMERCIALIZADORA GUATEMALTECA MAYORISTA DE ELECTRICIDAD S.A.
13	COMERCIALIZADORA ORAZUL ENERGY DE CENTRO AMERICA, LTDA.
14	CONSORCIO ENERGÉTICO MAAYAT'AAN, S. A.
15	CORPORACIÓN DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA, S. A.
16	COVA ENERGY, S. A.
17	CUESTAMORAS COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA, S.A.
18	ECONOENERGÍA, S. A
19	EDECSA-GT, S. A.
20	EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE
21	ENEL GREEN POWER GUATEMALA, S. A.
22	ENRENOV, S. A.
23	GRUPO EDA, S. A.
24	INVERSIONES NACIMIENTO, S. A.

Continuación del anexo 1.

Comercializadores	
25	ION ENERGY, S. A.
26	MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.
27	MERELEC GUATEMALA, S. A.
28	RECURSOS GEOTERMICOS, S.A.
29	SOLARIS GUATEMALA, S. A.
30	VITOL ELECTRICIDAD DE GUATEMALA, S. A.
Distribuidoras	
1	DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE OCCIDENTE, S.A.
2	DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE, S.A.
3	EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.
Transportistas	
1	EEB INGENIERIA Y SERVICIOS, S. A.
2	EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE INDE
3	EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED, S. A., SUCURSAL GUATEMALA
4	ORAZUL ENERGY GUATEMALA TRANSCO, LIMITADA
5	REDES ELÉCTRICAS DE CENTROAMÉRICA, S.A.
6	TRANSELEC, S. A.
7	TRANSFOSUR, S. A
8	TRANSMISORA DE ENERGIA RENOVABLE, S. A.
9	TRANSPORTADORA DE ENERGIA DE CENTROAMERICA, S. A.
10	TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD DE OCCIDENTE
11	TRANSPORTE DE ENERGIA ALTERNATIVA, S. A.
12	TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL NORTE, S. A.
13	TRANSPORTES ELÉCTRICOS DEL SUR, S. A.
14	TRANSPORTISTA ELÉCTRICA CENTROAMERICANA, S.A
Grandes usuarios	
1	AGENCIAS J. I. COHEN
2	GUATEMALA DE MOLDEADOS, S. A.

Continuación del anexo 1.

Grandes usuarios	
3	INSTITUTO DE RECREACIÓN DE LOS TRABAJADORES DE LA EMPRESA PRIVADA
4	INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION (EDIFICIO INDE)
5	TRITON, S. A.

Nota. Lista de Participantes habilitados comercialmente en el Mercado Mayorista actualizado a septiembre 2022. Obtenido de Administrador del Mercado Mayorista (2022). *Participantes* (https://www.amm.org.gt/pdfs2/ListaAgentes/Agentes_Habilitados.pdf), consultado el 5 de octubre de 2022. De dominio público.