



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

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO
ARCHIVO GENERAL DE CENTROAMÉRICA**

Gladys Idalmy Xoy Quinillo
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
ARCHIVO GENERAL DE CENTROAMÉRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GLADYS IDALMY XOY QUINILLO

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Pérez Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO ARCHIVO GENERAL DE CENTROAMÉRICA

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

Gladys Idalmy Xoy Quinillo

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 05 de julio de 2021.
Ref.EPS.DOC.267.07.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.


Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria Gladys Idalmy Xoy Quinillo de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **200717869** y CUI **2528 95002 1601**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO ARCHIVO GENERAL DE CENTRO AMÉRICA”**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo
KIER/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 05 de julio de 2021.
Ref.EPS.D.109.07.2021.

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 ARCHIVO GENERAL DE CENTRO AMÉRICA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria, **Gladys Idalmy Xoy Quinillo**, quien fue debidamente asesorada y supervisada 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"

A handwritten signature in blue ink over an official stamp. The stamp is an oval shape with the text: "Universidad de San Carlos de Guatemala", "DIRECCION", "Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS", and "Facultad de Ingeniería".

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 129. 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; GLADYS IDALMY XOY QUINILLO: ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO ARCHIVO GENERAL DE CENTRO AMÉRICA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 31 DE AGOSTO 2,021.

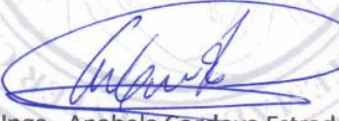


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 – 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 604-2021

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 ARCHIVO GENERAL DE CENTROAMÉRICA**, presentado por la estudiante universitaria: **Gladys Idalmy Xoy Quinillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** El creer en un ser llamado Dios nos ayuda a desarrollar una fe, la cual nos permitirá aferrarnos en los momentos difíciles.
- Mis padres** Julio Xoy y Dinora Quinillo, por su apoyo, consejos y dedicación.
- Mis hermanos** Alexander, Hans, Daleshka, Gelga y Glendy Xoy Quinillo, por ser amigos y un apoyo incondicional.
- Mi esposo** Manuel Pol, por su amor, paciencia y comprensión.
- Mis amigos** Nancy Almazan, Andrea Torres, Yojary Alvarado, Willy Pirir, Julio Tzoc, Vanessa Gonzalez, Vilma Raymundo y un agradecimiento especial a la familia Caal Rosales.
- Mis tíos** Zoila Xoy, Emilia Tiul, Henry Quinillo y Jorge Xoy (q. e. p. d.)
- Mis abuelos** Juan José Quinillo (q. e. p. d.), Ledvia Ligorria y Ana Maria Xoy (q. e. p. d.)

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.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia	1
1.2. Misión	3
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Funciones generales	4
1.5. Organización y estructura.....	5
1.6. Servicios	6
1.7. Ubicación.....	6
1.8. Marco legal	8
1.8.1. Ley para la protección del patrimonio cultural de la nación	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Instalación eléctrica	9
2.1.1. Acometida eléctrica	9
2.1.2. Cargas	10
2.1.3. Demanda	11
2.1.4. Demanda máxima.....	11
2.1.5. Factores que caracterizan la demanda.....	11

2.1.6.	Estimación de carga a instalar	12
2.2.	Instalaciones eléctricas por tipo de consumidor	13
2.2.1.	Instalación eléctrica domiciliar.....	13
2.2.2.	Instalación eléctrica comercial.....	13
2.2.3.	Instalación eléctrica industrial.....	13
2.3.	Elementos y materiales que constituyen una instalación eléctrica.....	14
2.3.1.	Tubería eléctrica.....	14
2.3.2.	Tubería PVC.....	14
2.3.3.	Cálculo de tubería eléctrica	15
2.3.4.	Número de cables en tubería	17
2.4.	Cajas y accesorios	18
2.5.	Elementos de fijación	19
2.6.	Conductores eléctricos.....	19
2.7.	Calibre del conductor eléctrico	21
2.7.1.	Capacidad de conducción del conductor.....	21
2.7.2.	Cómo seleccionar un conductor	23
2.7.2.1.	Cálculo de conductor por ampacidad corriente	23
2.7.3.	Cálculo de conductor por caída de voltaje.....	26
2.7.4.	Selección de conductor de puesta a tierra	28
2.8.	Dispositivos de protección.....	29
2.8.1.	Interruptores.....	29
2.8.2.	Fusibles.....	31
2.9.	Tableros eléctricos	32
2.9.1.	Tableros de distribución	33
2.9.2.	Clasificación de tableros de distribución.....	34
2.10.	Apagador o interruptor	36
2.10.1.	Montaje de interruptores.....	36

2.10.2.	Tipos de interruptores.....	37
2.11.	Tomacorriente o enchufe eléctrico	38
2.11.1.	Tipos de tomacorrientes	38
2.12.	Lámparas y luminarias.....	40
2.12.1.	Tipos de lámparas	40
2.13.	Cálculo de luminarias	43
2.13.1.	Cálculo por el método de cavidades zonales	44
2.13.2.	Cálculo por el método de punto por punto.....	45
2.14.	Sistemas de puesta a tierra	48
2.14.1.	Puesta a tierra	49
2.14.2.	Red de tierras	50
2.14.3.	Métodos de medición de tierra.....	51
2.15.	Pararrayos.....	53
2.15.1.	Cálculo de la zona de protección de un pararrayo	54
2.16.	Transformador eléctrico.....	57
2.16.1.	Tipos de transformadores de distribución.....	57
2.17.	Instrumentos de medición eléctrica	58
2.17.1.	Medidor y analizador de calidad de energía	59
2.17.1.1.	Dranetz HDQP <i>Guide</i> (analizador clase A).....	63
2.17.1.2.	Circutor CIRE+ (analizador clase A)	64
2.17.2.	Cámara termográfica	64
2.17.2.1.	Thermal expert (serie TE-Q1).....	67
2.17.2.2.	Flir one Gen 3.....	69
2.17.3.	Medidor de puesta a tierra.....	69
2.17.3.1.	Pinza de resistencia de tierra <i>fluke</i> 1630.....	71

2.17.3.2.	Pinza de resistencia de tierra AEMC 3711	73
2.17.4.	Multímetro	73
2.17.4.1.	Pinza amperimétrica <i>fluke</i> 376 FC	74
2.18.	Diagramas unifilares.....	76
2.19.	Mantenimiento de las instalaciones eléctricas	76
2.19.1.	Mantenimiento preventivo	76
2.19.2.	Mantenimiento correctivo	77
3.	MARCO METODOLÓGICO	79
3.1.	Delimitación del campo de estudio.....	79
3.2.	Recursos materiales disponibles.....	80
3.3.	Ejecución de la medición de parámetros eléctricos	81
3.3.1.	Medición de calidad de energía con el analizador de red <i>Dranetz HDPQ Guide</i>	81
3.3.2.	Toma de termografías con la cámara termográfica <i>thermal expert TE-Q1</i>	82
3.3.3.	Medición de resistencia a tierra con la pinza de resistencia de tierra <i>fluke</i> 1630.....	82
3.3.4.	Medición de caída de tensión con pinza amperimétrica <i>fluke</i> 376 FC	83
3.4.	Historial de consumo de energía eléctrica	84
3.5.	Instalaciones eléctricas actuales.....	85
3.5.1.	Levantamiento de tableros eléctricos existentes	85
3.5.2.	Caracterización de cargas.....	85
3.5.3.	Levantamiento de luminarias existentes.....	86
3.5.4.	Levantamiento de subestación eléctrica existente	86

3.6.	Cálculo de conductores eléctricos por el método de caída de tensión	86
3.7.	Selección de tableros eléctricos de distribución	87
3.8.	Cálculo de iluminación por el método de cavidades zonales...	88
3.9.	Diagrama unifilar de la red existente	94
3.10.	Cálculo de la subestación eléctrica	95
3.11.	Cálculo para sistema de puesta a tierra	96
3.12.	Cálculo de pararrayos para la instalación actual	96
4.	ANÁLISIS DE DATOS DE LA INSTALACIÓN ACTUAL.....	99
4.1.	Análisis de consumos y parámetros eléctricos	99
4.1.1.	Toma de termografías	99
4.1.2.	Mediciones de resistencia de puesta a tierra.....	100
4.1.3.	Medición de caída de tensión	100
4.1.4.	Análisis de calidad de energía	101
4.1.4.1.	Voltaje.....	102
4.1.4.2.	Corriente	103
4.1.4.3.	Factor de potencia	106
4.1.4.4.	Potencias activa, reactiva y aparente	107
4.1.4.5.	Consumo de energía	110
4.1.4.6.	Frecuencia.....	111
4.1.4.7.	Distorsión armónica de voltaje y corriente.....	112
4.1.5.	Análisis de consumos mensuales.....	114
4.2.	Levantamiento de las instalaciones eléctricas actuales	116
4.2.1.	Levantamiento de tableros eléctricos	116
4.2.2.	Levantamiento de cargas eléctricas	117
4.2.3.	Levantamiento de luminarias existentes.....	123
4.2.4.	Levantamiento subestación eléctrica existente.....	125

4.2.5.	Diagrama unifilar de la red eléctrica actual.....	126
5.	PROPUESTAS DE MEJORAS ELÉCTRICAS PARA LAS INSTALACIONES ACTUALES	127
5.1.	Cálculo de conductores.....	127
5.1.1.	Cálculo de conductores para ramales	127
5.1.2.	Cálculo de conductor para alimentador principal...	130
5.2.	Cálculo de protecciones para tableros	131
5.3.	Cálculo de tablero principal y tableros secundarios	131
5.3.1.	Cálculo de tablero principal	132
5.3.2.	Cálculo de tableros secundarios	133
5.4.	Cálculo de subestación por demanda	135
5.5.	Cálculo de iluminación	136
5.6.	Cálculo del sistema de puesta a tierra	138
5.7.	Cálculo para la selección de pararrayos	141
5.7.1.	Instalación del pararrayo	142
5.7.2.	Mantenimiento del pararrayo.....	143
6.	COMPARACIÓN TEÓRICO Y PRÁCTICA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	145
6.1.	Comparaciones de calibre de conductor y protecciones del tablero principal.....	145
6.2.	Comparación teórica – práctica de la selección de tableros eléctricos	146
6.3.	Comparaciones teórico – práctica de la iluminación	147
	CONCLUSIONES.....	149
	RECOMENDACIONES	151
	BIBLIOGRAFÍA.....	153

APÉNDICES	155
ANEXOS.....	159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación cartográfica del Archivo General de Centroamérica	7
2.	Ubicación geográfica del Archivo General de Centroamérica	7
3.	Tipos de cajas eléctricas	18
4.	Características de un conductor eléctrico.....	20
5.	Partes de un interruptor termomagnético	30
6.	Fusibles de media y baja tensión	31
7.	Partes de un tablero de distribución	34
8.	Tablero principal y secundario.....	34
9.	Tipos de apagadores.....	36
10.	Conexión del interruptor de 3 vías.....	37
11.	Conexión del interruptor de 4 vías.....	38
12.	Tomacorriente de uso general.....	39
13.	Tomacorriente polarizado.....	39
14.	Lámpara fluorescente tubular con balasto.....	41
15.	Partes de una lámpara fluorescente compacta	42
16.	Lámpara led	42
17.	Lámparas incandescentes.....	43
18.	Método de cavidades zonales	45
19.	Método de iluminación punto por punto.....	47
20.	Esquema de puesta a tierra	50
21.	Esquema de red de tierras	51
22.	Método de caída de potencial	52

23.	Método selectivo de tierra	53
24.	Instalación de un pararrayos	54
25.	(a) Ángulos de protección y (b) zona de protección	55
26.	Método de la esfera rodante	56
27.	Protección de la esfera rodante	56
28.	Analizador de red Dranetz <i>Guide</i>	63
29.	Analizador de red CIRe+.....	64
30.	Imagen termográfica	65
31.	Registro de temperatura	66
32.	Valores de emisividad para superficies comunes	67
33.	Especificaciones de la cámara TE-Q1	68
34.	Cámara termográfica Thermal Expert TE-Q1.....	68
35.	Cámara termográfica Flir one Gen 3.....	69
36.	Medición de corriente de fuga.....	70
37.	Medición de la resistencia a tierra.....	71
38.	Pinza de medición de tierras <i>Fluke</i> 1630	72
39.	Especificaciones generales.....	72
40.	Pinza de medición de tierra AEMC 3711	73
41.	Pinza amperimétrica <i>Fluke</i> 376 FC.....	75
42.	Medición de voltaje AC	75
43.	Archivo General de Centroamérica (AGCA)	79
44.	Cálculo del índice del local o cavidad del recinto	90
45.	Alturas método cavidad zonal	91
46.	Simbología IEC y ANSI	94
47.	Voltaje línea 1, 2 y 3 con vista individual.....	102
48.	Voltaje L1, L2 y L3	102
49.	Corrientes de línea.....	104
50.	Corriente del neutro	104
51.	Corriente L1, L2 y L3.....	105

52.	Factor de potencia total	106
53.	Potencia activa (P) L1, L2 y L3.....	107
54.	Potencia Activa (P) Total	107
55.	Potencia reactiva (Q) L1, L2 y L3	108
56.	Potencia total (Q).....	109
57.	Potencia aparente (S) L1, L2 y L3.....	109
58.	Potencia aparente (S) total.....	110
59.	Energía activa y reactiva por hora	111
60.	Frecuencia de la red eléctrica	111
61.	Distorsión armónica de voltaje THDv %	112
62.	Distorsión armónica de corriente THDi %.....	113
63.	Distorsión armónica de corriente del neutro THDi %.....	113
64.	Histórico de consumos y costos del año 2019 al 2021	115
65.	Diagrama unifilar de las instalaciones actuales	126
66.	Ramal de Tablero Nivel # 1 y # 2	128
67.	Ramal de tablero gradas nivel # 3.....	128
68.	Ramal de tablero entrepiso sótano y sótano	129
69.	Ramal de tablero nivel # 4 y # 5.....	129
70.	Ramal de tablero nivel # 6 y # 7	130
71.	Alimentador del tablero principal	130
72.	Diseño teórico del tablero monofásico principal	133
73.	Protección del pararrayo Pulsar 60(III)	142

TABLAS

I.	Dimensiones de tubo <i>conduit</i>	14
II.	Factores de relleno.....	16
III.	Número máximo de cables en tubería metálica	17

IV.	Área transversal de conductores en mm ²	21
V.	Ampacidad de conductores según su calibre, aislante y máxima temperatura ambiente	22
VI.	Factores de corrección para tres más conductores	25
VII.	Factores de corrección para temperatura ambiente mayor a 30 °C.....	25
VIII.	Capacidad de carga por calibre según el tipo de cable.....	26
IX.	Valores permitidos de caída de voltaje	27
X.	Área del conductor de tierra para alimentación de los equipos en AWG/Kcmil.....	28
XI.	Área del conductor de tierra del tablero de distribución principal al sistema de tierra física	29
XII.	Característica del tablero de distribución	35
XIII.	Valores de reflectancia para distintos materiales	48
XIV.	Factor de mantenimiento	91
XV.	Niveles mínimos de iluminación según plano de trabajo.....	92
XVI.	Coeficientes de utilización según tipo de iluminación en cada luminaria ..	93
XVII.	Resultados de la toma de termografías a tableros eléctricos.....	99
XVIII.	Resultados de medición de resistencia de tierra en tableros	100
XIX.	Resultados de caída de tensión en tableros	101
XX.	Historial de consumo de energía mensual del 2019 al 2021	115
	del 2019 al 2021	115
XXI.	Descripción de los tableros eléctricos existentes	117
XXII.	Detalle de cargas para el tablero general	118
XXIII.	Detalle de cargas tablero nivel # 1 y # 2	118
XXIV.	Detalle de cargas tablero gradadas nivel # 3	120
XXV.	Detalle de cargas tablero entrepiso de sótano y sotano	121
XXVI.	Detalle de cargas tablero nivel # 4 y # 5	122
XXVII.	Detalle de cargas tablero nivel # 6 y # 7	123
XXVIII.	Detalle de cargas tablero nivel # 8 y # 9	123

XXIX.	Número de luminarias por nivel y área de distribución	124
XXX.	Banco de transformadores existente	125
XXXI.	Protecciones (<i>flipon</i>) para cada tablero eléctrico.....	131
XXXII.	Selección teórica de los tableros secundarios.....	134
XXXIII.	Cálculo de luminarias por cada nivel de AGCA.....	138
XXXIV.	Comparación de conductores y protecciones de la instalación.....	145
XXXV.	Propuesta de cambio para unificar las cargas en un tablero principal....	146
XXXVI.	Comparación de iluminación actual y la recomendada para el edificio Archivo General de Centroamérica	147

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m²	Área en metros cuadrados
CA	Corriente alterna
Hz	Hertz
Ω	Ohmios
%	Porcentaje
KW	Potencia activa en mil kilovatios
KVA	Potencia aparente en mil voltamperios
KVAR	Potencia reactiva en voltamperios reactivos
R	Resistencia eléctrica
m	Unidad de medida en metros
V	Voltaje en voltios
W	<i>Watt</i>

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 alimentara 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.
Distribuidora	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>watts</i>) y potencia aparente (voltamperio).
Iluminación	Es la cantidad de luz que se tiene en un área o superficie y se mide en luxes.
Kilowatt/hora kWh	Es la energía que se consume en una hora cuando la potencia es 1 000 <i>watts</i> .
Ohm	Unidad de medida para la resistencia eléctrica de una puesta a tierra.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó un estudio eléctrico de las instalaciones del edificio Archivo General de Centroamérica, ubicado en el Centro Histórico zona 1 de la Ciudad de Guatemala anexo a la Biblioteca Nacional de Guatemala. Este edificio está reconocido como Patrimonio Cultural de la Nación.

Como parte del estudio eléctrico realizado en este edificio, se recopiló información mediante un levantamiento eléctrico para obtener una caracterización de las cargas instaladas, estado de la instalación eléctrica actual y observación visual de los conductores, luminarias, tableros eléctricos y protecciones. Esta información se comparó con los datos teóricos del estudio eléctrico.

Se realizó un análisis de calidad de energía en la red eléctrica de las instalaciones para medir el comportamiento de los parámetros eléctricos como lo son voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, reactiva, aparente, energía activa, reactiva y se realiza el estudio de distorsión armónica de voltaje y corriente.

Se efectuó el diseño de una puesta a tierra con una resistencia menor a 5 ohmios debido a la cantidad de equipo electrónico e iluminación led que se propuso para el área de archivos. Se hizo la selección de un pararrayo para la protección de la instalación y del edificio pues en él se resguarda documentación importante.

Se propuso la unificación de cargas por medio de un solo tablero principal y su respectiva distribución por tableros secundarios.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio eléctrico de las instalaciones de Archivo General de Centroamérica, para determinar el estado actual de las instalaciones y proponer un plan de acciones preventivas y correctivas de la instalación eléctrica que alimenta la carga actualmente.

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 conductores, protecciones y tableros de la instalación eléctrica para comparar con los elementos actuales encontrados en la práctica.
3. Determinar mediante el estudio de calidad de energía el comportamiento de los parámetros eléctricos de la carga instalada mediante la medición y análisis de resultados.
4. Establecer y plantear las soluciones a los problemas que se determinen a raíz de este estudio.
5. Realizar el diagrama unifilar de la instalación eléctrica actual.

INTRODUCCIÓN

El estudio eléctrico realizado en el edificio Archivo General de Centroamérica tiene como característica principal, proponer las mejoras necesarias para que la instalación eléctrica se eficiente y segura para el equipo instalado y el personal que labora en el edificio.

Para realizar el análisis de esta propuesta es necesario presentar las causas siguientes: la instalación eléctrica del edificio es antigua por tal razón se realizó el estudio eléctrico para sugerir los cambios favorables para que la instalación sea segura y evite cortocircuitos que puedan generar un incendio y terminen dañando el material histórico que se encuentra almacenado en los archivos del edificio.

Para verificar el estado de la instalación eléctrica actual se hace una comparación de los resultados del levantamiento eléctrico y los resultados de los cálculos teóricos. Con estos resultados se proponen las mejoras necesarias para la instalación eléctrica actual siempre bajo las normas eléctricas vigentes y considerando la ley para la protección del patrimonio cultural de la nación.

En este trabajo de graduación se realizan cálculos de las protecciones faltantes y necesarias para la protección de los equipos eléctricos, por lo que se considera el diseño de una puesta a tierra y la selección de un pararrayo.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia

El Archivo General de Centroamérica inicia en Guatemala el 21 de octubre de 1846 y posee una doble dimensión en cuanto al acervo documental que custodia: por una parte, conserva el fondo documental colonial de Centroamérica durante su rol de Capitanía General, bajo la cual se circunscribieron política y administrativamente las otras cinco provincias. También se circunscribe como Archivo General de la Nación, aglutinando la documentación en su calidad de nación independiente. Ambos como una sola organización se adscriben al Ministerio de Cultura y Deportes a través de la Dirección de Patrimonio Cultural y Natural.¹

En sus inicios, el Archivo General, solo reunía la documentación gubernativa de la Capitanía General del Reino de Guatemala, pero en 1886 se conforma el Archivo General del Gobierno, adscrito al Ministerio de Gobernación con el fin de incorporar la administración y custodia del acervo administrativo de la vida republicana de Guatemala.

En 1937, un acuerdo presidencial dispone la reunión de toda la documentación estatal dispersa en el país, por tal motivo, fue necesaria la construcción de un edificio que se inició en 1948 e inaugurado en 1957 y es el que persiste hasta la actualidad.

¹ Wikiguate. *Historia del archivo de Centroamérica*. <https://wikiguate.com.gt/archivo-general-de-centro-america/>. Consulta: enero 2021.

El 22 de octubre de 1968, mediante el Decreto 17-68, se crea el Archivo General de Centroamérica, como la entidad responsable del patrimonio documental de la nación y le atribuye la capacidad de establecer el valor histórico de los documentos. Con ello se transforman las funciones que poseía siendo el Archivo General del Gobierno y se reconoce el valor que representa para la memoria de la región centroamericana.

El Archivo General de Centroamérica cubre una amplia gama de funciones que abarcan desde las propias de un archivo administrativo y su relación con la ciudadanía, simultáneamente a las de un archivo histórico, concernientes al Patrimonio Documental de la Nación y la divulgación de la memoria histórica del país. En este sentido sirve por igual a la ciudadanía en general, la cual requiere ser atendida con un servicio de calidad, y a los investigadores especializados, generalmente procedentes del ámbito académico. Ello lleva al reto de generar servicios que permitan satisfacer las demandas de ambos sectores.

Para dar mejor cobertura a sus funciones es que la entidad pone a disposición la documentación que custodia producida durante el gobierno colonial y republicano, que abarca desde 1524 hasta 1996, conservándose por lo tanto la producción documental generada por la antigua Capitanía General del Reyno de Guatemala, hoy constituida por la región centroamericana, hasta la firma de la Paz en el país.²

El edificio del Archivo General de Centroamérica se encuentra ubicado sobre la 4.^a avenida 7-41 zona 1, Ciudad de Guatemala.

² Ibíd.

1.2. Misión

El Archivo General de Centroamérica tiene por mandato o misión la protección, conservación y organización del patrimonio documental de la Nación, haciéndolo accesible a la ciudadanía, como parte de sus derechos constitucionales y humanos. Paralelamente, propicia el desarrollo de la investigación académica nacional e internacional brindando a la consulta sus fondos documentales de cobertura regional centroamericana y nacional, facilita asesorías metodológicas a las investigaciones de sus usuarios y apoya el desenvolvimiento de los archivos de la administración pública mediante su comisión técnica.³

1.3. Objetivos

El objetivo general del Archivo General de Centroamérica es proteger, conservar, organizar y poner al servicio de la ciudadanía el patrimonio documental de la Nación. En cuanto a sus objetivos específicos, son los siguientes:

- Realizar acciones dirigidas a la mejora de las condiciones de instalación de los documentos.
- Elaborar los instrumentos necesarios para ampliar el acceso a la información contenida en las piezas documentales a la ciudadanía.

³ Ibíd.

- Atender las solicitudes de los usuarios en materia de investigación, consulta y trámite de los documentos custodiados de manera presencial o por cualquier otra vía.
- Ofrecer conferencias y visitas guiadas a escolares y estudiantes acerca de temáticas relacionadas con el patrimonio documental y la memoria histórica guatemalteca.
- Garantizar el derecho de los ciudadanos de acceso a la información y a la memoria histórica.
- Dar a conocer el valor de la documentación histórica y su utilidad científica y ciudadana.

1.4. Funciones generales

Las funciones definidas a lo interno del AGCA (Archivo General de Centroamérica) se enmarcan de forma reciente en otras más amplias ya definidas por norma en el Ministerio de Cultura y Deportes mediante el Manual de Organización y Funciones establecido en el Acuerdo Ministerial No. 536-2012 del 29 de mayo del 2012.

- Proteger, conservar y organizar el patrimonio documental de Centroamérica.
- Hacer accesible a la ciudadanía la documentación histórica, como parte de sus derechos constitucionales y humanos.
- Asesorar en el manejo y preservación de documentos.
- Conceder constancias legales y reproducciones de los documentos solicitados por los usuarios.
- Ser depositaria legal de la producción documental.
- Realizar otras funciones de su competencia no previstas en este manual.⁴

⁴ Ibíd.

1.5. Organización y estructura

En virtud del rango de fechas de sus fondos (1524 a 1991), algunos relativamente recientes y con vigencia, al Archivo le ha correspondido desempeñarse como centro de acopio de la documentación de las antiguas provincias de Centroamérica y asumir también funciones de archivo administrativo de Estado guatemalteco.

El AGCA con adscripción al Ministerio de Cultura y Deportes de Guatemala está intermediado por uno de sus viceministerios, y bajo éste, de la Dirección General del Patrimonio Cultural y, finalmente, de la Dirección Técnica de Patrimonio Documental y Bibliográfico como su inmediato superior.

A lo interno de su estructura cuenta con una dirección y bajo ella las unidades propias para hacer cumplir los objetivos institucionales relacionados con la custodia, protección y servicio de la documentación considerada de acceso público.

El Archivo General de Centroamérica consta de un edificio de 9 niveles donde se resguardan fondos documentales de gran valor histórico, resguarda aproximadamente 23 kilómetros lineales en documentación.

1.6. Servicios

Actualmente hay más de 23 500 registros cargados en el sistema del AGCA, distribuidos en 42 fondos documentales, además de otros recursos en línea y 27 fondos documentales descargables. Para acceder a estos documentos y su sistema de búsqueda debe registrarse en el sitio web de la entidad.

La biblioteca del archivo contiene una recopilación de leyes desde 1821 a 1986, la Hemeroteca del archivo resguarda la colección completa del diario de Centroamérica de 1873 a la actualidad. El AGCA se considera un guardián de tesoros bibliográficos.

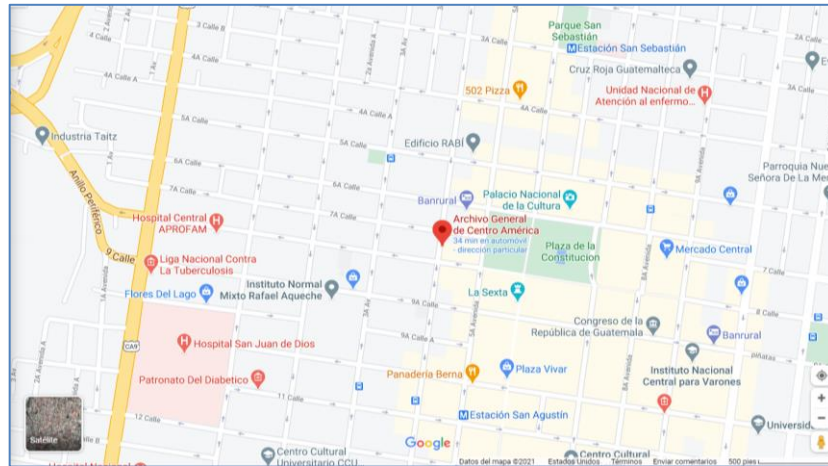
El fichero pardo que clasifica la documentación de la historia colonial e independiente, el cual debe su nombre a su creador Profesor Joaquín Pardo.

El AGCA brinda como servicio a las personas interesadas la consulta de los documentos custodiados y fondos documentales que se soliciten en las diferentes salas de lectura, sean documentos manuscritos y originales, como periódicos revistas y publicaciones. Las reproducciones de documentos se autorizan modalidades como certificaciones, fotocopias simples fotocopias sofisticadas fotografías, de acuerdo con la naturaleza del trámite requerido.

1.7. Ubicación

El edificio del Archivo General de Centroamérica se encuentra ubicado sobre la 4.^a avenida 7-41 zona 1. Ciudad de Guatemala, en la figura 1 (a) y (b) se observa en forma cartográfica la ubicación.

Figura 1. **Ubicación cartográfica del Archivo General de Centroamérica**



Fuente: GOOGLE MAPS. *Plantilla Cartográfica. Ubicación cartográfica del Archivo General de Centro América.* <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: enero del 2021.

Figura 2. **Ubicación geográfica del Archivo General de Centroamérica**



Fuente: GOOGLE MAPS. *Plantilla Cartográfica. Ubicación cartográfica del Archivo General de Centroamérica.* <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: enero del 2021.

1.8. Marco legal

Fue declarada patrimonio cultural de la nación el 26 de enero de 2012 y el 30 de octubre del 2017 como memoria del mundo por su valor documental y probatorio.

1.8.1. Ley para la protección del patrimonio cultural de la nación

La ley establece en su Capítulo II y Artículo 9 Protección de los Bienes Culturales, 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)⁵.

⁵ UNESCO. *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

2.1. Instalación eléctrica

Se refiere al conjunto de equipos, elementos y accesorios necesarios para distribuir la energía eléctrica de un punto a otro y alimentar una carga final. Toda instalación eléctrica debe cumplir con una buena calidad de servicio y con las necesidades del usuario.

Se considera que una instalación tiene una buena calidad del servicio, es decir segura y eficiente, cuando el servicio es continuo y se tiene una buena regulación de voltaje. Entre los principales elementos que conforman una instalación eléctrica se pueden mencionar, los conductores, tableros principales, tableros derivados, protecciones principales y derivados, transformadores, cargas, entre otros.

Para que una instalación eléctrica cumpla con las necesidades del usuario debe estar dimensionada acorde a la capacidad de las cargas a instalar.

2.1.1. Acometida eléctrica

Es la fuente de alimentación de la empresa distribuidora de energía eléctrica hacia el usuario final, una acometida eléctrica está compuesta por tubería *conduit*, accesorios y conductor eléctrico. La acometida finaliza en la caja de protección principal de la instalación eléctrica.

2.1.2. Cargas

Una carga es un dispositivo que demanda energía eléctrica para funcionar, y en una instalación eléctrica se clasifican según su diseño en tres grupos.

- Cargas de iluminación
- Cargas de fuerza (tomacorrientes)
- Cargas especiales (generalmente motores)

Es importante conocer los parámetros eléctricos que caracterizan una carga.

- Circuito ramal: está construido por conductores eléctricos que distribuyen y transportan la energía hasta el punto de alimentación, pueden ser individuales o compartido para alimentar una o varias cargas.
- Voltaje nominal: es el voltaje establecido para el funcionamiento normal de una instalación o equipo y no puede ser superado.
- Corriente nominal: es la corriente eléctrica que la carga toma de la red cuando funciona bajo condiciones normales.
- Potencia nominal: es la potencia máxima que demanda un equipo o carga y puede estar dimensionada como potencia real (KW), potencia aparente (KVA) o potencia mecánica para motores (HP).

2.1.3. Demanda

Es la potencia requerida para que una carga pueda funcionar en un lapso específico y se mide en KW. También se conoce como la cantidad de potencia que un usuario o instalación eléctrica necesita para abastecer su necesidad.

2.1.4. Demanda máxima

Es el valor que determina la capacidad que requieren los equipos instalados en el sistema, el calibre del alimentador o acometida y la capacidad en amperios del interruptor (flipón) principal. Siendo esta la de mayor interés porque determina la condición más severa impuesta a la instalación.

2.1.5. Factores que caracterizan la demanda

Para el estudio de la demanda de un sistema o instalación eléctrica se deben considerar los siguientes factores:

- Factor de demanda FDM: es la relación entre la suma de la demanda máxima de un sistema y la carga total conectada y el resultado debe ser menor a 1.
- Factor de utilización: es el cociente entre la potencia que demanda la carga y la potencia nominal de la misma.
- Factor de carga FC: es un indicador que relaciona el consumo real de una carga contra el consumo de energía proyectado. Mientras más cercano a uno sea el factor, más balanceado será el consumo de las instalaciones del cliente.

- Carga total conectada: se define como la suma de la potencia nominal instalada y se identifica bajo los parámetros de KVA o KW.
- Capacidad o carga instalada: es la potencia total en KVA que la distribuidora de energía eléctrica pone exclusivamente a disposición del usuario.
- Demanda contratada: es la demanda máxima que la distribuidora se compromete a entregarle al usuario en base a un contrato.

2.1.6. Estimación de carga a instalar

La estimación de carga es importante en el desarrollo de un proyecto porque con base en ese valor se hace el diseño de la instalación eléctrica que suministrara la potencia que requiere el sistema. Dicha estimación debe contemplar un 25 % de crecimiento para futuras cargas.

Criterios para tomar en cuenta para la estimación de carga que se necesita para una instalación eléctrica confiable y eficiente:

- Conocer la demanda máxima
- Conocer el consumo de energía que se necesita para alimentar todas las cargas
- Conocer el comportamiento de la carga cuando esté conectada al sistema

2.2. Instalaciones eléctricas por tipo de consumidor

A continuación, se detallan las instalaciones eléctricas por tipo de consumidor.

2.2.1. Instalación eléctrica domiciliar

Es la instalación eléctrica que alimenta un hogar con el fin de hacer llegar la electricidad a todos los aparatos eléctricos de una casa o habitación. Normalmente alimenta voltajes nominales de 120 a 240 voltios y las cargas son de tipo iluminación y fuerza (tomacorrientes).

2.2.2. Instalación eléctrica comercial

Están construidas de acuerdo con los lineamientos técnicos y modernos de edificios y centros comerciales. Está compuesta por circuitos de iluminación, tomacorrientes y cargas especiales (levadores, equipo de cocina, entre otros).

Estas instalaciones trabajan bajo voltajes de 120, 240, y 480 voltios, en sus diferentes conexiones: monofásicos y trifásicos.

2.2.3. Instalación eléctrica industrial

Son aquellas que trabajan bajo los voltajes: 120, 240, 277, 480 voltios bajo conexiones monofásicas, bifásica y trifásicas en corriente alterna. Este tipo de conexiones normalmente se utiliza para: fábricas, industria textilera, industria de alimentos, entre otros.

2.3. Elementos y materiales que constituyen una instalación eléctrica

Son los tubos que llevan uno o varios circuitos eléctricos en su interior y protegen los conductores eléctricos.

2.3.1. Tubería eléctrica

Está diseñado para proteger y contener los conductores eléctricos, este fabricado de acero galvanizado y se puede utilizar en acometidas, áreas de alto riesgo o zonas de ambientes corrosivos.

Tabla I. 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.

2.3.2. Tubería PVC

El tubo PVC eléctrico ofrece varias ventajas ya que también está diseñado para contener y proteger los conductores, pero es más fácil de manipular e instalar.

- Ventajas de la tubería PVC:
 - No propaga la flama por lo que es auto extingüible.
 - Buen aislante por lo que evita el cortocircuito de falla a tierra.
 - Se debe utilizar en ambientes menores a 70 °C.
 - Durabilidad contra la corrosión.
 - Ligereza, su peso es menor al conduit lo que hace que sea fácil transportarlo.

- Aplicaciones para uso de tubería PVC:
 - Protege los conductores eléctricos en instalaciones internas o a la intemperie.
 - Puede utilizarse en variedad de instalaciones tales como: alumbrado público, residenciales, industriales, entre otros.

2.3.3. Cálculo de tubería eléctrica

Debido al límite térmico del aislante de un conductor, se debe calcular la cantidad de conductores que se pueden transportar en una tubería, ya que es afectada la conducción de corriente por la baja disipación de calor.

Se debe realizar un arreglo físico de acuerdo con la forma y área transversal de la canalización, además, se debe tomar en cuenta la cantidad

adecuada de aire dentro del tubo para que se disipe el calor que se genera internamente por el efecto *Joule*.

Para el cálculo de la tubería, debe tomarse en cuenta factor de arreglo de 0,8 indicado por la Norma NEC y la suma total de las secciones transversales de los conductores incluyendo el aislamiento y el área transversal del tubo, esta relación se llama factor de relleno y se define en base a la Norma NEC en la tabla II.

Tabla II. **Factores de relleno**

No. de conductores	Factor de relleno	# de conductores en tubería	Factor de arreglo
1	53 %	1	0,8
2	31 %	2	
3 o más	40 %	Para 3 o mas	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2020.

Ecuaciones para calcular el área del tubo:

$$\text{Área}_{\text{tubo}} = \frac{\pi \times \phi^2}{4}$$

$$\text{Área}_{\text{tubo}} = \frac{\sum A_{\text{conductores}}}{FA \times FR}$$

Ecuación final, para calcular el diámetro del tubo:

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \times \sum A_{\text{conductores}}}{(\pi \times \text{FA} \times \text{FR})}}$$

Donde:

Φ = diámetro

A = sección de área transversal

FA = factor de arreglo

FR = factor de relleno

2.3.4. Número de cables en tubería

En la tabla III se puede observar el número de conductores máximos que se pueden insertar en una tubería metálica o PVC, según establece la tabla de las Normas NEC.

Tabla III. Número máximo de cables en tubería metálica

CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLE EN TUBERIAS CONDUIT METALICA CABLES THHN/THWN Y THWN-2										
CALIBRE	DIAMETRO NOMINAL DE L TUBO									
	1/2 13	3/4 19	1 25	1 1/4 32	1 1/2 38	2 51	2 1/2 64	3 76	3 1/2 89	4 102
14	12	22	35	61	84	138	241	364	476	608
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
2	1	1	3	5	5	11	20	30	40	51
1	1	1	1	4	4	8	15	22	29	37
1/0	1	1	1	3	3	7	12	19	25	32
2/0		1	1	2	3	6	10	16	20	26
3/0		1	1	1	2	5	8	13	17	22
4/0		1	1	1	1	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
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

pulg
mm

Fuente: Normas NEC. Número máximo de cables en tubería metálica Tabla C.1, anexo C.

2.4. Cajas y accesorios

Tienen como finalidad resguardar las derivaciones de los circuitos, evitando que las conexiones de los conductores queden a la intemperie. En este tipo de cajas se resguardan los empalmes de derivación y se protegen de cortos circuitos y evitan electrocución.

- Los tipos de caja que se utilizan son los siguientes:
 - Cajas octogonales de tamaño 3 1/2", para tubería de diámetros 1/2" y 3/4".
 - Cajas cuadradas de tamaño 4", para tubería de diámetro 1/2", 3/4" y 1".
 - Cajas rectangulares de tamaño 3 5/8" de largo y 2 1/8" de ancho, para tubería de diámetro 1/2".

Figura 3. Tipos de cajas eléctricas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

2.5. Elementos de fijación

Para la instalación de tuberías es necesario fijarlas a la superficie, ya sea paredes, techos, entre otros. Por lo que es importante utilizar elementos de fijación como abrazaderas, rieles din, bridas, grapas de plástico, entre otros.

2.6. Conductores eléctricos

Son los encargados de conducir la corriente eléctrica ya que están fabricados de materiales que ofrecen poca resistencia al flujo de corriente. Entre los mejores conductores de electricidad se tiene la plata y el cobre.

Los materiales más utilizados para la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, ambos poseen una buena conductividad eléctrica, pero es el cobre el que está considerado como elemento principal en la fabricación de conductores por su alta pureza, debido a sus propiedades mecánicas y eléctricas.

El conductor eléctrico está formado por las siguientes partes:

- Alma o elemento conductor: este fabricado en cobre y su objetivo es transportar la energía eléctrica desde la fuente de alimentación (tablero) hasta el centro de consumo (carga).
- La construcción del alma del conductor puede estar construida de varias formas:
 - Alambre: es el tipo de alma conductora formada por un solo hilo conductor por lo que es complicado el manejo y flexibilidad de este.

- Cable: es el alma conductora formada por una serie de hilos conductores de baja sección, este tipo de alma posee una gran flexibilidad.
- Monoconductor: conductor que tiene una sola alma conductora con aislante y puede ser con o sin cubierta protectora.
- Multiconductor: está formado por dos o más conductores (almas) aislados entre sí y recubiertos por una capa protectora.
- El aislamiento: protege al conductor evitando que la corriente eléctrica fluya al exterior y ocasione corto circuito.

Se puede identificar el tipo de aislamiento en las inscripciones (Abreviaciones en inglés) que aparecen sobre él. Los aislamientos más comunes son: THHW, THWN y THHN.

- La cubierta protectora: protege mecánicamente al conductor o cable, de daños físicos o químicos como el calor, lluvia, frío, golpes, entre otros.

Figura 4. **Características de un conductor eléctrico**



Fuente: Electricistas. *Conductores eléctricos y sus características*.

<https://electricistas.cl/conductores-electricos-y-sus-caracteristicas/>. Consulta: enero del 2021.

2.7. Calibre del conductor eléctrico

El calibre define el tamaño de la sección transversal del conductor y puede estar dado en milimétrico mm^2 , bajo norma americana AWG (*American Wire Gauge*) o MCM (*Miles Circular mils*). Los calibres más utilizados son Núm. 12, 10, 8, 6, 4, 2, 1/0, 2/0 y 4/0.

Tabla IV. Área transversal de conductores en mm^2

Tamaño del conductor AWG / MCM	Artículo I. Area transversal mm^2
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.

2.7.1. Capacidad de conducción del conductor

La capacidad de conducción eléctrica de un conductor también es conocida como ampacidad y es la capacidad de conducción continua de corriente bajo ciertas condiciones específicas.

La ampacidad de un conductor está definida por su calibre, material aislante y temperatura ambiente a la que se encuentre. Mientras más grande es la sección del conductor más corriente puede conducir sin que se sobrecaliente.

El amperio o ampere con símbolo (A), es la unidad de intensidad de corriente eléctrica, la corriente eléctrica no es más que la velocidad a la que fluye la carga eléctrica.

Tabla V. **Ampacidad de conductores según su calibre, aislante y máxima temperatura ambiente**

Calibre AWG o kcmil	Temperatura máxima en conductor						Calibre AWG o kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	(140°F)	(167°F)	(194°F)	(140°F)	(167°F)	(194°F)	
	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	
	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	
	Cobre			Aluminio			
18	----	----	14	----	----	----	----
16	----	----	18	----	----	----	----
14	15	20	25	----	----	----	----
12	20	25	30	15	20	25	12
10	30	35	40	25	30	35	10
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400

Fuente: Electricistas. *Conductores eléctricos y sus características*.

<https://electricistas.cl/conductores-electricos-y-sus-caracteristicas/>. Consulta: enero del 2021.

2.7.2. Cómo seleccionar un conductor

Se debe tomar en cuenta las siguientes variables, para seleccionar un conductor eléctrico:

- La capacidad de transporte de corriente o ampacidad.
- La capacidad para soportar la corriente de corto circuito.
- La resistencia mecánica y su comportamiento ante condiciones ambientales.

Adicional de las variables consideradas, se realiza un análisis evaluando dos factores:

- Intensidad máxima admisible, que es la cantidad máxima de amperios que puede soportar el conductor.
- Caída de tensión máxima, siendo la diferencia presente entre los extremos del conductor.

2.7.2.1. Cálculo de conductor por ampacidad corriente

Se debe tomar en cuenta que la NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80 % de su capacidad nominal, cuando se selecciona por ampacidad ya que es necesario dejar un margen de seguridad por las sobrecargas o desbalances que puedan existir.

Se calcula la corriente del circuito tomando en cuenta los factores de corrección.

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

Donde:

I = corriente

S = potencia

V = voltaje

F_{sis} = factor de sistema continuo

F_{#c} = factor por número de conductores en tubería

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

F_{tem} = factor de temperatura ambiente

- Factor de corrección por cantidad de conductores en tubería: para aplicar correctamente este factor no se debe tomar en cuenta los conductores de neutral y tierra.
- Factor de corrección por temperatura ambiente: considerar los siguientes factores para temperatura de ambiente mayor a 30 °C.
- Factor de corrección por disipación de calor en la tubería: se definen dos factores dependientes del material del tubo. Para tubería PVC se toma un factor de 0,8 y factor 1 para tuberías metálicas.
- Factor de corrección por tipo de circuito alimentador: este factor depende de las condiciones de uso de la carga, para operación no continua

(periodo de tiempo menor a 3 horas) el factor será 1 y para operación continua (periodo mayor a 3 horas) el factor será 1,25.

Tabla VI. **Factores de corrección para tres más conductores**

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: Electricaplicada. *Cálculo de conductores eléctricos con factor de corrección.*

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

Tabla VII. **Factores de corrección para temperatura ambiente mayor 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

factores-de-correccion-por-temperatura-tabla-310-16-NTC2050

Fuente: Eléctricaplicada. *Cálculo de conductores eléctricos con factor de corrección.*

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

Tabla VIII. 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. *Capacidad de carga por calibre según el tipo de cable*. p. 213.

2.7.3. Cálculo de conductor por caída de voltaje

Este método se establece como el diferencial entre dos puntos de referencia de la instalación eléctrica, donde se genera una caída de voltaje en

referencia a la distancia del alimentador y la carga. Hay varios factores que pueden afectar tales como el calibre del conductor.

La caída de tensión máxima permitida por las Normas NEC se expresa en la tabla XI.

Tabla IX. **Valores permitidos de caída de voltaje**

Regulación de voltaje	Observaciones
2%	Para el circuito alimentador o principal
3%	Para circuito derivado
5%	Para que los dos circuitos no sobrepasen la tolerancia indicada

Fuente: CAMPERO LITTLEWOOD, Eduardo. *Instalaciones Eléctricas. Conceptos básicos y diseño*. p. 87.

Para seleccionar el conductor por el método de caída de voltaje, es necesario calcular la sección transversal para el circuito que se desea alimentar.

La ecuación para calcular la sección transversal es la siguiente:

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

Donde:

A = área o sección transversal en mm²

ρ = resistividad del material conductor

I = corriente de carga en amperios

- L = longitud del alimentador en metros
- e = caída de voltaje permitida en porcentaje
- V = voltaje aplicado en Voltios (voltaje nominal)
- c = definir si es monofásico o trifásico, para un circuito el valor será 2 y para circuitos trifásico el valor será $\sqrt{3}$

2.7.4. Selección de conductor de puesta a tierra

Este conductor se utiliza para aterrizar la parte metálica o carcasa de un equipo o elemento hacia la varilla de puesta a tierra. Drenando las corrientes de cortocircuito a tierra. Para su elección durante el diseño de una instalación se utilizan las tablas X y XI que establece la Norma NEC:

Tabla X. **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. *Área del conductor de tierra para alimentación de los equipos en AWG/Kcmil* 122. p. 231.

Tabla XI. **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. *Área del conductor de tierra del tablero de distribución principal al sistema de tierra física.* p. 214.

2.8. Dispositivos de protección

Son elementos que protegen la instalación, al operario y edificio de sobrecargas, cortocircuitos y evitan incendios.

2.8.1. Interruptores

Son dispositivos que sirven para obstaculizar el flujo de corriente eléctrica, existen 3 tipos: magnético, térmico y termomagnético.

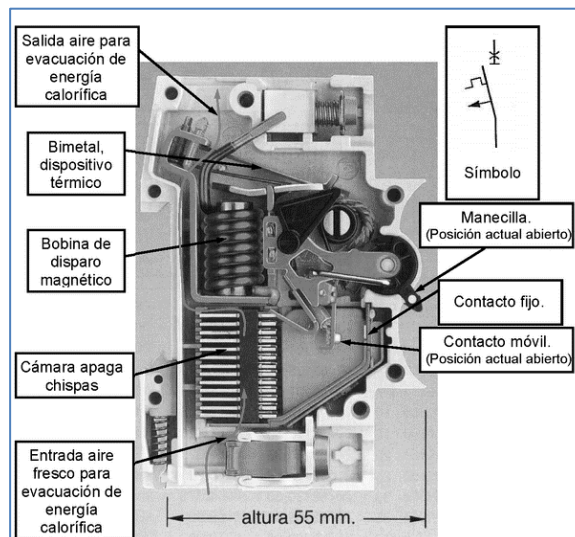
- Tipo magnético sirve para proteger contra cortocircuito, se suelen utilizar para proteger motores con arrancadores siempre que estos posean protección térmica integrada.
- Tipo térmico funciona por temperatura ya que cuando alcanza una temperatura definida con una corriente alta, activa el mecanismo de

desconexión. Se utiliza frecuentemente en los circuitos de control de motores.

- Tipo termomagnético: es el más utilizado en las instalaciones eléctricas ya que combina los efectos del magnetismo y el calor para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando se detectan valor fuera de sus límites. Entre su función principal tiene abrir o cerrar circuitos por medio del accionamiento manual de una palanca o por interrupción automática.

Las protecciones también se eligen en base a su nivel de voltaje de operación, cantidad de polos y corriente de cortocircuito. Regularmente estos interruptores son para voltajes 240 V, 480 V y 600 V con una capacidad de corto circuito de 10 kA hasta 65 kA.

Figura 5. **Partes de un interruptor termomagnético**



Fuente: ComoFunciona. *Cómo funciona un interruptor termomagnético.* <https://comofunciona.co/un-interruptor-termomagnético/>. Consulta: enero del 2021.

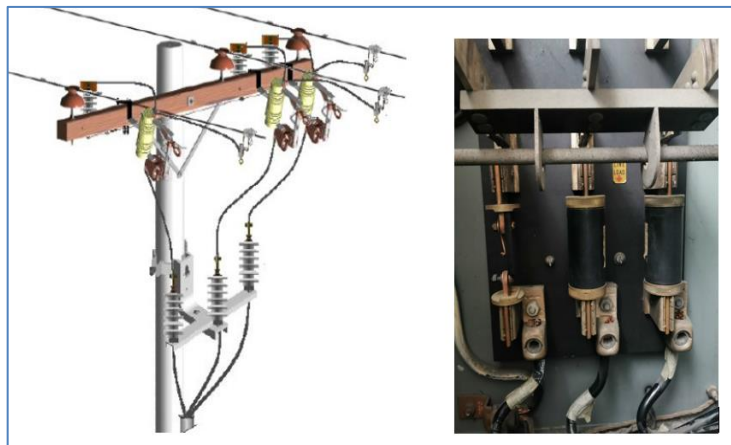
2.8.2. Fusibles

Son protecciones que se utilizan para aislar una falla en la red eléctrica, un fusible está formado por un alambre de aleación de plomo – estaño en su interior que tiene un bajo punto de fusión y se funde cuando se excede el límite de su corriente de diseño. Cuando se supera el límite de su diseño se autodestruye y abre el circuito para aislar la falla y resguardar la carga.

Los fusibles pueden estar instalados en postes, utilizando cortacircuitos que protegen cada circuito o ramal en una red eléctrica de media tensión, pero también se pueden encontrar en el área industrial ubicado en gabinetes después de la bajada secundaria.

Los fusibles de baja tensión ayudan a proteger el sistema por sobrecarga o por cortocircuito, están hechos de láminas metálicas con bajo punto de fusión, es decir que se abre por el calor generado por la corriente que circula sobre él.

Figura 6. **Fusibles de media y baja tensión**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2016.

2.9. Tableros eléctricos

También conocidos como cuadros eléctricos y son los componentes principales de una instalación eléctrica, sirven para proteger cada uno de los circuitos en los que se divide la instalación a través de los interruptores termomagnéticos.

- Funciones principales del tablero o cuadro eléctrico:
 - Concentrar el centro de carga en un solo punto.
 - Proteger los circuitos que se derivan del mismo de sobre corrientes.
 - Sirve como medio de desconexión y conexión manual de cada circuito derivado.

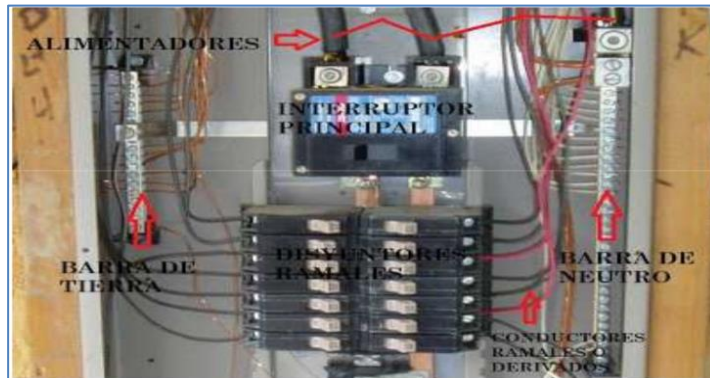
- De acuerdo con su aplicación, los tableros tienen la nomenclatura siguiente:
 - Tableros de distribución (TD)
 - Tableros de alumbrado (TA)
 - Tablero residencial o centro de carga (TR)
 - Centro de control de motores (CCM)

2.9.1. Tableros de distribución

En una instalación eléctrica representan el punto de conexión después del medidor de energía eléctrica localizando en un solo lugar la protección de los circuitos derivados, pueden ser utilizados en instalaciones internas o a la intemperie.

- Características de un tablero de distribución:
 - Algunos tableros de distribución poseen un interruptor principal, que recibe el alimentador y lo protege a través de un interruptor termomagnético.
 - Los circuitos derivados son todos aquellos que salen de la protección termomagnética del tablero de distribución.
 - El tablero de distribución se clasifica por su número de fases, número de hilos (núm. de cables más neutro que lo alimentan), número de polos (espacios que posee el tablero para instalar interruptores) y la capacidad de la barra (capacidad máxima de corriente que puede circular).

Figura 7. Partes de un tablero de distribución



Fuente: Slideshare. *Instalaciones Eléctricas I*. <https://www.slideshare.net/mirlacrespo/tableros-61528587>. Consulta: enero del 2021.

Figura 8. Tablero principal y secundario



Fuente: Tableros Eléctricos Principales de Archivo General de Centroamérica.

2.9.2. Clasificación de tableros de distribución

- De acuerdo con el montaje:
 - Autosoportado: es cuando el tablero este fijo al piso.

- Empotrado: es cuando el tablero se encuentra oculto dentro de la pared.
- Superficial o sobrepuestos: es cuando el tablero está montado sobre la pared y fijado por pernos o tarugos.

De acuerdo con el número de fases:

Tabla XII. **Característica del tablero de distribución**

	# de hilos
Monofásico	3 y 4
Trifásico	3, 4 y 5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2016.

- Clasificación según el voltaje nominal:
 - 120 / 240 V
 - 208 / 120 V
 - 480 / 277 V
 - 600 V
- Clasificación según el número de polos:

- Conexión monofásica del tablero: hay disponibilidad de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30 y 42 polos.
- Conexión trifásica del tablero: hay disponibilidad de 3, 12, 18, 24, 30 y 42 polos.

2.10. Apagador o interruptor

Es un interruptor pequeño de acción rápida, el cual es operado manualmente y sirve para controlar luminarias, el voltaje y la corriente nominal del interruptor se encuentra impreso en las características del interruptor.

La correcta instalación de estos interruptores indica que no deben quedar a más de 1,20 y 1,35 metros sobre el nivel del piso.

Figura 9. Tipos de apagadores



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2016.

2.10.1. Montaje de interruptores

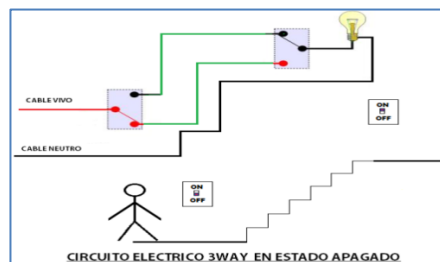
- Tipo sobrepuesto, se utilizan para instalaciones visibles y para controlar luminarias, por ejemplo, en bodegas, área industrial, entre otros.

- Normalmente se instalan sobre una caja rectangular de plástico o metal y se empotran a la pared o superficie.
- Tipo empotrado, se utilizan para instalaciones domiciliarias, oficinas, entre otros. Y se alojan en cajas que ya están empotradas en la pared, quedando visible únicamente la placa del apagador.

2.10.2. Tipos de interruptores

- Apagador monopolar: es el más común y simple sirve para encender o apagar una lámpara. Estos apagadores solo poseen dos terminales donde se conecta la fase y el neutro.
- Interruptor de tres vías: son utilizados para controlar lámparas desde dos puntos, instalando en ambos puntos interruptores de tres vías. Estos por lo general tienen tres terminales y se utilizan por ejemplo en escaleras.

Figura 10. **Conexión del interruptor de 3 vías**

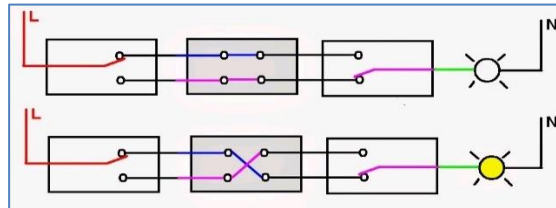


Fuente: Slideshare. *Instalaciones eléctricas I*. <https://www.slideshare.net/mirlacrespo/tableros-61528587>. Consulta: enero del 2021.

- Interruptor de cuatro vías, sirve para controla una carga (luminaria) desde 3 puntos distintos y cuenta con 4 terminales. Al utilizar este interruptor se

debe considerar que en la conexión se utilizan 2 interruptores de tres vías a los extremos y se deja el interruptor de cuatro vías al centro.

Figura 11. **Conexión del interruptor de 4 vías**



Fuente: Coparoman. *Interruptor de 4 vías*. <https://coparoman.blogspot.com/2015/07/interruptor-de-4-vias.html>. Consulta: enero del 2021.

2.11. Tomacorriente o enchufe eléctrico

Punto de suministro desde donde se alimenta una carga (aparato eléctrico). Posee ranuras para la inserción de las clavijas y de esa forma transmitir corriente al aparato eléctrico.

2.11.1. Tipos de tomacorrientes

- Tomacorriente de uso general, se pueden instalar en cajas combinados con interruptores, su capacidad nominal es de 15 amperios y 120 Voltios. La posición de un tomacorriente debe ser entre 30 y 40 cm respecto al nivel del piso y a una altura de 1,20 metros en áreas como cocinas.

Este tipo de tomacorrientes normalmente no es polarizado y únicamente tiene 2 puntos de conexión siendo la fase y el neutro. Por lo que no es recomendable para equipos que necesiten protección contra sobrecargas o descargas atmosféricas.

Figura 12. **Tomacorriente de uso general**



Fuente: MARRIOTT. *Tomacorriente doble Banu.*

<https://almacenesmarriott.com/producto/tomacorriente-doble-polarizado-blanco-linea-banu-tii/>.

Consulta: enero del 2021.

- Tomacorriente polarizado: es el que contiene una protección a tierra y se distingue por tener 3 puntos de conexión siendo la fase, neutro y la tierra física. Son los más utilizados ya que ofrecen protección para los equipos eléctricos.

Figura 13. **Tomacorriente polarizado**



Fuente: MARRIOTT. *Tomacorriente doble Banu.*

<https://almacenesmarriott.com/producto/tomacorriente-doble-polarizado-blanco-linea-banu>.

Consulta: enero del 2021.

2.12. Lámparas y luminarias

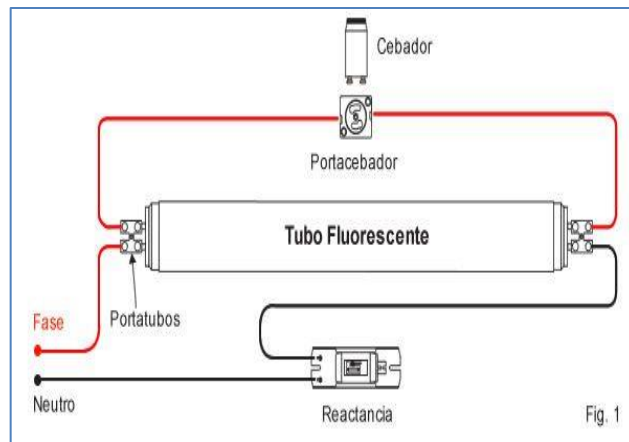
Es necesaria la iluminación artificial en diferentes áreas que no poseen ingreso de luz natural o bien iluminar recintos durante la noche. Por lo que se instalan lámparas de diferentes características para satisfacer las necesidades del ser humano.

- Las lámparas más utilizadas a nivel residencial, comercial e industrial son:
 - Lámparas fluorescentes de vapor de mercurio a baja presión
 - Lámparas fluorescentes compacta o de bajo consumo
 - Lámparas led

2.12.1. Tipos de lámparas

Lámparas fluorescentes de vapor de mercurio a baja presión, son lámparas que utilizan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas los cuales proporciona una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color. La duración de estas lámparas esta entre 5 000 y 7 000 horas. En la actualidad hay otra versión de lámparas fluorescentes donde se incluye el balasto o cebador, estas representan un ahorro del 70 % de energía.

Figura 14. **Lámpara fluorescente tubular con balasto**



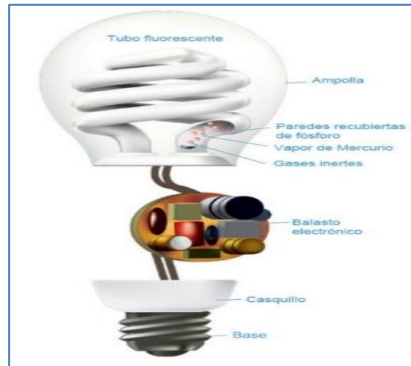
Fuente: *Fuentes Wikipedia. De luz y equipos auxiliares.*

https://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente. Consulta: enero del 2021.

Lámpara fluorescente compacta (LFC) ahorradora de energía, es una lámpara de descarga de baja presión, rellena de vapor de mercurio y tiene forma tubular. Este tipo de lámparas emiten luz ultravioleta con la diferencia que estas lámparas convierten esa luz a luz visible haciendo que la pérdida de energía sea menor lo que las convierte en más eficientes.

La mayor parte de la energía consumida se convierte en luz, por lo que presenta menos pérdidas de calor (un 70 % o 75 % menos) y es más eficiente, cada lámpara tiene una vida útil de 7 500 a 9 000 horas y la emisión de luz es de 4 a 6 veces mayor que las lámparas comunes. Este tipo de lámparas tiene el balasto en la base portalámparas.

Figura 15. **Partes de una lámpara fluorescente compacta**



Fuente: GARCÍA ALVAREZ, José Antonio. *Así funciona. Lámparas de bajo consumo*.
http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_1.htm. Consulta:
enero de 2021.

- Lámpara led (diodo emisor de luz): es una lámpara de estado sólido que funciona por medio de diodos emisores de luz como fuente lumínica, para alcanzar la intensidad luminosa similar a las lámparas fluorescentes compactas necesitan agrupaciones de diodos. Este tipo de lámparas tiene una vida útil de 40 000 hora y una gran eficiencia energética.

Figura 16. **Lámpara led**



Fuente: ECURED. *Lámparas led*. https://www.ecured.cu/L%C3%A1mparas_led. Consulta:
enero del 2021.

- Lámparas incandescentes, es una de las primeras tecnologías que se tuvieron para obtener luz artificial, pero se ha sustituido al pasar de los años debido a que las altas pérdidas por calor que emite.

Figura 17. **Lámparas incandescentes**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2016.

2.13. **Cálculo de luminarias**

Para el cálculo de luminarias se pueden definir dos niveles de iluminación llamados local y general.

- Iluminación local: trata las necesidades de iluminación para realizar tareas específicas que son desarrolladas en diferentes puntos del espacio a iluminar.
- Iluminación general: también conocido como iluminación por zonas y se aplica en espacios donde se necesita diferentes tipos de iluminación para cada zona, la finalidad de este nivel de iluminación es reducir el deslumbramiento directo o reflejado.

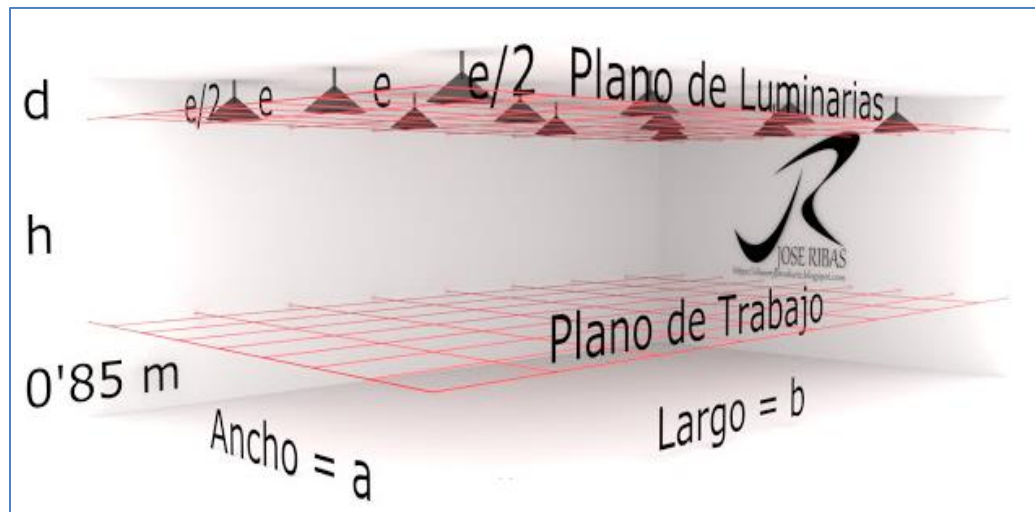
2.13.1. Cálculo por el método de cavidades zonales

Este método es utilizado para establecer el número de luminarias necesarias en un espacio o local que logren una iluminación uniforme, también se le conoce por el método de lúmenes o iluminación general.

- A continuación, se describe el procedimiento a seguir para el cálculo mediante el método de cavidades zonales o método de lúmenes.
 - Calcular el flujo luminoso total, donde se necesitan los siguientes datos:
 - Dimensiones del espacio a iluminar.
 - Altura del plano de trabajo (normalmente se usa 0,85 m).
 - Nivel de iluminancia media (E_m).
 - Elegir tipo de lámpara.
 - Elegir tipo de luminaria y altura de suspensión.
 - Calcular el coeficiente de utilización (C_u), este factor depende del valor adecuado del nivel de iluminación, el sistema de alumbrado, las luminarias, dimensiones del local, reflexión de: techos, paredes y pisos, y del factor de mantenimiento.
 - Determinar el coeficiente de mantenimiento (C_m) según el tipo de local.

- Calcular el número de luminarias.
- Calcular la localización de las luminarias.
- Comprobar resultados.

Figura 18. **Método de cavidades zonales**



Fuente: Blog DissenyProducte. *Aplicación Web: Cálculo de iluminación según el método de los lúmenes*. <https://dissenyproducte.blogspot.com/2016/07/calculo-de-iluminacion-segun-el-metodo.html>. Consulta: enero del 2021.

2.13.2. Cálculo por el método de punto por punto

Este método se utiliza para instalaciones donde no se va a distribuir la luz uniformemente ya que permite obtener luminosidad en puntos específicos. Este método está basado en la ley inversa de los cuadrados.

La luminancia está dada por la suma de una componente directa producida por la luz que llega directamente al plano de trabajo por las luminarias y una componente indirecta que viene de las reflexiones.

- Factores que se deben definir antes de iniciar el cálculo:
 - Características fotométricas de las lámparas y luminarias
 - Distribución de las lámparas y luminarias
 - Altura del plano de trabajo
 - Calcular la luminancia producida por las lámparas, calculando la componente directa e indirecta
- Cálculo de la componente directa:

Para las fuentes de luz puntuales (descarga e incandescentes), el cálculo de iluminancia es:

$$E_H = \frac{I * \cos^3 \alpha}{H^2}$$

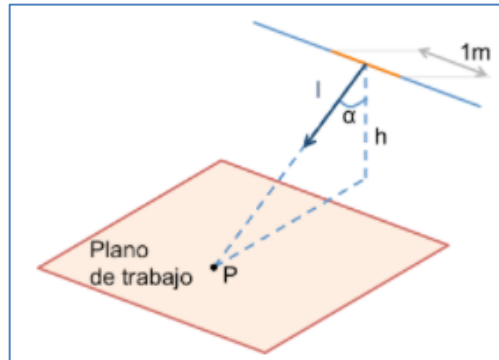
$$E_V = \frac{I * \cos^2 \alpha * \sin \alpha}{H^2}$$

Resumiendo, las ecuaciones a:

$$E_H = \frac{\pi * I}{2h} * \cos^2 \alpha$$

$$E_V = \frac{\pi * I}{2h} * \cos \alpha * \sin \alpha$$

Figura 19. **Método de iluminación punto por punto**



Fuente: Curso on-line de iluminación. *Diseño y Proyecto*. <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/disenoproyecto-predimensionado.php#:~:text=El%20m%C>. Consulta: enero del 2021.

La componente directa de la iluminancia se obtiene por el teorema de Pitágoras.

$$E_{Directa} = \sqrt{E_H^2 + E_V^2}$$

- Cálculo de la componente indirecta o reflejada:

Para este cálculo se considera que la distribución de la luz reflejada es uniforme para todas las superficies. Por lo que la componente vertical y horizontal son las mismas.

$$E_{Indirecta} = E_{indH} = E_{indV} = \frac{\varphi}{F_T} * \frac{\rho_m}{1 - \rho_m}$$

Donde:

Φ = flujo luminoso en lm

F_T = suma del área de todas las superficies en m²

P_m = reflectancia medida de las superficies

Tabla XIII. **Valores de reflectancia para distintos materiales**

Material	Color	Reflectancia (%)
Madera	Maple	42 %
	Encino	34 %
	Avellana	19 %
	Nogal	16 %
	Caoba	12 %
Metal	Esmalte hornado	70 - 85 %
	Aluminio pulido	80 - 85 %
	Aluminio mate	75 %
	Pintura aluminio	59 %
Vidrio	Vidrio claro	10 %
	Vidrio opaco	15 - 30 %
Plástico	Claro	5 - 10 %
	Opalino	15 - 30 %

Fuente: Curso on-line de iluminación. *Diseño y Proyecto*. <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/predimensi%0cuadrados%20>. Consulta: enero del 2021.

La luminancia total es la suma de la iluminancia directa e indirecta:

$$E_{total} = E_{Directa} + E_{indirecta}$$

2.14. Sistemas de puesta a tierra

También conocidos como toma de tierra (TT) y se conoce como la unión eléctrica directa de una parte del circuito (como enchufes, equipos o partes metálicas de la instalación o edificio) a una toma de tierra por medio de un

electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo, desviando las corrientes eléctricas peligrosas al suelo.

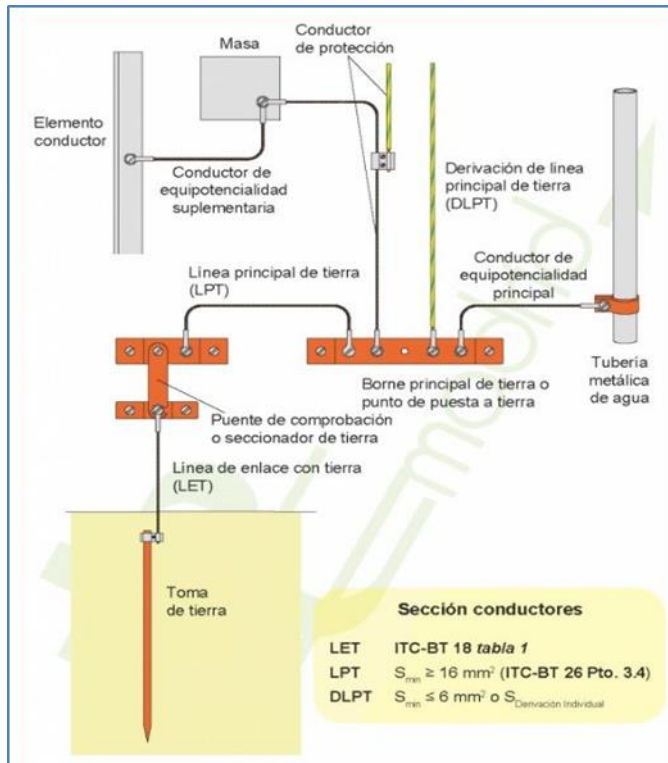
Teniendo una correcta puesta a tierra nosse protege de contactos indirectos y de corrientes estáticas almacenadas.

2.14.1. Puesta a tierra

Tiene como objetivo garantizar la seguridad de las personas ante contactos indirectos. Toda puesta a tierra debe constar de los siguientes elementos:

- Electrodo de tierra, pica o toma de tierra: es un elemento metálico empotrado al suelo que sirve para canalizar las corrientes de fuga que vienen de la instalación o de las descargas eléctricas.
- Línea de enlace con tierra: sirve para conectar el conductor de tierra desde el borne principal de tierra hacia el electrodo.
- Borne principal de tierra: es una barra metálica sujeta a una pared o suelo mediante tornillos o borneras y se conectan al resto de la instalación.
- Conexión de la varilla y el conductor, se realiza mediante soldadura exotérmica o por conectores de cobre. Es importante verificar que la conexión este apretada para evitar falsos contactos.

Figura 20. Esquema de puesta a tierra

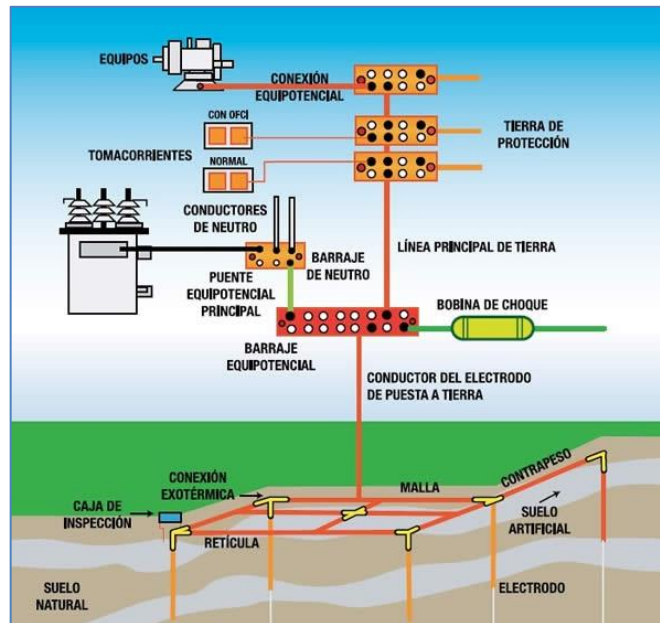


Fuente: TECNOLOGÍA. *Puesta a tierra*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/puesta-a-tierra.html>. Consulta: enero del 2021.

2.14.2. Red de tierras

Son un sistema de mallas es un conjunto de conductores, electrodos accesorios y otros elementos que interconectados eficazmente entre si tienen como objetivo drenar las corrientes de fuga a tierra.

Figura 21. Esquema de red de tierras



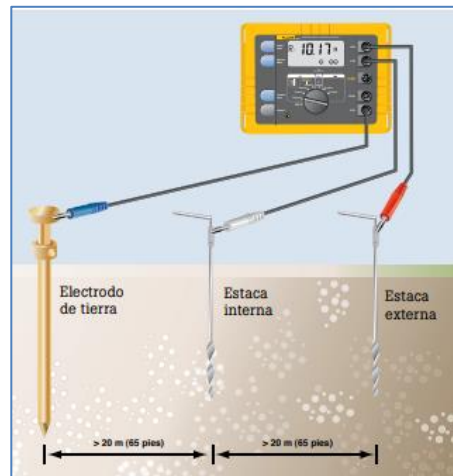
Fuente: FARAGAUSS Technology. *Sistemas de Tierras Físicas*.

<http://www.faragauss.mx/quienes-somos/sistemas-de-tierras-fisicas>. Consulta: enero del 2021.

2.14.3. Métodos de medición de tierra

Medición de caída de potencial, se utiliza para medir la capacidad de un sistema de conexión a tierra física o un electrodo individual para disipar la energía de un lugar.

Figura 22. **Método de caída de potencial**



Fuente: *FLUKE. Principios, métodos de comprobación y aplicaciones.*

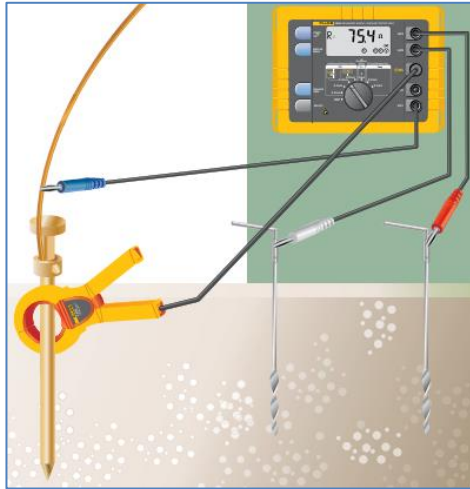
https://diof0bc2097ng.cloudfront.net/sites/www.voltimum.es/files/fields/attachment_file/fluke.pdf.

Consulta: enero del 2021.

- Como realizar la conexión para caída de potencial:
 - El electrodo de interés se debe desconectar
 - Conectar el comprobador al electrodo de tierra
 - Colocar 2 estacas de conexión a tierra en línea recta en el terreno
 - El comprobador calcula automáticamente la resistencia del electrodo de tierra

Medición selectiva, es un método más seguro y sencillo en comparación con la caída de potencial. No es necesario desconectar el electrodo de tierra, solo se coloca la pinza en el electrodo de interés y se utilizan 2 picas auxiliares.

Figura 23. **Método selectivo de tierra**



Fuente: *FLUKE. Principios, métodos de comprobación y aplicaciones.*

https://diof0bc2097ng.cloudfront.net/sites/www.voltimum.es/files/fields/attachment_file/fluke.pdf.

Consulta: enero del 2021.

2.15. Pararrayos

Son instrumentos que sirven para evitar que un rayo ionizado cause daños a las personas o edificios enviando la descarga hacia la tierra e impidiendo que impacte directamente contra ellos.

Se debe instalar por encima de la parte más elevada de la estructura a proteger, para que capte y canalice de forma segura la descarga del rayo. Los pararrayos poseen un cuerpo metálico y una punta conectados a un sistema de puesta a tierra donde disipa la descarga del rayo. Existen diferentes tipos de pararrayos, permitiendo garantizar la protección contra el rayo en las estructuras:

- Punta captadora o pararrayos Franklin, son los más conocidos y se siguen utilizando en la actualidad e inventados por Benjamin Franklin en 1749.
- Pararrayo PDC, tiene un radio de protección muy amplio por su ionización de las partículas de aire alrededor de la punta del captador.
- Pararrayo PDCE, es un dispositivo de cebado PLUG y es seguro para reducir el tiempo de una descarga atmosférica y mayor capacidad de captura del rayo.

Figura 24. **Instalación de un pararrayos**



Fuente: NAVAGESTION. *Pararrayos*. <https://www.navagestion.es/pararrayos-valencia/>.

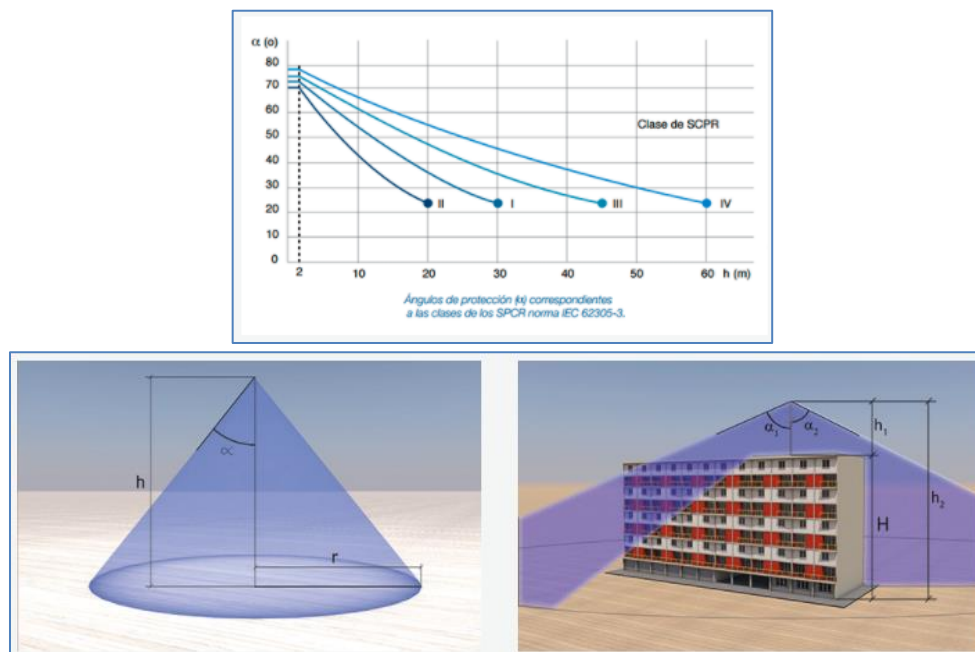
Consulta: enero del 2021.

2.15.1. Cálculo de la zona de protección de un pararrayo

Para realizar el diseño de protección efectivo contra el rayo mediante puntas de Franklin o mallas captadoras.

- Método del ángulo de protección: se utiliza para edificios con formas simples. Está limitado a una altura máxima según el nivel de protección, ver las figuras (a) y (b) de los niveles de protección.

Figura 25. (a) Ángulos de protección y (b) zona de protección



Fuente: INGESCO. *Puntas captadoras*. <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>. Consulta: enero del 2021.

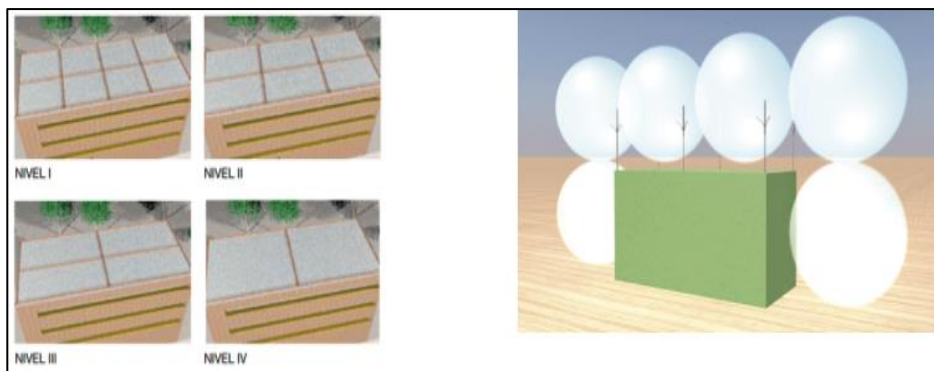
- Método de la esfera rodante, se utiliza cuando el método de ángulos de protección no es aplicable. Ver las figuras (a) y (b) para cálculo del método de la esfera rodante.

Figura 26. **Método de la esfera rodante**

Método de protección		
Clase de SPCR	Radio de esfera rodante r (m)	Tamaño de la malla W_m (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15 x 15
IV	60	20 x 20

Fuente: INGESCO. *Puntas captadores*. <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>. Consulta: enero del 2021.

Figura 27. **Protección de la esfera rodante**



Fuente: INGESCO. *Puntas captadores*. <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>. Consulta: enero del 2021.

2.16. Transformador eléctrico

Es un elemento clave para el desarrollo de la industria eléctrica, es una máquina que, basándose en los principios de la inducción electromagnética, transfiere energía de un circuito a otro sin cambiar la frecuencia.

Estos elementos ayudan a mejorar la eficiencia de los sistemas de energía durante la distribución y regulación a través de largas distancias.

Los componentes de un transformador son el núcleo magnético, el devanado principal y el devanado secundario.

- Devanado principal: es la parte que está conectada a la fuente eléctrica, de donde se produce el flujo magnético inicialmente. Estas bobinas están aisladas una de otra y el flujo principal se induce el devanado principal, de donde pasa el núcleo magnético enlazándolo al secundario a través de reluctancia baja.
- El núcleo, retransmite el flujo al devanado secundario para crear el circuito magnético que cierra el flujo.
- El devanado secundario: sirve para completar el movimiento del flujo que inicia en el devanado principal.

2.16.1. Tipos de transformadores de distribución

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, se fabrican en potencias normalizadas desde 10 hasta 1 000 kVA y en tensiones primarias de 7.5, 13.2, 15, 25, 33 y 37.5 kV.

- Los transformadores se clasifican en:
 - Transformadores secos: se utilizan en el interior para la distribución de energía en media tensión, son especialmente para espacios reducidos y son seguros para casos de incendio ya que no producen flama. Su principal característica es que son refrigerados en aire con aislación clase F, utilizan resina epoxi como medio de protección de los arrollamientos.
 - Transformadores tipo poste: es el transformador más utilizado para la electrificación urbana y rural, está diseñado para instalación en el exterior y tiene una gran variedad de conexiones en alta y baja tensión. Estos transformadores se pueden encontrar en tipo convencional y CSP (autoprotegido).
 - Transformador tipo *pad mounted*: es una subestación que integra protección en media y baja tensión. Posee una estructura envolvente que sirve para que su instalación sea a nivel del piso. Este transformador está diseñado para trabajar al aire libre, son equipos altamente eficientes, autorefrigerados y poseen aceite vegetal o mineral.

2.17. Instrumentos de medición eléctrica

Se utilizan para registrar y medir diferentes señales eléctricas, existen varios instrumentos de medición eléctrica que se adaptan a las necesidades de quien los manipula. Se pueden medir magnitudes eléctricas como: corriente, voltaje, resistencia, potencias, entre otros.

2.17.1. Medidor y analizador de calidad de energía

Es un analizador y solucionador de problemas trifásico de la calidad eléctrica, ya que registra parámetros con los cuales se pueden realizar informes detallados con la ayuda de un *software*. Con la información obtenida del informe se puede tomar decisiones para corregir los problemas identificados.

Los medidores de calidad de energía se clasifican por su clase, la cual determina la confiabilidad y la certeza de los medidores. La clasificación está dada por: clase A, clase B y clase C. la clasificación también establece las normas a las que está sujeta la medición.

Hay una variedad de marcas de equipos de calidad de energía y en todas sus clases, entre las más utilizadas, se puede mencionar la marca Circutor, *Fluke*, *Dranetz* y *Megger*. Las principales aplicaciones de los analizadores de red son las siguientes:

- Análisis de fallas
- Estudio del comportamiento del factor de potencia
- Diagnósticos de la calidad de energía en la instalación eléctrica
- Análisis de armónicos de corriente y voltaje
- Registro de datos por largos periodos y análisis mediante *software*

Parámetros eléctricos que registra un analizador de red:

- Voltaje: es una diferencia de potencial medida en voltio (V), también es conocida como tensión o diferencia de potencial y es la fuerza electromotriz que ejerce sobre las cargas eléctricas o electrónicas de un circuito cerrado. También se conoce como la cantidad de voltios que actúan sobre un equipo o sistema eléctrico.
- Corriente: se define como un desplazamiento de electrones portadores de carga eléctrica a lo largo de un conductor entre cuyos extremos se aplica una diferencia de potencial. La corriente alterna, se clasifica porque su magnitud y dirección presentan una variación de tipo cíclico por lo que oscila de forma senoidal.
- Factor de potencia fundamental: mide la eficiencia del consumo eléctrico, al momento de convertirlo en potencia útil. Por ejemplo: luz, calor o energía activa. Es necesario que en una instalación eléctrica el factor de potencia este por lo menos en un valor de 0,8, sin embargo, en lo que respecta a la industria la distribuidora de energía exige un valor arriba de 0,9.
- Potencia activa, reactiva y aparente: la potencia es la transferencia de energía en una unidad de tiempo, puede ser medida en cualquier instante de tiempo y se mide en vatios (W), kilovatios (KW), megavatios (MW), entre otros.
- Potencia activa (W): es la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de energía eléctrica en trabajo. Esta potencia

es la realmente útil consumida por los equipos y su dimensional está en *watt* o vatios.

- Potencia reactiva (VAR): esta potencia no produce un trabajo útil y existe cuando en la red hay bobinas o condensadores. Se conoce como potencia desvatada y se mide en voltamperios reactivos (VAR).
- Potencia aparente (VA): es la suma de energía que disipa un circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo. Esta potencia varía según el factor de potencia en donde se evidencia que la red de un circuito debe satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos y por las bobinas y condensadores. Se mide en voltamperios (VA).
- Energía: es el consumo realizado para hacer funcionar todos los equipos conectados a la red eléctrica de una vivienda, edificio, centro comercial, entre otros.

Puede obtenerse de diferentes fuentes como, centrales solares, eólicas, hidroeléctricas, térmicas, nucleares, entre otros. Para medirla se utilizan los dimensionales kilovatios por hora (KVAH) o kilowatts por hora (KWH).

- Frecuencia: es el número de veces que una onda sinusoidal se repite o completa un ciclo de positivo a negativos. Su dimensional esta dad en Hertz (Hz) y el valor promedio de operación en la red debe ser de 60 Hz.
- Distorsión armónica de voltaje y corriente: surgen a partir del proceso de conversión de la corriente alterna a corriente continua, ya que en ese proceso la forma de onda de la corriente resulta alterada. Por lo que la onda senoidal se convierte en superposiciones de ondas senoidales y

variación de frecuencia. Este tipo de casos se encuentran regularmente en la industria por la cantidad de convertidores electrónicos instalados como rectificadores, luz led, onduladores, entre otros.

Armónicos de voltaje (DTHv): se crean por alteraciones en la onda de voltaje y cuando existen pueden causar mal funcionamiento en los equipos electrónicos, según la Normativa NTSD el valor debe estar por debajo de un 8 % para los DTHv.

Armónicos de corriente (DTHi): distorsionan la onda de tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando la reducción de la vida útil de los equipos y causando un mal funcionamiento en los equipos electrónicos, según la Normativa NTSD el valor debe estar por debajo de un 20 % para los DTHi.

- La presencia de armónicos en la red puede causar lo siguiente:
 - Sobrecalentamiento en los conductores, especialmente en el neutro de la instalación debido al efecto pelicular.
 - Disparos inadecuados y fallas de interruptores automáticos y diferenciales.
 - Daños en los capacitores de potencia y efectos de resonancia.
 - Sobrecalentamiento de motores y maquinas eléctricas.
 - Diferencias de potencial entre neutro y tierra.

2.17.1.1. Dranetz HDQP *Guide* (analizador clase A)

Es un instrumento analizador de red clase A, con el cual puede registrar varios parámetros eléctricos y diferentes eventos. Entre los parámetros principales registra sags/dips, *swells*, interrupciones, transitorios, armónicos, parpadeo, RVC, potencia, demanda, energía, voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, entre otros.

Mide todos los estándares actuales de la industria, incluidos IEC 61000-4-30 clase A edición 3, IEC 61000-4-7, IEEE 1159, IEEE 519: 2014, IEEE 1459. Las configuraciones automatizadas brindan detección instantánea de circuitos por lo que el instrumento está listo para recopilar datos en segundos, además, se puede seleccionar la duración de la medición y el modo de recopilación de datos. Este analizador se apoya del *software* Dran-View 7, en el cual se pueden analizar los datos, crear informes y controla en remoto el dispositivo.

Figura 28. Analizador de red Dranetz *Guide*



Fuente: DRANETZ. *Manuales y guías de referencia*. <https://www.dranetz.com/technical-support-request/manuals-guides-references/>. Consulta: Enero del 2021.

2.17.1.2. Círculo CIRE+ (analizador clase A)

Es un instrumento portátil para redes eléctricas monofásica y trifásica de 3 y 4 hilos que tiene medida de valor eficaz y medida de parámetros de calidad de suministro de tensión.

Es un instrumento compatible con el *software PowerVision* bajo la Normativa EN 50160, también es configurable mediante aplicación de PC y cuenta con 4 canales de tensión y 3 canales de corriente.

Figura 29. Analizador de red CIRE+



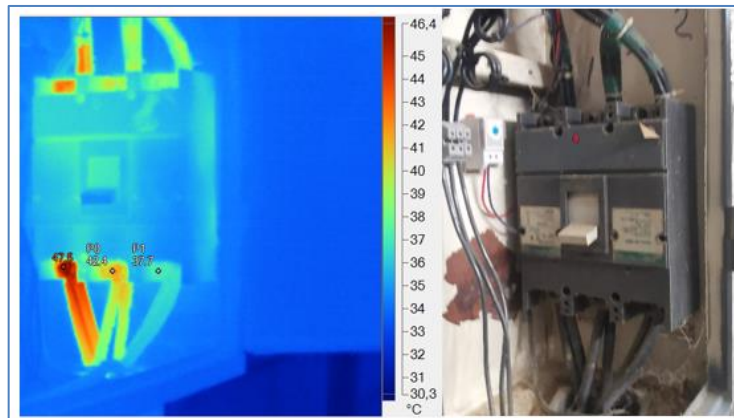
Fuente: CIRCUTOR. *Analizadores portátiles de redes*. <http://circutor.es/es/productos/medida-y-control/analizadores-de-redes-portatiles/analizadores-de-redes-portatiles-port/serie-cire-plus-detail#descripci%C3%B3n>. Consulta: enero del 2021.

2.17.2. Cámara termográfica

Una cámara termográfica o térmica muestra en pantalla una imagen de calor que emite un equipo. Estas cámaras trabajan en un rango conocido como infrarrojo térmico con temperaturas de -20 y 350 °C.

La cámara termográfica está formada de un sensor térmico llamado microbolómetro que al recibir la radiación infrarroja se calienta y cambia su resistencia eléctrica. Entre sus aplicaciones se puede mencionar: mantenimiento industrial, circuitos de aire acondicionado y calefacción, prevención de incendios en la red eléctrica, entre otros.

Figura 30. **Imagen termográfica**



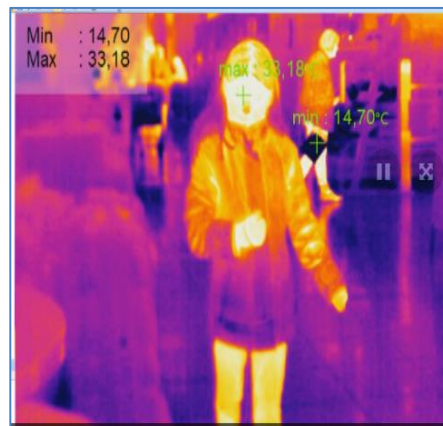
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2016.

- Principales parámetros de una cámara termográfica:
 - Temperatura: las cámaras termográficas detectan la temperatura capturando diferentes niveles de luz infrarroja que es invisible a la vista humana y que es irradiada por los objetos.
 - El rango de temperatura y la sensibilidad de una cámara térmica también son importantes ya que el rango especifica cual es la temperatura mínima y máxima que puede medir la cámara.

- Emisividad: capacidad de un cuerpo para emitir radiación, los valores de emisividad están entre 0 y 1. En si la emisividad es un tema de estudio muy amplio y que depende del tipo de materiales que se estén observando ya que en la realidad no existe un irradiador perfecto o cuerpo negro.

La mayoría de las cámaras infrarrojas permiten hacer un ajuste de emisividad si se conoce el valor de emisividad del material que se está evaluando, sino se elige un valor nominal de 0,95 o bien se consulta en la tabla de emisividad para superficies comunes.

Figura 31. **Registro de temperatura**



Fuente: Thermal Expert. *Imágenes térmicas de alta resolución*,
<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 32. Valores de emisividad para superficies comunes

Material Temperatura (°C)	Emisividad	Material Temperatura (°C)	Emisividad
Aluminio, fuertemente oxidado	0,25	Hierro, oxidado	0,74
Acero, fuertemente oxidado	0,88	Hormigón	0,54
Acero, galvanizado	0,28	Hierro, plancha galvanizada, bruñida	0,23
Acero, laminado fresco	0,24	Hierro, plancha galvanizada, oxidado	0,28
Acero, plancha, laminada	0,86	Laca sólida, blanca	0,87
Acero, plancha, niquelado	0,11	Laca sólida, negra, brillante	0,87
Acero, rojo herrumbrado	0,69	Laca sólida, negra, mate	0,97
Acero, superficie rugosa	0,86	Laca, baquelita	0,93
Agua	0,98	Ladrillo, común	0,85
Aluminio, pulido	0,05	Ladrillo, glaseado, rugoso	0,85
Aluminio, superficie rugosa	0,07	Ladrillo, refractario, rugoso	0,94
Arcilla, cocida	0,91	Latón, mate, deslustrado	0,22
Asbesto, papel	0,94	Latón, pulido	0,03
Asbesto, pizarra	0,96	Latón, pulido	0,10
Asbesto, plancha	0,96	Mercurio, puro	0,10
Asbesto, tela	0,78	Negro de humo	0,98
Bronce, poroso, rugoso	0,55	Niquel, en hierro fundido	0,05
Carbón vegetal, en polvo	0,96	Niquel, puro pulido	0,05
Carbón, purificado	0,80	Papel, blanco	0,90
Cinta eléctrica, plástico negro	0,95	Papel, negro, brillante	0,90
Cobre, bruñido comercial	0,07	Papel, negro, mate	0,94
Cobre, oxidado	0,65	Pintura, acabado de plata	0,31
Cobre, oxidado a negro	0,88	Pintura, óleo, promedio	0,94
Cobre, pulido, recocido	0,01	Platino, puro, pulido	0,08
Cristal	0,92	Plomo, brillante	0,08
Cristal, esmerilado	0,96	Plomo, gris	0,28
Cromo, pulido	0,10	Plomo, oxidado	0,63
Cuarzo	0,93	Plomo, rojo, en polvo	0,93
Esmalte	0,90	Porcelana, glaseada	0,92
Estiño, bruñido	0,05	Oro, pulido	0,02
Formica	0,93	Suelo congelado	0,93
Goma	0,93	Laca líquida, negra, brillante	0,82
Hielo	0,97	Laca líquida, negra, mate	0,91
Hierro fundido, fundición rugosa	0,81	Nieve	0,80
Hierro fundido, pulido	0,21	Papel alquitranado	0,92
Hierro, brillante, grabado	0,16	Tungsteno	0,05
Hierro, forjado, pulido	0,28	Zinc, plancha	0,20
Hierro, laminado en caliente	0,77	Zinc, feuille	0,20

Fuente: Thermal Expert. *Imágenes térmicas de alta resolución.*

[Hhttps://www.thermalexpert.eu/english-1/start/](https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/). Consulta: enero 2021.

Hay variedad de marcas, resoluciones y tipos de cámaras termográficas, desde las que son portables marca *Fluke* y *Flir one*, utilizadas por medio de un *smartphone* como Thermal Expert y Flir one, 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.

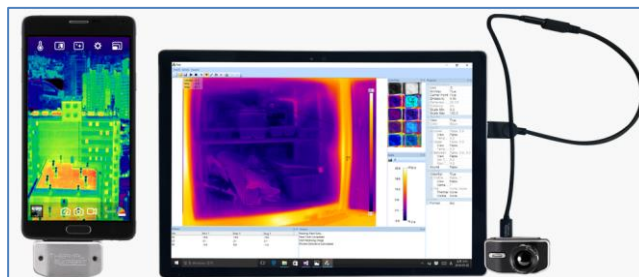
Figura 33. Especificaciones de la cámara TE-Q1

Array format	384 x 288
Pixel pitch	17 μm
Wavelength band	8 ~ 14 μm (Longwave Infrared)
Sensitivity	$\leq 50 \text{ mK}@F/1, 300 \text{ K}$ $\leq 80 \text{ mK}@F/1.3, 300 \text{ K}$
Frame rate	< 9 Hz
Scene range temperature	-10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 150 $^{\circ}\text{C}$ (PLUS: -10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 120 $^{\circ}\text{C}$, PRO: -10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 250 $^{\circ}\text{C}$)
Operating temperature	-10 $^{\circ}\text{C}$ ~ 50 $^{\circ}\text{C}$
Power consumption	$\leq 500 \text{ mW}$
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: Thermal Expert. *Imágenes térmicas de alta resolución*.
<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

Figura 34. Cámara termográfica Thermal Expert TE-Q1



Fuente: Thermal Expert. *Imágenes térmicas de alta resolución*,
<https://www.thermalexpert.eu/english-1/start/>. Consulta: enero de 2021.

2.17.2.2. Flir one Gen 3

Es una cámara termográfica que funciona mediante un *smartphone* ya que se conecta a su puerto tipo C y mediante una aplicación Android o iOS, se puede realizar el análisis termográfico de diferentes elementos eléctricos. Esta cámara cuenta con una resolución térmica de 80 x 60, resolución visual de 1 440x1 080 y con un sensor térmico de tamaño de píxel 17 μm , de 8 a 14 μm de rango espectral, por último, cuenta con una temperatura operativa de 0 a 35 $^{\circ}\text{C}$.

Figura 35. **Cámara termográfica Flir one Gen 3**



Fuente: FLIR. *Cámara térmica para smartphones*. <https://www.flir.com.mx/products/flir-one-gen-3/> Consulta: enero 2021.

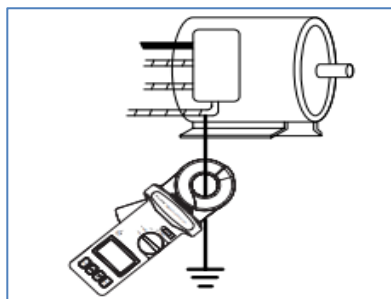
2.17.3. Medidor de puesta a tierra

Sirven para realizar pruebas en los electrodos de la puesta a tierra o conexión a tierra, midiendo la resistencia de la tierra. Hay una variedad de medidores disponibles que cuentan con diferentes métodos de medición para obtener el valor de la resistencia de la tierra y resistividad del terreno. Entre los métodos de prueba se puede mencionar: caída de potencia de 3 y 4 polos, comprobación selectiva, sin picas y de 2 polos.

Sistema de medición sin picas, es el método que no necesita desconectar sistemas de tierras paralelos ni encontrar lugares apropiados para colocar las picas auxiliares. La pinza se coloca abrazando cualquier punto del circuito de tierra o cable de conexión y se induce una tensión determinada.

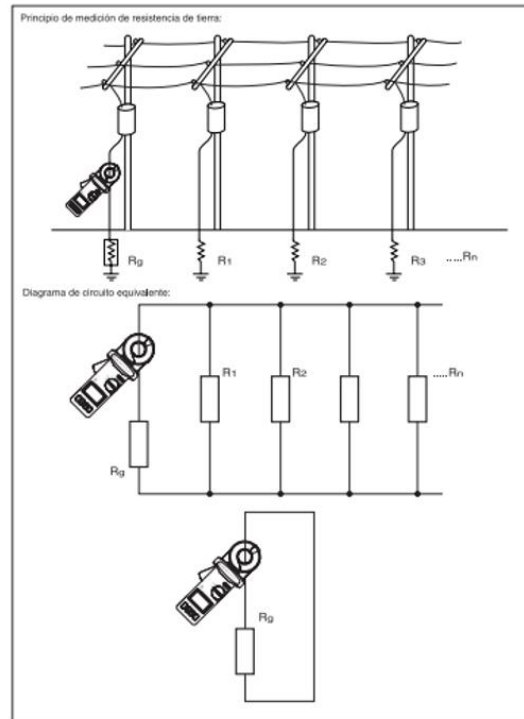
- Los parámetros eléctricos que se obtienen con estos medidores son los siguientes:
 - Resistencia de tierra: para medir la resistencia a tierra con la pinza, se abren las mordazas y se verifica que las superficies encajen correctamente con el electrodo o conductor eléctrico a medir. La pinza muestra en pantalla el valor de la resistencia a tierra (R_g) en ohmios (Ω).
 - Corriente de fuga: es la corriente que fluye a través del conductor de protección a tierra. Para medir la corriente de fuga, es necesario colocar las mordazas de la pinza abrazando el conductor a tierra, electrodo o varilla a tierra. El valor de esta corriente no debe exceder los 3 amperios.

Figura 36. **Medición de corriente de fuga**



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

Figura 37. **Medición de la resistencia a tierra**



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

2.17.3.1. **Pinza de resistencia de tierra fluke 1630**

Utiliza la técnica de medición sin picas lo cual simplifica el proceso de comprobación de lazo de tierra y permite realizar medidas de corrientes de fuga no intrusivas. Con este equipo se hace la comprobación del lazo de tierra y de continuidad sin necesidad de abrir el circuito.

Figura 38. Pinza de medición de tierras *Fluke 1630*



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

Figura 39. Especificaciones generales

Especificaciones eléctricas		Resistencia de bucle a tierra	
Pantalla	de cristal líquido, 9999 dígitos, con símbolos especiales	Intervalo	Exactitud ^[1] (±% de la lectura + Δ)
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 a + 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 60529	200,0 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 1900,0 Ω	± 20,0 %
EMC (inmunidad)	IEC 61000-4-2 8 kV (aire) criterios B, IEC 61000-4-3 10m criterios de desempeño A		
Selección de rangos	Auto		
Indicación de sobrecarga	OL		
Medición de frecuencia	3,333 kHz		
Requisito de alimentación eléctrica	batería alcalina de 9 V (tipo IEC 6F22, NEDA 1604)		
Consumo de energía	40 mA aprox. (en la función Ω)		
Indicador de batería descargada	CA		
Máxima corriente no destructiva	100 A continua, 200 A (< 10 s)		
Exactitud de la placa de calibración	± 0,5 %		
Capacidad de registro de datos	110 registros		
Intervalo de registro de datos	de 1 a 255 segundos		

mA de corriente de fuga a tierra	
Rango	Exactitud
0,300 a 1,000 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,05 mA
1,00 a 10,00 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,03 mA
10,0 a 100,0 mA	± 2,0 % de la lect. ± 0,3 mA
100 a 1000 mA	± 2,0 % de la lect. ± 3,0 mA

A de corriente de fuga a tierra	
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

[1] Resistencia de bucle sin inductancia, campo externo < 200 A/m, campo eléctrico externo < 1 V/m, conductor centrado.

Rango automático 50/60 Hz, verdadero valor eficaz, factor de cresta CF < 3,5

50/60 Hz, verdadero valor eficaz, factor de cresta CF < 3,5

Fuente: *FLUKE*. Pinza amperimétrica de conexión a tierra. <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 AEMC 3711

Emplea el sistema sin picas para realizar su medición, por lo que es muy práctica para medir la resistencia del sistema o el lazo, también se puede medir la corriente de fuga.

Figura 40. Pinza de medición de tierra AEMC 3711



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

2.17.4. Multímetro

También denominado polímetro o tester: es un instrumento eléctrico portátil que sirve para medir directamente magnitudes eléctricas como voltaje, corriente, capacitancia, frecuencia, resistencia, entre otros.

- Funciones principales de un multímetro
 - Medición de tensiones de corriente alterna y corriente continua

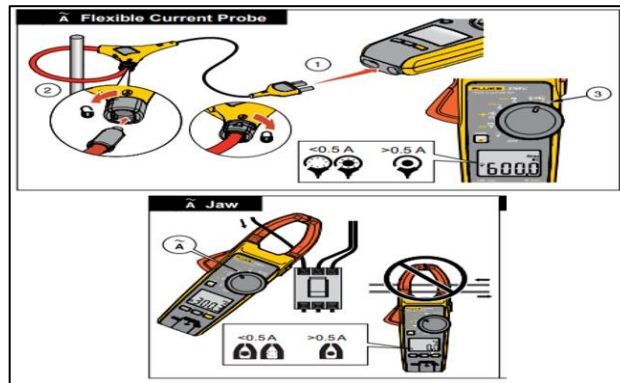
- Medición de intensidad de corriente alterna y continua
- Medición de capacitancia
- Medición de frecuencia
- Prueba de continuidad
- Medición de resistencia

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. Tiene la capacidad de funcionar a través de una aplicación para almacenar los datos registrados, además, su especialidad es la medición de corriente alterna por lo que cuenta con una sonda flexible permitiendo evaluar conductores ubicados en espacios reducidos.

- Medición de parámetros eléctricos:
 - Medición de la corriente alterna, utilizando la pinza y la sonda flexible. Capacidad de la medición:
 - Medición de corriente de CA y CC de 1 000 A
 - Mediciones de corriente de 2 500 A CA con la sonda de corriente flexible iFlex

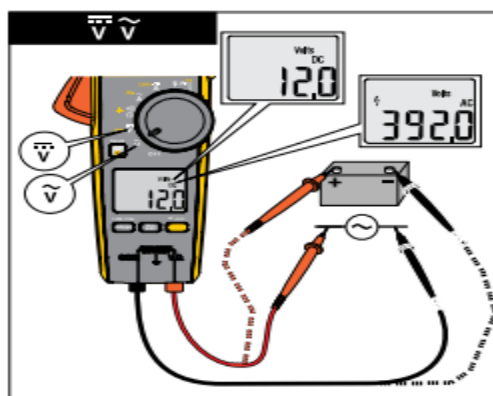
Figura 41. **Pinza amperimétrica *Fluke 376 FC***



Fuente: *FLUKE. Pinza amperimétrica 376 FC con iFlex*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-376-fc#>. Consulta: enero de 2021.

- Para la medición de voltaje AC este equipo cuenta con una clasificación de seguridad CAT IV 600 V, CAT III 1 000 V, se obtiene el verdadero valor eficaz del voltaje para obtener mediciones más exactas en señales no lineales.

Figura 42. **Medición de voltaje AC**



Fuente: *FLUKE. Pinza amperimétrica 376 FC con iFlex*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-376-fc#>. Consulta: enero de 2021.

2.18. Diagramas unifilares

Es un esquema o representación gráfica de una instalación eléctrica, con el propósito de suministrar de forma concisa información relevante del sistema o la instalación eléctrica. Dicho diagrama es el plano eléctrico más utilizado para identificar los componentes principales del sistema y mostrar cómo se distribuye la potencia desde la fuente o acometida hasta el punto de utilización.

Estos diagramas se pueden dibujar bajo las Normas IEC y ANSI, tener el unifilar de la instalación es una herramienta básica para el técnico o ingeniero para comprender como está formada la instalación eléctrica y tomar decisiones técnicas al momento de una falla o de un mantenimiento a la red o a los equipos.

2.19. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas

Tener una planificación ordenada del mantenimiento de las instalaciones eléctricas es una acción eficaz para aumentar la seguridad de los trabajadores, de las instalaciones y la vida útil de los equipos instalados, ya que se pueden evitar fallas, mejorar la seguridad, mantener la productividad y la calidad del producto. El mantenimiento se divide en dos tipos: preventivo y correctivo.

2.19.1. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que permite detectar fallas repetitivas, prolongar la vida útil de los equipos, reducir los costos de reparación o reposición total de equipos, detectar posibles fallas que afecten la producción o bien interrumpan el servicio eléctrico, entre otras.

- Fases del mantenimiento preventivo:
 - Tener un diagrama unifilar actualizado, manuales de los equipos instalados, auditoría de toda la red eléctrica.
 - Elaborar un cronograma de los trabajos que se deben efectuar periódicamente y los procedimientos técnicos para efectuarlos.
 - Llevar un registro de las reparaciones realizadas, tipos de repuestos y costos.

2.19.2. Mantenimiento correctivo

Es una acción de carácter urgente que no se puede planificar, surge por el agotamiento de la vida útil de un equipo, fallo de componentes y otros factores externos. Este tipo de mantenimiento siempre representa un gasto económico sin agregar valor al establecimiento.

- Este tipo de mantenimiento se divide en dos ramas:
 - Mantenimiento contingente: son todas las acciones que se realizan de forma inmediata, debido al paro de producción y daño a la calidad del producto o servicio. En este mantenimiento se pueden realizar reparaciones temporales con la prioridad de restablecer el servicio y minimizar las pérdidas.
 - Mantenimiento programable: se refiere a todas aquellas fallas que no signifiquen una pérdida económica o una mala calidad del servicio, por lo que se puede programar su reparación.

3. MARCO METODOLÓGICO

El edificio donde se realizará el diagnóstico de la instalación eléctrica actual es en Archivo General de Centroamérica (AGCA), ubicado sobre la 4.^a Avenida 7-41 zona 1. Ciudad de Guatemala.

Figura 43. **Archivo General de Centroamérica (AGCA)**



Fuente: Archivo General de Centroamérica – AGCA-.

<https://www.facebook.com/Archivo.General.C.A.1846>. Consulta: enero de 2021.

3.1. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio para este proyecto se basa en el diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales a través de un levantamiento de cargas instaladas, análisis de consumo de energía, estudio de calidad de energía, toma

de termografías en tableros eléctricos y medición de puesta a tierra en puntos existentes.

3.2. Recursos materiales disponibles

Los equipos que se van a utilizar para realizar el diagnóstico de las instalaciones eléctricas actuales son los siguientes instrumentos:

- Analizador de energía clase A, marca Dranetz HDPQ Guide
- Cámara termográfica Thermal Expert, serie TE-Q1
- Pinza amperimétrica, marca *fluke* 376 FC
- Gancho de tierra (pinza) para medir resistencia, marca *fluke* 1630
- Teléfono celular LG G8s *Think*
- Casco para trabajos eléctricos para 21kV
- Guantes dieléctricos
- Zapatos dieléctricos
- Destornilladores aislados hasta 1 000 voltios
- Computadora laptop HP ENVY
- Tablet Samsung S3

3.3. Ejecución de la medición de parámetros eléctricos

Ya que se tienen establecidos los equipos e instrumentos necesarios para realizar las mediciones eléctricas, a continuación, se presente el detalle técnico de los equipos que se utilizarán para el estudio en el edificio Archivo General de Centroamérica.

3.3.1. Medición de calidad de energía con el analizador de red Dranetz HDPQ *Guide*

Se instalará el equipo Dranetz HDPQ *Guide* en el flipon principal del edificio Archivo General de Centroamérica para registrar los parámetros eléctricos que ayuden con el estudio de calidad de energía, bajo los estándares IEEE 519, IEC 61 000 y EN50160. El equipo estará instalado en la red por un periodo continuo de 7 días y guardará registros en intervalos de 15 minutos, para posteriormente ser analizados bajo la Norma IEEE 519.

Los parámetros eléctricos necesarios para este estudio serán: voltaje, corriente, potencias (activa, reactiva y aparente), factor de potencia y frecuencia.

La segunda parte del estudio estará caracterizada por la distorsión armónica de corriente y voltaje. Los resultados de la medición serán evaluados bajo el *software* *Dran – View 7*, en donde se elaborarán gráficas de los parámetros ya mencionados para su análisis final.

3.3.2. Toma de termografías con la cámara termográfica *thermal expert* TE-Q1

Se utilizará este tipo de cámara termográfica que se controla a través de un dispositivo móvil, haciendo termografías en los tableros eléctricos principal y secundarios de la instalación eléctrica. Las características de la cámara termográfica a utilizar son:

- Lente de 6,8 mm f1.3
- Rango de temperatura de -10 a 150 °C
- Resolución infrarroja de 384 x 288 pixeles

El procedimiento será: abrir el tablero utilizando guantes dieléctricos y destornilladores aislados para 1 000 voltios, después de remover la tapadera del tablero se procede a realizar la termografía y se guarda en el móvil para hacer su análisis posteriormente. Se utilizará el *software* de *thermal expert* para analizar las termografías y verificar que no existan puntos calientes en las conexiones del tablero eléctrico.

3.3.3. Medición de resistencia a tierra con la pinza de resistencia de tierra *fluke* 1630

Se utilizará esta pinza para la medición de resistencia en ohms(Ω) de las puestas a tierra de tableros, *flipon* principal y transformadores. Se utiliza una pinza tipo gancho para la medición de resistencia porque en el edificio no es posible utilizar un método de picas. Las características principales de la pinza *fluke* 1630 son:

- Método de medición de picas
- Lazo calibrador de resistencias
- medición de corrientes de fuga

Para utilizar este tipo de pinza no se necesita desenergizar el circuito, solo se coloca la pinza sobre el conductor de tierra y por ser un lazo cerrado se puede medir la resistencia existente. Posterior a las mediciones se tabularán para su análisis, indicando el elemento medido y el valor de su resistencia.

Para esta instalación eléctrica será necesario contar con una puesta a tierra según las Normas NEC 250.56 un valor de resistencia inferior a 25 Ω y si se tuviera equipos sensibles el valor de la resistencia deberá ser inferior a 5 Ω .

3.3.4. Medición de caída de tensión con pinza amperimétrica *fluke 376 FC*

Para el registro de mediciones de caída de tensión del tablero principal hacia los tableros secundarios se utilizará la pinza *fluke 376 FC*, los parámetros a registrar son voltaje y corriente. Las características principales de la pinza son las siguientes:

- Medición de voltaje hasta 1 000 voltios
- Medición de corriente hasta 1 000 amperios

Se utilizará la pinza *fluke 376 FC* para medir el valor del voltaje de fase a neutro y entre fases en las barras de los tableros. Los puntos para medir son

del tablero principal hacia cada tablero secundario, será necesaria abrir los tableros eléctricos utilizando guantes dieléctricos y herramienta aislada para la toma de mediciones. Posterior a la medición se utilizará una hoja electrónica para el cálculo de la caída de tensión utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

aN = valor del voltaje a evaluar

AN = valor del voltaje del tablero principal

%V = caída de tensión en % (por ciento)

Los resultados de las mediciones serán tabulados y se indicará el elemento evaluado y el valor de la caída de tensión, se tomará en cuenta que la caída de tensión permitida para un ramal debe ser menor al 3 % tal como se indica en la tabla IX.

3.4. Historial de consumo de energía eléctrica

Se realizará un análisis del consumo de energía eléctrica del edificio Archivo General de Centroamérica, por medio de las facturas mensuales emitidas por la distribuidora de energía, se evaluará el comportamiento del consumo y la potencia contratada para evitar que incurra en penalizaciones. La información será tabulada y graficada por medio de una hoja electrónica para su presentación final.

3.5. Instalaciones eléctricas actuales

Se realizará un levantamiento de las cargas actuales instaladas en cada tablero eléctrico del edificio Archivo General de Centroamérica, verificando el estado actual de los tableros, conductores, iluminación y diagrama unifilar existente. Se realizará un levantamiento de la subestación eléctrica que alimenta la instalación, tomando en cuenta que los transformadores son propiedad de la distribuidora.

3.5.1. Levantamiento de tableros eléctricos existentes

Se realizará un levantamiento de los datos técnicos de los tableros instalados en la red de baja tensión de las instalaciones eléctricas, identificando nombre, tipo, tamaño de la barra, no. de polos, voltaje nominal, núm. de fases, núm. de hilos y calibre y núm. de conductores del alimentador.

La recopilación de datos será tabulada en una hoja electrónica y presentada en una tabla final, donde se indicará cada elemento con todas sus características ya mencionadas. Para este proceso será necesaria la apertura de los tableros principal y secundario utilizando guantes dieléctricos y herramientas aisladas.

3.5.2. Caracterización de cargas

Se realizará un levantamiento de las cargas existentes que pertenecen a cada tablero eléctrico del edificio. Se detallan las cargas eléctricas con su nombre, *flipon* de protección, conductor eléctrico y potencia que consume. Para este procedimiento es necesario abrir los tableros utilizando guantes dieléctricos y herramienta aislada para 1 000 voltios.

La información recopilada será tabulada en una hoja electrónica y presentará en una tabla final con los detalles de cada carga ya mencionados.

3.5.3. Levantamiento de luminarias existentes

Se realizará un levantamiento de todas las luminarias existentes por cada área del edificio del Archivo General de Centroamérica y se tomará en cuenta las características del tipo de luminaria tales como: tipo de luminaria, marca, cantidad de *watts* y cantidad de luminarias instaladas. Dicha información será presentada en una tabla final donde se indicará el área evaluada y los datos de las luminarias encontradas.

3.5.4. Levantamiento de subestación eléctrica existente

Se realizará un levantamiento de la subestación eléctrica que alimenta la instalación, tomando en cuenta su capacidad, tipo de conexión, voltaje primario y secundario y tipos de transformador.

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

Para seleccionar el conductor adecuado en la instalación eléctrica actual se utilizará el método de caída de tensión debido a la distancia que existe del tablero principal a los secundarios, se emplea este método para cumplir con el valor permitido de caída de tensión equivalente al 3 % para un ramal tal como se indica en la tabla IX.

La ecuación para calcular la sección transversal es la siguiente:

$$A = \frac{2 * \rho * L * I}{e * V}$$

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)

Se utilizará una hoja electrónica en el programa Excel para realizar las operaciones del cálculo de conductor por cada tablero y la información final será presentada en una tabla indicando el elemento evaluado y datos del conductor que se recomienda instalar.

3.7. Selección de tableros eléctricos de distribución

Para la selección de los tableros eléctricos recomendados para la instalación actual se deben tomar en cuenta las siguientes características:

- Voltaje nominal de la instalación
- Numero de fases (monofásico o trifásico)
- Corriente total que debe soportar la barra
- Tamaño del flipon de protección para cada carga

- Número de circuitos para calcular el número de polos del tablero, es importante conocer si el circuito es monofásico o trifásico.

Considerando estas características se puede definir el tablero eléctrico óptimo para la distribución de cargas. Se presentará en una tabla los resultados de los tableros principal y secundario sugeridos para esta instalación existente.

3.8. Cálculo de iluminación por el método de cavidades zonales

Para este cálculo de iluminación se toma en cuenta las siguientes características a establecer:

- Nivel de iluminación apropiado
- Necesidades de iluminación del espacio o local
- Seleccionar el tipo de lámpara y luminaria
- Conocer las dimensiones del espacio o local que se van a iluminar

Teniendo estos datos definidos se procede a realizar el cálculo de la instalación óptima del edificio utilizando las siguientes ecuaciones:

- Nivel de iluminación recomendado en luxes

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

Donde:

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

S = superficie del espacio a iluminar en m^2 y $S = A * L$

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.

$$\varphi_t = N * n * \varphi_{l\u00e1mpara}$$

Donde:

N = número de luminarias en el local

n = número de lámparas en una luminaria

$\varphi_{l\u00e1mpara}$ = flujo luminoso de una lámpara en lumen

Por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\varphi_{l\u00e1mpara} * n * N}{A * L} Fm * Cu$$

- El valor de E es propuesto de acuerdo con la tabla XV.

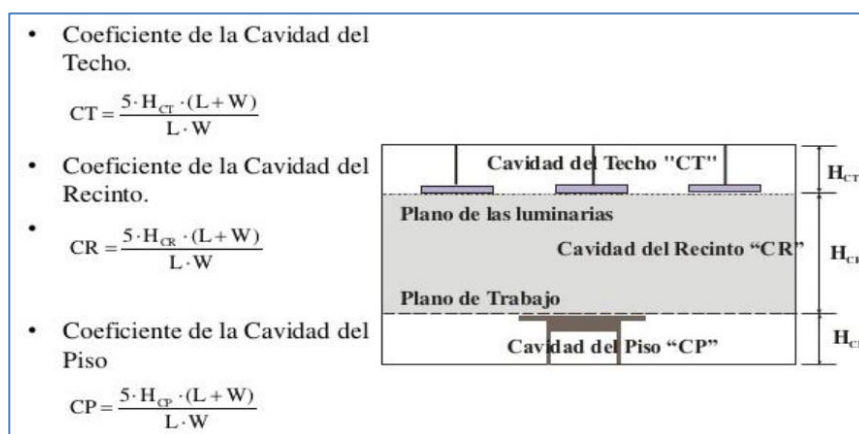
- El valor de n es propuesto de acuerdo con el tipo de luminaria a utilizar (por ejemplo, si son fluorescentes o led y si son 2 o 3 por luminaria).
- Las dimensiones A y L del local son medidas.
- $\varphi_{\text{lámpara}}$ es el flujo luminoso de la lámpara y se obtiene en el catálogo del fabricante.

Despejando N, queda:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot L}{n \cdot \varphi_{\text{lámpara}} \cdot Fm \cdot Cu}$$

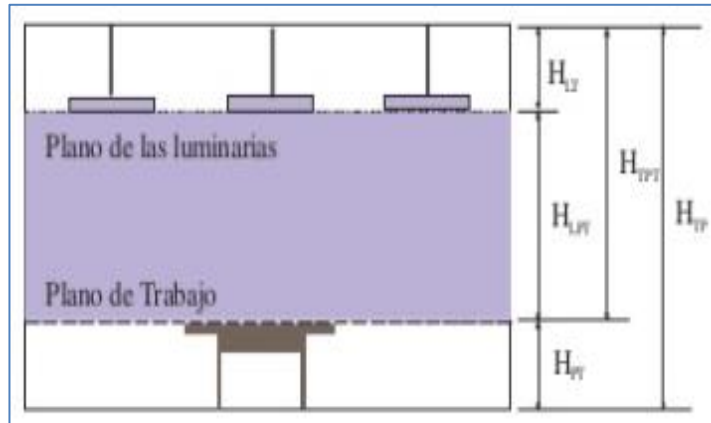
De esta forma se calcula el número de luminarias para determinada zona o plano de trabajo figura 43 y 44 y se obtiene el valor de coeficiente de utilización tabla XVI y factor de mantenimiento de la tabla XIV.

Figura 44. **Cálculo del índice del local o cavidad del recinto**



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

Figura 45. **Alturas método cavidad zonal**



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

Tabla XIV. **Factor de mantenimiento**

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

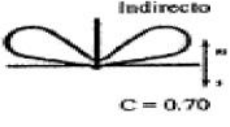
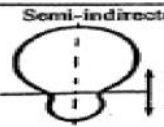

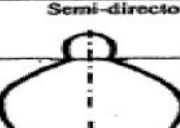
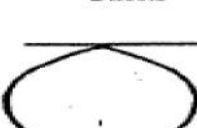





Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño*. p. 150.

Tabla XV. 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 XVI. 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 Kc	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
 <p>Semi-indirecto $C = 0.65$</p>	2.5	.52	.47	.43	.38	.35	.32
	3	.54	.5	.46	.4	.37	.34
	4	.57	.54	.5	.43	.4	.37
	5	.59	.56	.53	.44	.42	.39
	0.6	.22	.17	.13	.17	.14	.11
	0.8	.27	.23	.19	.22	.18	.15
 <p>Mixto $C = 0.70$</p>	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
	3	.5	.46	.42	.40	.37	.34
 <p>Semi-directo $C = 0.70$</p>	4	.53	.49	.46	.43	.40	.37
	5	.55	.52	.49	.45	.42	.39
	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
 <p>Directo $C = 0.65$</p>	1.5	.45	.40	.36	.40	.36	.33
	2	.50	.46	.42	.44	.41	.38
	2.5	.53	.49	.46	.47	.44	.41
	3	.55	.52	.49	.49	.46	.44
	4	.58	.56	.53	.52	.49	.47
	5	.61	.58	.55	.54	.51	.49
 <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
 <p>Directo $C = 0.65$</p>	2.5	.65	.61	.58	.60	.57	.54
	3	.68	.64	.61	.63	.60	.57
	4	.70	.67	.65	.66	.63	.61
	5	.72	.70	.68	.68	.65	.63
	0.6	.34	.28	.23	.33	.27	.24
	0.8	.42	.36	.31	.41	.35	.31
 <p>Directo $C = 0.65$</p>	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
	3	.71	.67	.63	.69	.66	.63
 <p>Directo (con lámparas a espejo) $C = 0.70$</p>	4	.75	.71	.69	.73	.70	.68
	5	.77	.74	.72	.75	.73	.71
	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
 <p>Directo (con lámparas a espejo) $C = 0.70$</p>	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.

Se utiliza una hoja electrónica para hacer el cálculo de iluminación de todas las áreas del edificio Archivo General de Centroamérica, la información será presentada en una tabla final donde se indicarán los datos utilizados para calcular la iluminación de cada local.

3.9. Diagrama unifilar de la red existente

Se realizará el diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas existentes, los datos se obtienen del levantamiento eléctricos indica en la sección 3.5 de este capítulo. El dibujo se realizará en el *software* de AutoCAD bajo la nomenclatura ANSI en el diagrama se detallarán las cargas y tableros de la instalación eléctrica.

Figura 46. 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: Simbología IEC y ANSI. *Sistemas eléctricos de potencia*.

<http://sistemasdepotenciaunefazza.blogspot.com/2013/06/unidad-2-representacion-de-sistemas-de.html>. Consulta: enero de 2021.

3.10. Cálculo de la subestación eléctrica

Para el cálculo de la subestación eléctrica se tienen que considerar los siguientes parámetros eléctricos:

- Nivel de voltaje que necesita la instalación eléctrica para poder alimentar a todos los equipos conectados.
- Carga total instalada y tipo de carga (monofásica o trifásica).
- Considerar un porcentaje de crecimiento de carga del 25 %.
- La subestación debe operar entre el 80 y 90 % de su capacidad para evitar sobrecargas y desgaste de la vida útil de los transformadores.
- Datos obtenidos de la potencia en kVA máxima registrada en el analizador de red.
- Historial de consumos de las facturas de energía eléctrica.

Para el cálculo de la subestación eléctrica se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = S_m \times 1,25$$

Donde:

S_m = potencia máxima en kVA registrada en la instalación eléctrica. Y el factor de crecimiento de carga del 25 %.

Por último, el valor obtenido con esta ecuación será aproximado a los valores comerciales de potencia en kVA de los transformadores para formar el banco de transformación necesario para alimentar toda la carga.

3.11. Cálculo para sistema de puesta a tierra

Para el cálculo del sistema de puesta a tierra se diseña para que pueda soportar las corrientes de cortocircuito que circulen sobre la instalación, que drenen a tierra las descargas electro atmosféricas que se presenten, que sea capaz de reducir los campos eléctricos, voltajes inducidos y lo principal que sirva de protección para salvaguardar a todos las personas que trabajan en el edificio.

En el capítulo 2, sección 2.7.5 se definieron las tablas X y XI donde se puede elegir el conductor eléctrico necesario para el sistema de tierra respecto a los amperios que circulan sobre la fase para los equipos o cargas y también se puede seleccionar el conductor respecto al conductor de fase del tablero de distribución principal. Dichas tablas fueron tomadas de la Norma NEC 250.66, para este sistema de tierras se conoce la resistividad del terreno y se va a calcular la puesta a tierra bajo la Norma IEEE-80 buscando obtener una resistencia menor a 5Ω .

3.12. Cálculo de pararrayos para la instalación actual

Para la protección de las cargas y de la instalación eléctrica del edificio de Archivo General de Centroamérica se calculará la cantidad de pararrayos necesarios para cubrir el radio y la altura del edificio. Los componentes del pararrayo deben de cumplir con la Norma NFC 17-102 donde indica que sus componentes deben ser: Un cabezal captador, mástil, cable conductor de

bajada, tubo de protección del cable de bajada y electrodo de toma de tierra.
Ver figura 24.

En esta instalación se utilizará el método del ángulo de protección para la selección de pararrayo debido que importa una altura y radio de protección. Ver figura 25.

4. ANÁLISIS DE DATOS DE LA INSTALACIÓN ACTUAL

4.1. Análisis de consumos y parámetros eléctricos

Se hizo un análisis del consumo de energía eléctrica con los recibos mensuales que emite la distribuidora de energía (Empresa Eléctrica de Guatemala), también se realizó una medición de calidad de energía evaluando los parámetros eléctricos de las condiciones actuales de la instalación eléctrica del edificio de Archivo de Centroamérica.

4.1.1. Toma de termografías

Se realizó la toma de termografías en todos los tableros eléctricos de la instalación (tablero general y tableros secundarios), evaluando la temperatura con el objetivo de detectar puntos calientes generadas por conexiones flojas o flipones sobrecargados. A continuación, se detallan los resultados en la tabla XVII:

Tabla XVII. Resultados de la toma de termografías a tableros eléctricos

Elemento evaluado	Emisividad	Temperatura °C		Punto caliente	
		máx	min	SI/NO	OBSERVACIONES
Tablero general AGCA	0,95	30,4	18,2	No	No se encontró punto caliente
Tablero nivel #1 y #2 Iluminación y Fuerza		30,2	17,3	No	No se encontró punto caliente
Tablero gradas nivel #3		27,5	19,1	No	No se encontró punto caliente
Tablero entepiso de Sotano y Sotano		29,1	21	No	No se encontró punto caliente
Tablero nivel #4 y #5		29,3	20,5	No	No se encontró punto caliente
Tablero principal #2 / iluminación y fuerza nivel #6 y #7		30,5	19,1	No	No se encontró punto caliente
Tablero principal #3 / iluminación y fuerza nivel #8 y #9		31	18,4	No	No se encontró punto caliente

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

4.1.2. Mediciones de resistencia de puesta a tierra

Se hicieron mediciones en las puestas a tierra que se encontraron durante el levantamiento de la instalación eléctrica actual que pertenece a Archivo General de Centroamérica, sin embargo, solo se encontró puesta a tierra en el tablero principal. Los resultados de la medición se detallan en la tabla XVIII:

Tabla XVIII. Resultados de medición de resistencia de tierra en tableros

Elemento	Resistencia ohms Ω	Corriente de fuga amperios	Observaciones
Tablero general AGCA	4,5	0	
Tablero nivel # 1 y # 2 Iluminación y fuerza	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero gradas nivel # 3	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero entepiso de sótano y sótano	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero nivel # 4 y # 5	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero principal # 2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7	-	-	No existe puesta a tierra
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9	-	-	No existe puesta a tierra

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

4.1.3. Medición de caída de tensión

Se hizo la medición de caída de tensión que existía desde el tablero principal hacia cada tablero secundario, para verificar que la medición en tanto por ciento estuviera debajo del 3 %, tal como se indica en la tabla IX. Los resultados de la medición se presentan a continuación:

Tabla XIX. Resultados de caída de tensión en tableros

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 AGCA	246,3	245,1	245,4						
Tablero nivel # 1 y # 2 iluminación y fuerza				241	240,2	242,3	2,15 %	2,00 %	1,26 %
Tablero gradas nivel # 3				240,5	240	241	2,35 %	2,08 %	1,79 %
Tablero entrepiso de sótano y sótano				242	241,3	242,6	1,75 %	1,55 %	1,14 %
Tablero nivel # 4 y # 5				239	240	239,4	2,96 %	2,08 %	2,44 %
Tablero principal #2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7				244	242,3	243	0,93 %	1,14 %	0,98 %
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9				244,2	243	243,2	0,85 %	0,86 %	0,90 %
Elemento evaluado	Tablero principal, fase a fase (V)			Tablero principal, fase a fase (V)			Caída de tensión %		
	A-N	B-N	C-N	a-n	b-n	c-n	A	B	C
Tablero general AGCA	123	122,1	122						
Tablero nivel # 1 y # 2 iluminación y fuerza				120,3	120,8	121	2,20 %	1,06 %	0,82 %
Tablero gradas nivel # 3				120	119,8	121	2,44 %	1,88 %	0,82 %
Tablero entrepiso de sótano y sótano				123	121,3	122,5	0,00 %	0,66 %	0,41 %
Tablero nivel # 4 y # 5				118,8	120	119	3,41 %	1,72 %	2,46 %
Tablero principal # 2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7				124	123,8	121	0,81 %	1,39 %	0,82 %
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9				124	123,2	121,4	0,81 %	0,90 %	0,49 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

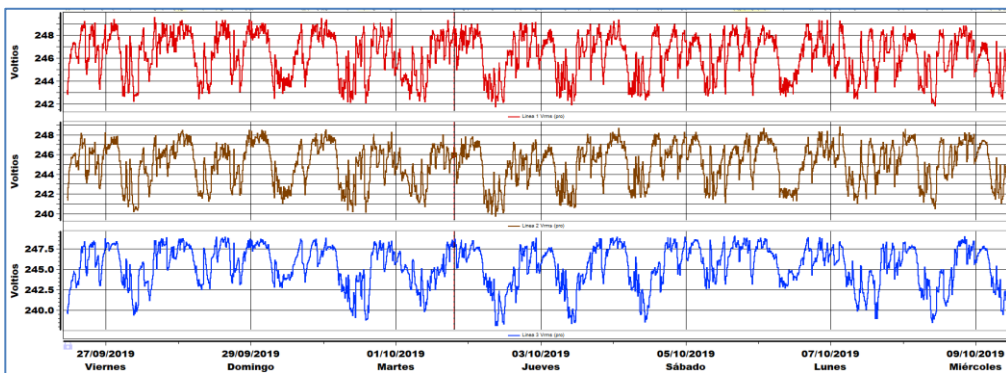
4.1.4. Análisis de calidad de energía

Se hizo el estudio de calidad de energía instalando el equipo de medición Dranetz Guide HDPQ durante un periodo de 7 días y con intervalos de 15 minutos, la configuración del equipo fue para una delta abierta con un voltaje nominal de 240 V. Los resultados se presentan en las figuras 46 y 47 y se concluye la evaluación de cada parámetro según las Normas IEEE 519 y NTSD.

4.1.4.1. Voltaje

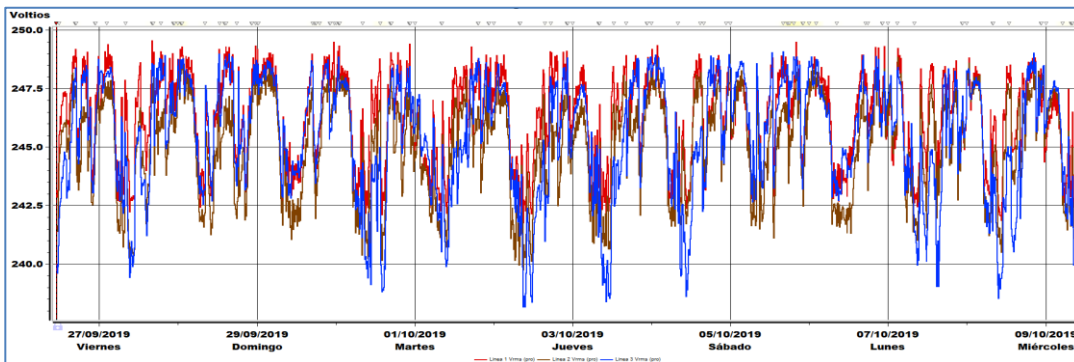
En la figura 47 se realiza una descripción del voltaje de la línea 1, 2 y 3 con vista individual.

Figura 47. Voltaje línea 1, 2 y 3 con vista individual



Fuente: Guide HDPQ. *Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

Figura 48. Voltaje L1, L2 y L3



Fuente: Guide HDPQ. *Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

- Conclusiones para el voltaje

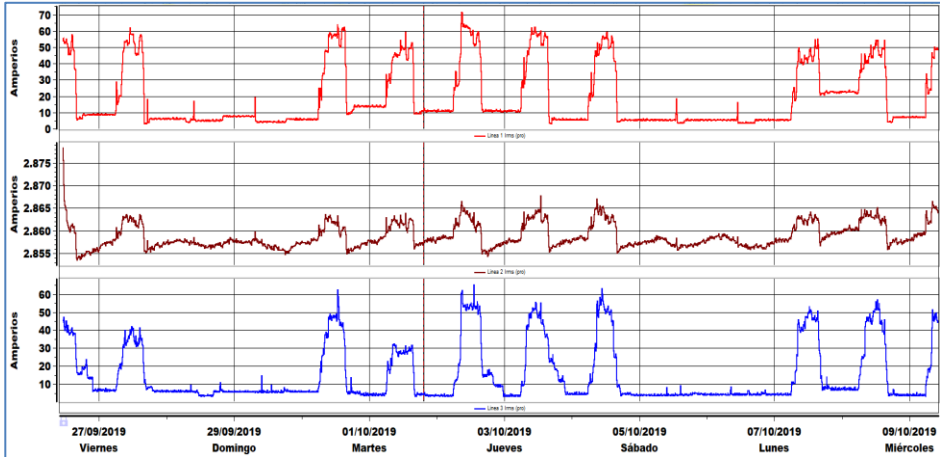
Se puede observar el comportamiento del voltaje por línea en las figuras 47 y 48, donde se ve que el valor del voltaje está arriba del 240 V que se tiene como voltaje nominal y esto se debe a que el banco de transformación tiene los TAPS en una posición que eleva el voltaje, pero siempre manteniéndose dentro del normativo NTSD, esto se debe a la distancia del tablero ubicado hasta el nivel 9.

Respecto al balance del voltaje en las tres fases, se puede ver que es mínimo, se debe considerar que la evaluación de voltajes se toma sobre el nominal 240 voltios por ser una conexión en delta abierta. Según las Normas técnicas del Servicio de Distribución NTSD el voltaje en área urbanas la distribuidora puede tener un 8 % de variación en el voltaje y una caída de tensión del 3 %. Según las lecturas obtenidas en esta medición los valores del voltaje son: 246,3 V, 245,1 V y 245,4 V por lo que cumplen con las normas mencionadas.

4.1.4.2. Corriente

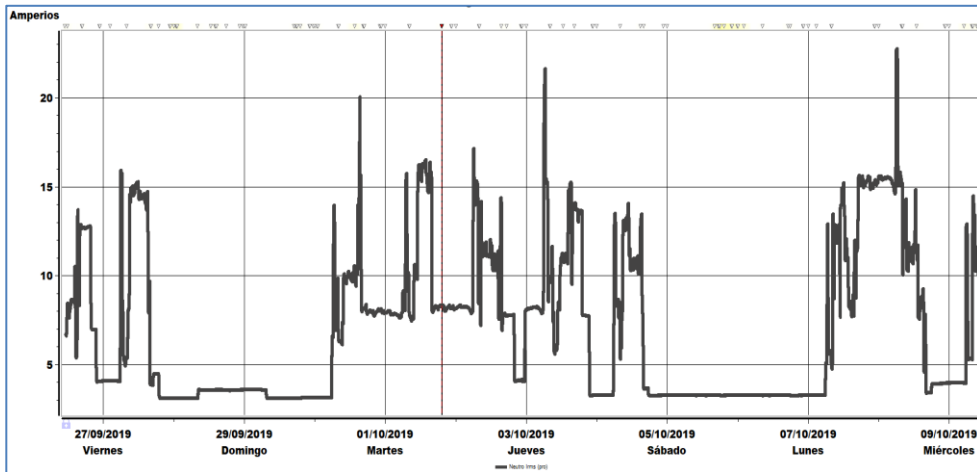
En las figuras 49, 50 y 51 se describe la corriente de línea corriente neutro y corriente L1, L2 y L3.

Figura 49. Corrientes de línea



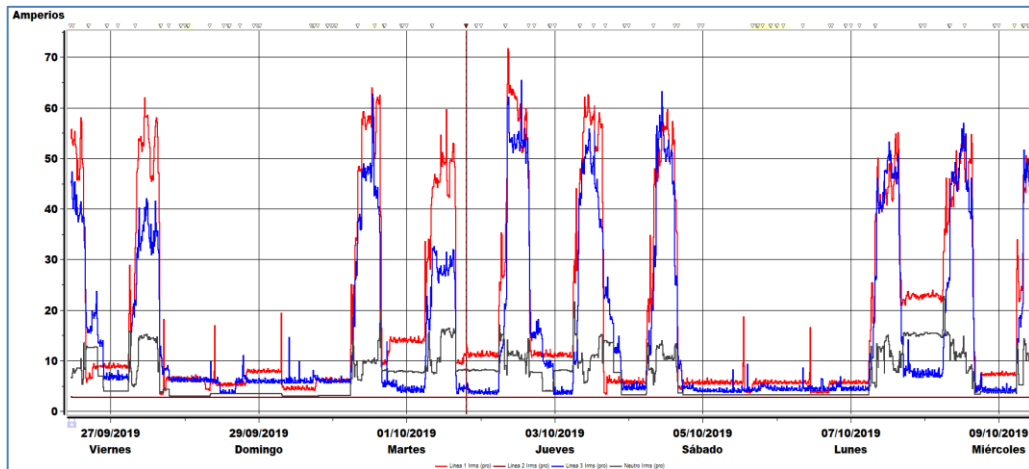
Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

Figura 50. Corriente del neutro



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

Figura 51. Corriente L1, L2 y L3



Fuente: Guide HDPQ. *Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

- Conclusiones para las corrientes

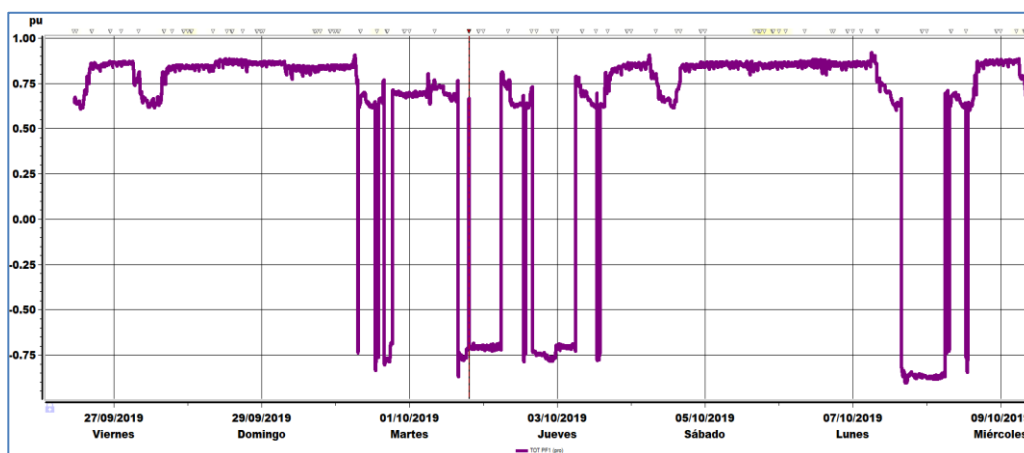
Del análisis de las corrientes registradas en las figuras 49 y 50 se puede observar que se tiene desbalance de corriente mayor al 10 % entre las fases, esto debido a que la línea 2 posee menos corriente con un valor promedio de 2,8 amperios. En la instalación eléctrica se encontró que se tiene un banco de transformación trifásico, pero todos los tableros eléctricos instalados son monofásicos y por tal razón se tiene el desbalance entre corrientes ya que la línea 2 es la que menos se utiliza. Los valores de corrientes promedio registradas son: 18,97 A, 2,8 A y 15 A.

Respecto a la figura 50 se puede observar el comportamiento de la corriente del neutro, en promedio el valor de esta corriente es de 7 amperios y dicho valor es mayor que la corriente que circula sobre la línea 2, este comportamiento no es adecuado para un sistema delta abierta.

4.1.4.3. Factor de potencia

A continuación, se observa a figura 52 que es el factor de potencia total, asimismo, la conclusión de dicho factor.

Figura 52. Factor de potencia total



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

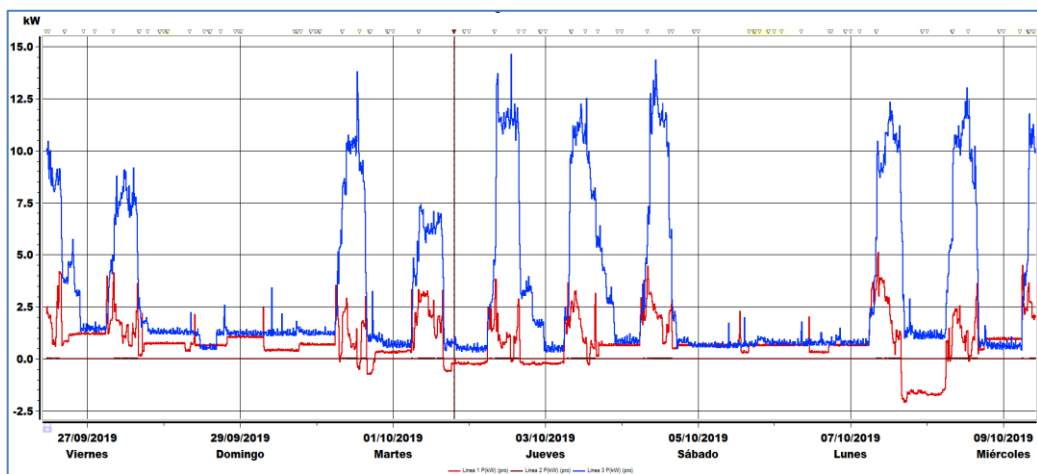
- Conclusiones para el factor de potencia

Para el análisis del factor de potencia se puede observar la figura 52 donde se registró que el factor de potencia promedio es de 0.98, lo cual cumple con lo registrado en la factura de consumo eléctrico. Por lo que se cumple con las Normas NTSD que solicita un valor mínimo recomendado de 0.9 y según las Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) indica que para los usuarios mayores a 11kW mensuales deberán cumplir con un factor de potencia recomendado de 0,9.

4.1.4.4. Potencias activa, reactiva y aparente

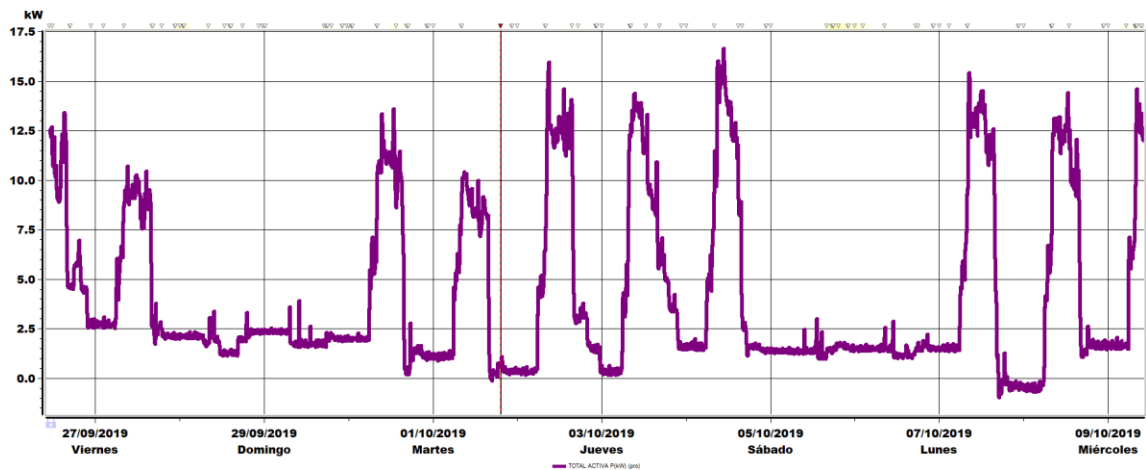
En la figura 53 y 54 se realiza una descripción de la potencia activa (P) L1, L2 y L3 y activa (P) total, así como su conclusión.

Figura 53. Potencia activa (P) L1, L2 y L3



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

Figura 54. Potencia Activa (P) Total



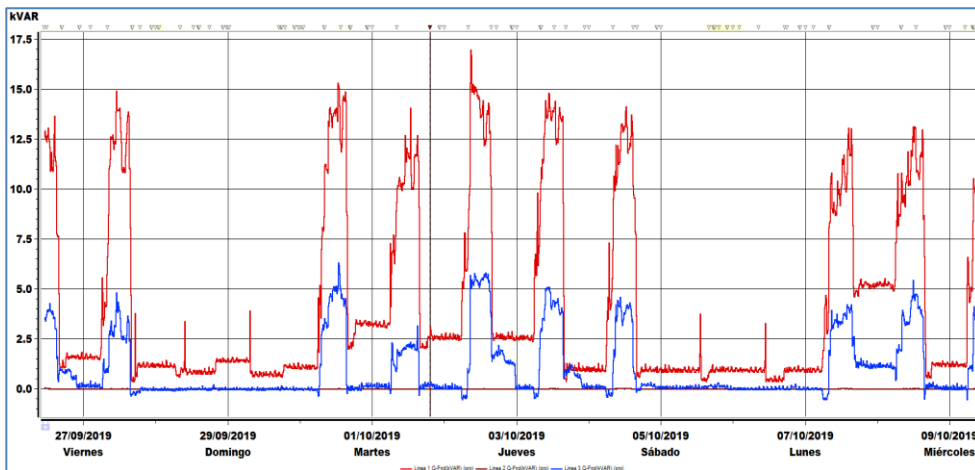
Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

- Conclusiones para la potencia activa

En la figura 54 se puede observar la potencia total activa en kW de la instalación eléctrica, donde registro un valor promedio de 6,4 kW y un valor máximo de 16,7 kW. Ambos valores están dentro de la potencia contratada con la distribuidora.

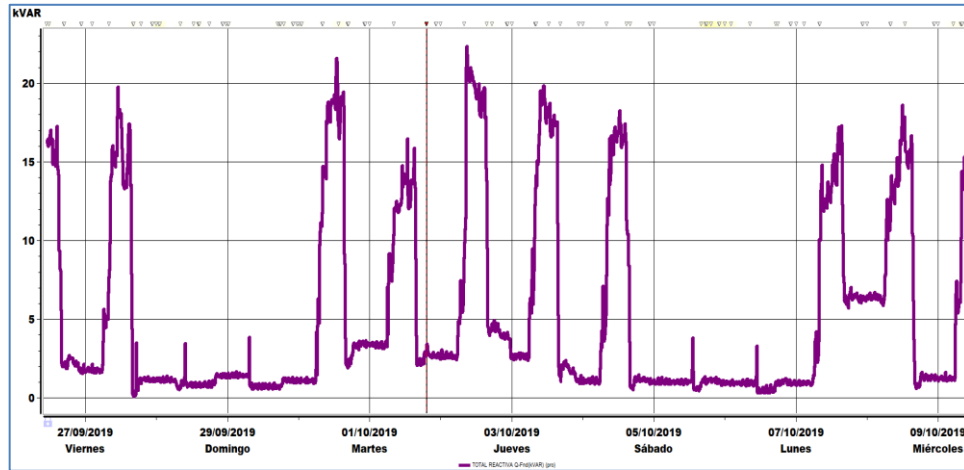
Sin embargo, en los valores de potencia reactiva graficados por cada línea se puede ver que se tiene la línea 2 con valor cero por ser un sistema monofásico que está siendo alimentado por una fuente trifásica y únicamente se están utilizando 2 líneas (línea 1 y línea 3).

Figura 55. **Potencia reactiva (Q) L1, L2 y L3**



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

Figura 56. **Potencia total (Q)**

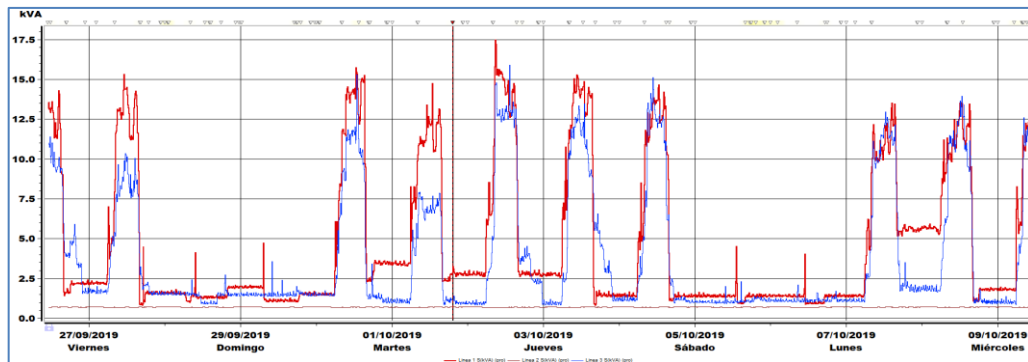


Fuente: *Guide* HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.

- Conclusiones de la potencia reactiva

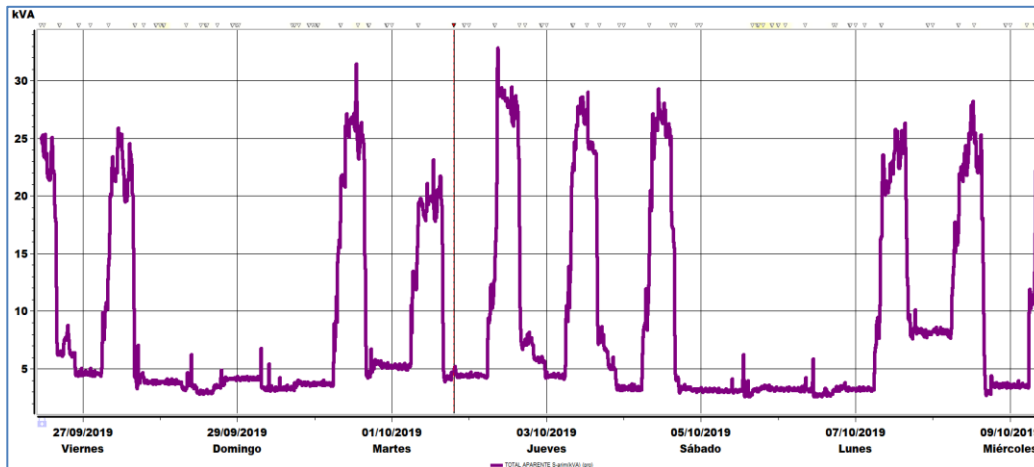
Para esta potencia se registra un valor total promedio de 52 kVAR y valor máximo de 22 kVAR para dicha instalación. Únicamente se registran valores de potencia reactiva en las líneas 1 y 3.

Figura 57. **Potencia aparente (S) L1, L2 y L3**



Fuente: *Guide* HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.

Figura 58. **Potencia aparente (S) total**



Fuente: *Guide* HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.

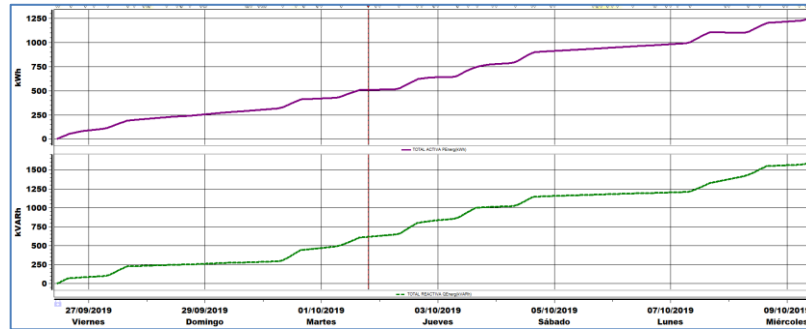
- Conclusiones de la potencia aparente

Para la potencia aparente en kVA se tiene un valor promedio total de 9 kVA y valor máximo de 29 kVA estando dentro de los valores de utilización para bancos de conexión Delta Abierta. No se está utilizando la línea 2 como se puede observar en la gráfica 56.

4.1.4.5. Consumo de energía

El consumo de energía activa y reactiva que se muestran en la figura 58 se muestra que el consumo en kWh en promedio está por arriba de los 1 250 kWh, quedando dentro de los valores promedio que muestran las facturas mensuales y con un factor de potencia de 0,98 por tal razón no presenta problemas de penalizaciones con la distribuidora.

Figura 59. Energía activa y reactiva por hora

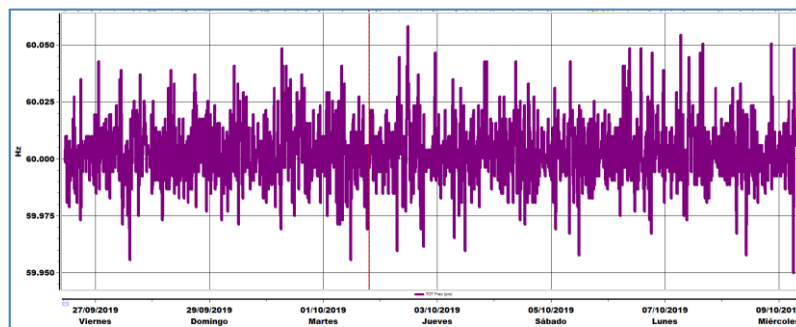


Fuente: Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.

4.1.4.6. Frecuencia

El valor promedio de la frecuencia registrada está dentro de los límites establecidos en la normativa NTSD con valor de 60 Hz.

Figura 60. Frecuencia de la red eléctrica

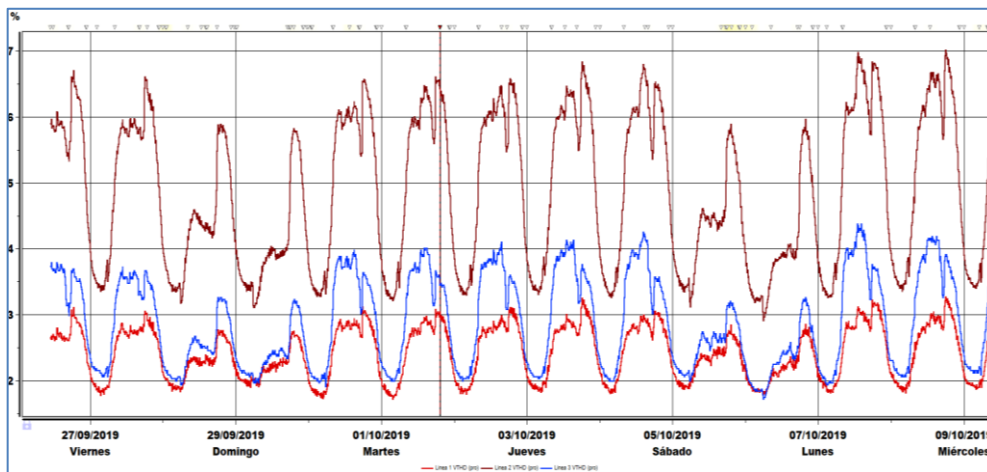


Fuente: Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.

4.1.4.7. Distorsión armónica de voltaje y corriente

A continuación, se realiza un detalle de la figura 61, así como su debida conclusión.

Figura 61. Distorsión armónica de voltaje THDv %

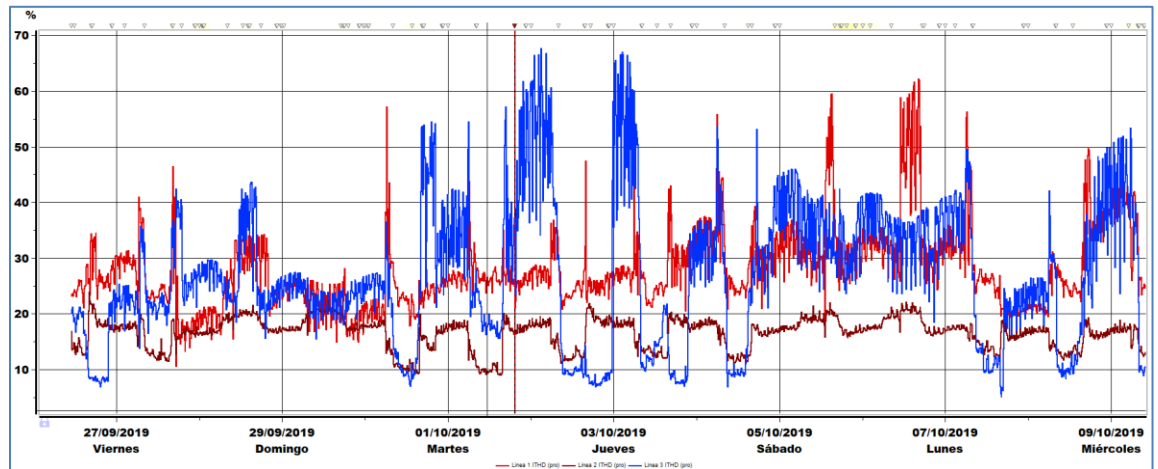


Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz*, empleando *Dran-View 7*.

- Conclusiones de armónicos en el voltaje

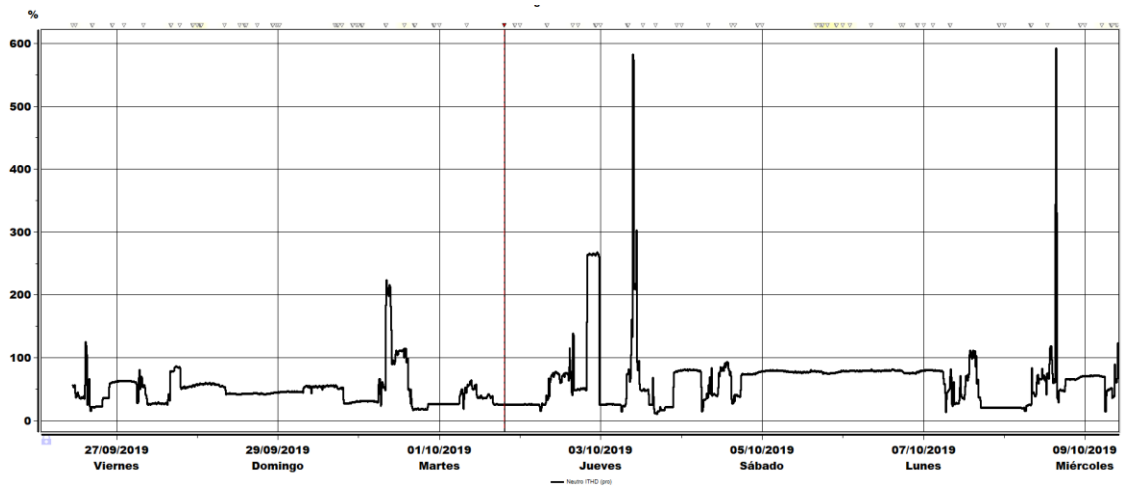
En la figura 61 se observa que no hay presencia de armónicos de voltaje considerables en la instalación eléctrica, debido a que ninguna línea supera el 8 % de distorsión armónica para voltaje THDv % que establece la Noma NTSD, en su capítulo IV y artículo 32.

Figura 62. **Distorsión armónica de corriente THDi %**



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

Figura 63. **Distorsión armónica de corriente del neutro THDi %**



Fuente: *Guide HDPQ. Analizador de red Dranetz, empleando Dran-View 7.*

- Conclusiones de armónicos de corriente

En la figura 62 se puede observar que la instalación tiene presencia de armónicos en la línea 1 y 3 ya que el valor está por arriba del 20 % que establece la Norma NTSD, para esta instalación en promedio tenemos un valor promedio de distorsión de corriente de 27 %.

Para la figura 62 se tiene el porcentaje de distorsión armónica presente en el neutro, donde se observa que en promedio se tiene un valor de 58 % siendo este valor dañino para la vida útil de los equipos de la instalación eléctrica.

4.1.5. Análisis de consumos mensuales

Se procedió a tabular la información del historial de consumo en kWh de las facturas emitidas mensualmente por la distribuidora, correspondientes al número de medidor comercial F-84511 propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala.

En la factura mensual correspondiente al edificio Archivo General de Centroamérica se detallan los siguientes datos:

- Servicio contratado en baja tensión demanda fuera de punta – BTDFP
- Potencia contratada 23,5 kW
- Demanda máxima registrada en promedio 14,3 kW
- Factor de potencia aproximado 0,97

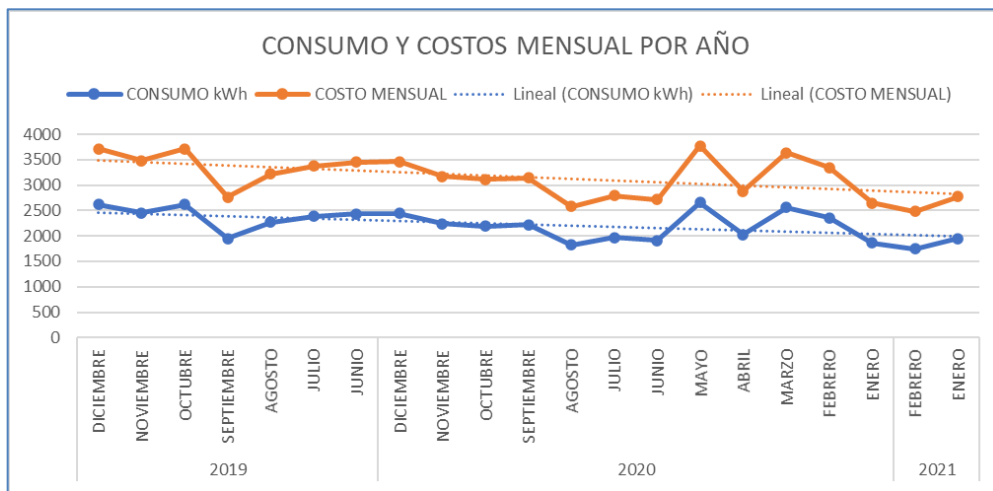
- Historial de consumo promedio mensual 1 950 kWh

Tabla XX. **Historial de consumo de energía mensual del 2019 al 2021**

AÑO	MES	CONSUMO kWh	COSTO MENSUAL
2019	DICIEMBRE	2614	Q3,709.91
	NOVIEMBRE	2451	Q3,478.57
	OCTUBRE	2618	Q3,715.59
	SEPTIEMBRE	1949	Q2,766.11
	AGOSTO	2271	Q3,223.11
	JULIO	2381	Q3,379.23
	JUNIO	2432	Q3,451.61
2020	DICIEMBRE	2441	Q3,464.38
	NOVIEMBRE	2236	Q3,173.43
	OCTUBRE	2196	Q3,116.67
	SEPTIEMBRE	2216	Q3,145.05
	AGOSTO	1820	Q2,583.03
	JULIO	1965	Q2,788.82
	JUNIO	1910	Q2,710.76
	MAYO	2660	Q3,775.20
	ABRIL	2030	Q2,881.07
	MARZO	2562	Q3,636.11
	FEBRERO	2356	Q3,343.74
	ENERO	1866	Q2,648.31
	2021	FEBRERO	1750	Q2,483.68
ENERO		1954	Q2,773.21

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Figura 64. **Histórico de consumos y costos del año 2019 al 2021**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

- **Conclusiones**

En la figura 63 se puede observar el comportamiento del consumo y costo de la energía, se puede apreciar que durante el 2020 la curva de consumo tuvo una disminución por la baja afluencia de personas que visitaban el edificio, pero se espera que para el 2021, el consumo se estabilice retomando su valor promedio. Es importante mencionar que, aunque el consumo bajo siempre se mantiene en un valor considerable dentro de la demanda contratada.

4.2. Levantamiento de las instalaciones eléctricas actuales

Se realizó una auditoría eléctrica de las instalaciones del edificio Archivo General de Centroamérica, realizando un levantamiento de todos los elementos instalados en la red eléctrica, como tableros, conductores, cargas, entre otros. A continuación, se detalla en tablas todos los elementos encontrados en la instalación eléctrica existente.

4.2.1. Levantamiento de tableros eléctricos

Se presenta en esta sección el resumen de los tableros eléctricos identificados en campo y demás detalles en la tabla XXI.

Tabla XXI. Descripción de los tableros eléctricos existentes

Nombre del tablero	Tipo de tablero	Tamaño de la Barra	Núm. de polos	Voltaje nominal (V)	Núm. de fases y de hilos	Núm. de conductor del alimentador
Tablero general AGCA	Centro de carga	200	10	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero nivel # 1 y # 2 Iluminación y fuerza	Centro de carga	200	32	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero gradas nivel # 3	Centro de carga	125	24	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero entepiso de sótano y sótano	Centro de carga	200	32	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero nivel # 4 y # 5	Centro de carga	125	24	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero principal #2 / iluminación y fuerza nivel #6 y # 7	Centro de carga	125	8	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9	Centro de carga	125	8	120/240	2F ; 3H	1 núm. 4 AWG

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

4.2.2. Levantamiento de cargas eléctricas

En las tablas de la XXII a la XXVIII, se detallan las cargas encontradas en cada tablero eléctrico, durante el levantamiento eléctrico.

Tabla XXII. **Detalle de cargas para el tablero general**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA	Distancia metros
1	Tablero nivel # 1 y # 2 Iluminación y fuerza	2X100	Núm. 4	7 180	50
2	Tablero gradas nivel # 3	2X70	Núm. 4	6 170	65
3	Tablero entepiso de sótano y sótano	2X70	Núm. 4	6 940	35
4	Tablero nivel # 4 y # 5	2X70	Núm. 4	4 560	90
TOTAL VA				24 850	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXIII. **Detalle de cargas tablero nivel # 1 y # 2**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Iluminación depósito archivo	1X20	Núm. 12	300
2	Iluminación depósito archivo	1X20	Núm. 12	300
3	Iluminación depósito archivo	1X20	Núm. 12	300
4	Iluminación bodega	1X20	Núm. 12	300
5	Iluminación archivo N1	1X20	Núm. 12	300
6	Iluminación archivo N1	1X20	Núm. 12	300
7	Iluminación archivo N1	1X20	Núm. 12	300
8	Iluminación pasillo N1	1X20	Núm. 12	300
9	Iluminación pasillo N1	1X20	Núm. 12	300
10	Iluminación secretaria y dirección	1X20	Núm. 12	300

Continuación de la tabla XXIII.

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
11	Iluminación área de investigación	1X20	Núm. 12	300
12	Iluminación archivo	1X20	Núm. 12	300
13	Iluminación hemeroteca	1X20	Núm. 12	300
14	Iluminación S.S. mujeres	1X20	Núm. 12	100
15	Iluminación S.S. hombres	1X20	Núm. 10	100
16	Iluminación área de empleados y bodega	1X20	Núm. 10	200
17	Tomacorrientes archivo estado nacional	1X20	Núm. 10	180
18	Tomacorrientes	1X20	Núm. 10	180
19	Tomacorrientes archivo	1X20	Núm. 10	180
20	Tomacorrientes archivo nivel 1	1X20	Núm. 10	180
21	Tomacorrientes archivo nivel 1	1X20	Núm. 10	180
22	Tomacorrientes archivo nivel 1	1X20	Núm. 12	180
23	Tomacorrientes secretaria y dirección	2X30	Núm. 12	180
24	Tomacorrientes archivo y hemeroteca	2X100	Núm. 2	180
25	Iluminación vestíbulo	1X20	Núm. 12	300
26	Iluminación depósito archivo N2	1X20	Núm. 10	300
27	Iluminación depósito archivo N2	1X20	Núm. 10	300
28	Tomacorrientes archivo N2	1X20	Núm. 10	180
29	Tomacorrientes archivo N2	1X20	Núm. 10	180
30	Tomacorrientes archivo N2	1X20	Núm. 10	180
			TOTAL	7 180

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXIV. **Detalle de cargas tablero gradadas nivel # 3**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Iluminación depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	300
2	Iluminación depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	300
3	Iluminación depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	300
4	Iluminación depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	300
5	Tomacorrientes depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	180
6	Tomacorrientes depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	180
7	Tomacorrientes depósito de archivo N3	1X20	Núm. 12	180
8	Iluminación y fuerza paleografía	1X20	Núm. 12	300
9	Iluminación y fuerza contabilidad	1X20	Núm. 12	300
10	Iluminación y fuerza contabilidad	1X20	Núm. 12	300
11	Iluminación y fuerza bodega y almacén	1X20	Núm. 12	300
12	Iluminación y fuerza bodega y almacén	1X20	Núm. 12	300
13	Iluminación Investigación	1X20	Núm. 12	300
14	Iluminación Investigación	1X20	Núm. 12	300
15	Tomacorrientes Investigación	1X20	Núm. 10	180
16	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 10	300
17	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 10	300
18	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 10	300
19	Iluminación gradas	1X20	Núm. 10	300
20	Iluminación gradas	1X20	Núm. 10	300
21	Iluminación salón Fuentes y Guzmán	2X30	Núm. 10	400
22	Tomacorrientes salón Fuentes y Guzmán	2X30	Núm. 10	250
TOTAL				6 170

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXV. **Detalle de cargas tablero entrepiso de sótano y sótano**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Iluminación archivo estado nacional	1X20	Núm. 12	300
2	Iluminación archivo sótano	1X20	Núm. 12	300
3	Iluminación archivo sótano	1X20	Núm. 12	300
4	Iluminación bodega	1X20	Núm. 12	300
5	Iluminación mantenimiento técnico	1X20	Núm. 12	300
6	Iluminación Hemeroteca	1X20	Núm. 12	300
7	Iluminación Hemeroteca	1X20	Núm. 12	300
8	Iluminación encuadernación	1X20	Núm. 12	300
9	Iluminación bodega	1X20	Núm. 12	300
10	Iluminación bodega	1X20	Núm. 12	300
11	Iluminación servicios sanitarios	1X20	Núm. 12	300
12	Iluminación archivo	1X20	Núm. 12	300
13	Iluminación Hemeroteca	1X20	Núm. 12	300
14	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 12	300
15	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 10	300
16	Iluminación pasillo	1X20	Núm. 10	300
17	Tomacorrientes Archivo estado nacional	1X20	Núm. 10	180
18	Tomacorrientes archivo sótano	1X20	Núm. 10	180
19	Tomacorrientes archivo sótano	1X20	Núm. 10	180
20	Tomacorrientes encuadernación	1X20	Núm. 10	180
21	Tomacorrientes mantenimiento técnico	1X20	Núm. 10	180
22	Tomacorrientes Hemeroteca	1X20	Núm. 12	180
23	Tomacorrientes Hemeroteca	2X30	Núm. 12	350
24	Tomacorrientes pasillo	2X30	Núm. 2	350
25	Tomacorrientes bodega	1X20	Núm. 12	180
26	Tomacorrientes bodega	1X20	Núm. 12	180
TOTAL				6 940

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXVI. **Detalle de cargas tablero nivel # 4 y # 5**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Iluminación archivo N4	2X20	Núm. 12	400
2	Iluminación archivo N4	2X20	Núm. 12	400
3	Iluminación archivo N4	2X20	Núm. 12	400
4	Tomacorrientes archivo N4	1X20	Núm. 12	180
5	Tomacorrientes archivo N4	1X20	Núm. 12	180
6	Iluminación archivo N5	2X20	Núm. 12	400
7	Iluminación archivo N5	2X20	Núm. 12	400
8	Tomacorrientes archivo N5	1X20	Núm. 12	180
9	Tomacorrientes archivo N5	1X20	Núm. 12	180
10	Iluminación Mapoteca y Digitalización	2X20	Núm. 12	350
11	Iluminación Sala de Juntas	1X20	Núm. 12	300
12	Iluminación oficinas	2X20	Núm. 12	350
13	Iluminación bodega y cocineta	1X20	Núm. 12	300
14	Tomacorriente bodega y cocineta	2X20	Núm. 10	180
15	Tomacorrientes Mapoteca y Digitalización	1X20	Núm. 10	180
16	Tomacorrientes sala de juntas y oficinas	1X20	Núm. 10	180
TOTAL				4 560

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXVII. **Detalle de cargas tablero nivel # 6 y # 7**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Tomacorrientes N6	1X20	Núm. 10	350
2	Tomacorrientes N7	1X20	Núm. 10	350
3	Iluminación archivo N6	2X70	Núm. 4	800
4	Iluminación archivo N6	2X70	Núm. 4	800
5	Iluminación archivo N7	2X70	Núm. 4	800
TOTAL				3 100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XXVIII. **Detalle de cargas tablero nivel # 8 y # 9**

Núm. de circuito	Nombre de tablero	Protección en amperios	Calibre de conductor THHN	Potencia VA
1	Tomacorrientes N8	1X20	Núm. 10	300
2	Tomacorrientes N9	1X20	Núm. 10	300
3	Iluminación archivo N8	2X70	Núm. 10	800
4	Iluminación archivo N8	2X70	Núm. 10	800
5	Iluminación archivo N9	2X70	Núm. 10	800
TOTAL				3 000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

4.2.3. **Levantamiento de luminarias existentes**

Se realizó el levantamiento en campo de la cantidad de luminarias instaladas en las diferentes áreas del edificio de Archivo General de Centroamérica y los resultados se presentan a continuación.

Tabla XXIX. **Número de luminarias por nivel y área de distribución**

NIVEL	NOMBRE DEL ÁREA	# DE LUMINARIAS	TIPO
ENTREPISO SOTANO	Archivos de estado nacional	28 focos de 45 w, luz calida	Fluorescentes
	Deposito Archivos	85 focos de 45 w, luz calida	Fluorescentes
SOTANO	Archivos de estado nacional	28 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
	Deposito de Archivos	85 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
	Hemeroteca	18 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Pasillo	14 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Bodega/encuadernacion	1 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Encuadernacion	3 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	S.S	4 focos de 45 w, luz calida	Incandecente
	Bodegas	6 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
NIVEL 1	Mantenimiento Tecnico	4 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	Deposito de Archivo	110 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
	Comedor	2 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Investigacion	9 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	S.S Hombres	3 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	Hall (pasillo)	14 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Archivo	10 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Hemeroteca	10 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	S.S. Mujeres	4 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	Area de empleados	4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
NIVEL 2	Direccion y Secretaria	2 focos de 45 w, luz dia 4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Incandecente Fluorescente
	Deposito de Archivo	115 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
NIVEL 3	Deposito de Archivo	110 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
	Paleografia	3 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Contabilidad	4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Almacen	7 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	Salon Fuentes y Guzman	18 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Pasillo	14 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Investigacion	5 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
NIVEL 4	Deposito de Archivo	118 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
NIVEL 5	Deposito de Archivo	85 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
	Mapoteca	4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Oficina	2 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Digitalizacion	4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Sala de Juntas	4 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	Oficina	2 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
	cocineta	2 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	bodega	2 lamparas 2x40 w, luz de dia	Fluorescente
NIVEL 6	S.S	1 focos de 45 w, luz dia	Fluorescente
	Deposito de Archivo	75 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
NIVEL 7	Deposito de Archivo	78 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
NIVEL 8	Deposito de Archivo	50 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente
NIVEL 9	Deposito de Archivo	35 focos de 45 w, luz calida	Fluorescente

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

4.2.4. Levantamiento subestación eléctrica existente

En el recinto del transformador del edificio de Archivo General de Centroamérica, se encontró un banco trifásico con conexión Delta Abierta siendo propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala con las siguientes características:

Tabla XXX. Banco de transformadores 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 2010.

Para una instalación eléctrica con una fuente de transformación con conexión Delta Abierta se deben considerar los siguientes parámetros.

- La capacidad de utilización de dicho banco es únicamente el 87 % de su capacidad siempre que ambos transformadores que lo conforman sean de la misma capacidad.
- Cuando los transformadores que conforman el banco sean de distinta capacidad, la capacidad de utilización será raíz cuadrada de tres por el transformador de menor capacidad.

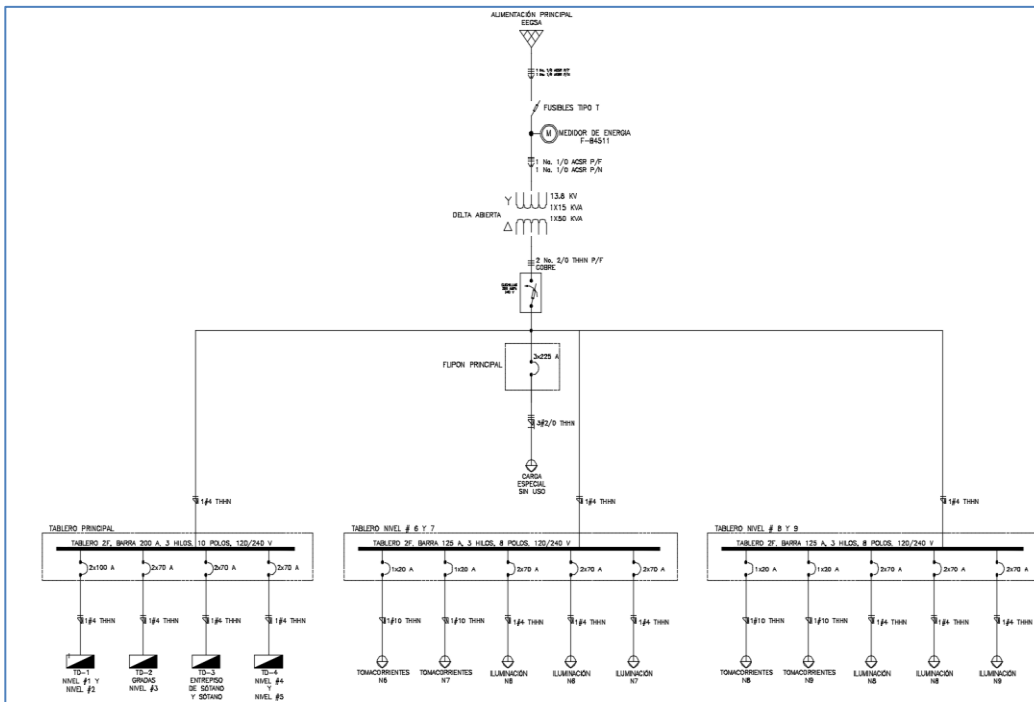
Para este caso se tienen transformadores de diferentes capacidades por lo que la capacidad de utilización es la siguiente:

- Para utilización de cargas monofásicas: 35 kVA con 120/240 V
- Para utilización de cargas trifásicas: 25,98 kVA con 120/240 V

4.2.5. Diagrama unifilar de la red eléctrica actual

Se elaboró el diagrama unifilar de las instalaciones actuales en el programa AutoCAD y se utilizó la simbología ANSI.

Figura 65. Diagrama unifilar de las instalaciones actuales



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

5. PROPUESTAS DE MEJORAS ELÉCTRICAS PARA LAS INSTALACIONES ACTUALES

En este capítulo se realizan los cálculos teóricos que se consideran óptimos para la instalación eléctrica actual del edificio de Archivo General de Centroamérica. Se tomaron en cuenta los factores eléctricos, distancias, temperatura del lugar y tipo de carga.

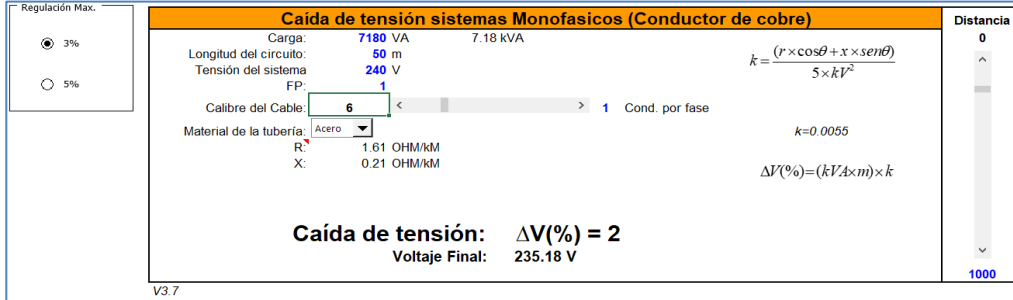
5.1. Cálculo de conductores

Se realizó el cálculo de conductores eléctricos por caída de tensión, para realizar los cálculos se empleó una hoja de datos en Excel y se consideró una caída de tensión del 2 % para un alimentador y 3 % para un ramal, resistividad del cobre de $0,018 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$, distancia en metros, voltaje nominal de 240 V, tubería Hg y potencia aparente de la carga en VA.

5.1.1. Cálculo de conductores para ramales

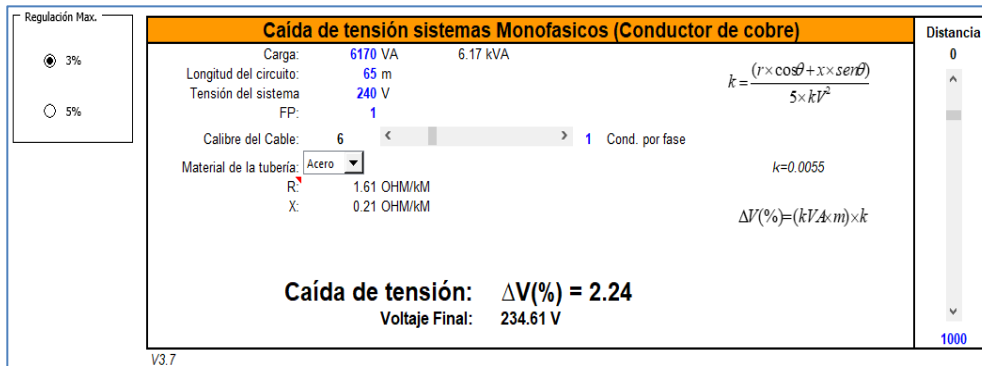
Resultados del diseño teórico para los ramales de los tableros secundarios, los cuales se pueden observar en la figura 66.

Figura 66. Ramal de Tablero Nivel # 1 y # 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 67. Ramal de tablero gradas nivel # 3



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 68. Ramal de tablero entre piso sótano y sótano

Regulación Max.		Caída de tensión sistemas Monofasicos (Conductor de cobre)		Distancia
<input checked="" type="radio"/> 3%		Carga:	6940 VA 6.94 kVA	0
<input type="radio"/> 5%		Longitud del circuito:	35 m	$k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \text{sen}\theta)}{5 \times kV^2}$
		Tensión del sistema:	240 V	
		FP:	1	
		Calibre del Cable:	8 < > 1 Cond. por fase	
		Material de la tubería:	Acero	$k=0.0088$
		R:	2.56 OHM/kM	$\Delta V(\%) = (kV \times m) \times k$
		X:	0.213 OHM/kM	
		Caída de tensión: $\Delta V(\%) = 2.15$		
		Voltaje Final: 234.81 V		1000

V3.7

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 69. Ramal de tablero nivel # 4 y # 5

Regulación Max.		Caída de tensión sistemas Monofasicos (Conductor de cobre)		Distancia
<input checked="" type="radio"/> 3%		Carga:	4560 VA 4.56 kVA	0
<input type="radio"/> 5%		Longitud del circuito:	90 m	$k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \text{sen}\theta)}{5 \times kV^2}$
		Tensión del sistema:	240 V	
		FP:	1	
		Calibre del Cable:	4 < > 1 Cond. por fase	
		Material de la tubería:	Acero	$k=0.0035$
		R:	1.02 OHM/kM	$\Delta V(\%) = (kV \times m) \times k$
		X:	0.197 OHM/kM	
		Caída de tensión: $\Delta V(\%) = 1.45$		
		Voltaje Final: 236.51 V		1000

V3.7

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 70. Ramal de tablero nivel # 6 y # 7

Regulación Max.		Caída de tensión sistemas Monofasicos (Conductor de cobre)		Distancia
<input checked="" type="radio"/>	3%	Carga:	3100 VA 3.1 kVA	0
<input type="radio"/>	5%	Longitud del circuito:	150 m	$k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \sin\theta)}{5 \times kV^2}$
		Tensión del sistema:	240 V	
		FP:	1	$k = 0.0035$
		Calibre del Cable:	4 < > 1 Cond. por fase	
		Material de la tubería:	Acero	$\Delta V(\%) = (kV \times A \times m) \times k$
		R:	1.02 OHM/kM	
		X:	0.197 OHM/kM	
		Caída de tensión:	$\Delta V(\%) = 1.64$	
		Voltaje Final:	236.04 V	1000

V3.7

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

5.1.2. Cálculo de conductor para alimentador principal

Resultados del diseño teórico para el alimentador del tablero principal de la instalación eléctrica actual. Para este caso se considera como carga monofásica ya que en los estudios eléctricos se demostró que no se tienen cargas trifásicas instaladas.

Figura 71. Alimentador del tablero principal

Alimentación	Tipo de Carga	Calculo de Alimentador		Calibre	Temperatura del cable
<input checked="" type="radio"/> Monofásica	<input type="radio"/> W	Datos de la Carga		Temperatura del cable <input type="radio"/> 60 °C <input checked="" type="radio"/> 75 °C <input type="radio"/> 90 °C Temperatura ambiente 26-30 °C Conductores por fase <input type="button" value="▲"/> <input type="button" value="▼"/>	
<input type="radio"/> Trifásica	<input type="radio"/> HP	Carga nominal:	30950 VA		
	<input type="radio"/> A	Tension del sistema:	240 V		
	<input type="radio"/> VA	Fp:	0.97		
		Eff:	100 %		
		Factor de diseño:	125 %		
		Corriente:	128.96 A		
		Datos del Conductor			
		Calibre:	2 AWG/MCM		
		Capacidad nominal:	115 A		
		Factor correcion Temp:	1		
		Conductores por fase:	2		
		Capacidad Total:	230.00 A		

Tabla 310.16

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

5.2. Cálculo de protecciones para tableros

Para seleccionar el interruptor o *flipon* de protección de cada tablero eléctrico se tomó como dato principal la corriente que circula en la carga según la potencia.

Tabla XXXI. Protecciones (*flipon*) para cada tablero eléctrico

Nombre del tablero	Voltaje (v)	Corrientes (a)		Interruptor principal seleccionado
		Fase A	Fase B	
Tablero principal	120/240	225	225	2 X 225 A
Tablero nivel # 1 y # 2 iluminación y fuerza	120/240	29,92	29,92	2 X 70 A
Tablero gradas nivel # 3	120/240	25,71	25,71	2 X 70 A
Tablero entrepiso de sótano y sótano	120/240	28,92	28,92	2 X 70 A
Tablero nivel # 4 y # 5	120/240	19	19	2 X 70 A
Tablero principal # 2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7	120/240	12,91	12,91	2 X 70 A
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9	120/240	12,5	12,5	2 X 70 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

5.3. Cálculo de tablero principal y tableros secundarios

Se hace la selección teórica de los tableros principales y secundarios con base en los criterios establecidos en el capítulo 3 y sección 3.7 de este documento. Con el apoyo de la hoja de cálculos eléctricos.

- Se elige el tablero tipo industrial con una barra de 250 amperios, conexión monofásica, voltaje 120/240 V, tipo autosoportado y capacidad de 24 polos para futuros crecimientos.

- Se balancean las cargas de la instalación actual y se deja el diseño con un factor de diseño de 1,25 %.
- Para los tableros secundarios se eligen centros de carga monofásicos, autoportado, voltaje 120/240 V, conexión monofásica y los números de polos para cada tablero se detallan en la tabla XXXI.

5.3.1. Cálculo de tablero principal

A continuación, se presenta la figura 73 del diseño teórico del tablero monofásico principal.

Tabla XXXII. Selección teórica de los tableros secundarios

Nombre del tablero	Voltaje (v)	Corriente (a)	Fase a conectar	Polos utilizados	Potencia en watts	Detalles del tablero seleccionado
Tablero nivel # 1 y # 2 iluminación y fuerza	120/240	29,92	2	32	7 180,8	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero gradas nivel # 3	120/240	25,71	2	24	6 170,4	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero entrepiso de sótano y sótano	120/240	28,92	2	30	6 940,8	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero nivel # 4 y # 5	120/240	19	2	24	4 560	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero principal # 2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7	120/240	12,91	2	8	3 098,4	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9	120/240	12,5	2	8	3 000	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

5.4. Cálculo de subestación por demanda

Para el cálculo de la subestación eléctrica se considera la potencia total de carga que se registró en el estudio eléctrico, historial de facturas de consumo eléctrico y factor de crecimiento del 25 %. Se considera un sistema monofásico, porque toda la carga es monofásica.

Resultados de los estudios realizados en el edificio de Archivo General de Centroamérica:

- Carga total máxima registrada: 29 kVA
- Carga total promedio registrada: 9 kVA
- Potencia activa máxima: 16,7 en kW
- Potencia contratada: 23,5 kW
- Demanda máxima registrada en promedio: 18 kW

$$S = 29 * 1,25 = 36,25 \cong 36 \text{ kVA}$$

Por lo que se requiere un transformador monofásico de 37,5 kVA para cubrir las necesidades de la instalación eléctrica actual. Para un voltaje 120/240 voltios y que sea un transformador de bajas pérdidas.

Es importante mencionar que el banco es propiedad de Empresa Eléctrica de Guatemala por lo que son ellos los encargados de hacer las modificaciones,

el usuario final solo puede hacer cambios en la solicitud de su servicio exponiendo su carga, voltaje y tipo de carga.

5.5. Cálculo de iluminación

Para el cálculo de iluminación del edificio Archivo General de Centroamérica se utiliza el método de cavidades zonales ya que es necesario definir el tipo de iluminación en cada local o área del edificio.

El método para utilizar ya fue detallado en el capítulo 3 y sección 3.8 por lo que se utilizará la tabla XIV para el factor de mantenimiento, tabla XV para seleccionar los niveles mínimos de iluminación, tabla XVI para el coeficiente de utilización y las figuras 43 y 44 para el índice del local.

Área de iluminación archivos de Estado Nacional ubicado en el entrepiso del sótano, los valores a tomar para el cálculo son los siguientes:

- Largo: 12,65 m y ancho: 12 m
- Área: 151,8 m²
- Nivel de iluminación: 100 luxes
- Tipo de lámpara: led, 18W de 5 pies, marca Sylvania, línea tubos toledo Superia T8, luz cálida
- Flujo luminoso de la lámpara: 1 800 lúmenes
- Altura de montaje (en techo): 3,30 m

- Altura del local (h): 2,45 m

Altura del plano de trabajo: 1,10 m

Altura de montaje en techo 3,30 m

$$h = (3,30 - 1,10) = 2,2m$$

- Coeficiente utilización: 0,64; en donde el índice del local (k) es:

$$k = \frac{5 * (12 + 12,65) * 2,2}{151,8} = 1,79$$

- Factor de mantenimiento: 0,60

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

$$N = \frac{100 * 151,8}{1 * 1800 * 0,6 * 0,64} = 21,96 \cong 22 \text{ luminarias}$$

En la tabla XXXIII se muestra el resumen de los cálculos de iluminación para cada nivel y en el Anexo 8 se adjunta el plano de iluminación para el nivel 6 con las distancias adecuadas para cada luminaria tipo LED T8 Silvania.

Tabla XXXIII. Cálculo de luminarias por cada nivel de AGCA

	AREA A ILUMINAR	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m²)	NIVEL DE ILUMINACION (LUXES)	FLUJO LUMINOSO DE LA LAMPARA (LUMENES)	ALTURA DE MONTAJE m	ALTURA DEL PLANO DE TRABAJO m	ALTURA LOCAL	INDICE LOCAL	COEFICIENTE DE UTILIZACION (Cu)	FACTOR DE MANTENIMIENTO	NUMERO DE LUMINARIAS
ENTREPISO	Archivos de estado nacional	12.65	12.00	151.80	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.79	0.64	0.6	22
SOTANO	Deposito Archivos	35.20	15.00	528.00	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.05	0.55	0.6	89
	Archivos de estado nacional	12.65	12.00	151.80	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.79	0.64	0.6	22
	Deposito de Archivos	35.20	15.00	528.00	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.05	0.55	0.6	89
	Hemeroteca	30.00	10.24	307.20	300	3200	3.3	0.85	2.45	1.60	0.64	0.8	56
	Pasillo	35.19	10.24	360.35	200	2650	3.3	0.85	2.45	1.54	0.64	0.8	53
	Bodega/encuadernacion	9.00	8.25	74.25	100	375	3.3	0.85	2.45	2.85	0.71	0.8	35
	Encuadernacion	8.85	5.74	50.80	300	3200	3.3	0.85	2.45	3.52	0.75	0.8	8
	S.S	5.45	3.00	16.35	100	375	3.3	0.85	2.45	6.33	1.00	0.8	5
	Bodegas	9.00	5.45	49.05	200	2650	3.3	1.1	2.2	3.24	0.75	0.8	6
	Mantenimiento Tecnico	6.00	3.19	19.14	300	3200	3.3	0.85	2.45	5.88	1.00	0.8	2
	Deposito de Archivo	48.30	15.00	724.50	100	1800	3.3	1.1	2.2	0.96	0.48	0.6	140
	Comedor	5.85	3.25	19.01	200	2650	3.3	0.85	2.45	5.86	0.77	0.8	2
	Investigacion	8.85	5.74	50.80	300	3200	3.3	0.85	2.45	3.52	0.75	0.8	8
	S.S Hombres	4.00	3.30	13.20	100	375	3.3	0.85	2.45	6.77	1.00	0.8	4
	Hall (pasillo)	37.00	3.26	120.62	200	2650	3.3	0.85	2.45	4.09	0.77	0.8	15
	Archivo	9.24	8.80	81.31	300	3200	3.3	0.85	2.45	2.72	0.71	0.8	13
	Hemeroteca	9.24	8.80	81.31	300	3200	3.3	0.85	2.45	2.72	0.71	0.8	13
	S.S. Mujeres	4.00	3.50	14.00	100	375	3.3	0.85	2.45	6.56	1.00	0.8	5
	Area de empleados	8.65	6.00	51.90	150	375	3.3	0.85	2.45	3.46	0.75	0.8	35
	Direccion y Secretaria	9.00	8.65	77.85	150	375	3.3	0.85	2.45	2.78	0.71	0.8	55
NIVEL 2	Deposito de Archivo	48.30	15.00	724.50	100	1800	3.3	1.1	2.2	0.96	0.48	0.6	140
	Deposito de Archivo	48.30	15.00	724.50	100	1800	3.3	1.1	2.2	0.96	0.48	0.6	140
	Paleografía	5.00	3.26	16.30	300	3200	3.3	0.85	2.45	6.21	1.00	0.8	2
	Contabilidad	5.74	5.00	28.70	300	3200	3.3	0.85	2.45	4.58	0.77	0.8	4
	Almacen	5.74	3.85	22.10	300	3200	3.3	0.85	2.45	5.32	0.77	0.8	3
	Salon Fuentes y Guzman	22.00	9.04	198.88	300	3200	3.3	0.85	2.45	1.91	0.64	0.8	36
	Pasillo	33.85	3.26	110.35	200	2650	3.3	0.85	2.45	4.12	0.77	0.8	14
	Investigacion	9.00	8.65	77.85	300	3200	3.3	0.85	2.45	2.78	0.71	0.8	13
NIVEL 4	Deposito de Archivo	48.30	15.00	724.50	100	1800	3.3	1.1	2.2	0.96	0.48	0.6	140
	Deposito de Archivo	32.35	15.00	485.25	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.07	0.55	0.6	82
	Mapoteca	6.00	5.00	30.00	300	3200	3.3	0.85	2.45	4.49	0.77	0.8	5
	Oficina	3.50	3.00	10.50	200	2650	3.3	0.85	2.45	7.58	1.00	0.8	1
	Digitalizacion	6.00	5.00	30.00	300	3200	3.3	0.85	2.45	4.49	0.77	0.8	5
	Sala de Juntas	5.00	4.50	22.50	300	3200	3.3	0.85	2.45	5.17	0.77	0.8	3
	Oficina	5.00	3.00	15.00	200	2650	3.3	0.85	2.45	6.53	1.00	0.8	1
	coqueta	4.50	3.00	13.50	200	2650	3.3	0.85	2.45	6.81	1.00	0.8	1
	bodega	4.50	3.00	13.50	200	2650	3.3	0.85	2.45	6.81	1.00	0.8	1
	S.S	1.50	1.00	1.50	100	375	3.3	0.85	2.45	20.42	1.00	0.8	1
NIVEL 6	Deposito de Archivo	32.35	15.00	485.25	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.07	0.55	0.6	82
NIVEL 7	Deposito de Archivo	32.35	15.00	485.25	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.07	0.55	0.6	82
NIVEL 8	Deposito de Archivo	32.35	15.00	485.25	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.07	0.55	0.6	82
NIVEL 9	Deposito de Archivo	32.35	15.00	485.25	100	1800	3.3	1.1	2.2	1.07	0.55	0.6	82

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

5.6. Cálculo del sistema de puesta a tierra

Se elige el calibre del conductor de puesta tierra de la tabla X y XI, para esta instalación eléctrica se tiene una corriente máxima de 70 amperios y por diseño la instalación es para una corriente de 100 a 200 amperios por lo que se selecciona un calibre núm. 6 para el conductor de puesta a tierra ya que el tablero principal está diseñado para una barra de 200 amperios.

Conociendo que la resistividad del terreno es de 30 Ω , se realiza el cálculo del sistema de puesta a tierra bajo la Norma IEEE-80 donde indica que la

resistencia a tierra debe ser menor a 5Ω . Para el sistema de puesta a tierra se construirá una malla de 4 varillas de cobre (5/8" x 8') tipo UL.

Datos para el cálculo de la puesta a tierra:

- Conductor por utilizar = Núm. 6 desnudo
- 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) = 0,002 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

Cálculo de constantes de geometría para profundidad S

$$K1 = -0,05 * \frac{L2}{L1} + 1,2 = -0,05 * \frac{5}{5} + 1,2 = 1,15$$

$$K2 = 0,1 * \frac{L2}{L1} + 4,68 = 0,1 * \frac{5}{5} + 4,68 = 4,78$$

Resistencia de los conductores de la malla (R1)

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

$$R1 = \frac{30}{\pi * 75} * \left(\ln \left(\frac{2 * 75}{\sqrt{2 * 0,002 * 0,5}} \right) + \frac{1,15 * 75}{\sqrt{25}} - 4,78 \right)$$

$$R1 = 2,621 \Omega$$

Resistencia de todas las varillas (R2)

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

$$R2 = \frac{30}{2 * \pi * 4 * 2,44} * \left(\ln \left(\frac{4 * 2,44}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,15 * 2,44}{\sqrt{25}} * (\sqrt{4} - 1)^2 \right)$$

$$R2 = 3,536 \Omega$$

- Resistencia mutua (Rm) entre los conductores y varillas

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

$$R_m = \frac{30}{\pi * 75} * \left(\ln \left(\frac{2 * 75}{2,44} \right) + \frac{1,15 * 75}{\sqrt{25}} - 4,78 + 1 \right)$$

$$R_m = 2,239\Omega$$

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

$$R_t = \frac{R1 * R2 - R_m^2}{R1 + R2 - 2 * R_m}$$

$$R_t = \frac{2,621 * 3,536 - 2,239^2}{2,621 + 3,536 - 2 * 2,239}$$

$$R_t = 3,53\Omega$$

5.7. Cálculo para la selección de pararrayos

Para el cálculo de pararrayo, se considera las dimensiones de la infraestructura del edificio Archivo General de Centroamérica que cuenta con una altura de 15 metros y un ancho de 70 metros.

Se elige el pararrayo Pulsar 60 categoría III, el cual tiene un peso de 5,7 Kg, longitud de 2,06 metros y una reacción de descarga de 60 microsegundos. Se muestra su área de cobertura en la figura 74.

Figura 73. **Protección del pararrayo Pulsar 60(III)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2020.

5.7.1. Instalación del pararrayo

Para la instalación del pararrayo seleccionado se debe cumplir con la Norma UNE 21-186, quien es la encargada de regular la instalación y mantenimiento de los pararrayos. En esta norma se especifica que el pararrayos se ubica a por lo menos dos metros por encima de cualquier elemento de la parte superior de su radio de protección. De acuerdo con esta norma los elementos que componen la instalación del pararrayo son: cabezal captador, mástil, conductor de bajada, tubo de protección del conductor de bajada a tierra y electrodo de toma a tierra.

El conductor de bajada se instalará de forma que su recorrido sea lo más lineal posible desde el pararrayo hasta la toma de tierra en el suelo evitando acodamientos pronunciados y se debe proteger dicho conductor con un tubo Hg desde el suelo hasta una altura mínima de dos metros.

5.7.2. Mantenimiento del pararrayo

Según la Norma UNE 21-186 se debe llevar un plan de mantenimiento anual donde se incluye la revisión del cabezal del pararrayo, revisión de los soportes del mástil, revisión de los conectores y revisión del tubo que protege el conductor del pararrayo.

Para la toma de tierra del pararrayo es necesario revisar las conexiones y conectores instalados, medir la resistencia en ohms para que este por debajo de los 10 ohms y verificar el contador de pararrayos.

6. COMPARACIÓN TEÓRICO Y PRÁCTICA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

6.1. Comparaciones de calibre de conductor y protecciones del tablero principal

Para la comparación de conductores eléctricos se utilizan los datos del levantamiento eléctrico y los resultados de los cálculos teóricos de este documento y se identificó que los conductores y protecciones instalados actualmente tienen un calibre mayor o igual al resultado de los cálculos teóricos por lo que cumplen con la caída de tensión del 3 % y para las protecciones también se encuentran dentro del rango del valor obtenido del cálculo teórico. Por lo que no es necesario realizar cambios.

Tabla XXXIV. **Comparación de conductores y protecciones de la instalación actual**

Núm. de circuito	Nombre del tablero	CÁLCULO PRACTICO		CÁLCULO TEÓRICO	
		Protección amperios	Calibre de conductor THHN	Protección amperios	Calibre de conductor THHN
	Tablero principal	3X225	2 Núm. 2/0	3X225	Núm. 2
1	Tablero Nivel # 1 y # 2 Iluminación y Fuerza	2X100	Núm. 4	2X100	Núm. 6
2	Tablero Gradas Nivel # 3	2X70	Núm. 4	2X70	Núm. 6
3	Tablero Entrepiso de Sótano y Sótano	2X70	Núm. 4	2X70	Núm. 8
4	Tablero Nivel # 4 y # 5	2X70	Núm. 4	2X70	Núm. 4
5	Tablero principal # 2 / iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7	Sin protección	Núm. 4	2X70	Núm. 4
6	Tablero principal # 3 / iluminación y fuerza nivel # 8 y # 9	Sin protección	Núm. 4	2X70	Núm. 4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

6.2. Comparación teórica – práctica de la selección de tableros eléctricos

Después de concluir el levantamiento eléctrico y la selección de los tableros se encontró que el tablero principal instalado actualmente debe ser remplazado ya que dicho material se encuentra discontinuado. Además, es necesario centralizar un tablero principal de donde se deriven los tableros que van hacia cada nivel.

En la figura 73 del capítulo 5 se dejó el diseño teórico del tablero principal para alimentar todas las cargas de la instalación eléctrica. Para unificar todas las cargas en un solo tablero principal ya que actualmente no existe un tablero principal.

A continuación, se presenta la tabla XXXV de los cambios que se proponen para mejorar la seguridad de la instalación eléctrica actual:

Tabla XXXV. Propuesta de cambio para unificar las cargas en un tablero principal

Núm. de circuito	NOMBRE DE TABLERO	PROTECCION EN AMPERIOS	CALIBRE DE CONDUCTOR TIBBN	POTENCIA VA	DISTANCIA METROS
1	Tablero Nivel # 1 y # 2 Iluminación y Fuerza	2x100	Núm. 4	7 180	50
2	Tablero Gradas Nivel # 3	2x70	Núm. 4	6 170	65
3	Tablero Entrepiso de Sótano y Sótano	2x70	Núm. 4	6 940	35
4	Tablero Nivel # 4 y # 5	2x70	Núm. 4	4 560	90
TOTAL VA				24 850	

NOMBRE DEL TABLERO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FASE A CONECTAR	POLOS UTILIZADOS	POTENCIA EN WATS	DE TALLES DEL TABLERO SELECCIONADO
TABLERO PRINCIPAL	120/240	95	2	12	22 800	Tablero tipo subcuadro, monofásico, 120/240 V, 24 polos, barra 100 amperios
Tablero Nivel # 1 y # 2 Iluminación y Fuerza	120/240	29,92	2	32	7 180,8	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero Gradas Nivel # 3	120/240	25,71	2	24	6 170,4	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero Entrepiso de Sótano y Sótano	120/240	28,92	2	30	6 940,8	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero Nivel # 4 y # 5	120/240	19	2	24	4 560	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 32 polos, barra de 100 amperios
Tablero principal # 21 Iluminación y fuerza nivel # 6 y # 7	120/240	12,91	2	8	3 098,4	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios
Tablero principal # 31 Iluminación y fuerza nivel # 6 y # 8	120/240	12,5	2	8	3 000	Tablero tipo centro de carga, monofásico, 120/240 voltios, 24 polos, barra de 100 amperios

Núm. de circuito	NOMBRE DE TABLERO	PROTECCION EN AMPERIOS	CALIBRE DE CONDUCTOR TIBBN	POTENCIA VA
1	Tomas corrientes N6	150	Núm. 10	300
2	Tomas corrientes N7	150	Núm. 10	300
3	Iluminación Archivo N6	250	Núm. 4	800
4	Iluminación Archivo N6	250	Núm. 4	800
5	Iluminación Archivo N7	250	Núm. 4	800
TOTAL				3 100

Núm. de circuito	NOMBRE DE TABLERO	PROTECCION EN AMPERIOS	CALIBRE DE CONDUCTOR TIBBN	POTENCIA VA
1	Tomas corrientes N8	150	Núm. 10	300
2	Tomas corrientes N8	150	Núm. 10	300
3	Iluminación Archivo N8	250	Núm. 10	800
4	Iluminación Archivo N8	250	Núm. 10	800
5	Iluminación Archivo N9	250	Núm. 10	800
TOTAL				3 000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

6.3. Comparaciones teórico – práctica de la iluminación

Para la iluminación del edificio se determinó en los cálculos que es necesario hacer cambio en cuanto a los tubos y focos fluorescentes o focos incandescentes a luminarias led. Es importante que el nivel de iluminación sea óptimo en el área de archivos debido a la importancia de los documentos que allí se resguardan.

Este tipo de iluminación favorecerá para el desplazamiento por el área de archivos ya que es importante agilizar la ubicación de los documentos por el pasillo de los archivos ubicados en cada nivel. A continuación se deja el resumen de lo encontrado en campo y el resultado final de la iluminación adecuada para cada área.

Tabla XXXVI. **Comparación de iluminación actual y la recomendada para el edificio Archivo General de Centroamérica**

INSTALACION ACTUAL				CÁLCULO TEÓRICO	
NIVEL	NOMBRE DEL ÁREA	# DE LUMINARIAS	TIPO	NÚMERO DE LUMINARIAS	TIPO
ENTREPIS O SOTANO	Archivos de estado nacional	28 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescentes	22	Lámpara T8 o foco Led
	Depósito Archivos	85 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescentes	89	Lámpara T8 o foco Led
SOTANO	Archivos de estado nacional	28 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	22	Lámpara T8 o foco Led
	Deposito de Archivos	85 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	89	Lámpara T8 o foco Led
	Hemeroteca	18 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	56	Lámpara T8 o foco Led
	Pasillo	14 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	53	Lámpara T8 o foco Led
	Bodega/encuadernación	1 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	35	Lámpara T8 o foco Led
	Encuadernación	3 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	8	Lámpara T8 o foco Led
	S.S	4 focos de 45 w, luz cálida	Incandecente	5	Lámpara T8 o foco Led
	Bodegas	6 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	6	Lámpara T8 o foco Led
	Mantenimiento Técnico	4 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	2	Lámpara T8 o foco Led

Continuación de la tabla XXXVI.

INSTALACION ACTUAL				CÁLCULO TEÓRICO	
NIVEL	NOMBRE DEL ÁREA	# DE LUMINARIAS	TIPO	NÚMERO DE LUMINARIAS	TIPO
NIVEL 1	Deposito de Archivo	110 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	140	Lámpara T8 o foco Led
	Comedor	2 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	2	Lámpara T8 o foco Led
	Investigación	9 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	8	Lámpara T8 o foco Led
	S.S Hombres	3 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	4	Lámpara T8 o foco Led
	Hall (pasillo)	14 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	15	Lámpara T8 o foco Led
	Archivo	10 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	13	Lámpara T8 o foco Led
	Hemeroteca	10 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	13	Lámpara T8 o foco Led
	S.S. Mujeres	4 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	5	Lámpara T8 o foco Led
	Area de empleados	4 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	35	Lámpara T8 o foco Led
	Dirección y Secretaría	2 focos de 45 w, luz día 4 lámparas 2x40 w, luz de día	Incandescente Fluorescente	55	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 2	Depósito de Archivo	115 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	140	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 3	Depósito de Archivo	110 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	140	Lámpara T8 o foco Led
	Paleografía	3 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	2	Lámpara T8 o foco Led
	Contabilidad	4 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	4	Lámpara T8 o foco Led
	Almacén	7 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	3	Lámpara T8 o foco Led
	Salon Fuentes y Guzman	18 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	36	Lámpara T8 o foco Led
	Pasillo	14 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	14	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 4	Investigación	5 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	13	Lámpara T8 o foco Led
	Depósito de Archivo	118 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	140	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 5	Depósito de Archivo	85 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	82	Lámpara T8 o foco Led
	Mapoteca	4 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	5	Lámpara T8 o foco Led
	Oficina	2 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	1	Lámpara T8 o foco Led
	Digitalización	4 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	5	Lámpara T8 o foco Led
	Sala de Juntas	4 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	3	Lámpara T8 o foco Led
	Oficina	2 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	1	Lámpara T8 o foco Led
	cocineta	2 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	1	Lámpara T8 o foco Led
	bodega	2 lámparas 2x40 w, luz de día	Fluorescente	1	Lámpara T8 o foco Led
	S.S	1 focos de 45 w, luz día	Fluorescente	1	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 6	Depósito de Archivo	75 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	82	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 7	Depósito de Archivo	78 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	82	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 8	Depósito de Archivo	50 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	82	Lámpara T8 o foco Led
NIVEL 9	Depósito de Archivo	35 focos de 45 w, luz cálida	Fluorescente	82	Lámpara T8 o foco Led

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un diseño de la puesta a tierra necesaria para el edificio, con una resistencia menor a cinco ohms, construyendo una malla de tierra con 4 varillas y conductor cobre desnudo calibre 6 sin tratamiento del suelo. Este diseño servirá para aterrizar todos los tableros eléctricos de la instalación, considerando el equipo electrónico que se maneja en el edificio.
2. Se encontró que no existe un tablero principal, por lo que se hizo el cálculo teórico para definir las características eléctricas del tablero principal que se necesita para unificar las cargas y derivar los tableros secundarios para los niveles que almacenan los archivos.
3. Se hizo el análisis del resultado de la medición de calidad de energía, evaluando los parámetros eléctricos ya mencionados en este trabajo de graduación y se identificó que, por ser una instalación eléctrica de solo cargas monofásicas, no se está utilizando la línea 2 por lo que se tiene desbalance en la corriente eléctrica.
4. Se seleccionó un pararrayos para la protección de los equipos eléctricos del edificio y para la seguridad de los documentos que se almacenan en los archivos.
5. Se realizó el diagrama unifilar de la instalación eléctrica actual bajo la Norma ANSI, identificando todas las características mediante un levantamiento eléctrico. Se encontró que los tableros no cuentan con

nomenclatura de identificación para localizarlos y referenciarlos en un diagrama.

RECOMENDACIONES

1. Implementar en la instalación eléctrica la puesta a tierra que se calculó en este estudio, para prologar la vida útil de los equipos y por la seguridad del personal que labora en el edificio. La puesta a tierra servirá para drenar a tierra las descargas eléctricas que se puedan generar en la carcasa de los equipos.
2. Cambiar del tablero principal para unificar las cargas e instalar una protección eléctrica principal que permita seccionar los tableros para hacer los mantenimientos eléctricos sin afectar toda la red eléctrica.
3. Contar con un servicio monofásico ya que actualmente se tiene un servicio trifásico en el que no se utiliza la línea 2, por lo que se tiene alto desbalance en las corrientes. Todas las cargas de la instalación eléctrica son monofásicas por lo que se pueden alimentar por medio de un transformador monofásico de 37,5 kVA.
4. Instalar el pararrayo para la protección de la instalación eléctrica actual y por la seguridad del edificio, ya que es importante que las descargas atmosféricas sean drenadas a tierra para evitar accidentes o daños materiales.
5. Crear una nomenclatura para los tableros y así identificarlos en el diagrama unifilar.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRATU SERBAN, Neagu; CAMPERO LITTLEWOOD, Eduardo. *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño*. 2.^a ed. México: Alfaomega, 1994. 150 p.
2. Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. *Normas para acometidas de servicio eléctrico*, Resolución CNEE-61-200412. 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 Ingeniería Mecánica Eléctrica. 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, 8.^a ed. 1999.

8. Wikiguate. *Historia del archivo de Centroamérica*. [en línea]. <<https://wikiguate.com.gt/archivo-general-de-centro-america/>>. [Consulta: enero 2021].
9. Wikiguate. *Misión*. [en línea]. <<https://wikiguate.com.gt/archivo-general-de-centro-america/>>. [Consulta: enero 2021].

APÉNDICES

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

VOLTAJES			
	A-B	B-C	C-A
MÍNIMO	241,80	239,80	238,20
PROMEDIO	246,30	245,10	245,40
MÁXIMO	249,60	248,60	249,10

CORRIENTES				
	IA	IB	IC	I NEUTRO
MÍNIMO	3,42	2,85	3,42	3,13
PROMEDIO	18,97	2,80	15,00	7,00
MÁXIMO	71,70	2,80	65,40	22,70

POTENCIAS Y FACTOR DE POTENCIA				
	POTENCIAS			FACTOR DE POTENCIA
	PT(KW)	ST(KVA)	QT(KVAR)	
MÍNIMO	-0,95	2,60	0,10	-0,98
PROMEDIO	4,00	9,00	5,10	0,97
MÁXIMO	16,60	32,80	22,30	0,99

DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE %			
	THDI 1	THDI 2	THDI 3
MÍNIMO	1,70	2,90	1,70
PROMEDIO	2,40	4,80	2,80
MÁXIMO	3,20	7,00	4,30
TOLERANCIA PERMITIDA	8%		

DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE %				
	THDI 1	THDI 2	THDI 3	THDI NEUTRO
MÍNIMO	10,70	9,10	5,20	11,30
PROMEDIO	28,00	16,60	27,10	58,40
MÁXIMO	62,10	23,90	67,60	592,00
TOLERANCIA PERMITIDA	20%			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Apéndice 2. **Tableros principales existentes**



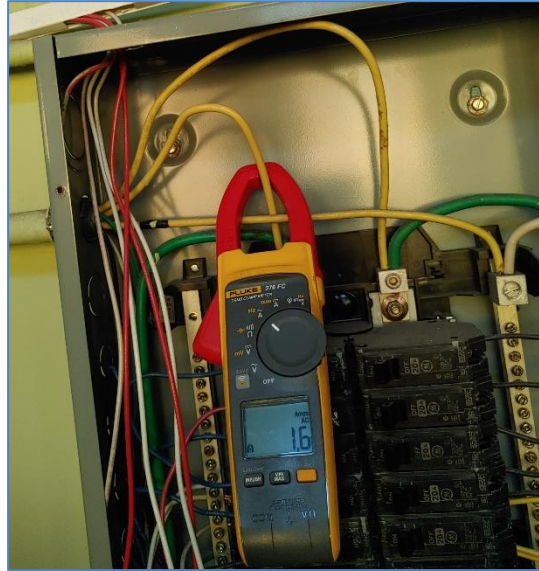
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2020.

Apéndice 3. **Instalación de equipo para medición de calidad de energía**



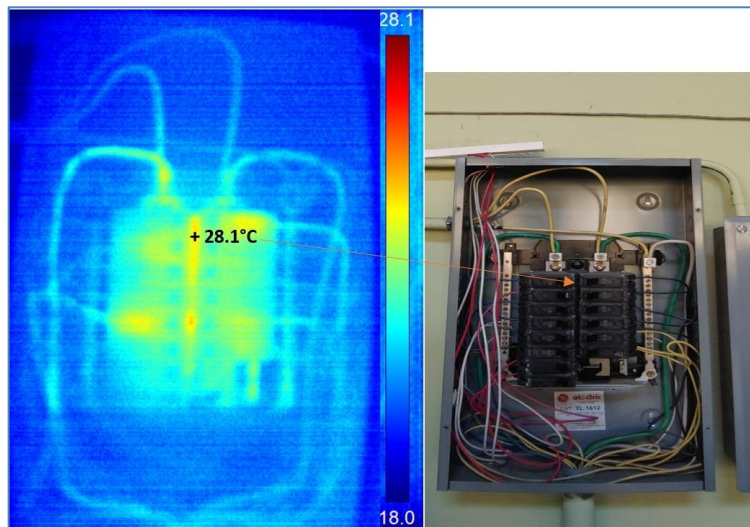
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2020.

Apéndice 4. **Medición de corriente en los tableros eléctricos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint 2020.

Apéndice 5. **Medición de corriente en los tableros eléctricos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

ANEXOS

Anexo 1. 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>		
$\text{DATT (\%)} = (\sqrt{\sum Vi^2 / V1^2}) \times 100$		
$\text{DAIT (\%)} = (Vi / V1)$		
En donde:		
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>Artículo 32. Tolerancias para la Distorsión Armónica de Tensión.</p>		
ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA 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	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$
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 NTS. *Tolerancias para la distorsión armónica de tensión.*

<https://www.cnee.gob.gt/estudios electricos/ Normas%20 Tecnicas/03%20NTSD.pdf>. Consulta:

10 de enero del 2021.

Anexo 2. 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. Tolerancias para la regulación de tensión..*

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

10 de enero del 2021.

Anexo 3. 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. Tolerancias para la distorsión armónica de corriente.

<https://www.cnee.gob.gt/estudios electricos/Normas%20 Tecnicas/03 %20NTSD.pdf>. Consulta:

10 de enero del 2021.

Anexo 4. Tableros principales existentes



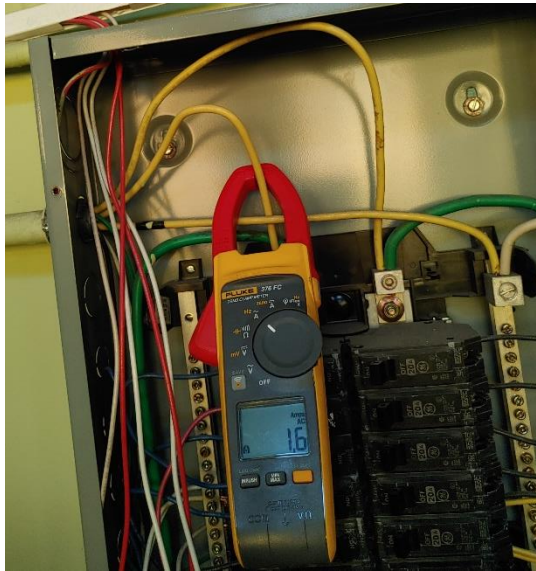
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Anexo 5. Instalación de equipo para medición de calidad de energía



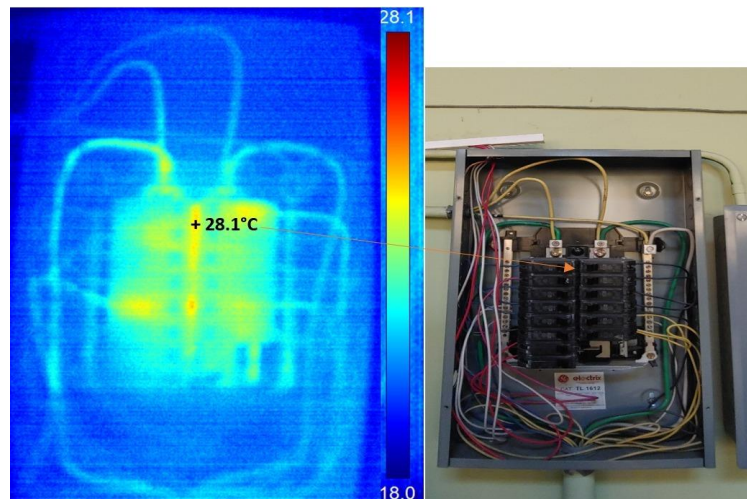
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Anexo 6. **Medición de corriente en los tableros eléctricos**



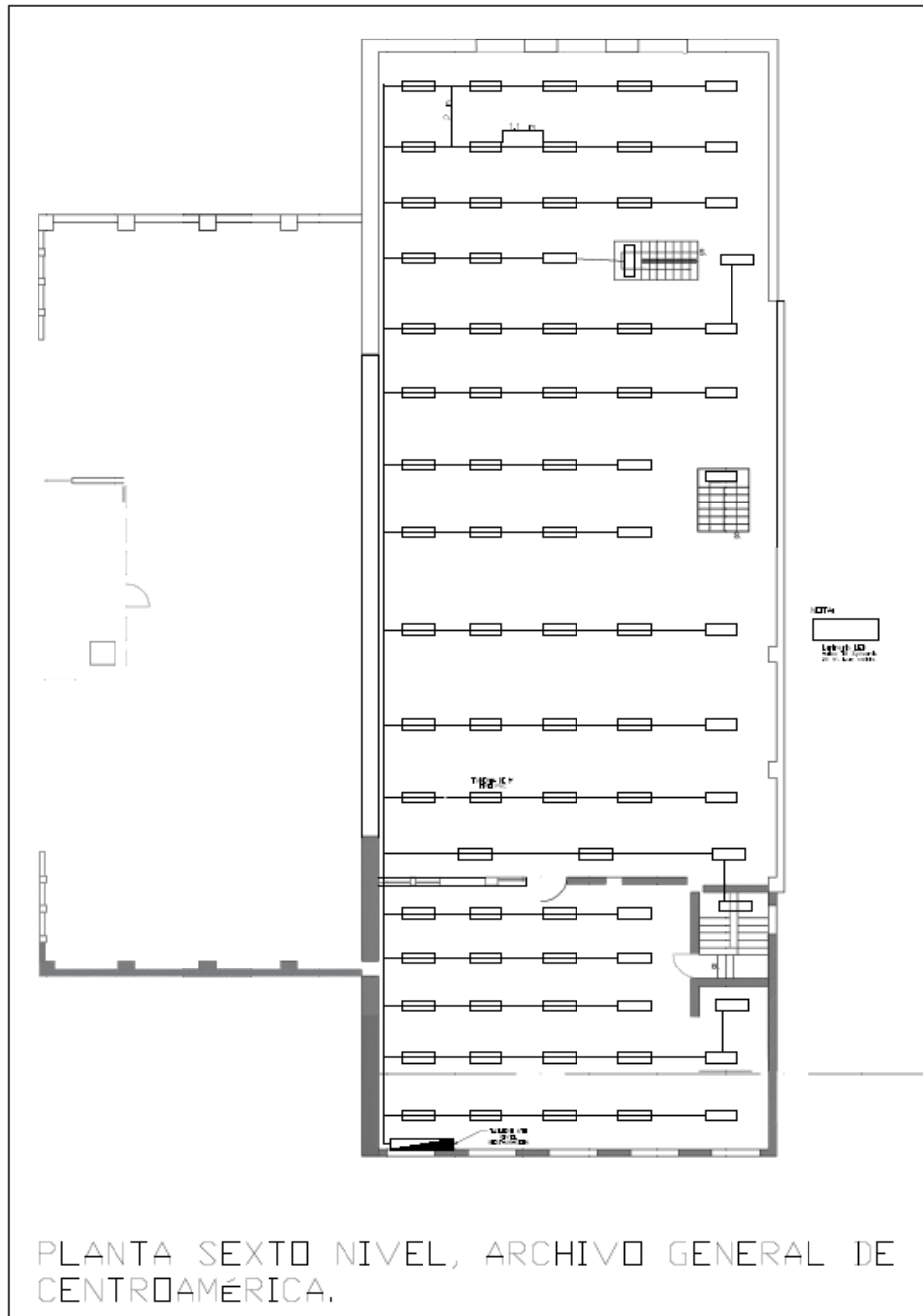
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Anexo 7. **Toma de termografías a tableros eléctricos**



Fuente: elaboración propia, empleando, empleando Microsoft Excel 2010.

Anexo 8. Vista de planta, plano de iluminación del sexto nivel5



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.