



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

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL
DE GUATEMALA “LUIS CARDOZA Y ARAGÓN”**

Manuel Enrique Pol Ceto

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL
DE GUATEMALA “LUIS CARDOZA Y ARAGÓN”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL ENRIQUE POL CETO

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE 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. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonzo Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL
DE GUATEMALA, “LUIS CARDOZA Y ARAGON”**

Tema asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 13 de noviembre de 2019.

Manuel Enrique Pol Ceto

Guatemala, 05 de julio de 2021.

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

Estimado Ingeniero Armando Alonso Rivera Carrillo

Por este medio, hago constar que yo, el Ingeniero Kenneth Issur Estrada Ruiz, con colegiado número seis mil doscientos setenta y uno (6271), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno **Manuel Enrique Pol Ceto** con **CUI 2294 32425 1413**, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su informe final.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la institución donde se desarrollo la misma.

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA "LUIS CARDOZA Y ARAGÓN"**.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración.

Atentamente.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Colegiado número 6271

Asesor

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 05 de julio de 2021.
Ref.EPS.D.110.07.2021.

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA "LUIS CARDOZA Y ARAGÓN"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Manuel Enrique Pol Ceto**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

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 - 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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 128. 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; MANUEL ENRIQUE POL CETO : ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA “LUIS CARDOZA Y ARAGÓN” , procede a la autorización del mismo.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 31 DE AGOSTO 2021.



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 610-2021

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 ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA "LUIS CARDOZA Y ARAGÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Manuel Enrique Pol Ceto**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval.

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	La religión no es lo que uno afirma creer, sino la manera en cómo uno vive.
Mis padres	Enrique Pol y Elena Ceto, por su apoyo, consejos, amor y ejemplo.
Mis hermanos	Edwyn, Karla y Franklyn Pol Ceto, por su apoyo incondicional.
Mi sobrina	Ely por ser un ejemplo de esfuerzo y superación.
Mis tíos	Por el cariño y apoyo brindado.
Mis amigos	Fredy Danilo, Gerson Arredondo y Boanerges Chinchilla por el esfuerzo compartido.
Mi esposa	Gladys Xoy, por su amor, comprensión y fortaleza.
Mis abuelos	Por su amor, cariño y sabios consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, agradezco su formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por ser mi casa de estudios, agradezco su formación profesional.

**Biblioteca Nacional de
Guatemala “Luis
Cardoza y Aragón”**

Por permitirme realizar mi ejercicio profesional supervisado, agradezco su confianza y apoyo.

**Ing. Kenneth Issur
Estrada Ruiz**

Por su valiosa ayuda al asesorarme en mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. RESEÑA HISTÓRICA Y GENERALIDADES DE LA BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA “LUIS CARDOZA Y ARAGÓN”	1
1.1. Historia y generalidades	1
1.2. Visión.....	2
1.3. Misión	2
1.4. Estructura organizacional	2
1.5. Ubicación.....	3
1.6. Servicios que presta	4
1.6.1. Sala de braille.....	4
1.6.2. Laboratorio para no videntes	5
1.6.3. Sala de referencia y lectura	6
1.6.4. Sala escolar	7
1.6.5. Sala general.....	7
1.6.6. Sala infantil	8
1.6.7. Sala nacional	9
1.6.8. Sala de fondo antiguo.....	9
1.7. Marco legal	10
1.8. Ley para la protección del Patrimonio Cultural de la Nación ...	11

2.	MARCO TEÓRICO RELACIONADO CON EL DISEÑO ELÉCTRICO	13
2.1.	Instalación eléctrica.....	13
2.1.1.	Acometida eléctrica	13
2.1.2.	Tipos de cargas.....	14
2.2.	Estimación de cargas.....	15
2.2.1.	Demanda.....	16
2.2.2.	Demanda máxima	16
2.2.3.	Factores que caracterizan la demanda	16
2.3.	Instalación eléctrica por tipo de consumidor	18
2.3.1.	Instalación eléctrica residencial.....	19
2.3.2.	Instalación eléctrica comercial.....	19
2.3.3.	Instalación eléctrica industrial.....	20
2.4.	Alimentadores	21
2.4.1.	Conductores eléctricos.....	22
2.4.2.	Material de los conductores.....	23
2.4.3.	Calibre de conductores eléctricos	24
2.4.4.	Aislamiento del conductor eléctrico	25
2.4.5.	Cómo seleccionar un conductor eléctrico.....	27
2.4.5.1.	Cálculo de conductores por el método de corriente	27
2.4.5.2.	Cálculo de conductores por el método caída de voltaje	33
2.4.6.	Selección de conductor de puesta a tierra	35
2.5.	Canalizaciones.....	36
2.5.1.	Tubería eléctrica.....	36
2.5.1.1.	Tubo tipo <i>conduit</i>	36
2.5.1.2.	Tubería tipo PVC.....	38
2.5.2.	Cálculo de tubería eléctrica	38
2.6.	Cajas y accesorios	40

2.7.	Rieles de fijación tipo DIN.....	41
2.8.	Abrazaderas de fijación	42
2.9.	Dispositivos de protección	43
2.9.1.	Fusibles	44
2.9.2.	Interruptores	45
2.10.	Tableros eléctricos	48
2.11.	Apagador o interruptor.....	52
2.11.1.	Montaje de interruptores o apagadores	53
2.11.2.	Tipo de interruptores.....	54
2.12.	Tomacorriente	56
2.13.	Lámparas y luminarias.....	58
2.13.1.	Tipos de lámparas	59
2.13.2.	Cálculo de luminarias	61
2.13.2.1.	Cálculo por el método de cavidades zonales	62
2.14.	Sistema de puesta a tierra.....	68
2.14.1.	Métodos de medición de puesta a tierra	70
2.15.	Pararrayos.....	72
2.15.1.	Diseño de sistema de apantallamiento y protección contra rayo	73
2.16.	Transformador eléctrico.....	75
2.16.1.	Tipos de transformadores	75
2.16.2.	Tipos de conexiones de un transformador.....	76
2.16.3.	Conexión Delta Abierta	77
2.17.	Instrumentos de medición eléctrica	78
2.17.1.	Medidor de calidad de energía	78
2.17.1.1.	<i>Fluke 435-II</i>	81
2.17.1.2.	AEMC 8336	82
2.17.1.3.	<i>Dranetz HDPQ Guide</i>	82

2.17.2.	Cámara termográfica.....	83
2.17.2.1.	<i>Thermal expert</i> (serie TE-Q1).....	87
2.17.2.2.	<i>Fluke</i> TI 400	88
2.17.2.3.	<i>Flir</i> E95.....	90
2.17.3.	Medidor de puesta a tierra.....	91
2.17.3.1.	Pinza de resistencia de tierra <i>Fluke</i> 1630	92
2.17.3.2.	Pinza de resistencia de tierra <i>Megger</i> DET 24C	93
2.17.3.3.	Pinza de resistencia de tierra AEMC 3711	95
2.17.4.	Multímetro	96
2.17.4.1.	Pinza amperimétrica <i>Fluke</i> 376 FC	96
2.17.4.2.	Pinza amperimétrica AEMC 603	97
2.18.	Diagramas unifilares.....	97
2.19.	Mantenimiento de las instalaciones eléctricas	98
2.19.1.	Mantenimiento preventivo	98
2.19.2.	Mantenimiento correctivo	98
3.	MARCO METODOLÓGICO	101
3.1.	Ubicación	101
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	101
3.3.	Recursos materiales disponibles.....	102
3.4.	Procedimiento para las mediciones de parámetros eléctricos.....	103
3.4.1.	Toma de imagen termográfica con cámara <i>Thermal Expert</i> (serie TE-Q1)	103
3.4.2.	Medición del sistema de puesta a tierra con pinza <i>Fluke</i> 1 630	105

3.4.3.	Medición de caída de tensión con amperímetro <i>Fluke 376 FC</i>	106
3.4.4.	Medición de calidad de energía con medidor <i>Dranetz HDPQ Guide</i>	107
3.5.	Auditoría de consumo.....	109
3.6.	Instalaciones eléctricas actuales	109
3.6.1.	Levantamiento de tableros eléctricos existentes ..	110
3.6.2.	Caracterización de cargas	110
3.7.	Cálculo de conductores eléctricos por el método de caída de tensión	111
3.8.	Selección de tableros de distribución eléctrica	112
3.9.	Cálculo de tuberías.....	112
3.10.	Cálculo de iluminación.....	113
3.11.	Diagrama unifilar	114
3.12.	Cálculo de subestación eléctrica	114
3.13.	Cálculo para sistema de puesta a tierra	115
3.14.	Selección de pararrayo.....	116
4.	RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO	119
4.1.	Análisis de consumos y parámetros eléctricos	119
4.1.1.	Análisis de termografías	119
4.1.2.	Mediciones de resistencia de puesta a tierra.....	120
4.1.3.	Medición de caída de tensión	121
4.1.4.	Análisis de calidad de energía	122
4.1.4.1.	Voltaje.....	122
4.1.4.2.	Corriente	125
4.1.4.3.	Factor de potencia	127
4.1.4.4.	Potencias activa, reactiva y aparente	129
4.1.4.5.	Consumo de energía	133

4.1.4.6.	Frecuencia.....	134
4.1.4.7.	Distorsión Armónica de Voltaje y Corriente.....	135
4.1.5.	Análisis de consumos mensuales	137
4.2.	Levantamiento de las instalaciones eléctricas actuales	139
4.2.1.	Levantamiento de tableros eléctricos	139
4.2.2.	Levantamiento de cargas eléctricas	140
4.2.3.	Levantamiento de luminarias existentes.....	148
4.2.4.	Subestación eléctrica existente	149
4.2.5.	Diagrama unifilar de la red existente	150
5.	PROPUESTA DE MEJORA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	151
5.1.	Cálculo de conductores.....	151
5.1.1.	Cálculo de conductores para ramales	151
5.1.2.	Cálculo de conductor para alimentador principal...	154
5.2.	Cálculo de tablero principal y sub-tableros eléctricos	155
5.2.1.	Cálculo de tablero principal	156
5.2.2.	Cálculo de subtableros.....	156
5.3.	Cálculo de protecciones	157
5.4.	Cálculo de subestación por demanda	158
5.5.	Cálculo de iluminación	160
5.6.	Cálculo del sistema de puesta a tierra	161
5.7.	Cálculo de pararrayos	163
5.7.1.	Instalación del pararrayo	165
5.7.2.	Mantenimiento del pararrayo.....	165

6.	COMPARACIONES TEÓRICA Y PRÁCTICA	167
6.1.	Comparaciones de calibre de conductor y protecciones por circuito del tablero general.....	167
6.2.	Comparaciones teórica-práctica de tableros	168
6.3.	Comparaciones teórico práctico de subestación eléctrica	169
	CONCLUSIONES	171
	RECOMENDACIONES	173
	BIBLIOGRAFÍA	175
	ANEXOS	177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional de La Biblioteca Nacional De Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”	3
2.	Ubicación cartográfica de La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”	4
3.	Instalación eléctrica residencial.....	19
4.	Instalación comercial.....	20
5.	Instalación industrial.....	21
6.	Mono conductores.....	23
7.	Tubería tipo conduit.....	37
8.	Cajas de conexión.....	41
9.	Ries DIN.....	42
10.	Abrazadera para tubería	43
11.	Fusibles de media tensión.....	45
12.	Partes de un interruptor termomagnético	47
13.	Tipos de interruptor por número de polos	47
14.	Tablero principal de distribución.....	49
15.	Tablero secundario.....	50
16.	Apagador o interruptor	53
17.	Interruptor sencillo.....	55
18.	Interruptor de tres vías	55
19.	Interruptor de cuatro vías	56
20.	Tomacorrientes polarizados	58

21.	Tomacorrientes especiales	58
22.	Lámparas incandescentes	60
23.	Lámparas fluorescentes.....	60
24.	Lámparas led	61
25.	Tipos de cavidades	62
26.	Cálculo del índice del local o cavidad del recinto.....	65
27.	Alturas método cavidad zonal	65
28.	Sistema de puesta a tierra	69
29.	Componentes del sistema de puesta a tierra.....	70
30.	Método de Wenner	71
31.	Método de Schlumberger.....	71
32.	Partes de un pararrayo	72
33.	Método del ángulo de protección	74
34.	Método de esfera rodante	74
35.	Método de Enmallado	75
36.	Partes de un transformador	76
37.	Conexión de transformadores Delta Abierta	77
38.	Medidor de Calidad de Energía Fluke 435 II.....	81
39.	Medidor de calidad de energía AMC 8336.....	82
40.	Medidor de calidad de energía Dranetz HDPQ <i>Guide</i>	83
41.	Imagen termográfica	84
42.	Registro de temperatura	85
43.	Diferentes resoluciones de cámaras termográficas	86
44.	Especificaciones de la cámara TE-Q1	87
45.	Cámara termográfica <i>thermal expert</i> TE-Q1	88
46.	Especificaciones de la cámara TI 400	89
47.	Cámara termográfica Ti 400	89
48.	Especificación de cámara termográfica <i>Flir</i> E95.....	90
49.	Cámara termográfica <i>Flir</i> E95.....	91

50.	Especificaciones de Fluke 1630	92
51.	<i>Fluke 1 630</i>	93
52.	Especificaciones de <i>Megger</i> DET 24C.....	94
53.	<i>Megger</i> DET24C	94
54.	Especificaciones de AEMC 3711	95
55.	AEMC 3711	95
56.	Pinza amperimétrica <i>Fluke</i> 376 FC	96
57.	Pinza amperimétrica AEMC 603	97
58.	Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”	101
59.	Cámara termográfica <i>Thermal Expert</i> TE-Q1	104
60.	<i>Fluke 1 630</i>	105
61.	Multímetro <i>Fluke</i> 376 FC.....	106
62.	<i>Dranetz HDPQ Guide</i>	108
63.	Simbología IEC y ANSI	114
64.	Espacio de protección generado	117
65.	Puntas Franklin	117
66.	Voltaje línea 1, 2 y 3 con vista individual.....	123
67.	Voltaje L1, L2 y L3.....	124
68.	Corriente línea 1, 2 y 3	125
69.	Corriente línea neutral.....	126
70.	Corrientes L1, L2, L3 y neutral	126
71.	Factor de potencia línea 1, 2 y 3	127
72.	Factor de potencia total.....	128
73.	Potencia Activa L1, L2 y L3.....	129
74.	Potencia activa total	129
75.	Potencia reactiva L1, L2 y L3	130
76.	Potencia reactiva total	131
77.	Potencia aparente L1, L2 y L3	132
78.	Potencia aparente total	132

79.	Energía activa y reactiva por hora	134
80.	Frecuencia	134
81.	Distorsión armónica de voltaje THDV %	135
82.	Distorsión armónica de corriente THDi %	136
83.	Distorsión armónica de corriente en el neutro THDi%	136
84.	Consumos y Costos histórico 2019 a 2021	138
85.	Diagrama unifilar de las instalaciones actuales	150
86.	Ramal de tablero conservación 1.....	152
87.	Ramal de tablero conservación 2.....	152
88.	Ramal de tablero de sótano, alimentación T1 y T2.....	152
89.	Ramal de tablero T2 lobby nivel 1.....	153
90.	Ramal de tablero T3 lobby nivel 1.....	153
91.	Ramal de tablero Nivel 6, restauración	153
92.	Alimentador de transformador seco 7,5KVA	154
93.	Ramal de T1 lobby nivel 1	154
94.	Alimentador de tablero principal.....	155
95.	Subtableros.....	157
96.	Protecciones para cada tablero eléctrico	158
97.	Protección de pararrayo tipo pulsar	164

TABLAS

I.	Área transversal de conductores en mm ²	25
II.	Tipos de forros para conductores y sus aplicaciones	26
III.	Factor de corrección por cantidad de conductores en tubería	30
IV.	Factor de corrección de capacidad de cara para temperatura ambiente superior a 30 °C	30

V.	Capacidad de corriente de cables eléctricos por calibres y en función de temperatura de operación.....	31
VI.	Capacidad de carga por calibre según el tipo de cable.....	32
VII.	Valores de regulación de voltaje	34
VIII.	Área del conductor de tierra para alimentación de los equipos en AWG/Kcmil.....	35
IX.	Área del conductor de tierra del tablero de distribución principal al sistema de tierra física	36
X.	Dimensiones de tubo conduit.....	37
XI.	Factor de relleno en tubo y de arreglo.....	39
XII.	Número máximo de conductores en tubería	40
XIII.	Factor de mantenimiento.....	66
XIV.	Niveles mínimos de iluminación según plano de trabajo.....	66
XV.	Coeficientes de utilización según tipo de iluminación en cada luminaria.....	67
XVI.	Emisividad para superficies de materiales	86
XVII.	Nivel de protección.....	116
XVIII.	Resultados de termografías a tableros eléctricos	119
XIX.	Resultados de medición de resistencia de puestas a tierra	120
XX.	Resultados de mediciones de caída de tensión en los tableros.....	121
XXI.	Consumo de energía mensual con histórico 2019 a 2021	138
XXII.	Descripción de los tableros eléctricos	140
XXIII.	Detalle de cargas tablero general biblioteca	141
XXIV.	Detalle de cargas tablero conservación 1	141
XXV.	Detalle de cargas tablero conservación 2	142
XXVI.	Detalle de cargas sótano T1 y T2, Panel #1	142
XXVII.	Detalle de cargas sótano T1 y T2, panel #2.....	143
XXVIII.	Detalle de cargas T2 lobby nivel 1	144
XXIX.	Detalle de cargas T3 lobby nivel 1	145

XXX.	Detalle de cargas 6 nivel restauración	146
XXXI.	Detalle de cargas transformador seco	146
XXXII.	Detalle de cargas T1 lobby nivel 1	147
XXXIII.	Cantidad de luminarias y distribución	148
XXXIV.	Banco de transformación existente.....	149
XXXV.	Cálculo de luminarias en áreas de biblioteca central	161
XXXVI.	Radios de cobertura de pararrayos.....	164
XXXVII.	Comparación teórica práctica de conductores y	167
XXXVIII.	Protecciones por circuito del tablero general	167
XXXIX.	Resumen de tableros respecto al levantamiento práctico.....	168
XL.	Resumen de tablero respecto al cálculo teórico	169
XLI.	Comparación teórica y práctica del banco de transformadores	170

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m²	Área en metros cuadrados
%	Porcentaje
kVA	Potencia aparente en mil voltamperios
kW	Potencia eléctrica activa en mil kilovatios
kVAR	Potencia reactiva que equivale a mil voltamperios reactivos
R	Resistencia eléctrica
Hz	Unidad de frecuencia eléctrica en Hertz
A	Unidad de intensidad de corriente en amperios
Ω	Unidad de la resistencia eléctrica
m	Unidad de medida lineal en metro
V	Voltaje en voltios

GLOSARIO

Baja tensión	Es el suministro de energía eléctrica con una tensión inferior a los 1 000 voltios.
Capacidad de conducción	Es la capacidad máxima de conducción de corriente que posee un conductor eléctrico y se expresa en amperios.
Caracterización de cargas	Procedimiento que se realiza en una instalación eléctrica para determinar el comportamiento del consumidor.
Carga instalada	Es la sumatoria de potencias de todo el equipo eléctrico que se alimentará por medio de la instalación eléctrica.
Circuito	Es el lazo cerrado o camino por donde fluye una corriente eléctrica.
Contador	Dispositivo electromecánico o digital que se utiliza para medir el consumo de energía eléctrica, en donde el distribuidor puede registrar el consumo del usuario.

Cortocircuito	Evento que sucede cuando se conectan dos puntos de un circuito a través de una fuente de energía eléctrica ocasionando daños o fallas.
Diagrama unifilar	Dibujo para representar de forma simbólica las conexiones eléctricas.
Distribuidoras	Empresas que venden energía eléctrica en determinadas regiones a usuarios o consumidores finales.
Factor de potencia	Es la relación que existe entre la potencia activa (<i>watt</i>) y potencia aparente (voltamperio).
Iluminación	Es la cantidad de luz que se tiene en un área o superficie y se mide en luxes.
Interrupción	Acción que se presenta cuando se suspende la continuidad del servicio eléctrico.
Kilowatt/hora kWh	Es la energía que se consume en una hora cuando la potencia es 1 000 watt.
Ohm	Unidad de medida para la resistencia eléctrica de una puesta a tierra.
Trifásico	Sistema eléctrico que está formado por 3 líneas o fases de tensión que poseen igual magnitud y están desfasadas 120 grados.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó un estudio eléctrico de las instalaciones eléctricas del edificio de la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, ubicada en El Centro Histórico zona 1 de la Ciudad de Guatemala. Dicho edificio está reconocido como Patrimonio Cultural de la Nación. Como parte del estudio se recopila información para determinar la caracterización de las cargas instaladas (tales como: cables, luminarias, tableros principales y derivados, entre otros) y hacer una comparación teórica y práctica de las instalaciones actuales.

Como parte del análisis de la red eléctrica de las instalaciones, se realizó una medición de calidad de energía, para determinar el comportamiento de los parámetros eléctricos, como lo son: el voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, energía activa, energía reactiva, factor de potencia y distorsión armónica. Como complemento se realiza un estudio termográfico en todos los tableros eléctricos de la instalación, como medida preventiva del estado de las conexiones y empalmes que conforman los tableros.

Se realizó el diseño de una puesta a tierra y se hizo sugerencia para implementar la instalación de un pararrayo, como medida de protección al sistema eléctrico en caso de incidencia de un rayo y así evitar cortocircuitos y quema de aparatos. La red de tierra se diseñó menor a cinco ohmios debido a la cantidad de equipo electrónico que conforman la instalación.

Se hizo un análisis de las opciones para la conexión del banco de transformación que alimenta la instalación eléctrica, bajo dos condiciones, ya sea utilizando un transformador monofásico o trifásico con conexión estrella – delta, ambos casos con un voltaje de 120/240 voltios.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio eléctrico de las Instalaciones de la Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, para determinar el estado actual de las instalaciones y proponer un plan de acciones preventivas y correctivas.

Específicos

1. Evaluar los diferentes elementos o componentes que conforman las instalaciones eléctricas y proponer solución por prioridad a los problemas encontrados.
2. Realizar cálculos teóricos de los diferentes componentes que conforman las instalaciones eléctricas para comparar con los elementos actuales.
3. Determinar mediante el estudio de calidad de energía el comportamiento de los parámetros eléctricos de la totalidad de la carga eléctrica de las instalaciones.
4. Establecer y plantear las soluciones a los problemas que se pudieron determinar a raíz de este estudio.
5. Realizar el diagrama unifilar de la instalación eléctrica, para representar los detalles de los elementos que conforman la instalación.

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas tienen la función de garantizar que el servicio eléctrico sea continuo y estable, dentro de las condiciones indispensables de toda instalación eléctrica está ofrecer un grado de seguridad hacia las personas, cuidar la vida útil de los equipos, mantener una eficiencia del consumo de energía.

Las instalaciones del edificio de la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” tienen varias décadas, por lo que es importante rediseñar y actualizar los elementos que conforman la instalación para que cumplan con los requerimientos de seguridad y eficiencia apegados a las nuevas normas en vigencia.

En el presente trabajo se realiza un estudio eléctrico de comparación de los elementos que conforman la instalación eléctrica actual versus el análisis teórico calculado con base en los datos obtenidos en las mediciones eléctricas. La finalidad del análisis es realizar mejoras y actualizaciones que requiera la instalación eléctrica derivado de crecimientos de esta.

Como medida de mitigación contra posibles fallas de impacto de rayos y cortocircuitos que puedan dañar la instalación eléctrica, provocar daños en equipos, descargas eléctricas hacia el personal, entre otros. Se realizan los cálculos para la implementación de una red de tierra y la instalación de un pararrayos.

1. RESEÑA HISTÓRICA Y GENERALIDADES DE LA BIBLIOTECA NACIONAL DE GUATEMALA “LUIS CARDOZA Y ARAGÓN”

1.1. Historia y generalidades

La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, fue creada por el Acuerdo Gubernativo emitido el 18 de octubre de 1879 e inaugurada en el edificio de la Sociedad Económica. Pero debido a los terremotos que se sufrieron constantemente en Guatemala, La Biblioteca Nacional se trasladó para el Salón Mayor de la Universidad de San Carlos de Guatemala entre 1917-1918¹.

Posteriormente fue fundada por el Decreto promulgado el 29 de octubre de 1879, por el Gobierno del general Justo Rufino Barrios y puesta al servicio público el 24 de junio de 1880, cuando se hizo efectivo el Acuerdo que creó la Biblioteca Nacional, al inaugurarse este centro en uno de los salones de la Asamblea Legislativa en el mismo lugar en que hoy funciona el Congreso de la República².

Este centro de cultura ha peregrinado por distintos sectores de la ciudad, hasta encontrar el lugar que hoy ocupa sobre a la 5a. avenida 7-26 zona 1 de la Ciudad de Guatemala, cerca de la Plaza de la Constitución.

¹ *Historia Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”*. <https://mcd.gob.gt/biblioteca-nacional/>. Consulta: enero de 2020.

² Ibid.

La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, lleva ese nombre en honor al poeta guatemalteco, ensayista y diplomático cuyo nombre es uno de los más importantes del siglo XX en Guatemala. Algunos de sus logros fueron “Quetzal Jade” y el Premio Mazatlán de Literatura. Fue así como por acuerdo gubernativo del 18 de octubre de 1993, se establece su denominación definitiva a Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”.

1.2. Visión

Ser el principal referente bibliotecológico del país, depositario del material bibliográfico publicado en y sobre Guatemala y hacer de la Biblioteca un lugar de encuentro, un Centro Cultural que contribuya al crecimiento integral de la comunidad y fomente el desarrollo cultural, la igualdad económica, social, étnica y de género y de inclusión de grupos vulnerables y minorías por medio del acceso libre al conocimiento, información, recreación y tecnologías.³

1.3. Misión

Coleccionar y preservar el patrimonio bibliográfico nacional en todas sus formas, que permita constituir un acervo que conserve la memoria intelectual, histórica, científica y cultural de Guatemala para la posteridad, así como ponerlo a disposición de la población y brindar un servicio de calidad a los usuarios.

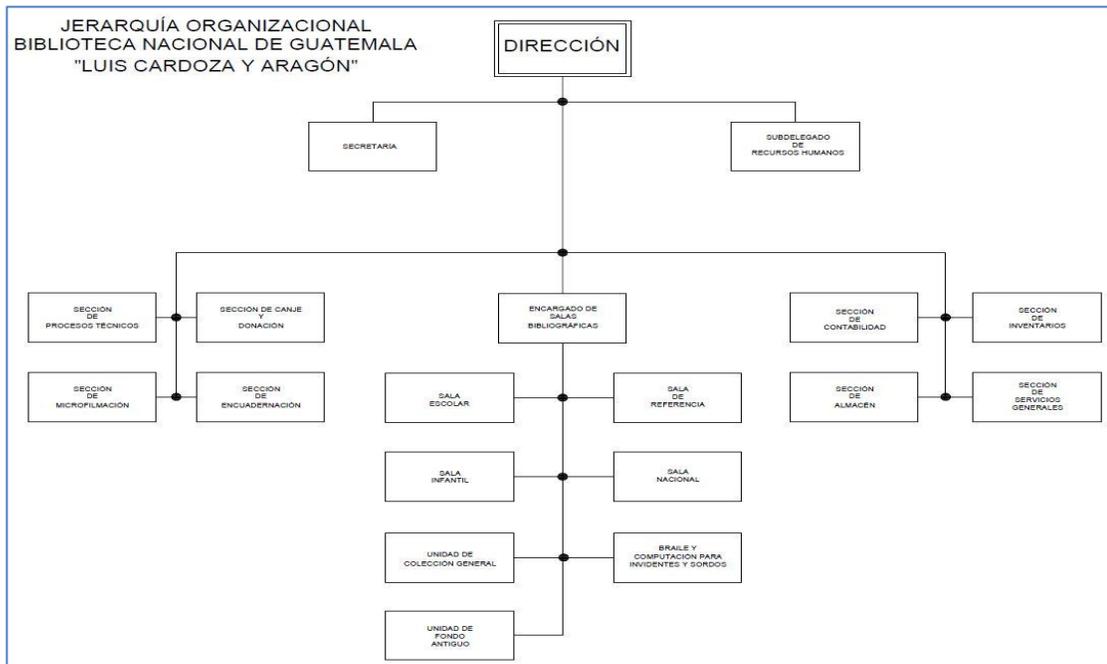
1.4. Estructura organizacional

Por disposiciones gubernamentales y ministeriales la estructura organizacional de La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” cuenta con 19 unidades administrativas las cuales son: dirección,

³ *Misión* Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”. Consulta: enero de 2020.

secretaría, subdelegado de recursos humanos y encargado de salas bibliográficas, en la figura 1 se observa a detalle lo mencionado anteriormente.⁴

Figura 1. Estructura organizacional de La Biblioteca Nacional De Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

1.5. Ubicación

El edificio de La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” se encuentra ubicado sobre la 5a. avenida 7-26, zona 1 ciudad de Guatemala, en la figura 2 (a) y (b) se observa en forma cartográfica la ubicación.

⁴ Estructura organizacional. Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”. Consulta: enero de 2020.

Figura 2. **Ubicación cartográfica de La Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”**



Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala Luis Cardoza y Aragón. *Ubicación cartográfica.*

Consulta: Enero del 2021. <https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/patrimonios/biblioteca-nacional-de-guatemala-luis-cardoza-y-aragon/>

1.6. Servicios que presta

Para cumplir con misión y objetivos, la biblioteca nacional pone a disposición de sus visitantes y usuarios los siguientes beneficios especializados:

1.6.1. Sala de braille

Fue inaugurada en febrero de 1992. Desde entonces presta servicios orientados a la población ciega y deficiente visual.

En ese sentido, el tipo de material con que cuenta es especial, debido al formato braille impreso, audio y electrónico. Su colección asciende a 700 libros en formato braille y unos mil títulos en formato de audio.

Para el préstamo se llena una ficha donde el usuario firma comprometiéndose con la devolución. La colección de audio también es voluminosa. Por ejemplo, la obra El Señor Presidente, de Miguel Ángel Asturias, está en un solo volumen tinta, pero en audio se compone de 12 casetes. Así es el sistema, bastante amplio y requiere disponibilidad de tiempo del usuario para las consultas. Por ello se da la facilidad de que se lleven los libros a su domicilio.

En formato electrónico se tiene mayor número de títulos. La biblioteca virtual para personas ciegas se llama Tifolibros. Este sistema cuenta con unos 35 mil títulos, lo cual es una opción bastante amplia para los suscritos.

La sala también cuenta con un laboratorio informático que fue inaugurado hace dos años, el cual es auspiciado por una organización para no videntes de España y muy útil para usuarios con deficiencia visual. Ofrece un diplomado gratuito y es la única biblioteca a nivel centroamericano que cuenta con este servicio.

1.6.2. Laboratorio para no videntes

Con el propósito de ampliar sus servicios de educación para la población, debido al avance de la tecnología y la informática, surge en marzo del año 2006, el proyecto del laboratorio de computación para personas ciegas y deficientes visuales, conforme a los lineamientos de un convenio de donación suscrito entre la organización de ciegos de España (ONCE), la organización

Red Social para América Latina (FOAL) y el Ministerio de Cultura y Deportes, con el fin de brindar apoyo en la preparación, tecnificación y conocimiento de nuevas tecnologías para el desarrollo individual, escolar y laboral.

Actualmente, en el laboratorio de computación, se imparten clases de computación de Microsoft Office con *software* adaptado a personas ciegas y deficientes visuales, así como atención a usuarios discapacitados visuales de todas las edades, atención personalizada y asesoría en la búsqueda de información.

Para brindar mejor atención, el laboratorio de computación cuenta con 8 computadoras con sistema operativo, Windows XP conectadas a internet, en horario de lunes a viernes de 8:00 hrs. a 17:00 hrs.

1.6.3. Sala de referencia y lectura

A diferencia de las demás salas de la Biblioteca Nacional, en esta área el usuario puede ingresar libros de su propiedad para realizar sus tareas o lecturas en las que podrá encontrar las siguientes colecciones:

- Diccionarios
- Enciclopedias
- Obras generales

Adicional podrá contar con los servicios de:

- Consulta de catálogos por autor, título y materias.
- Sala de lectura (el usuario puede entrar libros de su propiedad).
- Consulta de libros a anaquel abierto.

1.6.4. Sala escolar

Es una de las salas más visitadas, cuenta con alrededor de 225 mil libros y se pueden consultar por medio del catálogo impreso en los ficheros.

Entre su colección podrán encontrar: seminarios del nivel diversificado, libros de primaria, básicos, diversificado y obras literarias de autores guatemaltecos y extranjeros, mapas, afiches del cuerpo humano y de los cinco sentidos.

Adicional podrán contar con los servicios de:

- Fotocopias
- Anaquel abierto
- Consulta de catálogos

Los usuarios que visitan esta sala son: estudiantes de primaria, estudiantes de básicos y estudiantes de diversificado.

1.6.5. Sala general

Esta sala se inauguró hace cinco años, con aproximadamente 110 mil libros. Es visitada por universitarios e investigadores especializados a quienes se les ofrece el servicio de fotocopias por personal del Comité ProCiegos y Sordomudos, institución no lucrativa de apoyo a un gran sector de la población.

La peculiaridad de esta sala radica en su distribución por medio de dos niveles arquitectónicos, en los cuales ha sido distribuida la colección, la cual es indicada de acuerdo con la clasificación décima de Melvil Dewey. Su

encargado, referencista y bibliotecario con más de doce años de experiencia es Sergio Robles, quien selecciona y estudia los diversos materiales, los cuales, con el paso del tiempo, pasarán a formar parte del fondo antiguo.

Clasificación de la colección:

- Filosofía y psicología
- Religión y teología
- Ciencias sociales, ciencias políticas
- Lenguaje y lingüística
- Ciencias puras (matemáticas, ciencias naturales, entre otros)
- Ciencias aplicadas: medicina, tecnología
- Bellas artes, juegos, deportes
- Literatura
- Geografía, historia

1.6.6. Sala infantil

En esta sala se trabaja un programa de animación a la lectura para promover la lectura por medio de cuentos, fábulas, leyendas y juegos lúdicos.

El objetivo del programa es que los niños se encariñen con los libros y se formen en el hábito de la lectura.

Colección en que encontrarán: libros de cuentos, fábulas, chistes, manualidades, leyendas y poemas.

Adicional podrán contar con los servicios de:

- Fomento de la lectura
- Iniciación en el ajedrez
- Curso de vacaciones

Entre sus principales visitantes encontraremos: niños, padres de familia, maestros, estudiantes, empleados de la institución, por mencionar algunos.

1.6.7. Sala nacional

En esta sala podrá consultar toda la bibliografía nacional escrita por autores guatemaltecos y autores extranjeros.

Colección en que encontrarán: libros específicos de autores nacionales y colección del fondo antiguo.

Adicional podrán contar con los servicios de:

- Atención al público
- Anaquel cerrado
- Catálogo impreso por título, autor y materia
- Catálogo electrónico

Entre sus principales visitantes encontraremos: universitarios, investigadores nacionales, investigadores extranjeros.

1.6.8. Sala de fondo antiguo

Aquí se conservan todas las joyas bibliográficas de Guatemala, por ello el área es restringida.

Los documentos llamados joyas bibliográficas son únicos y se resguardan porque es un documento que jamás se volverá a encontrar en otro lugar.

Esta sala cuenta con alrededor de 30 mil libros y documentos.

Para conservar en buen estado la colección esta sala se encuentra climatizada para proteger de las temperaturas altas y bajas los documentos y por lo mismo no es posible obtener fotocopias de los documentos.

El usuario que desee consultar los catálogos y los documentos debe hacer previamente una cita al teléfono (502) 22322443.

Colección en que encontrará: joyas bibliográficas, biblias políglotas, Gaceta de Goathemala, cartas de Amigos del País, Colección Valenzuela I y II, fotografías, entre otros.

- Adicional podrán contar con los servicios de:
 - Consulta de catálogos (previa cita)
 - Préstamo interno de la bibliografía (previa cita)
 - Posibilidad de realizar fotografías

Entre sus principales visitantes se encuentran: investigadores nacionales y extranjeros.

1.7. Marco legal

Las disposiciones legales para La Biblioteca Nacional De Guatemala “Luis Cardozo y Aragón”, se establecen a partir de dictámenes, acuerdos

gubernativos y decretos con la finalidad de desarrollar un servicio hacia los usuarios y proteger el patrimonio bibliográfico. El conjunto de bases legales es:

- Acuerdo Gubernativo sin número emitido el 27 de octubre de 1879, se establece la fundación de la primera Biblioteca Pública, con el nombre de Biblioteca Nacional de Guatemala.
- Dictamen No. 151-66 emitido el 22 de junio de 1966 por el Consejo Técnico de Educación Nacional, donde se aprueba el Reglamento Interno.
- Acuerdo Gubernativo sin número emitido el 13 de abril de 1967, En el que se indica el desligamiento de la Hemeroteca Nacional.
- Acuerdo Gubernativo 104-86 emitido de 17 de febrero de 1986, se ordena que la Biblioteca Nacional pase a formar parte del Ministerio de Cultura y Deportes.
- Acuerdo Gubernativo 599-93 emitido el 18 de octubre de 1993, en el cual se nominó a la Biblioteca Nacional de Guatemala con el nombre del escritor “Luis Cardoza y Aragón”.
- Acuerdo Ministerial No. 114-2005 emitido 11 de marzo del 2005, en el que se creó la unidad de Fondo Antiguo.
- Decreto No. 60-2005 de Congreso de la República emitido el 13 de septiembre del 2005, se declaró Patrimonio Nacional y Cultural del Pueblo de Guatemala.⁵

1.8. Ley para la protección del Patrimonio Cultural de la Nación

Esta ley establece en el Capítulo II “Protección de los bienes culturales”, Artículo 9.-Protección. Los bienes culturales protegidos por esta ley no podrán ser objeto de alteración alguna salvo en el caso de intervención debidamente autorizada por la Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural. Cuando se trate de bienes inmuebles declarados como Patrimonio Cultural de la Nación o que conforme un Centro, Conjunto o Sitio Histórico, será necesario, además, autorización de la Municipalidad bajo cuya jurisdicción se encuentre. (Reformado por el Decreto Número 81-98 del Congreso de la República de Guatemala).⁶

⁵ *Disposiciones legales* Biblioteca Nacional “Luis Cardoza y Aragón”. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3800.pdf. Consulta: febrero de 2021.

⁶ Ley para la protección del patrimonio nacional cultural de la nación. https://oibc.oei.es/uploads/attachments/482/compendio_leyes_guatemala.pdf. Consulta: febrero de 2021.

2. MARCO TEÓRICO RELACIONADO CON EL DISEÑO ELÉCTRICO

2.1. Instalación eléctrica

Se refiere al conjunto de elemento, equipos y accesorios que se emplean para la distribución y consumo de energía eléctrica desde el centro de alimentación o puntos de entrega.

Una instalación eléctrica debe contar con parámetros o estándares de calidad para el beneficio del cliente final, entre los parámetros relevantes se pueden mencionar: caída de tensiones adecuadas, regulación de voltaje adecuado, frecuencias adecuadas, entre otros.

Se considera a una instalación eléctrica segura y eficiente a aquellas que para sus concepciones se fundamentan bajos normativos o requisitos establecidos por autoridades o instituciones competentes, que los diseños sean adecuados según la aplicación o finalidad de la instalación eléctrica, que las protecciones sean dimensionadas apropiadamente y considerando equipos y cargas instaladas.

2.1.1. Acometida eléctrica

Es el conjunto de componentes eléctricos y accesorios que ligan a la distribuidora de energía eléctrica y el usuario final, las acometidas eléctricas están conformas por tuberías, protección, conductores y medidores eléctricos.

2.1.2. Tipos de cargas

Carga eléctrica es la que se utiliza en dispositivos que demandan energía para su funcionamiento.

- En una instalación eléctrica de baja tensión se puede definir o agrupar los tipos de cargas en tres:
 - Cargas de iluminación
 - Cargas de fuerza (tomacorrientes uso general)
 - Cargas especiales (motores eléctricos)

- Al referirse a carga, se deben tener presente los siguientes conceptos:
 - Corriente nominal: es la corriente eléctrica que se debe considerar para cada carga o grupos de cargas, el cual debe ser considerado dimensionamiento de una instalación eléctrica.
 - Voltaje nominal: es el voltaje establecido y requerido para la operación óptima de cada carga o grupos de cargas.
 - Potencia nominal: es la potencia establecida como consumo de energía eléctrica que demandará cada carga o grupos de carga, pueden ser dadas en potencia real (KW), potencia aparente (KVA) o bien en potencia mecánica para motores (HP) de la carga que se conectará a la red eléctrica.
 - Circuito o ramal: es el tramo o trayectoria de una instalación eléctrica que tiene como finalidad alimentar una o varias cargas instaladas, son diseñadas y dimensionadas considerando los diferentes tipos de carga.

- Carga total conectada: se define como la suma de la potencia nominal KVA de todos los equipos de la instalación eléctrica que se asume estarán funcionando al mismo tiempo.
- Capacidad o carga instalada: se define como la capacidad que tiene un determinado usuario o instalación eléctrica para consumir energía eléctrica. Siendo esta la potencia total en KVA que la distribuidora pone exclusivamente a disposición del usuario o punto de entrega.
- Demanda contratada: se define como la demanda máxima que la distribuidora está comprometida a entregarle al usuario mediante un contrato previo establecido.

2.2. Estimación de cargas

Para desarrollar un proyecto de instalación eléctrica que requiere diseño y cálculos, es importante tener una estimación de la carga de diseño, o bien, si no es una instalación nueva es importante conocer la carga instalada. Ya que esta carga es la base del desarrollo del proyecto para la acometida, flipón principal y tablero principal.

Se debe ser cuidadoso con la estimación de cargas pues el diseño no debe quedar por debajo del valor ni por encima, porque puede incrementar los costos del proyecto. Para la estimación de cargas con el sistema principal o estimar una carga, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Determinar el consumo de energía en un periodo específico.
- Determinar la demanda máxima de la carga.
- Determinar cómo contribuye la carga a estimar al sistema que se va a conectar.

Adicional, para que la estimación de la carga sea lo más real posible se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos:

2.2.1. Demanda

La demanda de una instalación es la cantidad de potencia en KW o KVA que el usuario o instalación eléctrica necesita para abastecer su necesidad. La demanda es un parámetro que está directamente relacionado al incremento de cargas del sistema eléctrico y que en caso de exceder la contratada puede ser sujeto de penalización por el distribuidor.

2.2.2. Demanda máxima

La demanda máxima es la potencia en kW o kVA que se registra en el sistema eléctrico o instalación en un cierto intervalo de tiempo. Este tiempo de medición es llamado intervalo de demanda y su duración varía dependiendo el tipo de estudio. El punto más importante del estudio de la demanda es la demanda máxima, pues este valor será el que determinará la capacidad de los equipos a instalar en el sistema, el calibre del alimentador y la capacidad del interruptor principal.

2.2.3. Factores que caracterizan la demanda

Los factores de demanda son valores que determinan el comportamiento de las cargas instaladas en un sistema eléctrico y son empleados para dimensionar circuitos o ramales, también son requeridos para el dimensionamiento de la capacidad de los alimentadores.

- En el análisis de la demanda se deben considerar los siguientes factores:
 - Factor de demanda: es la relación entre la demanda máxima de un sistema o instalación eléctrica y la carga total conectada (la carga total está definida por la sumatoria de todas las potencias nominales de la instalación) al sistema o instalación eléctrica. Según el Código Eléctrico Nación (NEC) esta relación dará como resultado un valor adimensional y generalmente menor a uno.

El factor de demanda se expresa:

$$F_{Dem} = \frac{D_{max}}{D_{inst}}$$

Donde:

F_{Dem} = factor de demanda del sistema de distribución

D_{max} = demanda máxima del sistema de distribución

D_{inst} = demanda total instalada en el sistema de distribución

- Factor de utilización: es la relación de la demanda máxima de un sistema eléctrico y la capacidad medida por el mismo sistema eléctrico.
- Factor de carga: es la relación de carga promedio registrada en un periodo determinado de un sistema eléctrico y la carga pico registrada en el mismo periodo. Este factor siempre es menor que uno y el valor es adimensional.

Para cargas específicas, un periodo mayor de tiempo producirá un factor de carga más pequeño, ya que el consumo de energía se distribuye en un tiempo mayor. Por lo que para comparar diversos factores de carga se debe tener cuidado que todos estén calculados bajo los mismos periodos de tiempo. Por ejemplo, el factor de carga mensual será más pequeño que el factor de carga diario.

El factor de carga se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$F_{carga} = \frac{\int P * dt}{T * P_m}$$

Donde:

F_{carga} = factor de carga

T = periodo

P = potencia instantánea

P_m = potencia máxima

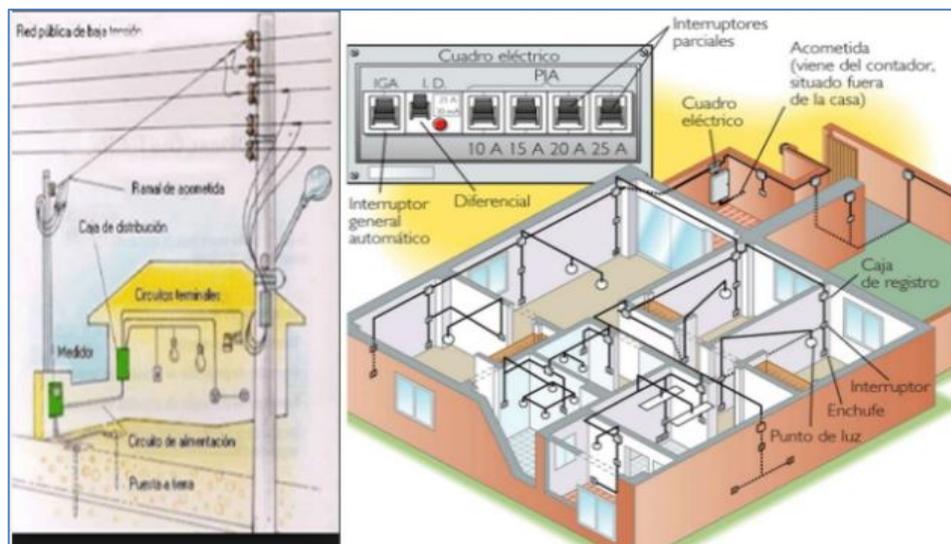
2.3. Instalación eléctrica por tipo de consumidor

A continuación, se realiza una descripción de la instalación eléctrica por tipo de consumidor.

2.3.1. Instalación eléctrica residencial

Se refiere al conjunto de elementos que conforman una instalación eléctrica y que se rigen por niveles de voltaje a suministrar y un máximo de potencia contratada.

Figura 3. Instalación eléctrica residencial



Fuente: *Instalaciones Eléctricas internas oficial*.

<https://www.slideshare.net/luisnuez139/instalaciones-elctricas-internas-oficial>. Consulta: enero del 2021.

2.3.2. Instalación eléctrica comercial

En electricidad normalmente se emplea el término comercial para las instalaciones empleadas normalmente para el comercio cuyo nivel de voltajes están establecidos por la distribuidora bajo la necesidad de las instalaciones eléctricas.

Figura 4. Instalación comercial



Fuente: *Instalación eléctrica comercial, Iluminamos tu manera de vender*
<https://garva.com.mx/2019/03/05/instalacion-electrica-comercial-iluminamos-tu-manera-de-vender/> Consulta: enero del 2021.

2.3.3. Instalación eléctrica industrial

En electricidad se denomina instalación industrial a aquellas que se emplean para fábricas, almacenes, centros de distribución, parques industriales, entre otros, que requieren una demanda contratada y niveles de voltaje establecidos por la distribuidora.

Figura 5. **Instalación Industrial**



Fuente: BETELGEUX. *Proyecto de construcción de nueva planta.*

<https://www.betelgeux.es/blog/2018/01/12/proyecto-de-construccion-de-nueva-planta-aspectos-basicos-relativos-a-la-higiene-de-las-instalaciones/>. Consulta 2021.

2.4. Alimentadores

Son los conductores generales que se encargan de suministrar toda la corriente que un grupo de carga consume. Se desplazan desde el transformador para alimentar el edificio y llega hasta el interruptor principal que protege el tablero principal o centro de cargas.

De este alimentador surgen las fases y neutro principal, los cuales serán distribuidos a las diferentes cargas del tablero principal por medio de ramales, que son circuitos derivados que alimentan diferentes tipos de cargas eléctricas.

2.4.1. Conductores eléctricos

Un conductor eléctrico eficiente es aquel que ofrece la menor resistencia al flujo de corriente, esta propiedad implica tener menos pérdidas por dispersión de calor en el conductor y permita aprovechar de buena manera la energía a emplear por cargas.

Por su forma de construcción se pueden clasificar en alambres o cables, es decir, una sola hebra o conformadas por varias hebras, los alambres son empleados en gran manera en las instalaciones eléctricas, ya que ofrecen una mejor maniobrabilidad al momento de su instalación en tubería. Los materiales que más se emplean para la fabricación de conductores eléctricos comerciales son: el cobre y el aluminio, en la actualidad se está optando por uno de los conductores de aluminio con un revestimiento de cobre.

La elección de una materia, la determinan sus características eléctricas, mecánicas, la durabilidad y el costo. Se pueden clasificar los conductores eléctricos por su forma de constitución de su alma de la siguiente forma:

- Alambre: estos conductores se caracterizan por estar formados de un solo elemento o hilo en su alma conductora, son empleados con menor frecuencia ya que ofrecen una desventaja en cuanto a maniobrabilidad se refiere.
- Cables: estos conductores se caracterizan por estar conformados por varios hilos o alambres de menor sección, son empleados con mayor frecuencia por su fácil manipulación y flexibilidad.
- Según el número de conductores:

- Mono conductores: conductor eléctrico con una sola alma conductora, que puede o no contar con cubierta protectora.
- Multiconductor: conductor conformado por dos o más alambres conductores, asilados entre sí y con una misma cubierta común.

Figura 6. **Mono conductores**



Fuente: *Mono conductores*. https://www.nexans.cl/eservice/Chile-es_CL/navigateproduct_540356226/5X1_5mm_.html#doc_and_info. Consulta: enero del 2021.

2.4.2. **Material de los conductores**

La conductividad de los conductores depende del material de su aleación, siendo los más importantes: platino, plata, cobre, aluminio, hierro, entre otros. En la mayoría de las instalaciones se utiliza el cobre o aluminio debido a la excelente conductividad eléctrica que poseen.

El aluminio es un 16 % menos conductor que el cobre, pero se compensa por tener un precio cuatro veces más económico que el cobre y por su peso más liviano. Sin embargo, el cobre es el material predilecto para la elaboración de conductores por tener mayores ventajas mecánicas como: resistencia al desgaste, maleabilidad y conductividad eléctrica. El cobre que se utiliza es el

electrolítico de alta pureza (99,99 %), existen diferentes grados de dureza: duro, semiduro y blando (recocido) que se utilizan dependiendo de su uso.

- Cobre duro: se utiliza para fabricar conductores desnudos que sirven para líneas aéreas de transporte de energía eléctrica. Y sus características son:
 - Capacidad de ruptura a la carga 37 a 45 kg/mm²
 - Resistividad de 0,018Ωmm²/m a temperatura 20 °C
 - Conductividad 97 % respecto al cobre puro

- Cobre blando: se utiliza para la fabricación de conductores aislados, debido a su flexibilidad y sus características son:
 - Capacidad de ruptura media 25 kg/mm²
 - Resistividad de 0,01724 Ω mm²/m respecto al cobre puro
 - Conductividad del 100 %

2.4.3. Calibre de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos son identificados por su tamaño de calibre, siendo estas su sección transversal expresada en milímetros cuadrados (mm²) en su forma estándar, o expresarse en AWG (*American Wire Gauge*) que significa sistema de calibres americanos. Los calibres más utilizados en orden creciente son 12, 10, 8, 6, 4, 2, 1/0, 2/0 y 4/0.

En la tabla I se presentan las áreas transversales de los diferentes calibres, AWG del 14 al 4/0 y se designan secciones en miles circular mils (MCM) del 250 en adelante.

Tabla I. **Área transversal de conductores en mm²**

Tamaño del conductor AWG / MCM	Artículo I. Area transversal mm²
14	2,1
12	3,3
10	5,3
8	8,4
6	13,3
4	21,2
2	33,6
1/0	53,5
2/0	67,4
3/0	85,0
4/0	107,2
250	127,0
300	152,0
350	177,0
400	203,0
450	228,0
500	253,0
600	304,0
700	355,0
800	405,0
900	456,0
1000	507,0

Fuente: MÉNDEZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. p. 12.

2.4.4. Aislamiento del conductor eléctrico

La función del aislamiento en los conductores eléctricos es evitar el contacto entre ellos, superficies u objetos donde que por seguridad no deben ser energizados. Existen diferentes tipos de materiales para aislamiento para cables, estos son aplicados según el uso del conductor, algunos consideran el ambiente donde estos operarán, como también su capacidad de operación de temperatura, en la tabla IX se establecen los tipos y combinaciones de aislamiento empleados para conductores, el tipo de aislamiento se establece bajo la nomenclatura según el NEC, el cual emplea literales para establecer el grado y la aplicación a la que puede ser sometido un conductor aislado.

Tabla II. Tipos de forros para conductores y sus aplicaciones

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEMP. OP. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACIÓN
Hule sintético o matl. Termofijo	RH	75	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Lugares secos
Hule sintético o matl. Termofijo	RHH	90	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor y a la flama		Lugares secos o húmedos
Hule sintético o matl. Termofijo	RHW	75	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor, a la humedad y a la flama	Resistente a la humedad y a la propagación de la flama	Lugares secos o mojados
Hule sintético o matl. Termofijo	RHW/RHH	75/90	Material termofijo de etileno propileno, EPR, resistente al calor, a la humedad y a la propagación de la flama	Material elastomérico, termofijo, resistente a la humedad y a la flama	Lugares mojados/ Lugares secos y húmedos
Polielileno vulcanizado	RHW/RHH	75/90	Polielileno vulcanizado resistente al calor, a la humedad y a la flama	Ninguna	Lugares mojados/ Lugares secos y húmedos
Cable para acometida aérea	CCE	60	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama	Termoplástico resistente a la humedad y a la intemperie	Lugares secos y mojados
Cable para acometida aérea	BM-AL	75	Termoplástico resistente a la humedad y a la intemperie	Ninguna	Lugares secos y mojados
Termoplástico para tableros	TT	75	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la propagación de incendio, de baja emisión de humos y gas ácido	Ninguna	Lugares secos y húmedos. Alabrado de tableros
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60	Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados
Cable plano acometidas aéreas	TWD	60	Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados
Cable plano acometida aérea y sistemas foto voltaico	TWD-UV	60	Termoplástico resistente a la humedad, a la intemperie y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea
Termoplástico resistente al calor y a la flama	THHN	90	Termoplástico resistente al calor y a la propagación de la flama	Nylon o equivalente	Lugares secos solamente

Fuente: *Características de los cables eléctricos: partes, calibre y ampacidad.*

<https://faradayos.blogspot.com/2013/12/caracteristicas-cables-conductores.html>. Consulta: enero 2021.

Cuando se utiliza un conductor aislado, la sección del conductor debe ser inversamente proporcional a la resistencia, la cual debe tener un valor alto para obtener un bajo efecto Joule y disminución en pérdidas económicas.

2.4.5. Cómo seleccionar un conductor eléctrico

Los métodos comúnmente utilizados para el cálculo adecuado de conductores y la selección de la sección adecuada están en función del dispositivo o carga instalada y su posición en la trayectoria de un circuito o ramal.

- Método de corriente o capacidad de conducción de corriente.
- Método de caída de voltaje

Estos dos métodos se efectúan por separados y cada método considera factores que influyen en la selección de conductor, si bien es cierto estos métodos se trabajan por separado, al momento de la toma de decisión deben ser considerados ambos datos para la selección correcta del conductor y cumpliendo con los criterios correctos.

2.4.5.1. Cálculo de conductores por el método de corriente

Ideal es utilizar toda la capacidad de conducción de corriente de un conductor, pero esta capacidad está limitada por los diferentes tipos de aislamiento que constituyen al conductor, otra de las limitantes es la temperatura ambiental que juega un papel importante al momento de calcular el conductor adecuado. La NEC realiza la recomendación de no cargar un conductor sobre el 80 % de su capacidad nominal de operación, debido a que se establece que un sistema o instalación eléctricos es dinámica y está sujeto a posibles fallas temporales, por lo que el margen nos permite cuidar de las instalaciones.

Existen varias limitaciones que afectan la circulación libre de la corriente a través de los conductores, por ejemplo, si el conductor es desnudo se ve afectado por la condición natural de la conductividad, pero si el cable es aislado, el conductor tiene otra limitante por su aislamiento. El paso de la corriente en el conductor aumenta la temperatura de este y si por el conductor circula una corriente mayor a la nominal, se ve reflejado un aumento de temperatura, lo que puede ocasionar una reducción de la vida útil y sobrepasar su capacidad térmica. Si por el contrario el conductor fuera desnudo, la capacidad de disipar el calor es mucho mayor, siempre que se encuentre en contacto con el aire y no aislado dentro de canalizaciones junto a otros conductores.

La siguiente ecuación es utilizada para el cálculo de corriente de diseño, el cual considera los factores de corrección que influyen y que se deben considerar para una instalación eléctrica.

$$I = \frac{S}{V \times \text{Factores de corrección}}$$

$$I = \frac{S}{V \times (F_{sis} \times F_{\#c} \times F_{tub} \times F_{tem})}$$

Donde:

I = corriente

S = potencia en VA

V = voltaje

F_{sis} = factor de coincidencia (sistema continuo)

F_{#c} = factor de números de conductor en tubería

F_{tub} = factor de tubería por disipación de calor

F_{tem} = factor de temperatura ambiente

El código eléctrico define diversos factores de corrección aplicables a los valores de corriente permitidos en los conductores. A continuación, se definen los factores que se pueden presentar:

- Factor de corrección de coincidencia: este factor determina el uso de los circuitos dependiendo del comportamiento de la carga conectada, para una carga que opera por más de tres horas de forma continua, estas son calificadas como cargas continuas y las que operen por debajo de este lapso son consideradas cargas no continuas, para una carga continua se considera un 125 % de su capacidad nominal, mientras que para las no continuas se emplea el 100 % de su capacidad nominal.
- Factor de corrección por número de conductores en tubería: Se tiene una reducción del transporte de corriente de los conductores y de la cantidad de circuitos o ramales que tengan en el mismo.
- Factor de corrección por disipación de calor en tubería: en este caso esta depende de la materia y de las propiedades de este para transferir o disipar calor, en este caso para del PVC se considera un factor de 0,8 y para tubería metálica el valor es de 1.
- Factor de corrección de temperatura ambiente, la temperatura ambiente también reduce la capacidad de conducción de conductor.

A continuación, se presentan las tablas que sirven para tomar en cuenta los factores de corrección.

Tabla III. **Factor de corrección por cantidad de conductores en tubería**

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje del valor de las Tablas, ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Fuente: *Cálculo de conductores eléctricos con factores de corrección.*

<https://www.electricaplicada.com/calculo-de-conductores-electricos-con/>. Consulta: enero del 2021.

Tabla IV. **Factor de corrección de capacidad de cara para temperatura ambiente superior a 30 °C**

FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	56-60
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	61-70
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	71-80

Fuente: *Cálculo de conductores eléctricos con factores de corrección.*

<https://www.electricaplicada.com/calculo-de-conductores-electricos-con/>. Consulta: enero del 2021.

Tabla V. **Capacidad de corriente de cables eléctricos por calibres y en función de temperatura de operación**

Tabla 310-15(b)(16).- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 [™]	—	—	14	—	—	—
1.31	16 [™]	—	—	18	—	—	—
2.08	14 [™]	15	20	25	—	—	—
3.31	12 [™]	20	25	30	—	—	—
5.26	10 [™]	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

* Véase 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.
 ** Véase 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Fuente: *Tabla de selección para conductores eléctricos.*

<http://peymaingenieria.blogspot.com/2013/08/tabla-de-seleccion-para-conductores.html>

Consulta: enero del 2021.

Tabla VI. Capacidad de carga por calibre según el tipo de cable

Temperatura ambiente de 30°C						
	UN CABLE AL AIRE LIBRE			CABLES EN CONDUIT o ENTERRADOS		
	TIPOS DE CABLE			TIPOS DE CABLE		
		THW			THW	
CALIBRE	TW	THWN	THHN	TW	THWN	THHN
		XHHW*	XHHW**		XHHW*	XHHW**
AWG o MCM		TTU	TTU		TTU	TTU
	TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN			TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN		
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
14	20	30	30	20	20	25
12	25	35	40	25	25	30
10	40	50	55	30	35	40
8	55	70	80	40	50	55
6	80	95	105	55	65	75
4	105	125	140	70	85	95
2	140	170	190	95	115	130
1	165	195	220	110	130	150
1/0	195	230	260	125	150	170
2/0	225	265	300	145	175	195
3/0	260	310	350	165	200	225
4/0	300	360	405	195	230	260
250	340	405	455	215	255	290
300	375	445	505	240	285	320
350	420	505	570	260	310	350
400	455	545	615	280	335	380
500	515	620	700	320	380	430
600	575	690	780	355	420	475
750	655	785	885	400	475	535
1000	780	935	1055	455	545	615
VALORES EN AMPERIOS		* LUGARES HÚMEDOS		** LUGARES SECOS		

Fuente: Normas NEC. p. 213.

2.4.5.2. Cálculo de conductores por el método caída de voltaje

Una caída de voltaje se establece como el diferencial entre dos puntos de referencia en una instalación eléctrica, normalmente la caída de voltaje se establece entre el o los alimentadores y la carga o un punto del circuito o ramal. Esta caída es debida a la impedancia (resistencia y reactancia) que tienen los conductores eléctricos, la reactancia está determinada por diversos factores, tales como: sección, frecuencia, longitud, material, tensión de operación, entre otros.

$$\Delta V = V_A - V_T$$

Donde:

ΔV = caída de voltaje en el conductor o trayectoria del ramal

V_A = valor de voltaje en el extremo de alimentado

V_T = valor de voltaje en la terminal o tramo del ramal medido.

La regulación es una tolerancia que se debe considerar en las instalaciones eléctricas y dependerá de la regulación de la distribuidora los porcentajes tolerables.

$$e = \frac{\Delta V}{V_{nominal}}$$

Tabla VII. **Valores de regulación de voltaje**

Regulación de voltaje	Observaciones
2 %	Para el circuito alimentador o principal
3 %	Para circuitos derivado
5 %	Para que el total de los circuitos no supere esta tolerancia

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2010.

Al realizar las relaciones adecuadas, se puede determinar, además, la relación que tiene la caída de tensión de los conductores que también tiene una relación con su resistividad, al relacionar estos dos conceptos se determina el valor de la sección de un conductor en función de: la caída de tensión, composición o resistividad del material, corriente a transportar y su longitud.

$$A = \frac{c \cdot \rho \cdot L \cdot I}{e \cdot V}$$

Donde:

A = área o sección transversal en mm²

ρ = resistividad del material conductor (ohm*mm²/m)

I = corriente de carga en amperios

L = longitud del alimentador en metros

e = caída de voltaje permitida en por ciento

V = voltaje aplicado en Voltios (voltaje nominal)

c = circuitos monofásicos y bifásicos c = 2 (Debido a que existe un hilo de retorno) circuitos trifásicos c= $\sqrt{3}$ (El voltaje nominal corresponde al voltaje entre fases)

Teniendo como resultado, ya sea el caso de una red monofásica o trifásica, un valor en mm² de área transversal con el cual se procede a elegir un conductor que posea un área transversal del rango del valor obtenido.

2.4.6. Selección de conductor de puesta a tierra

Este conductor se utiliza para conectar la parte metálica de los equipos que no transportan corriente hacia el electrodo de puesta a tierra.

Para el cálculo se establecen las tablas VIII y –IX a utilizar, según la Norma NEC.

Tabla VIII. **Área del conductor de tierra para alimentación de los equipos en AWG/Kcmil**

Amperios en fase de voltaje	Tamaño AWG o kcmil conductor tierra
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250
2500	350
3000	400

Fuente: Normas NEC. Tabla 250.122. p. 231.

Tabla IX. **Área del conductor de tierra del tablero de distribución principal al sistema de tierra física**

Conductor fase de voltaje	Conductor tierra
2 es el más pequeño	8
1 o 1/0	6
2/0 o 3/0	4
desde 3/0 a 350 MCM	2
desde 350 MCM a 600 MCM	1/0
desde 600 MCM a 1100 MCM	2/0
desde 1100 MCM	3/0

Fuente: Normas NEC. Tabla 250.66. p. 214.

2.5. Canalizaciones

Se utilizan para proteger el conjunto de alimentadores o conductores a utilizar en una instalación eléctrica. Para mantenerlos protegidos de daños climáticos, mecánicos o de seguridad. Los tipos de canalizaciones más comunes son las tuberías, bandejas portacables y los ductos.

2.5.1. Tubería eléctrica

Es el conjunto de tubos con características preestablecidas que llevan uno o varios circuitos eléctricos, su disposición e instalaciones se definen bajo normativos establecidos.

Su aplicación y tipo de material están relacionadas con la necesidad de la instalación eléctrica a diseñar.

2.5.1.1. Tubo tipo *conduit*

El tubo *conduit* galvanizado de acero está diseñado para la protección y resguardo de los circuitos eléctricos, empleado normalmente en acometidas principales y áreas de alto nivel de corrosión.

El *conduit* negro, empleado normalmente en áreas menos corrosivas tiene las mismas funciones que el galvanizado, en cuanto a protección y seguridad de circuitos se refiere.

Tabla X. **Dimensiones de tubo conduit**

Diámetro nominal pulgadas	Diámetro interior útil pulgadas	Área interior pulgadas
½	0,622	0,30
¾	0,824	0,53
1	1,049	0,86
1 ¼	1,380	1,50
1 ½	1,610	2,04
2	2,067	3,36
2 ½	2,469	4,79
3	3,168	7,28
3 ½	3,548	9,90
4	4,026	12,72
5	5,047	20,06
6	6,065	28,89

Fuente: ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales. p. 115.*

Figura 7. **Tubería tipo conduit**



Fuente: *Tipos y usos de las tuberías conduit.* <https://www.dincorsa.com/blog/dincorsa-tipos-usos-tuberias-conduit/>. Consulta: enero 2021.

2.5.1.2. Tubería tipo PVC

Caracterizada por su durabilidad y versatilidad para circuitos eléctricos, estos ofrecen una protección contra humedad, polvo, temperaturas, entre otros.

- Las principales ventajas de este material son:
 - Auto extingible: una de las principales ventajas de este material es que no propagan la flama, lo cual es una gran ventaja en lo que a seguridad eléctrica se refiere.
 - Aislante: ofrecen un alto coeficiente dieléctrico, lo cual evita cortocircuitos a tierra.
 - Hermeticidad. en áreas o zonas donde las instalaciones eléctricas requieren alto grado de protección corrosiva, siendo el PVC una elección para estas aplicaciones.
 - Ligereza: la tubería PVC de aplicación eléctrica ofrece una ventaja notable en cuanto a peso se refiere.
 - Maniobrabilidad: la tubería PVC ofrece mayor versatilidad en referencia al tubo de metal, adicional existen mayores tipos de accesorios.

2.5.2. Cálculo de tubería eléctrica

Una de las principales consideraciones a tomar en cuenta en lo que se refiere a tubería es considerar una buena ventilación para permitir que los circuitos eléctricos tengan una circulación adecuada en su superficie.

Los conductores tienen una limitante conductiva que está relacionada con el material aislante que lo protegen.

Por tal razón, el número de conductores que se pueden alojar en tuberías o cualquier sistema de canalización debe encontrarse limitado, de manera que exista una disposición física adecuada que garantice tanto la ventilación correcta como una fácil maniobrabilidad.

La relación que deben tener los conductores en tubería se llama: factor de relleno y está establecido como el porcentaje que se debe ocupar para las cantidades de conductores, adicional debe considerarse el factor de arreglo, el cual establece la sección del conductor a emplear ya que la sección total contempla el forro del conductor, esto se establece en las Normas NEC.

Tabla XI. **Factor de relleno en tubo y de arreglo**

Factor de relleno	Porcentaje de relleno	Número de conductores en tubería	Factor de Arreglo
0,53	53 %	1	0,8
0,31	31 %	2	0,8
0,40	40 %	Para 3 o mas	0,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2010.

$$F_R = \frac{A_C}{A}$$

Donde

F_R = factor de relleno

A_C = área total de los conductores dividido el factor de arreglo (0,8)

A = área interior de la tubería

Existe una tabla de las Normas NEC muy útil y rápida para elegir el tamaño de la tubería respecto al número máximo de conductores que se pueden colocar dentro de la misma.

Tabla XII. **Número máximo de conductores en tubería**

TIPO DE CABLE	CAL.	½"	¾"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
THHN, THWN	14	12	22	35	61	84	138	241	364	476	608
THWN-2	12	9	16	26	45	61	101	176	266	347	443
	10	5	10	16	28	38	63	111	167	219	279
	8	3	6	9	16	22	36	64	96	126	161
	6	2	4	7	12	16	26	46	69	91	116
	4	1	2	4	7	10	16	28	43	56	71
	3	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
	2	1	1	3	5	7	11	20	30	40	51
	1	1	1	1	4	5	8	15	22	29	37
	1/0	1	1	1	3	4	7	12	19	25	32
	2/0		1	1	2	3	6	10	16	20	26
	3/0		1	1	1	3	5	8	13	17	22
	4/0		1	1	1	2	4	7	11	14	18
	250			1	1	1	3	6	9	11	15
	300			1	1	1	3	5	7	10	13
	350			1	1	1	2	4	6	9	11
	400				1	1	1	4	6	8	10
	500				1	1	1	3	5	6	8
	600				1	1	1	2	4	5	7
	700				1	1	1	2	3	4	6
	750					1	1	1	3	4	5
	800					1	1	1	3	4	5
	900					1	1	1	3	3	4
	1000					1	1	1	2	3	4

Fuente: Normas NEC. Tabla C.1, anexo C. p. 25.

2.6. Cajas y accesorios

Son accesorios de importancia para una instalación eléctrica, ya que son el lugar donde se acondicionan empalmes, derivaciones, en general el punto donde se realiza la mayoría de las conexiones eléctricas o bien donde se instalan accesorios eléctricos. Algunas cajas son empleadas simplemente como registros de paso para verificar el estado de los circuitos.

Son fabricadas de diferentes tipos de material siendo los más comunes los siguientes:

- Caja cuadrada de 4x4" con accesos para tubería de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.
- Caja octogonal de 3 1/2" con acceso para tubería de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.
- Caja rectangular de 2x4" con acceso para tubería de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.

Figura 8. **Cajas de conexión**



Fuente: *Diseña e instala redes LAN de acuerdo a las necesidades de la organización y estándares oficiales.* [Http://diseinstunaredlanjbo.blogspot.com/p/primer-parcial.html](http://diseinstunaredlanjbo.blogspot.com/p/primer-parcial.html). Consulta: enero de 2021.

2.7. Rieles de fijación tipo DIN

El riel DIN de tipo estándar es empleado para montajes de accesorios y equipos en sistemas eléctricos, empleados por su versatilidad y manejo en instalaciones sobrepuestas.

Estos poseen una durabilidad y pueden ser empleadas en áreas de alto grado de corrosión, otros de los usos comunes es emplearlos para montaje de equipos en gabinetes o montaje de paneles eléctricos.

Figura 9. **Ries DIN**



Fuente: *Riel DIN NS35/7.5 Utility Electrical Co., Ltd.* <https://www.directindustry.es/prod/utility-electrical-co-ltd/product-163278-1789270.html>. Consultado: enero de 2021.

2.8. Abrazaderas de fijación

La fijación en superficies de los tubos en una instalación eléctrica puede realizarse mediante grapas, abrazaderas, las abrazaderas son dimensionadas para los diámetros de tuberías comerciales.

Figura 10. **Abrazadera para tubería**



Fuente: *Mucho Material, Abrazaderas Conduit con una de 3/4.*

<https://www.muchoaterial.com/articulo/10270/ABRAZADERAS%20CONDUIT%20CON%20%20U%C3%91A%20DE%2034>. Consulta: enero de 2021.

2.9. Dispositivos de protección

Estos dispositivos tienen como propósito proteger y resguardar una instalación eléctrica, tanto sus circuitos o ramales como cargas especiales, estas protecciones están diseñadas para poder despejar una falla tal como un cortocircuito o bien una sobrecarga que pueda causar un daño a los equipos o conductores.

Los dispositivos de protección para ramales o circuitos deben ser diseñados en primera instancia para permitir una circular corriente nominal como máximo o bien inferior para evitar daños en el aislamiento de nuestros conductores.

Los dispositivos de protección cuentan con un mecanismo de disparo, el cual es accionado por fenómenos térmicos o magnéticos, en la actualidad son

también frecuentes el uso de dispositivos electrónicos para el disparo, esta tecnología es de gran ventaja pues permite ajustar los parámetros de disparo.

2.9.1. Fusibles

Los fusibles son autodestructivos y actúan cortando un circuito para aislar la falla, es necesario reponer el fusible para restablecer el servicio. Un fusible está formado por un cartucho de porcelana y en su interior aloja el conductor fusible que generalmente es una cinta o alambre de aleación de plomo - estaño que posee un bajo punto de fusión, que se funde cuando se excede el límite de diseño.

- Tipos de fusibles más comunes:
 - Fusible de cartucho: puede ser de tipo casquillo de capacidad de 3 a 60 amperios, estos fusibles son renovables, es decir, si se funde puede ser remplazado.
 - Fusible de tapón: se utiliza en el hogar o industria y son de capacidad de 10, 15 y 20 amperios.

Figura 11. **Fusibles de media tensión**



Fuente: S&C *ELECTRIC COMPANY*, *Cortacircuito Fusible Tipo XS*.

<https://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/cortacircuito-fusible-tipo-xs/>.

Consulta: enero de 2021.

2.9.2. Interruptores

La clasificación de estos interruptores se debe a su tipo de protección de disparo que ofrecen, los interruptores pueden ser clasificados de la siguiente forma:

- Térmicos
- Magnéticos
- Termomagnéticos

Las protecciones de tipo térmicos emplean un accionamiento mecánico que está conformado por un bimetálico, el accionamiento está en función de la temperatura a la que es sometido el bimetálico, este bimetálico presenta una deformación que al llegar al máximo al que fue diseñado provoca el disparo de la protección, este tipo de interruptores actúan contra sobre corrientes.

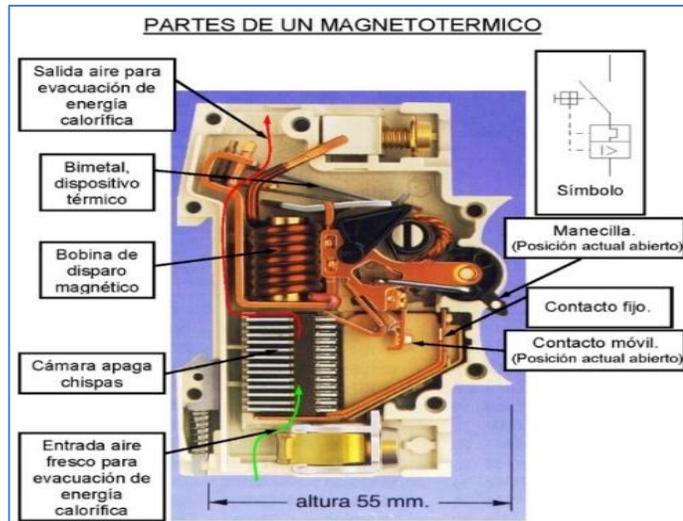
Las protecciones de tipo magnético, son empleadas para despejar fallas de cortocircuitos, estos tipos de fallas son dañinas para los diferentes tipos de carga, pudiendo ocasionar daños en aislamientos, estas protecciones actúan debido a la intensidad del campo magnético que circula por la bobina del electroimán que las conforman, al existir un aumento drástico en la corriente, en este caso la corriente de falla, provoca que el mecanismo accione y despeje la falla protegiendo las cargas o conductores.

Las protecciones termomagnéticas, están conformadas por los dos accionamientos antes descritos, estas protecciones contienen un accionamiento contra sobrecarga y cortocircuitos (ver figura 11), lo cual los hace ideales para las protecciones tanto de equipos como de circuitos o ramales, si bien estos implican un costo a comparación de los tipo térmico y magnético son una elección adecuada para instalaciones donde se requiere un cuidado de los componentes y equipos que la conforman.

Para protecciones residenciales y comerciales industriales se pueden encontrar interruptores tipo electromagnéticos fabricados para uno, dos y tres polos, con valores de corriente desde 15 hasta 100 amperios para cargas residenciales y 125 amperios hasta 225 amperios para cargas industriales, para los tipos comerciales existen algunos con ajustes de disparo y esto es por los tipos de carga que se desee proteger.

Las protecciones, además de la corriente de operación, también deben ser seleccionados por el nivel de voltaje de operación, para los interruptores tipo magnéticos de un polo tenemos para voltajes de 120/240 V, para los de dos polos se pueden encontrar de 240 V, 480 V y 600 V. Estos están diseñados con corriente de interrupción desde 10 000 amperios como mínimo hasta 65 000 amperios para aplicaciones especiales.

Figura 12. Partes de un interruptor termomagnético



Fuente: *TO4.2-Protecciones Electricas-Interruptores Termomagnéticos*.
<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/06/12/t04-2-protecciones-electricas-interruptores-termomagneticos/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 13. Tipos de interruptor por número de polos



Fuente: *32240 Interruptores Termomagnéticos Enchufables Tipo BR1*".
http://www.absatraining.com/articulos_doctos_ind/doctos/32240 Interruptores%20Termomagneticos%20Enchufables%20BRficha.pdf. Consulta: enero 2021.

2.10. Tableros eléctricos

Es la parte principal de una instalación eléctrica que aloja todo el tipo de protección de las cargas o ramales derivados, la principal función de estos tableros es realizar una distribución adecuada de las cargas y tener la seguridad y maniobras que se requieran en este punto. En una instalación se pueden encontrar más de un tablero, debido a necesidad de las instalaciones, por ejemplo, tener varios niveles y diferentes tipos de ambiente que a su vez tendrá su propia distribución de cargas y por ende sus protecciones, a estos tableros se les denomina tableros secundarios.

A continuación, se enlistan las funciones de los tableros en una instalación eléctrica:

- Poder dividir un circuito en varios ramales o circuitos derivados.
- Tener un medio de conexión y desconexión de cargas o ramales.
- Proteger cada carga o ramal contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Poder tener todos los puntos de seccionamiento o maniobra en un solo punto.

Según su disposición en la instalación eléctrica, los tableros reciben su designación de la siguiente forma:

- Caja o gabinete de medidor: es aquel que aloja el circuito proveniente de la acometida y contiene equipos de medición directa o indirecta, esta caja deberá contar con equipo de protección y maniobra debido a requerimiento de la distribuidora.

- Tablero principal de distribución: esta aloja el circuito proveniente de la acometida principal, estos tableros contienen una protección principal, y de las barras de este tablero se derivan los circuitos secundarios.
- Tablero secundario: son los tableros que se encuentran al final de los circuitos principales, tienen la función de proteger y alimentar cargas finales en un ambiente determinado.
- Tablero de distribución local: estos tableros alimentan equipos específicos.

Figura 14. **Tablero principal de distribución**



Fuente: *Paneles de artefactos e iluminación Pow-R-Line 1a*. <https://www.eaton.com/mx/es-mx/catalog/low-voltage-power-distribution-controls-systems/pow-r-line-1a-lighting-and-appliance-panelboards.html>. Consulta: enero de 2021.

Figura 15. **Tablero secundario**



Fuente: *Tableros NQ Square-D NQ418L1C14 material eléctrico Catatumbo.* :
<https://catatumbo.mx/productos/tableros-nq/tableros-nq-square-d-nq418l1c14-material-electrico-catatumbo/>. Consulta: enero de 2021.

Según su aplicación, los tableros para instalaciones residenciales o comerciales pueden designarse de la siguiente manera:

- Tablero residencial o centros de carga (TR)
- Centros de fuerza (CDF)
- Tableros de distribución (TD)
- Tableros de alumbrado (TA)

En una instalación eléctrica debe estar instalada una protección principal que conecta la acometida principal del distribuidor de energía eléctrica, esta protección puede estar en un tablero propio o bien integrado en un tablero principal.

Los tableros pueden ser clasificados por sus aplicaciones o necesidad en una instalación eléctrica, por el tipo de montaje, el nivel de corriente y voltajes, número de polos, entre otros., la selección de este dependerá de los criterios a considerar en nuestra instalación eléctrica.

- Por su montaje:
 - Tableros sobrepuestos o de superficie: son instalados sobre paredes o losas, estos son sujetos mediante pernos o bien sobre rieles tipo DIN, este tipo de tableros son ideales para industrias.
 - Tableros empotrados: van insertados en paredes o paneles, estos tableros son empleados en instalaciones residenciales, una característica es su tamaño ya que deben poder ser instalados en paredes normales.
 - Tableros autosoportado, se instalan directamente en la superficie del suelo.

- Por el número de fases:
 - Monofásicos, 2 y 3 hilos
 - Monofásicos, 4 hilos
 - Trifásicos, 3 y 4 hilos
 - Trifásicos, 5 hilos

- Por su nivel de voltaje:
 - 240/120 voltios
 - 208/120 voltios
 - 480/277 voltios
 - 600 voltios

- Por la cantidad de polos o espacios:
 - Monofásico: 1, 2, 4, 6, 9, 10, 12, 16, 20, 24, 30 y 42
 - Trifásico: 3, 12, 18, 24, 30 y 42

2.11. Apagador o interruptor

El apagador o interruptor es un dispositivo electrónico que permite realizar una función de apagado o encendido desde un mecanismo o mando, la función es dar paso a la corriente por un circuito eléctrico, por lo que se puede decir, que su función es apagar y encender una luz.

Por ser dispositivos que se emplean para apagar o encender luces, estos tienen como valor nominal de operación 600 voltios, por lo que no se puede exceder de este parámetro.

También se debe de considerar para estos dispositivos el nivel de corriente para los casos que un interruptor maneje un grupo de luminarias o bien una luminaria especial, por lo que debe verificarse antes de instalar este interruptor que no se exceda la capacidad de corriente establecido en el mismo.

Los interruptores deben ser instalados a una altura adecuada tal que pueda quedar a la vista el operador, por lo que se establece que estos pueden estar instalados entre 1,20 y 1,35 metros sobre el nivel del suelo, además, algunos interruptores tiene indicadores fluorescentes que permiten localizarlos en la oscuridad.

Figura 16. **Apagador o interruptor**



Fuente: *Como conectar un apagador y un contacto.*

<https://aprende.com/blog/oficios/instalaciones-electricas/como-conectar-un-apagador-y-un-contacto/>. Consulta: enero de 2021.

2.11.1. Montaje de interruptores o apagadores

Para interruptores se pueden mencionar los dos tipos de montajes empleados en instalaciones eléctricas:

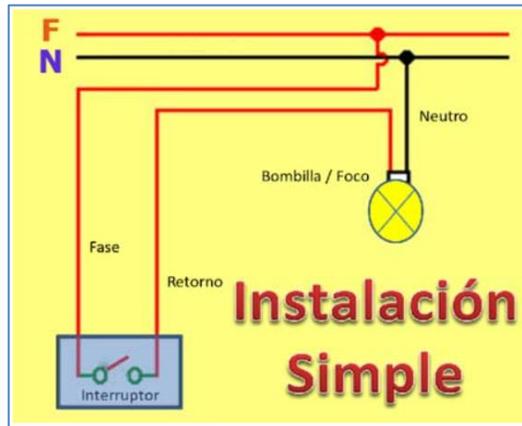
- Interruptores tipo sobrepuesto: son instalados sobre pared o superficies mediante cajas que permitan aislar este dispositivo.
- Interruptores tipo empotrado: son instalados en cajas especiales que permitan aislar el mecanismo, estas cajas son instaladas de tal forma que no sean visibles y que queden a nivel de la superficie donde se instalan.

2.11.2. Tipo de interruptores

Existen distintos interruptores, estos se clasifican según su forma de interrupción o su mecanismo interno, el cual puede encender o apagar como una acción sencilla o bien conmutar a una acción combinada establecida denominadas vías.

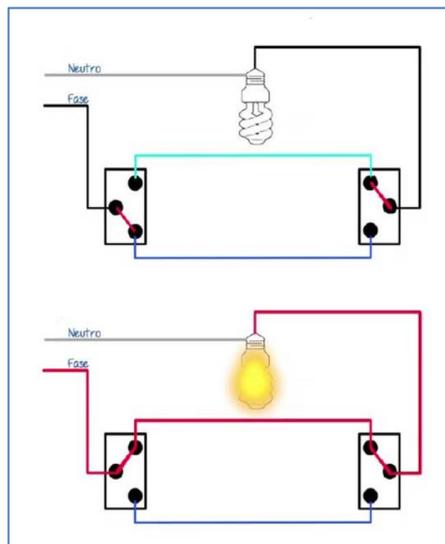
- Tipos de interruptores según su accionamiento:
 - Interruptor sencillo: también conocido como de uso generar o simple, este tipo de interruptores tiene solo la capacidad de encender o apagar una lámpara.
 - Interruptor de tres vías: estos interruptores son empleados para controlar desde dos puntos distintos una lámpara o grupo de lámparas, para la implementación de este tipo de accionamientos se requiere el uso de dos interruptores de tres vías para lograr la combinación requerida.
 - Interruptor de cuatro vías: se emplean en los casos donde se requiere controlar la iluminación desde tres puntos, este tipo de interruptores tiene cuatro terminales y para lograr el accionamiento se requiere la combinación con dos interruptores de tres vías.

Figura 17. **Interruptor sencillo**



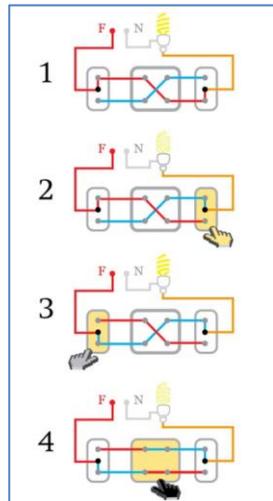
Fuente: *Instalación de un foco con interruptor*. <https://web.masinteresantes.com/instalacion-foco-interruptor/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 18. **Interruptor de tres vías**



Fuente: *Instalación de apagador de 3 vías*. <https://instalacioneselctricasresidenciales.blogspot.com/2016/06/instalacion-de-apagador-de-3-vias.html>. Consulta: enero de 2021.

Figura 19. **Interruptor de cuatro vías**



Fuente: *Apagador de 3 y 4 vías, comodidad y seguridad para tus espacios.*

<https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2013/11/apagadores-de-3-y-4-vias-comodidad-y.html>. Consulta: enero de 2021.

2.12. Tomacorriente

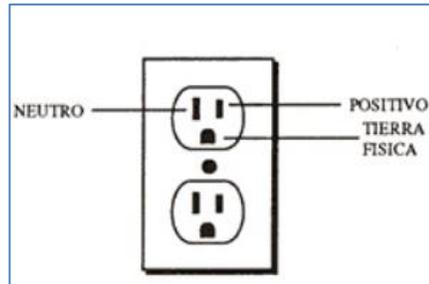
Los tomacorrientes son dispositivos que permiten la conexión de enchufe de equipos o extensiones, el tomacorriente está conformado por ranuras que permiten la conexión de las clavijas del enchufe, pueden ser empotrados o sobrepuestos, los tomacorrientes se clasifican según el número de polos o ranuras que contengan, también se pueden clasificarlos por el nivel de corriente o voltaje nominal como uso general o especiales.

- Los tomacorrientes se clasifican en:
 - Tomacorriente de uso general: empleados de forma más común en instalaciones eléctricas pueden ser combinadas con apagadores o

bien otro elemento como toma de teléfonos o internet, estos tomacorrientes deben tener una capacidad de corriente no menor a 15 amperios para voltajes de 125 v y no menor de 10 amperios para valores de voltaje de 250 V.

- Tomacorrientes no polarizados únicamente cuenta con dos ranuras de conexión, positivo y negativo, este tipo de tomacorrientes no son recomendados para equipos que requieren una protección contra descargas atmosféricas.
- Tomacorrientes polarizados con tomacorrientes: cuentan con tres ranuras de conexión, positivo, negativo y tierra física, este tipo de tomacorrientes son empleados por la protección contra descargas atmosféricas, es importante implementar en las instalaciones eléctricas este tipo de tomacorrientes.
- Tomacorrientes de piso: utilizados mayormente en centros comerciales y supermercados, este tipo de tomacorrientes tienen unas protecciones o tapadera para la protección de las ranuras.
- Tomacorrientes de uso industrial, dimensionados para cumplir con entrega de potencia para equipos tipo industrial, pueden ser monofásicos y trifásicos.
- Tomacorrientes de uso exterior: también conocidos como tomacorrientes de intemperie, estos cuentan con una cubierta que protege de humedad o sólidos las ranuras, las cubiertas pueden ser de metal o bien plástico resistente.
- Tomacorrientes especiales: son tomacorrientes que tiene una aplicación determinada en la instalación y están dimensionados para una capacidad de corrientes de más de 20 amperios y voltajes superiores a 125 voltios, podemos mencionar equipos como estufas eléctricas, secadores, aires acondicionados, calentadores de agua, entre otros.

Figura 20. **Tomacorrientes polarizados**



Fuente: *Diferencia entre neutro y tierra en un contacto monofásico doméstico.*
<https://puestaatierra.wordpress.com/2010/11/18/diferencia-entre-neutro-y-tierra-en-un-contacto-monofasico-domestico/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 21. **Tomacorrientes especiales**



Fuente: *Tipos de tomacorrientes eléctricos y sus aplicaciones.*
<https://faradayos.blogspot.com/2014/01/tipos-tomacorrientes-nema-aplicacion.html>. Consulta: enero de 2021.

2.13. Lámparas y luminarias

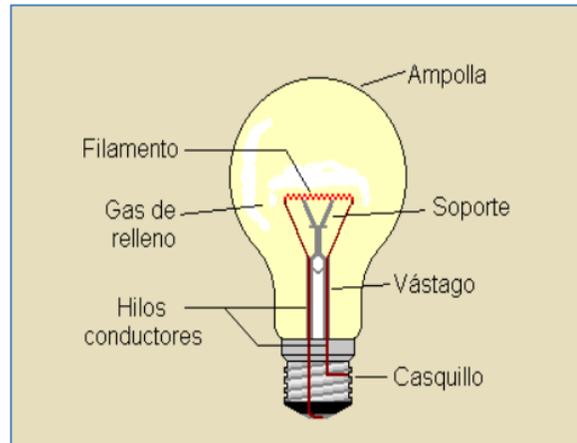
El uso de iluminación artificial ha sido necesario para realizar actividades en espacios cerrados o de poco acceso de iluminación artificial, existen

diferentes tipos de lámparas y estas se clasifican según su tecnología usada para proveer luz.

2.13.1. Tipos de lámparas

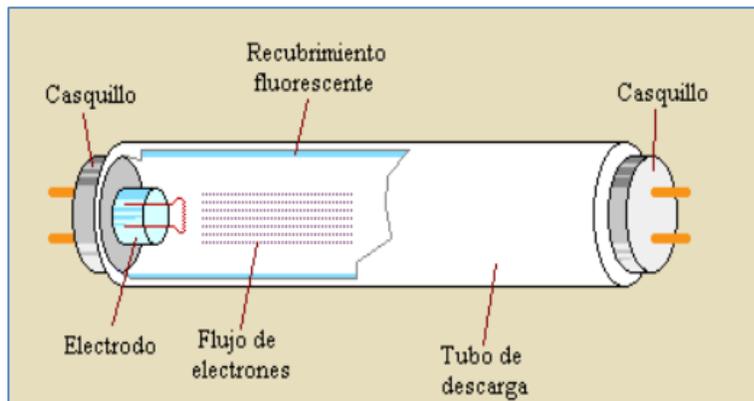
- Lámparas incandescentes: son las primeras tecnologías que se emplearon para obtener luz de forma artificiales, este tipo de tecnología ha sido sustituida debido a las pérdidas de calor que ofrecen.
- Lámparas de descarga: son las primeras lámparas que ofrecieron un tipo de luz blanca, se utiliza una descarga eléctrica para provocar una reacción en los vapores que la conforman, siendo las más empleadas:
 - Fluorescentes
 - Vapor de mercurio
 - Vapor de sodio
- Lámparas led: son una tecnología reciente que ofrece mejor eficiencia a comparación de las anteriores tecnologías mencionadas, debido a que esta tecnología es versátil puede ser usada en diferentes aplicaciones, tanto comerciales como industriales, este tipo de tecnología ofrece una gama de colores las cuales las hace ideales para aplicaciones en anuncios, debido a su comercialización y gran demanda, este tipo de tecnologías ahora están al alcance de los usuarios.

Figura 22. **Lámparas incandescentes**



Fuente: *Lámparas incandescentes*. <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html>
Consulta: enero de 2021.

Figura 23. **Lámparas fluorescentes**



Fuente: *Clases de lámparas de descarga*. <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/l Desc2.html>. Consulta: enero de 2021.

Figura 24. **Lámparas led**



Fuente: *Lámparas led y efectos de luces fijados vector gratuito*. https://www.freepik.es/vector-gratis/lamparas-led-efectos-luces-fijados_4186271.htm. Consulta: enero de 2021.

2.13.2. Cálculo de luminarias

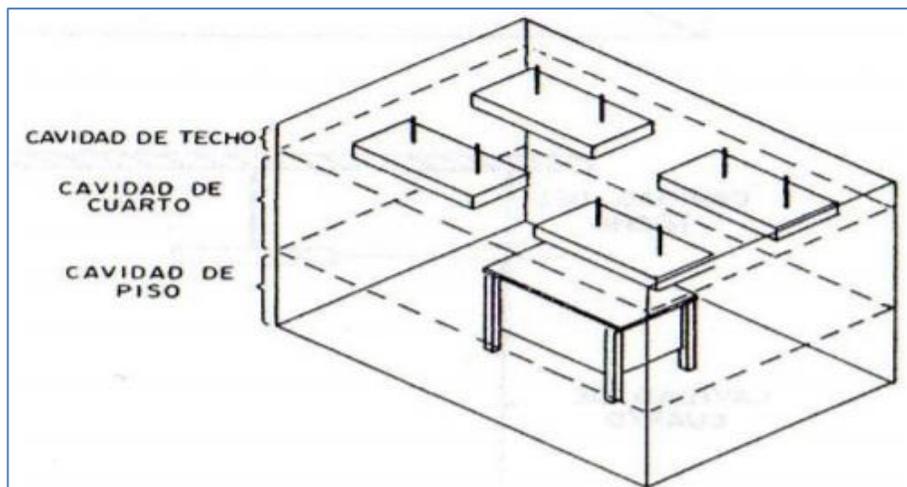
El cálculo de luminarias determina la cantidad y necesidad de luminarias que requiere la zona o lo que se desea iluminar, se pueden indicar dos tipos: local y general, la local se refiere a las zonas o áreas donde se requiere luz para tareas especiales, la general se refiere al resto de zonas o áreas de nuestra instalación.

Existen métodos para realizar este tipo de cálculos tales como, cavidades zonales o punto por punto, siendo estos los más empleados.

2.13.2.1. Cálculo por el método de cavidades zonales

El método de cavidades zonales está basado sobre la teoría de que la iluminación media es igual al flujo que incide sobre el plano de trabajo dividido por el área a iluminar considerando tres cavidades, la del suelo, local y del techo.

Figura 25. Tipos de cavidades



Fuente: *Tipos de cavidades*. https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-12-13_11-08-06138169.pdf. Consulta: enero de 2021.

La teoría básica en el método de cavidades zonales para el cálculo de iluminación es que la luz producida por una lámpara es reflejada por todas las superficies del espacio de trabajo o área, es decir, que las reflexiones múltiples de luz desde la luminaria y las superficies del local o área inciden en el plano de trabajo, debido a lo anterior es necesario determinar los siguientes aspectos:

- Dimensión del local o área de trabajo.

- Referencias del local o área tales como techos, paredes y piso.
- Características de la lámpara (factor de depreciación y coeficiente de utilización).
- Efectos ambientales (polvo, suciedad y temperatura).
- Mantenimiento planeado del sistema de iluminación (factor de mantenimiento).

El nivel de iluminación recomendado se considera de acuerdo con el tipo de actividad que se va a desarrollar en el local, utilizando la cantidad de luxes necesarios que cumplan con el óptimo desarrollo de las actividades.

Por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Phi_T}{S} Fm * Cu$$

Donde

E = nivel de iluminación recomendado en luxes

Φ_T = flujo de todas las luminarias en el espacio a iluminar en lumen.

S = superficie del espacio a iluminar, m²

Donde S = A * L

A = ancho del local en m

L = largo del local en m

Fm = factor de mantenimiento, adimensional

Cu = coeficiente de utilización, adimensional

Se considera un local rectangular y se determina que la superficie está en función del ancho y largo del local. El flujo total de todas las luminarias se expresa en la siguiente ecuación.

$$\varphi_t = N * n * \varphi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a}$$

Donde

N = número de luminarias en el local

n = número de lámparas en una luminaria

$\varphi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a}$ = flujo luminoso de una lámpara en lumen

Por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\varphi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a} * n * N}{A * L} Fm * Cu$$

De esta ecuación se despeja el número de luminarias N:

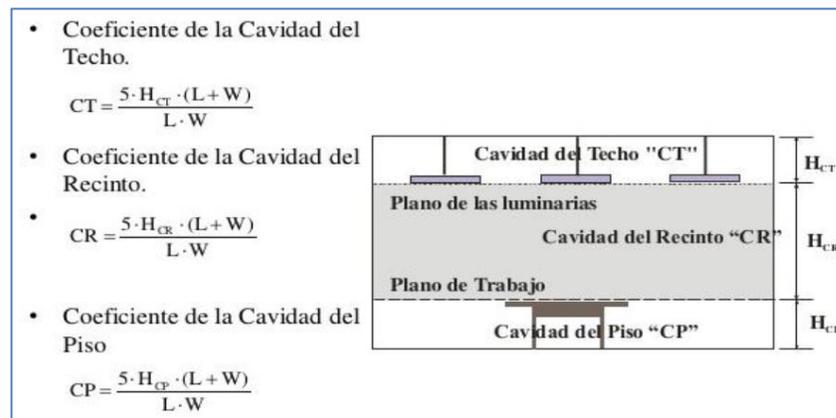
- El valor de E es propuesto de acuerdo con la tabla XIII.
- El valor de n es propuesto de acuerdo con el tipo de luminaria a utilizar (por ejemplo, si son fluorescentes o led y si son 2 o 3 por luminaria)
- Las dimensiones A y L del local son medidas
- $\varphi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a}$ es el flujo luminoso de la lámpara y se obtiene en el catálogo del fabricante.

Despejando N, queda:

$$N = \frac{E * A * L}{n * \varphi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a} * Fm * Cu}$$

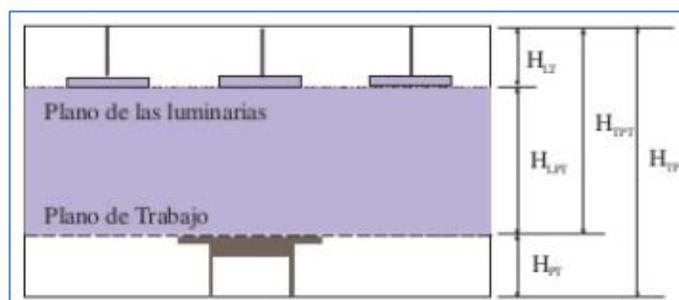
De esta forma se calcula el número de luminarias para determinada zona o plano de trabajo y se obtiene el valor de coeficiente de utilización y factor de mantenimiento con el apoyo de la tabla XIII y figura 26 y 27.

Figura 26. **Cálculo del índice del local o cavidad del recinto**



Fuente: Slideshare. *Iluminación de interiores*. <https://es.slideshare.net/yeshua0011/iluminacion-de-interiores>. Consulta: enero de 2021.

Figura 27. **Alturas método cavidad zonal**



Fuente: Slideshare. *Iluminación de interiores*. <https://es.slideshare.net/yeshua0011/iluminacion-de-interiores>. Consulta: enero de 2021.

Tabla XIII. **Factor de mantenimiento**

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

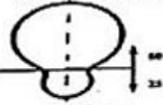
Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño*. p. 150.

Tabla XIV. **Niveles mínimos de iluminación según plano de trabajo**

Locales cerrados o vías públicas a iluminar	Luxes
Industria	
Montaje y trabajo de piezas muy pequeñas	1000
Montaje y trabajo de piezas pequeñas	500
Montaje y trabajo de piezas medianas	300
Montaje y trabajo de piezas grandes	200
Almacenes de piezas separadas y acabadas	200
Oficinas	
Lectura y escritura intermitentes	300
Lectura y escritura continuas	500
Contabilidad, dactilografía	500
Mecanografía	700
Salas de dibujo	500
Laboratorios	
Alumbrado general	300
En el plano de los tableros de dibujo	500
Archivos	100
Excusados, escaleras, vestuarios	100
Escuelas	
Salas de clase y de profesores	300
Sala de dibujo	500
Sala de gimnástica	200
Auditorio	300
Sala de conferencia	150
Sala de costura	700
Cocina	200
Sala de juegos	300
Enfermería	300
Sala de espera	200
Biblioteca, sala de lectura	300
Almacenes	
Almacén propiamente dicho	300
Escaparates	100-2000
Excusados, locales adjuntos	100
Casas particulares	
Salones	100
Comedores	120
Despachos	200
Cocinas	150
Vestíbulos, trasteros	50

Fuente: Código Eléctrico Nacional. *Tabla 250-122*. p. 121.

Tabla XV. Coeficientes de utilización según tipo de iluminación en cada luminaria

	Cielo	70%			50%		
	Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%
	Suelo	10%					
	Indice del local K	Coeficiente de Utilización C_{u}					
 <p>Indirecto $C = 0.70$</p>	0.6	.24	.19	.14	.17	.14	.11
	0.8	.3	.25	.2	.22	.18	.15
	1	.35	.3	.25	.26	.22	.18
	1.25	.4	.34	.29	.30	.26	.22
	1.5	.43	.38	.33	.32	.28	.24
	2	.48	.43	.39	.36	.32	.29
	2.5	.52	.47	.43	.38	.35	.32
 <p>Semi-indirecto $C = 0.65$</p>	0.6	.22	.17	.13	.17	.14	.11
	0.8	.27	.23	.19	.22	.18	.15
	1	.32	.27	.23	.26	.22	.19
	1.25	.36	.32	.28	.29	.26	.22
	1.5	.40	.35	.31	.32	.28	.25
	2	.44	.40	.36	.36	.32	.29
	2.5	.48	.44	.40	.38	.35	.32
 <p>Mixto $C = 0.70$</p>	0.6	.25	.21	.17	.23	.19	.16
	0.8	.31	.26	.22	.28	.24	.21
	1	.36	.32	.28	.33	.29	.26
	1.25	.41	.36	.33	.37	.33	.30
	1.5	.45	.40	.36	.40	.36	.33
	2	.50	.46	.42	.44	.41	.38
	2.5	.53	.49	.46	.47	.44	.41
 <p>Semi-directo $C = 0.70$</p>	0.6	.33	.28	.24	.31	.26	.24
	0.8	.40	.35	.31	.38	.33	.30
	1	.47	.41	.37	.44	.39	.36
	1.25	.52	.47	.43	.49	.45	.41
	1.5	.56	.51	.47	.53	.49	.45
	2	.62	.57	.54	.58	.54	.51
	2.5	.65	.61	.58	.60	.57	.54
 <p>Directo $C = 0.65$</p>	0.6	.34	.28	.23	.33	.27	.24
	0.8	.42	.36	.31	.41	.35	.31
	1	.48	.42	.38	.47	.42	.37
	1.25	.55	.48	.44	.53	.48	.44
	1.5	.59	.53	.49	.57	.52	.48
	2	.64	.60	.55	.63	.59	.55
	2.5	.68	.64	.60	.66	.63	.59
 <p>Directo (con lámparas a espejo) $C = 0.70$</p>	0.6	.53	.46	.42	.52	.46	.42
	0.8	.63	.57	.52	.62	.56	.52
	1	.71	.65	.60	.70	.64	.60
	1.25	.78	.72	.68	.76	.71	.68
	1.5	.82	.77	.73	.81	.76	.72
	2	.88	.84	.80	.87	.85	.80
	2.5	.92	.88	.84	.90	.86	.84
3	.94	.91	.88	.92	.90	.87	
4	.97	.94	.92	.95	.93	.91	
5	1.0	.97	.95	.98	.96	.94	

Fuente: Anuario de Colegio de Ingenieros. Tabla D. 1986.

2.14. Sistema de puesta a tierra

Se basa en la conexión física que se realiza en las partes no conductoras de un equipo eléctrico y la tierra, limitando la tensión en las partes metálicas de los equipos para evitar que dañen la vida del ser humano y acumulación de cargas electrostáticas que pueden ocasionar explosiones.

Un sistema de puesta a tierra se forma enterrando varillas de 5/8" x 2,4 m de cobre o *copperweld* y conectando las varillas mediante un conductor de cobre desnudo, creando un anillo de equipotencialidad. Los sistemas de puestas a tierra deberán tener una baja resistencia que deberá ser homogénea, adicional proveer un camino más fácil para que las corrientes de falla se vayan a tierra. En un sistema de puesta tierra deberá considerar los siguientes aspectos, tanto para su instalación como su uso:

- Unión solida entre un sistema eléctrico y la tierra física: todas las conexiones tanto entre electrodos como los equipos que se requieren conectar al sistema de puesta a tierra deberán efectuarse de la mejor forma posible para evitar diferencias de potencial.
- Resistividad del terreno: deberán considerarse los factores que influyen o afectan el terreno donde se encontrará la puesta a tierra, tales como: naturaleza del terreno, humedad, temperatura y salinidad.
- Electrodo de puesta a tierra: deberán ser de cobre o bien aleaciones que permitan una buena conductividad y por ende una baja resistencia.
- Pozo de puesta a tierra: se conforman por distintos materiales tales como: recinto o fosa, aditivos o elementos químicos, puntos de conexión o tomas y conectores o soldaduras para electrodos y conductor.

Para el diseño de un sistema de puesta a tierra, se debe también considerar en general:

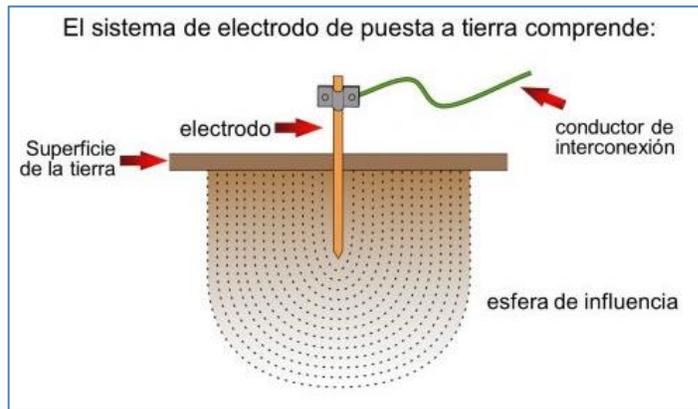
- Para una instalación eléctrica se debe prever un cable de puesta a tierra que se conecte directa o indirectamente al sistema.
- En las instalaciones industriales deben realizarse tomas de tierra independientes para las masas metálicas de los aparatos eléctricos, para la conexión del neutro del transformador de potencia y para la conexión de pararrayos.

Figura 28. **Sistema de puesta a tierra**



Fuente: *Sistema de puesta a tierra*. <https://unitelectri.com/sistema-puesta-tierra/> Consulta: enero de 2021.

Figura 29. **Componentes del sistema de puesta a tierra**



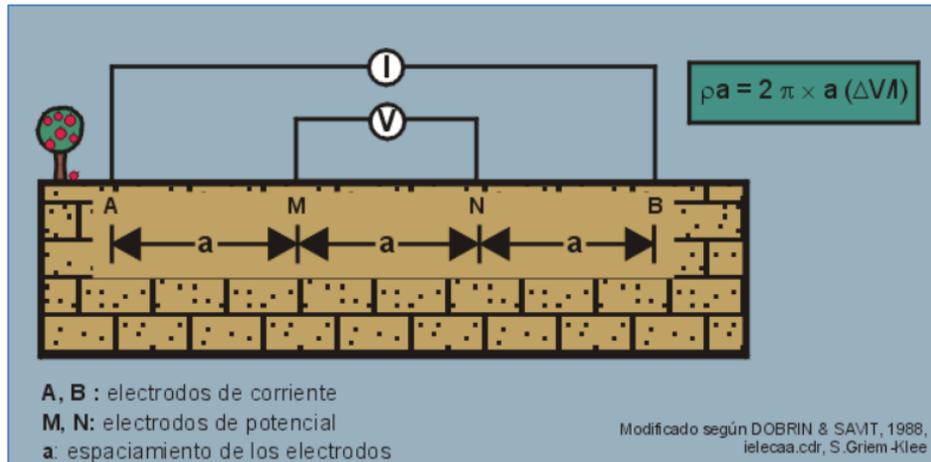
Fuente: *Una guía sobre la puesta a tierra de instalaciones eléctricas.*

<https://autodidacta.info/electricidad/la-gran-guia-sobre-la-puesta-a-tierra-de-instalaciones-electricas/>. Consulta: enero de 2021.

2.14.1. **Métodos de medición de puesta a tierra**

Determinar el valor de resistencia de un sistema de puesta a tierra es importante para determinar el estado de este, existen diferentes métodos de medición, como el método de Wenner, de Schlumberger, ambos métodos consideran el uso de eléctricos auxiliares para determinar la resistencia del elemento a medir, es importante indicar que estos métodos tiene desventajas en lugares donde no existe la posibilidad de insertar electrodos auxiliares o bien las dimensiones del terreno no permiten colocar a las distancias requeridas para la aplicación del método.

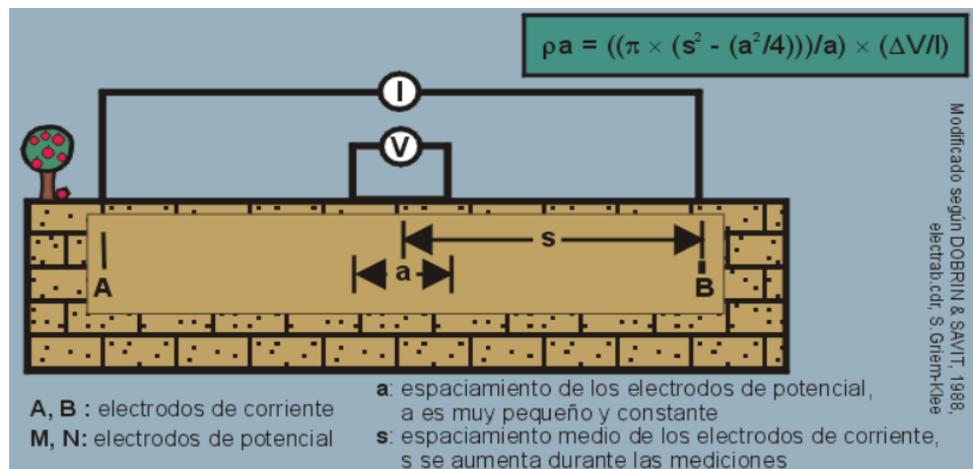
Figura 30. **Método de Wenner**



Fuente: *Configuraciones de electrodos y procedimiento en terreno.*

<https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/070-electrico-resistividad-configuracion-electrodos.htm>. Consulta: enero de 2021

Figura 31. **Método de Schlumberger**



Fuente: *Configuraciones de electrodos y procedimiento en terreno.*

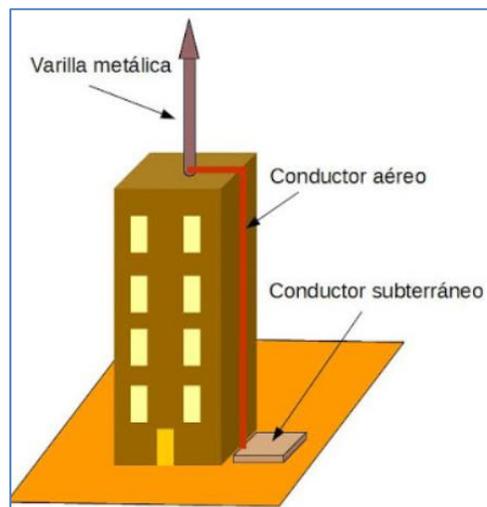
<https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/070-electrico-resistividad-configuracion-electrodos.htm>. Consulta: enero de 2021.

2.15. Pararrayos

Los pararrayos o aparta rayos, son dispositivos instalados en edificios o instalaciones eléctricas para atraer rayos y despejar con seguridad a tierra sin provocar daños a la instalación eléctrica, el pararrayo fue inventado por Benjamín Franklin, tiene un área de alcance determinado por su configuración o diseño, por ellos deben diseñarse de tal forma que pueda cubrir el área requerida, por esta razón puede existir más de un pararrayos en una instalación eléctrica, entre los tipos de pararrayos podemos mencionar los siguientes:

- Pararrayos de barra simples
- Pararrayos con jaula de Faraday
- Pararrayos de hilos armados
- Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Figura 32. Partes de un pararrayo



Fuente: *Cajas de pastillas*. <http://cajasdepastillas.blogspot.com/2018/07/pararrayoshtml>.

Consulta: enero de 2021.

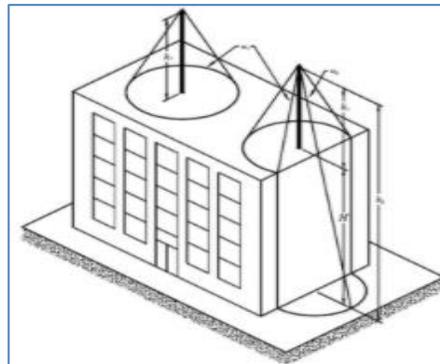
2.15.1. Diseño de sistema de apantallamiento y protección contra rayo

Los diferentes métodos para el cálculo de pararrayos establecen el área a cubrir basados en el perfil o tecnología del pararrayo a elegir, los métodos empleados tanto para el cálculo matemático o empleando software son también soportados por distintas normativas tal como la IEEE o IEC, se pueden mencionar los siguientes métodos:

- Método del ángulo de protección: es más común utilizado para complemento de los siguientes métodos, esto debido a superficies que sobrepasan el área a proteger, también es utilizado para edificios de perfiles bajos o equipos puntuales como antenas, paneles solares ventilaciones, entre otros, ya que la superficie es suficiente para su protección, la zona de protecciones se establece de forma cónica como se puede apreciar en la figura 33.
- Método de la esfera rodante: tiene establecido radio en metros y cada radio determina el nivel de protección que requiere la instalación, el método establece hacer rodar una esfera de radio ya establecido sobre la superficie a proteger, se considerarán protegidos los puntos que se encuentren en la zona definida por la superficie de la esfera y la superficie de dicha estructura, ver figura 34.
- Método de enmallado: es considerado para la protección de superficies planas, por ejemplo: techos, terrazas y voladizos, tiene la particularidad de que el sistema es adaptado a la superficie a proteger por lo que esta se diseña a partir del perfil del edificio o área proteger, se puede decir

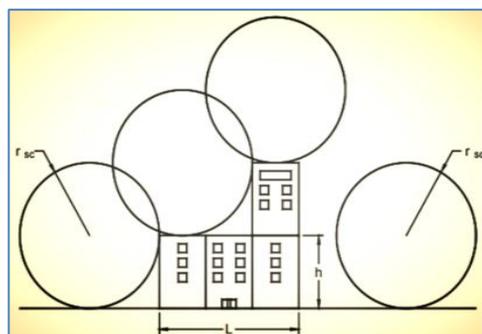
que esta se realiza a la medida, implica un sobre costo en comparación de los otros dos métodos, este método es apreciable en la figura 35.

Figura 33. **Método del ángulo de protección**



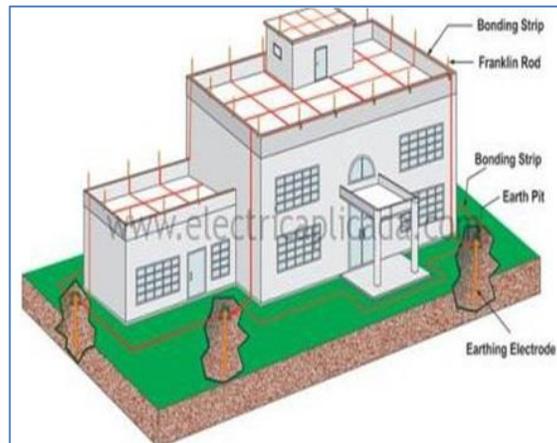
Fuente: *Método de apantallamiento*. <https://prezi.com/gcq-eddssvrb/metodos-de-apantallamiento/?frame=7698ec5215ea4fcfadd688b6032487ecc945afe7>. Consulta: enero de 2021.

Figura 34. **Método de esfera rodante**



Fuente: *Método de apantallamiento*. <https://prezi.com/gcq-eddssvrb/metodos-de-apantallamiento/?frame=7698ec5215ea4fcfadd688b6032487ecc945afe7>. Consulta: enero de 2021.

Figura 35. **Método de Enmallado**



Fuente: *Método de apantallamiento*. <https://prezi.com/gcq-eddssvrb/metodos-de-apantallamiento/?frame=7698ec5215ea4fcfadd688b6032487ecc945afe7>. Consulta: enero de 2021.

2.16. Transformador eléctrico

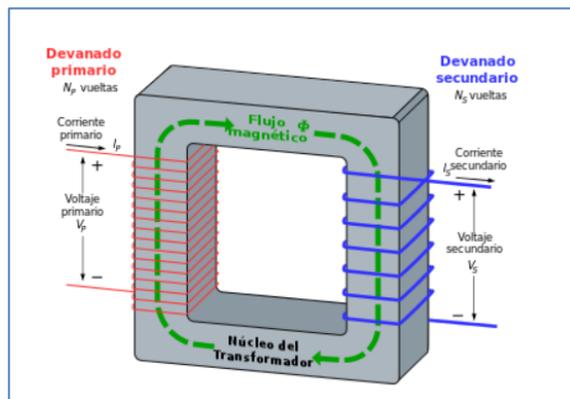
Son equipos destinados a la conversión de niveles de voltaje alto a niveles de voltaje bajo o viceversa, según la necesidad del usuario final o los equipos a conectar en la instalación o sistema eléctrico.

2.16.1. Tipos de transformadores

Los transformadores pueden ser clasificados por su capacidad en transformadores de potencias o distribución, por su relación de voltajes en reductores o elevadores. Los transformadores de distribución empleados en instalaciones eléctricas comerciales o industriales son:

- Convencionales
- Autoprotegidos
- Secos
- Pedestal o *pad mounted*

Figura 36. Partes de un transformador



Fuente: *Como funciona un transformador*. <https://como-funciona.co/un-transformador/>.

Consulta: enero del 2021.

2.16.2. Tipos de conexiones de un transformador

Existen diferentes tipos de conexiones para un banco trifásico de transformación eléctrica, siendo las más comunes:

- Estrella – Delta
- Estrella – Estrella
- Delta Abierta

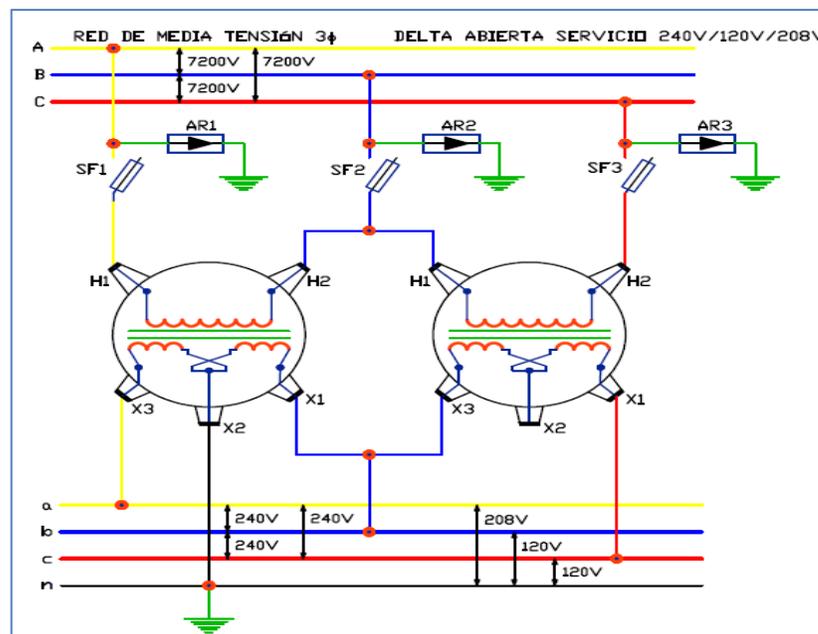
El tipo de conexión depende del nivel de voltaje que se quiere suministrar a las cargas a conectar.

2.16.3. Conexión Delta Abierta

Es una conexión trifásica flexible y tiene como ventaja que trabaja con dos transformadores, con esta conexión se suministra aproximadamente el 58 % de la potencia que puede entregar un banco con conexión Delta – Delta de las mismas unidades de tamaño. Para un sistema de dos transformadores en delta abierta se tiene un 86,6 % de la suma de la capacidad de los dos transformadores.

Esta conexión se logra uniendo el final H2 con el principio del H1 del transformador adyacente, conectando la alimentación del cable B. Esta conexión se puede utilizar para alimentar cargas monofásicas y trifásicas.

Figura 37. Conexión de transformadores Delta Abierta



Fuente: Scribd. *Conexión Delta Abierta de banco de transformadores trifásico.*
<https://es.scribd.com/document/413466741/Conexion-delta-abierta-de-banco-de-transformadores-trifasicos-pdf>. Consulta: enero del 2021.

2.17. Instrumentos de medición eléctrica

Son equipos destinados a la lectura de parámetros eléctricos, para determinar el comportamiento de una instalación eléctrica, estos equipos pueden medir de forma directa o indirecta, para ellos los equipos deberán tener una tolerancia admisible.

2.17.1. Medidor de calidad de energía

Un medidor de calidad de energía es el equipo destinado a registrar parámetros eléctricos como voltajes, corrientes, potencias, frecuencias, factor de potencia, distorsiones armónicas, entre otros, con la finalidad de determinar el comportamiento de un sistema eléctrico y establecer si este cumple con las tolerancias mínimas establecidas por normativas.

Los medidores de calidad de energía pueden clasificarse por su clase, siendo esto clase A, clase B y clase C, la clase determina la confiabilidad y la certeza de los medidores, también establece los parámetros o normas a las cuales están sujetas.

Entre las principales marcas de equipos de calidad de energía se pueden mencionar a *Fluke*, AEMC, CIRCUITOR, DRANETZ, entre otros. Los cuales son certificados bajo la Norma IEC 61000-4-30.

Equipo analizador de parámetros eléctricos de la red, específicamente valores que determinen la calidad de la energía, bajo los estándares internacionales de IEEE o IEC, las principales aplicaciones del equipo son:

- Estudios y diagnósticos de calidad de energía
- Pruebas y diagnóstico de motores
- Registro de fallas
- Ensayos de irrupción para transformadores, motores, entre otros
- Gestión de energía y encuestas de carga
- Registro de datos
- Análisis armónico
- Producción de energía alternativa - solar, eólica - cadenas de paneles, baterías, inversores, interconexión de red
- Pruebas de conformidad
- Prueba de parpadeo
- Prueba de condensadores

Los diferentes equipos analizadores de red tienen la capacidad de registrar los siguientes parámetros eléctricos a través de entradas de voltaje y corriente:

- Corriente: es la velocidad a la que un flujo de electrones se desplaza por un circuito eléctrico, la medida internacional para la medición de corriente son los amperios. La corriente eléctrica puede ser continua o alterna, en corriente alterna se mide el valor rms o eficaz, estas corrientes pueden ser medidas de forma directa o indirecta, estos valores son ajustados en las sondas y también la configuración del equipo.
- Voltaje: es la tensión eléctrica o diferencia de potencial entre dos puntos, es el trabajo por unidad de carga eléctrica ejercida sobre una partícula un campo eléctrico. Este se mide en voltios y se determina para sistemas alternos el valor rms o eficaz, los diferentes equipos tienen capacidad

de hasta 1 000 voltios, pudiendo registrar voltajes tanto de sistemas monofásicos como trifásicos.

- Factor de potencia fundamental, es la relación entre la potencia activa (KW) y la potencia aparente (KVA) que se obtiene del sistema medido o cargas eléctricas. El factor de potencia es un indicador que indica el comportamiento del sistema eléctrico, se puede indicar que una carga es resistiva, inductiva o capacitiva. Los equipos, registran los valores de relación del factor de potencia, para determinar el valor de este y establecer cumplimientos con las normativas de la distribuidora.

- Potencia activa, reactiva y aparente:
 - La potencia activa: es la potencia que realiza un trabajo real, por ello también es conocida como potencia real, esta se mide en *watts*.
 - Potencia reactiva: es la potencia donde la corriente está desfasada del voltaje, estas pueden ser registradas como pérdidas de un sistema, estas son medidas en VAR, se puede clasificar en capacitiva o inductiva.
 - Potencia aparente: es la resultante de la suma vectorial de las potencias activa y reactiva, esta se mide en volt-amper (VA).
 - Energía eléctrica: se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, en el caso de medición de este valor, se determina la enérgica consumida por el sistema eléctrico o carga a medir en un tiempo determinado, los equipos registran valores en *watts* hora.
 - Frecuencias: es el número de ciclos por segundo de una onda sinusoidal, este valor depende del sistema en el que se encuentre, siendo los más comunes 60 y 50 Hertz, los equipos registran este

valor para los intervalos de configuración de tiempo establecido, para determinar que la frecuencia del sistema sea el normado.

- Distorsión armónica de voltaje y corriente: son distorsiones de voltaje y corriente que se caracterizan por ser distintas a la frecuencia fundamental, pueden ser pares e impares, y dependiendo del múltiplo de la frecuencia fundamental pueden ser dañinos en un sistema eléctrico. Los equipos tienen la capacidad de poder registrar armónicos de corriente y voltajes hasta un valor especificado por el fabricante que son el múltiplo de distorsiones capaz de identificar.

2.17.1.1. *Fluke 435-II*

Analizador de calidad de energía la marca *Fluke*, capaz de determinar el costo de energía desperdiciada, este analizador tiene categoría de seguridad CAT III 1 000 voltios.

Figura 38. **Medidor de Calidad de Energía Fluke 435 II**



Fuente: *Analizador de calidad eléctrica y energía 434-II y 435- de Fluke.*

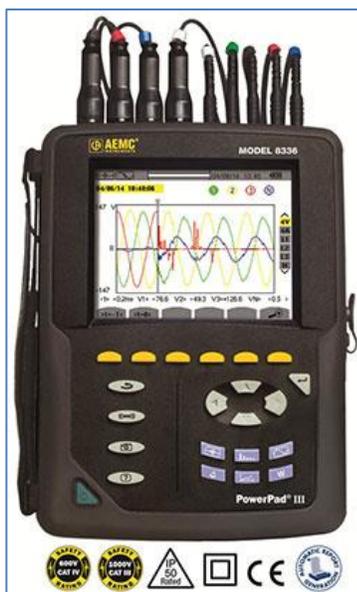
[https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435.](https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435)

Consulta: enero de 2021.

2.17.1.2. AEMC 8336

Permite analizar y diagnosticar la calidad energética de una instalación, sea esta de una, dos y tres fases, usando entradas de corriente y voltajes, este equipo también tiene categoría de seguridad CAT III 1000 voltios, este equipo está clasificada como clase B por IEC 61000-4-30.

Figura 39. **Medidor de calidad de energía AMC 8336**



Fuente: *AEMC Boletín de prensa Modelo 8336*. https://www.aemc.com/about-us/pr_8336_ES.cfm. Consulta: enero de 2021.

2.17.1.3. Dranetz HDPQ Guide

Equipo que ofrece una pantalla táctil y aplica en comparación a los anteriores equipos, ofrecen una gama alta y selección de las sondas de corriente, ideal para realizar un preanálisis en campo de los parámetros registrados, clasificado como clase A por IEC 61000-4-30.

Figura 40. **Medidor de calidad de energía Dranetz HDPQ Guide**



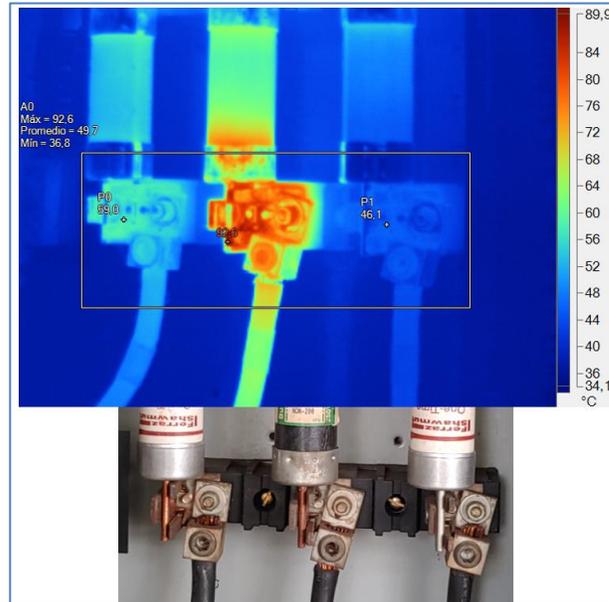
Fuente: Dranetz HDPQ Guide. <https://www.dranetz.com/product/dranetz-hdpq-guide-power-quality-analyzer/>. Consulta: enero de 2021.

2.17.2. Cámara termográfica

Es la cámara que tiene la capacidad de registrar espectros de luz infrarroja, tienen la capacidad de determinar la temperatura de diferentes elementos, tales como: metal, plásticos, cerámicas, paredes, entre otros, cada elemento o material tiene una admisibilidad que es la capacidad de irradiar calor. Estas cámaras trabajan en un rango conocido como infrarrojo térmico con temperaturas de -20 y 350°C .

La cámara termográfica está formada de varios sensores que llamado microbolómetro. Entre sus aplicaciones se puede mencionar: mantenimiento industrial, circuitos de aire acondicionado y calefacción, prevención de incendios en la red eléctrica, entre otros.

Figura 41. **Imagen termográfica**



Fuente: elaboración propia.

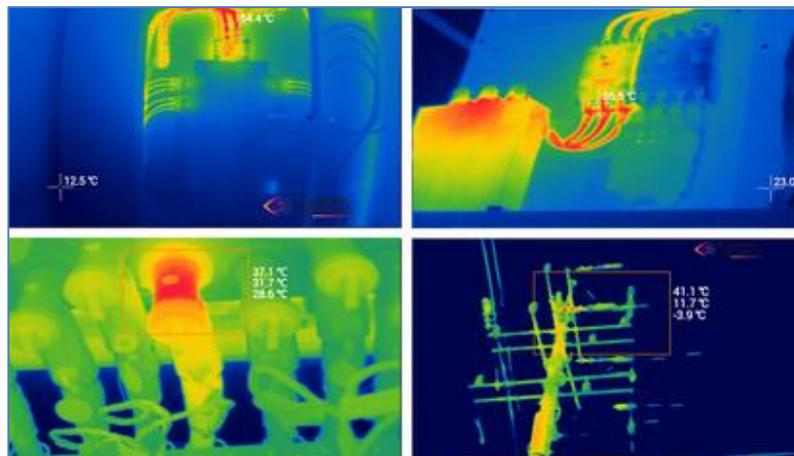
Los principales parámetros de una cámara termográfica son: su rango de temperatura, resolución de infrarrojo, la emisividad y paleta de colores.

- Temperatura: la temperatura de una cámara termográfica determina el nivel al cual puede operar, es determinada por el fabricante y permite determinar la temperatura, las cuales irradian un material o elemento, lo cual la hace ideal para aplicaciones instalaciones eléctricas, estas cámaras tienen la capacidad de indicar temperatura máxima y mínima del material o elemento a medir.
- Resolución infrarrojo, es la resolución y megapíxeles que tienen como capacidad las cámaras de presentar las imágenes infrarrojas, es de mencionar que a mayor resolución mayor será el costo de estas cámaras, las resoluciones pueden ser 240x180, 384 x 288, 640x480, por

mencionar algunas, también podemos mejorar las imágenes infrarrojas con lentes de mayor alcance.

- Emisividad: es la capacidad de un cuerpo o material de emitir radiación, los valores de emisividad se encuentran comprendidos entre 0 y 1, es importante conocer los tipos de emisividad de los materiales ya que esto permite tener una lectura adecuada de la temperatura irradiada. Existen tablas de valores de emisividad para diferentes materiales, los cuales pueden ser ajustados en el equipo para tener una lectura correcta, en este caso se recomendó iniciar con una emisividad de 0,95 para las mediciones donde no se tenga un material definido.

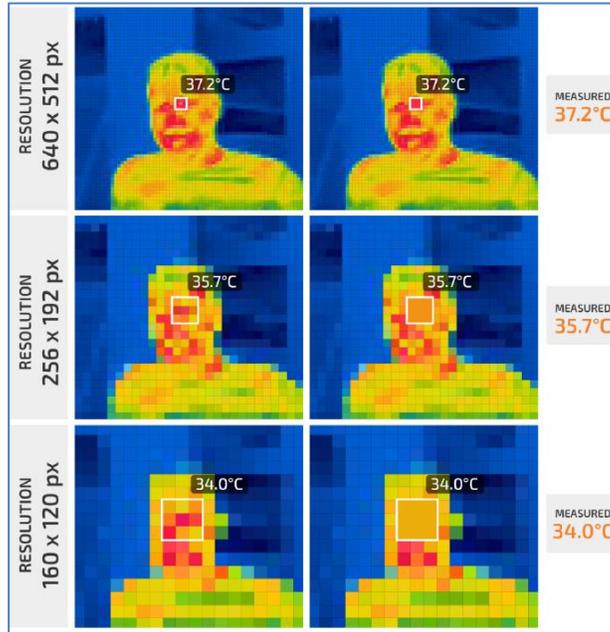
Figura 42. **Registro de temperatura**



Fuente: *Aplicaciones para cámaras termográficas expertas.*

<https://www.thermalexpert.eu/english-1/applications/>. Consulta: enero 2021.

Figura 43. **Diferentes resoluciones de cámaras termográficas**



Fuente: *5 Claves para la cámara termográfica más adecuada*. <https://blog.infaimon.com/fiebre-por-las-camaras-termograficas-5-claves-para-elegir-la-solucion-adecuada/>. Consulta: enero de 2021.

Tabla XVI. **Emisividad para superficies de materiales**

Material	Emisividad (ϵ)
Cuerpo negro	1
Piel humana	0.98
Agua	0.98
Amianto	0.95
Cerámica	0.95
Barro	0.95
Cemento	0.95
Tejido	0.95
Grava	0.95
Papel	0.95
Plástico	0.95
Goma	0.95
Madera	0.95
Cobre (oxidado)	0.68
Acero inoxidable	0.1
Cobre (pulido)	0.02
Aluminio (pulido)	0.05

Fuente: *La temperatura en la industria del plástico*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/31411-La-termografia-en-la-industria-del-plastico.html>. Consulta: enero de 2021.

Entre las principales marcas de cámaras termográficas podemos mencionar las *Fluke*, *Flir*, *Megger*, *Thermal Expert*, entre otros.

2.17.2.1. Thermal expert (serie TE-Q1)

Es una cámara termográfica que se conecta a una computadora, tableta o celular a través del puerto USB y funciona en combinación con la cámara del dispositivo más la cámara infrarroja. Posee un sensor de imagen térmica de alta resolución y bajo ruido producido por el fabricante coreano i3-System.

Figura 44. Especificaciones de la cámara TE-Q1

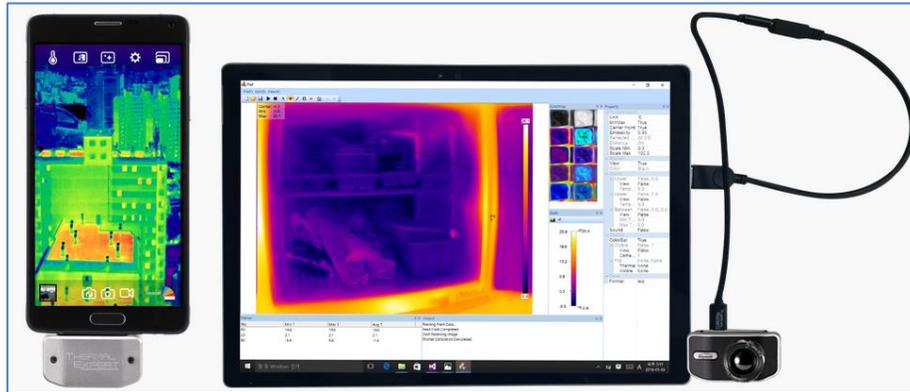
Array format	384 x 288
Pixel pitch	17 μ m
Wavelength band	8 ~ 14 μ m (Longwave Infrared)
Sensitivity	\leq 50 mK@F/1, 300 K \leq 80 mK@F/1.3, 300 K
Frame rate	< 9 Hz
Scene range temperature	-10 $^{\circ}$ C ~ 150 $^{\circ}$ C (PLUS: -10 $^{\circ}$ C ~ 120 $^{\circ}$ C, PRO: -10 $^{\circ}$ C ~ 250 $^{\circ}$ C)
Operating temperature	-10 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C
Power consumption	\leq 500 mW
Weight	< 27 g (with lens)
Dimension (W x H x D)	47 mm x 25 mm x 16 mm (Without Lens)
Interface	Micro USB
Platform	Android, Windows
Type of lens	6.8 mm f/1.3 13 mm f/1.0
FOV[$^{\circ}$]	Wide FOV (default): 56.3 $^{\circ}$ (H) x 41.8 $^{\circ}$ (V) - 71.4 $^{\circ}$ (diagonal) Narrow FOV (option): 28.7 $^{\circ}$ (H) x 21.7 $^{\circ}$ (V) - 35.3 $^{\circ}$ (diagonal)
Focus range	Wide FOV: 0.2m to infinity with 0.19mm refocus Narrow FOV: 0.4m to infinity with 0.39mm refocus



Fuente: Cámara termográfica de alto rendimiento -thermal exper.

<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 45. **Cámara termográfica *thermal expert* TE-Q1**



Fuente: *Cámara termográfica de alto rendimiento -Thermal Expert.*
<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

La cámara termográfica TE-Q1 opera en un rango de -10 a 150 grados Celsius, lo cual la hace ideal para aplicaciones e instalaciones eléctricas, esta cámara tiene la capacidad de indicar temperatura máxima y mínima del material o elemento a medir.

2.17.2.2. Fluke TI 400

Es una cámara portátil tipo pistola y permite un enfoque automático, ofrece un láser para realizar enfoques a los elementos, este tipo de cámara ofrece una resolución de 320x270 píxeles, también ofrece lentes de mayor alcance, es una cámara de aplicaciones industriales, ideal para verificación de tableros eléctricos, protecciones, celdas y otras aplicaciones.

Figura 46. Especificaciones de la cámara TI 400

Características principales	
CDVI (resolución espacial)	1.31 mrad
Resolución de detector	320x240 (76,800 píxeles)
Campo de visión	24 ° H x 17 ° V
Distancia mínima de enfoque	15 cm (aprox. 6 in)
Lentes opcionales	Lente tipo teleobjetivo, lente tipo objetivo gran angular
Sistema de enfoque	Enfoque automático LaserSharp® para imágenes consistentemente enfocadas, enfoque manual
Telémetro láser	Sí
Conectividad inalámbrica	Compatible con la aplicación Fluke Connect®. Conectividad inalámbrica para PC, iPhone® y iPad® (iOS 4s y posterior), Android™ 4.3 y superior, y wifi a LAN
Tecnología IR-Fusion®	Modo IR-Fusion® AutoBlend™ e imagen en imagen
Pantalla	LCD táctil capacitiva de 3.5 pulgadas en diagonal, horizontal, a color VGA (640 x 480) con retroiluminación
Diseño	Diseño ergonómico y resistente para usarlo con una sola mano
Sensibilidad térmica (NETD)	≤ 0.05 °C a 30 °C temperatura objetivo (50 mK)
Rango de medición de temperatura	Entre -20 °C y +1200 °C (entre -4 °F y + 2192 °F)
Cámara digital integrada (luz visible)	Rendimiento industrial con 5 megapíxeles
Velocidad de fotogramas	Versiónes de 60 Hz o 9 Hz

Fuente: *Cámara infrarroja Fluke Ti400*. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/camaras-termicas/ti400>. Consulta: enero de 2021.

Figura 47. Cámara termográfica Ti 400



Fuente: *Cámara infrarroja Fluke Ti400*. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/camaras-termicas/ti400>. Consulta: enero de 2021.

2.17.2.3. Flir E95

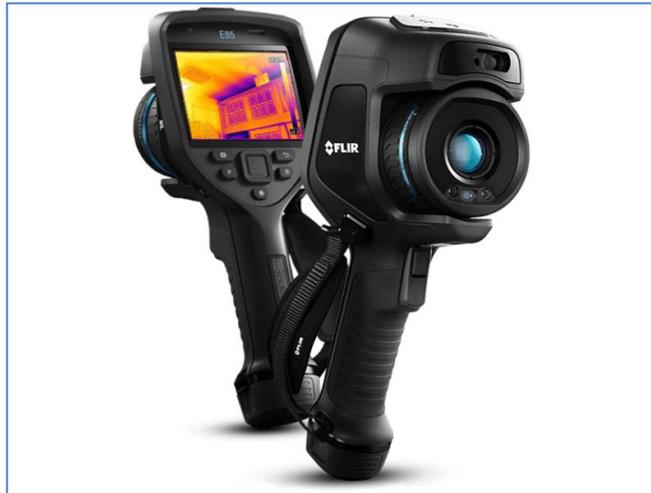
Es una cámara portátil, esta cámara es tipo pistola y permite un enfoque automático, ofrece un láser para poder realizar enfoques a los elementos, este tipo de cámara ofrece una resolución de 464 x 348 pixeles, también ofrece lentes de mayor alcance, es una cámara de aplicaciones industriales, ideal para verificación de tableros eléctricos, protecciones, celdas y otras aplicaciones.

Figura 48. Especificación de cámara termográfica *Flir E95*

Imaging and optical data	(Para lente 24")
Infrared resolution	464 × 348 pixels
UltraMax (super-resolution)	Yes
NETD	<40 mK (2) -30°C (-86°F)
Field of view	24° × 18°
Minimum focus distance	0.15 m (0.49 ft.)
Minimum focus distance with MSX	0.5 m (1.64 ft.)
Focal length	17 mm (0.67 in.)
Spatial resolution (IFOV)	0.90 mrad/pixel
Available extra lenses	<ul style="list-style-type: none"> • 14" (AutoCall) • 42" (AutoCall)
Lens identification	Automatic
f number	13
Image frequency	30 Hz
Focus	<ul style="list-style-type: none"> • Continuous LDM • One-shot LDM • One-shot contrast • Manual
Field of view match	Yes
Digital zoom	1-4× continuous

Fuente: *Cámara termográfica FLIR E95*. <https://apliter.com/producto/camara-termografica-flir-e95/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 49. **Cámara termográfica *Flir E95***



Fuente: *Cámara termográfica FLIR E95*. <https://apliter.com/producto/camara-termografica-flir-e95/>. Consulta: enero de 2021.

2.17.3. Medidor de puesta a tierra

Son equipos empleados para determinar el valor de resistencia de los electrodos o puesta a tierra. Entre los métodos de prueba se pueden mencionar: caída de potencia de 3 y 4 polos, comprobación selectiva, sin picas y de 2 polos.

Los equipos tipo pinza tienen la capacidad de medir la resistencia de la puesta a tierra y corriente de fuga.

- Resistencia de puesta a tierra: determinar la resistencia de tierra con este tipo de equipos solo requiere que se abra la pinza y se abrace el electrodo o elemento a medir, debiendo ver que este cierre

adecuadamente. La pinza muestra en pantalla el valor de la resistencia a tierra (R_g) en ohmios (Ω).

- Corriente de fuga: es la corriente que circula por el sistema de puesta a tierra, este corriente no debe exceder los 3 amperios para que el equipo puede registrar de buena forma la lectura.

2.17.3.1. Pinza de resistencia de tierra *Fluke 1630*

Utiliza el método sin picas, este método no es invasivo, lo cual es una ventaja para los casos donde no exista suficiente espacio o se permita realizar la desconexión de la pica para medir. Este equipo tiene la capacidad de comprobar si el lazo del sistema de puesta a tierra está cerrado.

Figura 50. Especificaciones de *Fluke 1630*

Especificaciones eléctricas		Resistencia de bucle a tierra	
Pantalla	de cristal líquido, 9999 dígitos, con símbolos especiales	Intervalo	Exactitud^[1] (± % de la lectura + Ω)
Humedad de funcionamiento	menos del 85 % HR	0,025 a 0,250 Ω	± 1,5 % + 0,02 Ω
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)	0,250 a 1,000 Ω	± 1,5 % + 0,002 Ω
Humedad de almacenamiento	menos del 75 % HR	1,000 a 9,999 Ω	± 1,5 % + 0,01 Ω
Temperatura de referencia	23 °C ± 5 °C (73 °F ± 9 °F)	10,00 a 50,00 Ω	± 1,5 % + 0,03 Ω
Coefficiente de temperatura	0,1 % × (exactitud especificada)/°C (< 18 °C o > 28 °C)	50,00 a 99,99 Ω	± 1,5 % + 0,5 Ω
Temperatura de funcionamiento	0 °C a +50 °C (+32 °F a +122 °F)	100,0 a 200,0 Ω	± 3,0 % + 1,0 Ω
Tipo protector	IP23, de acuerdo con IEC 60529/EN 60629	200,1 a 400,0 Ω	± 5,0 % + 5,0 Ω
Clasificación de categoría	CAT III 300 V, grado de polución 2, y CAT II 600 V	400,0 a 600,0 Ω	± 10,0 % + 10,0 Ω
EMC (emisión)	IEC 61000-4-1, IEC 61326-1 clase B	600,0 a 1500,0 Ω	± 20,0 %
EMC (inmunidad)	IEC 61000-4-2 8 kV (aire) criterios B, IEC 61000-4-3 V/m criterios de desempeño A	[1] Resistencia de bucle sin inductancia, campo externo < 200 A/m, campo eléctrico externo < 1 V/m, conductor centrado.	
Selección de rangos	Auto	mA de corriente de fuga a tierra	
Indicación de sobrecarga	OL	Rango automático 50/60 Hz, verdadero valor eficaz, factor de cresta CF < 3,5	
Medición de frecuencia	3,333 kHz	Rango	Exactitud
Requisito de alimentación eléctrica	batería alcalina de 9 V (tipo IEC 6F22, NEDA 1604)	0,300 a 1,000 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,05 mA
Consumo de energía	40 mA aprox. (en la función Ω)	1,00 a 10,00 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,03 mA
Indicador de batería descargada	■	10,0 a 100,0 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,3 mA
Máxima corriente no destructiva	100 A continua, 200 A (< 10 s)	100 a 1000 mA	± 2,0 % de la lect. ± 3,0 mA
Exactitud de la placa de calibración	50/60 Hz ± 0,5 %	A de corriente de fuga a tierra	
Capacidad de registro de datos	116 registros.	50/60 Hz, verdadero valor eficaz, factor de cresta CF < 3,5	
Intervalo de registro de datos	de 1 a 255 segundos	Rango	Exactitud
		0,200 a 4,000 A	± 2,0 % de la lect. ± 0,003 mA
		4,00 a 35,00 A	± 2,0 % de la lect. ± 0,03 mA

Fuente: *Medidor de resistencia de tierra 1630*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/conexion-a-tierra/fluke-1630#>. Consulta: enero de 2021.

Figura 51. **Fluke 1 630**



Fuente: *Medidor de resistencia de tierra 1 630*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/conexion-a-tierra/fluke-1630#>. Consulta: enero de 2021

2.17.3.2. Pinza de resistencia de tierra *Megger* DET 24C

Sistema de medición sin picas, es un sistema que ofrece una gran ventaja, ya que no requiere de realizar desconexiones de los elementos a medir, este tipo de métodos induce una corriente y determina la corriente que circula por este bucle.

Figura 52. Especificaciones de **Megger DET 24C**

Mediciones de resistencia		
Resistencia de tierra	Resolución	incertidumbre Rango intrínseco*
0.05 Ω a 0.99 Ω	0.01 Ω	±1.5% ±0.05 Ω
1.00 Ω a 9.99 Ω	0.01 Ω	±1.5% ± 0.1Ω
10.0 Ω a 99.9 Ω	0.1 Ω ±2%	±0.5 Ω
100.0 Ω a 199.9 Ω	0.1 Ω ±5%	±1 Ω
200 Ω a 400 Ω	1 Ω ±10%	±10 Ω
400 Ω a 600 Ω	1 Ω ±10%	±10 Ω
600 Ω a 1200 Ω	10 Ω	±20%
1200 Ω a 1500 Ω	10 Ω	±35%

Frecuencia de medición 1390 Hz.

* A menos que se especifique lo contrario, las condiciones de referencia son: 20 ± 3 ° C, 50% de humedad, conductor centrado.

Las especificaciones indicadas anteriormente solo son válidas si las pinzas del DET14C y DET24C se mantienen limpias en todo momento.

Fuente: *DET14C* y *DET24C*. https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/ygdb6wjg8x/DET14C_DET24C_DS_es.pdf. Consulta: enero de 2021.

Figura 53. **Megger DET24C**



Fuente: *DET14C* y *DET24C*. https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/ygdb6wjg8x/DET14C_DET24C_DS_es.pdf. Consulta: enero de 2021.

2.17.3.3. Pinza de resistencia de tierra AEMC 3711

Con un diseño ergonómico y pinza de fácil acceso, emplea el sistema sin picas, lo que la hace perfecta para en instalaciones en las que no se puedan realizar desconexión del sistema de puesta a tierra, puede medir la resistencia del sistema, el lazo y corrientes de fuga.

Figura 54. Especificaciones de AEMC 3711

RESISTENCIA A TIERRA			
Rango de Medicion	Rango	Resolucion	Precision ¹
Auto-Rango 0,1 a 1200Ω	0,1 a 1.00Ω	0.01Ω	±(2% + 0,02Ω)
	1,0 a 50,0Ω	0,1Ω	±(1,5% + 0,1Ω)
	50,0 a 100,0Ω	0,5Ω	±(2,0% + 0,5Ω)
	100 a 200Ω	1Ω	±(3,0% + 1Ω)
	200 a 400Ω	5Ω	±(6,0% + 5Ω)
	400 a 600Ω	10Ω	±(10% + 10Ω)
	600 a 1200Ω	50Ω	Aprox. 25%
CORRIENTE DE PÉRDIDA O CORRIENTE A TIERRA			
Auto-Rango 1 mA a 30,00 Arms	1 a 299 mA 0,300 a 2,999 A 3,00 a 29,99 A	1 mA 0,001 A 0,01 A	±(2,5% + 2 mA) ±(2,5% + 2 mA) ±(2,5% + 20 mA)

Fuente: Manual 3711-3731. *Especificaciones de AEMC 3711*. Consulta: enero de 2021.
https://aemc.com/userfiles/files/resources/usermanuals/Ground-Testers/3711-3731_ES.pdf

Figura 55. AEMC 3711



Fuente: *Ground Resistance Tester Model 3711*. <https://aemc.com/products/ground-testers/ground-tester-3711>. Consulta: enero de 2021.

2.17.4. Multímetro

También conocido como *tester*, este instrumento tiene la ventaja de ofrecer más de un tipo de medición, como: voltajes, corrientes, frecuencia, resistencia, entre otros; entre sus ventajas también se encuentra la de poder medir tanto parámetro de corriente continua o alterna.

2.17.4.1. Pinza amperimétrica *Fluke 376 FC*

Es un medidor de varios parámetros eléctricos, con clasificación de seguridad CAT IV 600 V, CAT III 1 000 V. Este equipo tiene la ventaja de conectarse a un dispositivo celular a través de una aplicación, lo cual permite almacenar los datos, ya que este equipo ofrece una ventaja al momento de medir corrientes en elementos con gran cantidad de conductores, puesto que cuenta con una sonda flexible de corriente.

- Medición de corriente de CA y CC de 1000 A
- Mediciones de corriente de 2 500 A CA con la sonda de corriente flexible iFlex

Figura 56. **Pinza amperimétrica *Fluke 376 FC***



Fuente: *Pinza amperimétrica RMS CA/CC Fluke 376 FC*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-376-fc>. Consulta: enero de 2021.

2.17.4.2. Pinza amperimétrica AEMC 603

Para la medición de voltaje AC, este equipo cuenta con una clasificación CAT IV 1 000 voltios, una resolución de 0,01 amperios, capaz de detectar valores rms para una mejor medición.

- Medición de voltajes CA/CD hasta 1 000 voltios, auto rango
- Medición de corrientes de 2 000 amperios.

Figura 57. Pinza amperimétrica AEMC 603



Fuente: *Clamp-on meter Model 603*. <https://www.aemc.com/products/clampon-meters/clampon-meter-603>. Consulta: enero de 2021.

2.18. Diagramas unifilares

Es un esquema o representación de un sistema eléctrico, elaborado de tal forma que puedan determinarse los equipos que conforman el sistema, tipos de conductores, tipos de tableros, transformadores y de más elementos del sistema. Los elementos y equipos deberán estar bajo un estándar para su identificación, esto debido a que puede ser consultado por diferentes personas, por lo que para este tipo de esquemas se emplean las Normas IEC y ANSI.

2.19. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas

Mantener una planificación de los elementos que conforman el sistema eléctrico, permite llevar un registro de los mantenimientos que se le aplican a cada elemento y con eso cuidar la vida útil de los equipos. Los mantenimientos eléctricos que se aplican son preventivo y correctivo.

2.19.1. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que permite dar mayor vida útil a los equipos o elementos de una instalación, se debe realizar con una mayor frecuencia, ya que la finalidad es reducir cualquier falla.

- Fases del mantenimiento preventivo:
 - Actualización de los diagramas unifilares, para registrar tanto altas como bajas de las cargas o modificaciones a los circuitos.
 - Realiza un cronograma de trabajo basado en los elementos que conforma la instalación, que deberá ser de forma periódica y basado en procedimientos adecuados.
 - Mantener el histórico de los mantenimientos, tipos de repuestos empleados y el costo del mantenimiento.

2.19.2. Mantenimiento correctivo

Son acciones de carácter urgentes que, no planificadas, este tipo de mantenimientos tienen como finalidad la corrección de hallazgos que puedan

poner en riesgo nuestras instalaciones. Este tipo de mantenimiento sugiere un gasto alto tanto de operación como del recurso.

- Este tipo de mantenimiento se clasifican en dos:
 - Contingente: son todas aquellas que se realizan de forma inmediata, debido a que en su mayoría repercuten con paro de producción o pérdidas de equipos o elementos del sistema eléctrico. En este tipo de mantenimiento es común realizar reparaciones provisionales con la finalidad de recuperar parte del sistema eléctrico.
 - Programable: son todas aquellas que no repercuten con la pérdida de elementos o equipos del sistema eléctrico, pero que deben ser reparadas en un corto plazo para que estas no se vuelvan contingentes.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Las instalaciones donde se llevará a cabo el diagnóstico del sistema eléctrico actual, es en la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” ubicada sobre la 5a. avenida 7-26, zona 1 ciudad de Guatemala.

Figura 58. **Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”**



Fuente: *Biblioteca Nacional*. [Http://mcd.gob.gt/biblioteca-nacional/](http://mcd.gob.gt/biblioteca-nacional/). Consulta: enero de 2021.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La delimitación del campo de estudio del proyecto se basa en el diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales realizando un levantamiento de las cargas instaladas, un análisis del consumo de energía, elaboración del

estudio de calidad de energía, verificación de puntos calientes a través de cámara termográfica y análisis del sistema de puesta a tierra.

3.3. Recursos materiales disponibles

Se seleccionan los equipos que permitan realizar el diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales, por lo que se eligen los siguientes: equipo analizador de calidad de energía clase A, para determinar el comportamiento de los parámetros eléctricos del sistema, cámara termográfica para determinar potenciales problemas en tableros y protecciones que puedan dañar las instalaciones y una pinza de tierra para determinar el valor del sistema de puesta a tierra donde esta exista.

A continuación, se describen las aplicaciones o características de los equipos a utilizar:

- Dranetz HDPQ *Guide* (Analizador de red clase A)
- Cámara termográfica *Thermal Expert* (serie TE-Q1)
- Pinza de resistencia de tierra *Fluke* 1630
- Pinza amperimétrica *Fluke* 376 FC
- Móvil Huawei P20
- Juego de destornilladores aislados para 1 000 V
- Casco
- Guantes
- Computadora
- Tablet

3.4. Procedimiento para las mediciones de parámetros eléctricos

Después de definir los recursos que se tienen disponibles para la medición de parámetros eléctricos es necesario establecer los procedimientos y métodos que se emplearán para el registro de estos parámetros. A continuación, se detalla el procedimiento y método para cada estudio:

3.4.1. Toma de imagen termográfica con cámara *Thermal Expert* (serie TE-Q1)

Se utilizará cámara termográfica que se conecta a una computadora, tableta o celular a través del puerto USB y funciona por medio de una aplicación gratuita *Thermal Expert* para Android o bien para PC, esta cámara cuenta con accesorios para su uso, como también cuenta con un lente adicional para tener un mayor alcance, las principales características son:

- Resolución infrarroja de 384x288 pixeles
- Rango de temperatura de -10 a 150 grados Celsius
- Interfaz Android, Windows
- Lente de 6,8 mm f1,3
- Lente de 13 mm f1,0
- Trípode y accesorio para uso

Figura 59. **Cámara termográfica *Thermal Expert* TE-Q1**



Fuente: Cámara termográfica de alto rendimiento -*Thermal Expert*.
<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

Se empleará la cámara termográfica *Thermal Expert* TE-Q1 y un dispositivo móvil para realizar la captura de imágenes infrarrojas de tableros y conexiones de las instalación eléctrica, para lo cual se deberá de realizar la apertura de los tableros para tener acceso a las conexiones, se utilizarán destornillares y herramienta adecuada, el análisis de estas imágenes ayudarán a determinar problemas por flojedad de conexiones, corrosión de conexiones, equipos que presenten desgaste o daño, con la finalidad de realizar un diagnóstico preventivo.

Los resultados de las termografías realizadas en toda la instalación eléctrica tales como: tableros, empalmes, banco de transformación y flipon principal.

- Serán analizados en la aplicación Android *Thermal Expert*.
- Tabulados y presentados en una tabla final.

3.4.2. Medición del sistema de puesta a tierra con pinza *Fluke 1 630*

Esta pinza se emplea porque existe un lazo cerrado y por el tipo de instalación no es posible utilizar el método de picas, este equipo determina la resistencia de puesta a tierra, determina las corrientes de fuga en el lazo y sus principales características son:

- Método de medición sin picas
- Determinar corrientes de fuga
- Calibrador
- Estuche portátil

Figura 60. *Fluke 1 630*



Fuente: *Medidor de resistencia de tierra Fluke 1 630*. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/conexion-a-tierra/fluke-1630>. Consulta: enero de 2021.

Se empleará la pinza de resistencia de tierra *Fluke 1 630*, para medir el sistema de puesta a tierra de los tableros de la instalación eléctrica, banco de transformación y donde sea posible hacer la medición, con la finalidad de determinar que la resistencia de la puesta a tierra cumpla con el valor mínimo

requerido, adicional se verificará el nivel de corrientes de fuga que circula por el sistema de puesta a tierra.

Los resultados de las mediciones serán tabulados y presentados en una tabla final, donde se indique el elemento medido y el valor de su resistencia.

3.4.3. Medición de caída de tensión con amperímetro *Fluke 376 FC*

Pinza amperimétrica con conectividad a dispositivos Android, esta pinza tiene la capacidad de medir valores rms de voltajes y corrientes, el equipo es auto rango y presenta las siguientes características:

- Dispositivo con conectividad *Fluke Connect*
- Medición de corriente de hasta 1 000 amperios
- Medición de corriente de hasta 2 500 amperios con la sonda de corriente.
- Medición de voltaje de hasta 1 000 voltios con las puntas
- Estuche y soporte

Figura 61. **Multímetro *Fluke 376 FC***



Fuente: *Pinza amperimétrica RMS CA/CC Fluke 376 FC*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-376-fc>. Consulta: enero de 2021.

Se empleará la pinza amperimétrica *Fluke 376 FC*, para medir los valores de voltaje en las barras de los tableros posteriores al tablero principal, con esto se determinará la caída de voltaje que se presenta en los tableros y si estos están acordes a los establecidos en las normativas, para lograr esto se deberá realizar el retiro de las tapaderas de los tableros empleando la herramienta adecuada y dispositivos de protección personal requeridos.

Para calcular la caída de tensión se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%V = \frac{|aN - AN|}{AN}$$

Donde:

aN = valor del voltaje a evaluar

AN= valor del voltaje del tablero principal

%V= caída de tensión en % (no debe superar el 3 %)

Los resultados de las mediciones serán tabulados y presentados en una tabla final, donde se indicará el elemento evaluado y el porcentaje de caída de tensión.

3.4.4. Medición de calidad de energía con medidor Dranetz HDPQ Guide

Se utilizará el equipo analizador de red clase A, para los parámetros eléctricos que determinen la calidad de la energía, bajo los estándares internacional de IEEE 519, EN50 160 o IEC61 000, las principales aplicaciones del equipo son:

- Estudios y diagnósticos de calidad de energía
- Pruebas y diagnóstico de motores
- Registro de fallas
- Ensayos de irrupción para transformadores, motores, entre otros
- Gestión de energía y encuestas de carga
- Registro de datos
- Análisis armónico
- Producción de energía alternativa - solar, eólica - cadenas de paneles, baterías, inversores, interconexión de red
- Pruebas de conformidad
- Prueba de parpadeo
- Prueba de condensadores

Figura 62. Dranetz HDPQ Guide



Fuente: *Analizador de red eléctrica HDPQ*. <https://www.directindustry.es/prod/dranetz/product-68717-1642812.html>. Consulta: enero de 2021.

Se empleará el analizador de calidad de energía *Dranetz HDPQ Guide*, se instalará en el tablero principal, se deberá realizar el retiro de la tapadera de este tablero utilizando las herramientas adecuadas y dispositivos de protección

adecuada y el equipo quedará configurado para el tipo de conexión de la instalación eléctrica, también se elegirá el rango adecuado de corriente.

El equipo deberá registrar un mínimo de 7 días seguidos para el cumplimiento de la Norma IEEE 519 para el análisis de parámetros eléctricos que son necesarios para determinar la calidad de la energía. Los parámetros eléctricos para evaluar son los siguientes: voltaje, corriente, potencias, factor de potencia y distorsión armónica de voltaje y corriente.

Los resultados de la medición se documentarán en este informe con graficas elaboradas en Excel y el software Dran – View 7.

3.5. Auditoría de consumo

Se realizará un análisis del consumo eléctrico de las instalaciones, mediante los archivos de facturación emitidos por la distribuidora, se evaluará el comportamiento de estos consumos para determinar si existe un alza del consumo, lo cual pueda reflejar un crecimiento de cargas. También se verificará la demanda contratada para establecer que no se supere la misma y no incurrir en penalizaciones.

La información será analizada y presentada en una tabla, también se agregará una gráfica del consumo para ver la tendencia de este.

3.6. Instalaciones eléctricas actuales

Se realizará un levantamiento de las cargas actuales instaladas en cada tablero eléctrico del edificio Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y

Aragón”, verificando el estado actual de los tableros, conductores, iluminación, accesorios y diagrama unifilar existente.

3.6.1. Levantamiento de tableros eléctricos existentes

Se realizará un inventario de los tableros instalados en la red eléctrica y se recopilarán los datos con la descripción de cada tablero. Tomando en cuenta los siguientes parámetros: nombre, tipo, tamaño de la barra, núm. de polos, voltaje nominal, núm. de fases, núm. de hilos y núm. de conductor del alimentador.

La recopilación de datos será tabulada y presentada en una tabla final, tomando en cuenta que será necesario abrir cada tablero para el análisis y recopilación de datos, se utilizarán las herramientas adecuadas para realizar los trabajos.

3.6.2. Caracterización de cargas

Se realizará un levantamiento de las cargas existentes por tablero en toda la instalación eléctrica del edificio. En dicho levantamiento se tomará en cuenta la descripción de la carga, flipón de protección, conductor y potencia que consume.

Dicha información será tabulada y presentada en una tabla por cada tablero evaluado. Tomar en cuenta que es necesario abrir cada tablero eléctrico para la recopilación de datos y se utilizará el equipo y herramientas adecuadas para dicho levantamiento.

3.7. Cálculo de conductores eléctricos por el método de caída de tensión

Se utilizará el método de caída de tensión para seleccionar el conductor adecuado para la instalación eléctrica actual, se emplea este método para cumplir con el valor permitido de caída de tensión, equivalente al 3 % para un ramal, este método se considera debido a la distancia entre el tablero y las cargas.

La ecuación para calcular la sección transversal es la siguiente:

$$A = \frac{2 * \rho * L * I}{e * V} \text{ para circuitos monofásicos}$$

$$A = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I}{e * V} \text{ para circuitos trifásicos}$$

Donde:

A = área o sección transversal en mm²

ρ = resistividad del material conductor cobre 0,018 Ω mm²/m

I = corriente de carga en amperios

L = longitud del alimentador en metros

e = caída de voltaje permitida del 3 %

V = voltaje aplicado en voltios (voltaje nominal)

A continuación, se utilizará una hoja electrónica en el programa Excel para realizar las operaciones del cálculo de conductor por cada tablero y se presentará el resultado de cada tablero evaluado.

3.8. Selección de tableros de distribución eléctrica

Se realiza la selección del tablero principal de distribución eléctrica según características importantes:

- Número de circuitos que serán alimentados donde se definirá el número de polo.
- Voltaje de suministro del sistema.
- Número de fases (monofásico o trifásico).
- Corriente nominal que circulará en el tablero, lo cual definirá el flipón principal y la capacidad de la barra.

Teniendo en cuenta estas características y según las cargas que se conectarán, se define el tablero eléctrico óptimo para la distribución de cargas y se presenta en una tabla final para conocer las características que debe tener cada tablero instalado en la red eléctrica.

3.9. Cálculo de tuberías

Como ya se indicó en el capítulo 2, marco teórico relacionado con el diseño eléctrico, sección 2.5.2 para el cálculo de tubería se utilizará la tabla XII correspondiente al número máximo de conductores en tubería extraída de las Normas NEC. Esta tabla permite elegir la tubería adecuada con base en el calibre y número de conductores que se necesita transportar en tubería HG.

Es necesario mencionar que después de la selección de tubería, se debe considerar la Ley para la Protección del Patrimonio Cultural de la Nación en su capítulo II, donde se establece la protección de los bienes culturales. Ya que para realizar cambios en el edificio de la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis

Cardoza y Aragón”, se debe cumplir con los trámites y requisitos del Patrimonio Cultural.

3.10. Cálculo de iluminación

Para el estudio se empleará el cálculo de iluminación por cavidades zonales y se tomarán en cuenta varias características importantes que permitan la selección del tipo de luminaria y número de luminarias necesarias para una iluminación óptima sin espacios oscuros.

- Características para tomar en cuenta:
 - Fijar el nivel de iluminación apropiado.
 - Establecer las necesidades de iluminación del lugar.
 - Seleccionar el tipo de lámpara y luminaria a instalar.
 - Conocer los datos de las dimensiones de las áreas que se quieren iluminar.

Teniendo en cuenta todas estas características, se realizarán los cálculos para obtener la iluminación óptima del edificio, utilizando las ecuaciones detalladas en el capítulo 2, inciso 2.13.2.1, para la selección del factor de mantenimiento se hace referencia en la tabla XII, para el cálculo del índice del local (k) se hace referencia en las figuras 26 y 27 y para la selección del coeficiente de utilización se hace referencia a la tabla XV, según el índice del local a calcular.

Los resultados serán presentados en una tabla final, indicando el cálculo de luminaria para las áreas del edificio Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”.

3.11. Diagrama unifilar

Se realizará el diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas actuales, bajo la nomenclatura ANSI, en el programa AutoCAD 2012, esto permitirá determinar la configuración de las instalaciones e indicar mejoras al diseño existe.

Figura 63. Simbología IEC y ANSI

	Norma IEC	Norma ANSI
Transformador de dos devanados		
Transformador de tres devanados		
Reactor		
Impedancia		
Sistema exterior		
Generador		
Motor de inducción		
Motor de síncronico		
Carga		
Fusible		
Interruptor de potencia		

Fuente: *Sistemas eléctricos de potencia.*

[Http://sistemasdepotenciaunefazza.blogspot.com/2013/06/unidad-2-representacion-de-sistemas-de.html](http://sistemasdepotenciaunefazza.blogspot.com/2013/06/unidad-2-representacion-de-sistemas-de.html). Consulta: enero de 2021.

3.12. Cálculo de subestación eléctrica

Para dimensionar una subestación eléctrica, se deben considerar los siguientes parámetros de la instalación eléctrica:

- Nivel de voltaje: para determinar este parámetro se deben conocer los equipos que se utilizará, los tipos de cargas que se tendrán conectadas son monofásica y trifásicas.
- Carga total conectada: para este caso se empleará el registro del analizador para la mayor carga registrada.
- Consideración del porcentaje de diseño o crecimiento de por lo menos el 25 %.

Se debe considerar que una subestación eléctrica no deberá operar al total de su capacidad, por lo que se considera un rango de 80 a 90 % de su capacidad, para calcular la capacidad en KVA de la subestación se empleará la siguiente ecuación:

$$S = S_m \times 1.25$$

Donde:

S_m = potencia máxima en KVA medido en la instalación

1,25 = factor de diseño o crecimiento de carga

El valor obtenido deberá ser comparado con valores comerciales existentes de transformadores, pudiendo considerar arreglos para cubrir la necesidad de la instalación.

3.13. Cálculo para sistema de puesta a tierra

Este sistema se diseña para soportar corrientes de cortocircuito, descargas electro atmosféricas, reducir campos eléctricos, voltajes inducidos,

transferidos o de contacto y en especial para salvaguardar la vida del ser humano.

Por lo que, conociendo el calibre del conductor a instalar, el cual se elegirá de las tablas VIII y IX del capítulo 2, inciso 2.4.6 y conociendo la resistividad del terreno, se procederá a realizar el cálculo de resistencia del sistema de puesta a tierra bajo la Norma IEEE-80 considerando que debe ser menor 5 Ω .

3.14. Selección de pararrayo

En este caso se empleará el método de ángulo de protección, esto debido a que la instalación a proteger no es de altura considerable y por las dimensiones de esta, se empleará puntas Franklin, estas se seleccionan según el nivel de protección requerido y que se establece en la siguiente tabla XVII.

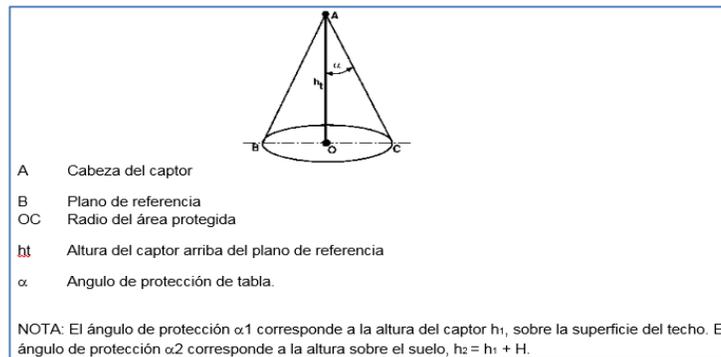
Tabla XVII. Nivel de protección

Nivel de protección	h (m)			
	20	30	45	60
I	25°	-	-	-
II	35°	25°	-	-
III	45°	35°	25°	-
IV	55°	45°	35°	25°

Fuente: Pararrayos. <https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: enero de 2021.

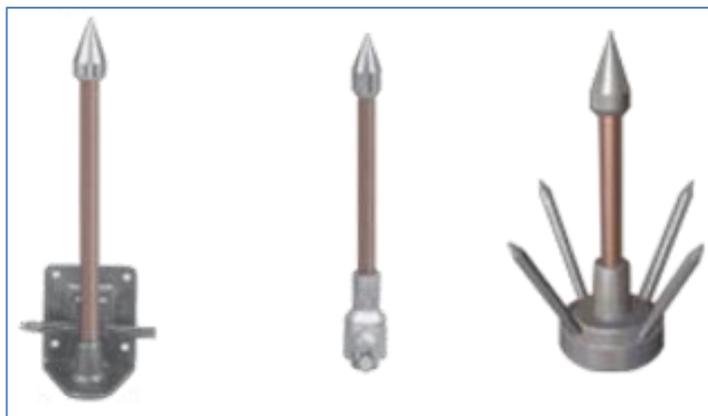
Deberá considerarse la figura 64, y determinar la zona a proteger, según el nivel de protección seleccionado, de tal forma que el radio del área protegida sea correspondiente al plano del edificio a proteger.

Figura 64. **Espacio de protección generado**



Fuente: *Pararrayos*. <https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 65. **Puntas Franklin**



Fuente: *Puntas Franklin*. [Http://www.instelec.com.ar/Productos/Proteccion-contra-rayos/PUNTAS-FRANKLIN](http://www.instelec.com.ar/Productos/Proteccion-contra-rayos/PUNTAS-FRANKLIN). Consulta: enero de 2021.

4. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO

4.1. Análisis de consumos y parámetros eléctricos

Se realizó un análisis de los recibos de energía eléctrica y se midieron diferentes parámetros eléctricos para evaluar las condiciones actuales de la instalación eléctrica actual correspondiente a la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”.

4.1.1. Análisis de termografías

Se realizaron tomas de termografías con la cámara *Thermal Expert* TE-Q1 a todos los tableros eléctricos y se detallan los resultados en la tabla XVIII:

Tabla XVIII. Resultados de termografías a tableros eléctricos

Elemento	Emisividad	Temperatura °C		Punto caliente	
		máx.	min	SI/NO	Observaciones
Tablero general Biblioteca	0,95	27,3	18,3	No	No se detecta punto caliente
Tablero conservación 1	0,95	30,4	17,4	No	No se detecta punto caliente
Tablero conservación 2	0,95	30,4	17,4	No	No se detecta punto caliente
Sótano alimentación T1 y t2	0,95	29,1	20,1	No	No se detecta punto caliente
T2 lobby nivel 1	0,95	27,9	21,9	No	No se detecta punto caliente
T3 lobby nivel 1	0,95	29,6	20,2	No	No se detecta punto caliente
6 nivel restauración	0,95	24,9	16,7	No	No se detecta punto caliente
T1 lobby nivel 1	0,95	26,8	21,4	No	No se detecta punto caliente

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Mediciones de resistencia de puesta a tierra

Se realizaron mediciones de puesta a tierra con la pinza de gancho *Fluke* 1630 en los tableros eléctricos existentes en donde se encontró bajada de tierra y los resultados se detallan en la tabla XIX:

Tabla XIX. Resultados de medición de resistencia de puestas a tierra

Elemento	Resistencia ohms Ω	Corriente de fuga amperios	Observaciones
Tablero general Biblioteca	3,49	0	
Tablero conservación 1	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero conservación 2	4,5	0	
Sótano alimentación T1 y t2	-	-	No existe puesta a tierra
T2 lobby nivel 1	-	-	No existe puesta a tierra
T3 lobby Nivel 1	-	-	No existe puesta a tierra
6 nivel restauración	3,6	0	
T1 Lobby nivel 1	-	-	No existe puesta a tierra

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2012.

4.1.3. Medición de caída de tensión

Se realiza medición con el multímetro *Fluke 376 FC* de las caídas de tensión del tablero principal hacia cada tablero derivado y se presentan los resultados en la tabla XX:

Tabla XX. **Resultados de mediciones de caída de tensión en los tableros**

Elemento evaluado	Tablero principal, fase a neutro (V)			Tablero principal, fase a neutro (V)			Caída de tensión %		
	A-N	B-N	C-N	a-n	b-n	c-n	A	B	C
Tablero general Biblioteca	124	127	125						
Tablero conservación 1				121	123	120	2,42 %	3,15 %	4,00 %
Tablero conservación 2				120	120,5	119	3,23 %	5,12 %	4,80 %
Sótano alimentación T1 y t2				120	129	129	3,23 %	1,57 %	3,20 %
T2 lobby nivel 1				128	125	123	3,23 %	1,57 %	1,60 %
T3 lobby nivel 1				126	125	121	1,61 %	1,57 %	3,20 %
6 nivel restauración				120	124,5	128	3,23 %	1,97 %	2,40 %
T1 I Lobby nivel 1				120	121	119	3,23 %	4,72 %	4,80 %

Continuación tabla XX.

Elemento evaluado	Tablero principal, fase a fase (V)			Tablero principal, fase a fase (V)			Caída de tensión %		
	A-B	B-C	C-A	a-b	b-c	c-a	A	B	C
Tablero general Biblioteca	244	246,1	245,7						
Tablero conservación 1				241,2	242,3	242,8	1,15 %	1,54 %	1,18 %
Tablero conservación 2				241	242,5	242,2	1,23 %	1,46 %	1,42 %
Sótano alimentación T1 y t2				240,1	239,5	239,8	1,60 %	2,68 %	2,40 %
T2 lobby nivel 1				238,9	239	240,1	2,09 %	2,89 %	2,28 %
T3 lobby Nivel 1				238,5	239,1	239,8	2,25 %	2,84 %	2,40 %
6 nivel restauración				240,5	239	239,8	1,43 %	2,89 %	2,40 %
T1 lobby nivel 1				242	244	243,5	0,82 %	0,85 %	0,90 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2012.

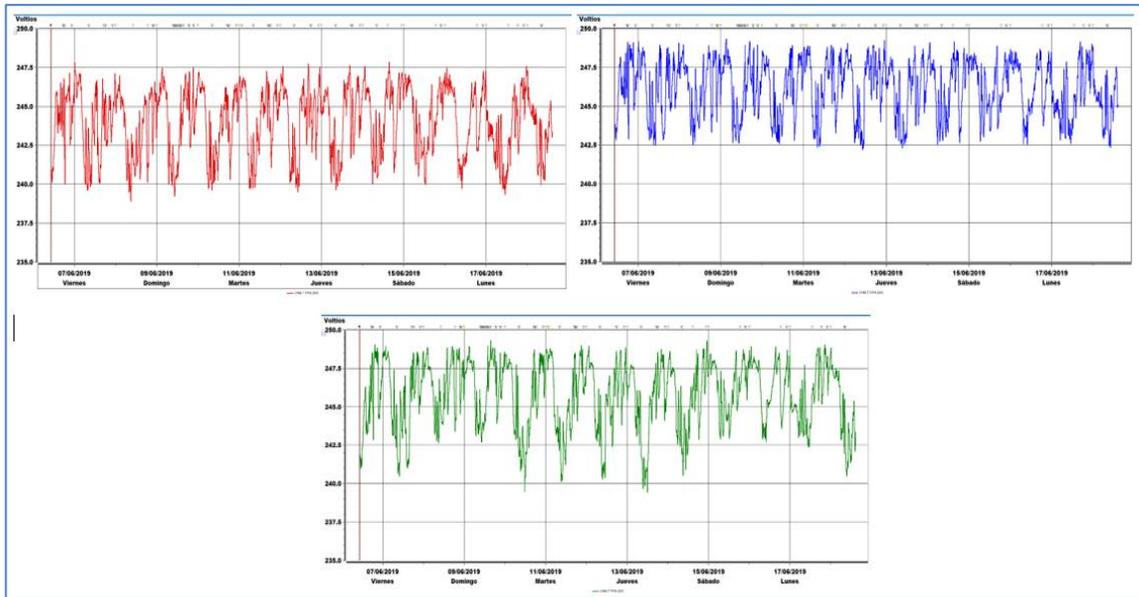
4.1.4. Análisis de calidad de energía

Se realizó el estudio de calidad de energía en el flipón principal de la instalación eléctrica del edificio de la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” con el equipo Dranetz *Guide* HDQP por un tiempo de 7 días y con un intervalo de medición de 15 minutos.

4.1.4.1. Voltaje

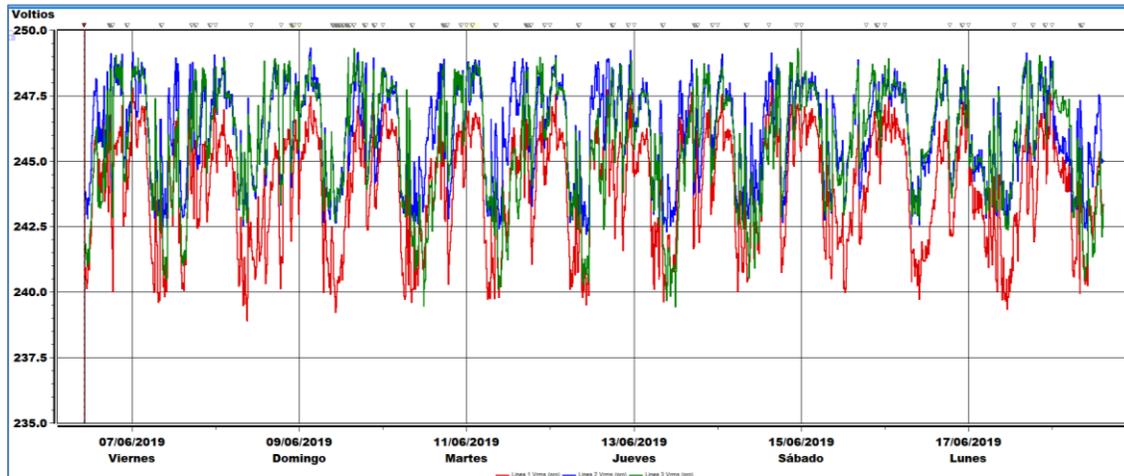
Se presentan los resultados en las figuras 66 y 67 de cada parámetro medido.

Figura 66. **Voltaje línea 1, 2 y 3 con vista individual**



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 67. Voltaje L1, L2 y L3



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDPQ.

- Conclusiones para el voltaje

En la figura 66, se puede apreciar que el voltaje está sobre los 240 voltios para las tres fases y eso se debe a la posición del TAP del transformador ya que es necesario elevar el voltaje por la distancia de la última carga. Pero las tres fases se encuentran bajo valores uniformes y desbalance mínimo.

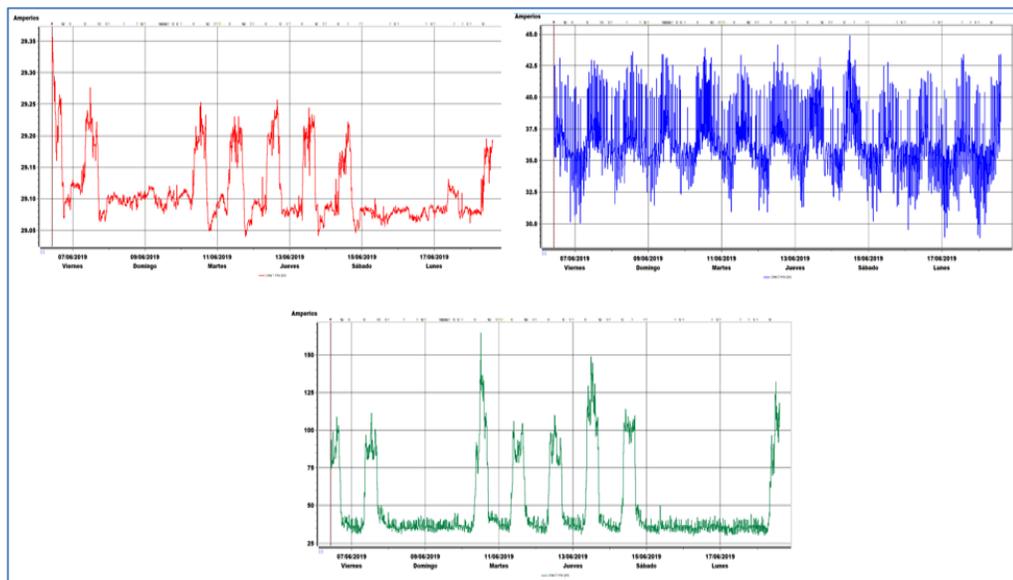
En la figura 67, se puede respaldar que las fases se encuentran uniformes y con poco desbalance. Se debe considerar que la evaluación de voltajes se toma sobre 240 voltios por ser una conexión delta abierta.

Para un periodo de medición de una instalación mayor de 13 meses se acepta un voltaje hasta del 8 % y como se puede apreciar en las gráficas, la fase uno, la fase dos y la fase tres son bastante similares y su variación de voltaje oscila entre 244 V, 246 V y 245,7 V lo cual equivale al 3 %.⁷

4.1.4.2. Corriente

En la figura 68 se realiza la descripción de corriente línea 1, 2 y 3.

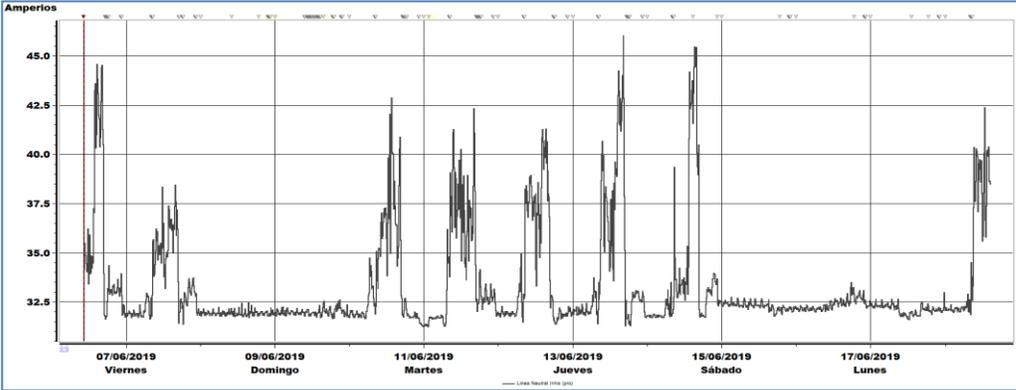
Figura 68. Corriente línea 1, 2 y 3



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

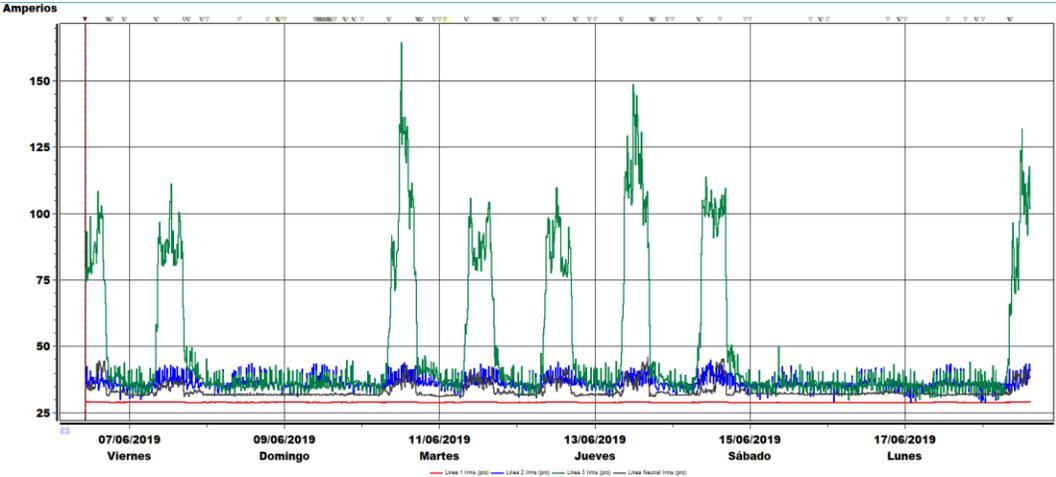
⁷ Periodo de instalación de medición. Normas Técnicas de Servicio de Distribución

Figura 69. Corriente línea neutral



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP

Figura 70. Corrientes L1, L2, L3 y neutral



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones para las corrientes

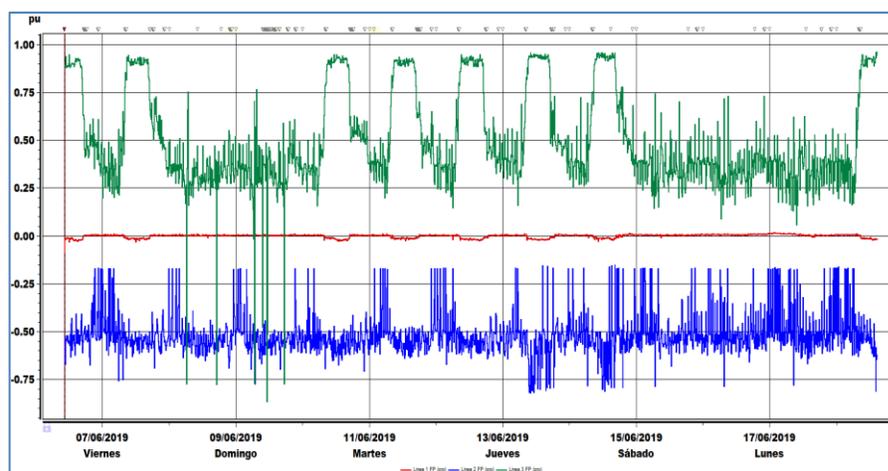
De los resultados graficados para corriente en la figura 70, se puede apreciar que existe desbalance de corriente entre las fases, el sistema se encuentra desbalanceado ya que la línea 1 posee la menor corriente del sistema, tomando un valor máximo de 29 amperios y superando el 10 % de desbalance permitido entre corrientes.

Respecto a la figura 69, se puede observar el comportamiento de la corriente del neutro, que presenta valores mayores que la línea 1, lo cual no es adecuado para un sistema delta abierto.

4.1.4.3. Factor de potencia

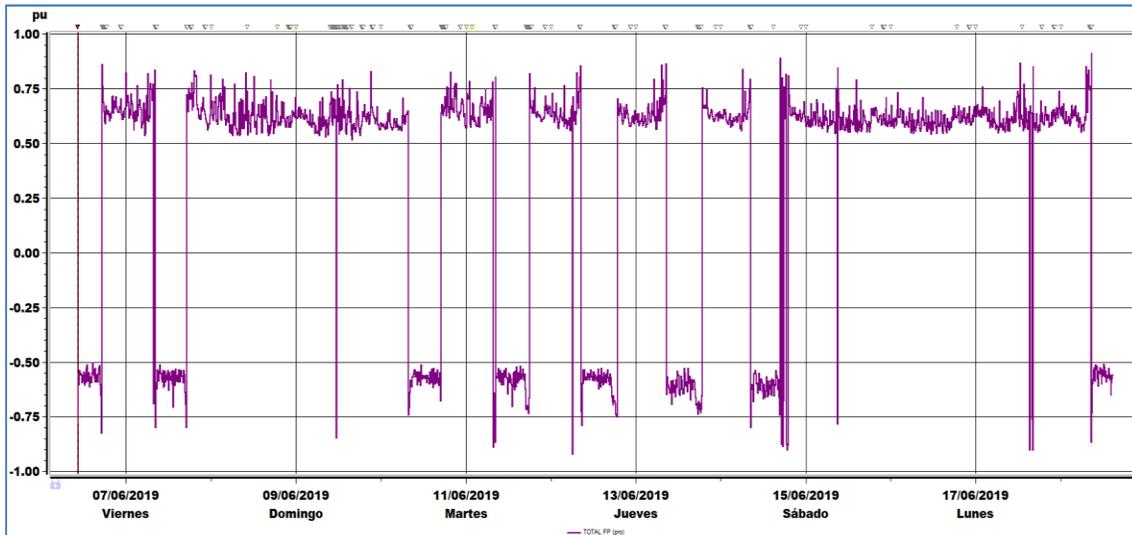
En la figura 71 se realiza la descripción de factor de potencia.

Figura 71. Factor de potencia línea 1, 2 y 3



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 72. Factor de potencia total



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones para el factor de potencia

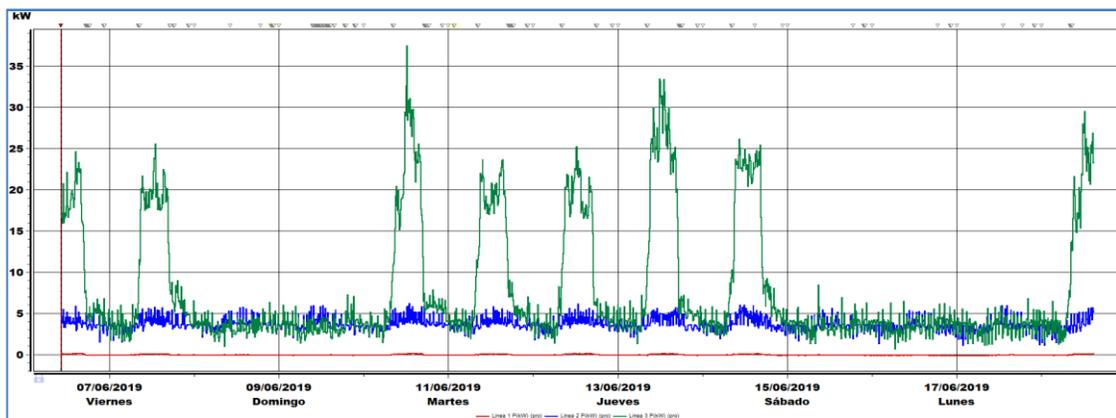
En el análisis de la figura 72 se puede observar que el factor de potencia se encuentra debajo del valor mínimo recomendado de 0,90, tal como lo indica la normativa NTSD (Normas Técnicas del Servicio de Distribución) establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), donde indica que los consumidores mayores a 11 kW mensuales deben cumplir con el valor recomendado de 0,9.

Sin embargo, según el historial de consumos facturados, la distribuidora no está penalizando al usuario (Dir. Gral. Del Patrimonio C. y N) porque el medidor instalado está reconociendo que existe un factor de potencia arriba del valor mínimo de 0,90.

4.1.4.4. Potencias activa, reactiva y aparente

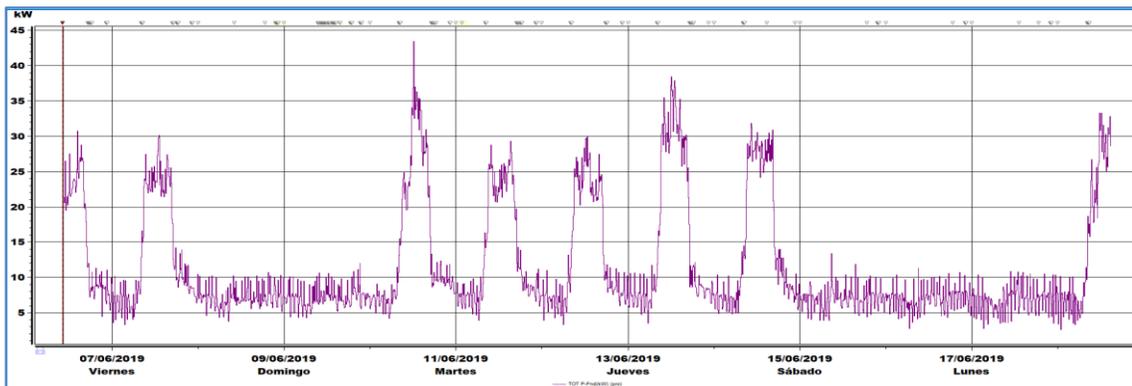
En la figura 73 se realiza la descripción gráfica de potencias activa, reactiva y aparente.

Figura 73. Potencia Activa L1, L2 y L3



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 74. Potencia activa total



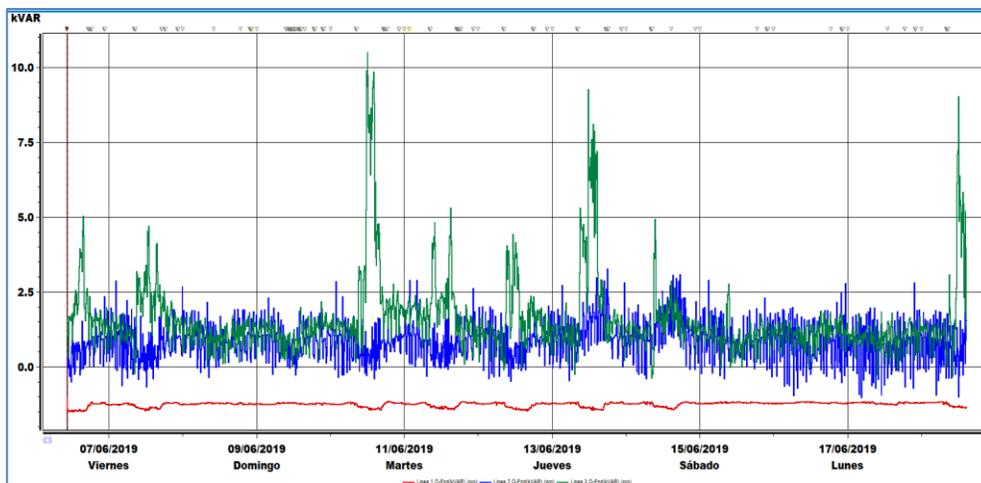
Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones para la potencia activa:

En los valores graficados en la figura 73, se puede apreciar la potencia activa (KW) por fases, con lo cual se determina que existe una diferencia de magnitudes, entre ellas lo que nos indica un desbalance en el consumo de energía.

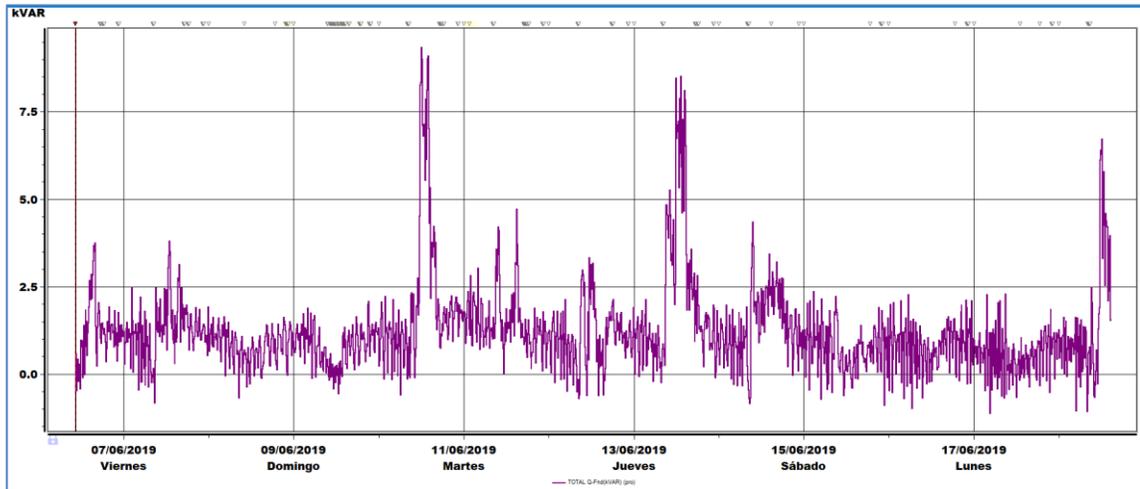
Para la figura 74 se tiene una visualización gráfica del comportamiento de la potencia activa total en la instalación. Donde se registra una potencia máxima de 38,42 kW y una potencia promedio de 14,52 kW. Dichos valores se encuentran dentro de la potencia contratada con la distribuidora.

Figura 75. **Potencia reactiva L1, L2 y L3**



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 76. **Potencia reactiva total**



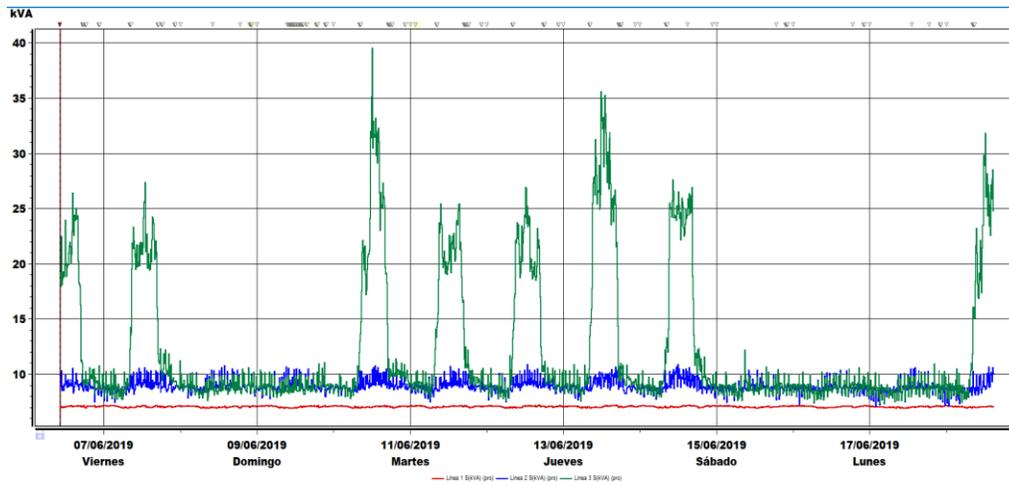
Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones para la potencia reactiva:

En los valores graficados en la figura 75, se puede apreciar la potencia reactiva (KVAR) por fases, con lo cual se determina que existe una diferencia de magnitudes entre ellas respecto a la línea 1, ya que sus valores son negativos, indicando que el tipo de potencia de esa carga es inductiva.

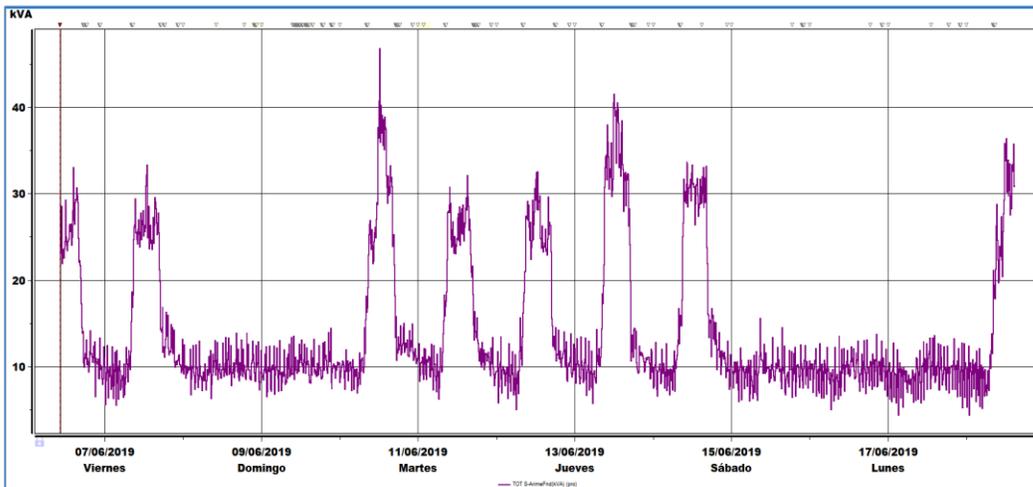
Para la figura 76, se tiene una visualización gráfica del comportamiento de la potencia reactiva total en la instalación. Donde se registra una potencia máxima de 9,35 kVAR y una potencia promedio de 1,23 kVAR.

Figura 77. Potencia aparente L1, L2 y L3



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 78. Potencia aparente total



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones para la potencia aparente:

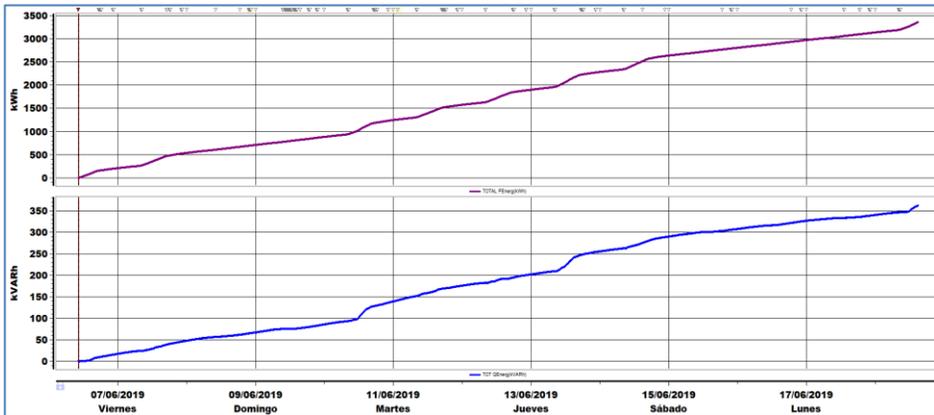
En los valores graficados en la figura 77, se puede apreciar la potencia reactiva (KVA) por fases, con lo cual se determina que existe una diferencia de magnitudes entre ellas respecto a la línea 1 ya que sus valores son por debajo del promedio de las otras dos líneas lo cual se puede comparar con el gráfico de corrientes, ya que se tiene la misma tendencia por lo que puede estar ocasionando un desbalance en el consumo de energía.

Para la figura 76 se tiene una visualización gráfica del comportamiento de la potencia aparente total en la instalación. Donde se registra una potencia máxima de 41,30 kVA y una potencia promedio de 14,04 kVA.

4.1.4.5. Consumo de energía

El consumo de energía activa y reactiva que se describieron en las figuras 76 y 77, se reflejan en la figura 79 ya que en ella se puede apreciar que el consumo en kWh máximo es de 3 369 situándose dentro de los valores registrados en la factura mensual, lo cual debe ser manteniendo un factor de potencia dentro del rango de 0,9 y evita penalizaciones.

Figura 79. Energía activa y reactiva por hora

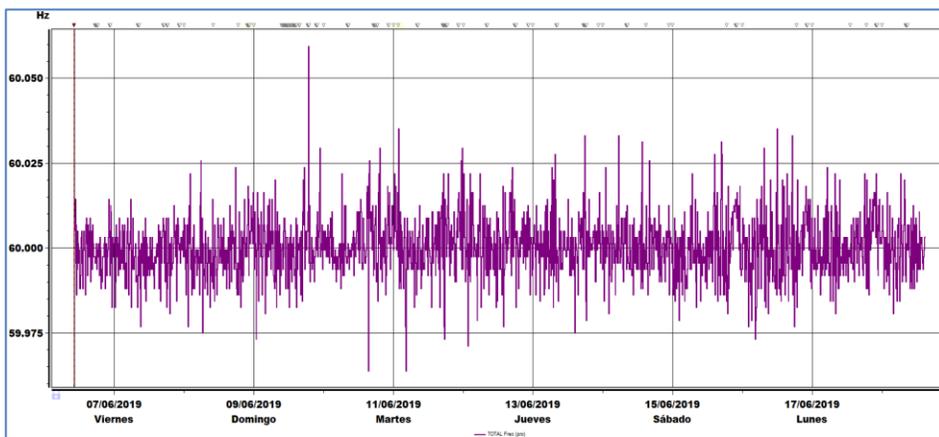


Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

4.1.4.6. Frecuencia

El valor registrado de la frecuencia se encuentra dentro de los límites establecidos en el país para un valor de 60 Hz.

Figura 80. Frecuencia

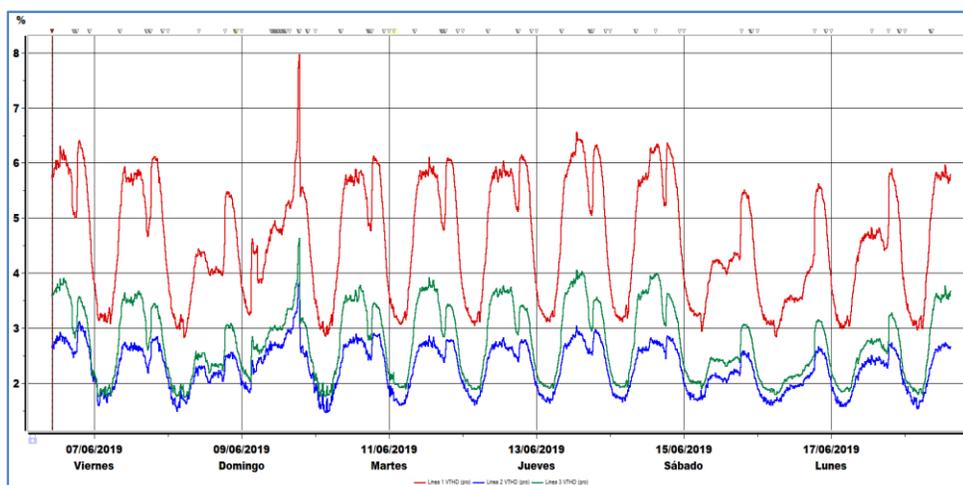


Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

4.1.4.7. Distorsión Armónica de Voltaje y Corriente

En la figura 81, se realiza una descripción de la distorsión armónica de voltaje THDV %.

Figura 81. Distorsión armónica de Voltaje THDV %

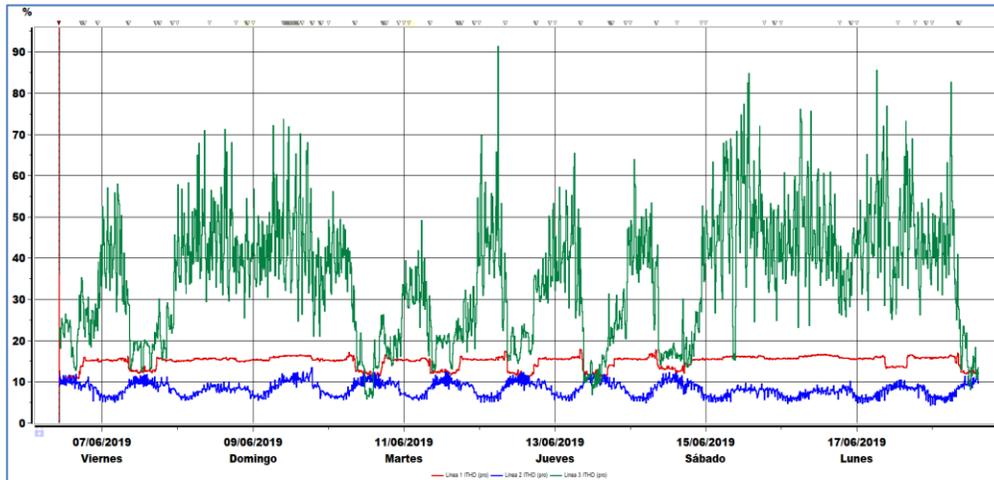


Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones de armónicos en el voltaje:

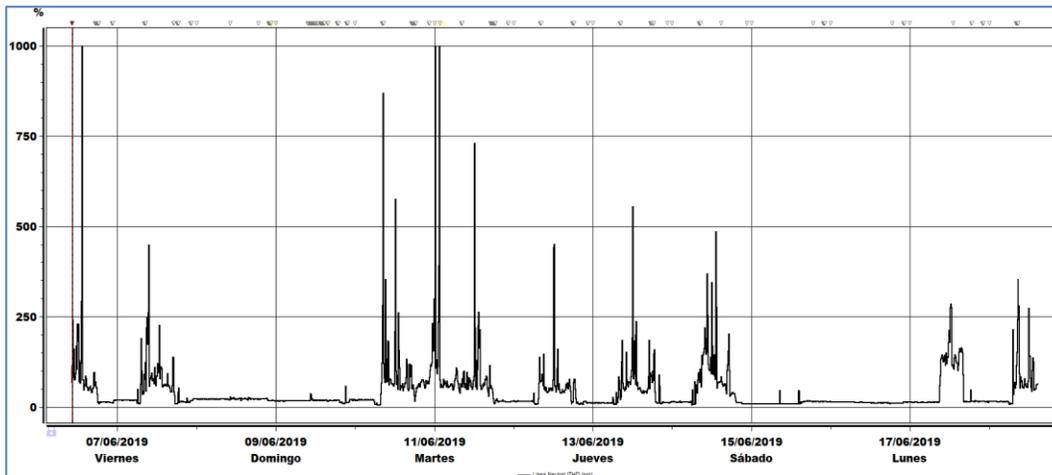
En la figura 81, se puede observar el comportamiento de los armónicos de voltaje sobre cada línea y se puede ver que para las tres líneas está por debajo del 8 % que establece la normativa NTSD para tolerancias de distorsión armónica de la tensión, en su capítulo IV y artículo 32.

Figura 82. **Distorsión armónica de corriente THDi %**



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

Figura 83. **Distorsión armónica de corriente en el neutro THDi%**



Fuente: elaboración propia, empleando analizador de red Dranetz *Guide* HDQP.

- Conclusiones de la distorsión armónica en la corriente:

En la figura 82, se puede apreciar la presencia de armónicos de corriente, por arriba del 20 % para la línea 3, la cual tiene un valor promedio de 35 % de armónicos.

En la figura 83, se aprecia el comportamiento de armónicos en la corriente del neutro, tomando un valor de armónicos de 45 %, lo cual puede dañar la vida útil de todos los equipos de la instalación, tales como: electrónicos, lámparas led, entre otros.

4.1.5. Análisis de consumos mensuales

Se tabuló un historial de consumo de energía de las instalaciones eléctricas del edificio, correspondientes al número de medidor de energía F-88395 propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala.

El servicio contratado es de baja tensión horaria con demanda – BTHD con:

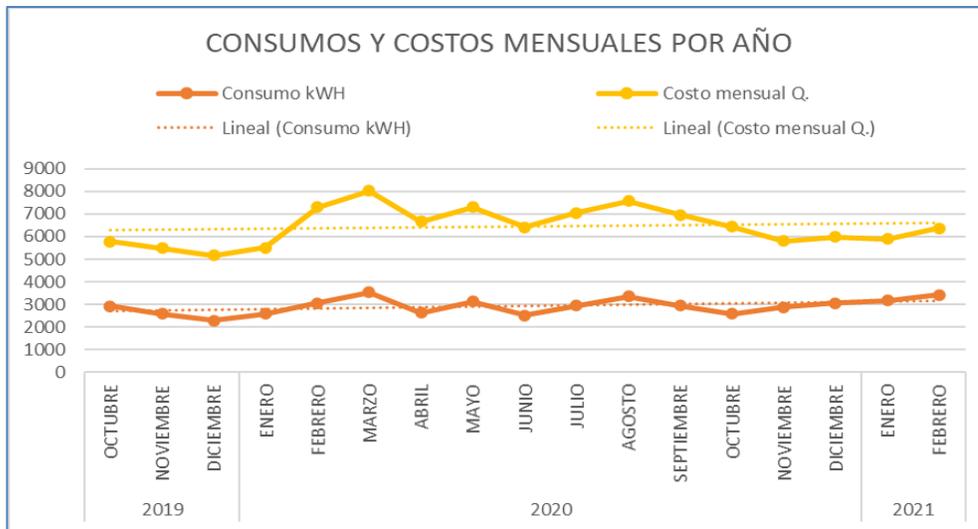
- Potencia contratada de 40,8 kW.
- Con demanda máxima registrada promedio de 18 kW.
- Factor de potencia aproximado de 0,91.
- Historial de consumo promedio mensual de 3 000 kWh.

Tabla XXI. Consumo de energía mensual con histórico 2019 a 2021

Año	Mes	Consumo kWh	Costo mensual
2019	OCTUBRE	2921	Q 5,789.32
	NOVIEMBRE	2591	Q 5,497.77
	DICIEMBRE	2285	Q 5,169.79
2020	ENERO	2598	Q 5,505.28
	FEBRERO	3060	Q 7,302.80
	MARZO	3540	Q 8,021.57
	ABRIL	2640	Q 6,673.88
	MAYO	3120	Q 7,305.29
	JUNIO	2520	Q 6,423.63
	JULIO	2940	Q 7,040.79
	AGOSTO	3360	Q 7,571.40
	SEPTIEMBRE	2940	Q 6,985.06
	OCTUBRE	2580	Q 6,445.33
	NOVIEMBRE	2880	Q 5,794.63
	DICIEMBRE	3060	Q 5,986.76
2021	ENERO	3180	Q 5,896.45
	FEBRERO	3420	Q 6,362.00

Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel 2012.

Figura 84. Consumos y Costos histórico 2019 a 2021



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

- Conclusiones:

En los gráficos de la figura 84 se pueden apreciar las tendencias de consumo de energía y el costo de facturación, como se puede observar, el consumo de energía ha tenido un leve incremento desde los datos del 2019, pero siempre manteniéndose dentro del valor de la potencia contratada de 40,8 kW. Además, se puede apreciar que, debido a los justes tarifarios se observa una disminución de costo de energía, dicho ajuste tarifario está variando según el precio del kWh definido en el pliego tarifario.

4.2. Levantamiento de las instalaciones eléctricas actuales

Se realizó una inspección en campo de las instalaciones eléctricas existentes del edificio de la Biblioteca Nacional de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, para identificar todos los elementos que la conforman.

4.2.1. Levantamiento de tableros eléctricos

Las tablas XXII y XXIII, muestran el resumen de los tableros eléctricos encontrado en la inspección de campo, tipo de alimentador y área que alimentan.

Tabla XXII. Descripción de los tableros eléctricos

Nombre del tablero	Tipo de tablero	Tamaño de la barra	Núm. de polos	Voltaje nominal (V)	Núm. de fases y núm. de hilos	Núm. de conductor del alimentador
Tablero general Biblioteca	Centro de carga	400	32	120/240	3F ; 4H	2 Núm. 1/0 AWG
Tablero conservación 1	Centro de carga	125	16	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 4 AWG
Tablero conservación 2	Centro de carga	100	12	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 8 AWG
Sótano alimentación T1 y T2	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 1/0 AWG
T2 Lobby 1 nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 4 AWG
T3 Lobby 1 nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 4 AWG
6 nivel restauración	Centro de carga	100	24	120/240	3F ; 4H	1 Núm. 2 AWG
T1 lobby 1 nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 Núm. 1/0 AWG

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

4.2.2. Levantamiento de cargas eléctricas

Las tablas de la XXIII a la XXIV describen el resumen de las cargas encontradas por cada tablero eléctrico que conforma la instalación.

Tabla XXIII. **Detalle de cargas tablero general biblioteca**

Núm. de circuito	Nombre del tablero	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA	Distancia metros
1	Tablero conservación 1	2X70	Núm. 4	3 600	100
2	Tablero conservación 2	2X70	Núm. 4	1 920	90
3	Sótano alimentación T1 y T2	2X100	Núm. 1/0	12 456	50
4	T2 lobby 1 nivel	2X100	Núm. 4	10 100	75
5	T3 lobby 1 nivel	2X100	Núm. 4	11 900	65
6	Carga especial	1X50	Núm. 4	0	---
7	6 nivel restauración	3X100	Núm. 2	6 500	175
8	Transformador seco 7,5 kVA	2X60	Núm. 6	7 500	15
9	T1 lobby 1 nivel	2X100	Núm. 1/0	13 600	75
10	Elevador	3X60	Núm. 2	0	---
TOTAL VA				67 576	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXIV. **Detalle de cargas tablero conservación 1**

Núm. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
2	Oficina y ventanilla	1X20	Núm. 12	350
3	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
4	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
5	Salón de lectura	1X20	Núm. 12	350
6	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
7	Ventiladores	1X20	Núm. 12	400
8	Ventiladores	1X20	Núm. 12	400
9	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
10	Fuerza	1X20	Núm. 12	200
11	Oficina	1X20	Núm. 12	200
12	Salón de lectura	1X20	Núm. 12	300
13	Revistas	1X20	Núm. 12	200
14	Revistas	1X20	Núm. 12	200
TOTAL VA				3 600

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.(software y año).

Tabla XXV. **Detalle de cargas tablero conservación 2**

Núm. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Aire sala	2X50	Núm. 12	640
2	Aire oficina	2X40	Núm. 12	640
3	Aire sala	2X50	Núm. 12	640
TOTAL VA				1 920

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXVI. **Detalle de cargas sótano T1 y T2, Panel #1**

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Iluminación red social	1X20	No. 10	400
2	Bomba de agua	2X70	No. 10	1256
3	Tomacorriente 220 ALMC	2X40	No. 10	400
4	Iluminación micro	1X20	No. 10	300
5	Iluminación micro	1X20	No. 10	300
6	Iluminación 2N	1X20	No. 10	300
7	Iluminación 2N	1X20	No. 10	300
8	Iluminación 2N	1X20	No. 10	300
9	Tomacorriente 2NB	1X20	No. 10	400
10	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
11	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
12	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
13	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
14	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
15	Iluminación computación	1X20	No. 10	400
16	Iluminación 1N bodega	1X30	No. 10	300
17	Iluminación 1N bodega	1X30	No. 10	300
18	Iluminación 1N bodega	1X20	No. 10	300
TOTAL VA				7256

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXVII. **Detalle de cargas sótano T1 y T2, panel #2**

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Iluminación corredor sótano	1X20	No. 12	300
2	Iluminación conta	1X20	No. 12	500
3	Tomacorrientes Carp	1X30	No. 10	500
4	Iluminación corredor, almacen y garaje	1X20	No. 12	400
5	Iluminación conta PRY	1X20	No. 12	400
6	Iluminaicon bodega baño	1X20	No. 12	300
7	Iluminación Braille	1X20	No. 12	500
8	Iluminaicon Carp	1X20	No. 12	500
9	Iluminación canje y dona	1X20	No. 12	400
10	Iluminación	1X20	No. 12	350
11	Iluminación	1X20	No. 12	350
12	Iluminación	1X20	No. 12	350
13	Iluminacion	1X20	No. 12	350
TOTAL VA				5200

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXVIII. Detalle de cargas T2 lobby nivel 1

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Fuerza	1X20	No. 12	350
2	Fuerza	2X20	No. 12	350
3	TB2 Hemeroteca 2N	2X20	No. 12	800
4	Fuerza	2X20	No. 12	350
5	Iluminación Lobby Col	1X20	No. 12	400
6	Iluminación Lobby Col. Gen	1X30	No. 10	400
7	Iluminación Lobby Col. Gen	1X20	No. 12	400
8	Iluminación Sur Lobby	1X20	No. 12	400
9	Iluminación Col. Información	1X20	No. 12	400
10	Iluminación Lobby col.	1X30	No. 10	400
11	Iluminación Lobby col. Escalera	1X20	No. 12	400
12	Fuerza	1X20	No. 12	350
13	Iluminación Nivel Lobby	1X20	No. 12	400
14	Iluminación Nivel Lobby	1X20	No. 12	400
15	Iluminación sector	1X20	No. 12	400
16	Iluminación col escalera	1X30	No. 10	400
17	Iluminación entrada principal	1X20	No. 12	400
18	Iluminación entrada principal	1X20	No. 12	400
19	Iluminación SRL 2 nivel	1X20	No. 12	400
20	Iluminación SRL 2 nivel	1X20	No. 12	400
21	Fuerza	1X20	No. 12	350
22	Iluminación SRL 2 nivel	1X20	No. 12	400
23	Iluminación SRL 2 nivel	1X20	No. 12	400
24	Iluminación col. NAC 2 nivel	1X20	No. 12	400
25	Fuerza	1X20	No. 12	350
			TOTAL VA	10100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXIX. **Detalle de cargas T3 lobby nivel 1**

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Iluminación y tomacorriente 7N	1X20	No. 12	200
2	Hemerotequita	1X20	No. 12	200
3	Fuerza	1X20	No. 12	300
4	Fuerza	1X20	No. 12	300
5	Fuerza	1X20	No. 12	300
6	Hemerotequita	1X20	No. 12	200
7	Fuerza	1X20	No. 12	300
8	Fuerza	1X20	No. 12	350
9	Fuerza	1X20	No. 12	400
10	Fuerza	1X20	No. 12	350
11	Fuerza	1X20	No. 12	350
12	Fuerza	1X20	No. 12	350
13	Iluminación 7N	1X20	No. 12	300
14	Iluminación 7N	1X20	No. 12	300
15	Iluminación 7N	1X20	No. 12	300
16	Iluminación 7N	1X20	No. 12	300
17	Iluminación 7N	1X20	No. 12	300
18	Iluminación 7N	1X20	No. 12	350
19	Fuerza	1X20	No. 12	250
20	Fuerza	1X20	No. 12	250
21	Fuerza	1X20	No. 12	250
22	Fuerza	1X20	No. 12	250
23	Fuerza	1X20	No. 12	250
24	Iluminación 3N	1X20	No. 12	350
25	Iluminación 3N	1X20	No. 12	350
26	Iluminación 3N	1X20	No. 12	350
27	Fuerza	1X20	No. 12	200
28	Tomacorriente 3N	1X20	No. 12	200
29	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
30	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
31	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
32	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
33	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
34	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
35	Iluminación 3N	1X20	No. 12	300
36	Fuerza	1X20	No. 12	250
37	Iluminación para baños SN	1X20	No. 12	250
38	Fuerza	1X20	No. 12	250
39	Fuerza	1X20	No. 12	250
40	Tomacorriente 7N	1X20	No. 12	200
41	Fuerza	1X20	No. 12	250
42	Iluminación 5 NR	1X20	No. 12	200
			TOTAL VA	11900

Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel 2012.

Tabla XXX. Detalle de cargas 6 nivel restauración

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Iluminación	1X20	No. 12	900
2	Iluminación	1X20	No. 12	800
3	Iluminación	1X20	No. 12	800
4	Fuerza	2X50	No. 10	400
5	Fuerza	2X50	No. 10	400
6	Iluminación	1X20	No. 12	900
7	Iluminación	1X20	No. 12	800
8	Iluminación	1X20	No. 12	700
9	Fuerza	2X50	No. 10	400
10	Fuerza	2X50	No. 10	400
TOTAL VA				6500

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXXI. Detalle de cargas transformador seco

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Tomacorriente micro	1X30	No. 10	800
2	Tomacorriente micro	1X30	No. 10	800
3	Tomacorriente Braille computadora	1X20	No. 10	4300
4	Tomacorriente col. NAC 2 nivel	1X30	No. 10	800
5	Tomacorrientes pasillo Braille	1X30	No. 10	800
TOTAL VA				7500

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXXII. **Detalle de cargas T1 lobby nivel 1**

No. de circuito	Descripción de la carga	Protección amperios	Calibre de conductor THHN	POTENCIA VA
1	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
2	Fuerza	1X20	No. 12	400
3	Iluminación 9 N	1X20	No. 12	600
4	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
5	Fuerza	1X20	No. 12	400
6	Iluminación 9 N	1X20	No. 12	600
7	Iluminación 9 N	1X20	No. 12	600
8	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
9	Iluminación 9 N	1X20	No. 12	600
10	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
11	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
12	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
13	Iluminación col. N2N	1X20	No. 12	600
14	Tomacorriente col. N2N	1X20	No. 12	400
15	Fuerza	1X30	No. 10	400
16	Iluminación SRL 2N	1X30	No. 10	600
17	Tomacorriente 2N Hemeroteca	1X30	No. 10	400
18	Tomacorriente 2N Hemeroteca	1X30	No. 10	400
19	Iluminación	1X20	No. 12	600
20	Iluminación	1X20	No. 12	600
21	Fuerza	1X20	No. 12	400
22	Fuerza	1X20	No. 12	400
23	Fuerza	1X20	No. 12	400
24	Fuerza	1X20	No. 12	400
25	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
26	Iluminación 8 N	1X20	No. 12	600
			TOTAL VA	13600

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

4.2.3. Levantamiento de luminarias existentes

Se hizo un levantamiento en campo de la cantidad de luminarias existentes en áreas comunes. Los resultados se detallan en la tabla XXIII:

Tabla XXXIII. Cantidad de luminarias y distribución

NOMBRE DEL ÁREA	# DE LUMINARIAS	TIPO
Nivel 6	61 lámparas 2x40 w	Led
Nivel 7	64 lámparas 2x40 w	Led
Nivel 4	37 lámparas 2x40 w	Fluorescente
	12 reflectores 2x45 w	Incandescentes
Hemeroteca nivel 3	24 lámparas 2x40	Led
Hemeroteca Nacional nivel 3	24 lámparas 2x40	Led
Salon Rafael Landívar nivel 3	35 lámparas 2x40	Led
Sala Nacional nivel 3	38 Lámparas 2x40	Led
Sótano/escuela de braile	10 Lámparas 2x40	Fluorescente
Centro de Cómputo	13 Lámparas 2x40	Fluorescente
Nivel 1/sala de lectura infantil	14 lámparas 2x40	Fluorescente
Nivel 1/sala de lectura	25 lámparas 2x40	Fluorescente
Nivel 5	55 lámparas 2x40	Led
Nivel 8	62 lámparas 2x40 w	Led

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

4.2.4. Subestación eléctrica existente

El edificio de Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” se encuentra alimentado por un banco de transformación, propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala.

Tabla XXXIV. **Banco de transformación existente**

Tipo de transformador	Convencional
Conexión	Trifásica Delta Abierta
Voltaje	120/240 Voltios
Potencia	1x15 kVA 1x50 kVA
Impedancia	Bajas pérdidas

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

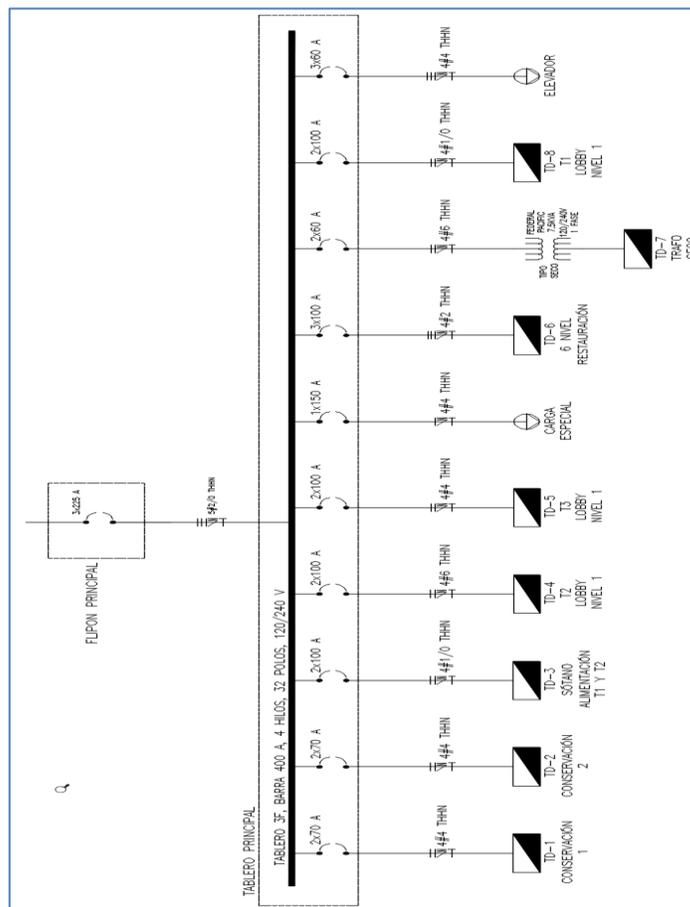
- Para un sistema de dos transformadores en delta abierta:
 - la capacidad final de utilización será del 86,6 % de la suma de la capacidad de los dos transformadores siendo de la misma capacidad.
 - Para dos transformadores de distinta capacidad en conexión trifásica la capacidad instalada será raíz de tres por el transformador de menor capacidad.
- La capacidad de la subestación con conexión delta-abierta y diferentes capacidades de transformadores es de:
 - Carga monofásica de 35 kVA con 120/240 voltios
 - Carga trifásica de 25,98 kVA con 120/240 voltios

Se debe considerar que, para una conexión en Delta Abierta se tiene disponible la cuarta línea para un sistema trifásico.

4.2.5. Diagrama unifilar de la red existente

En la figura 67, se puede observar el diagrama unifilar de las instalaciones actuales de los ramales principales, tablero principal y tableros secundarios.

Figura 85. Diagrama unifilar de las instalaciones actuales



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

5. PROPUESTA DE MEJORA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Según lo establecido en el marco metodológico capítulo 3, se realiza el cálculo para el diseño de las instalaciones eléctricas de la Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”. Tomando en cuenta: los materiales, factores eléctricos, temperatura del lugar y tipo de carga eléctrica.

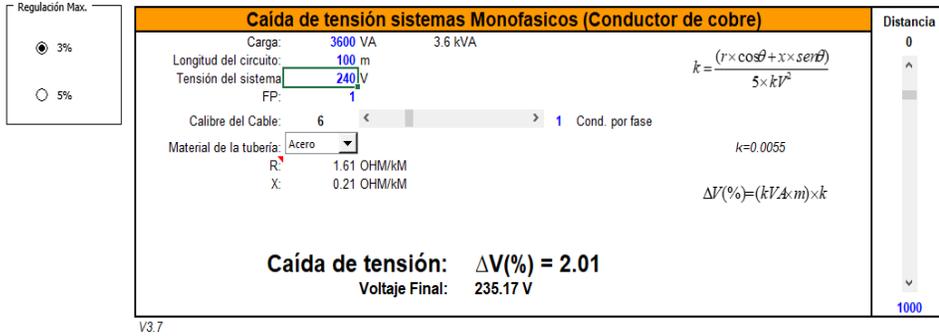
5.1. Cálculo de conductores

Se realiza el cálculo de conductores por caída de tensión según lo establecido en el Capítulo 3, para realizar los cálculos teóricos se empleó una hoja de datos Excel. Considerando una caída de tensión del 3 % para ramales, resistividad del cobre de $0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$, potencia de la carga en VA, voltaje nominal de 120/240 V, tubería de metal y la longitud en metros del alimentador.

5.1.1. Cálculo de conductores para ramales

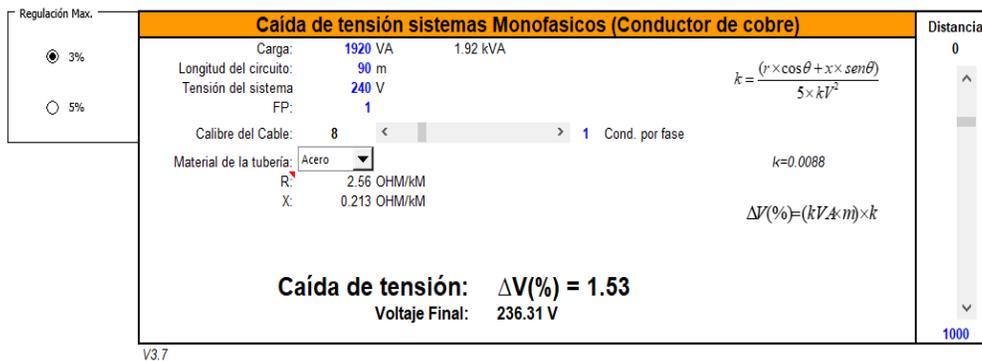
En la figura 86 se describe el ramal de tablero de conservación.

Figura 86. Ramal de tablero conservación 1



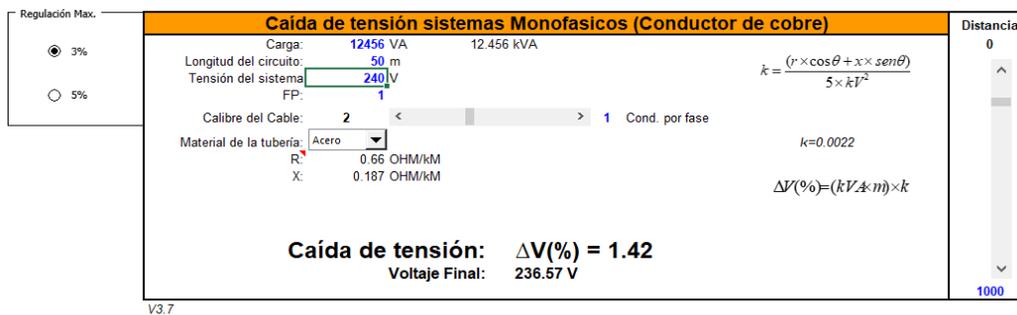
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Figura 87. Ramal de tablero conservación 2



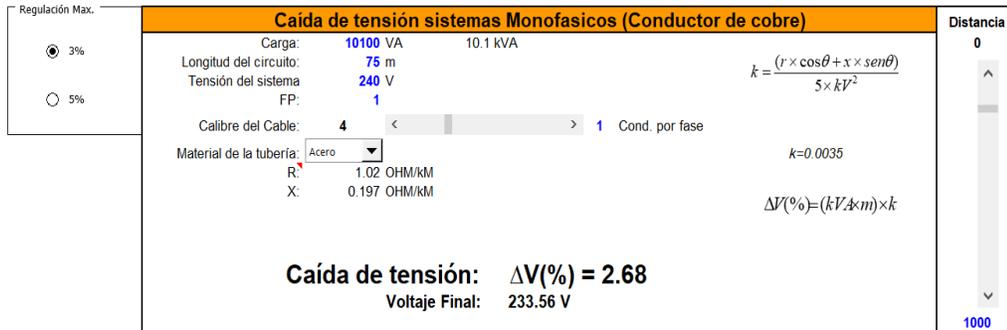
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Figura 88. Ramal de tablero de sótano, alimentación T1 y T2



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

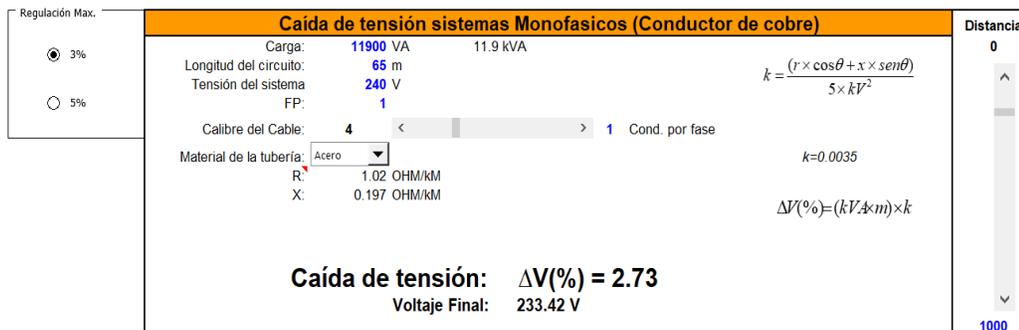
Figura 89. Ramal de tablero T2 lobby nivel 1



V3.7

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

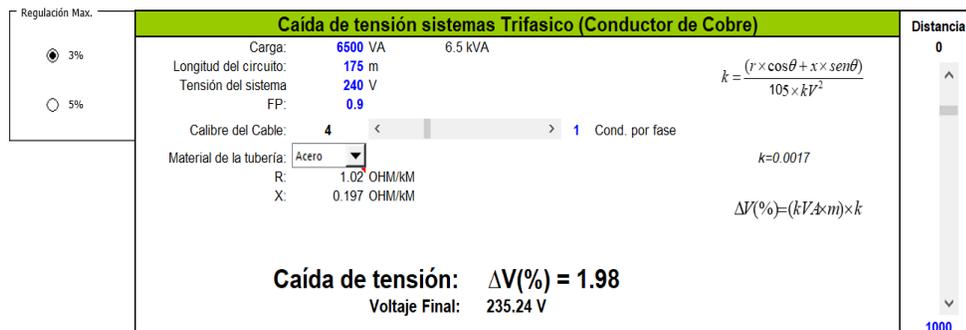
Figura 90. Ramal de tablero T3 lobby nivel 1



V3.7

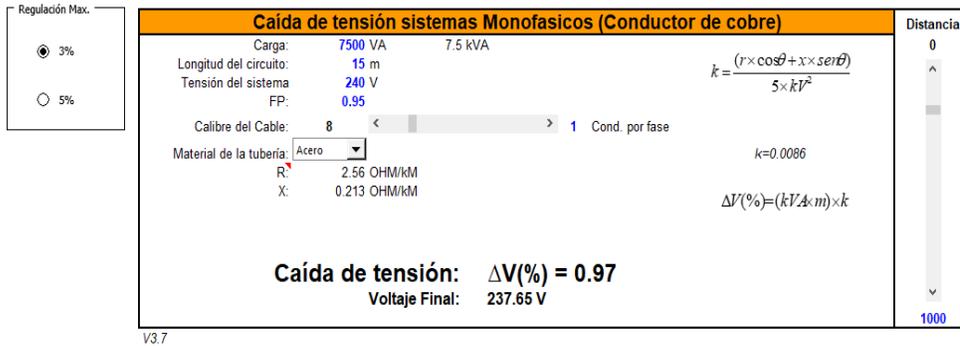
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Figura 91. Ramal de tablero Nivel 6, restauración



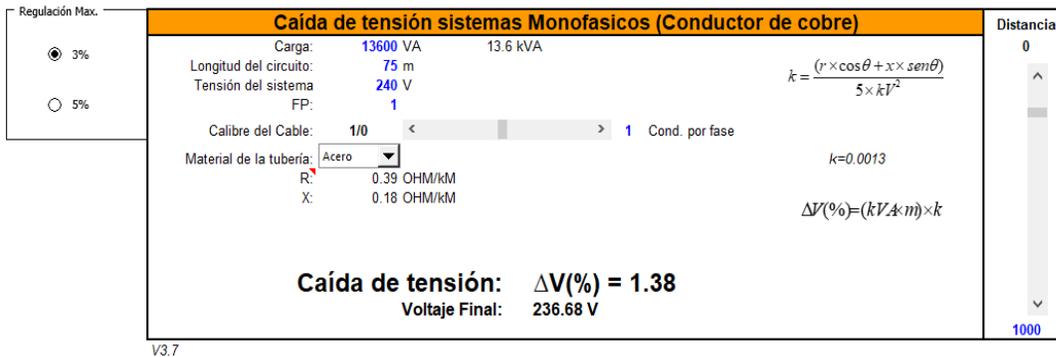
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Figura 92. Alimentador de transformador seco 7,5KVA



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Figura 93. Ramal de T1 lobby nivel 1



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.1.2. Cálculo de conductor para alimentador principal

En la figura 94 alimentador de tablero principal se describen los resultados del diseño.

Figura 94. Alimentador de tablero principal

Calculo de Alimentador	
Datos de la Carga	
Carga nominal:	67576 VA
Tension del sistema:	240 V
Fp:	0.9
Eff:	100 %
Factor de diseño:	125 %
Corriente:	162.56 A
Datos del Conductor	
Calibre:	2 AWG/MCM
Capacidad nominal:	115 A
Factor correccion Temp:	1
Conductores por fase:	2
Capacidad Total:	230.00 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.2. Cálculo de tablero principal y subtableros eléctricos

Se realiza la selección del tablero principal y subtableros, según lo establecido en el capítulo 3 y para realizar los cálculos teóricos se emplea una hoja de cálculo en Excel. Tal como se describe a continuación:

- Se elige un tablero tipo industrial para el tablero principal, ya que supera los 225 amperios, un voltaje trifásico de 120/240 voltios, capacidad mínima de 21 polos y tipo sobrepuesto.
- Se diseña la posición de las cargas en el tablero buscando un sistema balanceado de corriente.
- Para los subtableros se eligen centros de carga ya que no supera los 225 amperios, conexión monofásica o trifásica según el caso, voltaje 120/240 voltios, número de polos según la cantidad de circuitos que alimenta y todos deben ser sobrepuestos.

5.2.1. Cálculo de tablero principal

En la figura 95. se realiza la descripción del cálculo de tablero principal.

Figura 95. Tablero principal

TABLERO ELECTRICO																															
Tipo de Tablero: N.LAB		Instalación: Auto soportado			C. Interrupción (kA): 22			Fases: 3		Proyecto: EPS Biblioteca Nacional de Guatemala Luis Cardoza y Aragon																					
Polos: 32		Cerramiento NEMA: 3R			Color: GRIS INDUSTRIAL			Alimentador Principal: Calibre		Cnd X fase		Conduit		Entrada		Instalación: Biblioteca Nacional de Guatemala Luis Cardoza y Aragon															
Voltaje del Tablero [V]: 240		Corriente de Barras [A]: 400			Interrupcion principal 3P [A]: 300			1/0 AWG		THHN		2		4		Interior		Nombre del Tablero: Tablero General Biblioteca													
R	Carga Conectada	VA	Tubería			Conductor			Interrupcion			Nº	Nº	Interrupcion			Conductor			Tubería		VA	Carga Conectada	R							
			Material	Diametro [pul]	Cond. por fase	Aislante	Calibre	Tipo	In [A] 3P	In [A] 3P	Tipo			Calibre	Aislante	Cond. por fase	Diametro [pul]	Material	VA	Carga Conectada											
	1800	1800	Acero	2	1	THHN	4 AWG	QC	70	11	2											2167									
	0	0								13	4											2167	6 Nivel Restauracion								
	960	960	Acero	2	1	THHN	4 AWG	QC	70	5	6											3750									
	0	0								7	8											3750									
	6228	6228	Acero	2	1	THHN	1/0 AWG	QC	100	9	10											6800	Transformador Seco								
	0	0								10	10											6800	T1 Lobby Nivel 1								
	0	0								11	12											6800									
	5050	5050	Acero	2	1	THHN	4 AWG	QC	100	13	14											1334									
	0	0								15	16											1334	Elevador								
	0	0								16	18											1334									
	0	0								17	18																				
	0	0								19	20																				
	0	0								21	22																				
	0	0								22	24																				
	0	0								23	24																				
	0	0								25	26																				
	0	0								26	26																				
	0	0								27	28																				
	0	0								28	30																				
	0	0								29	30																				
	0	0								31	32																				
	0	0								32	32																				
		VA		A		% POT.														RESERVA											
		25761		61.97		0.35														13002.00		VA									
		24339		58.55		0.33																									
		24479		58.89		0.33																									
		TOTAL		74579																											

Fuente elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.2.2. Cálculo de subtableros

En la figura 96, se realiza la descripción de los subtableros.

Figura 96. **Subtableros**

ALIMENTACIÓN A TABLERO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FASE A CONECTAR	NÚMERO DE CIRCUITOS	POTENCIA EN WATS	DETALLES DEL TABLERO
Conservación 1	120/240	15	2	14	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 16 polos, barra de 100 amperios
Conservación 2	120/240	8	2	3	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 12 polos, barra de 100 amperios
Sótano alimentación T1	120/240	31,5	2	18	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 42 polos, barra de 100 amperios
Sótano alimentación T2	120/240	21,75	2	13	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
T2 Lobby nivel 1	120/240	42,1	2	25	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
T3 Lobby Nivel 1	120/240	49,6	2	42	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 42 polos, barra de 100 amperios
6 nivel restauración	120/240	27,1	3	10	0	Tablero tipo centro de carga, trifásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
Transformador seco	120/240	31,26	2	5	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 8 polos, barra de 100 amperios
T1 Lobby Nivel 1	120/240	56,67	2	26	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios

Fuente elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.3. Cálculo de protecciones

Para la selección de interruptor principal de cada tablero se tomó en cuenta la característica fundamental de la corriente que circula en cada fase de alimentación. Para proteger el tablero y las cargas que cada tablero lleva conectadas.

Selección de protecciones para cada tablero:

Figura 97. **Protecciones para cada tablero eléctrico**

ALIMENTACIÓN A TABLERO	VOLTAJE (V)	CORRIENTES (A)			INTERRUPTOR PRINCIPAL SELECCIONADO
		FASE A	FASE B	FASE C	
Tablero principal	120/240	225	225	225	3 X 225 A
Conservación 1	120/240	19	19		2 X 30 A
Conservación 2	120/240		10	10	2 X 30 A
Sótano alimentación T1 y T2	120/240	65	65		2 X 70 A
T2 Lobby nivel 1	120/240	52,5	52,5		2 X 70 A
T3 Lobby Nivel 1	120/240		62,5	62,5	2 X 70 A
6 nivel restauración	120/240	35	35	35	3 X 50 A
Transformador seco	120/240	40	40		2 X 50 A
T1 Lobby Nivel 1	120/240	72		72	2 X 100 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.4. Cálculo de subestación por demanda

Se realizó el cálculo de subestación eléctrica según lo establecido en el Capítulo 3. Considerando la potencia total de carga según los estudios realizados de calidad de energía e historial de consumo en facturas, para un voltaje trifásico de 120/240 voltios según el sistema y considerando un aumento por diseño de 25 % para el crecimiento de la carga.

Se considera un sistema trifásico con conexión Estrella – Delta, tomando en cuenta que se tiene mayor carga monofásica, pero si a futuro se desea instalar nuevamente el elevador no se tendría problema bajo esta configuración. Sin embargo, es importante que, para esta configuración, las cargas estén balanceadas.

Datos recopilados del levantamiento y del estudio de calidad de energía para el edificio Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”:

- Carga total máxima registrada es de 41,30 KVA y en promedio el sistema se mantiene en 14,4 KVA.
- Potencia activa máxima registrada en estudio 38,42 kW.
- Potencia contratada 40,8 kW.
- Demanda máxima registrada 18 kW.

Por lo que se requiere un banco de transformación como mínimo de 50 KVA, bajo las siguientes opciones:

- Opción #1: considerando que solo se tienen cargas monofásicas y que se necesita un voltaje de 120/240 V, se recomienda instalar un transformador tipo *Pad Mounted* con capacidad de 50 kVA, de bajas pérdidas.
- Opción #2: se considera un sistema trifásico para futuras cargas (tales como poner en servicio el elevador del edificio), para este arreglo se mantiene un voltaje de 120/240 V para cargas mayormente monofásicas por lo que se recomienda para el banco de transformación una conexión Estrella – Delta. Se debe tomar en cuenta que es importante hacer un balance de cargas monofásicas en esta opción.

El actual banco de transformación se encuentra bajo la conexión Delta Abierta, esta conexión se utiliza mayormente como recurso de emergencia, cuando se tiene uno de los tres transformadores dañados, ya que permite seguir operando bajo un porcentaje de la potencia total del banco que depende si la capacidad de cada transformador es igual o diferente.

5.5. Cálculo de iluminación

Para el cálculo lumínico de cada área del edificio Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón”, se aplicarán las fórmulas definidas en el capítulo 2, inciso 2.13.2.1, para la selección del factor de mantenimiento se hace referencia en la tabla XII, para el cálculo del índice del local (k) se hace referencia en las figuras 26 y 27 y para la selección del coeficiente de utilización se hace referencia a la tabla XV.

- Área de iluminación para sala de lectura ubicada en el nivel 1. Sus características son:
 - Largo: 21 m y ancho: 9,45 m
 - Área: 198,45 m²
 - Nivel de iluminación: 300 luxes
 - Tipo de lámpara: led, 32W de 5 pies, marca Sylvania, línea tubos ToLEDo Superia T8.
 - Flujo luminoso de la lámpara: 3 200 lúmenes
 - Altura de montaje (en techo): 3,30 m
 - Altura del local (h): 2,45 m
 - Altura del plano de trabajo: 0,85 m
 - Altura de montaje en techo 3,30 m
 $h = (3,30 - 0,85) = 2,45m$
 - Cu: 0,64; en donde el índice del local (k) es:
$$k = \frac{5 * (9,45 + 21) * 2,45}{198,45} = 1,88$$
 - Fm: 0,80

Aplicando la fórmula correspondiente con los datos indicados, se obtiene el número de luminarias necesarias:

$$N = \frac{300 * 198,45}{1 * 3200 * 0,8 * 0,64} = 36,3 \cong 36 \text{ luminarias}$$

En la tabla XXXV se muestran los resultados para las demás áreas en el santuario, las cuales fueron calculadas como en el área anterior:

Tabla XXXV. **Cálculo de luminarias en áreas de biblioteca central**

ÁREA A ILUMINAR	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m ²)	NIVEL DE ILUMINACIÓN (LUXES)	FLUJO LUMINOSO DE LA LÁMPARA (LUMENES)	ALTURA DE MONTAJE m	ALTURA DEL PLANO DE TRABAJO m	ALTURA LOCAL	ÍNDICE LOCAL	COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (Cu)	FACTOR DE MANTENIMIENTO	NÚMERO DE LUMINARIAS
NIVEL 6	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67
NIVEL 7	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67
NIVEL 4	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67
HEMEROTECA NIVEL 3	12	9,45	113,4	200	2650	3,3	0,85	2,45	2,32	0,68	0,8	16
HEMEROTECA NACIONAL NIVEL 3	18	9,45	170,1	300	3200	3,3	0,85	2,45	1,98	0,64	0,8	31
SALÓN RAFAEL LANDÍVAR NIVEL 3	28,55	14,27	407,409	300	3200	3,3	0,85	2,45	1,29	0,59	0,8	81
SALA NACIONAL NIVEL 3	36	9,45	340,2	300	3200	3,3	0,85	2,45	1,64	0,64	0,8	62
SÓTANO / ESCUELA BRAILE	9,47	6	56,82	300	3200	3,3	0,85	2,45	3,34	0,75	0,8	9
CENTRO DE CÓMPUTO	9,48	9	85,32	300	3200	3,3	0,85	2,45	2,65	0,71	0,8	14
NIVEL 1 / SALA DE LECTURA INFANTIL	12	9,45	113,4	300	3200	3,3	0,85	2,45	2,32	0,68	0,8	20
NIVEL 1 / SALA DE LECTURA	21	9,45	198,45	300	3200	3,3	0,85	2,45	1,88	0,64	0,8	36
NIVEL 5	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67
NIVEL 8	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67
NIVEL 9	28,55	12	342,6	200	2650	2,4	0,85	1,55	0,92	0,48	0,8	67

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

5.6. Cálculo del sistema de puesta a tierra

Se procede a seleccionar el calibre del conductor de puesta a tierra, el cual se elige de las tablas VIII y IX del capítulo 2, inciso 2.4.6, lo cual indica que

si se tiene un amperaje entre 200 y 300 amperios se debe seleccionar un calibre núm. 4, teniendo en cuenta que el tablero principal distribuye 215 amperios aproximadamente.

Teniendo seleccionado el calibre del conductor a utilizar y conociendo que la resistividad del terreno es de 30Ω , se procede a realizar el cálculo del sistema de puesta a tierra bajo la Norma IEEE-80, la cual indica que el valor de la resistencia a tierra debe ser menor a 5Ω .

El sistema de puesta a tierra que se utilizará será una malla de 4 varillas de cobre 5/8"x8' tipo UL con las siguientes características:

- Área de la malla (A) = 25 m^2
- Profundidad de las varillas (S) = 0,5 m
- Resistividad del terreno (ρ) = 30Ω
- Longitud de las varillas (L) = 2,44 m
- Radio de las varillas (Rv) = 0,008 m
- Radio del conductor eléctrico (Rc) = 0,003 m
- Suma de longitud de conductor de puesta a tierra (B) = 75 m
- Número de varillas (n) = 4
- Lado más corto de la malla (L1) = 5 m
- Lado más largo de la malla (L2) = 5 m

Se deja constancia de los cálculos siguientes:

- Cálculo de constantes de geometría para profundidad S

$$K1 = -0,05 * \frac{L2}{L1} + 1,2 = 1,15$$

$$K2 = 0,1 * \frac{L2}{L1} + 4,68 = 4,78$$

- Resistencia de los conductores de la malla (R1)

$$R1 = \frac{\rho}{\pi * B} * \left(\ln \left(\frac{2 * B}{\sqrt{2} * Rc * S} \right) + \frac{K1 * B}{\sqrt{A}} - K2 \right) = 2,438 \Omega$$

- Resistencia de todas las varillas (R2)

$$R2 = \frac{\rho}{2 * \pi * n * L} * \left(\ln \left(\frac{4 * L}{Rv} \right) - 1 + \frac{2 * K1 * L}{\sqrt{A}} * (\sqrt{n} - 1)^2 \right) = 4,007 \Omega$$

- Resistencia mutua (Rm) entre los conductores y varillas

$$Rm = \frac{\rho}{\pi * B} * \left(\ln \left(\frac{2 * B}{L} \right) + \frac{K1 * B}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right) = 4,082 \Omega$$

- Resistencia total del sistema de puesta a tierra (Rt)

$$Rt = \frac{R1 * R2 - Rm^2}{R1 + R2 - 2 * Rm} = 4,38 \Omega$$

5.7. Cálculo de pararrayos

Se realiza el cálculo de pararrayos para las instalaciones según lo establecido en el Capítulo 3. Considerando las dimensiones de la infraestructura que son 15 metros de alto y ancho de 70 metros de ancho, tipo de pararrayos y radios de cobertura, montajes según norma establecida para

accesorios y bajadas de conductor, en el anexo 7 se refiere el esquema eléctrico de conexión.

Figura 98. **Protección de pararrayo tipo pulsar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Tabla XXXVI. **Radios de cobertura de pararrayos**

Nivel de Protección	I (D = 20 m)				II (D = 45 m)				III (D = 60 m)			
	Pulsar P3S	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60	Pulsar P3S	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60	Pulsar P3S	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60
h(m)	Radios de protección RP (m)											
2	10	19	25	32	14	25	32	40	18	28	36	44
3	15	28	38	48	21	38	48	59	24	42	57	65
4	19	38	51	64	28	50	65	78	32	57	72	87
5	25	48	63	79	36	63	81	97	42	71	89	107
6	25	48	63	79	37	64	81	97	43	72	90	107
8	26	49	64	79	39	65	82	98	45	73	91	108
10	27	49	64	79	41	66	83	99	48	75	92	109
15	29	50	65	80	45	69	85	101	52	78	95	111
20	29	50	65	80	48	71	86	102	56	81	97	113
45	29	50	65	80	54	75	90	105	67	89	104	119
60	29	50	65	80	54	75	90	105	69	90	105	120

Fuente: *Actisa Pararrayos*. <https://www.atcisa.com.mx/productos/pararrayos/tabla-de-coberturas-puntas-ionizantes/>. Consulta: enero de 2021.

Para la infraestructura se elige el pararrayo Pulsar 60, categoría III, el cual tiene las siguientes características:

- Peso de 5,7 Kg
- Longitud de 2,06 metros
- Reacción de descarga de 60 microsegundos

5.7.1. Instalación del pararrayo

Para instalar un pararrayo se debe cumplir con la Norma UNE 21-186 que regula la instalación y mantenimiento de este. En dicha norma se especifica que el pararrayo debe ubicarse al menos dos metros por encima de cualquier otro elemento dentro de su radio de protección. El conductor de bajada se instalará, de forma que su recorrido sea lo más directo a la bajada a tierra evitando acodamiento pronunciado. Y el conductor debe protegerse con un tubo hasta dos metros de altura del nivel del suelo.

De acuerdo con la Norma NFC 17-102, los componentes del pararrayo son: un cabezal captador, mástil, cable conductor de bajada, tubo de protección del cable de bajada y electrodo de toma de tierra.

5.7.2. Mantenimiento del pararrayo

El mantenimiento de un pararrayo según la Norma UNE 21-186 indica que debe ser anual y se debe incluir la revisión del cabezal del pararrayo, comprobación del amarre y posible oxidación del mástil, comprobar el amarre, conectores y tubo de protección del cable conductor del pararrayos.

En la toma de tierra se debe comprobar el amarre, conectores y medida de resistencia de esta, donde no debe sobrepasar los 10 ohmios, verificar el contador de rayos en caso de existir en la instalación, comprobar que ningún elemento nuevo ha variado las condiciones originales del estudio del pararrayo y el protector contra sobretensiones que protege la instalación eléctrica del edificio.

6. COMPARACIONES TEÓRICA Y PRÁCTICA

6.1. Comparaciones de calibre de conductor y protecciones por circuito del tablero general

Después de realizado el levantamiento de las instalaciones existentes y realizado el cálculo de conductores para los circuitos del tablero principal, se identificó que el conductor instalado actualmente tiene un calibre mayor al requerido por lo que no es necesario realizar cambios en los conductores ni en las protecciones.

Tabla XXXVII. **Comparación teórica práctica de conductores y protecciones por circuito del tablero general**

No. de circuito	Nombre del tablero:	CÁLCULO PRÁCTICO		CÁLCULO TEÓRICO	
		Protección amperios	Calibre de conductor THHN	Protección amperios	Calibre de conductor THHN
	Tablero principal	3X225	2 No. 1/0	3X225	2 No. 2
1	Tablero conservación 1	2X70	No. 4	2X30	No. 6
2	Tablero conservación 2	2X70	No. 4	2X30	No. 8
3	Sótano alimentación T1 y T2	2X100	No. 1/0	2X70	No. 2
4	T2 Lobby 1 Nivel	2X100	No. 4	2X70	No. 4
5	T3 Lobby 1 Nivel	2X100	No. 4	2X70	No. 4
6	Carga especial	1X50	No. 4	NO ESTA EN USO	
7	6 Nivel restauración	3X100	No. 2	3X50	No. 4
8	Transformador seco 7,5 kVA	2X60	No. 6	2X50	No. 8
9	T1 Lobby 1 Nivel	2X100	No. 1/0	2X100	No. 1/0
10	Elevador	3X60	No. 2	NO ESTA EN USO	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

6.2. Comparaciones teórica-práctica de tableros

Después de realizar el levantamiento de tableros existentes en biblioteca central, no se logró establecer el desbalance entre las fases debido al tipo de conexión del transformador y al sistema monofásico de la instalación.

Tabla XXXVIII. **Resumen de tableros respecto al levantamiento práctico**

Nombre del tablero:	Tipo de tablero:	Tamaño de la Barra:	No. de polos	Voltaje Nominal (V)	No. de fases y no. de hilos	No. de conductor del alimentador	POTENCIA VA
Tablero General Biblioteca	Centro de carga	400	32	120/240	3F ; 4H	2 No. 1/0 AWG	48000
Tablero Conservacion 1	Centro de carga	125	16	120/240	2F ; 3H	1 No. 4 AWG	3600
Tablero Conservacion 2	Centro de carga	100	12	120/240	2F ; 3H	1 No. 8 AWG	1920
Sótano Alimentacion T1 y T2	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 No. 1/0 AWG	12456
T2 Lobby 1 Nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 No. 4 AWG	10100
T3 Lobby 1 Nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 No. 4 AWG	11900
Carga Especial							
6 Nivel Restauracion	Centro de carga	100	24	120/240	3F ; 4H	1 No. 2 AWG	6500
Transformador Seco 7.5 kVA							7500
T1 Lobby 1 Nivel	Centro de carga	200	42	120/240	2F ; 3H	1 No. 1/0 AWG	13600
Elevador							

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Después de realizar los cálculos de las cargas instaladas y con base en lo descrito en el capítulo 3 y sección 3.6.4, se eligen los tableros adecuados a la instalación.

Tabla XXXIX. Resumen de tablero respecto al cálculo teórico

ALIMENTACIÓN A TABLERO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FASE A CONECTAR	NÚMERO DE CIRCUITOS	POTENCIA EN WATS	DETALLES DEL TABLERO
Conservación 1	120/240	15	2	14	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 16 polos, barra de 100 amperios
Conservación 2	120/240	8	2	3	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 12 polos, barra de 100 amperios
Sótano alimentación T1	120/240	31,5	2	18	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 42 polos, barra de 100 amperios
Sótano alimentación T2	120/240	21,75	2	13	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
T2 Lobby nivel 1	120/240	42,1	2	25	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
T3 Lobby Nivel 1	120/240	49,6	2	42	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 42 polos, barra de 100 amperios
6 nivel restauración	120/240	27,1	3	10	0	Tablero tipo centro de carga, trifásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
Transformador seco	120/240	31,26	2	5	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 8 polos, barra de 100 amperios
T1 Lobby Nivel 1	120/240	56,67	2	26	0	Tablero tipo centro de carga, Monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

6.3. Comparaciones teórico práctico de subestación eléctrica

Actualmente, la instalación eléctrica del edificio Biblioteca Central de Guatemala “Luis Cardoza y Aragón” se encuentra alimentado por un banco de transformación trifásico bajo las características que se describen en la tabla XL.

Pero considerando que la conexión delta abierta mayormente se utiliza para casos de emergencia donde se encuentra dañado uno de los tres transformadores y no para mantener funcionando una instalación eléctrica de

este tipo, se presentan dos opciones que se calcularon en base a los resultados del estudio de calidad de energía y el historial de consumo de las facturas de energía emitidas por la distribuidora.

Tabla XL. **Comparación teórica y práctica del banco de transformadores**

INSTALACION ACTUAL		OPCION 1		OPCION 2	
Tipo de transformador	Convencional	Tipo de transformador	Pad Mounted	Tipo de transformador	Convencional
Conexión	Trifásica Delta Abierta	Conexión	Monofásica	Conexión	Estrella - Delta
Voltaje	120/240 Voltios	Voltaje	120/240 Voltios	Voltaje	120/240 Voltios
Potencia	1x15 kVA 1x50 kVA	Potencia	50 kVA	Potencia	3x25 kVA
Impedancia	Bajas perdidas	Impedancia	Bajas perdidas	Impedancia	Bajas perdidas

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un diseño de la tierra física necesaria para el edificio, dando como resultado una medición menor a cinco ohms, considerando el equipo electrónico que se maneja en el edificio y verificando que el diseño no requiere de tratamiento del suelo.
2. Es necesario un sistema de pararrayos que proteja todo el inmueble, debido a la importancia de la documentación que se maneja en el edificio, por lo que se diseñó y eligió un pararrayo para las necesidades del inmueble.
3. Se verificó que el diseño de la instalación eléctrica tenga un porcentaje de crecimiento adecuado, para tener opción a instalar equipos que a futuro necesite el edificio.
4. Se contemplaron dos opciones para el banco de transformación existente, ya que es necesario considerar un cambio de este para evitar el desbalance de corriente que se tiene actualmente.
5. Para realizar mejoras a instalaciones eléctricas, se requiere de conocimiento y criterio por parte del diseñador ya que se debe acoplar a los requisitos del inmueble, tal como este edificio que es un patrimonio cultural de la nación, por lo que cualquier modificación debe realizarse bajo la Ley General del Patrimonio Cultural de la nación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un balance de cargas eléctricas en la distribución de tableros secundarios y en el tablero principal para tener mayor eficiencia en el balance de las líneas y evitar sobrecargar los conductores.
2. Elaborar un plan de mantenimiento preventivo de toda la instalación eléctrica, buscando prolongar la vida útil de los equipos y de la instalación eléctrica. Se debe incluir dentro del plan preventivo: medición periódica de tierras físicas, mantenimiento al pararrayos, toma de termografías a los tableros para identificar puntos calientes y medición de calidad de energía para verificar que los parámetros eléctricos estén dentro de los rangos sugeridos.
3. Brindar capacitaciones a los nuevos colaboradores que se integran al grupo de trabajo del área de mantenimiento, para que tengan conocimiento del mantenimiento adecuado para prolongar la vida útil de los equipos y también para evitar accidentes eléctricos.
4. Identificar todos los tableros eléctricos con una nomenclatura accesible para tener un control de todos los activos que pertenecen a la instalación eléctrica e identificar de forma rápida los elementos cuando se necesite mantenimiento correctivo o preventivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRATU SERBAN, Neagu; CAMPERO LITTLEWOOD, Eduardo. *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño*. 2a. ed. México: Alfaomega, 1994. 150 p.
2. Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. *Normas para acometidas de servicio eléctrico, Resolución CNEE-61-2004*. 12 ed. Guatemala: 39 p.
3. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *EL ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. México: Limusa, 2000. 227 p.
4. IEEE Standards Association. *IEEE Standard for PQ-Harmonics_WG - P519*. New York: IEEE. 2014. 29 p.
5. MÉNDEZ CÉLIZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. Trabajo de graduación de Ingeniero Mecánico electrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992. 92 p.
6. MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTES. *Ley para la protección del Patrimonio Cultural de la Nación*. Guatemala: Ministerio de Cultura y Deportes, 2004. 30 p.
7. Normas NEC, 8ª. ed. 1999.

ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de calidad de energía para los parámetros de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y distorsión armónica

	A-B	B-C	C-A
MINIMO	238.9	242.2	239.5
PROMEDIO	244	246.1	245.7
MAXIMO	247.9	249.3	249.3

Corrientes en amperios

	IA	IB	IC	I NEUTRO
MINIMO	29.04	28.88	30	31.25
PROMEDIO	29.11	36.39	49.55	33.33
MAXIMO	29.36	44.90	164.6	46.05

Potencias y factor de potencia

	POTENCIAS			FACTOR DE POTENCIA
	PT(KW)	QT(KVAR)	ST(KVA)	
MINIMO	2.59	-1.11	4.40	-0.88
PROMEDIO	11.52	1.23	14.04	0.80
MAXIMO	43.44	9.35	46.88	0.86

Distorsión armónica de voltajes en %

	THD A	THD B	THD C
MINIMO	2.84%	1.46%	1.74%
PROMEDIO	4.60%	2.29%	2.75%
MAXIMO	7.98%	3.83%	4.63%
TOLERANCIA ADMISIBLE SEGÚN NORMA	8%	8%	8%

Distorsión armónica de corrientes en %

	THD IA	THD IB	THD IC	THDI NEUTRO
MINIMO	10.33%	4.34%	5.95%	5.80%
PROMEDIO	14.93%	8.36%	35.09%	45.80%
MAXIMO	35.85%	13.54%	91.47%	99.0%
TOLERANCIA ADMISIBLE SEGÚN NORMA	20%	20%	20%	20%

Fuente: Elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2012.

Anexo 2. Tolerancias para la distorsión armónica de tensión

CAPITULO IV		
DISTORSIÓN ARMÓNICA DE LA TENSION GENERADA POR EL DISTRIBUIDOR		
<p>Artículo 31. Índice de Calidad de la Distorsión Armónica de la Tensión. El índice está dado por la Distorsión Armónica de la Tensión, expresado como un porcentaje, y se calcula utilizando las fórmulas indicadas a continuación:</p>		
$DATT (\%) = (\sqrt{\sum Vi^2 / V1^2}) \times 100$		
$DAIT (\%) = (Vi / V1)$		
<p>En donde:</p>		
<p>DATT: Distorsión Armónica Total de Tensión. DAIT: Distorsión Armónica Individual de Tensión. Vi : Componente de tensión de la armónica de orden i. V1: Componente de tensión de la frecuencia fundamental (60 Hz).</p>		
<p>Artículo 32. Tolerancias para la Distorsión Armónica de Tensión.</p>		
ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMONICA INDIVIDUAL DE TENSION, DAIT [%]	
	BAJA Y MEDIA TENSION V≤60 kV	ALTA TENSION 60Kv<V≤ 230 kV
IMPARES NO MULTIPLOS DE 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7

> 25	0.2 + 1.3*25/n	0.1 + 0.6*25/n
IMPARES MULTIPLOS DE 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
PARES		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.2
DISTORSION ARMONICA TOTAL DE TENSION, DATT, EN %	8	3

Fuente: CNEE. Normas NTSD. <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>. Consulta: enero del 2021.

Anexo 3. Tolerancias para la regulación de tensión

Artículo 24. Tolerancias para la Regulación de Tensión. Todos los índices o indicadores estipulados en el Artículo anterior se calculan en relación de las tolerancias admisibles, para cada tipo de Usuario, en la Etapa que corresponda. A continuación se establecen las tolerancias de los índices o indicadores individuales y globales:

- 1. Tolerancias de los índices individuales.** Las tolerancias admitidas en la desviación porcentual, respecto de las tensiones nominales en los puntos de entrega de energía eléctrica, serán las indicadas en cada una de las Etapas de Transición y Régimen.

TENSION	TOLERANCIA ADMISIBLE RESPECTO DEL VALOR NOMINAL, EN %					
	ETAPA					
	TRANSICION		REGIMEN A partir del Mes 1 hasta el 12		REGIMEN A partir del Mes 13	
	SERVICIO URBANO	SERVICIO RURAL	SERVICIO O URBANO	SERVICIO O RURAL	SERVICIO URBANO	SERVICIO RURAL
BAJA	12	15	10	12	8	10
MEDIA	10	13	8	10	6	7
ALTA	TRANSICION		REGIMEN A partir del Mes 1 hasta el 12		REGIMEN A partir del Mes 13	
	7		6		5	

Fuente: CNEE. *Normas NTSD.*

<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>. Consulta:
enero de 2021.

Anexo 4. Tolerancias para la distorsión armónica de corriente

Artículo 42. Tolerancias para la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga. La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del Usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica, por lo que en la Tabla siguiente se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	P ≤ 10 kW V ≤ 1kV	P >10Kw 1kV < V ≤ 60kV	P >50kW v >60kV
	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA (AMP)	DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DAII, EN %	
IMPARES NO MULTIPLOS DE 3			
5	2.28	12.0	6.0
7	1.54	8.5	5.1
11	0.66	4.3	2.9
13	0.42	3.0	2.2
17	0.26	2.7	1.8
19	0.24	1.9	1.7
23	0.20	1.6	1.1
25	0.18	1.6	1.1
> 25	4.5/n	0.2 + 0.8*25/n	0.4
IMPARES MULTIPLOS DE 3			
3	4.60	16.6	7.5
9	0.80	2.2	2.2
15	0.30	0.6	0.8
21	0.21	0.4	0.4
> 21	4.5/n	0.3	0.4
PARES			
2	2.16	10.0	10.0
4	0.86	2.5	3.8
6	0.60	1.0	1.5
8	0.46	0.8	0.5
10	0.37	0.8	0.5
12	0.31	0.4	0.5

> 12	3.68/n	0.3	0.5
DISTORSION ARMONICA TOTAL DE CORRIENTE DATI, EN %	--	20	12

Fuente: CNEE. Normas NTSD. <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>. Consulta: enero del 2021.

Anexo 5. Banco de transformación existente, conexión Delta abierta



Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala "Luis Cardoza y Aragón."

Anexo 6. Instalación de equipo para medición de calidad de energía



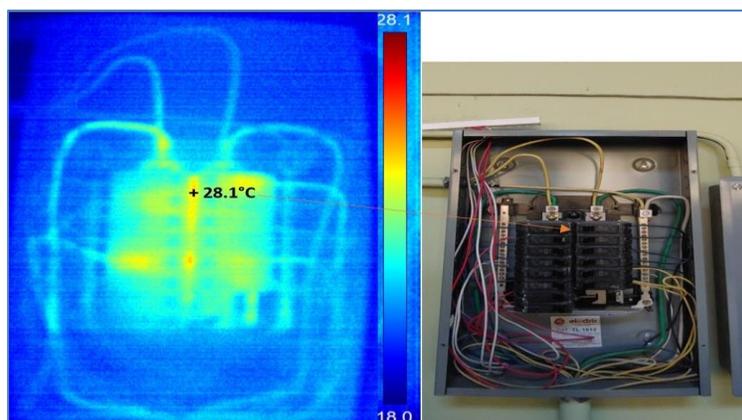
Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala "Luis Cardoza y Aragón."

Anexo 7. Medición de corriente en los tableros eléctricos



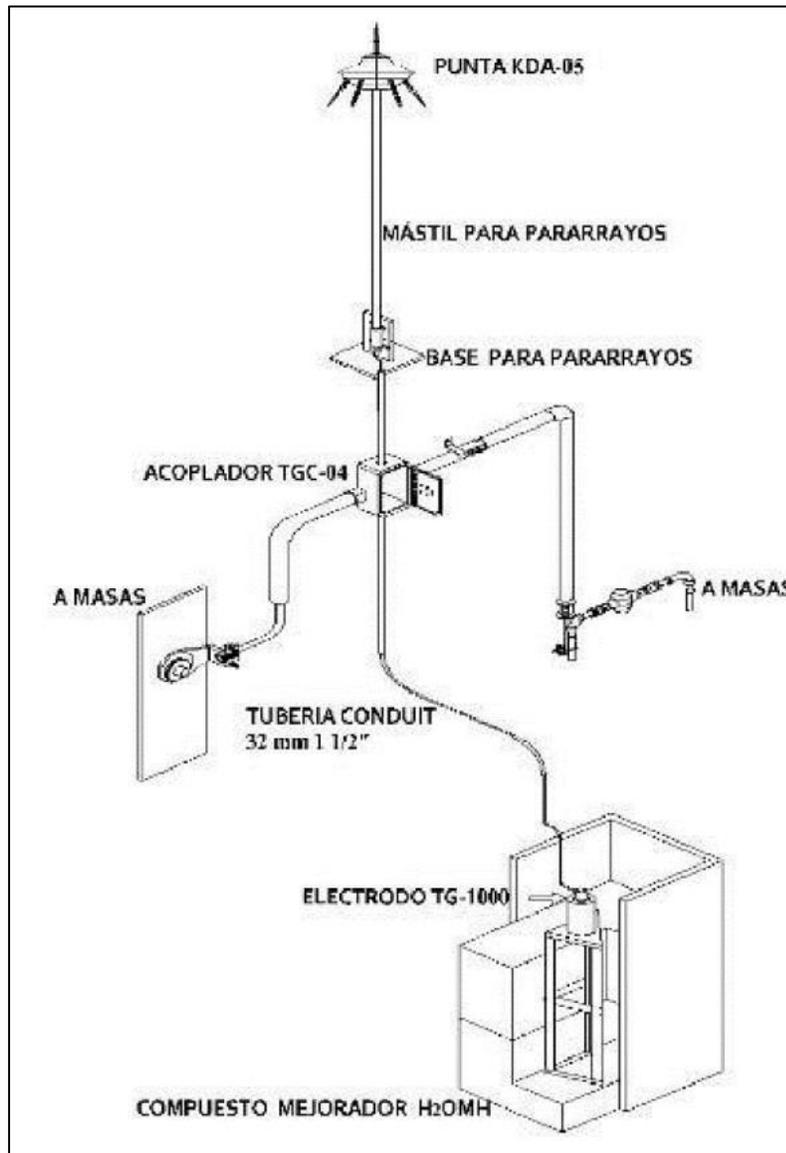
Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala "Luis Cardoza y Aragón.

Anexo 8. Toma de termografías a tableros eléctricos



Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala "Luis Cardoza y Aragón.

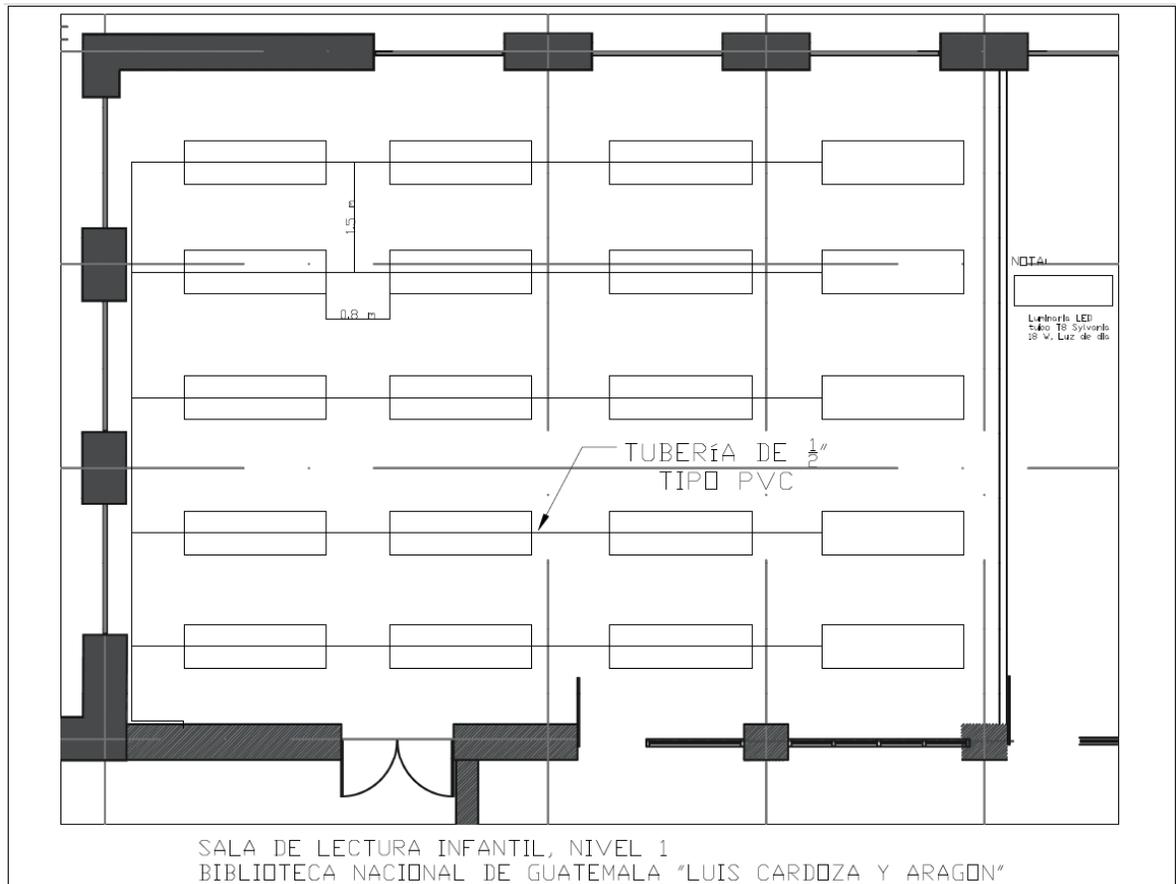
Anexo 9. Esquema de instalación de pararrayos



Fuente: Will it Solutions. EL compromiso del sistema de tierra física. Consulta: Enero 2021.

<https://www.willit.mx/compromiso-del-sistema-tierra-fisica/>

Anexo 10. Plano de iluminación sala de lectura infantil, nivel 1.



Fuente: Biblioteca Nacional de Guatemala "Luis Cardoza y Aragón."