



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS
ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS,
RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y
ETNOLOGÍA**

Carlos Manuel Ramos Pineda

Asesorado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS
ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS,
RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y
ETNOLOGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS MANUEL RAMOS PINEDA

ASESORADO POR EL ING. NATANAEL JONATHAN REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

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:

ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 9 de abril de 2018.

Carlos Manuel Ramos Pineda

Guatemala, 30 de septiembre de 2020.
Ref.EPS.DOC.308.09.2020.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

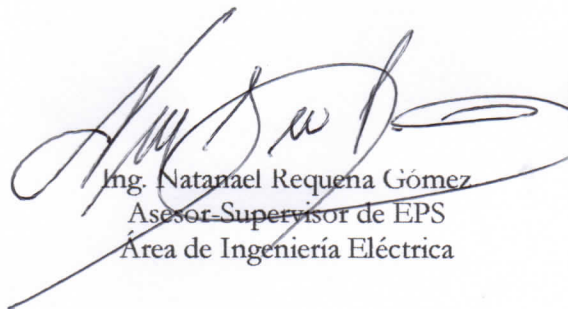
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Manuel Ramos Pineda** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **201123017** y CUI **1919 37533 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

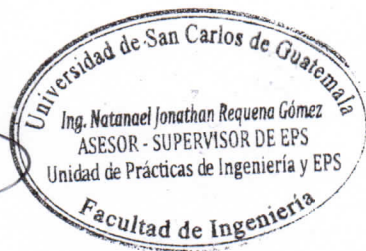
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Natanael Requena Gómez
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra

Guatemala 30 de septiembre de 2020.
Ref.EPS.D.132.09.2020.

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

Estimado Ingeniero Rivera Castillo:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Carlos Manuel Ramos Pineda**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanael Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF. EIME 27012021a
27 Enero 2021

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

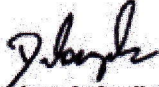
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado en modalidad de EPS DE 3 meses: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA**, del estudiante; Carlos Manuel Ramos Pineda con numero de carnet 1919375330101, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

JOSE ANIBAL SILVA DE LOS ANGELES
ING ELECTRONICO
COLEGIADO No 5067

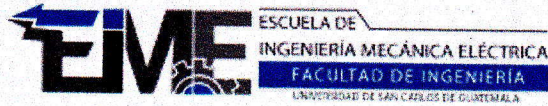

Ing. José Anibal Silva de los Angeles
CC. Básicas Y Electrotecnia



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA



REF. EIME 32. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; CARLOS MANUEL RAMOS PINEDA, titulado: ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 9 DE FEBRERO 2,021.

DTG. 208.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN NORMAS ISO 50000 E ISO 50001 Y PROPUESTA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS EN EL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Manuel Ramos Pineda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad, las fuerzas y la sabiduría para lograr esta meta.
- Mis padres** Eleodoro Ramos y Gloria Pineda, por ser mi inspiración, apoyarme y guiarme a lo largo de mi vida.
- Mis hermanos** Juan, Sandra y Marleni Ramos, por su apoyo y palabras de aliento.
- Mi novia** Monica Montiel, por apoyarme y alentarme a lograr esta meta.
- Mis amigos** Por creer en mí y darme su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de estudiar y culminar una carrera universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de ser parte de la institución y lograr esta meta.
Mis amigos de la Facultad	Por el apoyo brindado a lo largo de la carrera y motivarme a concluirla.
Mi madre	Por apoyarme en todo momento, brindarme su apoyo cuando más lo necesite y estar ahí en cada momento importante de mi vida.
Mi padre	Por apoyarme en todo momento, brindarme su apoyo cuando más lo necesite y estar ahí en cada momento importante de mi vida.
Catedráticos	Por sus enseñanzas y conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA (MUNAE)	1
1.1. Funciones del MUNAE	1
1.1.1. Misión	1
1.1.2. Visión.....	1
1.1.3. Objetivos.....	2
1.2. Estructura organizacional	2
1.2.1. Organigrama del Museo Nacional de Arqueología y Etnología	3
1.3. Normas técnicas.....	4
1.3.1. Norma ISO 50001 Sistemas de Gestión de Energía	4
1.3.1.1. Línea base energética	5
1.3.1.2. Indicadores de desempeño energético.....	5
1.3.1.3. Objetivos de la norma.....	5
1.3.1.4. Desempeño energético.....	7
1.3.2. Norma ISO 50002: auditorías energéticas.....	7
1.4. Descripción del edificio	8

1.4.1.	Ubicación y área del edificio.....	8
1.4.2.	Horario de trabajo.....	9
1.4.3.	Condiciones generales del edificio del MUNAE	10
2.	MARCO TEÓRICO	11
2.1.	Parámetros eléctricos.....	11
2.1.1.	Corriente eléctrica	11
2.1.1.1.	Corriente continua	12
2.1.1.2.	Corriente alterna.....	13
2.1.2.	Voltaje	14
2.1.3.	Potencia eléctrica	15
2.1.3.1.	Deducción de la raíz de tres en cálculo de potencia trifásica	16
2.2.	Cálculo de conductores.....	18
2.2.1.	Cálculo de corriente	18
2.2.1.1.	Ejemplo cálculo de conductor por corriente	23
2.2.2.	Cálculo por caída de tensión.....	25
2.2.2.1.	Ejemplo cálculo conductor por caída de tensión.....	27
2.3.	Resistencia de aislamiento en cables eléctricos	28
2.4.	Interruptores termomagnéticos	31
2.4.1.	Elemento térmico	33
2.4.2.	Elemento magnético.....	33
2.4.3.	Curva de funcionamiento interruptor magnetotérmico.....	33
2.5.	Tableros eléctricos	36
2.5.1.	Tipos de tableros eléctricos.....	36

2.5.2.	Aplicaciones de tableros según el uso de la energía eléctrica	37
2.5.3.	Cálculo de tableros eléctricos	38
2.6.	Diagrama unifilar	41
2.7.	Corriente de cortocircuito.....	41
2.7.1.	Fuentes alimentadoras de corriente de falla	42
2.7.2.	Ideas fundamentales en el cálculo de la corriente de cortocircuito	44
2.7.3.	Fallas trifásicas equilibradas.....	45
2.7.4.	Relación entre reactancia y resistencia	45
2.8.	Datos necesarios para el cálculo de corriente de cortocircuito	45
2.8.1.	Redes de distribución	46
2.8.2.	Transformador	46
2.8.3.	Cálculo de impedancias para cálculo de cortocircuito	48
2.8.3.1.	impedancia para la red de alimentación.....	50
2.8.3.2.	impedancia para el transformador	51
2.8.3.3.	impedancias cables y líneas	52
2.8.4.	Cálculo de la corriente de cortocircuito	52
2.8.5.	Ejemplo cálculo de corriente de cortocircuito.....	53
2.9.	Pruebas de transformadores eléctricos	57
2.9.1.	Prueba de factor de potencia.....	58
2.9.2.	Prueba de resistencia de aislamiento	62
2.9.3.	Prueba de relación de transformación	66
2.9.4.	Prueba de resistencia óhmica de devanados	68
2.9.5.	Prueba de potencial o rigidez dieléctrica	69
2.10.	Termografía infrarroja.....	70

2.10.1.	Técnica activa	70
2.10.2.	Técnica pasiva	70
2.10.3.	Termograma.....	71
2.10.4.	Cámara termográfica.....	71
2.10.5.	Medición de temperatura en componentes eléctricos	71
2.11.	Tipos de puntos calientes que pueden detectarse	72
2.11.1.	aumento de resistividad por malos contactos.....	72
2.11.1.1.	Causas que provocan falsos contactos	73
2.11.1.1.1.	Tornillería mal apretada.....	74
2.11.1.1.2.	Corrosión o suciedad en los contactos	74
2.11.1.1.3.	Pérdida de sección.....	74
2.11.2.	Sobrecarga en componentes eléctricos y conductores.....	75
2.11.3.	Perturbaciones debido a componentes armónicos en el sistema eléctrico	76
2.11.4.	Desequilibrio de fases	76
2.11.5.	Variación de emisividad	77
2.11.6.	Normas de termografía	78
2.11.7.	Relación corriente temperatura	80
2.11.7.1.	Relación resistencia temperatura	81
2.11.7.2.	Relación corriente y resistencia.....	83
2.11.7.3.	Efecto Joule.....	87
2.11.7.4.	Propiedades térmicas del cobre y el aluminio	89
2.11.7.4.1.	Dilatación lineal	90

	2.11.7.5.	Modelo corriente temperatura.....	95
2.12.		Calidad de energía	101
	2.12.1.	Cargas lineales	102
	2.12.2.	Cargas no lineales	102
2.13.		Parámetros para definir la calidad de la energía	102
	2.13.1.	Frecuencia eléctrica.....	103
	2.13.2.	Regulación de voltaje	103
	2.13.3.	Corriente.....	103
	2.13.4.	Distorsión armónica	104
	2.13.5.	Desbalance de voltajes y corrientes	104
	2.13.6.	Fluctuaciones de tensión o intermitencia (FLICKERS).....	104
	2.13.7.	Potencias.....	105
	2.13.8.	Factor de potencia	106
2.14.		Norma técnica del servicio de distribución (NTSD)	106
2.15.		Supresores de picos.....	107
2.16.		Pararrayos.....	108
	2.16.1.	Mástil de Franklin.....	109
	2.16.2.	Jaula de Faraday	109
	2.16.3.	Principios básicos de aplicación de la norma NF-C-17-102.....	110
3.		ANÁLISIS HISTÓRICOS DE CONSUMOS	113
	3.1.	Consumo de energía eléctrica.....	113
	3.1.1.	Proyección de consumos de energía eléctrica	118
4.		LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO.....	123
	4.1.	Datos obtenidos levantamiento eléctrico MUNAE	123
	4.2.	Diagrama unifilar	123

4.3.	Acometida eléctrica	129
4.4.	Tablero principal.....	129
4.4.1.	Planilla de tablero principal.....	129
4.5.	Interruptor principal	130
4.5.1.	Cálculo de corriente de corto circuito breaker principal MUNAE	131
4.6.	Medición de tierra física	137
5.	MEDICION Y ANÁLISIS DE DATOS TÉRMICOS E ILUMINACIÓN Y DEMÁS CARGAS DEL EDIFICIO.....	141
5.1.	Determinación de puntos de calor.....	141
5.2.	Inventario de equipos	149
5.3.	Inventario de lámparas y luminarias.....	151
5.3.1.	Análisis de resultados de iluminación MUNAE	155
5.3.2.	Mediciones de lúmenes por metro cuadrado.....	157
5.3.3.	Cálculo de luxes Ideales por zona de trabajo.....	159
5.4.	Cambio de luminarias fluorescentes a luminarias led	163
6.	PROPUESTA DE DISEÑO Y MEJORAMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	167
6.1.	Alimentadores a tableros.....	167
6.2.	Diagrama unifilar Museo Nacional de Arqueología y Etnología	170
6.3.	Balance de corrientes en tablero principal MUNAE	171
6.4.	Cálculo de sistema de tierras	172
6.4.1.	Resistividad del terreno por método de Wenner ...	172
6.4.1.1.	Cálculo de resistividad de suelo MUNAE	174

6.4.2.	Diseño de la red de tierras método de SCHWARZ.....	177
6.4.2.1.	Criterios de diseño.....	178
6.4.2.2.	Diseño red de tierras MUNAE.....	179
6.5.	Cálculo de pararrayos.....	184
6.5.1.	Selección de supresores de picos	189
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	191
7.1.	Análisis de voltajes	191
7.1.1.	Voltaje línea 1- neutro.....	191
7.1.2.	Voltaje línea 2 a neutro	192
7.1.3.	Voltaje neutro a tierra	194
7.2.	Análisis de corriente	195
7.2.1.	Corriente línea 1	195
7.2.2.	Corriente línea 2	196
7.3.	Análisis de potencia activa total consumida	198
7.4.	Análisis del factor de potencia	199
7.5.	Distorsión armónica total (THD)	200
7.5.1.	Distorsión armónica total de voltaje	201
7.5.1.1.	THD línea 1 a neutro	201
7.5.1.2.	THD línea 2 a neutro	202
7.5.1.3.	THD neutro a tierra	203
7.5.2.	Distorsión armónica total de corriente	204
7.5.2.1.	THD de corriente línea 1.....	204
7.5.2.2.	THD de corriente línea 2.....	206
7.5.2.3.	THD de corriente neutral	207
7.5.2.4.	Desbalance de tensión y corriente.....	208
	7.5.2.4.1. Desbalance de tensión.....	208

7.5.2.4.2.	Desbalance de corriente	209
7.6.	Resumen de mediciones calidad de energía	210
7.7.	Análisis económico proyectado	211
7.8.	Análisis económico de ahorros energéticos	213
7.8.1.	Análisis económico por cambio de luminarias fluorescentes a luminarias led	213
7.9.	Análisis de gases de efecto invernadero emitidos	216
CONCLUSIONES		219
RECOMENDACIONES		223
BIBLIOGRAFÍA		225
APÉNDICE		227

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional MUNAE	4
2.	Vista aérea del MUNAE desde Google Earth.....	9
3.	Diferencia de potencial.....	12
4.	Grafica de corriente continua	13
5.	Grafica de corriente alterna.....	14
6.	Plano vectorial de voltajes en un sistema trifásico	17
7.	Fórmulas para sección de conductores.....	26
8.	Resistencia de aislamiento.....	30
9.	Funcionamiento interno del interruptor termomagnético	32
10.	Interruptores termomagnéticos	32
11.	Curva de disparo interruptor magnetotérmico	34
12.	Tipos de curva de intervención según norma IEC 60898.....	35
13.	Componentes de la corriente y corriente de cortocircuito total.....	43
14.	Circuito equivalente para cálculo de corto circuito	44
15.	Esquema de red eléctrica para cálculo de corto circuito	49
16.	Circuito equivalente de esquema eléctrico.....	49
17.	Esquema de circuito eléctrico para cálculo de corriente de cortocircuito.....	54
18.	Representación prueba de factor de potencia.....	59
19.	Medición del factor de potencia.....	60
20.	Triángulo de potencias	61
21.	Asilamiento de un cable	62
22.	Esquema de conexión prueba de resistencia de aislamiento.....	63

23.	Distribución al azar de las cargas eléctricas	64
24.	Polarización de las cargas en presencia de campo eléctrico.....	64
25.	Esquema de conexión del TTR.....	67
26.	Termograma disminución progresiva de temperatura en relación con la distancia al punto caliente	73
27.	Termografía dispositivo sobrecargado.....	75
28.	Circuito con resistencia de la carga y resistencia del conductor	84
29.	Grafico corriente vs resistencia en un conductor	86
30.	Punto de fusión metales más utilizados.....	90
31.	Dilatación de barras o alambres	91
32.	Curva de esfuerzo vs deformación	93
33.	Ejemplo curva de esfuerzo deformación a distintas temperaturas.....	94
34.	Gráfica corriente vs temperatura.....	100
35.	Medición de temperatura y corriente.....	101
36.	Proyección energética para el año 2032.....	117
37.	Acometida eléctrica MUNAE.....	118
38.	Diagrama unifilar MUNAE	124
39.	Planilla tablero de distribución principal MUANE	130
40.	Diagrama unifilar MUNAE con falla de corto circuito	132
41.	Esquema de instalación eléctrica para cálculo de cortocircuito MUNAE	133
42.	Medición de tierra física MUNAE	138
43.	Medición de resistividad de suelo MUNAE	139
44.	<i>Breaker</i> principal MUNAE	142
45.	Termografía <i>breaker</i> tablero principal MUANE	143
46.	Termografía tablero principal de distribución MUNAE	144
47.	Termografía T-GAL.....	145
48.	Termografía T-CLA.....	145
49.	Termografía T-ESC.....	146

50.	Termografía T-ETN	146
51.	Termografía T-BIB.....	147
52.	Termografía T-ADMON.....	147
53.	Distribución de consumo de energía eléctrica MUNAE	150
54.	Valores promedio de iluminación por unidad del MUNAE	157
55.	Distribución de luminarias área de biblioteca MUNAE	160
56.	Distribución de luminarias área administrativa MUNAE	160
57.	Niveles de iluminación área de biblioteca MUNAE	161
58.	Niveles de iluminación área administrativa MUNAE	161
59.	Simulación en programa Dialux evo.....	162
60.	Simulacion en programa Dialux evo.....	162
61.	Diagrama unifilar nuevo diseño MUAE.....	170
62.	Propuesta balance de corrientes en tablero principal	171
63.	Esquema de electrodos para medición de resistividad método de Wenner.....	173
64.	Teluometro utilizado para medición de resistividad de suelo	175
65.	Electrodos utilizados para medición	175
66.	Esquema de colocación de electrodos para medición	176
67.	Diseño red de tierra MUNAE	179
68.	Profundidad del conductor para malla de tierra.....	180
69.	Detalles soldaduras exotérmicas red de tierras MUNAE.....	180
70.	Radio de cobertura pararrayos MUNAE	186
71.	Ubicación pararrayos MUNAE	187
72.	Detalle de pararrayos MUNAE	188
73.	Medición de voltaje línea 1 a neutro.....	191
74.	Medición de voltaje línea 2 a neutro.....	193
75.	Medición de voltaje neutro a tierra	194
76.	Medición de corriente línea 1	195
77.	Medición de corriente línea 2	197

78.	Medición de potencia total consumida	198
79.	Medición factor de potencia total	199
80.	Medición THD de voltaje línea 1 a neutro	201
81.	Medición THD de voltaje línea 2 a neutro	202
82.	Medición THD de voltaje de neutro a tierra.....	203
83.	Medición THD corriente línea 1	205
84.	Medición THD corriente línea 2	206
85.	Medición THD corriente neutral	207
86.	Proyección de costos por energía hasta el año 2032	212
87.	Comparación de proyecciones de costos aplicando mejoras en iluminación.....	216
88.	Comparación de emisiones de CO2 para el edificio del MUNAE	218

TABLAS

I.	Fórmulas cálculo de corriente eléctrica para motores.....	19
II.	Fórmulas cálculo de corriente eléctrica.....	19
III.	Tabla NEC 310.16	21
IV.	Factores de corrección por temperatura	22
V.	Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable.....	23
VI.	Conductores THWN/ THHN.....	27
VII.	Estado de aislación en función de RAD e IP	31
VIII.	Ejemplo de datos para instalación eléctrica.....	39
IX.	Potencias de cortocircuito para redes de MT según IEC 60076-5.....	46
X.	Valores de tensión de cortocircuito para potencias aparentes nominales según IEC 60076-5.....	47
XI.	Capacitancia de funcionamiento de tranformadores en baño de aceite en condiciones de sobrecarga según ANSI C57.92.....	48

XII.	IEEE C57,106-1991 valores representativos factor de potencia	59
XIII.	Valores de resistencia de aislamiento según voltaje entre fases de transformador norma ANSI/IEEE C57.12.91	65
XIV.	Emisividad para superficies comunes	78
XV.	Rangos de temperatura según norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988).....	79
XVI.	Rangos de temperatura según norma NETA, Inter-National Electric Testing Association	80
XVII.	Resistividad y coeficientes de temperatura	83
XVIII.	Resistencia y corriente	86
XIX.	Calores específicos	88
XX.	Valores típicos coeficiente de dilatación lineal	92
XXI.	Corriente eléctrica y temperatura del conductor	99
XXII.	Datos del servicio de energía eléctrica.....	113
XXIII.	Históricos consumo de energía año 2013	114
XXIV.	Históricos consumo de energía año 2014	114
XXV.	Históricos de consumo de energía año 2015	115
XXVI.	Históricos de consumos año 2016	115
XXVII.	Históricos de consumos año 2017	116
XXVIII.	Proyección de consumo de energía eléctrica durante un día laboral.	118
XXIX.	Proyección de consumo de energía eléctrica durante un día de asueto o descanso	119
XXX.	Proyección del consumo de energía eléctrica durante el fin de semana	119
XXXI.	Proyección de consumo de energía eléctrica día lunes	120
XXXII.	Proyección de consumos por día	120
XXXIII.	Proyección de consumo de energía hasta el 2032	121
XXXIV.	Datos obtenidos del levantamiento eléctrico	124
XXXV.	Porcentaje de uso conductores eléctricos.....	125

XXXVI.	Porcentaje de uso barras y <i>breakers</i>	126
XXXVII.	NEC 310.15 (B) (2) (a) Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable	127
XXXVIII.	Caídas de tensión tableros eléctricos	128
XXXIX.	Datos de <i>breaker</i> principal MUNAE	131
XL.	Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna	137
XLI.	Resumen termografías de tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etología.....	148
XLII.	Inventario de equipos MUNAE	149
XLIII.	Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE ..	151
XLIV.	Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE ..	152
XLV.	Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE ..	153
XLVI.	Control y luz natural áreas MUNAE	154
XLVII.	Eficiencia de iluminación edificio del MUNAE	154
XLVIII.	Resumen de eficiencia lumínica MUNAE	155
XLIX.	Niveles mínimos de iluminación.....	156
L.	Niveles de iluminación recomendados.....	159
LI.	Comparativo entre luminarias actuales y luminarias led	163
LII.	Cantidad de luminarias a cambiar y energía que estas consumen actualmente	164
LIII.	Luminarias sustituidas y energía que consumirían	164
LIV.	Diferencia de consumos y porcentaje de ahorro.....	164
LV.	Datos eléctricos del teluómetro utilizado	174
LVI.	Mediciones con telurómetro	176
LVII.	Protección de los pararrayos (según NF C 17-102).....	185
LVIII.	Criterios de selección para supresores.....	189
LIX.	Capacidades de supresores	190
LX.	Resumen medición de voltaje línea 1 a neutro	192

LXI.	Resumen medición de voltaje línea 2 a neutro	193
LXII.	Resumen medición de voltaje neutro a tierra	194
LXIII.	Resumen medición corriente línea 1	196
LXIV.	Resumen medición de corriente línea 2.....	197
LXV.	Resumen medición de potencia activa total	198
LXVI.	Resumen medición de factor de potencia total	200
LXVII.	Resumen medición THD total de voltaje línea 1 a neutro	202
LXVIII.	Resumen medición THD total de voltaje línea 2 a neutro	203
LXIX.	Resumen medición THD total de voltaje neutro a tierra	204
LXX.	Resumen medición THD de corriente línea 1.....	205
LXXI.	Resumen medición THD de corriente línea 2.....	206
LXXII.	Resumen medición THD de corriente en neutral	207
LXXIII.	Resumen mediciones calidad de energía	210
LXXIV.	Resumen mediciones calidad de energía	211
LXXV.	Proyección de costos de energía hasta el año 2032.....	212
LXXVI.	Luminarias actuales y su equivalente en luminarias led.....	213
LXXVII.	Análisis económico de la inversión inicial para cambio de luminarias	214
LXXVIII.	Resumen económico.....	215
LXXIX.	Resumen de costos al aplicar cambio de luminarias.....	215
LXXX.	Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero	217

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BTDFp	Baja tensión con demanda fuera de punta
Hp	Caballo de fuerza
CPI	Control por interruptor
THD	Distorsión armónica total
Fp	Factor de potencia
GEI	Gases de efecto invernadero
°C	Grados centígrados
IDEns	Indicadores de desempeño energético
kA	Kiloamperios
kWh	Kilowatt hora
lm	Lumen
LCDB	Luminaria con difusor blanco
LSD	Luminaria sin difusor
LN	Luz natural
m	Metro
m²	Metro cuadrado
Ohm	Ohmio
ohm-m	Ohmio metro
Q	Quetzales
SGE	Sistema de gestión ética
THHN	<i>Thermoplastic High Heat Nylon</i>
V	Voltios
W	Watts

Wh

Watt-hora

GLOSARIO

Acometida eléctrica	Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la protección principal o medidor de energía de la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica.
ANSI	American National Standards Institute.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Corriente eléctrica	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior de este.
Difusor	Carcasa o pantalla que encierra la lámpara. Se usa para difundir el haz de luz y evitar deslumbramiento.
Eficiencia energética	Optimización de la relación entre el consumo de energía total y el consumo de energía útil.
Energía	Es la capacidad que posee un cuerpo para realizar una acción o trabajo, o producir un cambio o una transformación, y es manifestada cuando pasa de un cuerpo a otro.

Factor de potencia	Se define de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
Interruptor	Es un dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica.
Línea	Se denomina fase a la intensidad o el valor de la fuerza electromotriz, en un cierto momento, de una corriente alterna.
Lumen	Es la unidad del sistema internacional de medidas para medir el flujo lumio, una medida de la potencia lumia emitida por la fuente.
Lux	Es la unidad derivada del sistema internacional de unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m ² . Se usa en la fotometría como medida de la iluminancia, que toma en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de lumiidad, un modelo estándar de la sensibilidad del ojo humano a la luz.
MUNAE	Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Monofásico	En ingeniería eléctrica, un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma.
Neutro	Hilo o cable conductor que parte del centro de la estrella de una fuente o alternador polifásicos conectados en estrella.
NEC	Código Nacional Eléctrico.
NTSD	Norma técnica del servicio de distribución.
Potencia eléctrica	Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.
Ramal	Parte de un sistema eléctrico que incluye el dispositivo final de sobrecorriente, como un fusible, protegiendo el circuito y las tomas de corriente que proporciona el circuito.
TDP	Tablero de distribución principal.

Tierra física

Es un sistema de protección o seguridad de todas las instalaciones eléctricas. Todos los sistemas eléctricos generan cargas que deben de ser liberadas para no dañar los equipos o a las personas.

Voltaje

Es la magnitud física que, en un circuito eléctrico, impulsa a los electrones a lo largo de un conductor. Conduce la energía eléctrica con mayor o menor potencia.

RESUMEN

El siguiente trabajo muestra un análisis y estudio para las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología de la ciudad de Guatemala dicho estudio consta de evaluar el estado de las instalaciones actuales del museo para proponer mejoras que las hagan más eficientes.

Dicho análisis consta de colocar un equipo de calidad de energía para obtener distintos parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa, armónicos, entre otros; con el fin de ser analizados y evaluar si dichos parámetros cumplen con diferentes normas para el eficiente funcionamiento de las instalaciones.

Se realizó levantamiento de las instalaciones eléctricas actuales, se generaron planos eléctricos de dichas instalaciones donde se incluyen diagrama unifilar planos de fuerza e iluminación, se realizaron planos eléctricos con las mejoras propuestas donde se incluye red de tierras y pararrayos actualmente el edificio no cuenta con pararrayos, la el sistema de tierras no cumple los parámetros de la norma consultada, se realizó también una inspección termográfica a los tableros eléctricos del museo para detectar fallas a futuro en la instalación.

Para finalizar se realizó un análisis económico con base en las propuestas de mejoras planteadas y se realizó un estudio para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se dejarían de emitir si se realizan las mejoras planteadas.

OBJETIVOS

General

Analizar distintos parámetros de las instalaciones eléctricas a través de un estudio de calidad de energía y analizar la eficiencia energética actual del edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología de la ciudad de Guatemala para proponer mejoras a dichas instalaciones con la finalidad de hacerlas más eficientes.

Específicos

1. Realizar proyecciones de consumo eléctrico del Museo Nacional de Arqueología y Etnología con el fin de determinar su comportamiento a futuro si no se realizan cambios en la instalación eléctrica actual.
2. A través de un levantamiento de las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología obtener los datos necesarios para analizar los alimentadores de tableros con el fin de determinar si estos son críticos por corriente o por caída de tensión.
3. A través de un levantamiento de las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología determinar que instalaciones deben implementarse o mejorarse para que estas funcionen de forma correcta.

4. A través de un análisis de termografía, con el uso de cámara termográfica, determinar si los *breakers* y conductores de los tableros en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología se encuentran operando a temperatura adecuada.
5. A través de un luxómetro realizar mediciones de niveles de iluminación en las distintas áreas del museo con el fin de determinar si estos se encuentran dentro de lo establecido por el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al Acuerdo Gubernativo 229-2014 y proponer mejoras en las áreas que sea necesario.
6. A través de propuestas de mejora a la instalación eléctrica actual reducir el consumo de energía eléctrica total proyectada para el año 2032.
7. A través de un analizador de redes obtener los datos necesarios para evaluar parámetros de calidad de energía de las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología con el fin de determinar si estos se encuentran en norma.
8. Realizar un análisis económico de las propuestas que se planteen para reducir el consumo de energía eléctrica en el edificio con el fin de determinar si es factible llevar a cabo la propuesta.
9. A través de las propuestas planteadas para reducir el consumo de energía eléctrica en el edificio determinar la cantidad de tonelada de CO₂ que dejaran de ser emitidas al medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Socialmente, los museos son una parte muy esencial para cualquier país en el mundo, el museo de arqueología y etnología de Guatemala tiene una gran importancia, en él se conservan bienes arqueológicos y etnológicos los cuales son parte importante del patrimonio cultural de este país, la instalación eléctrica debe operar de la forma más correcta posible para no poner en riesgo los bienes que ahí se conservan.

Se plantea, entonces, realizar un estudio eléctrico que determine el correcto funcionamiento y eficiencia de dichas instalaciones; también, es de gran importancia realizar diagramas y planos de distintas instalaciones eléctricas que requieran una mejora o implementación para el correcto funcionamiento.

1. MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA Y ETNOLOGÍA (MUNAE)

El Museo Nacional de Arqueología y Etnología (MUNAE) es una institución pública guatemalteca encargada de la conservación, investigación y difusión de los bienes arqueológicos además de los etnológicos, pertenecientes al Patrimonio Cultural de la Nación de Guatemala. Depende administrativamente del Ministerio de Cultura y Deportes.

Se trata de un museo nacional dedicado a la investigación de la importante herencia cultural de esta nación mesoamericana. Está ubicado en la Finca La Aurora en la capital del país. Forma parte del Museo Nacional, creado por decreto gubernamental el 30 de junio de 1898.¹

1.1. Funciones del MUNAE

Por el contenido de su exhibición el Museo Nacional de Arqueología y Etnología, es de tipología histórica. El Museo exhibe objetos relacionados a la cultura maya en el área de etnología se exhiben objetos relacionados con la vestimenta, artesanía y tradiciones de Guatemala.²

1.1.1. Misión

“Reunir, investigar, conservar, restaurar, exhibir y divulgar el patrimonio arqueológico y etnológico de los guatemaltecos”.³

1.1.2. Visión

Ser una institución líder en la promoción del patrimonio arqueológico y etnológico de Guatemala, representando dignamente nuestra riqueza cultural a nivel nacional

¹ Museo Nacional de Arqueología y Etnología. *Descripción histórica*. https://es.wikipedia.org/wiki/Museo_Nacional_de_Arqueolog%C3%ADa_y_Etnolog%C3%ADa_de_Guatemala.

² *Ibíd.*

³ *Ibíd.*

e internacional, a través de la generación de espacios que contribuyan a la educación y la recreación cultural para el fortalecimiento de la identidad nacional.⁴

1.1.3. Objetivos

- Generar información a través de la investigación científica, para complementar y actualizar constantemente los contenidos de la exhibición.
- Implementar medidas y protocolos para la conservación de los objetos de las colecciones del MUNAE y que forman parte del patrimonio Cultural de la Nación.
- Presentar una exposición planificada ordenada y pertinente que brinde un acercamiento a la historia prehispánica y a la diversidad cultural contemporánea, como una herramienta para la recreación cultural y educativa.
- Divulgar el conocimiento sobre la cultura maya prehispánica y las culturas vivas guatemaltecas a través de las herramientas de las tecnologías de la información y comunicación, para contribuir a la valoración de sus características excepcionales.

1.2. Estructura organizacional

Por su tipología, el Museo Nacional de Arqueología y Etnología es considerado de categoría estatal este pertenece al estado. Está bajo la administración del Ministerio de Cultura y Deportes, el Viceministerio de

⁴ Museo Nacional de Arqueología y Etnología. *Descripción histórica*. https://es.wikipedia.org/wiki/Museo_Nacional_de_Arqueolog%C3%ADa_y_Etnolog%C3%ADa_de_Guatemala.

Patrimonio Cultural y Natural también de la Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural, forma parte de la Dirección de Museos y Centros Culturales. Cuenta dentro de su estructura orgánica con las siguientes unidades administrativas.

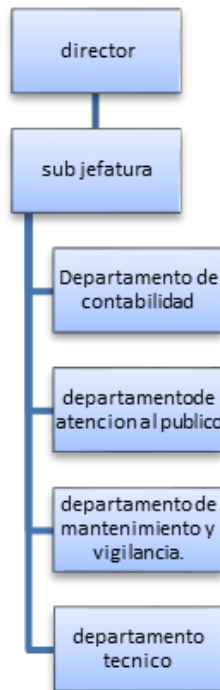
Dirección:

- Subjefatura.
- Departamento de Contabilidad.
- Departamento de Atención al Público: Área de Taquilla, Área de Recepción, Área Educativa, Biblioteca, Relacionista Pública.
- Departamento de Mantenimiento y Vigilancia.
- Departamento Técnico: Área de Arqueología, Área de Etnología, Área de Restauración.

1.2.1. Organigrama del Museo Nacional de Arqueología y Etnología

En la figura 1 se presenta la estructura organizacional del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 1. **Estructura organizacional MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

1.3. Normas técnicas

A continuación, se hace la descripción de las normas técnicas del sistema de gestión de energía.

1.3.1. Norma ISO 50001 Sistemas de Gestión de Energía

Brinda a las organizaciones los requisitos para los sistemas de gestión de energía (SGEn), brinda beneficios para cualquier tipo de organizaciones en el sector público o privado, en la manufactura y servicios, en todas las regiones del mundo.

1.3.1.1. Línea base energética

Es un periodo de tiempo importante que brinda información sobre la forma de uso de energía desde el pasado hasta el presente esta se registra y se utiliza para que la organización pueda proyectar cuál será su desempeño correspondiente a energía en el futuro.

1.3.1.2. Indicadores de desempeño energético

Los IDEns son modelos u operaciones matemáticas en las que pueden estar incluido el consumo de energía por unidad de tiempo, por unidad de producción o modelos de más variables.

La organización puede elegir los IDEns que informen el desempeño energético de su organización y pueden ser actualizados cuando se produzcan cambios en las actividades de operación o en la línea base.

1.3.1.3. Objetivos de la norma

Proporcionar a las organizaciones un marco de trabajo de la eficiencia energética en sus prácticas de gestión aplicando los siguientes aspectos:

- Aprovechamiento de los recursos actuales
- Facilitar la comunicación
- Buenas prácticas
- Prioridad a los recursos renovables
- Reducción de emisiones de GEI
- Integraciones con otros sistemas

ISO 50001 brinda una serie de requisitos los cuales permiten a las organizaciones:

- Desarrollar una política de uso eficiente de la energía.
- Fijar metas y objetivos para cumplir con la política.
- Utilizar datos para entender mejor la toma de decisiones sobre el uso y consumo de energía.
- Medir residuos.
- Revisiones de política.
- Mejora continua.

La norma ISO 50001 sigue el proceso planificar-hacer-verificar-actuar para mejorar de forma continua el sistema de gestión de energía.

Planificar incluye los siguientes aspectos:

- Realizar la revisión y establecer la línea base.
- Establecer a política energética de la organización.
- Establecer metas y objetivos.
- Definir planes de acción.
- Conseguir resultados de acuerdo con las oportunidades de Eficiencia Energética.

Hacer implica poner en práctica los planes de acción de la gestión de energía; verificar implica monitorear y medir resultados que determinen los nuevos rendimientos de la energía e informar resultados; actuar implica tomar acciones para mejorar continuamente la eficiencia energética y actualizar el SGE.

1.3.1.4. Desempeño energético

El desempeño energético incluye el concepto sobre el uso de energía, eficiencia y el consumo de esta, una organización puede reducir su demanda máxima de energía para poder utilizar el excedente con esto puede mejorar sus operaciones o procesos.

1.3.2. Norma ISO 50002: auditorías energéticas

La norma ISO 5002: 2014 indica requisitos para la realización de auditorías energéticas con relación a la eficiencia energética se puede aplicar a todo tipo de establecimientos, organizaciones y a todas las formas de uso de energía, esta norma también especifica los principios para la realización de auditorías energéticas como los procesos comunes para llevarlas a cabo, así como los resultados de las auditorías.

Esta norma no se ocupa de los requisitos para la selección y evaluación de la competencia los organismos que realizan auditorías energéticas esta norma no cubre la auditoría de gestión de energía de una organización, estas se describen en la norma ISO 50003.

El propósito principal de esta norma es definir un conjunto mínimo de requisitos que conducen a identificar acciones que mejoren la eficiencia energética, una auditoría energética consiste en un análisis detallado de la eficiencia energética para una organización, un equipo, un sistema o un proceso, esta se basa en la medición y la observación apropiada del uso de energía, se identifican oportunidades para mejorar la eficiencia energética reduciendo el desperdicio de energía para así obtener beneficios ambientales,

los resultados de la auditoría deben contemplar la mejora en cuanto a eficiencia energética así como beneficios económicos de para esta.

Una auditoría energética puede apoyar una revisión de energía además facilita el seguimiento, la medición y el análisis en la norma ISO 50001 o bien ser independiente, esta norma permite diferentes enfoques como alcances, una auditoría objetiva trata de armonizar aspectos comunes de las auditorías energéticas con la finalidad de que la calidad en estas mejore.

1.4. Descripción del edificio

A continuación, se presenta una breve descripción sobre las condiciones generales del edificio del Museo General de Arqueología y Etnología.

1.4.1. Ubicación y área del edificio

El Museo Nacional de Arqueología y Etnología se ubica en la 6a. calle y 7a. avenida zona 13, salón 5, finca La Aurora, Guatemala C.A. 01013. El plano de su ubicación se muestra a continuación.

Figura 2. Vista aérea del MUNAE desde Google Earth



Fuente: Google Earth. *Museo Nacional de Arqueología y Etnología*. <https://earth.google.com>.
Consulta: 12 de enero de 2020.

El área superficial del edificio el museo Nacional de Arqueología y Etnología está conformado básicamente por el edificio mismo, abarca un área de $4\,468,97\text{ m}^2$ en las cercanías se encuentran el museo nacional de arte moderno Carlos Mérida y el museo de los niños.

1.4.2. Horario de trabajo

El Museo Nacional de Arqueología y Etnología (MUNAE) abre sus puertas al público martes y viernes en horario de 9:00 a 16:00, fines de semana de 9:00 a 12:00 horas, 13:30 a 16:00 horas; sin embargo, el horario de trabajo es de 8:00 a 17:00 horas para el área administrativa, de lunes a viernes.

1.4.3. Condiciones generales del edificio del MUNAE

Para verificar en qué condiciones se encuentra el edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología se realizó un recorrido y de forma visual fueron recolectados los siguientes datos.

- El edificio posee muros de concreto y pilares al centro del edificio.
- Puertas y ventanas de vidrio con marcos de metal.
- Piso de granito en las salas de exhibición, piso cerámico en área administrativa y plancha de concreto en sótano.
- Lámparas fluorescentes en salas de exhibición y reflectores led para iluminación directa de monumentos y piezas de exhibición.
- Temperatura de color cálido en algunas partes y frío en otras.
- Aprovechamiento de luz natural en área administrativa y salas de exhibición: no más de 10 y 150 luxes en salas de exhibición debido a que las ventanas están pintadas y no permiten mucho ingreso de luz. En área administrativa se tiene buen ingreso de luz natural a cierta hora del día.
- No cuenta con aire acondicionado en el edificio hay una unidad de AC pero no funciona desde hace un año y es únicamente para la bóveda que se encuentra en el sótano del edificio.
- Cuenta con una acometida eléctrica en baja tensión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros eléctricos

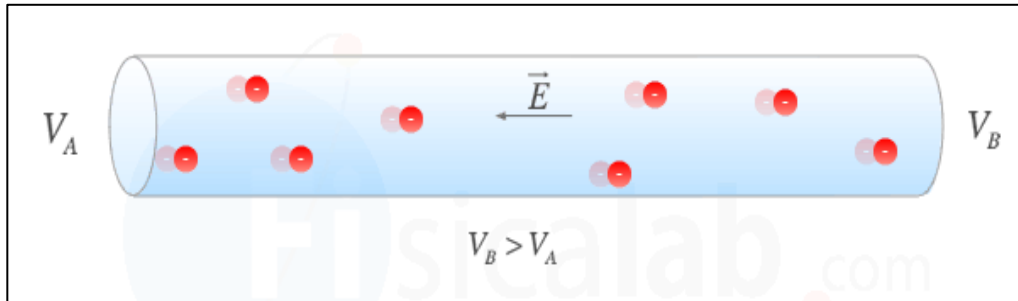
Los principales parámetros eléctricos:

- Corriente
- Voltaje
- Impedancia
- Potencia

2.1.1. Corriente eléctrica

Es un flujo de cargas que se mueven a través de un material conductor y que se encuentra a un distinto potencial eléctrico, se mide en amperios. Los electrones se mueven de un nivel de potencial menor a uno mayor para mantener el movimiento de electrones se hace necesario un dispositivo que mantenga una diferencia de potencial a este dispositivo se le denomina generador de corriente.

Figura 3. **Diferencia de potencial**



Fuente: Fisicalab. *Movimiento de cargas*. <https://www.fiscalab.com/apartado/movimiento-de-cargas#contenidos>. Consulta 13 de enero de 2020.

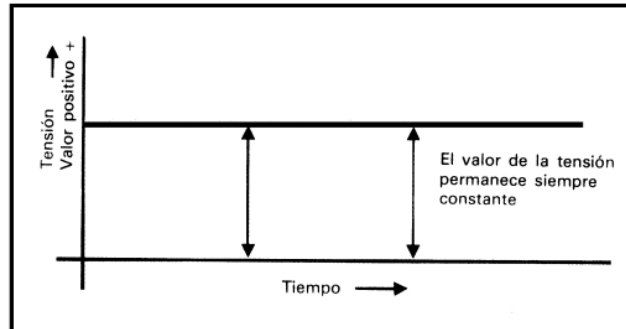
Existen dos tipos de corriente eléctrica:

- Corriente continua: es aquella que no varía en el tiempo
- Corriente alterna: sus valores varían con el tiempo

2.1.1.1. **Corriente continua**

Es aquella que sus valores no varían con el tiempo esta es suministrada por baterías, dinamos, fuentes de alimentación de corriente continua, entre otros. La corriente continua tiene una polaridad fija manteniendo los valores de corriente y voltajes constantes.

Figura 4. **Gráfica de corriente continua**



Fuente: Platea PNTIC. *Introducción a la electricidad*.

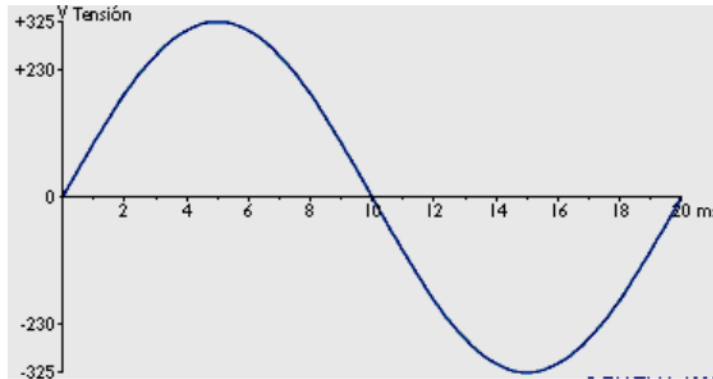
http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/Introduccion_a_la_electricidad.pdf.

Consulta: 13 de enero de 2020.

2.1.1.2. **Corriente alterna**

Es aquella cuya polaridad varía en el tiempo es la corriente utilizada en viviendas, su forma de onda es senoidal y se reproduce periódicamente en el tiempo.

Figura 5. **Grafica de corriente alterna**



Fuente: Platea PNTIC. *Introducción a la electricidad*.

http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/Introduccion_a_la_electricidad.pdf.

Consulta: 13 de enero de 2020.

Dentro de una onda senoidal se pueden encontrar los siguientes parámetros:

- Frecuencia
- Periodo
- Valor instantáneo
- Valor máximo
- Valor eficaz
- Valor medio

2.1.2. Voltaje

Es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos determinados. O bien la fuerza necesaria para mover una carga eléctrica creando una corriente eléctrica, el voltaje se mide en voltios:

- Voltaje inducido: se denomina voltaje inducido a la fuerza necesaria para generar energía eléctrica en un circuito, cuando el circuito está abierto esta fuerza puede mantener una tensión eléctrica entre dos puntos.
- Voltaje alterno: es aquel que varía en el tiempo con valores positivos y negativos en un plano cartesiano, con una forma sinusoidal a una determinada frecuencia.
- Voltaje directo: es también llamado voltaje de corriente continua, es utilizado en componentes electrónicos y no varía con el tiempo.

2.1.3. Potencia eléctrica

Es una magnitud que mide la energía generada o consumida en cierta unidad de tiempo. Se mide en watts (W), relaciona la corriente eléctrica y la tensión aplicada en un circuito. El watt es la energía que libera un amperio en un circuito con una tensión de un voltio.

$$W = U \times I$$

$$(1 \text{ Watt} = 1 \text{ voltio} \times 1 \text{ amperio})$$

En circuitos de corriente alterna las fórmulas para calcular potencias son las siguientes.

Monofásica

$$P = U * I * \cos(\varphi)$$

Trifásica

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi)$$

Donde:

P = potencia en watts

U = voltaje en voltios

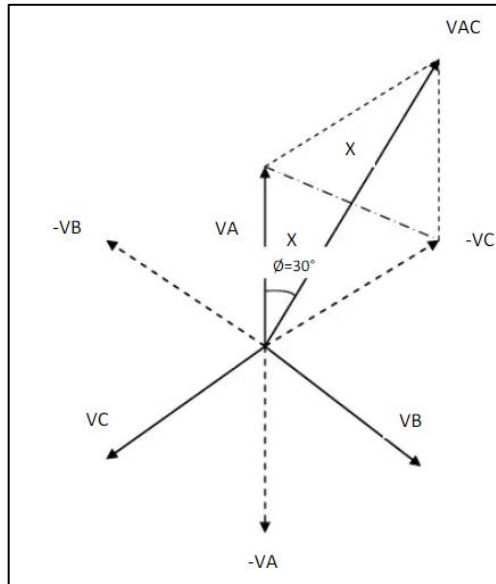
I = corriente en amperios

2.1.3.1. Deducción de la raíz de tres en cálculo de potencia trifásica

La deducción de la raíz de tres viene de realizar una operación con los vectores que representan el desplazamiento de los voltajes en un sistema trifásico, estos están desplazados 120 grados eléctricos uno del otro.

Conociendo el ángulo entre los vectores de los voltajes del sistema trifásico que es 120 grados se utiliza el método del paralelogramo se trazan los vectores $-V_A$, $-V_B$, $-V_C$. Luego, se proyectan formando el vector resultante V_{AC} . Haciendo el análisis vectorial se nota un ángulo de 60 grados entre V_A en relación con $-V_C$, cuando se traza el vector resultante V_{AC} se nota un ángulo de 30 grados entre V_A y V_{AC} SE tiene:

Figura 6. **Plano vectorial de voltajes en un sistema trifásico**



Fuente: Scribd. *Origen de la raíz de tres en el cálculo de potencia trifásica.*

<https://es.scribd.com/doc/111336858/Origen-de-la-Raiz-de-tres-en-el-Cálculo-de-potencia-trifásica>. Consulta: 15 de enero de 2020.

$$VAC = 2X$$

$$\frac{X}{VA} = \cos 30^\circ$$

$$\cos 30^\circ = \text{raíz tres entre 2}$$

$$\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{X}{VA} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{Donde } x = (VA) * \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

Entonces:

$$V_{AB} = 2X$$
$$V_{AB} = (VA) * \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) * (2)$$

Finalmente:

$$V_{AB} = VA * \sqrt{3}$$

2.2. Cálculo de conductores

La correcta selección de conductores eléctricos para una instalación depende de muchos factores, la corriente que circula en ellos, la longitud de estos, el canalizado, cantidad de conductores, entre otros.

Para seleccionar un conductor se procede a realizar los siguientes cálculos para determinar que conductor es el más adecuado para cada instalación eléctrica analizándolo por medio de corriente y por caída de tensión.

2.2.1. Cálculo de corriente

La correcta selección de un conductor depende de la corriente que circule a través de él, se debe conocer la carga que este alimentara para determinar cuáles deben ser las dimensiones en cuanto a sección transversal es necesaria para soportar dicha carga, dependerá también si el conductor es de cobre o aluminio.

Para el cálculo de corriente se emplean las siguientes fórmulas.

Conociendo HP (caballos de fuerza):

Tabla I. **Fórmulas cálculo de corriente eléctrica para motores**

Corriente continua	Corriente alterna monofásica	Corriente alterna trifásica
$\frac{HP \times 746}{V \times \eta}$	$\frac{HP \times 746}{V \times \eta \times fp}$	$\frac{HP \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times fp}$

Fuente: elaboración propia.

Conociendo kW (kilowatts):

Tabla II. **Fórmulas cálculo de corriente eléctrica**

Corriente continua	Corriente alterna monofásica	Corriente alterna trifásica
$\frac{kW \times 1\,000}{V}$	$\frac{kW \times 1\,000}{V \times fp}$	$\frac{kW \times 1\,000}{\sqrt{3} \times V \times fp}$

Fuente: elaboración propia.

Donde:

HP = caballos de fuerza o potencia del motor

kW = potencia en kilowatt

V = tensión nominal del sistema en volts

η = eficiencia del motor (valor típico 0,8)

fp = factor de potencia (valor típico 0,9)

Una vez obtenida dicha corriente se procede a seleccionar el conductor que posea la capacidad para soportar dicha corriente, para determinar esto se procede a consultar la tabla de ampacidades para conductores aluminio y cobre en tubería que proporciona el NEC 2008 310.16.

También, se procede a seleccionar el *breaker* más adecuado para proteger la carga, se selecciona el valor comercial próximo superior a la corriente obtenida con las fórmulas por ejemplo si el valor obtenido de corriente fuese 16 amperios el *breaker* que debe seleccionarse es de 20 amperios.

Tabla III. **Tabla NEC 310.16**

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2,000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores **portadores de corriente** en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.

Calibre mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre AWG o kcmils
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Fuente: Eléctrica aplicada. *Cálculo de conductores eléctricos.*

[https://www.electricaplicada.com/Cálculo -de-conductores-electricos-con/](https://www.electricaplicada.com/Cálculo-de-conductores-electricos-con/). Consulta: 16 de enero de 2020.

Cuando se ha seleccionado el conductor, se procede a seleccionar un factor de corrección que está determinado por la temperatura ambiente del lugar donde se realizará la instalación.

Tabla IV. **Factores de corrección por temperatura**

Temperatura ambiente en el lugar de la instalación °C	60°C	75°C	90°C
21 – 25	1,08	1,05	1,04
26 – 30	1,00	1,00	1,00
31 – 35	0,91	0,94	0,96
36 – 40	0,82	0,88	0,91
41 – 45	0,71	0,82	0,87
46 – 50	0,58	0,75	0,82
51 – 55	0,41	0,67	0,76

Fuente: Latin casa. *Selección de calibre en cables para construcción.*

<http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>. Consulta: 16 de enero de 2020.

Cuando existen más de tres conductores que portan corriente en la canalización se aplica un factor de corrección, que depende del número de conductores el factor varía.

Tabla V. **Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable**

Cantidad de conductores portadores de corriente eléctrica	Factor de corrección por agrupamiento
De 4 a 6	0,80
De 7 a 9	0,70
De 10 a 20	0,50
De 21 a 30	0,45
De 31 a 40	0,40
De 41 y más	0,35

Fuente: Latin casa. *Selección de calibre en cables para construcción.*

<http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>. Consulta: 16 de enero de 2020.

2.2.1.1. Ejemplo cálculo de conductor por corriente

Calcular el conductor adecuado por criterio de corriente se tiene una carga monofásica de 10 kW, voltaje de 240 V alter, factor de potencia de 0,9, temperatura ambiente de 38° centígrados estos conductores estarán en una canalización donde existen 3 conductores portadores de corriente, el material de los conductores es cobre.

Como la carga es monofásica en corriente alterna se utiliza la siguiente fórmula.

$$I = \frac{kW \times 1\ 000}{V \times fp}$$

Una vez seleccionada la fórmula se sustituyen los valores en ella:

$$I = \frac{kW \times 1\,000}{V \times fp} = \frac{10 \times 1\,000}{240 \times 0,9} = 46,29A$$

De la tabla 310.16 NEC 2008 se selecciona el conductor de cobre que tenga ampacidad mayor próxima a 46,26 amperios para este caso, el conductor a seleccionar es un conductor calibre #8 que soporta una corriente de 55 amperios.

Sin embargo, esta ampacidad debe multiplicarse por los factores de temperatura, así como el factor de conductores portadores de corriente para determinar cuál es la ampacidad de este conductor bajo estas circunstancias. Para este caso la temperatura ambiente se encuentra entre 36 a 40 grados centígrados por lo que el factor será 0,91, en total existirán 5 conductores portadores de corriente 3 existentes y 2 que se agregaran el factor es 0,80.

Corriente del conductor #8 = $55 \times 0,91 \times 0,80 = 40,04$ amperios.

Se puede determinar que el conductor bajo estas condiciones no es el adecuado para la carga por lo que se debe analizar el conductor superior siguiente para este caso es el conductor calibre 6 el cual posee una ampacidad de 75 amperios, aplicando los factores anteriores a este conductor se obtiene la ampacidad de este bajo estas condiciones.

Corriente del conductor #6 = $75 \times 0,91 \times 0,80 = 54,6$ amperios.

Como se observa, este conductor bajo las condiciones del problema soporta la corriente que la carga demandara, por lo tanto, este conductor es adecuado por criterio de corriente siendo este calibre #6.

2.2.2. Cálculo por caída de tensión

Cuando circula corriente en un conductor eléctrico se produce una pérdida de potencia que transporta el conductor y una caída de tensión esto provoca que exista una diferencia de potencial entre ambos extremos del conductor.

Esta diferencia de potencial no debe exceder los límites recomendados en la norma con la que se trabaje, para que la instalación funcione de forma eficiente, para este caso se utilizó de referencia el NEC 2008 en su artículo 210.19 nota 4 la cual indica:

Los conductores para circuitos ramales como están definidos en el Artículo 100, dimensionados para evitar una caída de tensión superior al 3 % en las salidas más lejanas de las cargas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere el 5 %, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador.⁵

Para determinar el conductor adecuado se establece la caída de tensión deseada y así calcular la sección del conductor que proporcione dicha caída de tensión.

Las fórmulas para calcular caída de tensión dependen del sistema eléctrico, si este es monofásico o trifásico para esto se utilizan las siguientes fórmulas.

⁵ Código Eléctrico Nacional. *Conductores, artículo 210.19.* p. 59.

Figura 7. **Fórmulas para sección de conductores**

Fórmula Sección Monofásica	
$S_{\min} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot P}{U \cdot \Delta U_{\max}}$	$S_{\min} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot U \cdot \Delta U_{\max}}$
Fórmula Sección Trifásica	
$S_{\min} = \frac{\rho \cdot L \cdot P}{U \cdot \Delta U_{\max}}$	$S_{\min} = \frac{L \cdot P}{\sigma \cdot U \cdot \Delta U_{\max}}$
<p>ρ Resistividad del conductor a la temperatura de servicio 70°C o 90°C. ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$) σ Conductividad del conductor a la temperatura de servicio (70°C o 90°C). ($\Omega^{-1} \cdot \text{m} / \text{mm}^2$)</p>	
<i>Monofásica</i>	<i>Trifásica</i>
$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

Fuente: Área de tecnología. *Secciones de cables*.

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/secciones-de-cables.html>. Consulta: 17 de enero de 2020.

Donde:

S = sección del conductor en mm^2

P = potencia en watts

L = longitud en metros

U = voltaje en voltios

ΔU = caída de tensión deseada

Una vez obtenida la sección del conductor que brinde la caída de tensión deseada se procede a seleccionar el conductor.

Para esto se procede a consultar alguna tabla de fabricante de conductores eléctricos en la cual se proporcione dicha información debido a que los conductores que se utilizaran para el diseño son THHN se procede a buscar la información en una tabla de este tipo de conductores.

Tabla VI. **Conductores THWN/ THHN**

CALIBRE AWG O kcmil	SECCIÓN TRANSVERSAL mm²	NÚMERO DE HILOS	ESPESOR DEL AISLAMIENTO PVC mm	ESPESOR DE CUBIERTA NYLON mm	DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL mm	MASA APROX. kg/100 m	* AMPACIDAD *			
							TUBO CONDUIT (1-3 CONDUCTORES)		AIRE LIBRE (CHAROLA)	
							75°C	90°C	75°C	90°C
14	2.08	7-19	0,38	0.10	3,00	2,50	15	25	20	30
12	3.31	7-19	0,38	0.10	3,50	3,80	20	30	25	40
10	5.26	7-19	0,51	0.10	4,40	6,00	30	40	40	55
8	8.37	7	0,76	0.13	5,80	9,70	45	50	65	70
6	13.30	7	0,76	0.13	6,70	14,70	65	70	95	100
4	21.15	7	1,02	0.15	8,50	23,40	85	90	125	135
2	33.62	7	1,02	0.15	10,00	35,90	115	120	170	180
1/0	53.48	19	1,27	0.18	12,50	56,60	150	155	230	245
2/0	67.43	19	1,27	0.18	13,80	70,20	175	185	265	285
3/0	85.01	19	1,27	0.18	15,10	87,40	200	210	310	330
4/0	107.20	19	1,27	0.18	16,60	108,50	230	235	360	385
250	126.70	37	1,52	0.20	18,30	129,50	255	270	405	425
300	152.00	37	1,52	0.20	19,70	153,70	285	300	445	480
350	177.30	37	1,52	0.20	21,00	178,00	310	325	505	530
400	203.00	37	1,52	0.20	22,20	202,20	335	360	545	575
500	253.40	37	1,52	0.20	24,40	250,70	380	405	620	660
600	304.00	61	1,78	0.23	27,00	301,00	420	455	690	740
750	380,00	61	1,78	0.23	29,30	365,80	475	500	785	845
1000	507,00	61	1,78	0.23	32,20	486,16	545	585	935	1000

Fuente: CNORTE. *Fichas técnicas.*

[://www.cnorte.com.mx/sites/default/files/fichas_tecnicas/2010/03/cn-011-CablesTHHN.pdf](http://www.cnorte.com.mx/sites/default/files/fichas_tecnicas/2010/03/cn-011-CablesTHHN.pdf).

Consulta: 17 de enero de 2020.

2.2.2.1. Ejemplo cálculo conductor por caída de tensión

Con los datos del ejemplo 2.2.1.1 calcular el conductor adecuado por caída de tensión si la carga se instalara a 100 metros y se desea una caída de tensión no mayor a 3 %.

Como la carga es monofásica la fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$S_{min} = \frac{2 * L * P}{\sigma * U * \Delta U_{max}}$$

Una vez seleccionada la fórmula se procede a sustituir los datos en esta:

$$S_{min} = \frac{2 * L * P}{\sigma * U * \Delta U_{max}} = \frac{2 * 100 * 10\,000}{57 * 240 * 3} = 48,73 \text{ mm}^2$$

De la tabla de fabricantes de conductores se procede a seleccionar el conductor de cobre cuya sección transversal sea mayor próxima a $48,73 \text{ mm}^2$ para este caso el conductor cuya sección transversal cubre las necesidades es un conductor calibre #1/0 siendo su sección transversal de $53,48 \text{ mm}^2$.

Una vez obtenidas las dimensiones de los conductores calculadas por corriente y por caída de tensión se procede a seleccionar el conductor adecuado para determinar si el mismo es crítico por corriente o por caída de tensión esto se determina seleccionando el conductor de mayor dimensión, este cubrirá ambas necesidades.

Para los ejemplos 2.2.1.1 y 2.2.2.1 el conductor que debe seleccionarse es el calibre #1/0 este es el adecuado tanto para corriente como para caída de tensión del alimentador de la carga.

2.3. Resistencia de aislamiento en cables eléctricos

Una de las causas principales de incendios en las instalaciones eléctricas, está relacionada a las sobrecargas en conductores eléctricos. Se debe recordar que el aislamiento en los conductores eléctricos no sirve para evitar fugas de

corriente al exterior. El conductor está diseñado para durar entre 20 a 30 años, pero el aislamiento sufre deterioro a lo largo del tiempo por daños mecánicos, vibraciones, calor o frío excesivo, suciedad, aceite, vapores corrosivos, humedad, entre otros.

Por estas razones se hace necesario hacer mediciones cada cierto tiempo a la condición de aislamiento para verificar las condiciones de aislamiento en cables eléctricos se debe realizar la prueba de resistencia de aislamiento, esta consiste en generar un voltaje DC y aplicarlo al conductor para monitorear la corriente de fuga que presenta el aislamiento. La suma de tres componentes será la corriente total que presenta la medición:

- Corriente de carga capacitiva: esta corriente inicia alta y cae luego que el aislamiento se ha cargado voltaje pleno.
- Corriente e absorción: esta corriente también es alta al inicio y luego decae.
- Corriente de conducción o de fuga: una corriente pequeña esencialmente estable a través y sobre el aislamiento.

El método más utilizado con el que se mide la resistencia de aislamiento es el del tiempo-resistencia. El cual está basado en el efecto de absorción del buen aislamiento. Un buen aislamiento es aquel que durante la prueba demuestra un incremento de resistencia continuo en determinado tiempo (generalmente 5 a 10 minutos). Esto lo ocasiona la corriente de absorción. Existen dos relaciones importantes en este método.

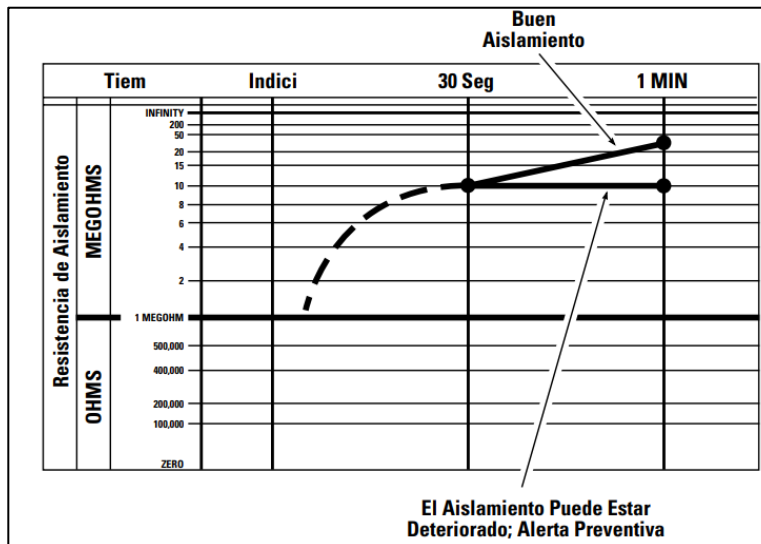
Relación de absorción dieléctrica (RAD): es la relación entre la medición a los 60 segundos y la medición a los 30 segundos se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$RAD = \frac{R_{A(60S)}}{R_{A(30S)}}$$

Índice de polarización (IP): Es la relación entre la medición tomada al minuto 10 y la medición tomada en el minuto 1, se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$IP = \frac{R_{A(10min)}}{R_{A(1min)}}$$

Figura 8. Resistencia de aislamiento



Fuente: Seguridad con electricidad. *Resistencia de aislamiento en cables.*

<http://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2010/11/resistencia-de-aislamiento-en-cables.html>.

Consulta: 20 de enero de 2020.

El estado del aislamiento según los índices anteriores puede ser comparados con la norma IRAM 2325 (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) esto indicará si el aislante se encuentra en condiciones para seguir operando.

Tabla VII. Estado de aislación en función de RAD e IP

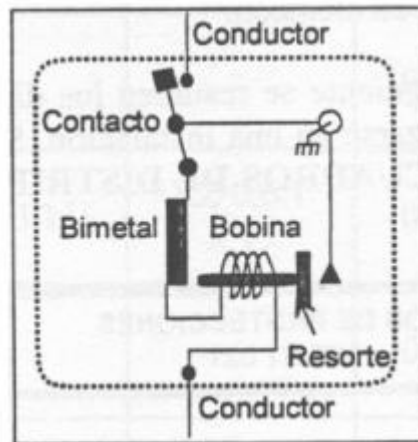
Relación de absorción dieléctrica RAD	Índice de polarización IP	Clasificación del estado de la aislación
$RAD < 1,1$	$IP < 1$ (**)	"Peligroso" (**)
$1,1 \leq RAD < 1,25$	$IP < 1,5$	"Cuestionable"
$1,25 \leq RAD < 1,4$	$1,5 \leq IP < 2$	"Aceptable"
$1,4 \leq RAD < 1,6$	$2 \leq IP < 3$	"Bueno"
$1,6 \leq RAD$	$3 \leq IP < 4$	"Muy bueno"
	$4 \leq IP$	"Excelente"

Fuente: Norma IRAM 2325. *Instrumentos de imán permanente y bobina móvil*. p. 12.

2.4. Interruptores termomagnéticos

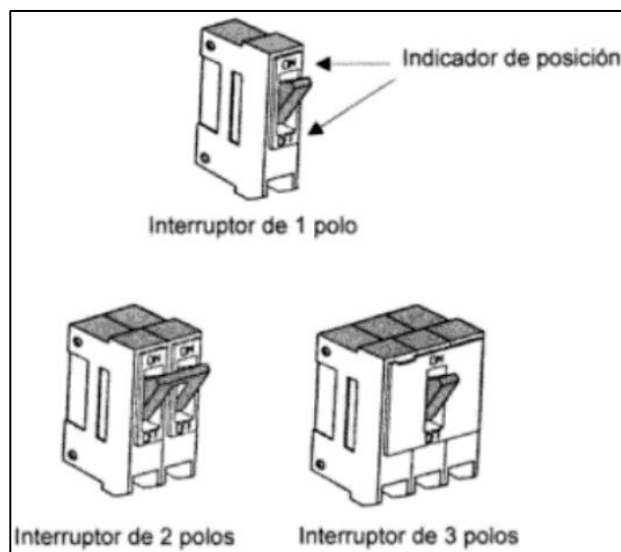
Son dispositivos utilizados para la protección de circuitos eléctricos están ubicados en gabinetes o tableros su función es proteger las instalaciones eléctricas contra sobrecargas o cortos circuitos a través de dos elementos uno térmico y otro magnético abriendo el circuito a través de un mecanismo de disparo, que depende del circuito estos pueden ser de 1 polo, 2 polos o 3 polos para distintos valores nominales de corriente.

Figura 9. **Funcionamiento interno del interruptor termomagnético**



Fuente: ITM instalaciones termomecánicas. *Protección de las instalaciones de baja tensión*.
<http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>. Consulta: 20 de enero de 2020.

Figura 10. **Interruptores termomagnéticos**



Fuente: ENRÍQUEZ, Gilberto. *Manual práctico de instalaciones eléctricas*. p. 135.

2.4.1. Elemento térmico

Este elemento es el encargado de abrir el circuito eléctrico cuando este se encuentra sobrecargado a través de un mecanismo de apertura la forma en que detecta esto es mediante una lámina bimetálica conectada en serie con el elemento de entrada y salida del *breaker*, esta lamina cambia su forma que depende de la temperatura, cuando el circuito esta sobrecargado esta lamina comienza a calentarse cuando pasa determinado tiempo sufre una deformación suficiente para activar el mecanismo de disparo del *breaker* haciendo que deje de fluir corriente hacia las cargas.

2.4.2. Elemento magnético

Este elemento es el encargado de abrir el circuito cuando ocurre un cortocircuito a través de un mecanismo de apertura la forma en la cual detecta esto es mediante una bobina que se encuentra conectada en serie con el elemento de entrada y el elemento de salida del *breaker* así como un embolo que se encuentra en el núcleo de la bobina, cuando ocurre un cortocircuito por esta bobina circula una corriente muy elevada el campo magnético es suficientemente grande para empujar el embolo el cual activa el mecanismo de disparo de *breaker* haciendo que deje de fluir corriente hacia las cargas.

2.4.3. Curva de funcionamiento interruptor magnetotérmico

Esta curva indica el tiempo en que se disparan los interruptores termomagnéticos se basa en la relación que existe entre la corriente medida en la línea que protege el *breaker* y la nominal del mismo cuando esta relación es menor o igual que 1, es decir, el *breaker* está operando por debajo o igual a su

valor nominal de corriente, si la relación es mayor a 1, es decir, la corriente que circula a través de él es mayor que la nominal del mismo.

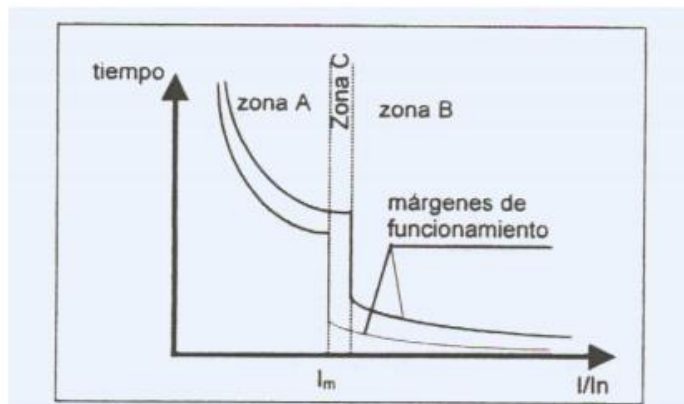
$$\text{Relacion de corriente} = \frac{I}{I_n}$$

Donde:

I = corriente real que circula por el *breaker*

I_n = corriente nominal del *breaker*

Figura 11. **Curva de disparo interruptor magnetotérmico**



Fuente: ITM instalaciones termomecánicas. *Protección de las instalaciones de baja tensión*.
<http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>. Consulta: 20 de enero de 2020.

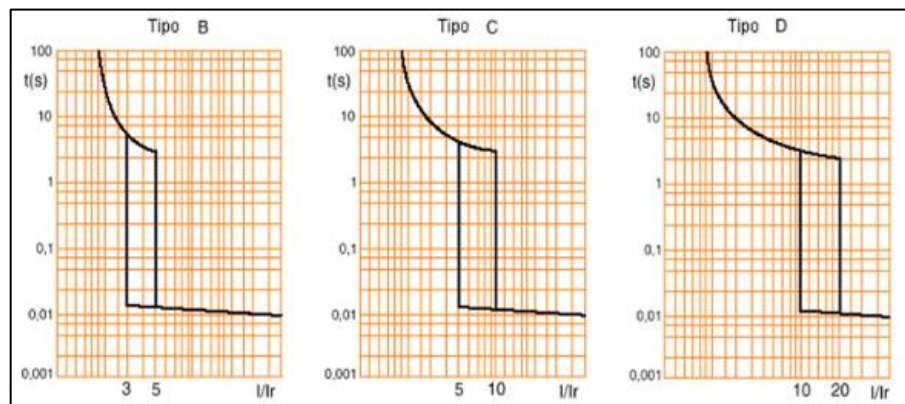
La grafica de esta curva muestra el tiempo que el interruptor tardara en dispararse en el eje Y, en el eje x muestra la relación entre la corriente que circula a través del interruptor y la nominal del mismo. También, se pueden apreciar 3 zonas la zona A representa el disparo por efecto térmico, la zona C representa el disparo por efecto magnético la última zona es la zona B la cual representa el disparo provocado por efecto térmico o efecto magnético.

La zona A esta es igual para todos los interruptores termomagnéticos, la curva empieza después que la relación entre corrientes es mayor 1 esta curva tiene forma logarítmica entonces entre mayor a 1 sea la relación de corrientes el tiempo de apretura por efecto térmico será menor hasta que se llega a la zona B.

A partir de esta zona empieza a funcionar el efecto magnético en el cual se pueden definir 3 tipos de curva que depende de la aplicación del *breaker* de acuerdo con la norma IEC 60898 se tienen 3 tipos de curva distintas.

- Tipo B: circuitos de gran longitud de cableado, protección de generadores.
- Tipo C: circuitos de aplicación ordinaria.
- Tipo D: circuitos de máquinas con grandes corrientes de arranque.

Figura 12. **Tipos de curva de intervención según norma IEC 60898**



Fuente: SlidePlayer. Norma IEC 60898. <https://slideplayer.es/slide/11621676/>. Consulta: 21 de febrero de 2020.

En estas curvas se indican los límites inferiores y superiores de la corriente nominal para que el interruptor termomagnético active el mecanismo de disparo se observa que en la curva B el límite inferior será 3 veces la corriente nominal, mientras que el límite superior será 5 veces la corriente nominal; para la curva C el límite inferior es 5 veces la corriente nominal, mientras que el límite superior es 10 veces la corriente nominal; finalmente, en la curva del límite inferior es 10 veces la corriente nominal, mientras el límite superior es 20 veces la corriente nominal.

2.5. Tableros eléctricos

Los tableros de distribución son la parte principal en una instalación eléctrica son los encargados de distribuir la energía eléctrica por todo el edificio. En ellos se encuentran los dispositivos que protegen la instalación eléctrica y dispositivos de maniobra de esta.

Son gabinetes los cuales albergan los elementos de conexión, control, maniobra, medida y señalización, son los encargados de hacer funcionar la instalación eléctrica de forma adecuada.

Uno de los elementos más importantes del tablero eléctrico son los interruptores estos suelen ser de tipo electromagnético y están destinados a la protección del tablero, así como a la protección de los usuarios.

2.5.1. Tipos de tableros eléctricos

Según su ubicación en la instalación eléctrica los tableros se clasifican en:

- Tablero principal de distribución: este tablero contiene la alimentación principal del edificio y es el encargado de distribuir energía eléctrica a los distintos circuitos secundarios.
- Tableros secundarios de distribución: están alimentados del tablero principal, para cubrir las distintas áreas del edificio en cuanto a protección.
- Tableros de paso: protegen derivaciones que no pueden ser conectadas en alimentadores o subalimentadores debido a su capacidad.
- Gabinete individual del medidor: es el tablero que se encuentra en la alimentación principal de energía y en este se encuentra el medidor principal de la instalación.
- Tablero de comando: contiene dispositivos de seguridad y maniobra.

2.5.2. Aplicaciones de tableros según el uso de la energía eléctrica

La energía eléctrica tiene muchos usos por lo que los tableros eléctricos poseen muchas aplicaciones ya sea uso industrial, doméstico las aplicaciones de los tableros eléctricos pueden ser las siguientes.

- Centro de control de motores
- Subestaciones
- Alumbrado
- Centros de carga o de uso residencial
- Tableros de distribución

- Celdas de seccionamiento
- Centro de distribución de potencia
- Centro de fuerza

2.5.3. Cálculo de tableros eléctricos

Para seleccionar de forma correcta tableros eléctricos hay que tomar en cuenta las características siguientes:

- Si es para uso residencial o industrial
- Carga a instalar
- Número de polos
- Capacidad de las barras
- Si el sistema eléctrico es monofásico o trifásico

Para la selección de un tablero deben conocerse todas las cargas que en él se instalarán también debe conocerse si las cargas serán monofásicas o trifásicas, *breaker* de protección, carga considerada para futuro crecimiento y cantidad de polos para futuro crecimiento.

Recopilando los datos se obtiene una tabla como esta:

Tabla VIII. **Ejemplo de datos para instalación eléctrica**

Circuito	Carga en (W)	Breaker	Sistema
Circuito 1	2 286	3x15A	Trifásico
Circuito 2	750	1x15A	Monofásico
Circuito 3	1 334	1x20A	Monofásico
Circuito 4	720	1x15A	Monofásico
Circuito 5	900	1x15A	Monofásico
Circuito 6	1 740	1x20A	Monofásico
Circuito 7	1 490	1x20A	Monofásico
Circuito 8	1 160	1x20A	Monofásico
TOTAL	16 285	10 polos	Monofásico

Fuente: elaboración propia.

Si se contempla una reserva de 2 400 VA, entonces, la potencia total será la suma de toda la carga más la carga considerada para reserva.

$$carga\ total = carga\ instalada + carga\ de\ reserva$$

Si se consideran 3 polos de reserva, el espacio requerido sería la suma del número de polos de los *breakers* a instalar más los polos de reserva.

$$total\ de\ polos\ requeridos = polos\ breakers\ a\ instalar + polos\ de\ reserva$$

Para el caso de la tabla de ejemplo la carga total sería:

$$carga\ total = 16\ 285 + 2\ 400 = 18\ 685\ W$$

Conociendo esta carga puede determinarse la corriente total a través de la siguiente fórmula:

Cuando toda la carga sea monofásica:

$$I_{total} = \frac{kW \times 1\,000}{V \times fp}$$

Cuando existen cargas trifásicas:

$$I_{total} = \frac{kW \times 1\,000}{\sqrt{3} \times V \times fp}$$

Donde:

kW = pen kilowatt

V = tensión nominal del sistema en Volts

V = tensión nominal del sistema en Volt

con base en esta corriente puede calcularse el valor del interruptor principal del tablero y la capacidad de las barras, las cuales deben soportar la corriente total, el interruptor principal debe seleccionarse cuidando que su capacidad nominal no sea mayor a la de las barras para que estas estén correctamente protegidas.

El número de polos para la tabla de ejemplo serian:

$$total \ de \ polos \ requeridos = 10 + 3 = 13 \ polos$$

Por lo que debe seleccionarse un tablero que contenga al me esta cantidad de polos para poder albergar todos los *breakers* de la instalación eléctrica, también debe indicarse si es monofásico o trifásico y el voltaje.

2.6. Diagrama unifilar

Es la representación a una sola línea que indica los distintos componentes que forman parte de la instalación eléctrica, su manera de conectarlos en ella se brindan distintos datos, características de los equipos y elementos que conforman la instalación eléctrica, es la base para iniciar cualquier diseño eléctrico.

No existe norma oficial para realizar diagramas unifilares se deja al criterio del electricista; sin embargo, se debe utilizar simbología relacionada a las instalaciones eléctricas; pueden hacerse de forma vertical u horizontal

Los elementos básicos de un diagrama unifilar son:

- Acometida
- Medidor
- Registro
- Whatímetro
- Interruptor de seguridad
- Interruptor principal
- Centro de carga o tablero de distribución

2.7. Corriente de cortocircuito

Un corto circuito se establece cuando circula una corriente muy alta debido a que se forma un circuito de baja impedancia por accidente, las fallas por cortocircuitos suelen suceder en la mayoría de las instalaciones eléctricas por más sofisticadas que sean las protecciones estas corrientes elevadas

pueden provocar importantes daños en la instalación eléctrica y también a los equipos.

El objetivo de estudiar los cortos es conocer cuál es la corriente máxima que circula durante una falla, así como su comportamiento, esto se hace para determinar qué valor de corriente debe ser interrumpido, así como el esfuerzo eléctrico al que estarán sometidos los equipos de la instalación hasta que estos detecten la falla y se abra el circuito.

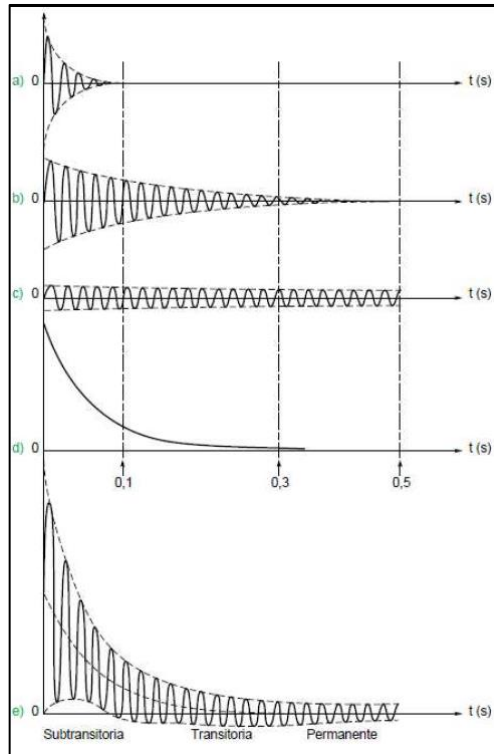
La magnitud de los cortocircuitos no solo puede dañar equipos en la instalación sino también a personas que se encuentren cerca de las mismas por lo que se deben tomar en cuenta estas fallas las cuales pueden suceder.

2.7.1. Fuentes alimentadoras de corriente de falla

Las corrientes de falla se alimentan de las maquinas eléctricas rotatorias como los generadores y motores, en una falla los motores funcionan como generadores estos utilizan la energía cinética de su masa o de los componentes acoplados a ellos; la corriente que suministran estos equipos se limita por la impedancia de este, esta decrece con el tiempo desde el inicio de la falla.

Si se analiza esta impedancia despreciando la resistencia y que toma solo el valor de la reactancia para realizar el cálculo de fallas se deben tomar en cuenta tres valores, cuando se dan los ciclos iniciales aparece un valor que se denomina reactancia subtransitoria X'' con la cual se determina la corriente de corto circuito cuando se da el primer ciclo. Esta reactancia tiende a subir aceleradamente de 5 a 6 ciclos llegando al valor de X' denominado reactancia transitoria finalmente esta sube rápidamente en 0,5 a 2 segundos hasta llegar a X de estado permanente o reactancia síncrona.

Figura 13. **Componentes de la corriente y corriente de cortocircuito total**



Fuente: DEL CANTO, Rodrigo. *Cálculo de cortocircuito*.

https://www.academia.edu/5512703/C%C3%A1lculo_de_Cortocircuito_65pag. Consulta: 25 de enero de 2020.

Como la fuente de magnetización parece cuando ocurre la falla, la corriente que aportan los motores de inducción solo dura 2 o 3 ciclos, por lo tanto, para estas máquinas debe considerarse solo la reactancia subtransitoria X'' cuando se realiza la evaluación de corto circuito, debido a que los elementos de protección de la instalación eléctrica abren el circuito antes que la falla llegue a un estado permanente no se toma en cuenta para la evaluación de cortocircuito la reactancia síncrona X .

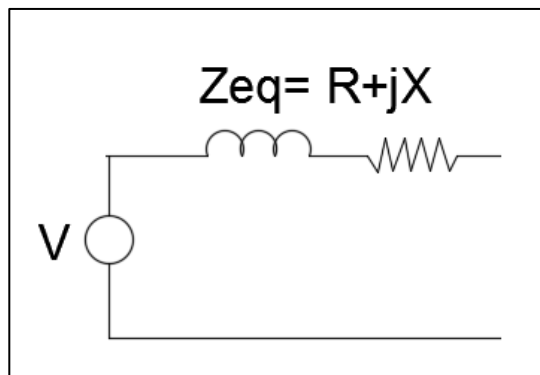
2.7.2. Ideas fundamentales en el cálculo de la corriente de cortocircuito

De acuerdo al teorema de enlazamiento de flujos constantes, el voltaje que se da en el momento de la falla es igual al que se hallaba justo antes que ocurriera la falla, aplicando el teorema de Thevenin la corriente de falla será el voltaje que existía un instante antes que ocurriera la falla partido las impedancias de la fuente y las impedancias del sistema desde el punto en que estas se analicen, haciendo las otras fuentes iguales a cero; entonces, la corriente de falla se encuentra aplicando la ley de ohm.

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_{eq}}$$

Haciendo uso de herramientas analíticas se reduce el circuito a una fuente de alimentación en serie con una impedancia.

Figura 14. Circuito equivalente para cálculo de corto circuito



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

2.7.3. Fallas trifásicas equilibradas

Dado que cuando se da una corriente de falla entre líneas esta siempre será menor a la trifásica, también se sabe que las fallas monofásicas muy rara vez son mayores a las trifásicas; por esta razón, pueden considerarse únicamente fallas trifásicas equilibradas, la corriente que se calcula en estas fallas es del mismo valor en las tres líneas por lo tanto puede realizarse el cálculo para una línea y se habrá calculado para las tres.

2.7.4. Relación entre reactancia y resistencia

Esta relación tiene que ver con el sistema que se tenga cuando se poseen sistemas mayores a 600 voltios suelen encontrarse relaciones de X y R de 5:1, respectivamente, cuando se trabaja con baja tensión esta relación es muy pequeña hasta el punto de que cuando se calcula el área transversal para conductores la reactancia se puede despreciar.

2.8. Datos necesarios para el cálculo de corriente de cortocircuito

Cuando se evalúa la corriente de corto circuito tienen que conocerse distintos parámetros en la instalación, no siempre se cuenta con esta información; por lo tanto, se puede recurrir a tablas proporcionadas por normas que proporcionan estos datos conociendo los valores de potencia y tensión a continuación, se describe el cálculo para obtener cada uno de los componentes relacionados a la instalación eléctrica.

2.8.1. Redes de distribución

En las redes de media tensión el único valor que se suele conocer es el de voltaje nominal, cuando se hace el cálculo de cortocircuito se debe saber cuál es la potencia de cortocircuito de la red esta puede encontrarse entre 250 MVA y 500 MVA en sistemas de 30 KV. Cuando el voltaje nominal es mayor, esta potencia de cortocircuito se encuentra entre 700 MVA a 1 500 MVA. Estos valores se pueden obtener consultando la siguiente tabla proporcionada por la norma IEC 60076-5.

Tabla IX. **Potencias de cortocircuito para redes de MT según IEC 60076-5**

Tensión de la red de distribución [kV]	Potencia aparente de cortocircuito Práctica europea actual [MVA]	Potencia aparente de cortocircuito Práctica norteamericana actual [MVA]
7.2-12-17.5-24	500	500
36	1000	1500
52-72.5	3000	5000

Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos.* https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1da_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

2.8.2. Transformador

Para un transformador con el devanado primario en delta y el secundario en estrella conectado a tierra los parámetros que suelen conocerse son:

- Potencia asignada aparente S_n [kVa].
- Tensión asignada del primario V_{1n} [V].
- Tensión asignada del secundario V_{2n} [V].
- Tensión cortocircuito en porcentaje $V_{k\%}$ [los valores típicos son 4 % y 6 %].

Conociendo esta información pueden determinarse las corrientes del primario y secundario, así como las corrientes correspondientes a cortocircuito. Los valores típicos de la tensión de cortocircuito $V_{k\%}$ en relación con la potencia nominal de los transformadores se especifican en la siguiente tabla según normativa IEC 60076-5.

Tabla X. **Valores de tensión de cortocircuito para potencias aparentes nominales según IEC 60076-5**

Potencia nominal aparente S_n [kVA]	Tensión de cortocircuito $v_{k\%}$
- 630	4
$630 < S_n - 1250$	5
$1250 < S_n - 2500$	6
$2500 < S_n - 6300$	7
$6300 < S_n - 25000$	8

Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 Subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos*. https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1a_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

El valor de capacitancia que presentan los transformadores cuando se encuentran en condición de sobrecarga está relacionado con sus características de construcción. Se consideran los valores de capacitancia de los

transformadores bañados en aceite cuando estos se encuentran en funcionamiento y estado de sobrecarga en la tabla mostrada en la norma ANSI C57.92.

Tabla XI. **Capacitancia de funcionamiento de transformadores en baño de aceite en condiciones de sobrecarga según ANSI C57.92**

Múltiplo de la corriente asignada del transformador	Tiempo [s]
25	2
11.3	10
6.3	30
4.75	60
3	300
2	1800

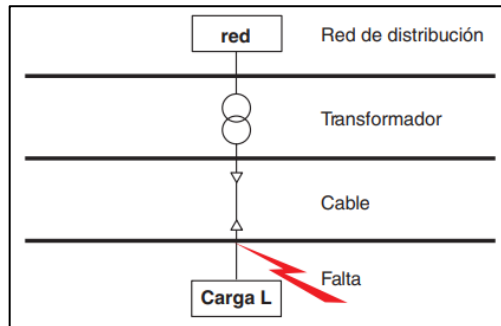
Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos.* https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1da_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

2.8.3. Cálculo de impedancias para cálculo de cortocircuito

En el siguiente diagrama se asume una falla de cortocircuito en un lugar muy cercano a la carga esta red puede representarse con parámetros de resistencias y reactancias para cada uno de los componentes todos estos valores deben estar referenciados a un mismo nivel del voltaje de referencia para el cálculo de cortocircuito. Para pasar el valor de Z_1 relacionado con una tensión mayor (V_1) a valores de Z_2 relacionado con una tensión menor (V_2), se debe realizar a través de la siguiente relación.

$$K = \frac{V_1}{V_2} \text{ De conformidad con la relación siguiente } Z_2 = \frac{Z_1}{K^2}$$

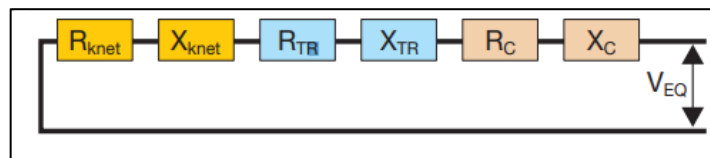
Figura 15. **Esquema de red eléctrica para cálculo de corto circuito**



Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos*. https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1da_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

Este diagrama puede representarse como un solo circuito compuesto por impedancias conectadas en serie las cuales deben sumarse para encontrar la impedancia total vista desde la falla.

Figura 16. **Circuito equivalente de esquema eléctrico**



Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos*. https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1da_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

La fuente de este circuito es una tensión equivalente (V_{EQ}) la cual se calcula de con la siguiente fórmula:

$$V_{EQ} = \frac{C * V_n}{\sqrt{3}}$$

El factor “c” obedece al voltaje del sistema este factor toma en consideración el dominio de cargas como el cambio en el voltaje de la red.

Que toma esta información como base se pueden calcular los valores correspondientes a resistencia y reactancia para cada uno de los componentes que conforman la instalación eléctrica.

2.8.3.1. impedancia para la red de alimentación

Los circuitos analizados generalmente esta alimentados por una red de media tensión donde sus valores tanto de tensión de alimentación V_{net} como de corriente de cortocircuito inicial I_{knet} pueden determinarse, con estos valores y aplicando una constante de rectificación que considera el cambio realizado por el cortocircuito puede ser calculada la impedancia de corto circuito aplicando la fórmula a continuación, descrita.

$$Z_{knet} = \frac{c * V_{net}}{\sqrt{3} * I_{knet}}$$

Luego, se procede a calcular la resistencia y la impedancia correspondiente a la red para esto se utilizan las siguientes fórmulas.

$$X_{knet} = 0,995 * Z_{knet}$$

$$R_{knet} = 0,1 * X_{knet}$$

Si no se conoce la potencia aparente de cortocircuito A_{net} que corresponde a la red de distribución puede calcularse la impedancia de la red con la fórmula a continuación, descrita:

$$Z_{knet} = \frac{V_{net}^2}{S_{knet}}$$

2.8.3.2. impedancia para el transformador

La impedancia correspondiente al transformador se calcula con los datos de su placa, la tensión atribuida V_{2n} , potencia aparente S_{nTR} y la caída de tensión porcentual $V_{k\%}$ con la fórmula a continuación, descrita.

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 * V_{k\%}}{100 * S_{nTR}}$$

Con el fin de poder determinar la resistencia se utiliza el dato correspondiente a las pérdidas totales P_{PTR} vinculado con la corriente atribuida, con la fórmula a continuación, descrita.

$$R_{TR} = \frac{P_{PTR}}{3 * I_{2n}^2}$$

La reactancia del transformador se calcula con la fórmula siguiente:

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)}$$

2.8.3.3. impedancias cables y líneas

Este valor depende de varios factores como técnicas de construcción, temperatura, entre otros. Esto influye en la resistencia y reactancia de los conductores, el fabricante proporciona estos parámetros dándolos en unidad por longitud.

La impedancia de los conductores se calcula con la siguiente fórmula:

$$Z_c = L * (r_c + x_c)$$

El dato correspondiente a resistencia dado por los fabricantes suele estar referidos a temperatura de 20 grados centígrados si se quiere aplicar corrección para otras temperaturas θ debe aplicarse la siguiente fórmula:

$$r_\theta = [1 + (\alpha - 20)] * r_{20}$$

Donde α es el coeficiente de temperatura este dependerá del material que esté construido el conductor para el cobre es $3,95 \times 10^{-3}$.

2.8.4. Cálculo de la corriente de cortocircuito

Cuando se calculan los datos de resistencia como de reactancias que corresponden a los componentes de la instalación eléctrica, se forma una malla de resistencias y reactancias conectadas en serie las cuales deben sumarse:

$$\text{Resistencia total de cortocircuito } R_{TK} = \Sigma R$$

$$\text{Reactancia total de cortocircuito } X_{TK} = \Sigma X$$

Luego, se calcula la impedancia total con la siguiente fórmula:

$$Z_{TK} = \sqrt{(R_{TK}^2 + X_{TK}^2)}$$

Cuando se calcula la impedancia equivalente desde el punto de vista de la falla se puede calcular la corriente de cortocircuito trifásica empleando la fórmula siguiente:

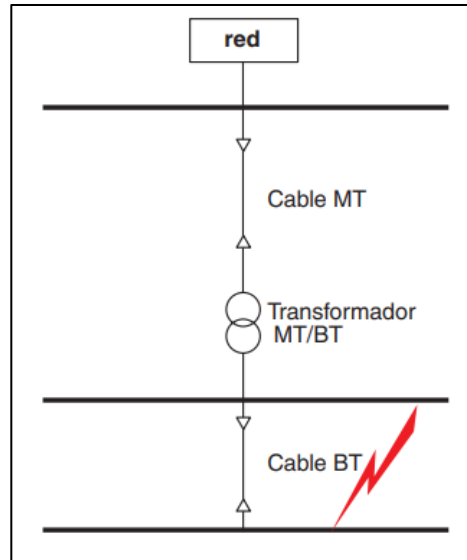
$$I_{k3F} = \frac{c * V_n}{\sqrt{3} * Z_{Tk}}$$

Se considera este valor como la falla que presenta la corriente máxima, cuando hay ausencia de máquinas rotativas (como es el caso del museo nacional de arqueología y etnóloga) puede determinarse que capacidad de corte deben tener los elementos de protección.

2.8.5. Ejemplo cálculo de corriente de cortocircuito

Para la red esquematizada a continuación, se calculará la corriente de cortocircuito simulando una falla, para ello deben calcularse las impedancias de los distintos elementos que conforman el siguiente esquema.

Figura 17. **Esquema de circuito eléctrico para cálculo de corriente de cortocircuito**



Fuente: ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 2 subestaciones transformadoras MT/BT: teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuitos.* https://www.academia.edu/7777048/Cuaderno_de_aplicaciones_t%C3%A9cnicas_no_2_Subestaciones_transformadoras_MT_BT_teor%C3%A1da_y_ejemplos_del_c%C3%A1lculo_de_cortocircuitos. Consulta: 25 de enero de 2020.

Datos:

Valores de cortocircuito red de alimentación:

$$Potencia = S_{knet} = 500 \text{ MVA} \quad Corriente = I_{knet} = 14,4 \text{ kA}$$

Tensión red de alimentación:

$$V_{net} = 20 \text{ kV}$$

Cable MT:

Resistencia $R_{CMT} = 360 \text{ m}\Omega$

Reactancia $X_{CMT} = 335 \text{ m}\Omega$

Potencia nominal transformador $S_{nTR} = 400 \text{ kVA}$

Tensión nominal secundaria del transformador $V_{2n} = 400 \text{ V}$

Prueba de cortocircuito del transformador: $V_{k\%} = 4 \%$ $P_{k\%} = 3 \%$

Cable baja tensión con longitud $L = 5 \text{ m}$

Resistencia cable de baja tensión $R_{CBT} = 0,388 \text{ m}\Omega$

Reactancia cable de baja tensión $X_{CBT} = 0,395 \text{ m}\Omega$

Se procede a calcular la impedancia total para los componentes de la instalación, para poder calcular la corriente de corto circuito trifásica en el lugar de la falla.

Debido a que la falla está del lado de baja tensión los elementos en media tensión deben ser referidos al lado de baja tensión por medio de la siguiente relación:

$$K = \frac{20\,000}{400} = 50$$

Para la red de alimentación:

$$Z_{kred} = \frac{c * V_{red}}{\sqrt{3} * I_{kred}} = \frac{1,1 * 20\,000}{\sqrt{3} * 14,4 \text{ cx } 10^3} = 0,88 \Omega$$

$$Z_{kred\ 400V} = \frac{Z_{kred}}{K^2} = \frac{0,88}{50^2} = 0,00035 \Omega$$

$$X_{kred\ 400V} = 0,995 * Z_{kred\ 400V} = 0,000348 \Omega$$

$$R_{kred\ 400V} = 0,1 * X_{kred\ 400V} = 0,0000348\ \Omega$$

Cable MT:

$$R_{CMT\ 400V} = \frac{R_{CMT}}{K^2} = \frac{360 \times 10^{-3}}{50^2} = 0,000144\ \Omega$$

$$X_{CMT\ 400V} = \frac{X_{CMT}}{K^2} = \frac{335 \times 10^{-3}}{50^2} = 0,000134\ \Omega$$

Transformador:

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 * V_k\%}{100 * S_{nTR}} = \frac{400^2 * 4}{100 * 400 \times 10^3} = 0,016\ \Omega$$

$$P_{PTR} = \frac{P_{K\%} * S_{nTR}}{100} = \frac{3}{100} * 400 \times 10^3 = 12\ kW$$

$$I_{2n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} * V_{n2}} = \frac{400 \times 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 577\ A$$

$$R_{TR} = \frac{P_{pTR}}{3 * I_{2n}^2} = \frac{12\ 000}{3 * 577^2} = 0,012\ \Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{(0,016^2 - 0,012^2)} = 0,0106\ \Omega$$

Cable BT:

$$R_{CBT} = 0,388\ m\Omega$$

$$X_{CBT} = 0,395\ m\Omega$$

Se obtiene el valor de la resistencia total de corto circuito $R_{tk} = \Sigma R$

$$R_{tk} = R_{kred\ 400V} + R_{CMT\ 400V} + R_{TR} + R_{CBT}$$
$$R_{tk} = 0,0000348 + 0,000144 + 0,012 + 0,000388 = 0,01256\ \Omega$$

Se obtiene el valor de la reactancia total de corto circuito $X_{tk} = \Sigma X$

$$X_{tk} = X_{kred\ 400V} + X_{CMT\ 400V} + X_{TR} + X_{CBT}$$
$$X_{tk} = 0,000348 + 0,000134 + 0,0106 + 0,000395 = 0,01147\ \Omega$$

Se calcula la impedancia total de cortocircuito:

$$Z_{tk} = \sqrt{(R_{TK}^2 + X_{TK}^2)} = \sqrt{(0,01256^2 + 0,01147^2)} = 0,017\ \Omega$$

Y suponiendo el factor $c^{(1)} = 1,1$ el valor de la corriente de cortocircuito es:

$$I_{k3F} = \frac{c * V_{2n}}{\sqrt{3} * Z_{tk}} = \frac{1,1 * 400}{\sqrt{3} * 0,017} = 14\ 943A = 14,95\ kA.$$

La corriente de cortocircuito que el elemento de protección debe soportar para que no sufra daños es 14,95 kA.

2.9. Pruebas de transformadores eléctricos

Es necesario que un transformador opere en buenas condiciones durante la puesta en servicio y funcionamiento, son muchas las causas que pueden afectar la vida útil del mismo. Por eso es necesario realizar tanto pruebas de diagnóstico como de monitoreo las cuales ayudan a determinar el estado del transformador, así como tomar medidas adecuadas que garanticen su funcionamiento de manera confiable para que su tiempo de vida útil sea mayor.

2.9.1. Prueba de factor de potencia

Este factor se utiliza con el fin de detectar la humedad, se utiliza como dictamen primordial para evaluar el aislamiento de los arrollamientos del transformador. Este factor relaciona las pérdidas y la carga, depende de las condiciones en que opere el equipo en cuanto a humedad como temperatura. La temperatura del transformador hace que las lecturas varíen por lo cual estas temperaturas deben corregirse que toma como referencia una temperatura de 25 grados centígrados.

Para considerar aceptable el dato para el factor de potencia se deben seguir los posteriores parámetros un 0,5 % para un transformador nuevo hasta 2,0 % para un transformador contaminado o con su aislamiento degradado, que toma siempre como temperatura de referencia 25 °C, cuando se supera el 2 % se debe investigar cual es el motivo del aislamiento débil un ejemplo de esto puede ser que el aceite aislante contenga agua.

El IEEE sugiere pautas para los factores de potencia según el tipo de aceite y la unidad que se está con el uso de (IEEE C57, 106-1991) algunos valores representativos se dan a continuación.

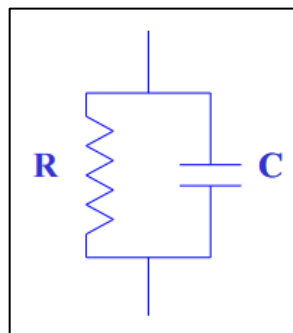
Tabla XII. **IEEE C57,106-1991 valores representativos factor de potencia**

Color y Aspecto Visual		
Tipo de aceite/unidad	Color	Aspecto visual
Aceite mineral recibido de la refinería	0.5 máx.	Brillante y Claro
Aceite nuevo de equipo nuevo		
≤ 69 kV.	1.0 máx.	Brillante y Claro
69 – 288 kV.	1.0 máx.	Brillante y Claro
> 345 kV.	0.5 máx.	Brillante y Claro
Aceite nuevo para Interruptores	0.5 máx.	Brillante y Claro
Límite sugerido para aceite en Interruptores	2.0 máx.	Sin Carbón Excesivo

Fuente: ESTRADA, Pedro. *Diseño de la instalación de alta y baja tensión para la conexión del transformador de potencia en reserva y acoplamiento a los campos de línea de la central hidroeléctrica de Chixoy.* p. 34.

El esquema de la prueba se representa como la conexión en paralelo de una resistencia y un capacitor.

Figura 18. **Representación prueba de factor de potencia**

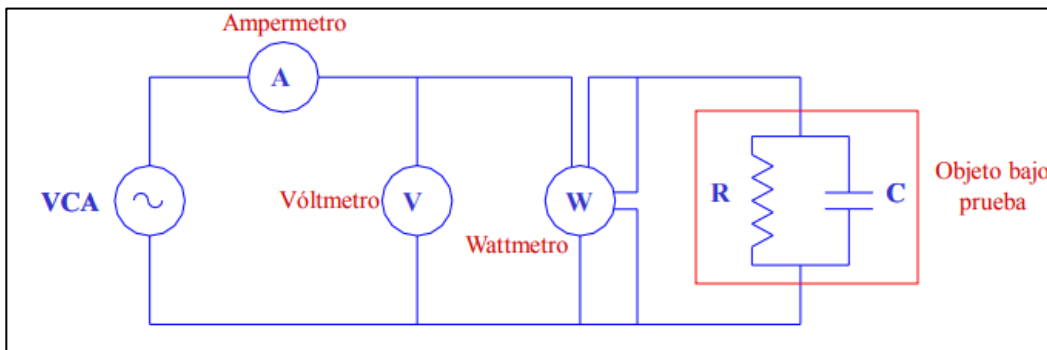


Fuente: Tecsa. *Pruebas de subestaciones.*

http://www.tecsaagro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

Para esta prueba se aplica voltaje de corriente alterna al elemento en cuestión luego se mide la corriente, voltaje y potencia como se indica en la figura siguiente.

Figura 19. **Medición del factor de potencia**



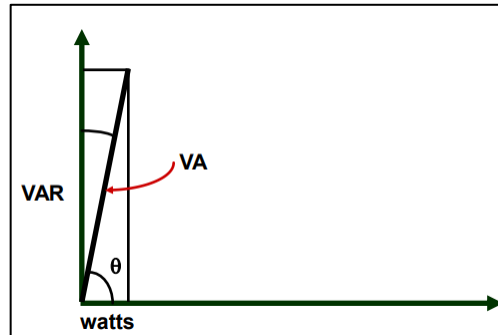
Fuente: Tecsa. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

Como se observa en la figura, el wattmetro mide la potencia activa, para obtener la potencia reactiva se multiplica el voltaje medido con el voltímetro y la corriente medida con el amperímetro.

Luego se utiliza el triángulo de potencias para calcular cual es el factor de potencia con el uso de las mediciones realizadas.

Figura 20. **Triángulo de potencias**



Fuente: Tecsa. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsagro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

El eje X representa la potencia activa, esta es potencia que se disipa en la parte resistiva del devanado el eje Y representa la potencia reactiva que se consume en el aislamiento como reactiva capacitiva la suma de estos dos vectores da como resultante la potencia aparente (VA).

El factor de potencia se define como el coseno del ángulo formado por la potencia activa y la potencia aparente este puede calcularse con el uso de la siguiente fórmula.

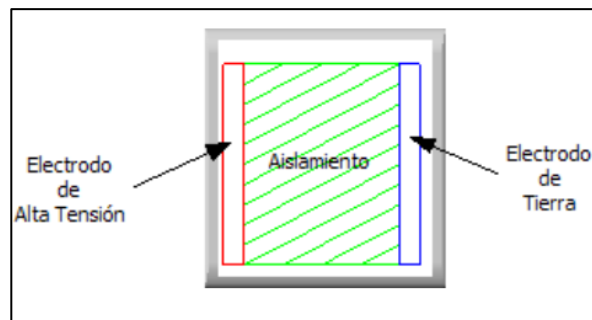
$$\text{Factor de potencia} = \cos \theta = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}} = \frac{\text{watts}}{VA}$$

El valor de factor de potencia no tiene dimensionales.

2.9.2. Prueba de resistencia de aislamiento

El aislamiento de cualquier equipo se puede representar como dos electrodos separados por un material aislante, un ejemplo puede ilustrarse en un conductor, el electrodo de alta tensión es el conductor que lleva corriente y el electrodo de tierra es el blindaje del propio conductor.

Figura 21. **Asilamiento de un cable**

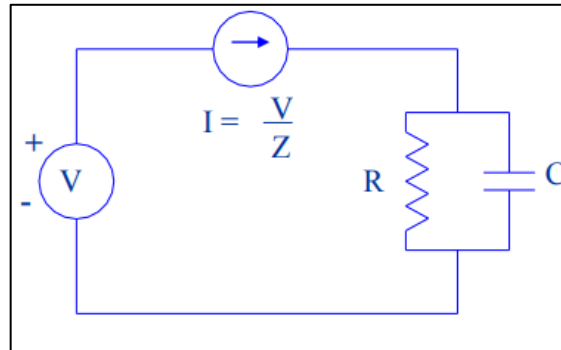


Fuente: Tecsqa. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsqa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

Para los transformadores, la analogía de la prueba es que cada devanado forma un electrodo; estos se conectan de distintas maneras para probar sus aislamientos; para esto se aplica un voltaje en cada devanado; luego, se mide la corriente del circuito; el equipo de prueba está integrado por una fuente de corriente continua y un medidor de corriente que circula el circuito.

Figura 22. **Esquema de conexión prueba de resistencia de aislamiento**



Fuente: Tecsá. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

El elemento al que se le realiza la prueba está representado como una resistencia que está conectada en paralelo a un capacitor. La corriente que por el circuito circula no solo depende de la resistencia, también, de la capacitancia.

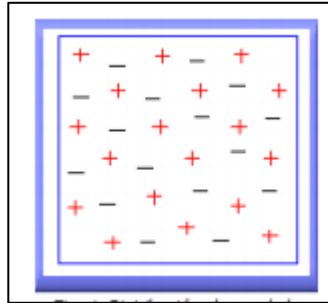
Al realizar la prueba de resistencia de aislamiento el sistema se comporta de acuerdo con dos efectos: el resistivo y el capacitivo.

El efecto resistivo del aislamiento se comporta de acuerdo con la ley de ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

En un aislamiento al cual no se le ha aplicado ningún voltaje sus cargas eléctricas se encuentran distribuidas al azar, cuando a este se le emplea un voltaje sus cargas tienden a alinearse.

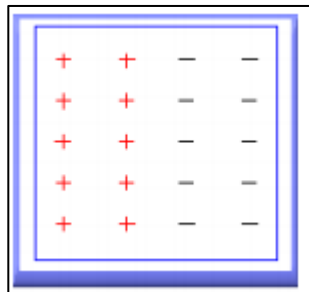
Figura 23. **Distribución al azar de las cargas eléctricas**



Fuente: Tecsca. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

Figura 24. **Polarización de las cargas en presencia de campo eléctrico**



Fuente: Tecsca. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

Este fenómeno es conocido como polarización, al principio se requiere de una gran cantidad de energía para polarizar el aislamiento; a medida que esto avanza se requiere de menos energía para desplazar las cargas hasta que se llega a un valor constante solo para mantener las cargas en su lugar, el

comportamiento de la corriente es decreciente dando lugar a los índices de polarización y absorción.

Existen tres criterios para determinar si el valor del aislamiento se encuentra en buenas condiciones:

- Por el valor de resistencia de aislamiento a los 10 minutos
- Por el índice de polarización
- Por el índice de absorción

Cuando se utiliza el valor de resistencia de aislamiento a los 10 minutos se debe comparar con los datos brindados en la siguiente tabla.

Tabla XIII. Valores de resistencia de aislamiento según voltaje entre fases de transformador norma ANSI/IEEE C57.12.91

Voltaje entre fases del Transformador	Valor mínimo recomendado	Voltaje entre fases del Transformador	Valor mínimo recomendado
1.2 kV	32	46.0 kV	1240
2.5 kV	68	69.0 kV	1660
5.0 kV	135	115.0 kV	3100
8.6 kV	230	138.0 kV	3720
15.0 kV	410	161.0 kV	4350
25.0 kV	670	196.0 kV	5300
34.5 kV	950	230.0 kV	6200

Fuente: Tecsa. *Pruebas de subestaciones.*

http://www.tecsagro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 26 de enero de 2020.

El índice de polarización se define como el resultado de dividir la resistencia de aislamiento medida a los 10 minutos con la medida al primer minuto.

$$\text{Índice de polarización} = \frac{\text{Resistencia de aislamiento en 10 min}}{\text{Resistencia de aislamiento en 1 min}}$$

Este índice muestra el grado de polarización que posee el aislamiento; en cuanto mayor sea este se determina que el aislamiento está operando en buenas condiciones, es decir, se encuentra menos contaminado y más seco. Se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2,0 basado en norma ANSI/IEEE C57.12.91.

El índice de absorción es el resultado de dividir la resistencia de aislamiento al primer minuto entre la resistencia de aislamiento a los 30 segundos.

$$\text{Índice de absorción} = \frac{\text{Resistencia de aislamiento en 1 minuto}}{\text{Resistencia de aislamiento en 30 segundos}}$$

Este índice representa el grado de absorción que posee el aislamiento en cuanto mayor sea este valor el aislamiento se encontrara operando en mejores condiciones, es decir, esta menos contaminado y más seco. Se recomienda que este índice sea mayor a 1,5 basado en norma ANSI/IEEE C52.12.91.

2.9.3. Prueba de relación de transformación

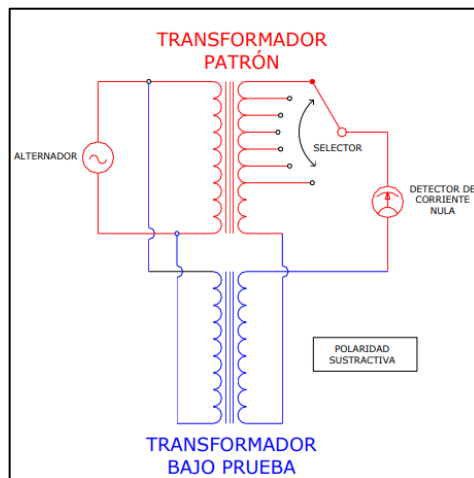
Esta prueba tiene como meta comprobar cuál es la polaridad y relación de transformación de los arrollamientos en un transformador con el fin de asegurar que no existan cortos-circuitos entre los devanados ni malas conexiones de las

boquillas ni de los cambiadores de taps. Pueden detectarse también con esta prueba falsos contactos, así como circuitos abiertos, también permite comprobar cuál es el esquema de conexión de transformadores o determinarlos cuando no se conoce el mismo.

Para esta prueba se utiliza un TTR que significa probador de relación de transformación este equipo lo integra un transformador que contiene una gran cantidad de derivaciones al cual se le denomina transformador patrón el cual permite tener varias relaciones de transformación.

El devanado primario del transformador patrón y del transformador bajo prueba se conectan en paralelo el transformador patrón tiene una fuente de corriente alterna conectada a su devanado primario que excita ambos devanados primarios.

Figura 25. **Esquema de conexión del TTR**



Fuente: Tecsa. *Pruebas de subestaciones*.

http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf. Consulta: 4 de febrero de 2020.

En los devanados secundarios se induce un voltaje que está relacionado con el número de espiras de cada transformador, se ajusta el seleccionador que contiene el transformador patrón haciendo que el voltaje de los dos secundarios sea igual cuando esto sucede la corriente que circula por el amperímetro será cero y se puede leer cual es la relación de transformación que el instrumento indica.

Luego se debe calcular la relación de transformación teórica

$$\text{Relación de transformación} = \frac{\text{Voltaje de alta tensión}}{\text{voltaje de baja tensión}}$$

Cuando se conocen ambas relaciones de transformación se procede a utilizar la fórmula siguiente.

$$\frac{\text{Rel. de transformación calculada} - \text{Rel. de transformación medida}}{\text{Rel. de transformación calculada}} \times 100 < 0,5$$

Para que se considere un resultado de prueba satisfactorio el valor calculado debe ser menor a 0,5 basado en norma ANSI/IEE C57.12.91. Cabe destacar que el resultado de esta operación puede ser positivo o negativo por lo cual debe tomarse como valor absoluto.

2.9.4. Prueba de resistencia óhmica de devanados

Con esta prueba se pueden determinar el total de pérdidas en un transformador en ella pueden identificarse conexiones eléctricas pobres o lugares donde la resistencia de los devanados es alta, esta prueba puede ser aplicada a distintos transformadores, para esta medición se emplea un óhmetro.

Los datos obtenidos con las mediciones realizadas en esta prueba tienen que ser similares para todas las fases cualquier discrepancia entre ellas significara que existe alguna conexión floja interna en la fase que se mida mayor resistencia esto provocará que presente calentamiento y reducirá la vida útil del equipo.

2.9.5. Prueba de potencial o rigidez dieléctrica

El objetivo de esta prueba es determinar las condiciones del aceite aislante de un transformador, la rigidez dieléctrica se define como el voltaje mínimo con el cual se crea un arco eléctrico entre dos electrodos; esto indica en qué condiciones se encuentra el aceite aislante para tolerar esfuerzos eléctricos, se detecta así si el aceite aislante se encuentra contaminado esto se determina si su nivel de rigidez electrostática es bajo. El aparato para realizar esta prueba contiene los siguientes elementos.

- Un transformador
- Un regulador de voltaje (0-60 kV)
- Un interruptor
- Un voltímetro
- Una copa de prueba con dos electrodos pla

Para un aceite en operación el valor admitido de rigidez electrostática es de 25 kV según la norma ASTM D1816-97 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

2.10. Termografía infrarroja

Es un método no invasivo que es utilizado para realizar mantenimiento predictivo a diferentes equipos está basado en la detección de radiación infrarroja emitida por los cuerpos con una temperatura superior a cero absoluto (0 °k) esta radiación infrarroja tiene relación con la temperatura por lo que cuando mayor sea esta radiación mayor es la temperatura del elemento, con este método se obtiene una imagen térmica a la cual se le denomina termograma en el cual se observa la distribución de calor en todo el objeto así como sus distintos niveles de temperatura.

Esta imagen puede ser captada a una distancia que no represente peligro en un objeto que se encuentra estático o moviéndose esto es de gran importancia debido a que se pueden tener valores elevados de temperatura, corrientes eléctricas o cualquier otra situación que represente un riesgo para la persona que toma la medida para aplicar termografía pueden utilizarse dos técnicas la técnica activa y pasiva.

2.10.1. Técnica activa

Consiste en incidir radiación infrarroja en un elemento con el fin de inducir calor sobre la superficie de este, si se tiene alguna anomalía interna el calor en la superficie de este no será uniforme esto puede dar un indicio que existe alguna falla en el mismo.

2.10.2. Técnica pasiva

Para esta técnica no se necesita una fuente exterior de radiación debido a que el mismo objeto por la influencia con su entorno o por el funcionamiento de

este genera radiación infrarroja, esto produce modelos de temperatura que pueden ser medidos y poder indicar si hay alguna falla en el mismo.

2.10.3. Termograma

Es una representación térmica que se da como resultado de una radiación infrarroja de un objeto obtenida por medio de un equipo el cual integra una video cámara, termómetros ópticos y determinados algoritmos que tienen como finalidad obtener información precisa de las temperaturas en una imagen.

2.10.4. Cámara termográfica

Es un equipo cuya función es medir las emisiones infrarrojas de un objeto con el fin de determinar su temperatura y obtener una imagen térmica la cual pueda ser objeto de distintos análisis para determinar las posibles fallas en un equipo.

2.10.5. Medición de temperatura en componentes eléctricos

Para realizar inspecciones termográficas en instalaciones eléctricas se debe utilizar un método el cual hace comparación a diferentes objetos llamado medición con referencia en el cual se comparan las diferentes fases de la instalación.

Se hace una medición de las tres fases para y se determina si un punto presenta un patrón de temperatura diferente a los demás un patrón normal de temperatura está dado por los diferentes elementos que transportan corriente los cuales poseen una temperatura de operación dada por el fabricante.

2.11. Tipos de puntos calientes que pueden detectarse

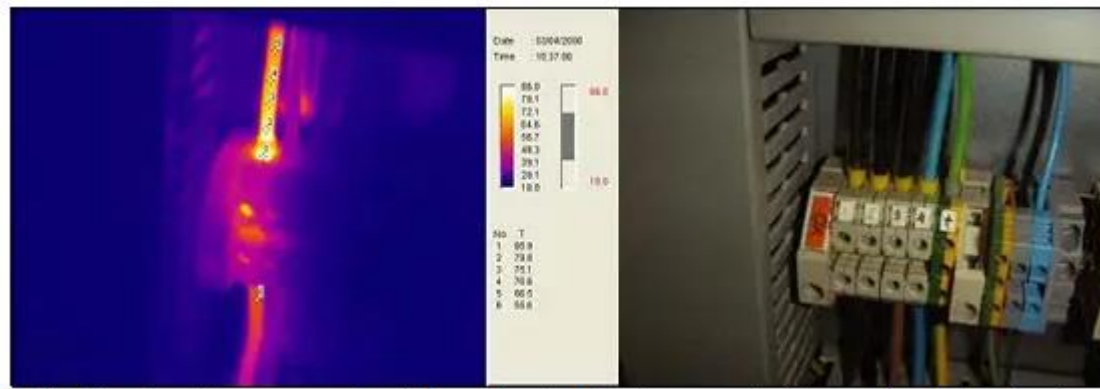
Cuando se realiza una inspección termográfica en una instalación eléctrica se determina si existe diferencia de temperatura en los distintos elementos a analizar, no necesariamente excesos de calor; también, si un elemento no emite calor esto podría indicar que este no se encuentra en funcionamiento un termograma detecta un punto de calor el cual puede ser provocado por alguna de las siguientes razones.

- aumento de resistividad por malos contactos.
- Sobrecarga en elementos eléctricos y conductores.
- Perturbaciones debido a componentes armónicos en el sistema eléctrico
- Desequilibrio de fases.

2.11.1. aumento de resistividad por malos contactos

Este incremento de temperatura se da por el efecto joule provocado por un crecimiento de resistencia esto puede estar ocasionado por malas conexiones, terminales flojas etc. Cuando esto sucede se da un crecimiento de temperatura en esa parte de la instalación dando como resultado un punto caliente, en el termograma se puede ver que la temperatura en ese punto será mayor que en los demás la temperatura va disminuyendo conforme se aleja de este punto.

Figura 26. **Termograma disminución progresiva de temperatura en relación con la distancia al punto caliente**



Fuente: Indunova. *Termografía*. <https://indunova.es/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico>. Consulta: 4 de febrero de 2020.

En las instalaciones eléctricas es muy común que los falsos contactos se den entre conductores eléctricos y componentes del sistema como interruptores, barras, fusibles etc. Esto puede provocar un aumento constante de temperatura que puede llegar a destruir los componentes eléctricos, la termografía infrarroja puede llegar a detectar esta falla antes que provoque daños a la instalación eléctrica por su característica predictiva.

2.11.1.1. Causas que provocan falsos contactos

Son muchas las causas que pueden provocar falsos contactos en la instalación; a continuación, se describen las causas más frecuentes.

2.11.1.1.1. Tornillería mal apretada

Esto puede provocar un crecimiento de resistencia y por ende de temperatura, un tornillo flojo en una fase de un interruptor se traduce en menor área de contacto por lo tanto una disminución de sección, un tornillo muy apretado puede provocar una ruptura parcial al conductor provocando también una disminución de la sección del conductor, estas causas provocaran un aumento de resistencia creando un sobrecalentamiento en la conexión. Por lo que en los planes de mantenimiento se debe cerciorar que no existan falsos contactos o tornillos flojos en la instalación eléctrica.

2.11.1.1.2. Corrosión o suciedad en los contactos

Se da por factores ambientales, debido a que las instalaciones eléctricas están hechas con materiales metálicos estos pueden presentar corrosión o suciedad provocando que se exista mal contacto entre los componentes y esto puede provocar un sobrecalentamiento en los mismos. Por lo que se debe limpiar las zonas de contacto cuando se detecta una mala conexión.

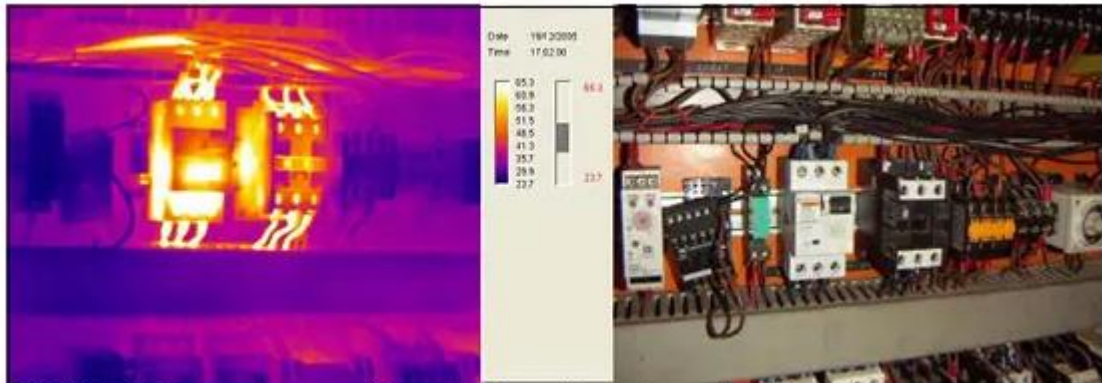
2.11.1.1.3. Pérdida de sección

Puede producir deterioros parciales en el conductor, en las líneas de media y alta tensión esto es un problema serio que produce aumento de temperatura esto provoca mayor pérdida de la sección del conductor terminando en la ruptura de este una causa que provoca el deterioro de líneas es el efecto corona.

2.11.2. Sobrecarga en componentes eléctricos y conductores

Es una causa del crecimiento de resistividad, todos los componentes eléctricos tienen especificaciones técnicas las cuales indican la corriente máxima que soportan, cuando esta corriente es superada los componentes tienden a calentarse indicando una situación de sobrecarga. En un conductor eléctrico puede determinarse cuando la temperatura a lo largo del mismo es de un valor mayor comparado con otro de sus mismas características que no esté sobrecargado. Una forma de analizar estas temperaturas es comparándolas con componentes o equipos similares de otras mediciones esto permite realizar la inspección con mayor rapidez.

Figura 27. Termografía dispositivo sobrecargado



Fuente: Indunova. *Termografía*. <https://indunova.es/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico>. Consulta: 4 de febrero de 2020.

2.11.3. Perturbaciones debido a componentes armónicos en el sistema eléctrico

Muchas veces la forma de onda fundamental de voltaje y corriente no tiene una forma sinusoidal pura esto da por que en la instalación eléctrica se encuentran cargas no lineales (dispositivos electrónicos) las cuales causan perturbaciones en dichas ondas generado los denominados armónicos. Estos pueden producir calentamientos en conductores produciendo envejecimiento en los aislantes de los conductores debido a que se dan pérdidas mayores.

En una inspección termográfica se da el caso frecuente que se detecta una temperatura elevada en los conductores neutros con respecto a las fases, en sistemas eléctricos desequilibrados las corrientes de armónicos en el neutro se suman por lo que este puede llegar a calentarse hay que ser cuidadoso y no confundir esta falla con un mal contacto.

2.11.4. Desequilibrio de fases

Cuando las fases de una instalación eléctrica no están equilibradas suelen provocar problemas térmicos, mismos que pueden detectarse con una inspección termográfica. En un sistema trifásico las tres fases deben estar equilibradas, es decir, tanto voltajes como corrientes deberían ser simétricos. El desequilibrio se da porque la carga en una fase es superior comparada con las demás, esto puede darse por cargas monofásicas que están mal repartidas o bien por que una fase presenta fallo a tierra.

Suele suceder que en una instalación eléctrica se sumen cargas monofásicas como las de iluminación, al no estar bien repartida esta carga en las fases una de ellas puede quedar con mayor carga, cuando esto sucede en

el termograma puede notarse que una fase se encuentra a mayor temperatura que las demás, de igual forma puede llegar a mal interpretarse como un falso contacto una forma de corroborar esto es que toma la medición de corriente con un amperímetro y determinar si la corriente en esa fase es superior a las demás.

2.11.5. Variación de emisividad

Cuando existen diferentes conductores con diferentes valores de emisividad en una instalación eléctrica la emisión de temperatura en los diferentes conductores se presta a confusión en la interpretación de un termograma debido a las diferentes tonalidades en los puntos calientes. El número de emisividad se mide en una escala que va de cero a uno, el cero significa que la superficie es tan brillante para el infrarrojo que lo que vera es la reflexión infrarroja de otro lugar, mientras que una emisividad uno la cámara detectará una imagen reamente buena de calor y obtendrá una temperatura más real los valores de emisividad para superficies comunes son los siguientes.

Tabla XIV. **Emisividad para superficies comunes**

Tabla 1 – Valores de Emisividad para Superficies Comunes	
Material	Emisividad
Agua	0.98
Hielo	0.97
Cinta eléctrica, plástico negro	0.95
Pintura, aceite, promedio	0.94
Papel, negro, apagado	0.94
Goma	0.93
Concreto	0.92
Porcelana, glaseada	0.92
Papel de alquitrán	0.92
Papel, blanco	0.90
Laca, negra, brillante	0.87
Goma de Laca, negra, brillante	0.82
Hierro fundido, fundición áspera	0.81
Hierro, oxidado	0.74
Acero, rojo óxido	0.69
Hierro, hoja galvanizada, pulido	0.23
Latón, apagado, empañado	0.22
Hierro fundido, pulido	0.21
Acero, hoja, niquelado	0.11
Aluminio, superficie áspera	0.07
Cobre, empañado comercial	0.07

Fuente: Realiabilityweb.com *Cómo funciona el número de emisividad.*

<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/una-guia-practica-para-emisividad-en-inspecciones-infrarrojas>. Consulta: 8 de febrero de 2020.

2.11.6. Normas de termografía

Como en todas inspecciones y pruebas realizadas a equipos eléctricos no solo es necesario saber identificar las distintas fallas que pueden detectarse con los equipos si no también debe acudir a normas para poder determinar rangos de operación de los equipos esto con el fin de determinar si el equipo se

encuentra funcionando dentro de lo que se considera normal o necesita que se le de atención inmediata a la falla.

Para el caso de termografía no es la excepción existen normas que indican los rangos de temperatura adecuados para los componentes eléctricos estas temperaturas pueden tomar como referencia la temperatura ambiente o la temperatura de operación de equipos que se sabe están funcionando de forma correcta.

Una de estas normas utilizadas en termografía es la US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988). Esta norma clasifica las anomalías térmicas en cuatro niveles, que toma como base la temperatura ambiente de operación de los equipos.

Tabla XV. **Rangos de temperatura según norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988)**

Deseable	10 °C a 24 °C sobre temperatura ambiente
Importante	25 °C a 39 °C sobre temperatura ambiente
Mandatorio	40 °C a 69 °C sobre temperatura ambiente
Critico	70 °C sobre temperatura ambiente

Fuente: Norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988). *Procedimiento de encuesta por imagen térmica infrarroja para equipos eléctricos*. <https://es.scribd.com/document/388110840/MIL-Std-2194-Infrared>. Consulta: 8 de febrero de 2020.

Otra norma utilizada en termografía es la norma NETA, Inter-National Electric Testing Association, Esta norma establece cuatro niveles de severidad para evaluar la condición de sistemas eléctricos que toma en consideración el diferencial de temperatura entre componentes, es decir, evalúa la diferencia de

temperatura de un equipo funcionando correctamente con un equipo que pudiera presentar una falla.

Tabla XVI. **Rangos de temperatura según norma NETA, Inter-National Electric Testing Association**

Normal	$\Delta T \leq 10^{\circ}\text{C}$
Reparar cuando el tiempo lo permita	$11^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq \text{de } 20^{\circ}\text{C}$
Reparar tan pronto sea posible	$20^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq \text{de } 40^{\circ}\text{C}$
Reparar de inmediato	$\Delta T > 40^{\circ}\text{C}$

Fuente: Norma NETA, Inter-National Electric *Testing Association*. *Standard for acceptance testing specifications for electrical power equipment and systems*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/NETAWORLD/b556aa55-69b4-41d3-82c2-217458e111eb/UploadedImages/Documents/preview_ansi-neta_ats-2017_e.pdf. Consulta: 8 de febrero de 2020.

Con estas normas es posible hacer una evaluación de las instalaciones eléctricas y que depende de los rangos de temperatura de los equipos a se pueden tomar decisiones para detecta fallas antes que estas lleguen a provocar daños en la instalación, esta es la ventaja que ofrece la termografía poder detectar fallas a tiempo.

2.11.7. Relación corriente temperatura

Se puede tratar de encontrar una relación entre la temperatura de un conductor eléctrico y la corriente que circula por él para trazar un modelo se debe conocer cómo se comporta la resistencia del conductor en relación con la temperatura también es necesario conocer cómo se comportan las pérdidas por efecto joule en un conductor las cuales se dan en forma de calor.

2.11.7.1. Relación resistencia temperatura

La resistencia de los materiales metálicos depende de la resistividad de este y esta a su vez está sujeta a la temperatura, la resistencia se comporta de manera no lineal cuando aumenta la temperatura. La temperatura a su vez está sujeta a la corriente eléctrica, cuando la corriente aumenta la temperatura aumenta entonces la resistencia también aumenta esta última limita la corriente.

Este calentamiento sucede por un fenómeno llamado efecto Joule el cual se da porque se energía en forma de calor este fenómeno se da en los conductores eléctricos por los cuales circula corriente, los conductores se fabrican de distintas áreas transversales, cuando más corriente se prevé que va a fluir por ellos mayor debe ser su sección. Ningún conductor eléctrico tiene resistencia cero por lo tanto cuando fluye una corriente en ellos se eleva su temperatura perdiendo así energía en forma de calor.

Un elemento que es importante conocer para el cálculo de una resistencia es la resistividad puede definirse como la oposición a la corriente eléctrica que un material presenta por unidades de longitud y superficie, la resistividad del material es muy importante, esta indicara si es buen conductor o si es un buen aislante cada material ofrece una distinta resistividad por ejemplo el cobre es un material muy utilizado para la fabricación de conductores eléctricos su resistividad es $1,7 \times 10^{-8}$ ohm-m. La resistencia en un conductor de metal crece al incrementar la temperatura esto depende también del coeficiente térmico de resistividad (α) este se define como el cambio de resistividad por grado centígrado de variación a 0° o a 20°C para calcular la resistencia cuando la temperatura varia se utiliza la fórmula siguiente:

$$R = R_o(1 + \alpha t)$$

Donde:

R= resistencia a para cierta temperatura

R_o = resistencia a la temperatura de referencia (generalmente 20 °C)

α = coeficiente de temperatura de la resistencia (a 20 °C)

t= temperatura en grados centígrados.

Otra forma de representar la fórmula anterior es colocándola en términos de resistividad:

$$\rho_o = \rho_{20^{\circ}C} + \rho_{20^{\circ}C} \cdot \alpha(T - 20^{\circ}C)$$

Donde:

α = coeficiente de temperatura a 20 °C

ρ_o = resistividad a temperatura deseada

$\rho_{20^{\circ}C}$ = resistividad a 20 °C

T = temperatura a la que se desea determinar la resistividad

Estos valores pueden adquirirse por medio de la tabla siguiente:

Tabla XVII. Resistividad y coeficientes de temperatura

MATERIAL	RESISTIVIDAD A 20 °C ρ ($\Omega\text{-m}$)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA α (1/°C)
Plata	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Cobre	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Aluminio	2.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsteno	5.5×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Hierro	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Plomo	22×10^{-8}	4.3×10^{-3}
Mercurio	96×10^{-8}	0.9×10^{-3}
Nicrón	100×10^{-8}	0.4×10^{-3}
Carbono	35000×10^{-8}	-0.5×10^{-3}
Germanio	0.45	-48×10^{-3}
Silicio	640	-75×10^{-3}
Madera	$10^8\text{-}10^{14}$	-
Vidrio	$10^{10}\text{-}10^{14}$	-
Goma dura	$10^{13}\text{-}10^{16}$	-
Ambar	5×10^{14}	-
Azufre	10^{15}	-

Fuente: Sapiensman.com. *Conceptos de electrotecnia para aplicaciones industriales.*

<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas3.htm>. Consulta: 8 de febrero de 2020.

2.11.7.2. Relación corriente y resistencia

La relación entre la corriente que atraviesa un conductor con la resistencia de este se expresa a través de la ley de ohm la cual relaciona voltaje, corriente y resistencia. La ley de ohm indica que la corriente que fluye a través de un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito, siempre que se mantenga constante la temperatura.

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

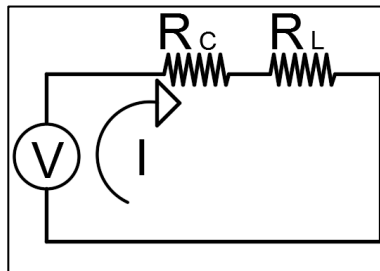
I= corriente (amperios)

V= voltaje (voltios)

R= resistencia (ohms)

Por lo que, para saber el comportamiento de la resistencia en un conductor, cuando por el circulan diferentes corrientes debe conocerse el voltaje que este presentará en sus extremos, esto dependerá de la carga que este instalada en el circuito, se puede representar un circuito formado por una fuente de voltaje y dos resistencias, una resistencia de la carga conectada en serie con la resistencia del conductor.

Figura 28. **Circuito con resistencia de la carga y resistencia del conductor**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

R_c es la resistencia del conductor y R_L es la resistencia de la carga instalada, al analizar el circuito se puede obtener la siguiente ecuación:

$$V = IR_c + IR_L$$

También puede escribirse en términos de voltajes que queda de la siguiente forma:

$$V = V_{RC} + V_{RL})$$

Para conocer el voltaje en el conductor se procede a despejar esta variable de la fórmula:

$$V_{RC} = V - V_{RL}$$

Realizando mediciones de voltaje en la fuente y en la carga pueden obtenerse estos valores y así determinar el voltaje del conductor, una vez conocido este valor quedara como una constante en la fórmula de la ley de ohm por lo que despejando la resistencia se obtiene la siguiente fórmula.

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I}$$

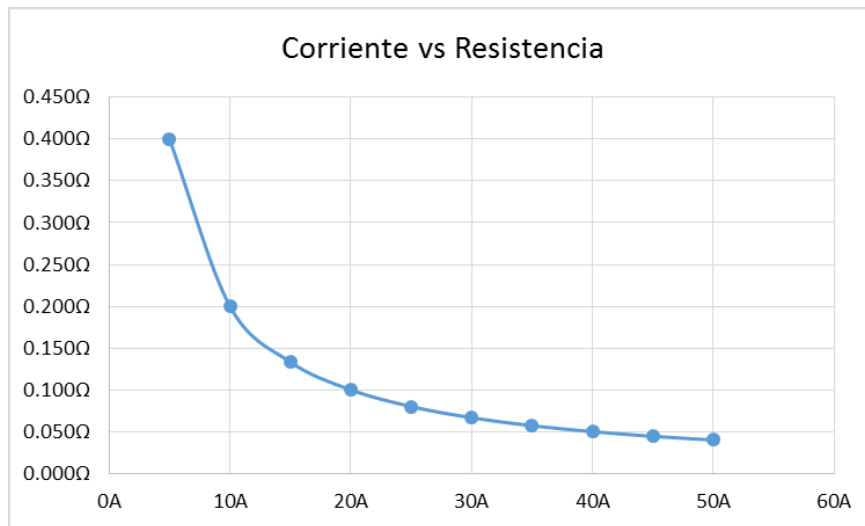
Por lo que se obtiene una fórmula de la resistencia del conductor la cual depende de la corriente que lo atraviese, tal y como lo describe la ley de ohm la resistencia decaerá conforme la corriente aumente, si un voltaje del conductor de 2 voltios se puede obtener un gráfico que indicará el comportamiento de la resistencia del conductor que depende de la corriente que circule por este.

Tabla XVIII. **Resistencia y corriente**

Corriente	Resistencia
5A	0,400Ω
10A	0,200Ω
15A	0,133Ω
20A	0,100Ω
25A	0,080Ω
30A	0,067Ω
35A	0,057Ω
40A	0,050Ω
45A	0,044Ω
50A	0,040Ω

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Gráfico corriente vs resistencia en un conductor**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa, conforme la corriente aumenta la resistencia del conductor disminuye tal y como lo describe la ley de ohm.

2.11.7.3. Efecto Joule

Cuando transita corriente por un conductor, la temperatura de este se eleva esto se debe al choque de los electrones con las moléculas del conductor esto hace que la energía cinética se transforme en calor, el efecto Joule está definido de la forma siguiente: la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que esta circula por el conductor y la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente. Se puede expresar a través de la fórmula siguiente:

$$Q = I^2 R t$$

Donde:

Q = energía calorífica producida por la corriente (Joules)

I = corriente que circula por el conductor

R = resistencia del conductor

T = tiempo

Bajo este concepto funcionan muchos equipos que producen calor como hor, tostadoras, calentadores de agua, estufas eléctricas, entre otros. Sin embargo, hay aplicaciones en las cuales este efecto no se desea como en los conductores en instalaciones eléctricas dado que tanto el material del conductor como el aislante tienen un límite térmico el cual no debe sobrepasarse para que estos no sufran daños.

Otro término importante para energía calorífica es el calor específico, este es la cantidad de calor que se transfiere a un cuerpo con el fin de elevar un

grado de temperatura, un gramo de la masa total, la energía calorífica puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$Q = Ce * m * \Delta T$$

Donde:

Q = energía calorífica en calorías

Ce = calor específico Cal/g*°C

m = masa del cuerpo en gramos

ΔT = incremento de la temperatura en grados Celsius

Que depende del material así será el calor específico

Tabla XIX. **Calores específicos**

Sustancia	c [J/(g°C)]	c [cal/g°C]
Agua	4.182	1.0
Aire seco	1.009	0.241
Aluminio	0.896	0.214
Bronce	0.385	0.092
Cobre	0.385	0.092
Concreto	0.92	0.22
Hielo (a 0°C)	2.09	0.5
Plomo	0.13	0.031
Vidrio	0.779	0.186
Zinc	0.389	0.093

Fuente: CHASQUI, José; HOYOS, Pedro. *Determinación del calor específico de los metales.*

<http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/File:Tabc.png>. Consulta: 21 de febrero de 2020.

2.11.7.4. Propiedades térmicas del cobre y el aluminio

Tanto el cobre como el aluminio son dos de los metales más consumidos en el mundo uno de los usos principales es en el sector eléctrico, para la construcción de cables eléctricos como diferentes piezas para componente eléctricos dado que por ellos transita corriente eléctrica tiende a producirse efecto joule, un porcentaje de energía cinética de los electrones se transforma en calor dado al choque que sufren los átomos del material conductor por el cual transitan aumentando su temperatura, si la corriente que transita por ellos es alta y se mantiene por un tiempo prolongado esta genera calor el cual al sobrepasar o acercarse al límite térmico dado por el fabricante, suele provocar que estos elementos se deformen.

La capacidad de los metales para conducir corriente eléctrica disminuye a medida que la temperatura aumenta debido a que aumentan las vibraciones de los átomos y esto tiende a romper el flujo de electrones. Todos los metales poseen un punto de fusión el cual se define como la temperatura a la cual un material pasa de estado sólido a estado líquido, es decir, se funde, también existe el punto de solidificación que sucede cuando un metal pasa del estado líquido a estado sólido.

Figura 30. **Punto de fusión metales más utilizados**

Metal	Grados cent	Metal	Grados cent
Aluminio	657	Manganeso	1245
Antimonio	629.5	Mercurio	39.4
Arsénico	450	Níquel	140-1450
Bismuto	269	Oro	1063
Cadmio	320.9	Plata	960.5
Cobre	1083	Platino	1764
Estaño	231.9	Plomo	327
Fosforo	44	Silicio	1100.1300
Hierro	1350-1500	Telurio	282.02
Magnesio	632.7	Zinc	419.4

Fuente: Full mecánica. *Definición y conceptos de mecánica.*

[://www.fullmecanica.com/component/content/article/31-uncategorised/1725-aleaciones-preparacion](http://www.fullmecanica.com/component/content/article/31-uncategorised/1725-aleaciones-preparacion). Consulta: 28 de febrero de 2020.

Cuando se eleva la temperatura de los metales suele darse un efecto llamado dilatación el cual se define como el aumento de volumen que experimentan los cuerpos al elevar su temperatura, se suele expresar por el aumento unitario de longitud que sufre un metal al aumentar un grado su temperatura.

2.11.7.4.1. Dilatación lineal

Esta se produce cuando predomina una dimensión frente a las otras dos (superficie y volumen) los cuerpos que se dilatan linealmente son las varillas, alambres, barras, entre otros. La dilatación lineal puede expresarse a través de la siguiente fórmula.

$$I = I_0 * (1 + \lambda * \Delta T)$$

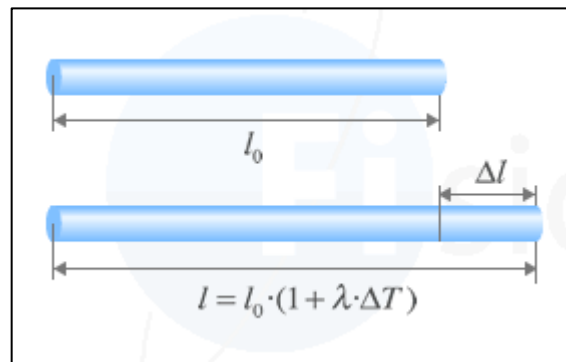
Donde:

l, l_0 = longitud final e inicial respectivamente del cuerpo.

λ = coeficiente de dilatación específico, representa el alargamiento que experimenta la unidad de longitud de un sólido.

ΔT = incremento de temperatura que experimenta un cuerpo.

Figura 31. **Dilatación de barras o alambres**



Fuente: Fisicalab. *Delimitación térmica*. <https://www.fisicalab.com/apartado/dilatacion-termica>.

Consulta: 28 de febrero de 2020.

El coeficiente de dilatación lineal típico de distintos materiales es el siguiente:

Tabla XX. **Valores típicos coeficiente de dilatación lineal**

Material	Coeficiente dilatación lineal λ (K^{-1} o $^{\circ}C^{-1}$)
Plata	$3 \cdot 10^{-5}$
Plomo	$2.9 \cdot 10^{-5}$
Zinc	$2.6 \cdot 10^{-5}$
Aluminio	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Oro	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Vidrio	$0.9 \cdot 10^{-5}$
Diamante	$0.12 \cdot 10^{-5}$
Cuarzo	$0.04 \cdot 10^{-5}$

Fuente: Fisicalab. *Delimitación térmica*. <https://www.fisicalab.com/apartado/dilatacion-termica>.

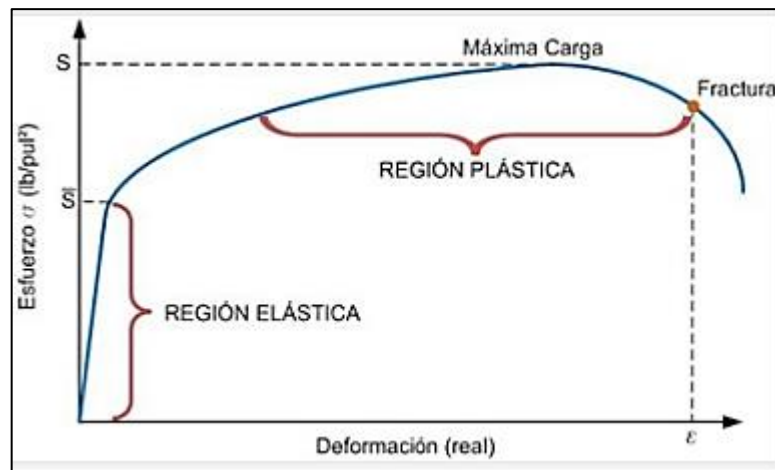
Consulta: 28 de febrero de 2020.

Por estas razones es muy importante conocer los límites térmicos con los cuales se fabrican los componentes eléctricos debido a que estos pueden llegar a sufrir daños y deformaciones por temperatura afectando así el funcionamiento en la instalación eléctrica.

Estas deformaciones dependen tanto de las propiedades mecánicas de cada material para resistir fuerzas externas o acciones naturales, para estas últimas se tienen las estáticas y las dinámicas, las primeras actúan

constantemente (peso propio), las segundas actúan momentáneamente tales como vientos sismos, entre otros. Cada material posee también límites de comportamiento tanto elástico como plástico, el límite elástico es la máxima tensión que un material puede soportar sin sufrir deformación permanente, el límite plástico se da cuando la tensión está por encima del límite elástico aquí el material se deforma permanentemente de forma irreversible.

Figura 32. **Curva de esfuerzo vs deformación**

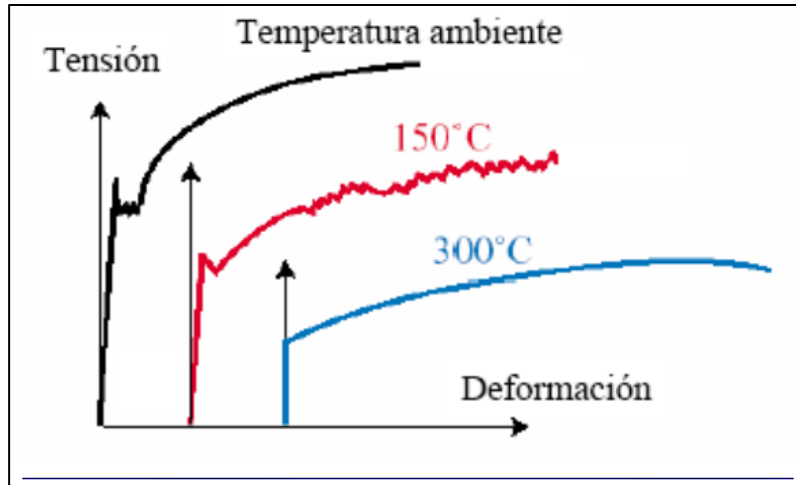


Fuente: Blogspot. *Proceso de fabricación por deformación plástica.*

<http://procesodefabricacion1.blogspot.com/2016/01/proceso-de-fabricacion-por-deformacion.html>. Consulta: 28 de febrero de 2020.

Estas regiones no solo dependen de las fuerzas a las cuales estén sometidos los distintos materiales sino también de la temperatura que presentan, cuando la temperatura aumenta estas regiones disminuyen, este comportamiento sigue así hasta que la temperatura llega al punto de fusión para el caso de los metales, otro factor importante a considerar es cuánto tiempo esta temperatura permanece, si una temperatura elevada permanece por un mayor tiempo el elemento tendera a deformarse más.

Figura 33. **Ejemplo curva de esfuerzo deformación a distintas temperaturas**



Fuente: Aceros Levinson. *Metales a altas temperaturas*. <https://www.aceroslevinson.com/2018/06/metales-a-altas-temperaturas>. Consulta: 29 de febrero de 2020.

Como se observa a medida que la temperatura aumenta se requiere menor tensión para provocar deformación en el material, en el caso de los componentes eléctricos, suele ocurrir acrecentamiento de temperatura por distintas causas ya sea por falsos contactos, calentamiento por efecto joule, este último efecto está directamente ligado a la corriente que transita por un conductor, entonces a mayor corriente mayor será la temperatura del conductor o elemento eléctrico, por lo tanto, sus límites elásticos y plásticos serán menores a medida que esta temperatura se acerca al punto de fusión, haciendo que los componentes se deformen.

2.11.7.5. Modelo corriente temperatura

Con la teoría anteriormente expuesta se puede tratar de recrear un modelo que relacione la corriente que transita en un conductor con la temperatura que este emita para esto es necesario conocer la resistencia del conductor a temperatura ambiente, la corriente que circulara por él y el tiempo que esta corriente circulara en él.

Se toma un cable de la acometida eléctrica del Museo nacional de Arqueología y etnología, recrear un modelo de temperatura en función de la corriente eléctrica para esto necesitamos saber ciertos datos a continuación, descritos.

- Material del conductor
- Longitud del conductor
- Área transversal del conductor
- Resistencia del conductor
- Temperatura promedio del lugar
- Masa total del conductor
- Calor específico del material del conductor

En primer lugar, se calcula la resistencia del conductor esta será a temperatura ambiente la cual se presentará cuando por el conductor no circule corriente, el conductor es de cobre para calcular esta resistencia se utiliza la siguiente fórmula.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Donde:

R = resistencia del conductor

ρ = resistividad del cobre

l = longitud del conductor

A = área transversal del conductor

Asumiendo que la temperatura ambiente sea de 25 °C se puede calcular la resistividad que tiene el cobre a esa temperatura con la fórmula siguiente:

$$\rho_{25 \text{ grados}} = \rho_{20^{\circ}\text{C}} + \rho_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \alpha(T - 20^{\circ}\text{C})$$

La resistividad del cobre a 20 °C es de $1,7 \times 10^{-8} \text{ ohm} \cdot \text{m}$ y el coeficiente de temperatura del cobre es de $3,9 \times 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$. Con estos datos se calcula la resistividad a 25 °C.

$$\rho_{25 \text{ grados}} = 1,7 \times 10^{-8} + (1,7 \times 10^{-8})(3,9 \times 10^{-3})(25^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})$$

$$\rho_{25 \text{ grados}} = 1,73315 \times 10^{-8} \text{ ohm} \cdot \text{m}$$

La longitud del conductor es 35 metros y es un conductor calibre #3/0 por lo que su área transversal es $8,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ entonces:

$$R = (1,73315 \times 10^{-8} \text{ ohm} \cdot \text{m}) \frac{(35 \text{ m})}{(8,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2)} = 7,1365 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

Ahora bien, asumiendo que por el conductor circulara una corriente de 5 amperios por un tiempo de 1 hora, se calcula la energía calorífica por efecto Joule.

$$Q = I^2 R t$$

$$Q = (5 \text{ A})^2 (7,1365 \times 10^{-3} \text{ ohm}) (3 \text{ 600 s})$$

$$Q = 642,28 \text{ Joules}$$

Ahora se calcula la temperatura del conductor cuando por el circulen 5 amperios a una temperatura ambiente de 25 °C, se sabe que un Joule es igual a 0,238846 calorías se convierte los Joules en calorías:

$$Q = 642,28 \text{ Joules} * 0,238846 \text{ calorías} = 153,406 \text{ Cal}$$

Ahora se despeja la temperatura final de la siguiente fórmula:

$$Q = C_e * m * (T_f - T_o)$$

Donde:

- Q = energía calorífica en calorías
- Ce = calor específico Cal/g⁰C, para el cobre es 0,092 Cal/g⁰C
- M = masa del cuerpo en gramos
- T_f = temperatura final
- T_o = temperatura inicial en este caso la temperatura ambiente 25 °C

La densidad del cobre es $8,94 \times 10^6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ la masa del conductor se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

El volumen del conductor se calcula multiplicando el área transversal y longitud:

$$v = l * A = 35 \text{ m} * 8,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 2,975 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Entonces la masa será:

$$\text{masa} = \text{densidad} * \text{volumen} = 8,94 \times 10^6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 2,975 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 26596,5 \text{ g}$$

Despejando temperatura queda la siguiente fórmula:

$$T_f = \left(\frac{Q}{Ce * m} \right) + T_o = \left(\frac{153,406 \text{ Cal}}{\left(0,092 \frac{\text{Cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (26596,5 \text{ g}) \right)} \right) + 25^\circ\text{C} = 25,06^\circ\text{C}$$

Aplicando esta corriente al conductor (5 A) durante 1 hora con una temperatura ambiente de 25 °C la temperatura del conductor será de 25,06 °C aplicando estos mismos cálculos variando únicamente la corriente que circulara por el conductor se calcula la temperatura de este bajo las condiciones antes mencionadas, cabe destacar que para este modelo se está asumiendo una resistencia fija en el conductor, en la realidad la resistencia del conductor si varia con la temperatura, además es muy difícil determinar las dimensiones físicas reales del conductor, la temperatura ambiente varia en todo el recorrido del conductor y el tiempo que cierta corriente transita por el conductor también varía a lo largo del día.

Para este modelo se realizaron los cálculos hasta una temperatura de 90 °C aproximadamente debido a que esta es la temperatura máxima a la que

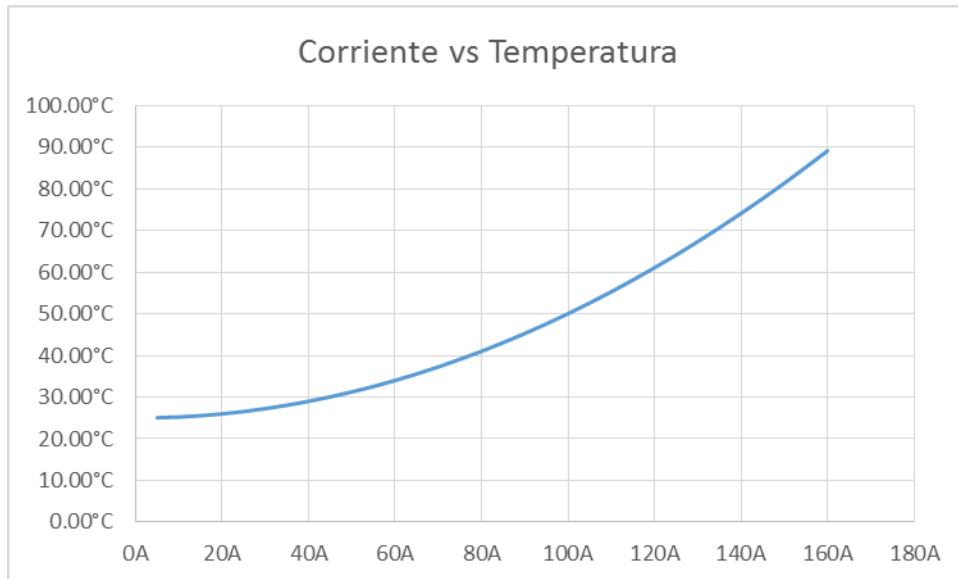
el fabricante indica puede operar el conductor THHN de la fase A de la acometida del tablero principal del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Tabla XXI. **Corriente eléctrica y temperatura del conductor**

Corriente	Temperatura
5 ^a	25,06 °C
10 ^a	25,25 °C
15 ^a	25,56 °C
20 ^a	26,00 °C
25 ^a	26,57 °C
30 ^a	27,26 °C
35 ^a	28,07 °C
40 ^a	29,01 °C
45 ^a	30,08 °C
50 ^a	31,27 °C
55 ^a	32,59 °C
60 ^a	34,03 °C
65 ^a	35,60 °C
70 ^a	37,29 °C
75 ^a	39,11 °C
80 ^a	41,05 °C
85 ^a	43,12 °C
90 ^a	45,31 °C
95 ^a	47,63 °C
100 ^a	50,08 °C
105 ^a	52,65 °C
110 ^a	55,34 °C
115 ^a	58,17 °C
120 ^a	61,11 °C
125 ^a	64,18 °C
130 ^a	67,38 °C
135 ^a	70,70 °C
140 ^a	74,15 °C
145 ^a	77,73 °C
150 ^a	81,43 °C
155 ^a	85,25 °C
160 ^a	89,20 °C

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfica corriente vs temperatura**



Fuente: elaboración propia.

Si se comparan los datos obtenidos a través de los cálculos, con los datos reales tomados en campo se puede tener una idea de la precisión del modelo propuesto si comparamos la medición que realizó el analizador de redes un jueves a las 4:58 pm y tomamos el dato de temperatura medido un jueves a las 4:58 pm, cabe destacar que estas mediciones no se realizaron en la misma fecha. Sin embargo, se puede tomarlo como un indicador para saber la precisión del modelo.

Figura 35. **Medición de temperatura y corriente**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Se registra una corriente de 34,4 A y una temperatura de 27,5 °C si lo comparamos con la tabla de cálculos indica que con una corriente de 35 A el valor aproximado de temperatura será 28,07 °C lo que indica que el modelo da un indicio de la corriente cuando se mide la temperatura del conductor. Sin embargo, siempre debe corroborarse realizando las mediciones físicas que arrojaran los datos reales.

2.12. **Calidad de energía**

El creciente consumo de energía eléctrica en estos tiempos está relacionado con el con el incremento de tecnologías nuevas, el desarrollo de tecnología va ligado con el uso de energía eléctrica por esta razón el uso de esta energía es cada vez mayor, con esto cobra una gran importancia que este

recurso también sea de calidad, es decir, no presente perturbaciones en su forma de onda para el caso de voltajes y corrientes.

La calidad de energía puede definirse como el conjunto de límites eléctricos que permiten a los equipos funcionar de forma correcta de modo que estos no se vean afectados en su rendimiento o su esperanza de vida. Puede definirse como la carencia de conflictos en la energía, pudiéndose manifestar en el voltaje, corriente o frecuencia alterando los resultados de operación produciendo fallas, mal funcionamiento en los equipos y la instalación eléctrica.

2.12.1. Cargas lineales

Son las cargas que están alimentadas por corriente alterna y demandan corriente alterna.

2.12.2. Cargas no lineales

Son las cargas que están alimentadas por corriente alterna, pero demandan corriente directa por lo que se debe transformar la corriente alterna en directa.

2.13. Parámetros para definir la calidad de la energía

- Frecuencia
- Voltaje
- Corriente
- Distorsión armónica
- Desbalances de voltaje y corriente
- Flicker

- Potencias
- Factor de potencia

2.13.1. Frecuencia eléctrica

Es la cantidad de veces que se repite un ciclo en una onda senoidal por cierta unidad de tiempo su unidad de medida son los hercios (Hz).

2.13.2. Regulación de voltaje

Las perturbaciones de más de un minuto de duración en el voltaje se clasifican en: bajo nivel de voltaje, sobre voltaje, interrupción del servicio en sistemas de energía eléctrica esta es una cantidad adimensional recibido en el externo receptor de una línea de transmisión como:

$$\Delta V = \frac{v_i - v_n}{v_n} * 100$$

Donde v_i es el voltaje sin carga, v_n es el voltaje a plena carga un valor menor de regulación de voltaje generalmente es beneficioso.

2.13.3. Corriente

En el análisis de corriente eléctrica se estudian factores como valor eficaz, valor pico, factor de cresta variación nominal se estudia la forma de onda, su frecuencia y distorsiones.

2.13.4. Distorsión armónica

Se le conoce como distorsión armónica a las perturbaciones o deformaciones que sufre una onda haciendo que esta no tenga una forma sinusoidal pura estas perturbaciones son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, existe un parámetro con el cual se calcula cualquier perturbación en la onda basándose en su forma fundamenta.

$$THD \% = \sqrt{\sum_2^n \left(\frac{A_i}{A_1}\right)^2}$$

Donde A_i es la amplitud del armónico (RMS) y A_1 es la amplitud fundamental (RMS).

2.13.5. Desbalance de voltajes y corrientes

Los desbalances de voltaje son perturbaciones permanentes en el tiempo, se da cuando las cargas no estas correctamente balanceadas o algún elemento de la instalación no funciona correctamente también por fallos en la instalación.

Los desbalances de corriente son perturbaciones estables en el tiempo con una magnitud variable, que depende del tipo de carga conectada en una dos o tres fases.

2.13.6. Fluctuaciones de tensión o intermitencia (FLICKERS)

Son variaciones sistemáticas de la envolvente de la amplitud de la tensión, se miden estadísticamente en corto termino PST y largo termino PLT. El

termino flicker se deriva del impacto visible de las fluctuaciones sobre las lámparas (parpadeo).

Ocurre en un rango de frecuencias que va desde 0,5 a 25 hz, el ojo humano es muy sensible a frecuencias en el rango de 8 a 10 hz,

2.13.7. Potencias

Potencia activa: esta potencia se aprovecha como potencia útil es llamada también potencia real y es dada a los dispositivos resistivos esta se mide en watts.

$$p = U * I * \text{COS}\theta$$

Potencia reactiva: es la potencia necesaria para que bobinas y condensadores creen campos magnéticos o eléctricos que no se transforma en trabajo efectivo, su unidad de medida es el voltamperio reactivo.

$$Q = U * I * \text{SEN}\theta$$

Potencia aparente: es la potencia total consumida por la carga, es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad es el resultado de sumar los vectores de la potencia activa y reactiva, se mide en voltamperios.

$$S = Q * I$$

2.13.8. Factor de potencia

Es una medida que indica que tal eficientemente se utiliza la energía eléctrica en una instalación o sistema, también indica el porcentaje de potencia útil que se convierte directamente en trabajo.

$$fp = \cos\theta = \frac{P}{S}$$

2.14. Norma técnica del servicio de distribución (NTSD)

Esta norma tiene como objetivos establecer los derechos también obligaciones de los proveedores y los clientes del servicio de distribución eléctrica también da los índices de referencia con los cuales se califica la calidad de energía que suministras los proveedores de energía eléctrica en el lugar donde se entrega el servicio, también indica una serie de parámetros al calificar donde indica que tolerancias son permitidas, indemnizaciones, sanciones así como penalidades relacionados con los siguientes factores.

Calidad del producto brindado por el distribuidor.

- Regulación de tensión
- Desbalance de tensión en servicios trifásicos
- Distorsión armónica
- Flicker.

Repercusión del cliente en la calidad del producto:

- Distorsión armónica

- Flicker
- Factor de potencia

Calidad del servicio técnico:

- Interrupciones

Calidad del servicio comercial:

- Calidad del servicio comercial del distribuidor
- Calidad de la atención al usuario

2.15. Supresores de picos

Es un dispositivo cuya finalidad es desviar la energía de sucesos transitorios acortando la energía en estos haciendo que la sobrecorriente se desvíe a tierra, para que estos no dañen los equipos que se quieren proteger, los eventos transitorios pueden ser provocados por rayos, conexión de equipos capacitivos o inductivos dígame, bombas, transformadores, elevadores etc. Estos disturbios pueden causar ruptura de aislamiento en motores y transformadores, así como dañar dispositivos semiconductores en circuitos, la operación errática en dispositivos electrónicos.

Ningún supresor de picos desvía la totalidad de una falla por lo que se deben colocar distintos supresores en la instalación eléctrica en forma de cascada de acuerdo con la norma std IEEE C62 y la UL-1449 existen tres categorías de supresores que depende de la zona en que será ubicado.

- Categoría C: es la primera protección que se conecta contra las sobretensiones exteriores, estos se colocan en el punto de ingreso entre el transformador y el interruptor principal de la instalación.
- Categoría B: estos se conectan en los alimentadores de tableros de distribución, en circuitos de equipos grandes, sistemas contra descargas atmosféricas y edificios grandes.
- Categoría A: se conectan en tomacorrientes que se encuentren retirados a una distancia mayor de 10 metros de los supresores categoría B y a más de 20 metros de la categoría C donde cada uno drenara la sobrecorriente que deje el supresor que le antecede.

Bajo estas condiciones los supresores de capacidad superior serán instalados en la acometida principal (categoría C) y los de capacidad inferior (categoría A) en las cargas.

2.16. Pararrayos

Tiene la función de recibir de forma directa descargas atmosféricas y drenarlas a tierra, están instalados afuera de los edificios en los puntos más altos, para la protección los pararrayos se fundamentan en dos principios básicos.

- Principio de mástil según Franklin
- Principio de jaula electrostática según Faraday

2.16.1. Mástil de Franklin

El principio del mástil de franklin indica que el recorrido más cercano entre la fuente de un rayo ósea una nube y la superficie de la tierra será el punto geográfico más alto, basándose en este principio un mástil colocado en lo más alto de la instalación recibirá la descarga drenándola de forma segura a tierra protegiendo así a las personas como a los equipos adentro de un anillo virtual donde el punto central será la punta del pararrayos con un radio aproximado de dos veces la altura del pararrayos, bajo este principio puede decirse que un único pararrayos colocado en un punto muy alto será capaz proteger la instalación sin embargo si este se llagara a dañar en una tormenta la instalación quedaría totalmente desprotegida.

2.16.2. Jaula de Faraday

El principio de Faraday indica que un envolvente de material conductor debidamente aterrizado a tierra que encierra un objeto lo protegerá de cualquier descarga atmosférica debido a que esta incidirá directamente en el material conductor y esta será drenada sin peligro a tierra, este material en forma de jaula funciona como una coraza para el objeto que encierra en ella. Bajo este principio se debe cubrir el edificio con un material conductor formando una jaula de esta forma estará protegido contra cualquier descarga atmosférica. Cabe destacar que hacer una jaula perfecta para proteger un edificio representa un gasto económico bastante alto.

2.16.3. Principios básicos de aplicación de la norma NF-C-17-102

Esta norma es muy utilizada para el diseño de sistema de pararrayos la cual establece normas para el eficiente funcionamiento del sistema.

Las puntas de pararrayos deberán instalarse en las azoteas y en los puntos más altos de edificio, con dispositivos de cableados.

Para seleccionar un pararrayos se toma como base la altura del edificio, así como el nivel de protección que se requiera con estos datos se encontrara el radio de protección con los que se contarán. Existen tres niveles de protección siendo el nivel 1 el más alto este se utiliza para instalaciones en donde existan materiales explosivos, inflamables, donde exista aglomeración de personas y donde se alojen objetos de gran valor, el nivel 2 se aplica en donde existan condiciones me severas finalmente el nivel 3 donde existan objetos fácilmente recuperables.

Para determinar el radio de protección del pararrayos se debe conocer tanto la frecuencia como la cantidad de descargas en la zona geográfica del edificio a proteger, así como el material de construcción, grado de riesgo de inflamabilidad, el valor del contenido y la necesidad que el inmueble continúe en operación cuando existan fenóme atmosféricos severos.

Una vez seleccionado el pararrayos y su radio de cobertura se procede a ubicar estratégicamente los pararrayos en el edificio dibujando su radio virtual de cobertura asegurándose que toda el área se encuentre protegida, los pararrayos deberán estar aterrizadas a tierra por medio de las bajantes, tanto las distancias verticales como las horizontales de las bajantes no deberán

exceder los 28 metros. Cuando la distancia vertical es mayor a 28 metros o la distancia horizontal es mayor a la vertical se deberán instalar dos bajantes, estas bajantes deberán estar libres de cualquier daño mecánico, si se necesita hacer cambio de dirección las curvas deberán tener un radio de 20 cm.

3. ANÁLISIS HISTÓRICOS DE CONSUMOS

Para la evaluación de los consumos energéticos históricos fue necesario acudir a las facturas emitidas por la distribuidora de energía eléctrica para las cuales se realizó el respectivo análisis.

3.1. Consumo de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica del museo de arqueología y etnología cuenta con una tarifa (BTDfp) baja tensión con demanda fuera de punta, con voltaje monofásico de 120/240 voltios, alimentado desde el ramal secundario de la distribuidora hasta el medidor clase 200 instalado en un poste de concreto ubicado frente al ingreso del sótano por la 5ta calle.

Tabla XXII. **Datos del servicio de energía eléctrica**

Medidor (contador)	K-19623
Tarifa	BTDfp
Voltaje	120/240V
Fases	Monofásico

Fuente: elaboración propia.

Esta acometida eléctrica brinda energía a todo el edificio y ha registrado un consumo mensual promedio de en el año 2013 al año 2017 de 5 137,035 KWH, esto equivale a un promedio de Q 5 309,71 Estos datos fueron obtenidos consultando las facturas de energía eléctrica de los últimos 5 años.

Tabla XXIII. Históricos consumos de energía, año 2013

2013	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Costo KWh	Q1.46	Q1.46	Q1.46	Q1.46	Q1.46	Q1.46	Q1.46	Q1.44	Q1.44	Q1.44	Q1.38	Q1.38
Consumo KWh	5566	4886	5662	5456	5828	5211	5984	6341	5714	5618	5263	5351
Costo energía	Q8,133.20	Q7,120.99	Q8,251.96	Q7,951.73	Q8,482.85	Q7,584.79	Q8,709.92	Q9,115.31	Q8,213.99	Q8,075.99	Q7,284.52	Q7,406.32
Incumplimiento NTSD	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Potencia Maxima en Kw		25				25.6	24.4		23.9			23.9
Potencia Contratada en Kw	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
Costo Potencia Maxma	Q37.15	Q37.27	Q37.17	Q37.17	Q37.54	Q37.54	Q37.54	Q23.82	Q23.82	Q23.82	Q23.82	Q23.82
Costo Potencia Contratada	Q57.26	Q57.86	Q57.83	Q57.86	Q57.86	Q57.86	Q57.86	Q28.94	Q28.94	Q28.94	Q28.94	Q28.94
Costo Por Potencia	Q1,849.59	Q1,868.87	Q1,867.90	Q1,868.87	Q1,868.87	Q1,868.87	Q1,868.87	Q934.78	Q934.78	Q934.78	Q934.78	Q934.78
Cargos Fijos	Q209.87	Q213.01	Q213.01	Q213.07	Q2,013.01	Q213.01	Q213.01	Q226.77	Q226.78	Q226.78	Q226.78	Q226.78
Total factua (con iva)		Q13,971.47				Q13,284.58	Q14,634.68		Q12,431.06			Q11,421.47

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Históricos consumos de energía, año 2014

2014	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Costo KWh	Q1.3841	Q1.3526	Q1.3826	Q1.3826	Q1.3826	Q1.2960	Q1.2960	Q1.2951	Q1.2951	Q1.2951	Q1.1928	Q1.1928
Consumo KWh	5409	5702	5473	5355	4701	5156	5622	6211	5351	5792	5025	6558
Costo energía	Q7,486.60	Q7,712.28	Q7,566.73	Q7,403.59	Q6,499.40	Q6,681.99	Q7,285.90	Q8,044.06	Q6,930.25	Q7,501.40	Q5,993.69	Q7,822.22
Incumplimiento NTSD	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Potencia Maxima en Kw	20.9		25.4			22	24	24.7	25			
Potencia Contratada en Kw	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
Costo Potencia Maxma	Q23.82	Q23.83	Q23.83	Q23.83	Q23.83	Q23.79	Q23.79	Q23.79	Q23.79	Q23.79	Q23.79	Q23.79
Costo Potencia Contratada	Q28.94	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q23.18	Q29.18	Q29.18	Q29.18	Q29.18
Costo Por Potencia	Q934.78	Q940.19	Q940.19	Q940.19	Q940.19	Q940.19	Q940.19	Q748.67	Q942.47	Q942.47	Q942.47	Q942.47
Cargos Fijos	Q226.78	Q228.11	Q228.58	Q228.58	Q228.57	Q228.58	Q228.58	Q229.57	Q229.57	Q229.57	Q229.57	
Total factua (con iva)	Q11,432.50		Q11,675.84			Q10,467.69	Q11,282.05	Q12,254.72	Q10,871.38			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Históricos de consumo de energía, año 2015

2015	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Costo KWh	Q1.1928	Q1.0412	Q1.0412	Q1.0411	Q0.7990	Q0.7990	Q0.7990	Q0.7607	Q0.7607	Q0.7607	Q0.7596	Q0.7596
Consumo KWh	5192	5208	5252	4638	4657	5638	5536	5697	4743	4275	4127	5167
Costo energía	Q6,192.89	Q5,422.43	Q5,468.24	Q4,828.70	Q3,721.04	Q4,504.88	Q4,423.38	Q4,333.76	Q3,608.04	Q3,252.03	Q3,134.87	Q3,924.85
Incumplimiento NTSD	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Potencia Maxima en Kw		24.8	22	22.6	21.9		25.2					
Potencia Contratada en Kw	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
Costo Potencia Maxma	Q23.79	Q3.78	Q23.78	Q23.78	Q23.59	Q23.59	Q23.59	Q23.59	Q23.59		Q23.59	Q23.59
Costo Potencia Contratada	Q29.18	Q28.80	Q28.80	Q28.80	Q28.80	Q28.80	Q28.80	Q28.87	Q28.87		Q28.87	Q28.87
Costo Por Potencia	Q942.47	Q930.17	Q930.17	Q930.17	Q930.17	Q930.17	Q930.17	Q932.58	Q932.58	Q0.00	Q932.58	Q932.58
Cargos Fijos	Q229.57	Q228.46	Q228.46	Q228.46	Q228.46	Q228.46	Q228.46	Q230.15	Q230.14		Q230.15	Q230.15
Total factua (con iva)		Q8,963.50	Q8,937.53	Q8,156.27	Q6,745.25		Q7,720.46					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Históricos de consumos, año 2016

2016	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Costo KWh	Q0.7596	Q0.7377	Q0.7377	Q0.7377	Q0.7377	Q0.7377	Q0.7377	Q0.7350	Q0.7350	Q0.7350	Q0.7032	Q0.7032
Consumo KWh	4223	4364	4428	4156	4519	5024	5004	5727	4816	4789	5237	5040
Costo energía	Q3,208.00	Q3,219.44	Q3,266.65	Q3,065.99	Q3,333.78	Q3,706.34	Q3,691.58	Q4,209.44	Q3,539.84	Q3,519.99	Q3,682.42	Q3,543.90
Incumplimiento NTSD	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Potencia Maxima en Kw		21.5						23.9				
Potencia Contratada en Kw	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
Costo Potencia Maxma	Q23.59	Q23.60	Q23.60	Q23.60	Q23.60	Q23.60	Q23.60	Q23.58	Q23.58	Q23.58	Q23.58	Q23.58
Costo Potencia Contratada	Q28.87	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.11	Q29.23	Q29.23	Q29.23	Q29.23	Q29.23
Costo Por Potencia	Q932.58	Q940.20	Q940.20	Q940.20	Q940.20	Q940.20	Q940.20	Q944.05	Q944.05	Q944.05	Q944.05	Q944.05
Cargos Fijos	Q230.15	Q232.63	Q232.62	Q232.63	Q232.32	Q232.63	Q232.63	Q235.68	Q235.68	Q235.68	Q235.68	Q235.68
Total factua (con iva)		Q6,124.48						Q7,440.94				

Fuente: elaboración propia.

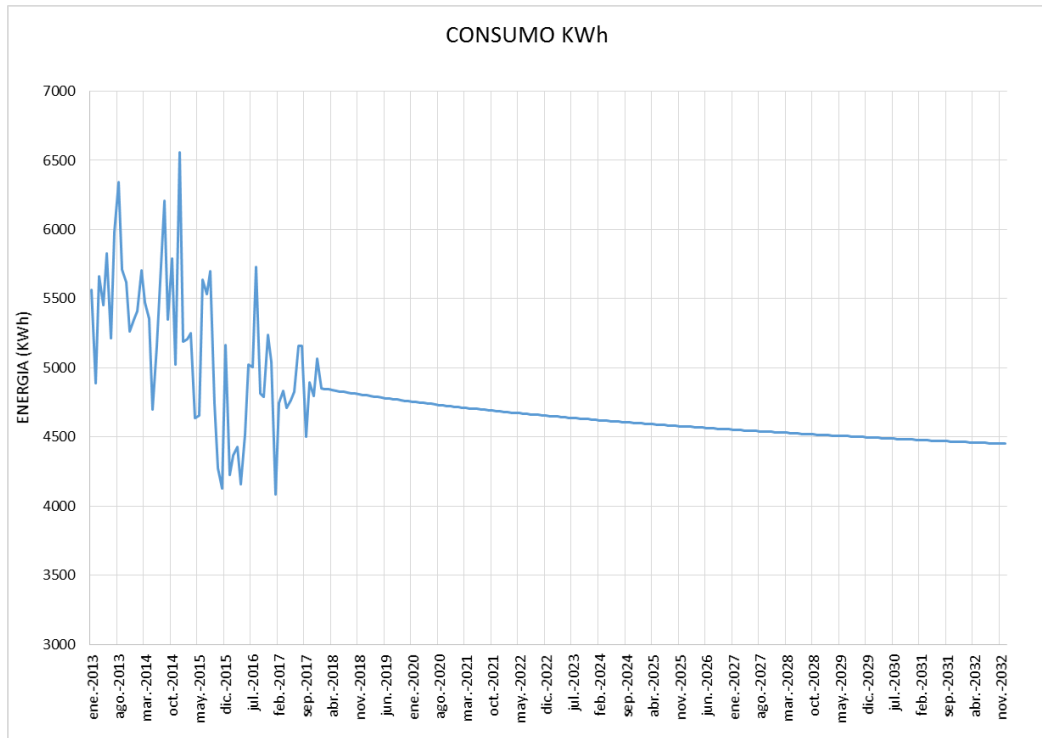
Tabla XXVII. Históricos de consumos, año 2017

2017	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Costo KWh	Q0.7032	Q0.7035	Q0.7035	Q0.7035	Q0.7061	Q0.7061	Q0.7061	Q0.7076	Q0.7076	Q0.7076	Q0.6972	Q0.6972
Consumo KWh	4085	4748	4836	4708	4767	4828	5157	5157	4504	4895	4798	5066
Costo energia	Q2,872.39	Q3,340.08	Q3,401.99	Q3,311.94	Q3,366.19	Q3,409.26	Q3,641.58	Q3,649.04	Q3,186.98	Q3,463.65	Q3,345.19	Q3,532.05
Incumplimiento NTSD	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Potencia Maxima en Kw												
Potencia Contratada en Kw	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
Costo Potencia Maxma	Q23.58	Q23.58	Q23.58	Q23.58	Q22.81	Q22.81	Q22.81	Q22.80	Q22.80	Q22.80	Q22.80	Q22.80
Costo Potencia Contratada	Q29.23	Q29.16	Q29.16	Q29.16	Q19.16	Q29.16	Q29.16	Q29.01	Q29.01	Q29.01	Q29.01	Q29.01
Costo Por Potencia	Q944.05	Q941.98	Q941.98	Q941.99	Q618.98	Q941.98	Q941.98	Q937.18	Q937.18	Q937.18	Q937.18	Q937.18
Cargos Fijos	Q235.68	Q236.24	Q236.24	Q236.24	Q236.24	Q236.24	Q236.24	Q236.81	Q236.81	Q236.81	Q236.81	Q236.81
Total factua (con iva)												

Fuente: elaboración propia.

Se prevé un consumo de energía promedio de 4 449,75 KWh, para diciembre del año 2032 según proyección realizada con base en las facturas de energía eléctrica de los últimos 5 años. Este consumo tiende a ser menor que el consumo actual debido a que se está implementado esporádicamente cambiar las luminarias de las vitrinas de exhibición a luminarias led.

Figura 36. **Proyección energética para el año 2032**



Fuente: elaboración propia.

Hasta el momento este suministro no ha sido penalizado por no cumplir con la norma técnica del servicio de distribución ni por bajo factor de potencia.

Figura 37. **Acometida eléctrica MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1. **Proyección de consumos de energía eléctrica**

Para obtener una proyección de consumos de energía eléctrica es necesario saber cuál es el comportamiento del consumo durante los distintos días debido a que no todos los días las instalaciones se utilizan de la misma forma, las mediciones con el equipo de calidad de energía FLUKE 430-II se utilizaron para determinar el consumo de cada día que queda de la siguiente forma.

Tabla XXVIII. **Proyección de consumo de energía eléctrica durante un día laboral**

Día laboral			
Actividad	Horario de consumo		Consumo promedio en watt-hora
	Inicio	Final	
Inicio de labores	8:00:00 a. m.	5:00:00 p. m.	149 494,15
Horario Nocturno y Fuera de labores	5:00:00 p.m.	8:00:00 a. m.	53 259,73

Fuente: elaboración propia.

Para el caso del MUNAE se considera un día laboral normal de martes a viernes debido a que esos días labora la parte administrativa y las salas de exhibición, los demás días solo una de las dos labora.

Tabla XXIX. **Proyección de consumo de energía eléctrica durante un día de asueto o descanso**

Día de asueto			
Actividad	Horario de consumo		Consumo promedio en watt-hora
	Inicio	Final	
Labores administrativas y mantenimiento	7:00:00 a. m.	7:00:00 a. m.	79889.52
Consumo Total en 24 horas			79889.52

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de consumo promedio de un día de asueto se tomará el promedio de horario nocturno en el cual no hay personas laborando en el edificio, esto se debe a que el museo abre de martes a domingo las salas de exhibición, y el área administrativa labora de lunes a viernes por lo que todos los días hay actividad en el museo.

Tabla XXX. **Proyección del consumo de energía eléctrica durante el fin de semana**

Día sábado			
Actividad	Horario de consumo		Consumo promedio en watt-hora
	Inicio	Final	
No hay labores administrativas pero salas de exhibición abiertas.	9:00:00 a. m.	4:00:00 p. m.	78 749,50119
Fuera de labores administrativas y salas cerradas	4:00:00 p. m.	9:00:00 a. m.	67 001,5

Fuente: elaboración propia.

Para la proyección correspondiente al consumo de energía eléctrica durante el fin de semana se tomó la medición del sábado, este mismo se aplica al domingo dado que su comportamiento es muy similar durante estos días se abren únicamente los salones de exhibición y no el área administrativa.

Tabla XXXI. **Proyección de consumo de energía eléctrica, lunes**

Día lunes			
Actividad	Horario de consumo		Consumo promedio en watt-hora
	Inicio	Final	
Labores administrativas y de mantenimiento	8:00:00 a. m.	5:00:00 p. m.	114 431,0906
Fuera de labores	5:00:00 P. m.	8:00:00 a. m.	55 850,85714

Fuente: elaboración propia.

El lunes también presenta un comportamiento diferente de energía debido a que este día labora únicamente el área administrativa y se hacen trabajos en algunas salas de exhibición. Que toma en cuenta las proyecciones anteriores se definen los consumos de todos los días de la semana así como días de asueto.

Tabla XXXII. **Proyección de consumos por día**

Semana	Consumo en KW-H
Lunes	170,28
Martes	202,75
Miércoles	202,75
Jueves	202,75
Viernes	202,75
Sábado	145,75
Domingo	145,75
Asueto	79,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Proyección de consumo de energía hasta el 2032**

Proyección de consumo energético por año datos obtenidos del analizador de redes		
Ítem	Año	energía (KwH)
1	2018	43 192,76
2	2019	65 126,30
3	2020	65 230,72
4	2021	65 254,33
5	2022	65 254,33
6	2023	65 191,24
7	2024	65 410,58
8	2025	65 106,93
9	2026	64 896,24
10	2027	64 953,24
11	2028	65 074,46
12	2029	64 815,43
13	2030	64 807,49
14	2031	65 106,93
15	2032	64 936,65

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos con el analizador de redes, conociendo los días de asuetos, fines de semana y días entre semana de cada año se realizó una proyección del consumo correspondiente a energía eléctrica hasta el año 2032, se estima un consumo de energía eléctrica anual de 64,93 Mwh para dicho año si se mantiene la instalación como se encuentra hasta el momento, realizando cambios para hacer más eficiente la instalación eléctrica esta puede reducir este consumo.

4. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO

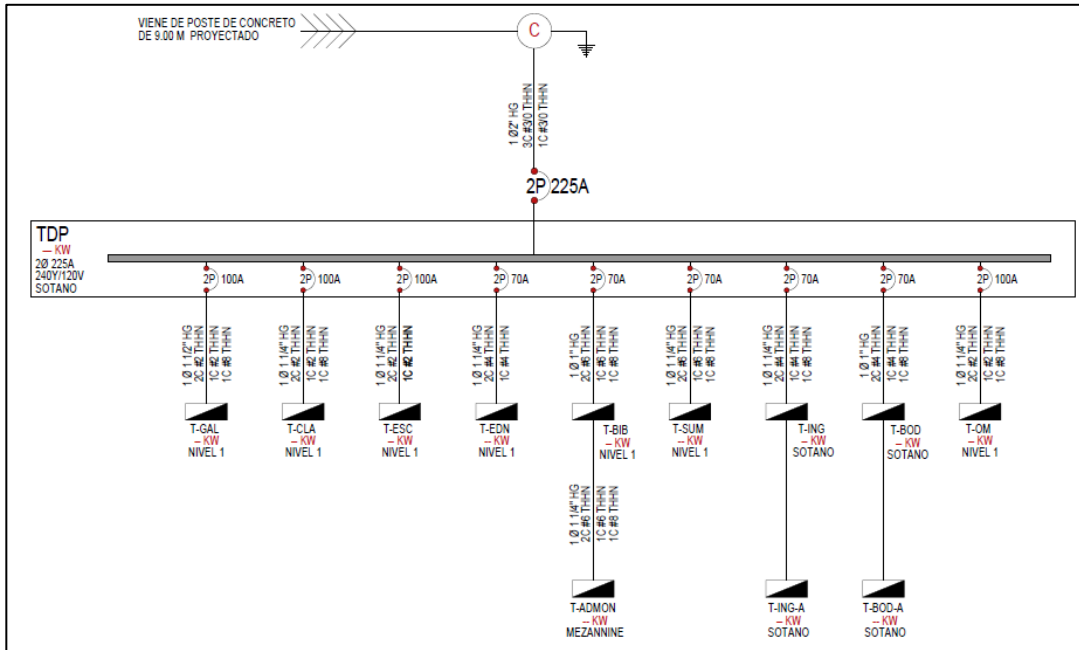
4.1. Datos obtenidos levantamiento eléctrico MUNAE

Se procedió a realizar un levantamiento eléctrico de las instalaciones del Museo nacional de arqueología y etnología de la ciudad de Guatemala con el fin de obtener el estado actual de las mismas.

4.2. Diagrama unifilar

El diagrama unifilar representa los distintos componentes que conforman la instalación eléctrica del MUANE así como su respectiva conexión, tuberías y cableados, este diagrama unifilar se obtuvo mediante el levantamiento eléctrico realizado en dicha instalación.

Figura 38. Diagrama unifilar MUNAE



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Tabla XXXIV. Datos obtenidos del levantamiento eléctrico

tablero	Voltaje (v)	corriente (A)		Calibre conductor F/N	Breaker	Barras tablero
		fase A	fase B			
T-GAL	120/240	20,5	12,6	#2	2x100A	200A
T-CLA	120/240	14,7	12,3	#2	2x100A	200A
T-ESC	120/240	5,7	7,8	#2	2x70A	200A
T-ETN	120/240	10,2	3,6	#4	2x70A	200A
T-BIB	120/240	23,6	3,1	#6	2x70A	125A
T-ADMON	120/240			x	125A	
T-SUM	120/240	5,1	4,4	#6	2x70A	200A
T-ING	120/240	1,1	5,8	#4	2x70A	125A
T-ING A	120/240			x	125A	
T-BOD	120/240	6,1	1,8	#4	2x70A	125A
T-BOD A	120/240			x	125A	
T-OM	120/240	1,8	4,21	#2	2x100A	125A
TDP	120/240	88,8	55,61	#3/0	2x225A	225A

Fuente: elaboración propia.

- Los conductores eléctricos de los alimentadores para cada tablero están correctamente protegidos dado que su capacidad de transportar corriente es mayor a la capacidad nominal del interruptor que lo protege.
- La capacidad de corriente que tienen las barras de los distintos tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etnología es mayor que la capacidad nominal del interruptor que las protege por lo tanto se encuentra bien protegidas.

Tabla XXXV. **Porcentaje de uso conductores eléctricos**

tablero	# conductor	corriente demandada (A)		Ampacidad conductor	% de uso conductor fase A	% de uso conductor fase B
		fase A	fase B			
T-GAL	#2	20,5	12,6	130	16 %	9,7 %
T-CLA	#2	14,7	12,3	130	11 %	9,5 %
T-ESC	#2	5,7	7,8	130	4 %	6,0 %
T-ETN	#4	10,2	3,6	95	11 %	3,8 %
T-BIB	#6	23,60	3,10	95	25 %	3,3 %
T-ADMON	#6			95	0 %	0,0 %
T-SUM	#6	5,10	4,40	75	7 %	5,9 %
T-ING	#4	1,10	5,80	95	1 %	6,1 %
T-ING A	#2			130	0 %	0,0 %
T-BOD	#4	6,10	1,80	95	6 %	1,9 %
T-BOD A	#4			95	0 %	0,0 %
T-OM	#2	1,80	4,21	130	1 %	3,2 %
TDP	#3/0	88,80	55,61	225	39 %	24,7 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Porcentaje de uso barras y breakers**

tablero	barras (A)	breakers (A)	corriente demandada (A)		% de uso barra fase A	% de uso barra fase B	% de uso breaker fase A	% de uso breaker fase B
			fase A	fase B				
T-GAL	200	100	20,5	12,6	10,3 %	6,3 %	20,5 %	12,6 %
T-CLA	200	100	14,7	12,3	7,4 %	6,2 %	14,7 %	12,3 %
T-ESC	200	70	5,7	7,8	2,9 %	3,9 %	8,1 %	11,1 %
T-ETN	200	70	10,2	3,6	5,1 %	1,8 %	14,6 %	5,1 %
T-BIB	125	70	23,60	3,10	18,9 %	2,5 %	33,7 %	4,4 %
T-ADMON	125				0,0 %	0,0 %		
T-SUM	200	70	5,10	4,40	2,6 %	2,2 %	7,3 %	6,3 %
T-ING	125	70	1,10	5,80	0,9 %	4,6 %	1,6 %	8,3 %
T-ING A	125				0,0 %	0,0 %		
T-BOD	125	70	6,10	1,80	4,9 %	1,4 %	8,7 %	2,6 %
T-BOD A	125				0,0 %	0,0 %		
T-OM	125	100	1,80	4,21	1,4 %	3,4 %	1,8 %	4,2 %
TDP	225	225	88,80	55,61	39,5 %	24,7 %	39,5 %	24,7 %

Fuente: elaboración propia.

Según el NEC 2008 en la sección 310.15 indica factores que ajustan la capacidad de transportar corriente en cada conductor que se encuentra en una canalización y depende del número de conductores que portan corriente.

Tabla XXXVII. **NEC 310.15 (B) (2) (a) Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable**

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje de los valores en las. Tablas 310.16 a 310.19, ajustados para temperatura ambiente si es necesario
4 a 6	80
7 a 9	70
10 a 12	50
21 a 30	45
31 a 40	40
41 en adelante	35

Fuente: NEC 2008. *Historia y desarrollo del Código Eléctrico Nacional.*

<https://www.powerandcables.com/wp-content/uploads/2020/01/2008-National-Electrical-Code-NFPA-70.pdf>. Consulta: 1 de marzo de 2020.

Todos los alimentadores para los tableros eléctricos del MUNAE tienen un porcentaje de uso de conductores relativamente bajo, se observa un porcentaje de uso de 25 % en el alimentador de los tableros T-BIB y T-ADMON también un porcentaje de uso de 39 % para la acometida principal que alimenta el TDP.

Los alimentadores de todos los tableros pasan por una canaleta metálica cerrada de 20 cm en total son 24 conductores portadores de corriente por lo que el porcentaje de uso para cada uno no debería ser mayor a 45 % todos los conductores de los distintos tableros cumplen con esta condición.

En el caso de la acometida eléctrica esta se encuentra en una tubería aparte en la cual solo hay dos conductores portadores de corriente por lo tanto no se aplica factor de ajuste.

Para el caso del porcentaje de uso de las barras y de *breakers* no se percibe sobrecarga en ninguno de estos.

Haciendo uso de los pla eléctricos del Museo Nacional de Arqueología y Etnología se procedió a medir las longitudes para calcular la caída de tensión para cada uno de los alimentadores de los tableros principales del museo haciendo uso de las fórmulas de la sección 2.2.2.

Tabla XXXVIII. **Caídas de tensión tableros eléctricos**

tablero	corriente		calibre conductor	área conductor (mm ²)	longitud (m)	voltaje (V)	% caída total fase A	% caída total fase B
	fase A	Fase B						
T-GAL	20,5	12,6	#2	33,63	50	120	2,23 %	1,39 %
T-CLA	14,7	12,3	#2	33,63	28	120	1,63 %	1,10 %
T-ESC	5,7	7,8	#2	33,63	55	120	1,53 %	1,19 %
T-ETN	10,2	3,6	#4	21,15	81	120	2,52 %	1,22 %
T-BIB	23,60	3,10	#6	13,3	87	120	6,36 %	1,44 %
T-ADMON			#6	13,3	8	120	X	X
T-SUM	5,10	4,40	#6	13,3	63	120	2,02 %	1,46 %
T-ING	1,10	5,80	#4	21,15	9	120	1,23 %	0,85 %
T-ING A			#2	33,63	1	120	X	X
T-BOD	6,10	1,80	#4	21,15	72	120	1,91 %	0,97 %
T-BOD A			#4	21,15	1	120	X	X
T-OM	1,80	4,21	#2	33,63	90	120	1,38 %	1,14 %
TDP	88,80	55,61	#3/0	85,03	35	120	1,22 %	0,76 %

Fuente: elaboración propia.

Que toma en cuenta el NEC 2008 en su artículo 210.19 el cual indica una caída no mayor a 5 % para un eficiente funcionamiento en los alimentadores para determinar estos valores se sumaron las caídas de tensión del tablero principal y el tablero final dado que de esta forma están conectados ambos tableros.

La caída de tensión en el tablero T-BIB es de 6,36 % lo cual sobrepasa la indicada en el NEC 2008 para un eficiente funcionamiento. Este alimentador es

crítico por caída de tensión por lo tanto se debe determinar el conductor adecuado para este alimentador este cálculo se realizará en la sección 6.1 de este documento.

4.3. Acometida eléctrica

La instalación eléctrica del MUNAE cuenta con una acometida eléctrica 120/240v monofásica cableada con dos conductores núm. 3/0 thhn para cada fase y un conductor núm. 3/0 thhn para neutral en una tubería de 2 pulgadas, un medidor clase 200 monofásico, así como un breaker de 2x225 A el cual está bien dimensionado esto se sabe porque los conductores soportan más amperaje que el que indica la capacidad nominal del breaker.

4.4. Tablero principal

El Museo Nacional de Arqueología y Etnología cuenta con un tablero principal con voltaje nominal 12/240 voltios con barras de 225^a y 9 ramales con su respectivo interruptor los cuales llevan alimentación a 12 tableros que distribuyen energía a todo el inmueble.

4.4.1. Planilla de tablero principal

Para conocer cómo se encuentran distribuidas las cargas en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología se procedió a realizar la planilla correspondiente al tablero principal del edificio.

El cuál se encarga de distribuir toda la energía a los distintos tableros de edificio y se encuentra distribuido de la siguiente forma.

Figura 39. Planilla tablero de distribución principal MUANE

TABLERO:		TABLERO PRINCIPAL			BARRAS 225A			ALIMENTADOR:		2C # 3/0 THHN 1C # 3/0 THHN 1C #4 THHN		No. POLOS	30	N/S		
VOLTAJE		120/240V			INTER. PRINCIPAL			2X225A		FASES:		1Ø	N/A			
CIRC.	CABLE	ITM	CORRIENTE			DESCRIPCION	A	B	C	DESCRIPCION	CORRIENTE			ITM	CABLE	CIRC.
			A	B	C						A	B	C			
1	#2 THHN	2X100 A	20.5			T-GAL	14.7			T-CLA	2X100 A	#2 THHN	2	4	2	
3				12.6												
5	#2 THHN	2X100 A	5.7			T-ESC	10.2			T-ETN	2X70A	#4 THHN	6	8	6	
7				7.8												
9	#6 THHN	2X70A	23.6			T-BIB	5.1			T-SUM	2X70A	#6 THHN	10	12	10	
11				3.1												
13	#4 THHN	2X70A	1.1			T-ING	6.1			T-BOD	2X70A	#4 THHN	14	16	14	
15				5.8												
17						1.8			T-OM	2X70A	#4 THHN	18	20	18		
19															4.21	
21															22	
23															24	
25															26	
27															28	
29															30	
						A	B	C								
			50.9	29.3	0	88.8	55.61	0	37.9	26.31	0					
NOTA:						TOTAL										

Fuente: elaboración propia.

Como puede apreciarse la suma total de corrientes en cada una de las fases la fase por la cual circula más corriente es la fase A por lo que se determina que esta fase se encuentra más cargada que la fase B.

4.5. Interruptor principal

El breaker principal del MUNAE tiene un valor nominal de 225 A y contiene las siguientes especificaciones.

Tabla XXXIX. **Datos de *breaker* principal MUANE**

fabricante	General Electric
subcategoría	model class
familia	Q-line
tipo	TQD
fase	1
polos	2
voltaje	240
amperaje	225
conexión	atornillado
protección	Magneto térmica
AIC Rating	10kA 240v

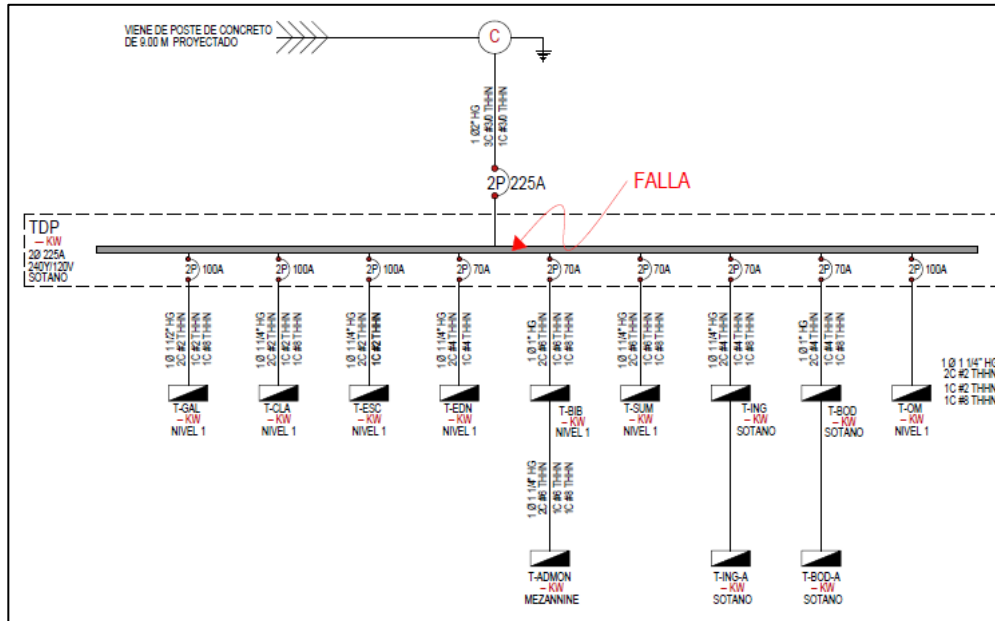
Fuente: elaboración propia.

4.5.1. **Cálculo de corriente de corto circuito breaker principal MUNAE**

Se procederá a determinar la corriente de corto circuito para las instalaciones eléctricas del MUNAE y con esto conocer si el interruptor principal está diseñado para soportar esta corriente.

Se asume una falla en un lugar muy cercano al tablero principal como se aprecia en el siguiente diagrama.

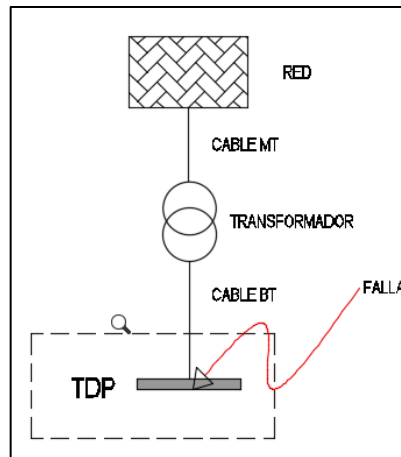
Figura 40. Diagrama unifilar MUNAE con falla de corto circuito



Fuente: elaboración propia.

Para efectos de resolución el diagrama unifilar se reduce a la figura siguiente y se toman en cuenta tanto el transformador de distribución como la red de distribución a la que está conectado.

Figura 41. **Esquema de instalación eléctrica para cálculo de cortocircuito MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

Corriente y potencia de cortocircuito de la red de alimentación

$$S_{knet} = 500 \text{ MVA (TABLA XIII)}$$

$$I_{knet} = \frac{S_{knet}}{V_{net} * \sqrt{3}} = 21,8 \text{ kA}$$

Tensión asignada de la red de alimentación

$$V_{net} = 13,2 \text{ kV}$$

Cable MT

$$\text{Resistencia } R_{CMT} = 360 \text{ m } \Omega$$

$$\text{Reactancia } X_{CMT} = 335 \text{ m } \Omega$$

Potencia asignada del transformador $S_{nTR} = 75 \text{ kVA}$

Tensión asignada del secundario del transformador $V_{2n} = 240 \text{ V}$

Prueba de cortocircuito del transformador:

$$V_{k\%} = 4 \% \text{ (TABLA XIV) } P_{k\%} = 3 \%$$

Cable BT # 3/0 con longitud $L = 57 \text{ m}$

Resistencia $R_{CBT} = 35,51 \text{ m}\Omega$

Reactancia $X_{CBT} = 8,43 \text{ m}\Omega$

Como la falla está en el lado de baja tensión los parámetros que están en el lado de media tensión deben referirse al lado de baja para este se utiliza la siguiente relación.

$$K = \frac{13\,200}{240} = 55$$

Para la red de alimentación:

$$Z_{kred} = \frac{c * V_{red}}{\sqrt{3} * I_{kred}} = \frac{1,1 * 13\,200}{\sqrt{3} * 21,8 \times 10^3} = 0,38 \Omega$$

$$Z_{kred\ 240V} = \frac{Z_{kred}}{K^2} = \frac{0,38}{55^2} = 0,000125 \Omega$$

$$X_{kred\ 240V} = 0,995 * Z_{kred\ 208V} = 0,0001249 \Omega$$

$$R_{kred\ 240V} = 0,1 * X_{kred\ 208V} = 0,00001249 \Omega$$

Cable MT:

$$R_{CMT\ 240V} = \frac{R_{CMT}}{K^2} = \frac{360 \times 10^{-3}}{55^2} = 0,000119\ \Omega$$

$$X_{CMT\ 240V} = \frac{X_{CMT}}{K^2} = \frac{335 \times 10^{-3}}{55^2} = 0,000110\ \Omega$$

Transformador:

$$Z_{TR} = \frac{V_{2n}^2 * V_k\%}{100 * S_{nTR}} = \frac{240^2 * 4}{100 * 75 \times 10^3} = 0,0307\ \Omega$$

$$P_{PTR} = \frac{P_{K\%} * S_{nTR}}{100} = \frac{3}{100} * 75 \times 10^3 = 2,25\ kW$$

$$I_{2n} = \frac{S_{nTR}}{\sqrt{3} * V_{n2}} = \frac{75 \times 10^3}{\sqrt{3} * 240} = 180,42\ A$$

$$R_{TR} = \frac{P_{PTR}}{3 * I_{2n}^2} = \frac{2\ 250}{3 * 180,42^2} = 0,023\ \Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{(0,0307^2 - 0,023^2)} = 0,020\ \Omega$$

Cable BT:

Resistencia $R_{CBT} = 35,51\ m\Omega$

Reactancia $X_{CBT} = 8,43\ m\Omega$

El valor de resistencia de corto circuito total viene dado por $R_{tk} = \Sigma R$:

$$R_{tk} = R_{kred\ 240V} + R_{CMT\ 240V} + R_{TR} + R_{CBT}$$

$$R_{tk} = 0,00001249 + 0,000119 + 0,023 + 0,0355 = 0,0586\Omega$$

El valor de reactancia de corto circuito total viene dado por $X_{tk} = \Sigma X$:

$$X_{tk} = X_{kred\ 240V} + X_{CMT\ 240V} + X_{TR} + X_{CBT}$$

$$X_{tk} = 0,0001249 + 0,000110 + 0,020 + 0,00843 = 0,0286\ \Omega$$

Al calcular el valor de la impedancia de cortocircuito total:

$$Z_{tk} = \sqrt{(R_{TK}^2 + X_{TK}^2)} = \sqrt{(0,058^2 + 0,028^2)} = 0,050\ \Omega$$

La corriente de cortocircuito entonces será:

$$I_{k3F} = \frac{c * V_{2n}}{\sqrt{3} * Z_{tk}} = \frac{1,1 * 240}{\sqrt{3} * 0,050} = 3048A = 3,05kA.$$

La corriente calculada de cortocircuito es 3,05 KA según ficha técnica del breaker principal del Museo Nacional de Arqueología y Etnología la corriente de cortocircuito soportada por el breaker es 10 KA por lo que el breaker está capacitado para soportar un cortocircuito sin sufrir daños.

4.6. Medición de tierra física

Se analizó la instalación de tierra física para el edificio del MUNAE se cuenta con un conductor calibre #1/0 para puesta a tierra se comparó este calibre de conductor con la tabla 250,66 del NEC 2008 para determinar si su tamaño está conforme a dicha norma.

Tabla XL. **Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna**

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo ^a (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1,100	Más de 900 hasta 1,750	2/0	4/0
Más de 1,100	Más de 1,750	3/0	250

Notas:
1. Cuando se usan conjuntos múltiples de conductores para la entrada de la acometida como se permite en la sección 230.40, Excepción No. 2, el calibre equivalente del conductor más grande de entrada de la acometida se debe determinar por la mayor suma de las áreas de los conductores correspondientes de cada conjunto.
2. Cuando no hay conductores de entrada de la acometida, el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe determinar por el calibre equivalente del mayor conductor de entrada de la acometida exigido para la carga que se va a alimentar.
a Esta Tabla también se aplica a los conductores derivados de sistemas de c.a. derivados separadamente.
b Véanse las restricciones de la instalación, en la Sección 250.64(A).

Fuente: NEC 2008. *Tabla 250.66 NEC*. <https://www.powerandcables.com/wp-content/uploads/2020/01/2008-National-Electrical-Code-NFPA-70.pdf>. Consulta: 1 de marzo de 2020.

Comparando el conductor de puesta a tierra con lo establecido en la norma se puede observar que el conductor está sobredimensionado debido a que la acometida eléctrica del MUNAE está compuesta por 2C # 3/0 y 1C#3/0

teniendo este dato se determina que el conductor adecuado para dicha instalación de puesta a tierra pudo haber sido un calibre #4 de cobre desnudo.

El tablero principal de distribución del MUNAE posee barra de tierras y una bajada de tierra física la cual fue medida arrojando un valor 30,03 ohmios.

Figura 42. **Medición de tierra física MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

Un único electrodo que consista en una varilla, tubo o placa que no tenga una resistencia a tierra de 25 ohms o me, se debe incrementar mediante un electrodo adicional de cualquiera de los tipos especificados en las secciones 25,52 (A) (4) hasta (A) (8). Cuando se instalen electrodos múltiples de varilla, tubo o placa, para cumplir con los requisitos de esta sección, no deben estar separados me de 1,8 m (6 pies).

Nota: la eficiencia de varillas de más de 2,5 m (8 pies) de longitud conectadas en paralelo, se mejora dejando una separación superior a los 1,8 m (6 pies).⁶

El valor medido no cumple con lo establecido en el NEC 2008 por esta razón se procedió a realizar un estudio de resistividad del suelo un área que se propuso para el diseño de una red de tierras para reducir la resistencia de esta medición y así reforzar el sistema de tierras actual.

Por lo que se procedió a realizar la medición con el telurómetro AEMC 4620 y con el uso del método de Wenner en la sección 6.4.1 de este documento se obtuvo un valor de resistividad de 48,36 Ω -m con este valor se procedió a diseñar la red de tierras del museo en la sección 5.8.2 de este documento.

Figura 43. **Medición de resistividad de suelo MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

⁶ NEC 2008. *Resistencia de los electrodos de varilla, tubo y placa.* p. 70-106.

5. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS TÉRMICOS E ILUMINACIÓN Y DEMÁS CARGAS DEL EDIFICIO

5.1. Determinación de puntos de calor

Se procedió a realizar mediciones térmicas en el tablero principal del Museo con el fin de determinar posibles fallas, sobrecargas, falsos contactos en los diferentes componentes de este, *breakers*, conductores, barras, entre otros. Para esto se utilizó la cámara termográfica Fluke.

Para el análisis de las imágenes termográficas se toma como referencia la norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988) la cual indica rangos de temperatura que toma como base la temperatura ambiente calificando la importancia que debe darse al componente eléctrico que depende del rango de temperatura al que se encuentre operando.

- 10 °C a 24 °C sobre temperatura ambiente, deseable
- 25 °C a 39 °C sobre temperatura ambiente, importante
- 40 °C a 69 °C sobre temperatura ambiente, mandatorio
- 70 °C sobre temperatura ambiente, crítico

Se toma como referencia de temperatura ambiente la temperatura mínima indicada en cada imagen termográfica, esta temperatura es la que tienen los elementos que no son afectados por alguna fuente de temperatura más que la del ambiente mismo (como por ejemplo la pared), cabe destacar que esta temperatura varía que depende de la hora a la que fue medida.

Los *brakers* del Museo Nacional de Arqueología y Etnología tiene marca de 40 °C esta es la temperatura máxima en la que el *breaker* trabajara a su capacidad nominal de amperaje sin tener que realizarse ajustes de ampacidad por temperatura.

Figura 44. **Breaker principal MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

El *breaker* principal de MUNAE está capacitado en sus terminales para operar a temperaturas de 60/75 °C. Si el conductor es de aluminio puede operar a 60 grados y si el conductor es de cobre puede operar a 75 grados.

Figura 45. Termografía *breaker* tablero principal MUANE



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

En la imagen se observa el *breaker* principal y los cables de alimentación, la cámara termográfica registró un valor máximo de 28,4 °C a una temperatura ambiente de 19,5 °C la diferencia de temperatura es de 8,9 °C. Que toma como referencia US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988) el *breaker* principal se encuentra operando en el rango deseable de temperatura.

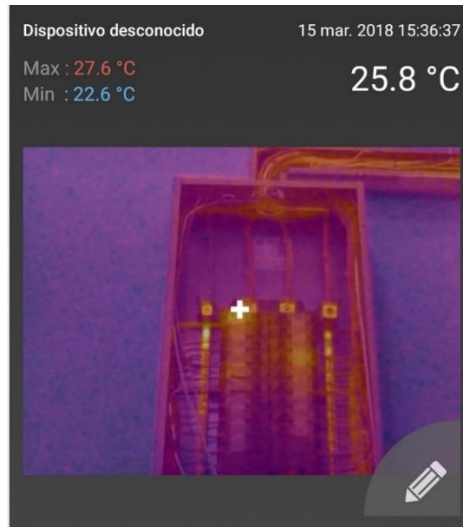
Figura 46. **Termografía tablero principal de distribución MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

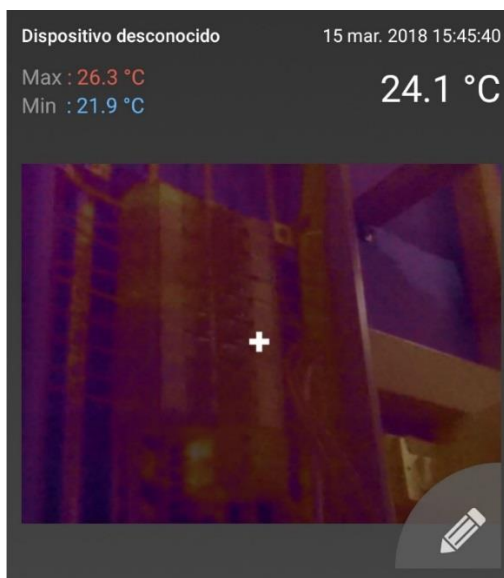
En la imagen se aprecia el interruptor principal, las barras que van del interruptor principal hacia los interruptores ramales se observa que el circuito 2, 4,6 presenta un temperatura mayor que los demás ramales por lo que se puede deducir que este el circuito que presenta mayor consumo, sin embargo esto puede variar durante día, las barras que van del breaker principal hacia los circuitos ramales presentan un color más encendido eso no es precisamente porque se encuentren a un temperatura superior, se debe más a un reflejo del metal que puede interpretarse como una lectura errónea o una reflexión solar, se observa en la imagen que el punto con más temperatura está a 33,2 °C y una temperatura ambiente de 18,9 °C existe una diferencia de 14,3 °C Que toma como referencia US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988) estos elementos se encuentran operando en el rango deseable de temperatura.

Figura 47. **Termografía T-GAL**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Figura 48. **Termografía T-CLA**



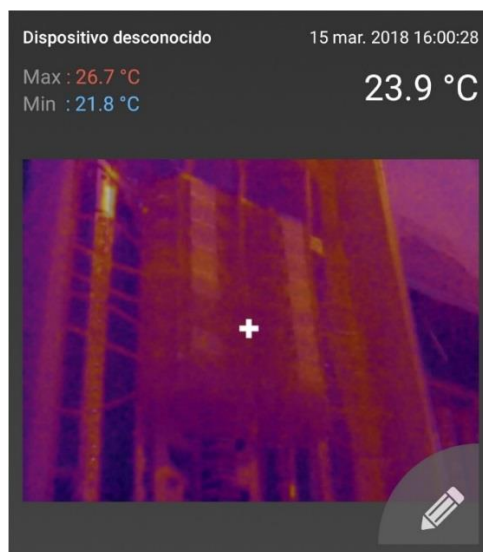
Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Figura 49. **Termografía T-ESC**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Figura 50. **Termografía T-ETN**



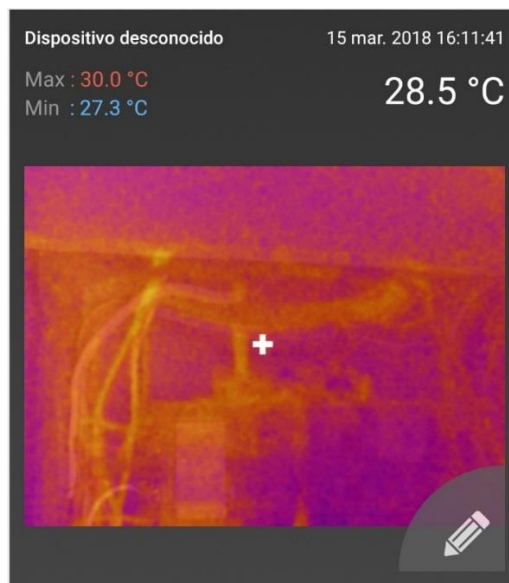
Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Figura 51. **Termografía T-BIB**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Figura 52. **Termografía T-ADMON**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke Connect.

Aplicando los criterios de análisis para los tableros principales en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología se procede a determinar si las temperaturas de operación se encuentran en los rangos adecuados para su correcto funcionamiento según la norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988).

Tabla XLI. **Resumen termografías de tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etología**

Tablero	temperatura °C		Diferencia de temperatura °C	Rango de temperatura según norma MIL-STD 2194 (1988)	Cumple norma
	Ambiente	máxima			
T-GAL	22,6	27,6	5	Deseable	SI
T-CLA	21,9	26,3	4,4	Deseable	SI
T-ESC	22,3	30,7	8,4	Deseable	SI
T-ETN	21,8	26,7	4,9	Deseable	SI
T-BIB	22,5	26,4	3,9	Deseable	SI
T-ADMON	27,3	30	2,7	Deseable	SI
TDP	18,9	33,2	14,3	Deseable	SI

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en el resumen de resultados de la inspección termográfica realizada a los principales tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etnología todas las temperaturas se encuentran en el rango de 10 °C a 24 °C sobre la temperatura ambiente, con esto se determina que todos los elementos eléctricos de los distintos tableros están en el rango deseable de temperatura cumpliendo así lo indicado en la norma US Military Estandar MIL-STD 2194 (1988).

5.2. Inventario de equipos

Con la finalidad de conocer a detalle el consumo de energía eléctrica en el MUNAE se procede a realizar una cuantificación de equipos, con estos datos se puede saber cuál es el consumo aproximado de energía, cual es la potencia instalada del inmueble, con esta información se pueden identificar los principales puntos sobre los que es necesario trabajar en posibilidades de ahorro de energía y mejora en la eficiencia energética, en la siguiente tabla se muestran los datos generales de los equipos utilizados en el MUNAE así como sus respectivos consumos de energía.

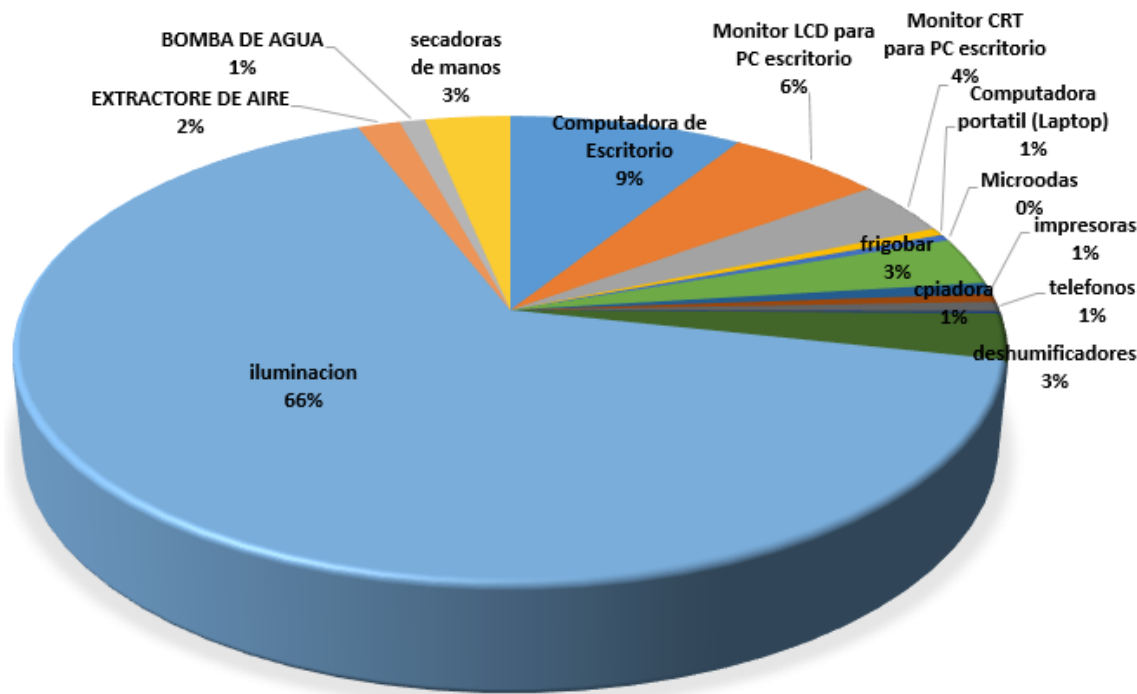
Tabla XLII. Inventario de equipos MUNAE

Núm.	Equipo	Cantidad	Consumo Individual (W)	Antigüedad	Horas de uso	Ahorro de Energía	Energía (Kwh/día)	Energía Mes (Kwh)	Energía %
	equipos								
1	Computadora de Escritorio	17	150	5	8	NO	20,4	489,6	8,58 %
2	Monitor LCD para PC escritorio	9	190	3	8	NO	13,68	328,32	5,75 %
3	Monitor CRT para PC escritorio	8	135	5	8	NO	8,64	207,36	3,63 %
4	Computadora portátil (Laptop)	2	75	1	8	SI	1,2	28,8	0,50 %
5	Microondas	1	1 500	5	0,7	NO	1,05	25,2	0,44 %
6	frigo bar	3	250	4	10	NO	7,5	180	3,15 %
7	impresoras	6	78	6	4	NO	1,872	44 928	0,79 %
8	copiadora	1	1 280	5	1	NO	1,28	30,72	0,54 %
9	teléfo	7	25	5	8	NO	1,4	33,6	0,59 %
10	radios	1	5	1	8	NO	0,04	0,96	0,02 %
11	cargador de celular	15	7,5	3	4	NO	0,45	10,8	0,19 %
12	deshumificadores	3	600	4	4	NO	7,2	172,8	3,03 %
13	iluminación		23 028,56		6,5	NO	149,69	3 891,83	62,94 %
14	Iluminación sótano		5 017,97		2	NO	10,04	260,93	4,22 %
15	Extractor aire	5	93,25		8	NO	3,73	89,52	1,57 %
15	Bomba de agua	1	746		3	NO	2,238	53,712	0,94 %
15	Secadora ma	2	1 860		2	NO	7,44	178,56	3,13 %
	TOTAL		35 041,28				237,84	6027,64	1

Fuente: elaboración propia.

Se aprecia que el consumo más grande de energía en el edificio del MUNAE es el correspondiente a iluminación el cual incluye iluminación de vitrinas este rubro representa el 67,16 % de todo el consumo de energía, el segundo mayor consumo se encuentra conformado el equipo de computación el cual es necesario para la realización de actividades administrativas del edificio en total este equipo representa el 17,96 % de todo el consumo de energía, en la gráfica siguiente se aprecia cómo se encuentra repartido el consumo de energía en el edificio del MUNAE.

Figura 53. **Distribución de consumo de energía eléctrica MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Inventario de lámparas y luminarias

Para evaluar el suministro lumínico del museo se procedió a realizar un conteo de unidades de iluminación en las distintas áreas se recolectaron datos como temperatura, color, eficiencia, también se procedió a tomar datos del nivel de iluminación en cada área con el fin de obtener un promedio de luxes y determinar cuál es su nivel de iluminación.

Tabla XLIII. **Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE**

Área	Tipo de lámpara	Cant	LCDB	LSD	Altura	Temp de lámpara	Potencia	potencia total	Cant de lámparas
administración	fluorescente 4x32	10	10	10	2,50 m	Fría	128 W	1280 W	40
baños	fluorescente 4x20	4	4	NO	2,50 m	Fría	80 W	320 W	16
biblioteca	fluorescente 4x32	4	NO	4	2,50 m	Fría	128 W	512 W	16
clásico	fluorescente 4x32	6	6	NO	7,00 m	Fría	128 W	768 W	69
clásico	fluorescente de 25w vitrina	40	NO	40		Fría	25 W	1000 W	
clásico	reflectores vitrina	5	NO	5	7,00 m	Fría	20 W	100 W	
comedor	fluorescente 2x20	2	2	NO	2,50 m	Fría	40 W	80 W	4
escultura	reflectores halógeno cano	23	NO	21	7,00 m	Cálida	50 W	1150 W	
escultura	en mini postes	5	NO	4	1,50 m	Cálida	50 W	250 W	
escultura	fluorescente 4x32	16	16	NO	7,00 m	Fría	128 W	2048 W	125
escultura	plafonera	10	NO	10	7,00 m	Fría	50 W	500 W	
escultura	mr16 en riel led 3w	20	NO	20	3,95 m	Fría	3 W	60 W	
escultura	reflectores	3	NO	3	7,00 m	Fría	20 W	60 W	

Fuente: elaboración propia.

- LCDB: luminaria con difusor blanco
- LSD: luminaria sin difusor

Tabla XLIV. **Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE**

Área	Tipo de lámpara	Cant	LCDB	LSD	Altura	Temp de lámpara	Potencia	potencia total	Cant de lámparas
etnología	fluorescente de 25w vitrina	68	68	NO		Fría	25 W	1 700 W	
etnología	reflectores 9w	21	15	NO	7,00 m	Cálida	9 W	189 W	
etnología	fluorescente 4x32	8	8	NO	7,00 m	Fría	128 W	1 024 W	121
exterior	faroles y reflectores	6	NO	6	4,00 m	Cálida	200 W	1 200 W	6
galería	dicroica led de 50w	13	NO	13	2,00 m	Cálida	50 W	650 W	
galería	ojos de buey	24	NO	24	7,00 m	Cálida	50 W	1 200 W	
galería	reflectores 9w	4	NO	4	7,00 m	Cálida	9 W	36 W	
galería	fluorescente 4x32	4	4	NO	7,00 m	Fría	128 W	512 W	121
galería	fluorescente 4x20	32	61	NO	7,00 m	Fría	80 W	2 560 W	
introdutoria	fluorescente 4x32	2	9	NO	7,00 m	Fría	128 W	256 W	20
introdutoria	mr16 en riel led 3w	2	NO	2	2,00 m	Fría	3 W	6 W	
introdutoria	fluorescentes 25w vitrinas	10	10	NO		Fría	25 W	250 W	
obras maestras	plafonera	3	NO	3	7,00 m	Cálida	50 W	150 W	22
obras maestras	led blanca vitrinas	19	NO	19	2,00 m	Fría	3 W	57 W	
postclásico	fluorescente 4x32	4	4	NO	7,00 m	Fría	128 W	512 W	48
postclásico	fluorescente de 25w vitrina	32	32	NO		Fría	25 W	800 W	
preclásico	fluorescente 4x32	8	8	NO	7,00 m	Fría	128 W	1 024 W	92
preclásico	reflectores par 38	5	NO	5	7,00 m	Fría	20 W	100 W	
preclásico	mr16 en riel led 3w	11	NO	NO	2,30 m	Fría	3 W	33 W	
preclásico	fluorescente 25w vitrinas	36	36	NO		Fría	25 W	900 W	
preclásico	2x40w vitrinas	8	NO	8		Fría	40 W	320 W	

Fuente: elaboración propia.

- LCDB: luminaria con difusor blanco
- LSD: luminaria sin difusor

Tabla XLV. **Datos de iluminación y lámparas obtenidas del edificio del MUNAE**

Área	Tipo de lámpara	Cant	LCDB	LSD	Altura	Temp de lámpara	Potencia	potencia total	Cant de lámparas
salón	fluorescente 4x32	6	6	NO	7,00 m	Fría	128 W	768 W	61
salón	reflectores	2	NO	2	7,00 m	Fría	20 W	40 W	
salón	fluorescente de 75w	17	NO	17	2,00 m	Fría	75 W	1 275 W	
salón	dicroicas led de 50w	18	NO	16	2,00 m	Fría	50 W	900 W	
sótano	fluorescente 4x32	7	7	7	3,00 m	Fría	128 W	896 W	138
sótano	fluorescente 2x40	50	50	50	3,00 m	Fría	80 W	4 000 W	
sótano	fluorescente 2x32	1	1	1	3,00 m	Fría	64 W	64 W	
sótano	fluorescente 75	2	2	2	3,00 m	Fría	75 W	150 W	
sótano	plafoneras	6	NO	6	3,00 m	Fría	50 W	300 W	
taquilla	mr16 3w	6	NO	6	2,00 m	Fría	3 W	18 W	6
temporales	fluorescente 4x32	9	9	NO	7,00 m	Fría	128 W	1 152 W	104
temporales	led blanca mr16 3w	10	NO	10	2,00 m	Fría	35 W	350 W	
temporales	reflectores par 38	3	NO	3	7,00 m	Fría	20 W	60 W	
temporales	mr16 en riel 3w	14	NO	14	2,00 m	Fría	3 W	42 W	
temporales	mr16 en vitrinas	41	NO	41		Fría	3 W	123 W	
textiles	fluorescente 4x32	3	3	3	7,00 m	Fría	128 W	384 W	12

Fuente: elaboración propia.

- LCDB: luminaria con difusor blanco
- LSD: luminaria sin difusor

Tabla XLVI. Control y luz natural áreas MUNAE

área de trabajo	cpi	luz natural	In ventanas	In tragaluz	sombras	deslumbramientos	parpadeos	color luz
taquilla	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
temporales	X	No	No	No	No	No	No	Sí
introdutoria	X	No	No	No	No	No	No	Sí
preclásico	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
clásico	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
escultura	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
postclásico	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
etnología	X	No	No	No	No	No	No	Sí
salón	X	No	No	No	No	No	No	Sí
galería	X	No	No	No	No	No	No	Sí
obras maestras	X	No	No	No	No	No	No	Sí
biblioteca	X	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí
administración	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
textiles	X	No	No	No	No	No	No	Sí
sótano	X	No	No	No	No	No	No	Sí
baños	X	No	No	No	No	No	No	Sí
comedor	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
exterior	X	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí

Fuente: elaboración propia.

CPI: control por Interruptor

LN: luz natural

Tabla XLVII. Eficiencia de iluminación edificio del MUNAE

área de trabajo	eficiencia	lámparas por luminaria	potencia instalada	eficiencia	potencia utilizada (w)	ilum promedio (luxes)	Lamp no funcio
Taquilla	100 %	6	18	1,00	18,00	92,00	0
Temporales	92 %	104	1 727	0,92	1 594,15	62,56	8
Introdutoria	90 %	20	512	0,90	460,80	21,75	2
Preclásico	95 %	92	2 090	0,95	1 976,41	34,85	5
Clásico	97 %	69	1 868	0,97	1 813,86	33,92	2
Escultura	94 %	125	4 068	0,94	3 807,65	94,39	8
Postclásico	100 %	48	1 312	1,00	1 312,00	21,09	0
Etnología	96 %	121	2 913	0,96	2 792,63	15,57	5
Salón	89 %	61	2 983	0,89	2 640,69	50,40	7
Galería	70 %	121	4 922	0,70	3 457,60	194,78	36
Obras Maestras	86 %	22	207	0,86	178,77	36,36	3
Biblioteca	100 %	16	512	1,00	512,00	88,07	0
Administración	100 %	40	1 280	1,00	1 280,00	97,00	0
Textiles	100 %	12	384	1,00	384,00	67,00	0
Sótano	93 %	138	5 410	0,93	5 017,97	51,47	10
Baños	100 %	16	320	1,00	320,00	57,00	0
Comedor	100 %	4	80	1,00	80,00	92,00	0
Exterior	33 %	6	1 200	0,33	400,00		4

Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Análisis de resultados de iluminación MUNAE

De acuerdo con el conteo de lámparas en el edificio del MUNAE este cuenta con un total de 663 luminarias compuestas por 1021 lámparas aproximadamente en estas lámparas están incluidas las utilizadas en vitrinas, el porcentaje de eficiencia del total de lámparas es 90 %, es decir, la mayoría funciona correctamente.

Tabla XLVIII. Resumen de eficiencia lumínica MUNAE

Luminaria	Total de lámparas	Eficiencia	Potencia (KW)
663	1021	91 %	28,04653

Fuente: elaboración propia.

- El porcentaje de eficiencia se calculó mediante el conteo de lámparas que no funcionan o en malas condiciones relacionándolas con las lámparas que funcionan correctamente.
- La mayoría de lámpara instalada en el edificio incluyendo las vitrinas son fluorescentes instaladas a diferentes distancias del suelo, sin embargo, hay áreas en las cuales la iluminación es led con diferentes distancias al suelo con la gran mayoría con una temperatura color frio.
- Todas las luminarias tienen control de encendido con interruptor.

Para analizar los distintos parámetros de iluminación en las distintas áreas que conforman el MUNAE se toma como referencia el *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional* (Acuerdo Gubernativo 33-2016, reforma al acuerdo 229-2014) del Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

El cual indica en su artículo 17 con respecto a la iluminación:

Los centros de trabajo deben contar con iluminación adecuada para la seguridad y conservación de la salud de los trabajadores. Cuando la iluminación natural no sea factible o suficiente, se debe proveer la luz artificial en cualquiera de sus formas, siempre que ofrezca garantías de seguridad, no vicie la atmosfera del local y no ofrezca peligro de incendio. El número de fuentes de luz, su distribución e intensidad, deben estar en relación con la altura, superficie del local y trabajo que se realice. Los lugares que vulneren o pongan en riesgo al trabajador, deben estar especialmente iluminados. La iluminación natural, directa o refleja, no debe ser tan intensa que exponga a los trabajadores a sufrir accidentes o daños a la salud.⁷

En el artículo 67 de este acuerdo proporciona una tabla donde indica los niveles de iluminación adecuados para las distintas zonas de trabajo.

Tabla XLIX. **Niveles mínimos de iluminación**

OFICINAS		
Zona de trabajo	Exigencia Visual	Nivel mínimo de luxes en las áreas de trabajo
Escaleras y pasillos	baja	100-150
Baños	baja	100-150
Recepción y sala de reuniones	media	200-500
Bodega de materiales	media	200-500
Trabajo de oficinas	alta	500-1000
Redacción	alta	1 500-2000
Archivo	alta	1 500-2000

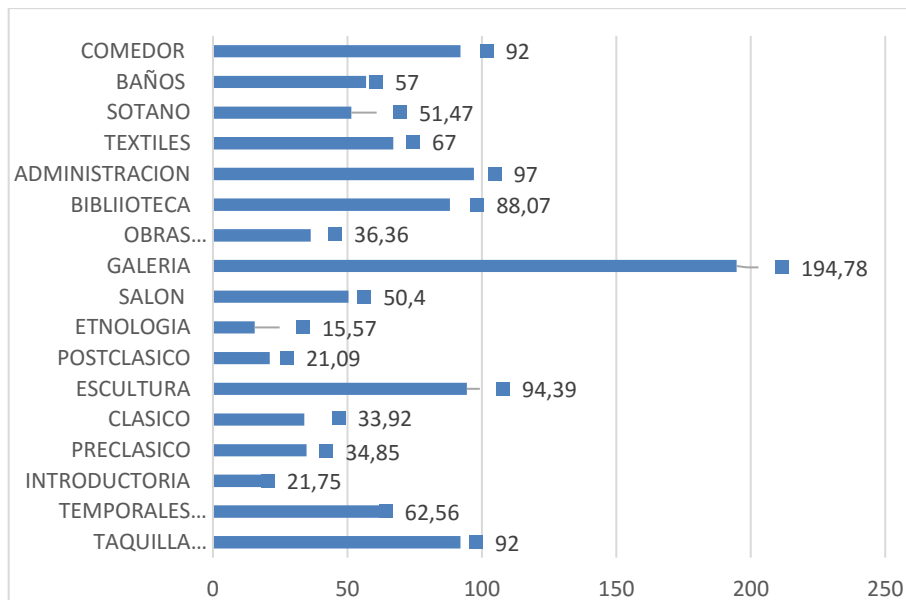
Fuente: Ministerio de Trabajo y Prevención Social. *Acuerdo Gubernativo 33-2016, reforma al acuerdo 229-2014*. p. 4.

⁷ Ministerio de Trabajo y Prevención Social. *Acuerdo Gubernativo 33-2016, reforma al acuerdo 229-2014*. p. 4.

5.3.2. Mediciones de lúmenes por metro cuadrado

Por medio de un luxómetro se tomaron mediciones de la intensidad lumínica en las distintas áreas del museo con la finalidad de obtener el promedio de luxes en cada lugar de trabajo y se recopilaron los siguientes resultados.

Figura 54. Valores promedio de iluminación por unidad del MUNAE



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en las áreas de la biblioteca, taquilla y administración donde se hace trabajo de oficina los niveles de iluminación son bajos comparados con los establecidos en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al Acuerdo Gubernativo 229-2014 aunque ambos posean ventanales que hacen un aporte importante al nivel de iluminación en el caso de biblioteca como área administrativa, mientras que en taquilla posee ingreso importante de

iluminación natural debido a que la puerta posee ventanales que permiten ingreso de luz sin embargo en la parte de archivo en biblioteca los niveles de iluminación tomados indicaron cero luxes.

Estas áreas mencionadas se les debe dar importancia, por sus niveles de iluminación pueden representar un peligro en cuanto a la salud de los trabajadores además de estas áreas las salas de exhibición cuentan con niveles muy bajos de iluminación sin embargo esto depende mucho del tipo de exhibición y el ambiente que requiera cada exhibición.

Las áreas a las que se les debe dar mayor importancia son:

- Biblioteca: 88,06 luxes
- Administración 97 luxes
- Taquilla 92 luxes

Esta deficiencia está provocada por la distribución de lámparas en estos lugares en el área administrativa se percibe un nivel de iluminación bajo el cual es detectado a simple vista.

En el área de biblioteca sucede lo mismo la distribución de lámparas no está acorde a la distribución de estanterías por lo que hay lugares en que las mediciones tomadas indicaron cero luxes.

Para las vitrinas se debe manejar niveles máximos de iluminación y esto dependerá de que material esté hecha la pieza, los niveles máximos de iluminación para vitrinas puede apreciarse en la tabla siguiente.

Tabla L. **Niveles de iluminación recomendados**

Niveles de iluminación máxima recomendada		
grupo	Materiales	iluminancia
A	acuarelas, telas, papel grabados, tapices, entre otros.	50 lux
B	oleos, temperas, hueso marfil, cuero, entre otros.	200 lux
C	piedra, metal, cerámica fotos en blanco y negro	300 lux

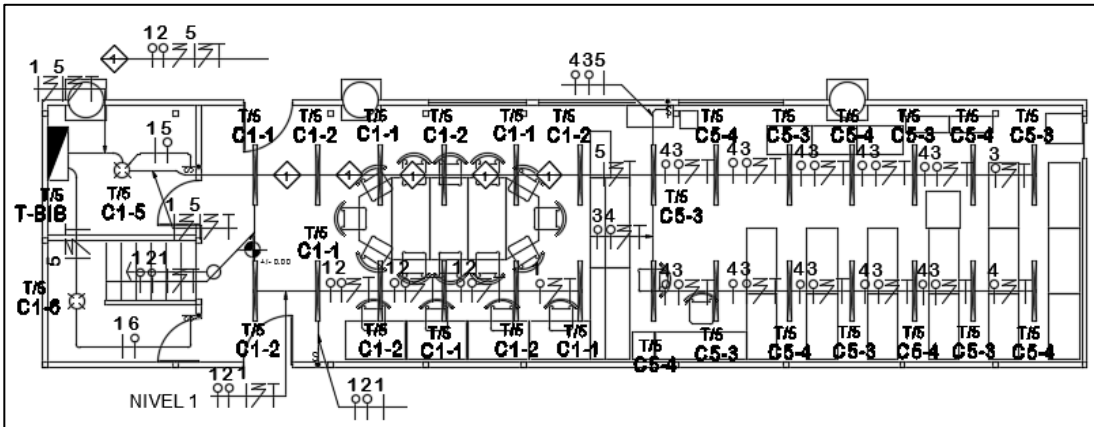
Fuente: Ilumunet, revista de iluminación. *Libro iluminación para interiores, museos y galerías de arte*. <https://www.iluminet.com/iluminacion-en-museos-y-galerias-de-arte/>. Consulta: 29 mayo de 2020.

5.3.3. **Cálculo de luxes Ideales por zona de trabajo**

Dado que los niveles de iluminación medidos en las distintas zonas de trabajo están por debajo de lo recomendado en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al Acuerdo Gubernativo 229-2014 se procede a realizar una nueva distribución de luminarias en la biblioteca y el área administrativa seleccionando un tipo de lámpara se corrió una simulación para saber qué nivel de iluminación se tendría aplicando estos cambios.

Esta simulación se realizó con el programa Dialux evo con el cual se logró un nivel de iluminación entre 500 a 1 000 luxes y con esto cumplir los niveles indicados en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al acuerdo 229-2014.

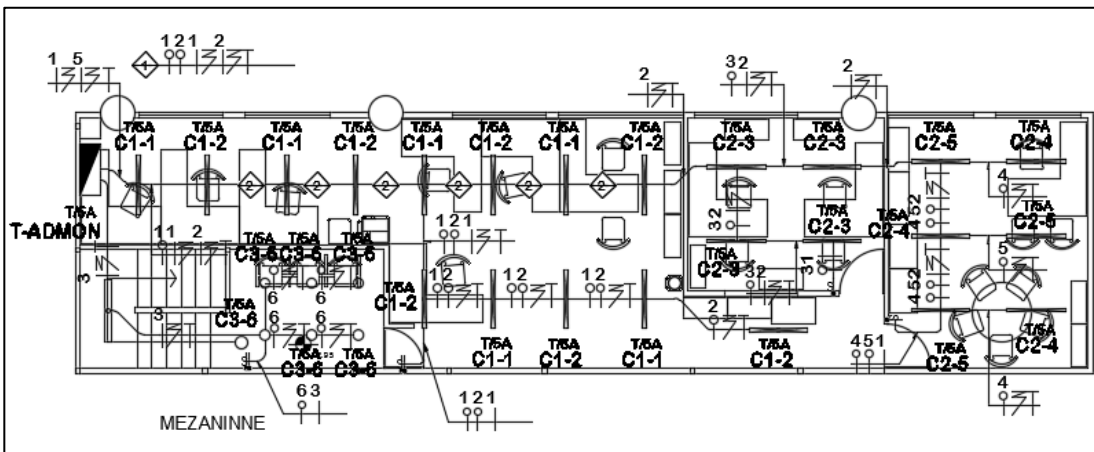
Figura 55. **Distribución de luminarias área de biblioteca MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando Dialux Evo.

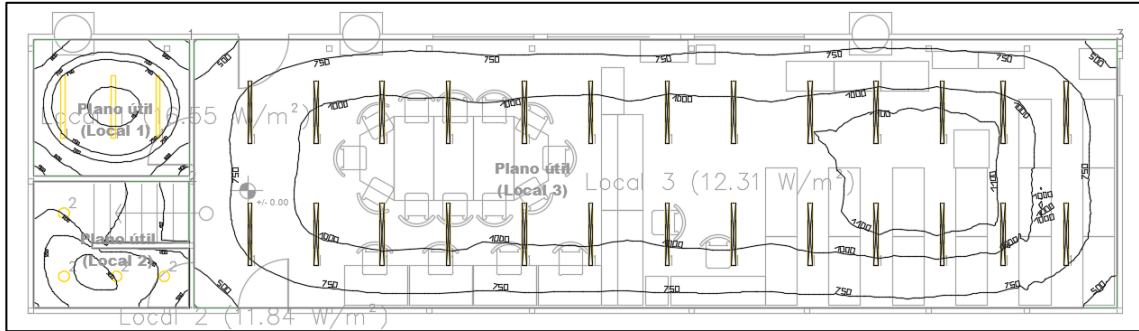
Para el área de la biblioteca se propuso una distribución de luminarias que estuviera acorde con la distribución de estanterías para evitar sombras que dificulten la visibilidad en esta área tan importante.

Figura 56. **Distribución de luminarias área administrativa MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando Dialux Evo.

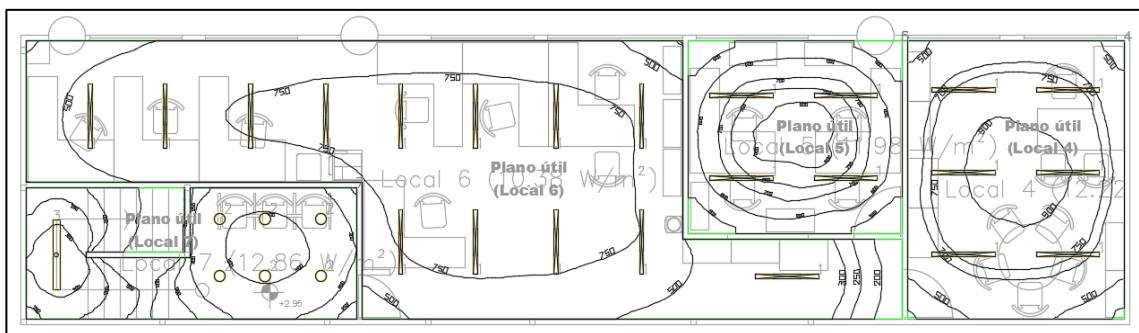
Figura 57. Niveles de iluminación área de biblioteca MUNAE



Fuente: elaboración propia, empleando Dialux Evo.

- En el área de gradas se obtuvo una media de 190 luxes lo cual cumple con lo indicado en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al acuerdo 229-2014.
- El área de biblioteca se obtuvo una media de 922 luxes lo cual cumple con lo indicado en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al acuerdo 229-2014.

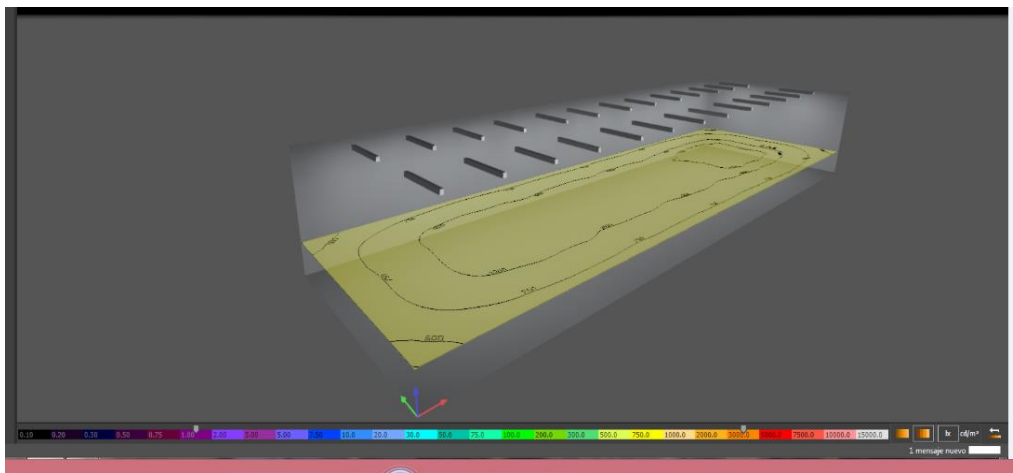
Figura 58. Niveles de iluminación área administrativa MUNAE



Fuente: elaboración propia, empleando Dialux Evo.

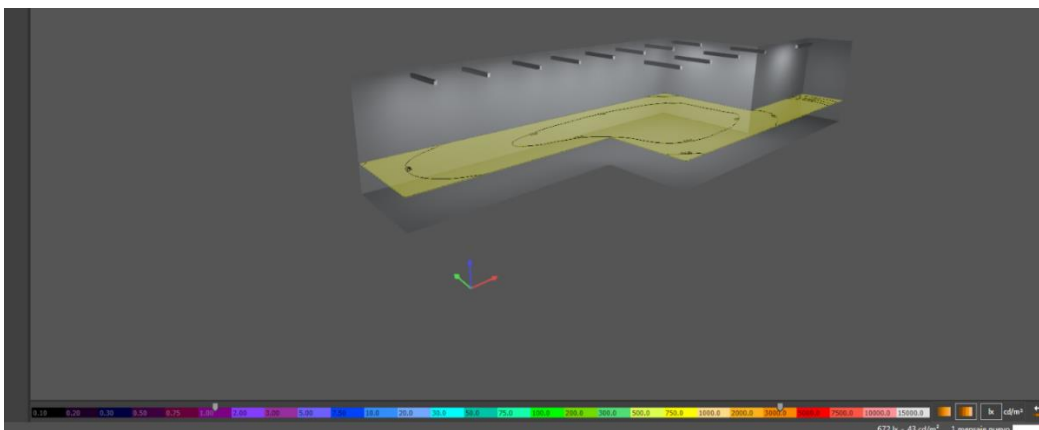
Para el área administrativa se obtuvo una media de 672 luxes lo cual cumple con lo indicado en el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al acuerdo 229-2014.

Figura 59. **Simulación en programa Dialux evo**



Fuente: elaboración propia. empleando Dialux Evo.

Figura 60. **Simulación en programa Dialux evo**



Fuente: elaboración propia, empleando Dialux Evo.

5.4. Cambio de luminarias fluorescentes a luminarias led

Debido a que la iluminación tanto de salas como de vitrinas es la que ocupa la mayor cantidad de energía eléctrica en el MUNAE se hace necesario aplicar un cambio en esta área dado que es la que produce más impacto en el gasto de energía por lo que se propone cambiar las luminarias alógenas, fluorescentes, incandescentes, entre otros, a luminarias led.

Actualmente la iluminación representa el 67,16 % de la energía eléctrica consumida en el MUNAE por esta razón se propone cambiar las luminarias actuales por su equivalente en led esto aplicado en las zonas que se utilizan más en el museo.

En la siguiente tabla se presentan las luminarias actuales y su semejante en luminaria led.

Tabla LI. **Comparativo entre luminarias actuales y luminarias led**

lámpara actual	lámpara nueva
fluorescente de 25w	led de 12w
fluorescente 2x40w	tubo led de 2x18w
dicroicas 50w	mr16 3w
fluorescente de 4x32	tubo led de 4x18w

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Cantidad de luminarias a cambiar y energía que estas consumen actualmente**

lámparas por cambiar					
lámpara actual	cantidad	potencia total (w)	consumo diario (wh)	consumo mensual (KwH)	lámpara led equivalente
fluorescente de 25w	186	4 650	32 550	846,3	led de 12w
fluorescente 2x40w	8	320	2 240	58,24	tubo led de 2x18w
dicroicas 50w	31	1 550	10 850	282,1	mr16 3w
fluorescente de 4x32	77	9 856	68 992	1 793,792	tubo led de 4x18w
Total				2 980,432	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Luminarias sustituidas y energía que consumirían**

lámparas nuevas				
lampara nueva	cantidad	Potencia total (w)	consumo diario (wh)	consumo mensual (KwH)
led de 12w	186	2 232	15 624	406,224
tubo led de 2x18w	8	128	896	23,296
mr16 3w	31	93	651	16,926
tubo led de 4x18w	77	5 544	38 808	1 009,008
Total				1 455,454

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Diferencia de consumos y porcentaje de ahorro**

	Consumo mensual en KwH	% de ahorro
luminarias actuales	2 980,43	
luminarias led	1 455,45	49 %
diferencia	1 524,98	

Fuente: elaboración propia.

El hecho de cambiar las luminarias actuales por su equivalente a led representa un ahorro de 1 524,98 kWh al mes lo que representa un 49 % me de gasto de energía por concepto iluminación que al año son 18 288 kWh esto hace que la energía proyectada para el año 2032 baje de 64,93 MWh a 46,63 Mwh lo cual indica una reducción de 28 % al consumo de energía total en el edificio.

6. PROPUESTA DE DISEÑO Y MEJORAMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Después de la evaluación realizada a las instalaciones eléctricas se procedió a realizar una propuesta de diseño o mejora de instalaciones eléctricas del edificio del MUNAE que pasa por todos los elementos que conforman dicha instalación.

6.1. Alimentadores a tableros

Después de realizar el respectivo análisis de los alimentadores de tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etnología se determinó que los conductores no son críticos por corriente.

Haciendo el respectivo análisis para caída de tensión el único alimentador que es crítico por caída de tensión es el tablero T-BIB el cual presenta una caída de 6,36 % por esta razón procederá a realizar el cálculo del calibre para el conductor que requiere este alimentador.

Por lo que se procederá a utilizar las fórmulas del inciso 2.2.2 de este documento y con los datos obtenidos a través del levantamiento eléctrico.

Para calcular el conductor por caída de tensión se requiere la siguiente información.

- P= potencia en watts
- L= longitud en metros

- U= voltaje en voltios
- ΔU = caída de tensión deseada

Cálculo de potencia, como la potencia es monofásica se determina con la siguiente fórmula.

$$P = U * I * \cos \varphi$$

Misma que puede expresarse también de la siguiente forma:

$$P = U * I * FP$$

Donde:

P= potencia en watts

U= voltaje

I= corriente

FP= factor de potencia

El cálculo queda de la siguiente forma:

$$P = 120 * 23,60 * 0,95$$

$$P = 2 690,4 w$$

La caída de tensión recomendada para alimentadores según el NEC 2008 es del 3 % por esta razón se tomará esta caída para hacer el cálculo del área transversal del conductor haciendo uso de la fórmula siguiente:

$$S_{min} = \frac{2 * L * P}{\sigma * U * \Delta U_{max}}$$

Donde:

S= sección del conductor en mm^2

P= potencia en watts

L= longitud en metros

U= voltaje en voltios

ΔU = caída de tensión deseada

Estos datos son los siguientes

S = sección del conductor en mm^2

P = 2 690,44 w

L = 87 metros

U = 120 v

ΔU = 3 %

σ = conductividad del cobre 57

Sustituyendo datos en la fórmula

$$S_{min} = \frac{2 * 87 * 2\,690,4}{57 * 120 * 3}$$

$$S_{min} = 22,81 \text{ mm}^2$$

La sección mínima del conductor adecuado para una caída máxima de 3 % en el tablero T-BIB es de $22,81 \text{ mm}^2$ consultando la tabla V de este

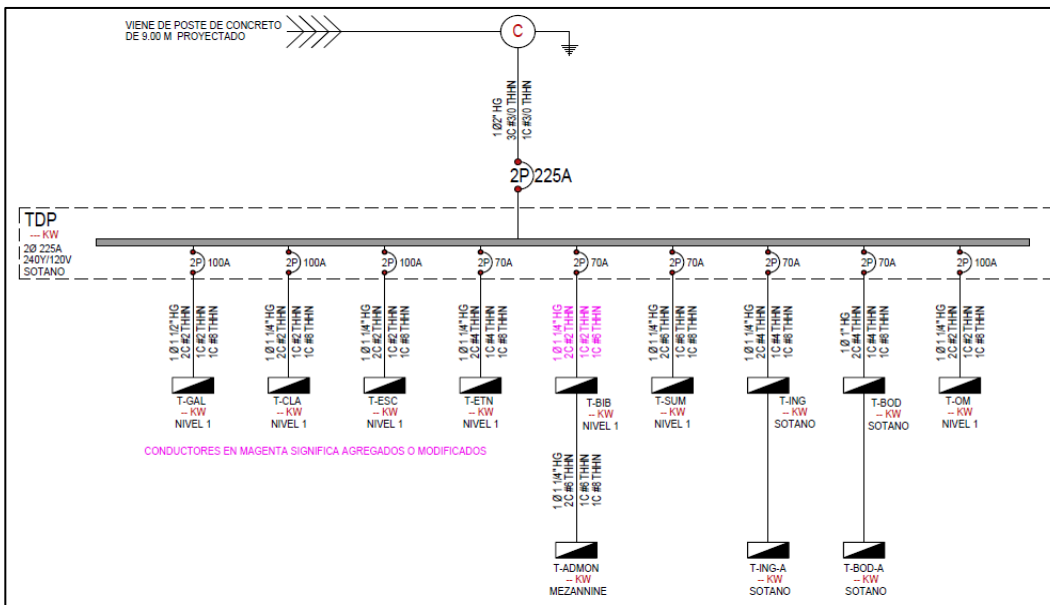
documento el conductor adecuado para este alimentador es un calibre número 2 el cual tiene una sección de $33,62 \text{ mm}^2$.

6.2. Diagrama unifilar Museo Nacional de Arqueología y Etnología

Con el uso de los datos de levantamiento eléctrico en las instalaciones del MUNAE así como los datos obtenidos con el análisis por corriente y por caída de tensión se procedió a realizar las mejoras respectivas al mismo.

En este diagrama unifilar se presenta el cambio de alimentador del tablero T-BIB el cual era crítico por caída de tensión realizando los cálculos pertinentes se cambió el cableado de este alimentador que paso de ser un calibre número 6 a un calibre número 2 y su porcentaje de caída mejoro de un 6,36 % a un 3 %.

Figura 61. Diagrama unifilar nuevo diseño MUAE



Fuente: elaboración propia.

6.3. Balance de corrientes en tablero principal MUNAE

Con los datos obtenidos por medio de la medición de corriente en cada circuito del tablero principal del edificio de Museo Nacional de Arqueología y Etnología se procedió a realizar una propuesta de balance de cargas en el tablero principal con la finalidad de hacer más eficiente la instalación eléctrica.

Moviendo *breakers* en el tablero se logra una diferencia de 2,79 amperios entre la fase A y la fase B equilibrando lo mejor posible las corrientes en cada fase para el alimentador principal.

Figura 62. Propuesta balance de corrientes en tablero principal

TABLERO:		TABLERO PRINCIPAL			BARRAS 225A		ALIMENTADOR:		2C # 3/0 THHN 1C # 3/0 THHN 1C #4 THHN		No. POLOS	30	N/S			
VOLTAJE		120/240V			INTER. PRINCIPAL 2X225A						FASES:	1Ø	N/A			
CIRC.	CABLE	ITM	CORRIENTE			DESCRIPCION	A	B	C	DESCRIPCION	CORRIENTE			ITM	CABLE	CIRC.
			A	B	C						A	B	C			
1									T-CLA	14.7			2X100 A	#2 THHN	2	
3											12.3				4	
5	#2 THHN	2X100 A	5.7			T-ESC									6	
7				7.8					T-SUM		5.1		2X70A	#6 THHN	8	
9	#6 THHN	2X70A	23.6			T-BIB				4.4					10	
11				3.1											12	
13	#4 THHN	2X70A	1.1			T-ING			T-BOD	6.1			2X70A	#4 THHN	14	
15				5.8							1.8				16	
17									T-OM	1.8			2X70A	#4 THHN	18	
19	#2 THHN	2X100 A		20.5		T-GAL					4.21				20	
21			12.6												22	
23									T-ETN		10.2		2X70A	#4 THHN	24	
25										3.6					26	
27															28	
29															30	
						A	B	C								
			43	37.2	0	73.6	70.81	0	30.6	33.61	0					
NOTA:						TOTAL										

Fuente: elaboración propia.

6.4. Cálculo de sistema de tierras

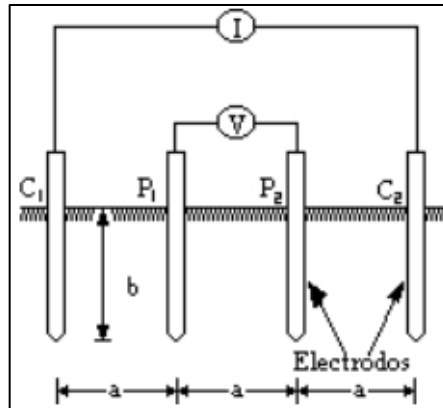
Dado que la medición para la bajada de tierra física dio un valor insatisfactorio se debe diseñar la red de tierras que cumpla con el nivel de resistencia deseado antes de realizar este procedimiento se debe conocer la resistividad del terreno, para esto se realizó esta medición con el telurómetro AEMC modelo 4620 y se calculó a través del método de Wenner.

Con las mediciones obtenidas se hacen los cálculos pertinentes para el diseño de la red de tierras que cumpla con la resistencia que es requerida para un edificio como este la cual indica una resistencia no mayor a 5 ohms.

6.4.1. Resistividad del terreno por método de Wenner

El objetivo de este procedimiento es calcular la resistividad del terreno para esto se insertan 4 picas en el suelo, Los electrodos deben ser colocados formando una línea recta y enterrados a profundidades iguales, el resultado de las mediciones dependerán tanto del intervalo de separación entre cada electrodo como de la resistividad de la tierra medida, por otro lado no dependerá significativamente del tamaño de las picas ni del material de las mismas aunque si dependerá del contacto que hagan con la tierra.

Figura 63. **Esquema de electrodos para medición de resistividad método de Wenner**



Fuente: Ruelsa. *Sistema de puesta a tierra*. <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>.

Consulta: 9 de junio de 2020.

En el esquema se muestra la disposición de cada pica, la corriente es inyectada por medio de las picas en los costados mientras que el potencial se mide por medio de las picas que están en el medio una vez realizadas estas mediciones la se puede calcular la resistividad aplicando la ecuación siguiente.

$$\rho = \frac{4 * \pi * A * R}{\left[1 + \left[\frac{2 * A}{(A^2 + 4B^2)^{0,5}} \right] - \frac{2 * A}{(4A^2 + 4B^2)^{0,5}} \right]}$$

Donde:

ρ = resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m

A = distancia entre electrodos en metros

B = profundidad de enterramiento de los electrodos en metros

R = lectura del termómetro en ohms

Si la distancia del B comparada con la de A es pequeña ósea que $A > B$, la fórmula puede ser simplificada y queda de la siguiente forma:

$$\rho = 2 * \pi * A * R$$

La resistividad calculada por medio de las fórmulas indica la resistividad promedio que hay en el terreno medido a una profundidad igual a la distancia que separa las picas.

Para hacer las mediciones se recomienda que la lectura se realice en distintas partes y también que las mediciones se realicen a 90^0 entre cada una para que estas no se vean alteradas por elementos como estructuras metálicas que se encuentren bajo tierra, con todas las mediciones hechas se debe realizar un promedio.

6.4.1.1. Cálculo de resistividad de suelo MUNAE

Se realizó procedimiento para medir la resistividad del terreno en las instalaciones del MUNAE para esto se utilizó el telurómetro AEMC 4620 que posee características siguientes.

Tabla LV. **Datos eléctricos del telurómetro utilizado**

Marca	AEMC MODEL 4620 and MODEL 4630
Rango de medición	0-2000 Ω
Frecuencia de medición	128 Hz
Voltaje	42 V max
Corriente de corto circuito	10 mA max

Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Telurómetro utilizado para medición de resistividad de suelo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Electrodos utilizados para medición**



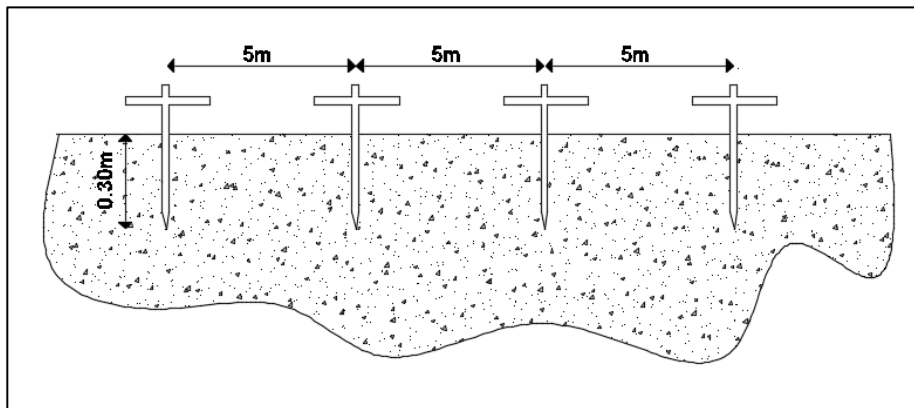
Fuente: elaboración propia.

Para efectuar la medición de resistividad del suelo se procedió a seleccionar los valores para las distancias de separación de los electrodos siendo las siguientes medidas:

A= 5 m

b= 0,30 m

Figura 66. **Esquema de colocación de electrodos para medición**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Una vez seleccionados estos datos se procedió a realizar las mediciones, se realizaron 5 mediciones y se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla LVI. **Mediciones con telurómetro**

Mediciones telurómetro	
Medición	Valores medidos
1	1,53 Ω
2	1,50 Ω
3	1,53 Ω
4	1,53 Ω
5	1,54 Ω

Fuente: elaboración propia.

Con estas mediciones se calculó un promedio como lo indica el método de Wenner.

$$\bar{x} = \frac{\text{med 1} + \text{med 2} + \text{med 3} + \text{med 4} + \text{med 5}}{5} [\Omega]$$

$$\bar{x} = \frac{1,53 \Omega + 1,50 \Omega + 1,53 \Omega + 1,53 \Omega + 1,54 \Omega}{5} = 1,53 \Omega$$

Una vez obtenido este dato se procede a calcular la resistividad del terreno con el uso de la fórmula de Wenner.

$$\rho = \frac{4 * \pi * A * R}{\left[1 + \left[\frac{2 * A}{(A^2 + 4B^2)^{0,5}} \right] - \frac{2 * A}{(4A^2 + 4B^2)^{0,5}} \right]} [\Omega - m]$$

$$\rho = \frac{4 * \pi * (5) * (1,53)}{\left[1 + \left[\frac{2 * (5)}{((5)^2 + 4(0,30)^2)^{0,5}} \right] - \frac{2 * (5)}{(4(5)^2 + 4(0,30)^2)^{0,5}} \right]} = 48,36 \Omega - m$$

El valor de resistividad del suelo para el edificio del MUNAE presento una resistividad de 48,36 $\Omega - m$ una vez obtenido este valor se puede hacer el cálculo para de la red de tierras que cumpla con el nivel de resistencia que se desee.

6.4.2. Diseño de la red de tierras método de SCHWARZ

Este método es utilizado para diseñar una red de tierras que cumpla con su función en las instalaciones del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

6.4.2.1. Criterios de diseño

- Para diseño de la malla se considera que un valor inferior a 5Ω este es el valor máximo que debe tener una malla en baja tensión según el NEC 2008 en su artículo 250.56.
- Las uniones del conductor deberán ser realizadas con soldadura exotérmica que garantice una conductividad del 100 % de la capacidad del conductor.
- El tamaño del conductor de puesta a tierra esta seleccionado con respecto al NEC 2008 en la tabla 250.66 conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna.
- El área transversal del conductor para la malla de tierra, la profundidad a la que estará esta y las dimensiones de la cuadrícula están seleccionadas con forme a la norma IEEE-std80 sección 9.4 (c) la cual indica:

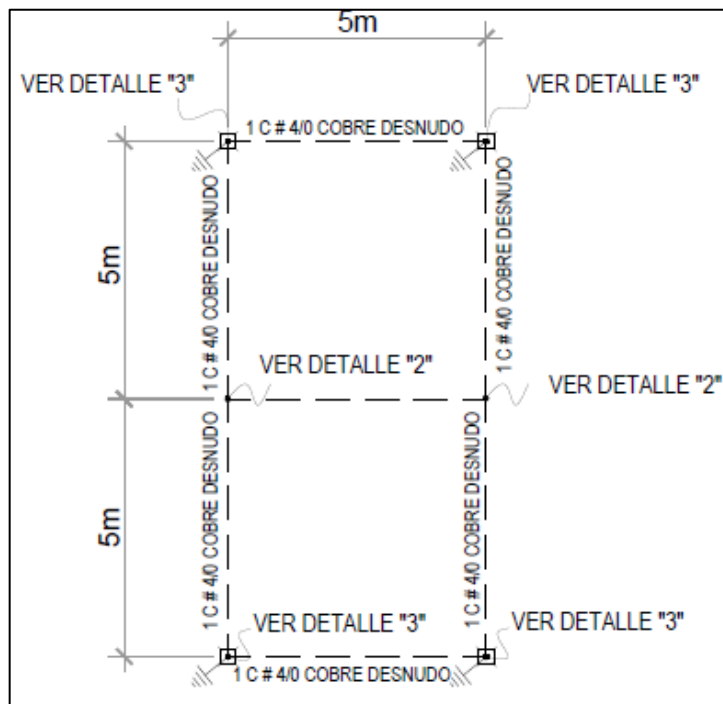
Un sistema de red típico para una subestación puede incluir conductores de cobre desnudos 4/0 enterrados 0,3–0,5 m (12–18 pulg.) Debajo del nivel del suelo, espaciados entre 3 y 7 m (10–20 pies), en un patrón de cuadrícula. En las conexiones cruzadas, los conductores estarían unidos de forma segura. Las barras de tierra pueden estar en las esquinas de la cuadrícula y en los puntos de unión a lo largo del perímetro. Las varillas de tierra también se pueden instalar en equipos principales, especialmente cerca de pararrayos. En suelos multicapa o de alta resistividad, podría ser útil usar barras más largas o Varillas instaladas en puntos de unión adicionales.⁸

⁸ norma IEEE-std80 sección 9.4. *Guía IEEE para la seguridad en el aterrizamiento de subestaciones de CA.* <https://es.scribd.com/document/323754725/ieee-std80-2013-Spanish-Partial-1-pdf>.

6.4.2.2. Diseño red de tierras MUNAE

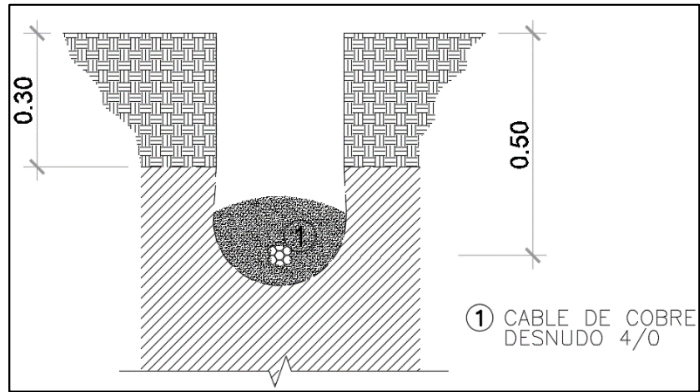
Después de realizar la medición de la resistividad del suelo en donde se sugirió colocar la red de tierras para el edificio del MUNAE se procedió a realizar el diseño de la red de tierras y se optó por diseñar una malla de dos cuadrantes de 5m por lado con cuatro varillas enterradas en las esquinas del rectángulo que forman, así como en las uniones del centro, dejando también las cuatro esquinas del rectángulo con pozos de visita para poder medirlas, cuando sea necesario

Figura 67. Diseño red de tierra MUNAE



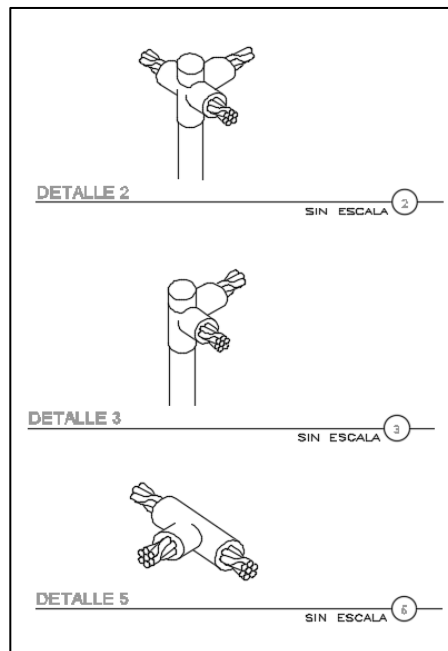
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 68. **Profundidad del conductor para malla de tierra**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 69. **Detalles soldaduras exotérmicas red de tierras MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Una vez diseñada la forma de la red de tierras se realizan los cálculos pertinentes para determinar si la red tierras cumplía con tener una resistencia menor a 5 ohm con el uso del método de Schwarz.

Para calcular la resistencia de la malla de tierra a través del método de schwarz, se establece que la resistencia de una malla se puede calcular con las expresiones siguientes.

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi x L} * \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * L}{\sqrt{2h * d}} \right) + \frac{K_1 * L}{\sqrt{S}} - K_2 \right] [\Omega]$$

Donde:

- ρ_e = resistividad equivalente del terreno (Ω -m)
- L = largo total del conductor de la malla (m)
- h = profundidad de enterramiento de la malla (m)
- S = área total de la malla (m^2)
- A = lado mayor reticulado (m)
- B = lado menor reticulado (m)
- d = radio del conductor (m)

Los valores de K_1 y K_2 están dados por las ecuaciones siguientes

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 * h}{\sqrt{S}} - 0,044 * \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 * h}{\sqrt{S}} + 0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} * \left[\frac{A}{B} \right]$$

Donde:

- h = profundidad de enterramiento de la malla (m)
- S = área total de la malla (m^2)
- A = lado mayor reticulado (m)
- B = lado menor reticulado (m)

Una vez definidos los datos y las ecuaciones por utilizar se procede realizar el cálculo para determinar cuál es la resistencia que presenta la red.

Los datos de la red de tierra se indican a continuación.

- ρ_e = resistividad equivalente del terreno = 48,36 Ω -m
- L = largo total del conductor de la malla = 35 m
- h = profundidad de enterramiento de la malla = 0,5 m
- S = área total de la malla = 50 m^2
- A = lado mayor reticulado = 10 m
- B = lado menor reticulado = 5 m

Radio del conductor d

El conductor por utilizar será calibre 4/0 desnudo el cual tiene un área transversal de 107,23 mm^2

El área de un círculo está dada por la fórmula siguiente:

$$A = \pi r^2$$

Despejando r se obtiene el radio del conductor:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Por lo que el radio del conductor es el siguiente:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{107,23}{\pi}} = 5,84 \text{ mm}$$

Expresado en metros el radio del conductor es $d = 0,00584 \text{ m}$.

Cálculo del factor K_1 :

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 * h}{\sqrt{S}} - 0,044 * \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 * 0,6}{\sqrt{50}} - 0,044 * \left[\frac{10}{5} \right]$$

$$K_1 = 1,14 \Omega$$

Cálculo del factor K_2

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 * h}{\sqrt{S}} + 0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} * \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 * 0,6}{\sqrt{50}} + 0,15 - \frac{0,6}{\sqrt{50}} * \left[\frac{10}{5} \right]$$

$$K_2 = 4,80$$

Una vez obtenidos estos factores se procede a calcular la resistencia de la malla por medio de la siguiente expresión:

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi * L} * \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * L}{\sqrt{2h * d}} \right) + \frac{K_1 * L}{\sqrt{S}} - K_2 \right] [\Omega]$$

$$R_M = \frac{48,36}{\pi * 35} * \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 35}{\sqrt{(2)0,5 * 0,00584}} \right) + \frac{1,14 * 35}{\sqrt{50}} - 4,80 \right]$$

$$R_M = 3,37 \Omega$$

La resistencia de la malla de tierra diseñada para el edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología presenta un valor de 3,37 Ω . El resultado obtenido se encuentra menor a 5 Ω lo que indica un resultado satisfactorio para cumplir con lo establecido en el NEC 2008 en su artículo 25.56.

6.5. Cálculo de pararrayos

Se procedió a seleccionar el pararrayos que más se ajuste a las necesidades del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

El Museo Nacional de Arqueología y Etnología cuenta con equipos de oficina (computadoras, laptops, impresoras, entre otros). Por lo cual se hace necesario proteger dichos equipos contra descargas atmosféricas, si una falla ocurre podría impactar de forma negativa a las instalaciones eléctricas, actualmente el museo no cuenta con pararrayos.

Por lo que se procedió a seleccionar el pararrayos más adecuado para dicho edificio que toma en cuenta la norma NFC 17-102 se optó por un

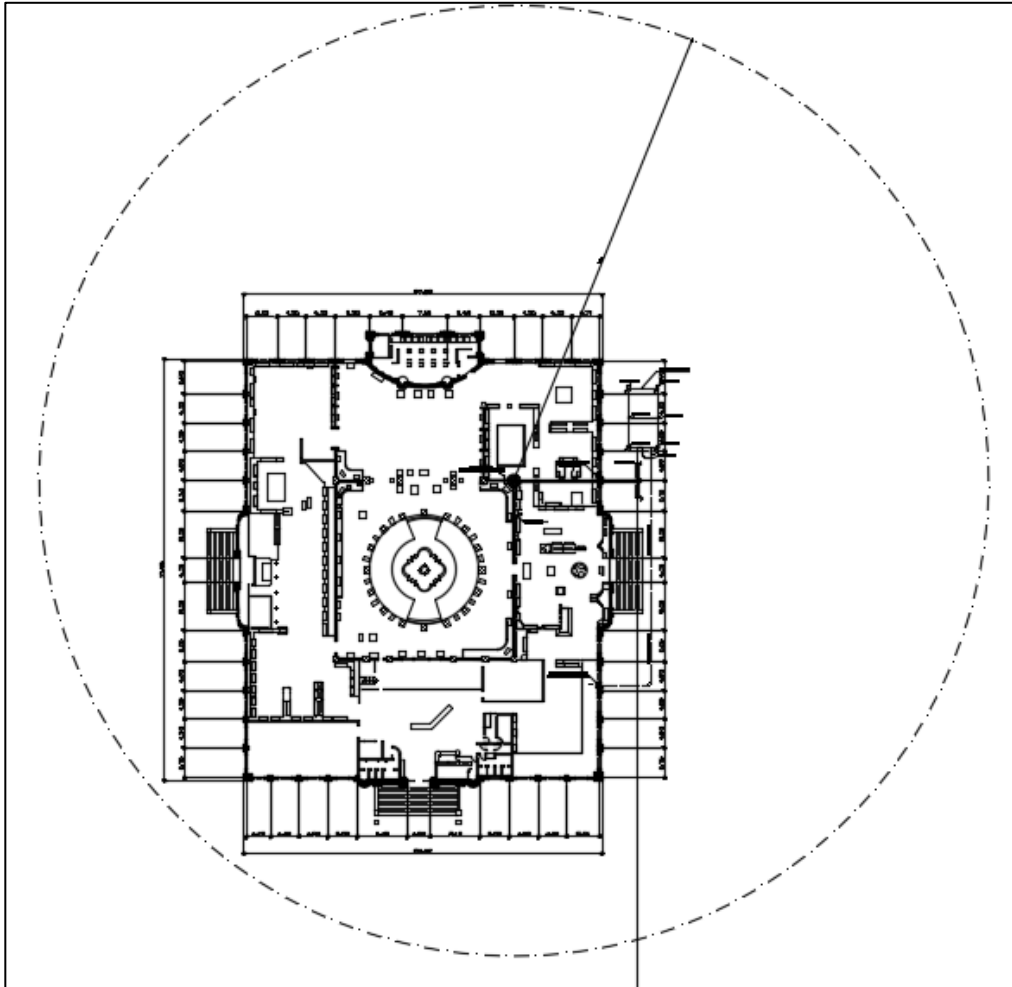
pararrayos categoría 3 a pesar que el edificio cuenta con equipo de computación no es una carga mayoritaria para este edificio por lo que esta categoría cumple con las necesidades del edificio dicho pararrayos se diseñó para estar a una altura de 5 m con respecto al nivel de la azotea del edificio, el cual tiene un radio de cobertura de 81 m el cual cubre la totalidad de edificio este está debidamente conectado a su red de tierras denominado pata de ganso que a su vez está conectada con la red de tierras propuesta en el inciso anterior.

Tabla LVII. **Protección de los pararrayos (según NF C 17-102)**

RP	$\Delta T=12\mu s$ ACTIVE 1D				$\Delta T=15\mu s$ SE6				$\Delta T=30\mu s$ SE9 SE2D30				$\Delta T=45\mu s$ SE12				$\Delta T=60\mu s$ SE15 SE2D60			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
2	11	13	16	19	13	15	18	20	19	21	25	28	25	28	32	36	31	34	39	43
3	17	20	24	28	19	22	27	31	29	33	38	43	38	43	49	53	47	52	58	64
4	23	27	32	37	25	29	36	41	38	43	51	57	51	57	65	72	63	69	78	85
5	28	34	41	46	32	37	45	51	48	55	63	71	63	71	81	89	79	86	97	107
6	29	34	42	48	32	38	46	52	48	55	64	72	63	71	81	90	79	87	97	107
8	30	36	43	50	33	39	47	54	49	56	65	73	64	72	82	91	79	87	98	108
10	30	37	45	52	34	40	49	56	49	57	66	75	64	72	83	92	79	88	99	109
20	32	41	51	60	35	44	55	63	50	59	71	81	65	74	86	97	80	89	102	113
30	32	42	55	65	35	45	58	69	50	60	73	85	65	75	89	101	80	90	104	116
60	32	42	57	72	35	45	58	75	50	60	75	90	65	75	90	105	80	90	105	120

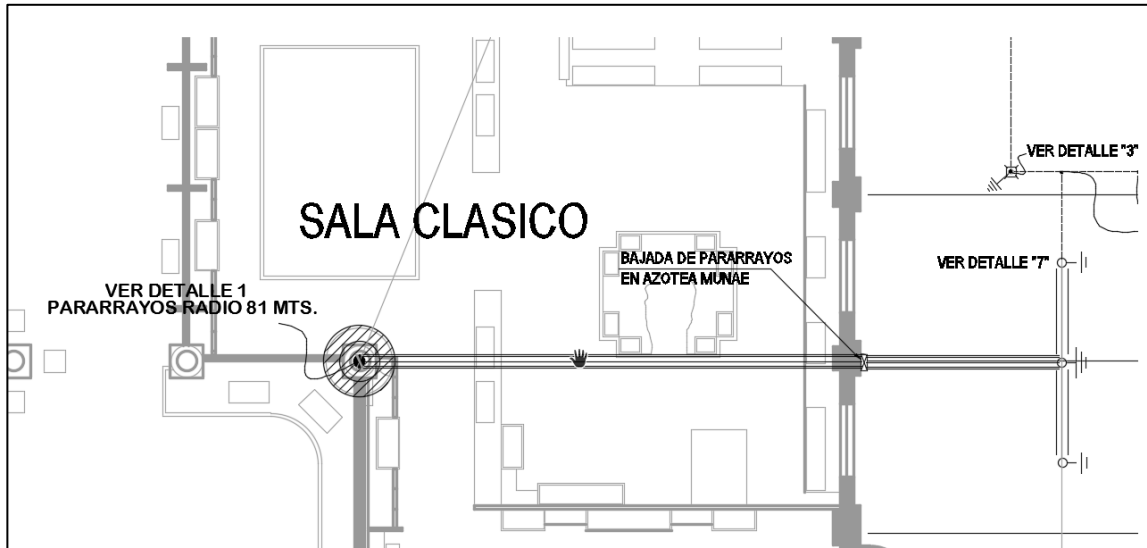
Fuente: FRANCE, Franklin. *La solución PDC*. http://www.installation-paratonnerre-parafoudre.com/IMG/pdf_FRANKLIN-FRANCE-PDC-ES.pdf. Consulta 28 de junio de 2020.

Figura 70. **Radio de cobertura pararrayos MUNAE**



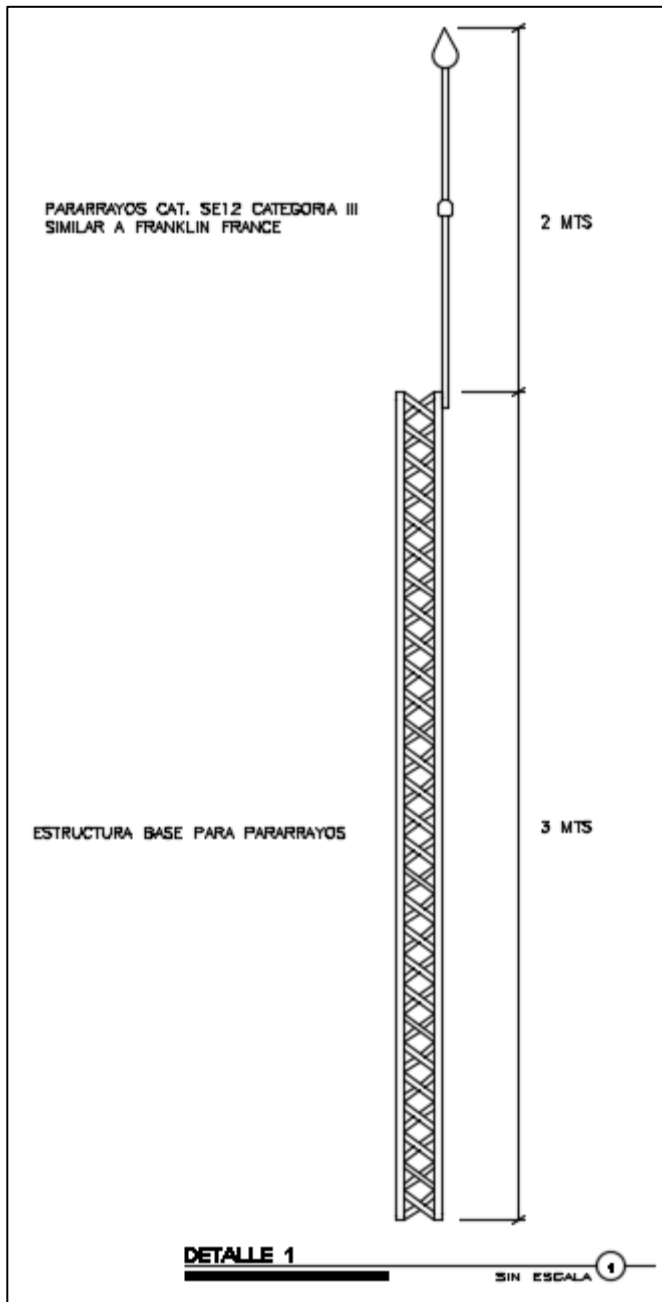
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 71. **Ubicación pararrayos MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 72. **Detalle de pararrayos MUNAE**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

6.5.1. Selección de supresores de picos

Para la selección del supresor de picos en el edificio del MUNAE se tomaron en cuenta los siguientes criterios tomados de un fabricante de supresores y basados en norma ANSI/IEEE C62.41.1-2002.

Tabla LVIII. Criterios de selección para supresores

Núm.	Tema	Exposición	Puntos
1	Nivel isoceraunico El nivel isoceraunico de la regional proteger es:	Alto	10
		Medio	5
		Bajo	1
2	Ubicación respecto a otras actividades El espacio es abierto, aislado, área en crecimiento o es un área densamente poblada	Rural	10
		Sub urbano	5
		Urbano	1
3	Ubicación respecto a otras construcciones El espacio es abierto, aislado, área en crecimiento o es un área densamente poblada.	el más alto	10
		mediano	5
		el más pequeño	1
4	Tipo de acometida La acometida del edificio a proteger es la más alejada en una distribución radial.	ultimo usuario	10
		usuarios múltiples	5
		acometida independiente	1
5	Historial de disturbios Disturbios que hayan dañado equipo eléctrico, tarjetas electrónicas, equipo crítico etc.	Frecuentes	10
		Ocasionales	5
		Escasos	1
6	Importancia del equipo a proteger Existe equipo crítico que genere pérdidas o paro de producción al momento de fallar.	indispensable	10
		moderada	5
		puede detenerse	1
7	Costo económico si el equipo falla El costo del equipo al momento de fallar es:	Alto	10
		Moderado	5
		Económico	1
8	Categoría de aplicación según IEEE C62.41 Ubicación donde se instalará el equipo de transitorios	Acometida	C
		Distribución	B
		Derivado	A

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Capacidades de supresores**

nivel de categorías ANSI/IEEE C62.41.1-2002	Considere el índice de exposición calculado y categoría del supresor según ANSI/IEEE C62.41.1-2002				
Respuesta	UL-1449 3a. Edición	7-25 puntos	26-40 puntos	41-55 puntos	56-70 puntos
categoría C – Acometida	tipo 1	120 KA	160 KA	240 KA	480 KA O 320 KA
categoría B – Distribución	tipo 2	80 KA	120 KA	260 KA	240 KA
categoría A - Derivado	tipo 3	10 KA	50 KA	80 KA	120 KA

Fuente: elaboración propia

Con el uso de la tabla LV se procedió a obtener un punteo para seleccionar el supresor indicado para el MUNAE obteniendo un valor de 19 puntos por lo que se selecciona en la tabla LVI la capacidad del supresor el resultado obtenido fue un supresor de 120 KA, monofásico 120/240V el cual debe ser instalado en el tablero principal de dicho edificio, debe conectarse en paralelo con la acometida del inmueble.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de analizar los distintos parámetros que conforman la energía eléctrica de las instalaciones del MUNAE se realizaron mediciones con el equipo de calidad de energía este fue instalado en el TDP del inmueble.

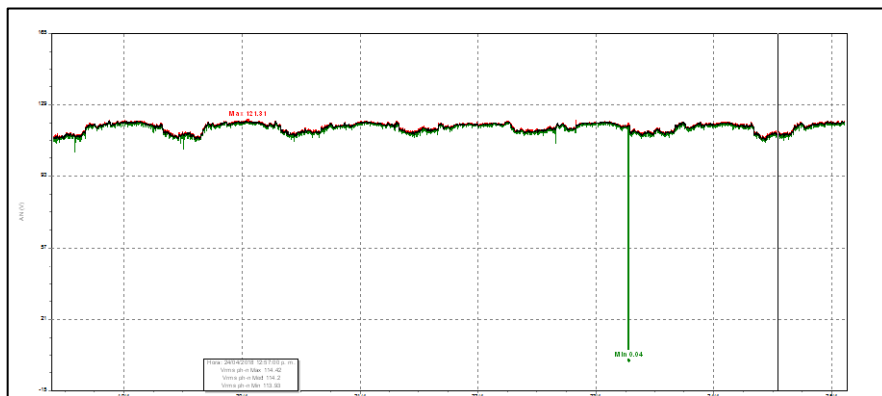
7.1. Análisis de voltajes

El análisis de voltaje realizado con el equipo de medición en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología arrojó los siguientes resultados.

7.1.1. Voltaje línea 1- neutro

Se muestra la gráfica y la medición realizada al voltaje entre línea 1 y neutro en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 73. Medición de voltaje línea 1 a neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power log 5.1.

Tabla LX. **Resumen medición de voltaje línea 1 a neutro**

Vrms fase-neutro L1N				
Fecha	Hora	Voltios	Característica	Regulación
		117,58	promedio	2 %
20/04/2018	1:12:00 a. m.	120,98	máximo	
24/04/2018	10:33:00 a.m.	111	mínimo	

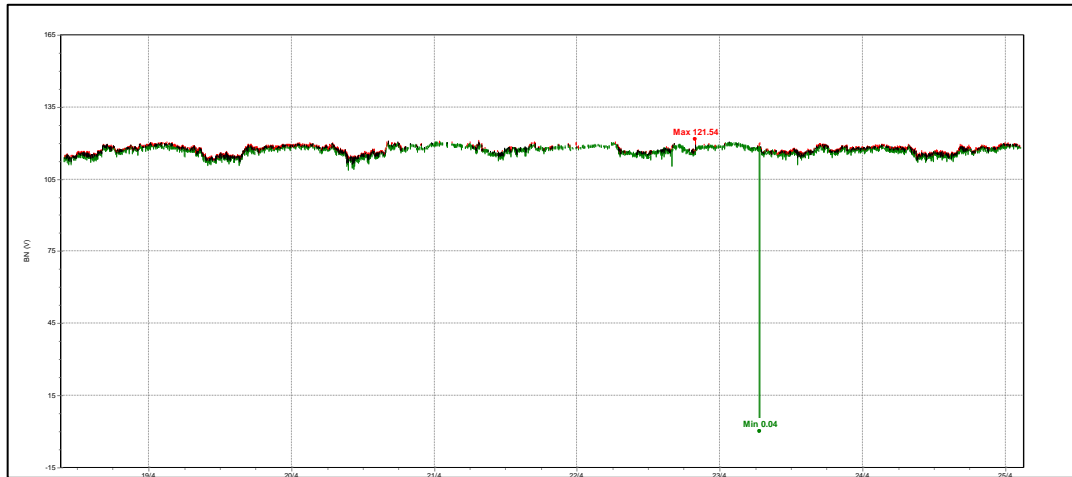
Fuente: elaboración propia.

El voltaje de línea 1 a neutro se mantuvo en un valor promedio de 117,58 V, Con una medición máxima de 120,98 V y una medición mínima de 111 V el cual es un valor de medición aislado, la regulación de voltaje en dicha línea oscila entre +/- 2 % en relación con el voltaje nominal 120 V. La tolerancia aceptable para usuarios según NTSD (Normas técnicas del servicio de distribución) en su artículo 24 es de un +/- 8 %, por lo que la regulación de tensión de línea 1 a neutro para el edificio del MUNAE se encuentra dentro de un rango aceptable.

7.1.2. Voltaje línea 2 a neutro

Se muestra la gráfica y la medición realizada al voltaje entre línea 2 y neutro en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 74. Medición de voltaje línea 2 a neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXI. Resumen medición de voltaje línea 2 a neutro

Vrms fase-neutro L2N				
Fecha	Hora	Voltios	Característica	Regulación
		117,7	promedio	2 %
21/04/2018	1:53:00 a. m.	120,88	máxima	
20/04/2018	10:12:00 a.m.	111,21	mínimo	

Fuente: elaboración propia.

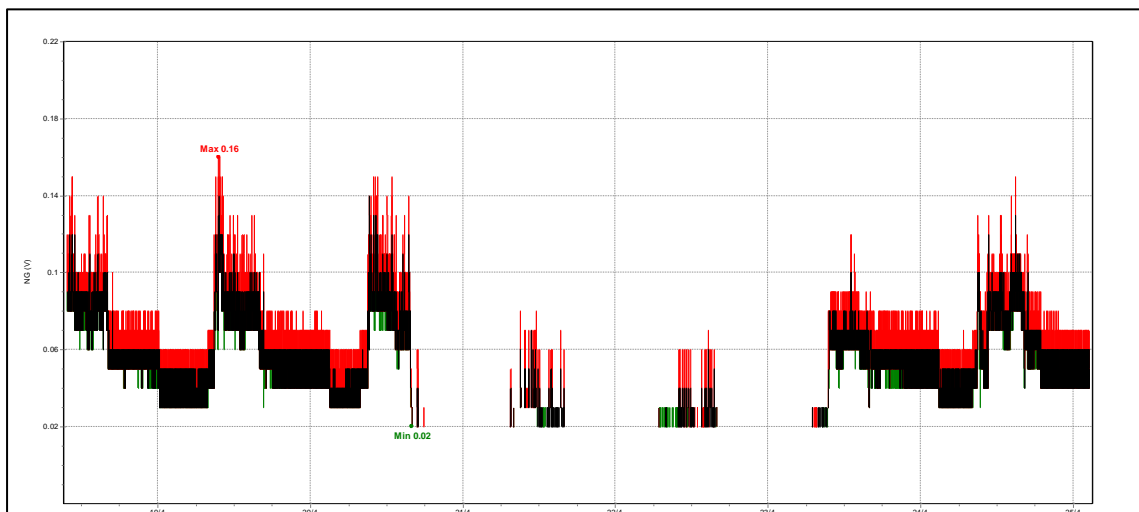
El voltaje de línea 2 a neutro se mantuvo en un valor promedio de 117,7 V, Con una medición máxima de 120,88 V y una medición mínima de 111,21 V el cual es un valor de medición aislado, la regulación de voltaje en dicha línea oscila entre +/- 2 % en relación con el voltaje nominal 120 V. La tolerancia aceptable para usuarios según NTSD (normas técnicas del servicio de distribución) en su artículo 24 es de un +/- 8 %, por lo que la regulación de

tensión de línea 2 a neutro para el edificio del MUNAE se encuentra dentro de un rango aceptable.

7.1.3. Voltaje neutro a tierra

Se muestra la gráfica y la medición realizada al voltaje entre neutro y tierra en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 75. Medición de voltaje neutro a tierra



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXII. Resumen medición de voltaje neutro a tierra

Vrms fase-neutro neutro tierra			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
		0,044	promedio
19/04/2018	9:42:00 a. m.	0,16	máximo
20/04/2018	3:59:00 p.m.	0,02	mínimo

Fuente: elaboración propia.

Que toma en cuenta que la alimentación es monofásica también que la barra de tierras con la barra de neutro está conectada entre sí se han tomado las mediciones de voltaje existente entre neutro y tierra con esto se ha encontrado que este tiene un valor promedio de 0,04422 voltios con una medición máxima de 0,02 V.

Esta pequeña diferencia se da por que las fases están desbalanceadas debido a que la línea 1 se encuentra con más carga que la línea 2.

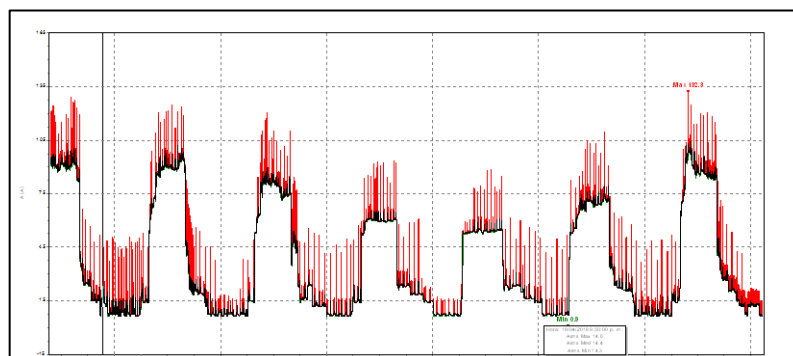
7.2. Análisis de corriente

El análisis de corriente realizado con el equipo de medición en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología arrojó los siguientes resultados.

7.2.1. Corriente línea 1

Se muestra la gráfica y medición realizada a la corriente que circula a través de la línea 1 en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 76. Medición de corriente línea 1



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXIII. **Resumen medición corriente línea 1**

Corriente L1			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
		34,84	promedio
24/04/2018	10:17:00 a. m.	104,4	máximo
23/04/2018	6:42:00 a.m.	6,5	mínimo

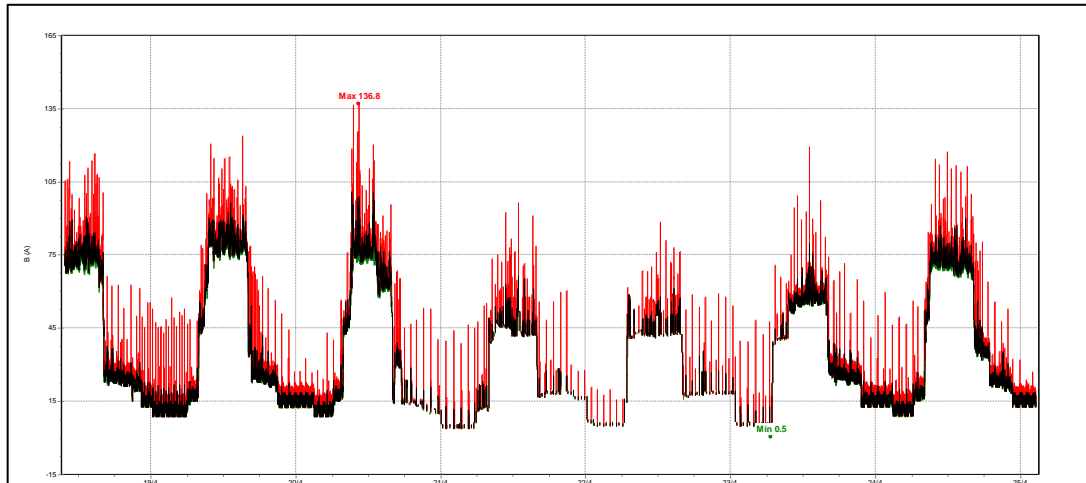
Fuente: elaboración propia.

En el tiempo que se realizó la medición el promedio la corriente que transita por la fase 1 fue de 38,84 A, un valor máximo de 104,4 Amperios registrado a las 10:17:00 a.m. este dato es utilizado como referencia para la hora máxima de demanda de corriente en esta fase. El valor mínimo registrado es de 6,5 Amperios y fue registrado a las 6:42:00 a.m. hora en la cual no se encuentra ninguna persona en el edificio.

7.2.2. Corriente línea 2

Se muestra la gráfica y medición realizada a la corriente que circula a través de la línea 2 en las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 77. **Medición de corriente línea 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXIV. **Resumen medición de corriente línea 2**

Corriente L2			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
		32,12	promedio
20/04/2018	9:20:00 a. m.	100,4	máximo
21/04/2018	12:21:00 a.m.	4	mínimo

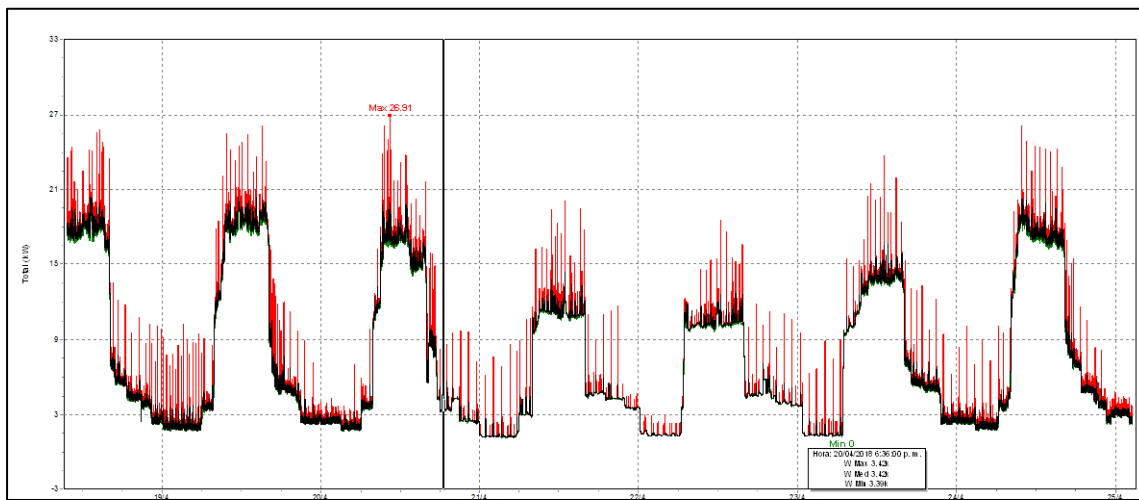
Fuente: elaboración propia.

En el tiempo que se realizó la medición la corriente promedio que transita por la fase dos fue de 32,12 Amperios, Un valor máximo de 100,4 Amperios a las 9:20:00 am este dato indica que a esta hora se presenta la mayor demanda de corriente para esta fase además se logra observar que esta fase posee una carga menor que la fase 1, es decir, consume menor corriente. El valor mínimo registrado es de 4 amperios esto a las 12:21:00 a.m. hora en la cual nadie se encuentra laborando en el edificio.

7.3. Análisis de potencia activa total consumida

Se presenta el análisis y grafica de la potencia activa consumida en las instalaciones del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Figura 78. Medición de potencia total consumida



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXV. Resumen medición de potencia activa total

Potencia activa total			
Fecha	Hora	Watts	Característica
		7 306,76	promedio
19/04/2018	11:36:00 a. m.	20 430	máximo
19/04/2018	3:12:00 p.m.	20 370	
21/04/2018	5:13:00 a.m.	1 140	mínimo
21/04/2018	5:26:00 a.m.	1 140	

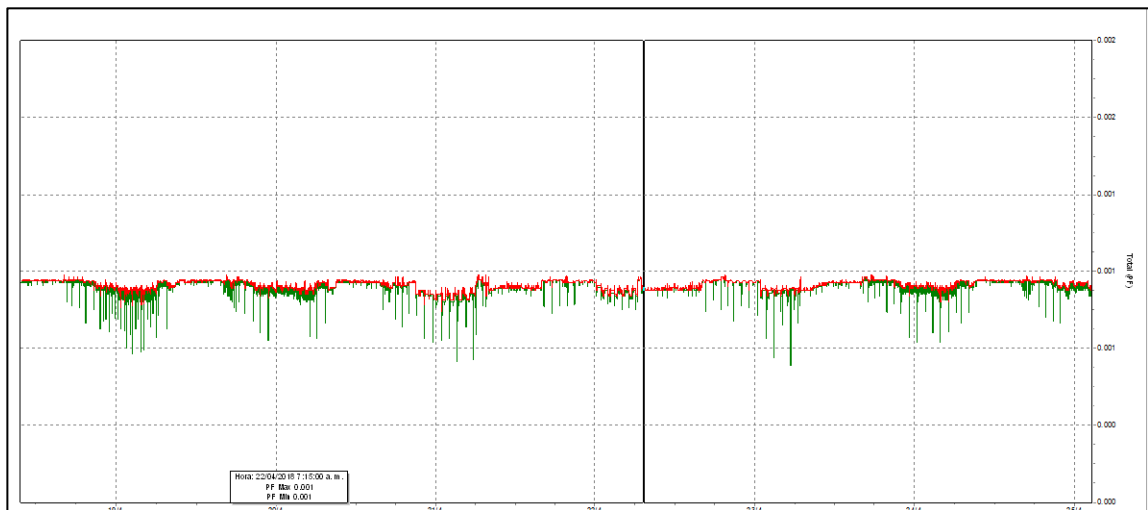
Fuente: elaboración propia.

La potencia promedio consumida en el edificio del MUNAE fue de 7306,76 Watts, la potencia máxima consumida en las instalaciones del MUNAE fue de 20430 Watts el 19/04/2018 de 11:36:00 a.m. a 3:12:00 p.m. periodo en el cual se considera se presenta el mayor consumo de potencia activa en el edificio, se presentó un valor de potencia mínimo de consumo de 1 140 Watts el 21/04/2018 5:13:00 a.m. a 5:26:00 a.m. periodo que resulta razonable que ya en no se encuentran personas laborando en las instalaciones del MUNAE.

7.4. Análisis del factor de potencia

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de factor de potencia en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 79. Medición factor de potencia total



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXVI. **Resumen medición de factor de potencia total**

Factor de potencia			
Fecha	Hora	Adimensional	Característica
		0,92	promedio
21/04/2018	6:26:00a. m.	0,98	máximo
21/04/2018	12:53:00 a.m.	0,78	mínimo

Fuente: elaboración propia.

El factor de potencia promedio en las instalaciones del MUNAE fue de 0,92, presento un valor máximo de 0,98 el 20/04/2018 a la 6:29:00 a.m. el valor de medición se presenta en un horario en el cual no hay personas trabajando en el edificio por lo que no se encuentran las funcionando las cargas habituales del mismo.

El valor mínimo de factor de potencia medido se presentó el 21/04/2018 a las 12:53:00 a.m. y arrojó un dato de 0,78 sin embargo este dato no es suficiente motivo para penalización por factor de potencia.

Según la NTSD (Normas técnicas del servicio de distribución) en su artículo 49 el factor de potencia aceptado para usuarios menores a 11 kw debe ser mínimo de 0,85.

7.5. Distorsión armónica total (THD)

El análisis de la distorsión armónica total (THD) realizado con el equipo de medición en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología arrojó los siguientes resultados.

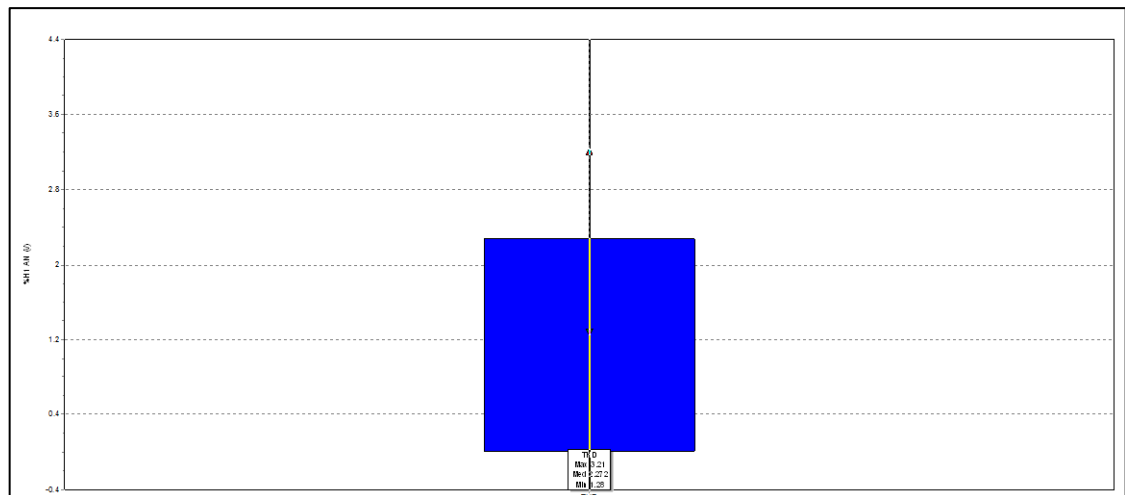
7.5.1. Distorsión armónica total de voltaje

El análisis de la distorsión armónica total de voltaje (THD) realizado con el equipo de medición en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología arrojó los siguientes resultados.

7.5.1.1. THD línea 1 a neutro

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de línea 1 a neutro en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 80. Medición THD de voltaje línea 1 a neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXVII. **Resumen medición THD total de voltaje línea 1 a neutro**

THD L1-N			
Fecha	Hora	%	Característica
		2,27	promedio
18/04/2018	11:53:00 a. m.	3,21	máximo
22/04/2018	5:20:00 a.m.	1,28	mínimo

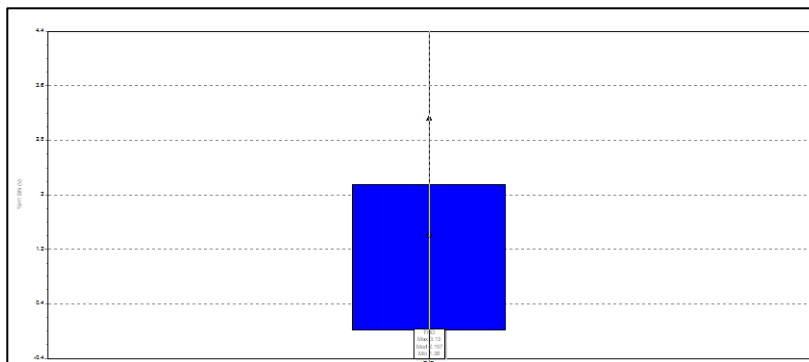
Fuente: elaboración propia.

La distorsión armónica total en el edificio del MUNAE del voltaje de línea 1 a neutral mantuvo un promedio de 2,27 % este no debe superar el 5 % según normas de la CNEE por lo que el promedio de medición se encuentra dentro del rango aceptable de distorsión armónica total para voltaje.

7.5.1.2. THD línea 2 a neutro

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de línea 2 a neutro en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 81. **Medición THD de voltaje línea 2 a neutro**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXVIII. **Resumen medición THD total de voltaje línea 2 a neutro**

THD L2-N			
Fecha	Hora	%	Característica
		2,15	promedio
21/04/2018	3:59:00 p. m.	3,13	máximo
23/04/2018	7:03:00 p.m.	1,38	mínimo

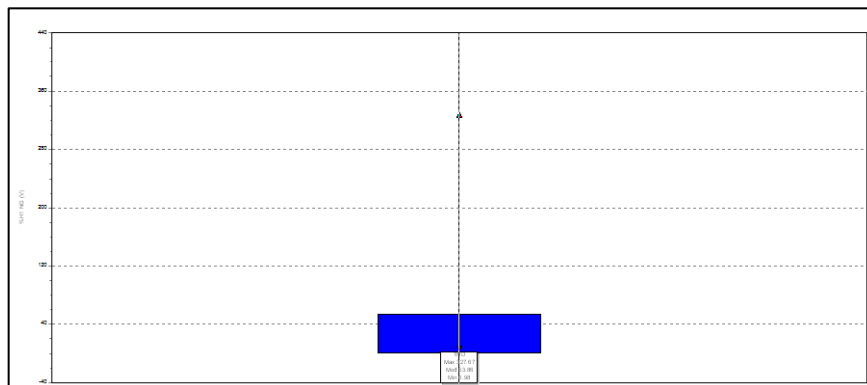
Fuente: elaboración propia.

La distorsión armónica total en el edificio del MUNAE del voltaje de línea 2 a neutral mantuvo un promedio de 2,15 % este no debe superar el 5 % según las normas de la CNEE por lo que el promedio de medición se encuentra dentro del rango aceptable de distorsión armónica total de voltaje.

7.5.1.3. THD neutro a tierra

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de neutro a tierra en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 82. **Medición THD de voltaje de neutro a tierra**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXIX. **Resumen medición THD total de voltaje neutro a tierra**

THD N-G			
Fecha	Hora	%	Característica
		5,58	promedio
21/04/2018	03:26:00 p.m.	12,47	máximo
24/04/2018	5:43:00 p.m.	2,48	mínimo

Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso de medición y adquisición de datos a través del analizador de redes la distorsión armónica total del voltaje de neutro a tierra mantuvo un promedio de 5,58 % este no debe superar el 5 % según las normas de la CNEE por lo que el promedio de medición se encuentra fuera del rango aceptable de distorsión armónica total de voltaje.

Esto puede ser por que la tierra física actual presenta un valor de 30,03 ohmios esto puede afectar dicha medición, se recomienda realizar una nueva medición después de integrar la nueva tierra física descrita en la sección 6.4.2 en este documento.

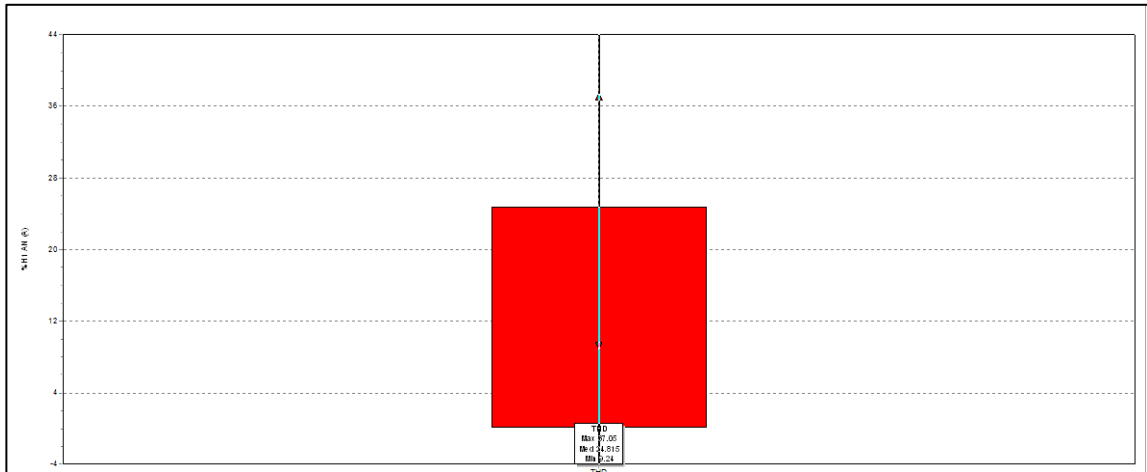
7.5.2. Distorsión armónica total de corriente

El análisis de la distorsión armónica total de corriente (THD) realizado con el equipo de medición en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología arrojó los siguientes resultados.

7.5.2.1. THD de corriente línea 1

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de corriente de línea 1 en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 83. **Medición THD corriente línea 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXX. **Resumen medición THD de corriente línea 1**

THD L1			
Fecha	Hora	%	Característica
		28,39	promedio
22/04/2018	6:55:00 a. m.	51,25	máximo
20/04/2018	8:01:00 a.m.	8,26	mínimo

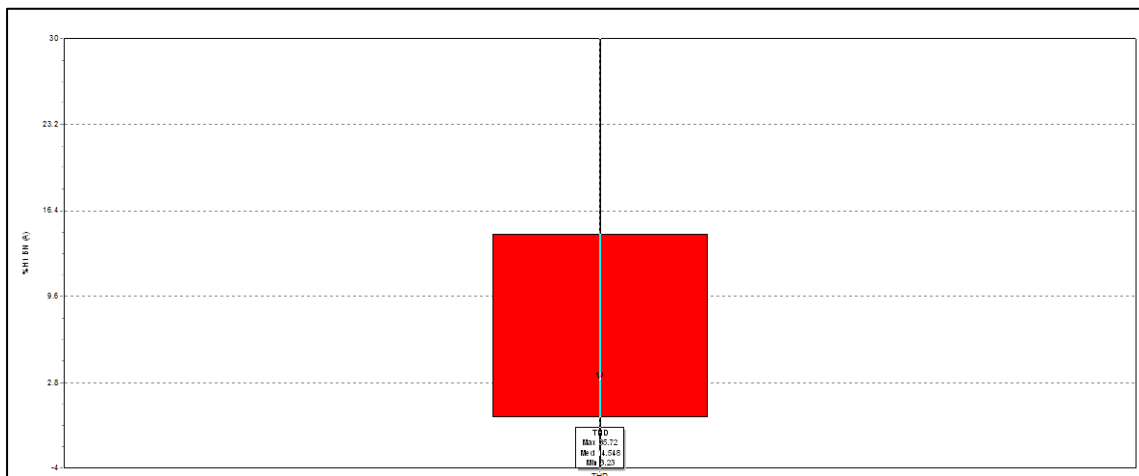
Fuente: elaboración propia.

La distorsión armónica total del corriente en la línea 1 mantuvo un promedio de 28,39 % este no debe superar el 5 % según normas ANSI/IEEE std 519, el promedio se encuentra fuera de lo indicado en la norma por esta razón se recomienda colocar filtros para eliminar armónicos que puedan provocar fallas en la instalación.

7.5.2.2. THD de corriente línea 2

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de corriente de línea 2 en las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 84. Medición THD corriente línea 2



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXXI. Resumen medición THD de corriente línea 2

THD L2			
Fecha	Hora	%	Característica
		16,6	promedio
21/04/2018	8:16:00 a. m.	46,98	máximo
22/04/2018	6:52:00 p.m.	2,81	mínimo

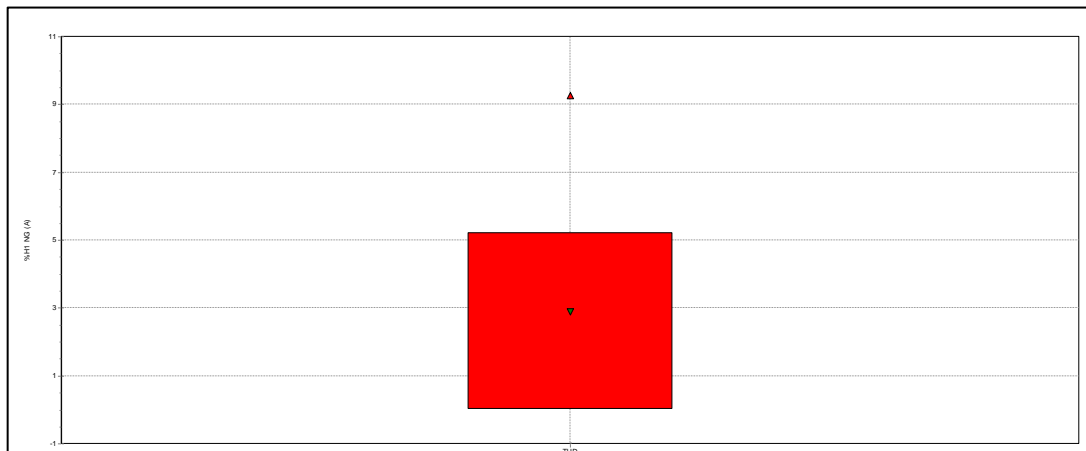
Fuente: elaboración propia.

La distorsión armónica total del corriente en la línea 2 mantuvo un promedio de 16,6 % este no debe superar el 5 % según normas ANSI/IEEE std 519, el promedio se encuentra fuera de los límites establecidos.

7.5.2.3. THD de corriente neutral

Se presenta la gráfica y análisis realizado a la medición de distorsión armónica total de corriente en neutral de las instalaciones eléctricas del museo.

Figura 85. **Medición THD corriente neutral**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 5.1.

Tabla LXXII. **Resumen medición THD de corriente en neutral**

THD N			
Fecha	Hora	%	Característica
		5,58	promedio
21/04/2018	3:26:00 p. m.	12,47	máximo
24/04/2018	05:43:00 a.m.	2,48	mínimo

Fuente: elaboración propia.

La distorsión armónica total del corriente en el neutral mantuvo un promedio de 5,58 % este no debe superar el 5 % según normas ANSI/IEEE std 519, el promedio se encuentra fuera de los límites establecidos.

7.5.2.4. Desbalance de tensión y corriente

Con los datos de corriente y voltaje medidos por el analizador de calidad de energía puede calcularse el desequilibrio tanto de tensión como de corriente eléctrica para el tablero principal del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

7.5.2.4.1. Desbalance de tensión

Según la norma IEE 1159-1995 el desbalance de tensiones puede calcularse de con la siguiente fórmula:

$$\%Desb_{fase} = \frac{U_m - U_{prom}}{U_{prom}} * 100$$

$$U_{prom} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

Donde:

U_m = voltaje máximo de las fases 1 y 2

U_{prom} = voltaje promedio

Según esta norma el desbalance de voltaje debe ser menor al 2 % para considerar que no existe desbalance.

Calculando desbalance de tensión:

$$U_{prom} = \frac{117,58 V + 117,7 V}{2} = 117,64 V$$

$$\%Desb_{fase} = \frac{117,7 V - 117,64 V}{117,64 V} * 100 = 0,051 \%$$

El desbalance de voltaje es de 0,051 % por lo que cumple con la norma IEEE 1159-1995.

7.5.2.4.2. Desbalance de corriente

Según la norma IEE 1159-1995 el desbalance de corriente puede calcularse de con la siguiente fórmula:

$$\%Desb_{fase} = \frac{I_m - I_{prom}}{I_{prom}} * 100$$

$$U_{prom} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Donde:

I_m = corriente máxima de las fases 1 y 2

I_{prom} = corriente promedio

Según esta norma el desbalance de corriente en baja tensión debe ser menor a 20 % para considerar que no existe desbalance.

Calculando desbalance de corrientes:

$$I_{prom} = \frac{34,84 A + 32,12 A}{2} = 33,48 A$$

$$\%Desb_{fase} = \frac{34,84 A - 33,48 A}{33,48 A} * 100 = 4,06 \%$$

El desbalance de corrientes es de 4,06 % por lo que cumple con la norma IEEE 1159-1995.

7.6. Resumen de mediciones calidad de energía

A continuación, se presenta un resumen del análisis realizado a los distintos parámetros eléctricos en el edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Tabla LXXIII. Resumen mediciones calidad de energía

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	Regulación	Norma	Cumple Norma
Regulación voltaje línea 1	120,98 v	111 v	117,58 v	2 %	±8 % máximo según NTSD	si
Regulación voltaje línea 2	120,88 v	111,21v	117,7 v	2 %	±8 % máximo según NTSD	si
corriente línea 1	104,4 A	6,5 A	34,84 A	n/a	Menor corriente nominal conductor	si
corriente línea 2	100,4 A	4 A	32,12 A	n/a	Menor corriente nominal conductor	si
potencia activa total	20 430 w	1 140 w	7 306,76 w	n/a	n/a	n/a
factor de potencia	0,98	0,78	0,92	n/a	0,85 según NTSD	si
THD voltaje línea 1 a neutro	3,21 %	1,28 %	2,27 %	n/a	5 % máximo según NTSD	SI
THD voltaje línea 2 a neutro	3,13 %	1,38 %	2,15 %	n/a	5 % máximo según NTSD	si

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIV. **Resumen mediciones calidad de energía**

parámetro	máximo	mínimo	promedio	regulación	norma	cumple norma
THD corriente línea 1	51,25 %	8,26 %	28,39 %	n/a	5 % máximo según ANSI/IEEE std 519	no
THD corriente línea 2	46,98 %	2,21 %	16,60 %	n/a	5 % máximo según ANSI/IEEE std 519	no
THD corriente neutral	12,47 %	2,48 %	5,58 %	n/a	5 % máximo según ANSI/IEEE std 519	no
Desbalance de tensión	0,05 %	n/a	n/a	n/a	2 % máximo según IEEE 1159-1995	si
Desbalance de corriente	4,06 %	n/a	n/a	n/a	20 % máximo según IEEE 1159-1995	si

Fuente: elaboración propia.

Como indica el resumen de los parámetros eléctricos en las instalaciones del Museo Nacional de Arqueología y Etnología debe prestarse atención a la THD de corriente debido a que no cumple con lo indicado en la norma ANSI/IEE std 519 esta podría provocar fallas o mal funcionamiento en la instalación eléctrica.

7.7. **Análisis económico proyectado**

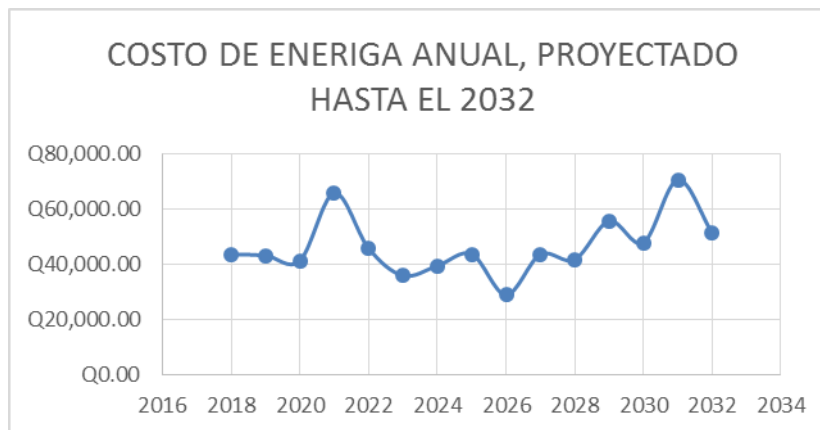
Que toma el promedio de la tarifa de energía eléctrica del año 2017 que esta alrededor de Q 0,7041 y que toma los datos proyectados de energía eléctrica se estima el costo económico de energía eléctrica hasta el año 2032.

Tabla LXXV. **Proyección de costos de energía hasta el año 2032**

Item	año	Energía (KwH)	Tarifa proyectada Q	Costo de energía Q
1	2018	43192,75908	Q 1,01	Q 43 680,80
2	2019	65126,29564	Q 0,66	Q 43 268,29
3	2020	65230,7161	Q 0,63	Q 41 369,83
4	2021	65254,32946	Q 1,01	Q 65 991,64
5	2022	65254,32946	Q 0,70	Q 45 814,03
6	2023	65191,23952	Q 0,55	Q 35 936,52
7	2024	65410,58337	Q 0,60	Q 39 510,64
8	2025	65106,93414	Q 0,67	Q 43 746,45
9	2026	64896,23925	Q 0,45	Q 28 921,80
10	2027	64953,24214	Q 0,67	Q 43 643,18
11	2028	65074,46219	Q 0,64	Q 41 761,51
12	2029	64815,43214	Q 0,86	Q 55 771,25
13	2030	64807,49114	Q 0,74	Q 47 944,15
14	2031	65106,93414	Q 1,09	Q 70 752,83
15	2032	64936,65219	Q 0,79	Q 51 467,89

Fuente: elaboración propia.

Figura 86. **Proyección de costos por energía hasta el año 2032**



Fuente: elaboración propia.

El dato proyectado con respecto a el costo de la factura por consumo de energía eléctrica para el año 2032 es de Q 51 467,89 este dato depende también del precio de la tarifa de energía eléctrica para ese año.

7.8. Análisis económico de ahorros energéticos

Analizando las mediciones realizadas en el edificio del MUNAE se determinó que la iluminación es el rubro que representa el mayor consumo energético en el edificio por lo que se planteó una propuesta de mejora en esta área cambiando las luminarias actuales que son fluorescentes por luminarias de tecnología led.

7.8.1. Análisis económico por cambio de luminarias fluorescentes a luminarias led

En las instalaciones del MUNAE existen aproximadamente 663 luminarias en las salas de exhibición, salón, áreas administrativas y sóta, lo cual representa el rubro con más consumo de energía eléctrica del inmueble representando el 66 % de toda la energía consumida.

Por esta razón se plantea cambiar las luminarias actuales (fluorescentes) a luminarias de tecnología led esto impactará en lo que a consumo de energía se refiere y por ende se reducirá el costo económico de energía.

Se estima que por dicho cambio se tenga un ahorro de energía de 49 % mensual del total de energía consumida por iluminación.

Tabla LXXVI. **Luminarias actuales y su equivalente en luminarias led**

lámpara actual	lámpara Nueva
fluorescente de 25w	led de 12w
fluorescente 2x40w	tubo led de 2x18w
dicroicas 50w	mr16 3w
florecente de 4x32	tubo led de 4x18w

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVII. **Análisis económico de la inversión inicial para cambio de luminarias**

lámpara nueva	cantidad	precio	Total materiales	Instalación	total
foco led de 12w	186	Q 18,65	Q 3 468,90	Q 1 387,56	Q 4 856,46
tubo led de 2x18w	8	Q 60,40	Q 483,20	Q 193,28	Q 676,48
mr16 3w	31	Q 14,25	Q 441,75	Q 176,70	Q 618,45
tubo led de 4x18w	77	Q 120,80	Q 9 301,60	Q 3 720,64	Q 13 022,24
TOTAL					Q 19 173,63

Fuente: elaboración propia.

Para implementar esta medida se necesita una inversión inicial de Q 19 173,63 para sustituir 302 luminarias las cuales fueron seleccionadas debido a que son las más utilizadas en el edificio del MUNAE, básicamente se trata de las salas en donde aún no se ha aplicado el cambio a tecnología led, salón, parte del sótano, taquilla, baños y área administrativa.

Con el ahorro mensual por la reducción del consumo de energía debido a realizar el cambio de luminarias antes mencionado se podrá pagar esta inversión en un plazo de tiempo relativamente corto.

Las luminarias planteadas tienen una vida útil 20 000 horas que son aproximadamente 6,94 años para el uso normal del museo, el retorno de la inversión se daría en un tiempo aproximado de 1,5 años, luego de que transcurra este plazo se verá reflejado el ahorro en el cobro de energía eléctrica del museo.

El ahorro mensual por cambiar luminarias es de Q 1 063,22 que al año suma un total de Q 12 759,69 por lo que se puede pagar la inversión en el tiempo que se indica por lo tanto se considera que es viable aplicar este cambio en las instalaciones eléctricas del Museo Nacional de Arqueología y Etnología

Tabla LXXVIII. Resumen económico

Inversión inicial (Q)	Q 19 173,63
Ahorro mensual (Q)	Q 1 063,22
Ahorro anual (Q)	Q 12 758,69
Retorno de inversión (años)	1,50
Vida útil del proyecto (años)	6,94

Fuente: elaboración propia.

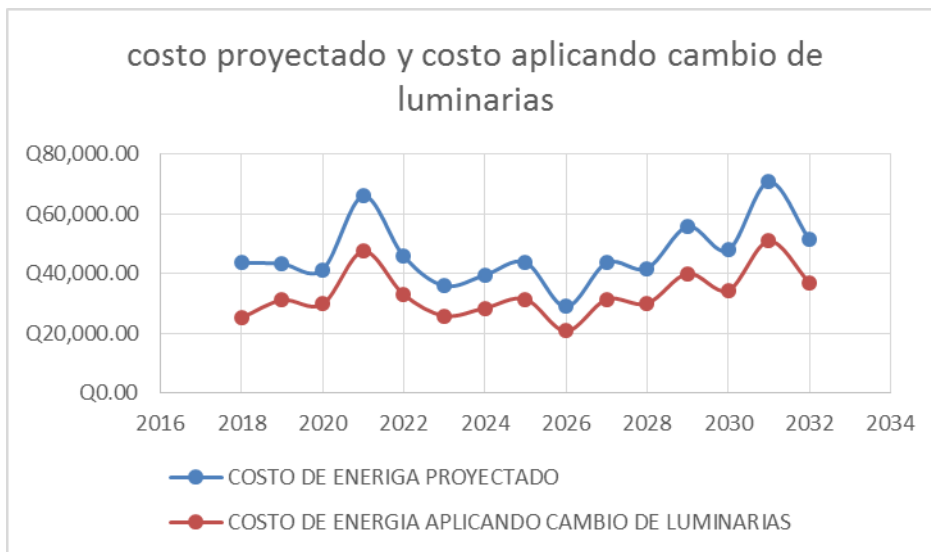
Según las proyecciones en el consumo de energía con la estimación de la tarifa de energía eléctrica se muestra un cuadro comparativo entre el costo de energía de los próximos años sin aplicar esta medida de mejora y el costo de energía aplicando dicha mejora.

Tabla LXXIX. Resumen de costos al aplicar cambio de luminarias

item	año	Costo de energía proyectado	Costo de energía aplicando cambio de luminarias	Ahorro anual
1	2018	Q 43 680,80	Q 25 174,29	Q 18 506,51
2	2019	Q 43 268,29	Q 31 110,40	Q 12 157,89
3	2020	Q 41 369,83	Q 29 763,99	Q 11 605,83
4	2021	Q 65 991,64	Q 47 485,13	Q 18 506,51
5	2022	Q 45 814,03	Q 32 966,08	Q 12 847,96
6	2023	Q 35 936,52	Q 25 848,83	Q 10 087,69
7	2024	Q 39 510,64	Q 28 456,86	Q 11 053,78
8	2025	Q 43 746,45	Q 31 450,55	Q 12 295,90
9	2026	Q 28 921,80	Q 20 766,30	Q 8 155,50
10	2027	Q 43 643,18	Q 31 347,28	Q 12 295,90
11	2028	Q 41 761,51	Q 30 017,66	Q 11 743,85
12	2029	Q 55 771,25	Q 40 025,01	Q 15 746,24
13	2030	Q 47 944,15	Q 34 406,13	Q 13 538,02
14	2031	Q 70 752,83	Q 50 866,19	Q 19 886,64
15	2032	Q 51 467,89	Q 36 963,77	Q 14 504,12

Fuente: elaboración propia.

Figura 87. **Comparación de proyecciones de costos aplicando mejoras en iluminación**



Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la gráfica el costo de energía total del edificio del MUNAE se vería reducido si se aplica el cambio de luminarias la reducción sería de un 28 % del consumo total de energía, en azul se describe la proyección de energía hasta el año 2032 si el consumo se mantiene como hasta el momento y en naranja se presenta el consumo si se aplica el cambio de luminarias. Cabe destacar que esto dependerá también del costo de la tarifa de energía eléctrica de cada mes del año.

7.9. Análisis de gases de efecto invernadero emitidos

En gran parte de la generación de energía eléctrica involucra el uso de combustibles fósiles estos generan grandes cantidades de CO2 y aportan al cambio climático emitiendo gases de efecto invernadero para reducir estos

gases es necesario que la energía consumida en una instalación sea gestionada de buena manera.

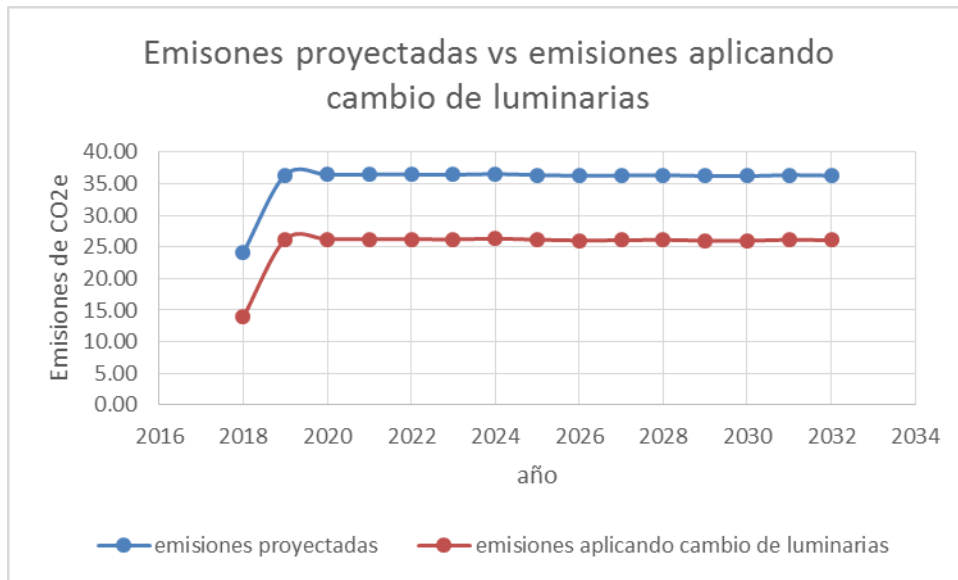
El promedio de emisiones de GEI que serían emitidas anualmente por el consumo de energía del MUNAE es 35,56 toneladas de CO₂e si se aplica el cambio de luminarias a led el promedio de emisiones de GEI que serían emitidas al medio ambiente sería de 25,34 toneladas de CO₂e, es decir, se dejarían de emitir un total de 10,23 toneladas de CO₂e al medio ambiente.

Tabla LXXX. **Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero**

item	Año	energía (kwh)	energía aplicando ahorro (KWH)	emisiones proyectadas (toneladas de Co2)	emisiones aplicando cambio de luminarias (toneladas de Co2)
1	2018	43192,7591	24893,0231	24,14	13,91
2	2019	65126,2956	46826,5596	36,40	26,18
3	2020	65230,7161	46930,9801	36,46	26,23
4	2021	65254,3295	46954,5935	36,48	26,25
5	2022	65254,3295	46954,5935	36,48	26,25
6	2023	65191,2395	46891,5035	36,44	26,21
7	2024	65410,5834	47110,8474	36,56	26,33
8	2025	65106,9341	46807,1981	36,39	26,16
9	2026	64896,2392	46596,5032	36,28	26,05
10	2027	64953,2421	46653,5061	36,31	26,08
11	2028	65074,4622	46774,7262	36,38	26,15
12	2029	64815,4321	46515,6961	36,23	26,00
13	2030	64807,4911	46507,7551	36,23	26,00
14	2031	65106,9341	46807,1981	36,39	26,16
15	2032	64936,6522	46636,9162	36,30	26,07

Fuente: elaboración propia.

Figura 88. **Comparación de emisiones de CO2 para el edificio del MUNAE**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se espera un consumo anual de energía de 64 936,65 kWh para el año 2032 en las instalaciones del Museo Nacional de Arqueología y Etnología si no se aplican las mejoras planteadas en las instalaciones eléctricas del edificio.
2. Todos los alimentadores de tableros de edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología se encuentran en un porcentaje de uso respecto a la corriente relativamente bajo lo cual indica que no son críticos por corriente, en cuanto a caída de tensión todos los tableros poseen una caída de tensión adecuada para su eficaz funcionamiento a excepción del tablero T-BIB que posee una caída mayor a 6 % en la fase A.
3. Las instalaciones eléctricas en el edificio del Museo Nacional de Arqueología y Etnología se encuentran en su mayoría en buen estado sin embargo no cuenta con un pararrayos y la resistencia de la tierra física actual no cumple con lo establecido en el NEC 2008.
4. Los criterios de la norma MIL-STD 2194 y del fabricante del tipo de *breakers* instalados en los distintos tableros del Museo Nacional de Arqueología y Etnología indican que todos se encuentran a una temperatura adecuada para su correcto funcionamiento.

5. Los niveles de iluminación en el área administrativa y biblioteca se encuentran por debajo del rango establecido por el Acuerdo Gubernativo 33-2016 reforma al Acuerdo Gubernativo 229-2014 el cual indica que dichas áreas deben estar entre 500 a 1 000 luxes, aplicando una nueva distribución de unas luminarias planteadas se logra que los niveles de iluminación se encuentren en el rango deseado, esto según simulación con el programa dialuxevo.
6. Aplicando las mejoras planteadas en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología se estima un consumo de energía anual de 46 636,91 Kwh para el año 2032 lo que representaría un 28 % de reducción en consumo de energía con respecto al consumo proyectado si no se aplican las mejoras planteadas.
7. El análisis de calidad de energía para los distintos parámetros eléctricos del Museo Nacional de Arqueología y Etnología demostraron que se encuentran operando según lo establecido en la norma con la cual fueron comparados a excepción de la distorsión armónica total de corriente la cual se encuentra fuera de norma.
8. El análisis económico de las mejoras planteadas en el museo en cuanto a iluminación demostró que una inversión de Q 19 173,63 en cambio de luminarias de fluorescente a luminarias led se traduciría en un ahorro mensual por consumo de energía de Q 1 063,22 con un retorno de inversión de 1,5 años y una vida útil de 6,94 años por lo tanto se considera viable realizar dicho cambio.

9. Las emisiones de GEI proyectadas para el año 2032 en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología dan un total de 35,56 toneladas de CO₂ si no se realizan cambios a la instalación, aplicando las propuestas planteadas las emisiones de GEI dan un total de 25,34 toneladas de CO₂, por lo que se dejarían de emitir al medio ambiente 10,23 toneladas de CO₂.

RECOMENDACIONES

1. Canalizar los conductores que se encuentran expuestos en el área del salón social para protección y orden de la instalación eléctrica.
2. separar tierra física del neutral en los tableros de distribución también agregar barra de tierra en los tableros de biblioteca y administración.
3. Realizar un manual de mantenimiento eléctrico para el edificio en donde se incluyan los tiempos de ejecución para realizar pruebas de termografía, calidad de energía, medición de tierra física y pruebas de aislamiento a conductores eléctricos.
4. Considerar aplicar cambio de luminarias fluorescentes a luminarias led en las áreas donde no se ha hecho el cambio de tecnología de iluminación.
5. Implementar un control de iluminación más eficiente en el área del lobby en este lugar puede aprovecharse la luz natural por varias horas por esta razón no se necesita que este al 100 % la iluminación en este lugar.
6. Realizar capacitaciones al personal del Museo Nacional de Arqueología y Etnología sobre, las buenas prácticas para el uso correcto de energía.
7. Implementar el sistema de red de tierras, pararrayos y supresor de picos en las instalaciones del Museo Nacional de Arqueología y

Etnología para el correcto funcionamiento de las instalaciones, así como la protección de estas.

8. Realizar un estudio más detallado para los armónicos de corriente debido a que estos se encuentran fuera de norma y podrían provocar daños o mal funcionamiento en la instalación eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

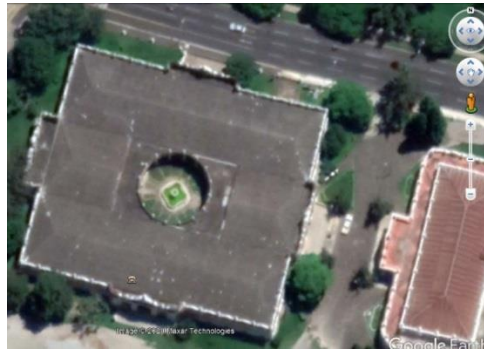
1. CANALES, Luis. *Memoria de cálculo sistema de puesta a tierra*. Santiago, Chile: Aliviadero Quinta Normal, 2006. 21 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). *Metodología para el control de calidad del servicio técnico de las normas técnicas del servicio de distribución*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2003/39-2003.pdf>>. [Consulta: 17 de julio de 2019].
3. FRANCE, Franklin. *La solución PDC*. [en línea]. <www.franklin-france.com>. [Consulta: 17 de julio de 2019].
4. Fundamentos del Código Nacional Eléctrico. *Formación presencial, NFPA70, 2014*. [en línea]. <<https://ceseconsultores.com/codigo-electrico-nacional/>>. [Consulta: 8 de mayo de 2019].
5. Iluminet. *Iluminación para interiores, museos y galerías de arte*. [en línea]. <<https://www.iluminet.com/iluminacion-en-museos-y-galerias-de-arte/>>. [Consulta: 20 de marzo de 2019].
6. Ministerio de energía y minas. *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. [en línea]. <https://www.programaenergias.cl/wp-content/uploads/2019/05/REF_Guia_Metodologica_Extendida_Mineria_Web.pdf>. [Consulta: 8 de febrero de 2020].

7. Museo Nacional de Arqueología y Etnología (MUNAE). *Perfil institucional Museo Nacional de Arqueología y Etnología*. [en línea].
<https://es.wikipedia.org/wiki/Museo_Nacional_de_Arqueolog%C3%ADa_y_Etnolog%C3%ADa_de_Guatemala>. [Consulta: 12 de enero de 2020].

APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de energía implementando paneles solares

- Una opción para reducir el consumo de energía eléctrica en las instalaciones del MUNAE es la implantación de paneles solares, dado que el techo del museo es a dos aguas hay una gran área para colocar dichos paneles, estos quedan en una posición en la cual se aprovecha muy bien la energía solar y dado que el mayor consumo de energía eléctrica en el edificio es durante el día esta se convierte en una buena opción.



- El precio aproximado de un kit de paneles con una potencia de 5 kW sin baterías es aproximadamente Q 36 268,37 por lo que instalar estos paneles requiere aproximadamente de la siguiente inversión.

Descripción	cant	precio	total
kit paneles solares autoconsumo 5 000 w monofásico 240 v	1	Q 36 268,37	Q 36 268,37
instalación mano de obra	1	Q 10 880,51	Q 10 880,51
Estructura para paneles	15	Q 500,00	Q 7 500,00
total			Q 54 648,88

Continuación del apéndice 1.

- Según datos del fabricante la energía diaria producida por los paneles es aproximada es 25 kWh.

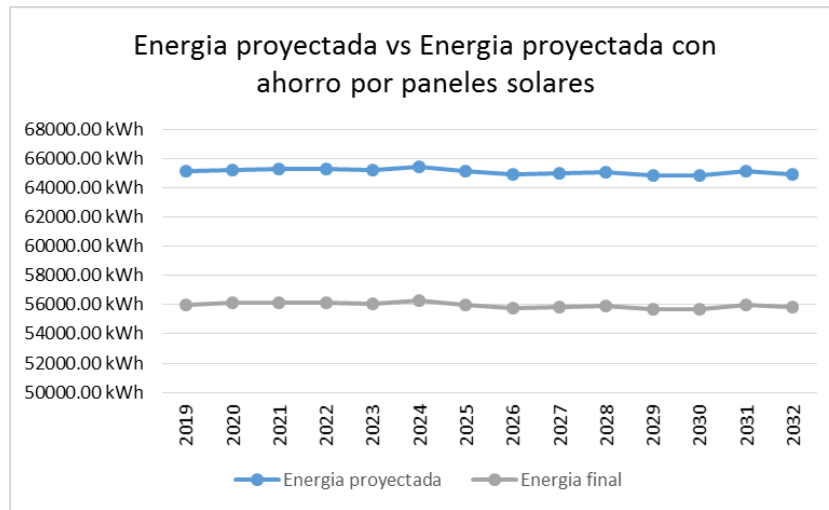
Energía prod al día según fabricante	Energía al mes	Energía al año
25,00 kWh	760,42 kWh	9 125,00 kWh

- Con la energía proyectada hasta el año 2032 y la energía anual producida por los paneles se puede realizar un cálculo aproximado de la energía que se consumirá cada año si se implementan los paneles.

Año	Energía proyectada	Ahorro por energía solar	Energía final	% ahorro
2019	65126,30 kWh	9125,00 kWh	56001,30 kWh	14 %
2020	65230,72 kWh	9125,00 kWh	56105,72 kWh	14 %
2021	65254,33 kWh	9125,00 kWh	56129,33 kWh	14 %
2022	65254,33 kWh	9125,00 kWh	56129,33 kWh	14 %
2023	65191,24 kWh	9125,00 kWh	56066,24 kWh	14 %
2024	65410,58 kWh	9125,00 kWh	56285,58 kWh	14 %
2025	65106,93 kWh	9125,00 kWh	55981,93 kWh	14 %
2026	64896,24 kWh	9125,00 kWh	55771,24 kWh	14 %
2027	64953,24 kWh	9125,00 kWh	55828,24 kWh	14 %
2028	65074,46 kWh	9125,00 kWh	55949,46 kWh	14 %
2029	64815,43 kWh	9125,00 kWh	55690,43 kWh	14 %
2030	64807,49 kWh	9125,00 kWh	55682,49 kWh	14 %
2031	65106,93 kWh	9125,00 kWh	55981,93 kWh	14 %
2032	64936,65 kWh	9125,00 kWh	55811,65 kWh	14 %

Continuación del apéndice 1.

- Energía proyectada vs energía proyectada con ahorro por paneles solares



- Se espera que para el año 2032 exista un consumo de 55811,65 kWh esto representa un 14 % reducción en consumo de energía, si se aplica una tarifa proyectada se puede calcular el costo que representa esta energía al año.

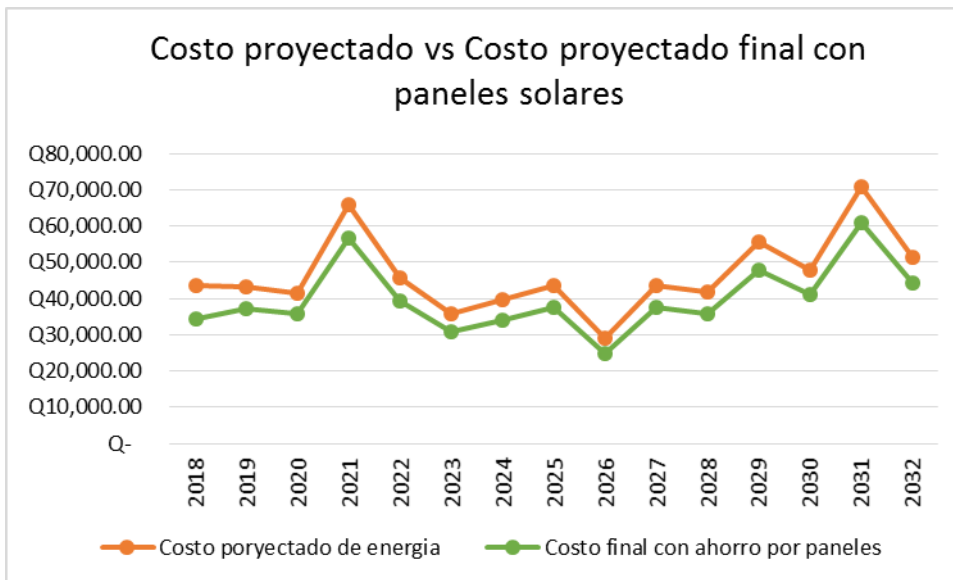
Energía solar anual	Tarifa proyectada	Costo de energía
9125,00 kWh	Q 1,01	Q 9 216,25
9125,00 kWh	Q 0,66	Q 6 022,50
9125,00 kWh	Q 0,63	Q 5 748,75
9125,00 kWh	Q 1,01	Q 9 216,25
9125,00 kWh	Q 0,70	Q 6 387,50
9125,00 kWh	Q 0,55	Q 5 018,75
9125,00 kWh	Q 0,60	Q 5 475,00
9125,00 kWh	Q 0,67	Q 6 113,75
9125,00 kWh	Q 0,45	Q 4 106,25
9125,00 kWh	Q 0,67	Q 6 113,75
9125,00 kWh	Q 0,64	Q 5 840,00
9125,00 kWh	Q 0,86	Q 7 847,50
9125,00 kWh	Q 0,74	Q 6 752,50
9125,00 kWh	Q 1,09	Q 9 946,25
9125,00 kWh	Q 0,79	Q 7 208,75

Continuación del apéndice 1.

- Con estos datos puede calcularse el costo final de la energía cada año si se implementan paneles solares.

año	Costo proyectado de energía	Costo energía solar	Costo final
2018	Q 43 680,80	Q 9 216,25	Q 34 464,55
2019	Q 43 268,29	Q 6 022,50	Q 37 245,79
2020	Q 41 369,83	Q 5 748,75	Q 35 621,08
2021	Q 65 991,64	Q 9 216,25	Q 56 775,39
2022	Q 45 814,03	Q 6 387,50	Q 39 426,53
2023	Q 35 936,52	Q 5 018,75	Q 30 917,77
2024	Q 39 510,64	Q 5 475,00	Q 34 035,64
2025	Q 43 746,45	Q 6 113,75	Q 37 632,70
2026	Q 28 921,80	Q 4 106,25	Q 24 815,55
2027	Q 43 643,18	Q 6 113,75	Q 37 529,43
2028	Q 41 761,51	Q 5 840,00	Q 35 921,51
2029	Q 55 771,25	Q 7 847,50	Q 47 923,75
2030	Q 47 944,15	Q 6 752,50	Q 41 191,65
2031	Q 70 752,83	Q 9 946,25	Q 60 806,58
2032	Q 51 467,89	Q 7 208,75	Q 44 259,14

- Costo proyectado vs costo proyectado final con paneles solares



Continuación del apéndice 1.

- Con los datos anteriores puede calcularse el tiempo en el cual se recuperaría la inversión inicial si se implementan paneles solares que queda los siguientes datos.

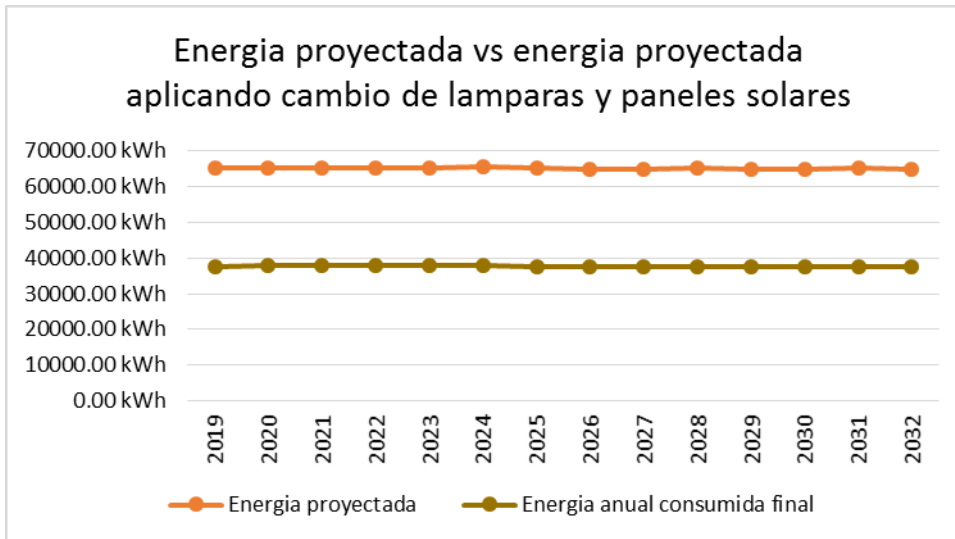
Inversión inicial	Q 54 648,88
Ahorro promedio anual	Q 6 734,25
retorno de inversión	8,12 años
vida útil del proyecto	20 años

La inversión inicial se recuperaría en 8.12 años según el fabricante el tiempo de vida de los paneles es de 20 años lo que deja 11.88 años en los que se ahorraría energía.

- Aplicando cambio de luminarias e implementación de paneles solares se puede aumentar el ahorro de energía anual en las instalaciones del museo.

Año	Energía proyectada	Ahorro anual por energía solar	Ahorro anual por cambio de luminarias	Ahorro total	Energía anual consumida final	%
2019	65126,30 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37713,30 kWh	42 %
2020	65230,72 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37817,72 kWh	42 %
2021	65254,33 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37841,33 kWh	42 %
2022	65254,33 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37841,33 kWh	42 %
2023	65191,24 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37778,24 kWh	42 %
2024	65410,58 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37997,58 kWh	42 %
2025	65106,93 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37693,93 kWh	42 %
2026	64896,24 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37483,24 kWh	42 %
2027	64953,24 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37540,24 kWh	42 %
2028	65074,46 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37661,46 kWh	42 %
2029	64815,43 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37402,43 kWh	42 %
2030	64807,49 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37394,49 kWh	42 %
2031	65106,93 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37693,93 kWh	42 %
2032	64936,65 kWh	9125,00 kWh	18288,00 kWh	27413,00 kWh	37523,65 kWh	42 %

Continuación del apéndice 1.



Se espera un ahorro en cuanto a consumo de energía de un 42 % si se implementa el cambio de luminarias y la instalación de paneles solares en el Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Fuente: elaboración propia.