



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS
INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN
JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Oscar Emanuel Arias Valenzuela

Asesorado por el Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS
INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN
LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OSCAR EMANUEL ARIAS VALENZUELA

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO BENIGNO OROZCO GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Pérez Archila
SECRETARIO	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 mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 2 de marzo de 2020.

Oscar Emanuel Arias Valenzuela

Guatemala, 02 de julio de 2020

Ingeniero Oscar Argueta
Director
Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
USAC.

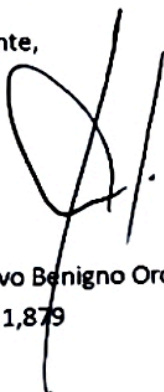
Estimado Ingeniero:

Por este medio envío a usted el Informe Final correspondiente a la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado: **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGIA Y EFICIENCIA ENERGETICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACION GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSE, VILLA NUEVA, GUATEMALA"** desarrollado por el estudiante OSCAR EMANUEL ARIAS VALENZUELA, carne 2012-12768, el cual fue asesorado por el suscrito.

Por lo tanto, al encontrarlo satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo, remitiéndolo a esa Dirección para el tramite pertinente.

Agradeciendo la atención a la presente, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez.
Colegiado 1,879
ASESOR

ING. GUSTAVO B. OROZCO
COLEGIADO 1879

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 21 de enero de 2021.
Ref.EPS.DOC.10.01.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

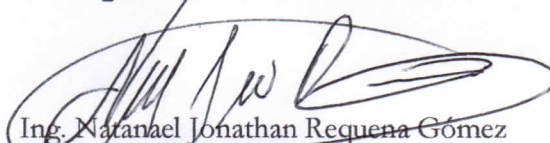
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Oscar Emanuel Arias Valenzuela** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **201212768** y CUI **2158 83705 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA”**.

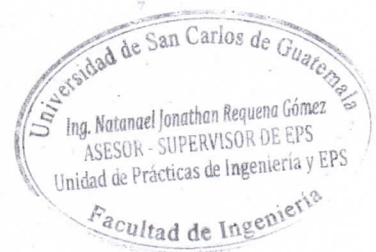
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 21 de enero de 2021.
Ref.EPS.D.11.01.2021.

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 DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Oscar Emanuel Arias Valenzuela**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

OA/ra



REF. EIME 07122020a
07 Diciembre 2020

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

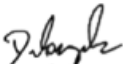
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA**, del estudiante; Oscar Emanuel Arias Valenzuela con numero de carnet 2158837050101, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


JOSE ANIBAL SILVA DE LOS ANGELES
ING ELECTRONICO
COLEGIADO No 5067


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



REF. EIME 100. 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; OSCAR EMANUEL ARIAS VALENZUELA titulado; ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.


Ing. ~~Armando Alonso Rivera Carrillo~~



GUATEMALA, 18 DE MAYO 2,021.

DTG. 215-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE LA SUBESTACIÓN GUATEMALA SUR, UBICADA EN LA ALDEA SAN JOSÉ, VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Emanuel Arias Valenzuela**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el mejor guía y la inspiración para poder seguir adelante a pesar de las dificultades.
- Mi padre** Oscar Arias. Por siempre darme su apoyo en las buenas y las malas; además de brindarme consejos para ir por buen camino en la vida.
- Mi madre** Consuelo Valenzuela, quien siempre ha creído en mí y me ha motivado a seguir adelante como persona de bien, a pesar de las adversidades.
- Mi hermano** Daniel Alejandro Arias. Que, como hermano mayor, con su ayuda y apoyo siempre ha sido un ejemplo a seguir.
- Mi novia** Silvia Gálvez, quien nunca ha dejado de estar atenta y pendiente en el proceso final de mi carrera universitaria, y me ha motivado a culminar este sueño tan anhelado.
- Amigos y amigas** De la Facultad de Ingeniería, del Departamento de Matemáticas, de la iglesia y demás. Por ser una importante influencia a través del camino universitario y de la vida, además de formar parte de ella.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> y casa de estudios que me albergó durante los años de mi formación profesional, para lograr tan importante éxito en la vida.
Facultad de Ingeniería	Por ser la unidad académica que brindó lo necesario dentro de sus aulas para adquirir el conocimiento correspondiente a la ingeniería, principalmente en la eléctrica.
Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica	Por la oportunidad de realizar el proyecto correspondiente al ejercicio profesional supervisado y proporcionar los recursos necesarios en todo momento.
Asesor-supervisor EPS	Ingeniero Natanael Requena, por toda la ayuda y apoyo brindado para la realización del Ejercicio Profesional Supervisado.
Mi asesor	Ingeniero Gustavo Orozco, por sus recomendaciones, consejos y tiempo aportado hacia mi persona en la realización del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Datos generales de la empresa.....	1
1.2. Historia de la empresa.....	1
1.3. Misión	2
1.4. Visión.....	2
1.6. Memoria descriptiva de las instalaciones	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Conceptos básicos	5
2.1.1. Magnitudes físicas básicas	5
2.1.1.1. Voltaje.....	5
2.1.1.2. Corriente	6
2.1.1.3. Resistencia	7
2.1.2. Regulación de tensión	8
2.1.3. Frecuencia	9
2.1.4. Ley de Ohm	11
2.1.5. Factores de desequilibrio de tensión y corriente.....	11
2.1.6. Factores de asimetría de tensión y corriente	13

2.1.7.	Potencia activa, reactiva y aparente.....	16
2.1.8.	Factor de potencia.....	18
2.1.9.	Valores mínimos del factor de potencia	19
2.1.10.	Armónicos	20
	2.1.10.1. Origen.....	20
	2.1.10.2. Causas	20
	2.1.10.3. Factor de distorsión armónica individual	21
	2.1.10.4. Factor de distorsión armónica total (THD).....	22
2.1.11.	<i>Flicker</i>	24
2.1.12.	Sobretensiones	27
2.1.13.	Huecos de tensión.....	28
2.1.14.	Interrupciones.....	29
2.1.15.	Factor K del transformador.....	30
2.1.16.	Factor de desclasificación 1/K del transformador	31
2.1.17.	Magnitudes de iluminación	32
	2.1.17.1. Luxes.....	33
	2.1.17.2. Lúmenes.....	33
2.2.	Normas técnicas utilizadas para el estudio de calidad de energía.....	34
	2.2.1. NTSD.....	34
	2.2.2. ISO 50001	35
	2.2.3. NEC.....	36
	2.2.4. IEC60364	36
	2.2.5. Política Energética 2013-2027	37
	2.2.6. Plan Nacional de Energía 2017-2032.....	38
3.	DATOS HISTÓRICOS Y HÁBITOS DE CONSUMO.....	39

3.1.	Historial del consumo eléctrico	39
3.2.	Historial del consumo de combustibles	40
3.3.	Encuesta de hábitos de consumo a trabajadores.....	42
3.4.	Análisis de resultados de encuesta	43
3.5.	Propuestas de mejora sobre hábitos de consumo.....	44
4.	ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	47
4.1.	Equipos de medición	47
4.1.1.	Analizador de redes eléctricas.....	47
4.1.2.	Cámara termográfica	48
4.1.3.	Multímetro.....	49
4.1.4.	Luxómetro.....	50
4.1.5.	Medidor de energía multifuncional.....	51
4.2.	Análisis de las áreas principales de la Subestación Guatemala Sur	52
4.2.1.	Análisis de voltajes	53
4.2.2.	Análisis de corrientes.....	58
4.2.3.	Análisis de potencia activa, reactiva y aparente	63
4.2.4.	Análisis de factor de potencia	69
4.2.5.	Análisis de armónicos de la red	70
4.2.6.	Análisis de <i>flicker</i>	88
4.2.7.	Análisis de variaciones de frecuencia	91
4.2.8.	Resumen calidad de energía.....	92
4.2.9.	Análisis termográfico	99
4.2.9.1.	Detección de fallas	99
4.2.9.2.	Causas, tipos y solución de fallas.....	100
4.2.9.3.	Emisividad	102
4.2.9.4.	Relación corriente y temperatura.....	103
4.2.9.5.	Relación corriente y resistencia.....	106

4.2.9.6.	Efecto de dilatación del conductor a causa de la corriente	108
4.2.9.7.	Análisis de los tableros de distribución	110
4.3.	Propuestas de mitigación	119
5.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	121
5.1.	Inventario de luminarias	121
5.2.	Análisis de las mediciones de iluminación	123
5.3.	Propuestas de mitigación	130
6.	DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	133
6.1.	Transformador.....	133
6.1.1.	Descripción de transformador	134
6.1.2.	Prueba de corto circuito del transformador.....	134
6.2.	Tablero.....	138
6.2.1.	Barras.....	140
6.2.2.	Interruptores	141
6.2.3.	Curva de disparo de interruptores	144
6.2.4.	Conductores.....	146
6.2.5.	Supresores de picos de voltaje	149
7.	SISTEMA DE TIERRA FÍSICA Y PARARRAYOS	151
7.1.	Medición de puesta a tierra	151
7.2.	Criterios para instalación de tierras físicas.....	151
7.3.	Toma de tierra.....	153
7.4.	Cálculo del sistema de tierras	155
7.5.	Selección de pararrayos.....	159
7.5.1.	Tipos de pararrayos	159

7.5.2.	Dimensionamiento	160
8.	PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	163
8.1.	Proyección de consumo en diez años	163
8.2.	Análisis económico del cubrimiento del consumo proyectado.....	165
9.	EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	169
9.1.	Definición.....	169
9.2.	Cantidad de CO2 emitido anualmente.....	170
	CONCLUSIONES	173
	RECOMENDACIONES.....	177
	BIBLIOGRAFÍA.....	179
	APÉNDICES	183
	ANEXOS	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Límites de voltaje	9
2.	Límites de frecuencia	10
3.	Sistema trifásico balanceado	13
4.	Triángulo de potencia.....	18
5.	Límites de factor de potencia	19
6.	Límite de <i>flicker</i> Pst.....	26
7.	Límite de <i>flicker</i> Plt.....	27
8.	Factor K según el tipo de carga	31
9.	Encuesta sobre hábitos de consumo	42
10.	Resultados de la encuesta sobre hábitos de consumo	43
11.	Analizador de redes eléctricas marca Dranetz.....	48
12.	Cámara termográfica marca FLIR.....	49
13.	Pinza amperimétrica modelo 323.....	50
14.	Luxómetro marca AEMC INSTRUMENTS	51
15.	Medidor de energía multifuncional marca Schneider	52
16.	THD de tensión sección de Protecciones/Subestación.....	71
17.	THD de corriente sección de protecciones/subestación.....	72
18.	THD de tensión sección administrativa	73
19.	THD de corriente sección administrativa.....	74
20.	THD de tensión sección líneas de transmisión/metrología.....	75
21.	THD de corriente sección líneas de transmisión/metrología	76
22.	THD de tensión cafetería/sección de comunicaciones.....	77
23.	THD de corriente cafetería/sección de comunicaciones	78

24.	THD de tensión bodega regional	79
25.	THD de Corriente bodega regional	80
26.	THD de tensión laboratorio de geotérmica	81
27.	THD de corriente laboratorio de geotérmica	82
28.	THD de tensión taller eléctrico	83
29.	THD de corriente taller eléctrico.....	84
30.	THD de tensión clínicas médicas.....	86
31.	THD de corriente clínicas médicas	87
32.	Relación corriente vs temperatura	106
33.	Relación entre corriente, resistencia y voltaje.....	108
34.	Dilatación térmica del cobre.....	110
35.	Tablero sección de protecciones y subestación	111
36.	Tablero sección administrativa	112
37.	Tablero sección líneas de transmisión y metrología	113
38.	Tablero cafetería y sección de comunicaciones	114
39.	Tablero bodegas regionales	115
40.	Tablero laboratorio de geotérmica	116
41.	Tablero taller eléctrico.....	117
42.	Tablero clínicas médicas	118
43.	Consumo de iluminación.....	122
44.	Circuito eléctrico de ensayo de cortocircuito.....	135
45.	Curvas de disparo tipo B, C y D.....	145
46.	Toma de tierra, medición de 2 pinzas.....	153
47.	Analizador de tierra, marca METREL	154
48.	Medidor de temperatura y humedad, marca FLUKE.....	154
49.	Tendencia de consumo años 2010-2019.....	163
50.	Proyección de consumo años 2020-2029.....	164

TABLAS

I.	Datos de la empresa	1
II.	Límites de distorsión de voltaje	24
III.	Límites de distorsión de corriente.....	24
IV.	Valores de factor K.....	31
V.	Consumo anual de la Subestación Guatemala Sur	40
VI.	Consumo de combustible diésel 2010-2019	41
VII.	Consumo de combustible gasolina regular 2010-2019	41
VIII.	Horario de mediciones	53
IX.	Voltaje sección de protecciones/subestación	53
X.	Voltaje sección administrativa	54
XI.	Voltaje sección líneas de transmisión/metrología.....	55
XII.	Voltaje cafetería/sección de comunicaciones.....	55
XIII.	Voltaje bodegas regionales	56
XIV.	Voltaje laboratorio de geotérmico.....	56
XV.	Voltaje taller eléctrico	57
XVI.	Voltaje clínicas médicas	58
XVII.	Corriente sección de protecciones/subestación	59
XVIII.	Corrientes sección administrativa.....	59
XIX.	Corrientes sección líneas de transmisión/metrología	60
XX.	Corrientes cafetería/sección de comunicaciones	61
XXI.	Corrientes bodega regional	61
XXII.	Corrientes laboratorio de geotérmica	62
XXIII.	Corrientes taller eléctrico.....	62
XXIV.	Corrientes clínicas médicas.....	63
XXV.	Potencias sección protecciones/subestación	64
XXVI.	Potencias sección administrativa	64
XXVII.	Potencias sección líneas de transmisión/metrología.....	65

XXVIII.	Potencias cafetería/sección de comunicaciones.....	66
XXIX.	Potencias bodegas regionales	66
XXX.	Potencias laboratorio de geotérmica.....	67
XXXI.	Potencias taller eléctrico	68
XXXII.	Potencias clínicas médicas	69
XXXIII.	Factor de potencia	70
XXXIV.	<i>Flicker</i> a corto plazo	89
XXXV.	Porcentaje de exceso del Pst y Plt.....	90
XXXVI.	Variaciones de frecuencia.....	92
XXXVII.	Tablero sección de protecciones/subestación	93
XXXVIII.	Tablero sección administrativa.....	94
XXXIX.	Tablero sección de líneas de transmisión/metrología	95
XL.	Tablero taller eléctrico.....	96
XLI.	Armónicos de voltaje.....	98
XLII.	Armónicos de corriente	99
XLIII.	Rango de temperatura	102
XLIV.	Emisividad de materiales comunes.....	103
XLV.	Inventario de luminarias	121
XLVI.	Inventario de luminarias exteriores	122
XLVII.	Iluminación sección de protecciones/subestación	123
XLVIII.	Iluminación sección administrativa.....	124
XLIX.	Iluminación sección de líneas de transmisión/metrología	125
L.	Iluminación cafetería/sección de comunicaciones	126
LI.	Iluminación bodega regional	127
LII.	Iluminación laboratorio de geotérmica	128
LIII.	Iluminación taller eléctrico.....	129
LIV.	Iluminación clínicas médicas.....	130
LV.	Interruptores conectados al tablero del taller eléctrico	141
LVI.	Interruptores actuales	142

LVII.	Interruptores propuestos	143
LVIII.	Selección de conductores	148
LIX.	Toma de tierra	155
LX.	Radios de protección DAT CONTROLLER AT-1515	161
LXI.	Costos de consumos propios 2019	166
LXII.	Costos anuales en el periodo 2020-2029.....	167
LXIII.	Emisión de gases de efecto invernadero 2017-2027	171

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
THD	Distorsión armónica total
Co2e	Dióxido de carbono equivalente
US\$	Dólares estadounidenses
FE	Factor de emisión
fp	Factor de potencia
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
J	Joules
kA	Kiloamperio
kg	Kilogramo
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio amperio
kVAR	Kilovoltio amperio reactivo
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hora
Lm	Lumen
Lx	Lux
MJ	Mega Joules
MWh	Megawatt hora
m	Metro
m²	Metro cuadrado
µs	Microsegundo

mA	Miliamperio
mm	milímetro
Ω	Ohm
P	Resistividad
s	Segundo
VA	Voltioamperio
VAR	Voltioamperio reactivo
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

Acometida	Instalación eléctrica que deriva de la línea principal de distribución hasta el medidor de consumo de la vivienda, edificio o industria del usuario final.
Agente transportista	Empresa, ente o institución encargada de transportar energía eléctrica de un punto a otro, generalmente, provenientes de una planta generadora hacia la red de distribución.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Amperio	Unidad de medida para la corriente. Se define como el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo del conductor y equivale a 2×10^{-7} Newton por metro.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Contactador	Dispositivo capaz de cortar o accionar circuitos con cargas elevadas a distancia, utilizado, generalmente, en arranque de motores.
Corrosión galvánica	Fenómeno electroquímico producido cuando, ante la presencia de un electrolito, dos metales están en contacto.

CT	Transformador de corriente.
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.
<i>Flicker</i>	Es el cambio visible o parpadeo de la iluminancia que se produce mayormente por fluctuaciones de voltaje
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
Impedancia	Oposición a la corriente que se presenta en circuitos de corriente alterna; es la suma entre la resistencia y reactancia.
Kilowatt hora	Unidad de energía consumida por una potencia de 1 kilowatt en el periodo de 1 hora.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
Mercado oportunidad	Sección del AMM que realiza principalmente todas las transacciones de oportunidad de la energía eléctrica, a través del precio de forma horaria, basado en el costo marginal a corto plazo que resulta el despacho de la oferta actualizada.
NEC	Código Eléctrico Nacional.

NTSD	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
PT	Transformador de potencial.
Ramal	Circuito eléctrico independiente que tiene como función suministrar energía eléctrica a un conjunto de componentes o a uno solo.
Resistividad	Resistencia específica de los materiales. Es la oposición al paso de corriente por unidad de longitud
SPOT	Precio de oportunidad de la energía.
Termograma	Imagen captada a partir de un dispositivo termográfico que muestra los niveles de temperatura.
Voltio	Unidad de medida del voltaje y la fuerza electromotriz. Es el equivalente de la diferencia de potencial entre dos puntos que se necesita para el traslado de una carga.
Watt	Unidad de potencia que mide la cantidad de energía entregada por un elemento en un tiempo determinado. Equivale a 1 joule/segundo.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado con el fin de determinar posibles fallas internas o problemas presentes en las instalaciones eléctricas de los servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur.

Por medio de encuestas, se determinaron los hábitos de consumo de los recursos energéticos, y así, proponer mitigaciones para el ahorro y correcto consumo de energía.

A partir de registros de consumo histórico de años anteriores, se diagnostica el comportamiento de crecimiento y el que podría tener en años posteriores. A través de inspecciones visuales, en las instalaciones de los principales servicios auxiliares, se identifican posibles problemas evidentes, que luego se comprueban al analizar parámetros básicos y avanzados de calidad de energía, por medio de equipo de medición especializado. Se evalúa la eficiencia de la iluminación correspondiente, a través de realizar medidas de iluminancia en las principales áreas de los servicios auxiliares. Los análisis fueron realizados con base en normas nacionales e internacionales.

A partir de los datos históricos de energía eléctrica, se proyecta el consumo energético con alcance a diez años. Por medio de los precios del mercado de oportunidad, se determinan los costos que genera el consumo propio. Se estima la cantidad de gases de efecto invernadero que se genera por la cantidad de consumo energético de los servicios auxiliares.

Se proponen posibles soluciones de los problemas o fallas encontradas durante la realización del presente estudio.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio de calidad de energía y eficiencia energética, a través de procedimientos establecidos, con base en normas que se relacionan con los temas a tratar, de los principales servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur que se ubica en el km 14,5 carretera al Pacífico, aldea San José Villa Nueva, Guatemala.

Específicos

1. Evaluar el consumo histórico de energía eléctrica y combustibles en los últimos diez años.
2. Evaluar los hábitos de consumo de energía del personal que labora en la institución, con el fin de promover el uso correcto de los recursos energéticos disponibles y ahorro de estos.
3. Realizar una inspección visual de las instalaciones de los principales servicios auxiliares de la Subestación, para determinar posibles deficiencias y fallas evidentes.
4. Analizar los parámetros de calidad de energía de las redes de distribución, instaladas en los principales servicios auxiliares de la institución, por medio de equipo de medición especializado.

5. Capturar termogramas de los tableros de distribución de las áreas analizadas, para determinar posibles problemas no perceptibles a simple vista, por medio de una cámara termográfica.
6. Inspeccionar la eficiencia de la iluminación de cada área de trabajo, con base en los valores correctos sugeridos respectivamente.
7. Proyectar el consumo de energía eléctrica con alcance hasta el 2029.
8. Realizar un análisis económico de consumo propio de energía eléctrica en los servicios auxiliares de la institución
9. Determinar la cantidad de gases de efecto invernadero generado anualmente por los servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur.
10. Proponer posibles mitigaciones de las fallas, deficiencias o problemas que sean identificados durante la realización del presente estudio.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en todo ambiente laboral, académico, hogareño, etc., la mayoría de los objetos que se utilizan funciona con electricidad. Motivo por el cual se necesita que el servicio energético sea el adecuado y funcione correctamente en todos sus aspectos, acorde a lo requerido, según sea la necesidad.

El presente estudio consiste en el análisis profundo de la calidad de energía y eficiencia energética en las instalaciones de la Subestación Guatemala Sur, basado en normas nacionales e internacionales.

Por ser antiguas las instalaciones eléctricas de la institución, podrían tener deficiencias internas, no detectables a simple vista. Estas podrían afectar el correcto uso de los dispositivos y equipos utilizados, la reducción de la vida útil de los mismos y el riesgo de provocar accidentes. Se debe tener en cuenta que la institución se dedica tanto al transporte como switcheo de la energía eléctrica en Guatemala, por lo tanto, debe cumplir con un conjunto de características técnicas adecuadas. Es necesario tener el mínimo de fallas dentro de sus servicios auxiliares.

Para determinar que la energía eléctrica funciona correctamente, se hizo, técnicamente, una auditoría energética, por medio de la cual se señalan los defectos que se generan en el sistema eléctrico disponible, para luego proponer las formas de mitigación respectivas que permita el ahorro de energía, mejorar la utilización del recurso energético y la seguridad del personal que labora o visita la institución.

1. ANTECEDENTES

1.1. Datos generales de la empresa

La Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE, tiene como objetivo principal el transporte de energía eléctrica de forma continua en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) y de las interconexiones regionales, operación, mejoras, ampliaciones y mantenimiento de la infraestructura utilizada para transformación, comunicaciones y control. ETCEE es una empresa que participa en el sub sector eléctrico de Guatemala como agente transportista de electricidad y en el mercado eléctrico regional. En la tabla I se muestran los datos generales de la ETCEE.

Tabla I. Datos de la empresa

Nombre de la Empresa	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
Dirección	7ª avenida 2-29 zona 9, ciudad de Guatemala
Subestación	Guatemala Sur
Dirección de la Subestación	Km 14,5 Carretera al Pacífico aldea San José, Villa Nueva
Sector	Electricidad
Actividad	Transporte de energía eléctrica

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

1.2. Historia de la empresa

Según el decreto No. 93-96 de la Ley General de Electricidad, se establece, con carácter obligatorio, que se separen las actividades de

generación y transmisión de energía eléctrica de las empresas verticalmente integradas. Por tal motivo, se creó la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE). Dicho acuerdo fue publicado en el Diario Oficial de Centro América, el 27 de octubre de 1997. En él se separan las funciones del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), ya que es una institución dedicada al proceso de energía eléctrica dentro del subsector eléctrico del país.

Entre la infraestructura que posee la ETCEE se pueden enlistar: 64 Subestaciones eléctricas, 3 055 kilómetros de líneas de transmisión, edificios e instalaciones que son oficinas o bodegas; sistema de comunicaciones; sistema SCADA; sistema de medición, control, protección; laboratorio de metrología; maquinaria para mantenimiento de subestaciones y líneas de transmisión.

1.3. Misión

“Proveer energía para el desarrollo del país contribuyendo a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.”¹

1.4. Visión

“En el año 2023 alcanzaremos el 34 % de la producción nacional de energía eléctrica y mantendremos el liderazgo de la Transmisión y Transformación del Sistema Nacional Interconectado para posicionarnos competitivamente en el Mercado Eléctrico Nacional y Regional.”

1. Instituto Nacional de Electrificación. *¿QUÉ ES EL INDE?* <http://www.inde.gob.gt/somos/>.

2. *Ibíd.*

Como ya se mencionó en la sección 1.2, la ETCEE posee 64 Subestaciones eléctricas, una de ellas es la Subestación Guatemala Sur. Los servicios auxiliares son objeto del presente estudio.

La Subestación Guatemala Sur es una de las más importantes del país. Posee actualmente una capacidad instalada de 595 MVA, y opera con voltajes de 230 kV, 138 kV y 69 kV

Los servicios que actualmente presta la Subestación Guatemala Sur son:

- Transformación de la energía generada en las subestaciones de generación pertenecientes a la ETCEE.
- Transporte de energía eléctrica y switcheo de las barras que conectan con las líneas provenientes desde diferentes puntos del sur del país con agentes generadores, hacia otros agentes transportistas del país.

La infraestructura de la Subestación Guatemala Sur con las que se ejecutan los servicios que presta son las siguientes:

- Cinco bancos de transformación de 230/69 kV y 138/69 kV (595 MVA).
- Sistema SCADA de Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
- Equipo primario (interruptores, seccionadores, CTs, PTs, entre otros).
- Dos transformadores de servicios auxiliares de 13,8 kV/220 V.
- Equipo de protección, control y medición.
- Equipo de comunicaciones.
- Unidades de medición fasorial (PMU).
- Red de distribución de 13,8 kV (interna).
- Equipos de pruebas.

1.5. Memoria descriptiva de las instalaciones

Dentro de las instalaciones de la Subestación Guatemala Sur, se encuentran las siguientes áreas de los servicios auxiliares:

- Protecciones
- Subestaciones
- Administrativo
- Comunicaciones
- Cafetería
- Laboratorio geotérmico
- Clínicas médicas
- Estación de gasolina
- Garita
- Líneas de transmisión
- Metrología
- Alumbrado exterior
- Bodegas regionales
- Superintendencia y control
- Taller eléctrico
- Casa de policías

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos básicos

A continuación, se describen algunos de los conceptos básicos utilizados para el presente estudio.

2.1.1. Magnitudes físicas básicas

Las magnitudes físicas que se definen a continuación serán analizadas en el capítulo 4, a partir de las mediciones realizadas.

2.1.1.1. Voltaje

Se le conoce como voltaje a la separación de carga en las que se establecen regiones de cargas positivas y negativas, respectivamente, realizado por una acción química que provoca fuertes concentraciones de iones positivos con una concentración de electrones de igual magnitud.

Si se conoce la posición de la carga en el campo eléctrico, existe energía potencial relativa en el sistema. Al dividir la energía potencial entre la carga, se obtiene un potencial eléctrico o voltaje.

$$V = \frac{U}{q}$$

Donde:

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

U = es la energía potencial del sistema, medida en Joules.

q = es la carga del sistema, medida en coulombs.

Mientras mayor o menor sea el nivel de voltaje requerido, así será la concentración de cargas positivas y negativas; a este nivel se le conoce como diferencia de tensión entre dos puntos, y es igual al trabajo que se realiza para trasladar las cargas de un punto A a un punto B .

Las cargas que se conectan a un circuito eléctrico experimentan el efecto de una fuerza electromotriz (FEM) que provoca un flujo de corriente. El voltio es la unidad de medida de la tensión o voltaje. Recibe este nombre en honor al químico Italiano Alessandro Volta, quien pudo demostrar que es posible, por medio de reacciones químicas, establecer un voltaje. Se identifica con la letra V tanto a la unidad de medida como su dimensional.

2.1.1.2. Corriente

La corriente es la reacción al voltaje aplicado. En la física, es la magnitud del flujo eléctrico en el tiempo, de un punto A a un punto B , a través de un conductor; se define como la tasa a la cual circula la carga en unidad de tiempo.

$$I = \frac{q}{t}$$

Donde:

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

q = es la carga del sistema, medida en coulombs.

t = es el tiempo, medido en segundos.

Es la corriente continua, también llamada directa, que mantiene constante su polaridad. La corriente alterna invierte su polaridad de manera cíclica con respecto a la frecuencia.

La unidad de medida de la corriente es el amperio, en honor a los esfuerzos de André Marie Ampere, quien realizó diversos estudios de la electricidad en movimiento. Se identifica con la letra I , proveniente de la palabra francesa *Intensité* y su dimensional se representa con la letra A .

2.1.1.3. Resistencia

Es la oposición al flujo de corriente de carga en el sistema, dependiente de los componentes del circuito. Se debe, principalmente, al choque y fricción entre electrones libres con otros electrones, iones y átomos durante el movimiento, que convierte la energía eléctrica en calor. Cada material ofrece diferente nivel de resistencia, debido a la estructura atómica que posee.

La resistencia eléctrica se debe a cuatro factores que son: el material, la longitud, el área de sección transversal y la temperatura.

La resistencia puede expresarse a lo largo de la longitud de un bloque uniforme de material de la siguiente forma:

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

Donde:

R = es la resistencia que opone el material, medida en ohms.

ρ = es la resistividad del material, medida en ohms*metro

l = es el largo del material, medido en metros.

A = es el área de la sección transversal del material, medida en m^2 .

La unidad de medida de la resistencia es el Ohm, en honor al físico y matemático alemán Georg Simon Ohm. Se identifica con la letra griega omega mayúscula (Ω).

2.1.2. Regulación de tensión

Regulación de tensión es mantener el nivel de voltaje constante bajo las condiciones que se presenten.

La regulación de tensión se define como:

$$\%regulación = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) * 100$$

Donde:

$\%regulación$ = es el porcentaje de regulación del sistema.

V_s = es el voltaje del sistema con carga conectada, medido en voltios.

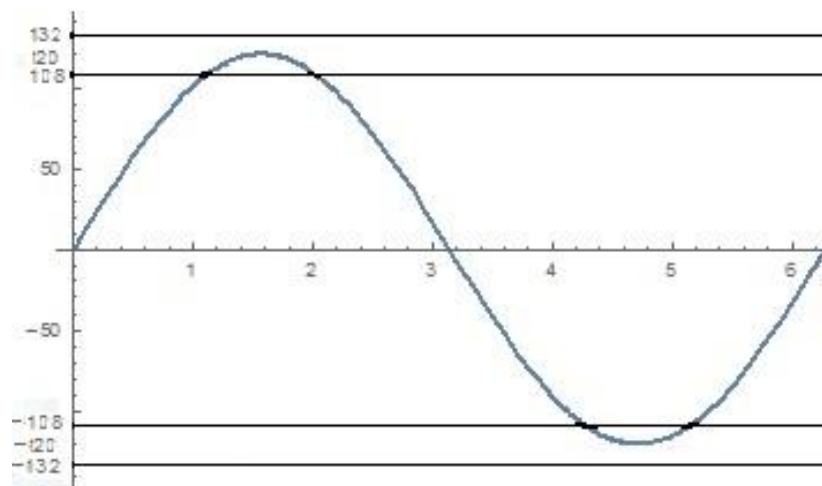
V_r = es el voltaje nominal del sistema, medido en voltios.

La Norma UNE-EN 50160-2001 recomienda que, en cada periodo de una semana, el 95 % del valor eficaz de la tensión de la red medida cada diez minutos, debe permanecer en un intervalo de ± 10 % del voltaje nominal del sistema. Como el voltaje nominal normalmente es de 120 V, con base en la

norma, el voltaje no deberá descender de 108 V ni exceder de 132 V de fase a neutro.

La figura 1 muestra, de manera gráfica, los límites permitidos de voltaje que indica la norma antes mencionada.

Figura 1. Límites de voltaje



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

2.1.3. Frecuencia

En una onda de corriente alterna, varían el voltaje y la corriente desde un valor cero hasta un máximo, para luego retornar de nuevo a cero en dirección positiva; de cero hasta un máximo negativo, para luego retornar a cero de nuevo; esto constituye un ciclo completo. Al número de ciclos que completa una onda por segundo, se le conoce como frecuencia. Es medida en Hertz (Hz) en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, por descubrir la propagación de las ondas electromagnéticas. Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{T}$$

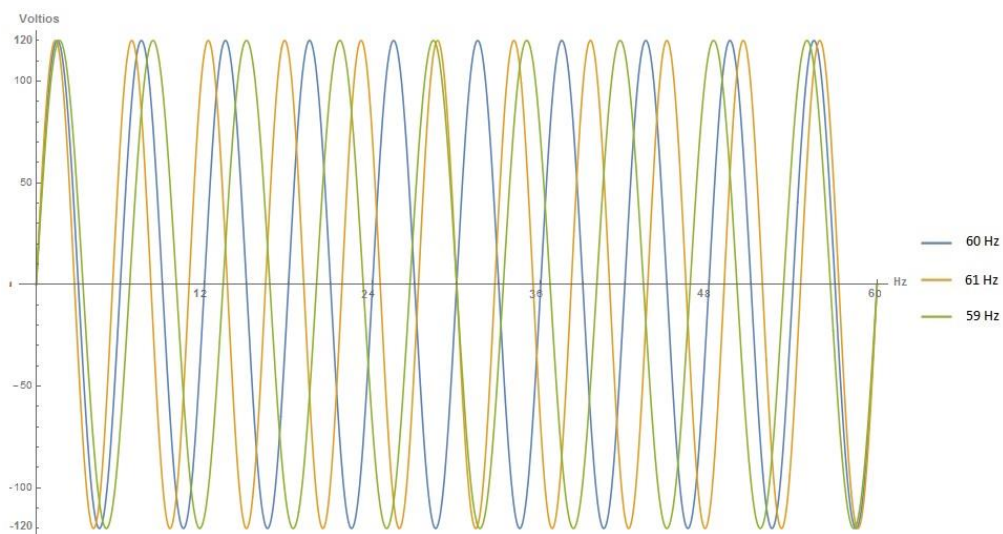
Donde:

f = es la frecuencia, medida en Hertz.

T = es el periodo, medido en segundos.

Cuanto mayor sean los ciclos realizados por segundo, mayor será la frecuencia y viceversa. En Guatemala, la potencia eléctrica que se genera tiene una frecuencia de 60 Hz, esto quiere decir que la onda completa 60 veces el periodo en un segundo. Se completa un ciclo en un periodo de aproximadamente 16,67 ms. Según la Norma UNE-EN50160-2001, la frecuencia no debe variar entre el ± 1 % de su valor nominal. La figura 2 muestra, en forma gráfica, los límites de frecuencia.

Figura 2. Límites de frecuencia



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

2.1.4. Ley de Ohm

Es una de las ecuaciones más importantes en el estudio de electricidad y electrónica. Puede ser utilizada para todo tipo de señales como circuitos de corriente directa, circuitos de corriente alterna, circuitos digitales, entre otros. Se deriva directamente de la siguiente ecuación.

$$Efecto = \frac{Causa}{Oposición}$$

Lo que conlleva plantear la ecuación conocida como la ley de Ohm:

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

Donde:

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

R = es la resistencia del sistema, medida en ohms.

Se conoce como ley de Ohm en honor al físico y matemático alemán Georg Simon Ohm, por sus investigaciones sobre las corrientes eléctricas.

2.1.5. Factores de desequilibrio de tensión y corriente

El desequilibrio en un sistema trifásico para la tensión se define como la máxima desviación de tensión de una de las fases de la tensión promedio, dividido entre la tensión promedio de las tres fases. Se expresa por medio de la ecuación:

$$KD_V = \frac{V_{max} - V_m}{V_m}$$

Donde:

KD_V = es el factor de desequilibrio del voltaje.

V_{max} = es el voltaje máximo de las tres fases, medido en voltios.

V_m = es el voltaje promedio de las tres fases, medido en voltios.

La Norma UNE-EN 50160-2001 recomienda que, en cada periodo de una semana, el 95 % del valor eficaz de la tensión de la red, medida cada diez minutos de la magnitud inversa de tensión de la red, debe ser entre el 0 % y 2 % de la magnitud directa. Para lugares que poseen líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, el desequilibrio alcanza hasta 3 % en punto de distribución trifásica.

El desequilibrio de corriente se da cuando en las fases de un sistema trifásico no presentan las mismas intensidades, lo que genera sobrecalentamiento a los receptores, en cables de alimentación y protecciones que, incluso, podrían llegarse a disparar. El desequilibrio de corriente se expresa por medio de la siguiente ecuación.

$$KD_I = \frac{I_{max} - I_m}{I_m}$$

Donde:

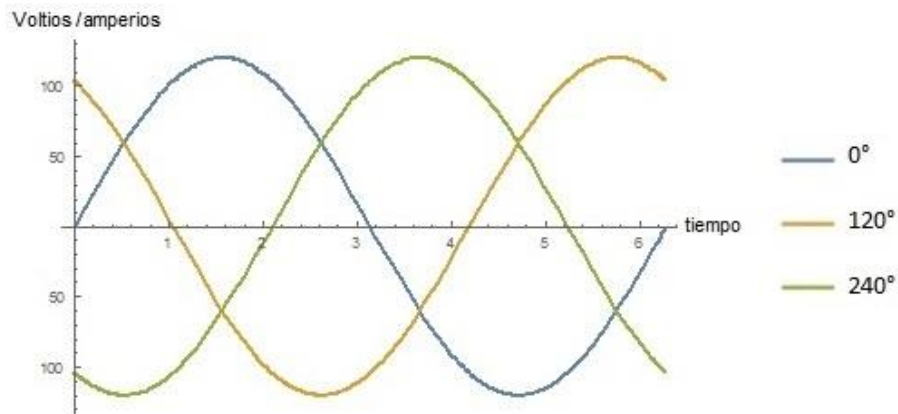
KD_I = es el factor de desequilibrio de corriente.

I_{max} = es la corriente máxima de las tres fases, medida en amperios.

I_m = es la corriente promedio de las tres fases, medida en amperios.

La Norma IEC 61000-2-2 recomienda que el desequilibrio de corriente en un suministro eléctrico no debe superar el 10 %.

Figura 3. **Sistema trifásico balanceado**



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

2.1.6. Factores de asimetría de tensión y corriente

Cuando el coeficiente de desequilibrio de tensión es cero, pero existen corrientes desbalanceadas, se debe a la diferencia en las cargas, debido a que cada uno de los componentes de secuencia de las corrientes producirá tensiones de secuencia positiva, lo que anula el coeficiente complejo de desbalance de tensión y también el de asimetría. En el caso más general, se presenta tanto el desbalance de tensión como el de corriente que transmite potencia; entonces, surgen pérdidas debido a la simetría del sistema.

De acuerdo con la Norma IEC/TR 61000-3-13, si se conocen las tensiones y corriente de secuencia, tanto positiva como negativa directamente de las

mediciones, por un analizador de redes, la potencia compleja desarrollada por sistemas trifásicos se calcula por:

$$S_T = 3 * (V_p I_p + V_n I_n + V_0 I_0)$$

Donde:

S_T = es la potencia aparente en términos de componentes simétricas, medida en VA.

V_p = es el voltaje de secuencia positiva, medido en voltios.

I_p = es la corriente de secuencia positiva, medida en amperios.

V_n = es el voltaje de secuencia negativa, medido en voltios.

I_n = es la corriente de secuencia negativa, medida en amperios.

V_0 = es el voltaje de secuencia cero, medido en voltios.

I_0 = es la corriente de secuencia cero, medida en amperios.

Al conocer los valores de voltajes y corrientes de las tres secuencias, es posible determinar los coeficientes complejos:

$$K_{vn} = \frac{V_n}{V_p} \quad \text{y} \quad K_{in} = \frac{I_n}{I_p}$$

Donde:

K_{vn} = es el coeficiente complejo de voltaje de secuencia negativa.

K_{in} = es el coeficiente complejo de corriente de secuencia negativa.

V_p = es el voltaje de secuencia positiva, medido en voltios.

I_p = es la corriente de secuencia positiva, medida en amperios.

V_n = es el voltaje de secuencia negativa, medido en voltios.

I_n = es la corriente de secuencia negativa, medida en amperios.

$$K_{v0} = \frac{V_0}{V_p} \quad \text{y} \quad K_{i0} = \frac{I_0}{I_p}$$

Donde:

K_{v0} = es el coeficiente complejos de voltaje de secuencia cero.

K_{i0} = es el coeficiente complejo de corriente de secuencia cero.

V_p = es el voltaje de secuencia positiva, medido en voltios.

I_p = es la corriente de secuencia positiva, medida en amperios.

V_0 = es el voltaje de secuencia cero, medido en voltios.

I_0 = es la corriente de secuencia cero, medida en amperios.

Se sustituyen los coeficientes en la ecuación de la potencia aparente:

$$S_T = 3 * V_p I_p (1 + K_{vn} K_{in} + K_{v0} K_{i0})$$

Donde:

S_T = es la potencia aparente en términos de componentes simétricas, medida en VA.

V_p = es el voltaje de secuencia positiva, medido en voltios.

I_p = es la corriente de secuencia positiva, medida en amperios.

K_{vn} = es el coeficiente complejos de voltaje de secuencia negativa.

K_{in} = es el coeficiente complejo de corriente de secuencia negativa.

K_{v0} = es el coeficiente complejos de voltaje de secuencia cero.

K_{i0} = es el coeficiente complejo de corriente de secuencia cero.

El factor de asimetría KA se da por:

$$KA = K_{vn} K_{in} + K_{v0} K_{i0}$$

Donde:

KA = es el factor de asimetría

K_{vn} = es el coeficiente complejos de voltaje de secuencia negativa.

K_{in} = es el coeficiente complejo de corriente de secuencia negativa.

K_{v0} = es el coeficiente complejos de voltaje de secuencia cero.

K_{i0} =es el coeficiente complejo de corriente de secuencia cero.

En un sistema balanceado, el coeficiente de asimetría KA es cero, esto genera que la potencia de asimetría también sea cero. Cuando se alimentan cargas tipo motor, la potencia de asimetría se traduce en pérdidas en el sistema, además de una demanda en exceso. Según la Norma IEC/TR 61000-3-13, la asimetría de voltaje deberá ser menor a 1 % y el de corriente menor a 6 %.

2.1.7. Potencia activa, reactiva y aparente

- Potencia activa: es la potencia real o efectiva que se utiliza durante la transformación de la energía eléctrica como trabajo o potencia útil. Se identifica con la letra P y su dimensional es el Watt (W).
Se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = I * V * \cos \alpha$$

Donde:

P = es la potencia activa del sistema, medida en watts.

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

$\cos \alpha$ = es el coseno del ángulo alpha, medido en radianes.

- Potencia reactiva: es la potencia en que la corriente está desfasada respecto al voltaje. Al multiplicar la corriente por el voltaje, no se obtiene el trabajo real que se realiza. Los capacitores y bobinas utilizan la potencia reactiva para producir campo eléctrico y magnético,

respectivamente. Se identifica con la letra Q ; su dimensional es el VAR.
Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = I * V * \sin \alpha$$

Donde:

Q = es la potencia reactiva del sistema, medida en VAR.

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

$\sin \alpha$ = es el seno del ángulo alpha, medido en radianes.

- Potencia aparente: Es la potencia total que consume la carga. La suma vectorial de la potencia activa y reactiva da como resultado el valor de la potencia aparente. Se identifica con la letra S ; su dimensional es el volt-ampere (VA).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = I * V$$

Donde:

S = es la potencia aparente del sistema, medida en volt-amperes.

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

O bien puede calcularse mediante una suma vectorial:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Donde:

S = es la potencia aparente del sistema, medida en voltio-amperes.

P = es la potencia activa del sistema, medida en watts.

Q = es la potencia reactiva del sistema, medida en VARS.

2.1.8. Factor de potencia

La potencia aparente genera una elevación de energía que necesita la carga que no proporciona energía útil, esto provoca un aumento en la potencia aparente. El factor de potencia se conoce como la relación que existe entre la potencia activa y potencia aparente. Desde el punto de vista del triángulo de potencia, mostrado en la figura 4, el factor de potencia se define como el coseno del ángulo de elevación α :

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

Donde:

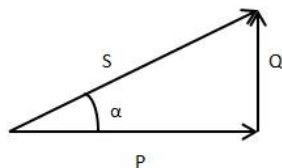
fp = es el factor de potencia (medida adimensional).

$\cos \alpha$ = es el coseno del ángulo alpha, medido en radianes.

P = es la potencia activa del sistema, medida en watts.

S = es la potencia aparente del sistema, medida en volt-amperes.

Figura 4. **Triángulo de potencia**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

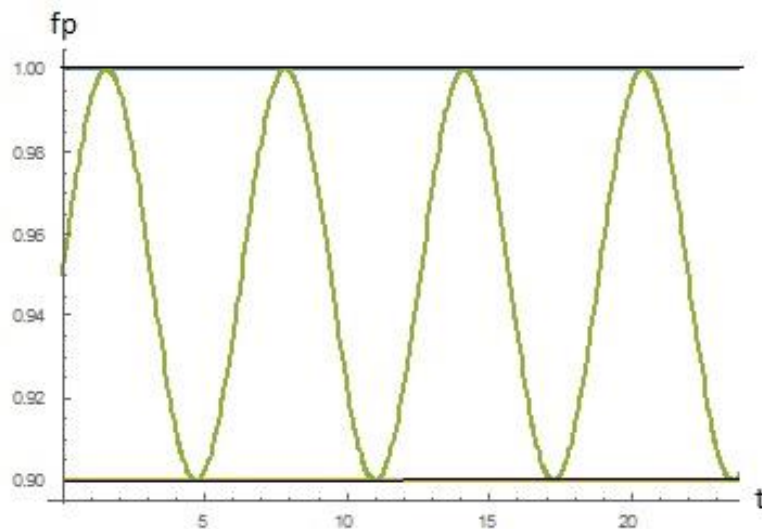
2.1.9. Valores mínimos del factor de potencia

El factor de potencia ideal es 1. En la práctica, no es posible contar con dicho valor, por lo que se debe cumplir con los requerimientos de calidad sobre factor de potencia mínimo que establecen las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD).

- Usuarios con potencia de hasta 11 KW: 0,85
- Usuarios con potencia superiores a 11 KW: 0,90

Según la Norma GREG 198/97, el factor de potencia debe ser mayor a 0,9. La figura 5 muestra, de forma gráfica, los límites del factor de potencia:

Figura 5. Límites de factor de potencia



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

2.1.10. Armónicos

Una de las causas más comunes de pérdidas y problemas en la red eléctrica, como en los usuarios finales, son los armónicos. Estos son deformaciones de la onda llamada también distorsión armónica.

2.1.10.1. Origen

Se originan principalmente a partir de cargas no lineales conectadas a la red. Estas tienen una forma de onda sinusoidal, parecidas a la de la frecuencia de la red. Como parten de la frecuencia fundamental de la red, producen una deformación en la onda de tensión y corriente, lo cual ocasiona pérdidas en la calidad de energía del sistema.

2.1.10.2. Causas

Como se describió en el apartado anterior, los armónicos son causados por las cargas no lineales. Estos se generan en todas las instalaciones eléctricas, ya sean industriales, comerciales o domiciliarias.

Las cargas no lineales son aquellas en las cuales la forma de onda de la corriente no es la misma que la forma de onda de la tensión que alimenta a la red. Este tipo de carga está presente en equipos, dispositivos eléctricos o electrónicos, donde el ahorro energético y el uso eficiente de la electricidad es el aspecto más importante. Dentro del grupo de cargas no lineales, se pueden mencionar los siguientes:

- Motores de corriente alterna
- Equipos de control de velocidad de motores.

- Lámparas fluorescentes
- Lámparas de descarga
- Computadoras
- Elementos de calefacción con control de temperatura
- Aire acondicionado
- Equipos industriales como tornos, fresadoras, soldadoras, entre otros.
- Hornos
- Transformadores
- Cámaras frías

2.1.10.3. Factor de distorsión armónica individual

Se define como el porcentaje de la distorsión de orden i respecto a la componente de la frecuencia fundamental o de orden 1. Para el caso de Guatemala, la frecuencia fundamental que opera en la red de distribución eléctrica es 60 Hz; y cada armónico individual será múltiplo de 60; para el tercer armónico, es 180 Hz; para el quinto armónico, es 300 Hz; para el séptimo armónico, 420 Hz; para el noveno armónico, es 540 Hz; entre otros.

Los armónicos pares no suelen estudiarse en los entornos industriales monofásicos y trifásicos, porque se anulan gracias a la simetría de la señal alterna, solo se tienen en cuenta en presencia de una componente continua. Las cargas monofásicas no líneas poseen espectros de armónicas de rango impar.

Para calcular la tensión y corriente armónica individual, se utilizan las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$V_i(\%) = 100 \frac{V_i}{V_1}$$

Donde:

$V_i(\%)$ = es la distorsión de voltaje de la armónica de orden i .

V_i = es la componente de voltaje de la armónica de orden i .

V_1 = es la componente de voltaje de la frecuencia fundamental (60 Hz).

$$I_i(\%) = 100 \frac{I_i}{I_1}$$

Donde:

$I_i(\%)$ = es la distorsión de corriente de la armónica de orden i .

I_i = es la componente de corriente de la armónica de orden i .

I_1 = es la componente de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

Los límites permitidos de distorsión armónica individual para voltaje como para corriente, según la Normal IEEE 519 prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica, están indicados en las tablas II y III.

2.1.10.4. Factor de distorsión armónica total (THD)

La distorsión armónica total es la cantidad de armónicos que los equipos de carga no lineal aportan a la red, y que no estaban originalmente previos a la conexión de las cargas.

La cantidad ideal de la distorsión armónica es cero, pero debido a que en la práctica no es posible, existe un límite permitido para que se generen efectos negativos en el sistema.

El factor de distorsión armónica total (THD), determina cuánta distorsión provocada por armónicos existe dentro del sistema. El THD para el voltaje como para la corriente se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$THD_v(\%) = \frac{\sqrt{\sum V_i^2}}{V_1} * 100$$

Donde:

$THD_v(\%)$ = es el factor de distorsión de armónica total de voltaje.

V_i = es la componente de voltaje de la armónica de orden i .

V_1 = es la componente de voltaje de la frecuencia fundamental (60 Hz).

$$THD_I(\%) = \frac{\sqrt{\sum I_i^2}}{I_1} * 100$$

Donde:

$THD_I(\%)$ = es el factor de distorsión de armónica total de corriente.

I_i = es la componente de corriente de la armónica de orden i .

I_1 = es la componente de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

La Norma IEEE 519, prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica, recomienda los límites de distorsión armónica total e individual para voltaje y corriente. Las tablas II y III muestran los límites recomendados.

Tabla II. **Límites de distorsión de voltaje**

Voltaje de barra	Distorsión de armónico Individual (%)	Distorsión total de armónicos THD (%)
69 kV y por debajo	3,0	8,0
69 kV a 161 kV	1,5	2,5
161 kV y por encima	1,0	1,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Tabla III. **Límites de distorsión de corriente**

I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	THD
<20	4,0	2,0	1,5	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	12,0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

2.1.11. **Flicker**

El *flicker* se produce por variaciones cíclicas rápidas de tensión, también llamadas fluctuaciones de tensión. Se origina, principalmente, debido a cargas en las que circulan corrientes variables, con lo cual se producen modulaciones de tensión en las barras de carga y barras auxiliares.

Pueden ser visibles en los sistemas de iluminación, al observar cambios de luz o reducción de la intensidad lumínica detectable en el ojo humano; pueden causar en las personas fatiga, disminución de la concentración o dolores de cabeza. En los aparatos puede reducir su vida útil u ocasionar un mal funcionamiento.

Según la severidad del *flicker*, puede expresarse en función de dos parámetros: Pst (índice de severidad de *flicker* a corto plazo) y Plt (índice de severidad de *flicker* a largo plazo); ambos son adimensionales.

El valor del Pst se calcula con un algoritmo multipunto, que usa 5 puntos denominados $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} . Los valores de los subíndices son el porcentaje del nivel superado durante el periodo de observación, leídos de la curva de probabilidad acumulativa sobre un periodo de 10 minutos, que da como resultado la siguiente ecuación:

$$Pst = [K_{0,1}P_{0,1} + K_1 P_1 + K_3 P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}]^{1/2}$$

Donde:

Pst = es el índice de severidad del *flicker* a corto plazo.

P_n = es el nivel de las curvas de probabilidad acumuladas, que tienen una probabilidad n% de ser superadas.

K_n = es el coeficiente de ponderación dados en la Norma CEI-868.

La severidad de corta duración de un *flicker*, definida en la Norma Europea CEI-868, da los valores que corresponden a cada K_n . La ecuación se expresa como:

$$Pst = [0,0314P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}]^{1/2}$$

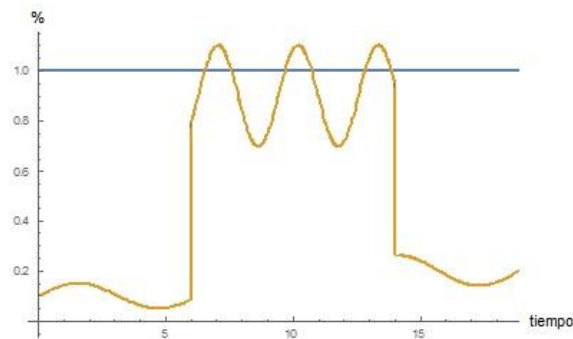
Donde:

Pst = es el índice de severidad del *flicker* a corto plazo.

P_n = es el nivel de las curvas de probabilidad acumuladas, que tienen una probabilidad n% de ser superadas.

La figura 6 muestra, de manera gráfica, el límite de Pst:

Figura 6. **Límite de flicker Pst**



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

El valor del Plt se deduce a partir de los valores de los Pst, por medio de la siguiente ecuación:

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N Pst_i^3}{N}}$$

Donde:

Plt = es el índice de severidad del flicker a largo plazo.

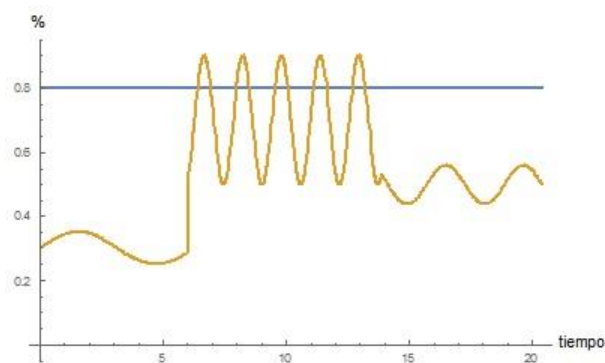
Pst_i = es el índice de severidad del flicker a corto plazo, para los valores consecutivos obtenidos de Pst .

N = es el número de períodos para calcular el Pst , durante el tiempo de la observación para calcular el Plt .

Con base en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), el índice de tolerancia máxima para el flicker es: $Pst \leq 1$. Y debe mantener, al menos, el 95 % del tiempo de medición, valores en el rango permitido. Para el

Plt, no proporciona información. Según la Norma Europea CEI-868, los límites aceptables en baja tensión para el Pst deber ser menor que el 1 % y para el Plt menor que el 0,8 %. La figura 7 muestra, de forma gráfica, el límite de Plt.

Figura 7. **Límite de flicker Plt**



Fuente: elaboración propia, empleando Wolfram Mathematica 10.

2.1.12. **Sobretensiones**

Sobretensiones es la subida de voltaje que excede el valor máximo entre dos puntos de un sistema eléctrico. Se dan principalmente por descargas atmosféricas, debido al impacto de un rayo que provoca un impulso de corriente que alcanza decenas de miles de amperios; también pueden darse por sobretensiones conmutadas, generadas en líneas eléctricas por conectar-desconectar dispositivos de alto consumo y por malas prácticas en la red de distribución.

Un transitorio electromagnético puede estar acompañado de una sobretensión, que se le denomina sobretensión transitoria. Esto es una alteración del potencial de un sistema o parte de él, con tendencia a sobrepasar

ampliamente su valor normal, que supera el valor de cresta de la tensión más elevada.

La Norma IEC-71 establece que puede presentarse por medio de valores por unidad, para sobretensión entre una fase y tierra o ya sea entre fases:

$$\text{Sobretensión fase tierra} = \frac{\text{Cresta de sobretensión de fase a tierra}}{\text{Tensión fase a tierra de tensión máxima}} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Sobretensión entre fases} = \frac{\text{Cresta de sobretensión de fase a fase}}{\text{Tensión de fase a fase de la tensión máxima}} * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Según la Norma UNE-EN 50160-2001, una sobretensión entre fase y tierra aparece generalmente durante un defecto en la red general de distribución o en una instalación de un cliente, pero que se elimina cuando el defecto desaparece. En ciertas condiciones, un defecto puede producir sobretensiones que no sobrepasan el valor eficaz de 1,5 kV.

2.1.13. Huecos de tensión

Los huecos de tensión se producen cuando el valor del voltaje de alimentación eficaz disminuye momentáneamente por debajo del límite permitido de variación normal del voltaje.

Surgen, generalmente, por problemas inesperados que ocurren en las instalaciones de usuarios o el sistema de distribución. La frecuencia con la que se presenten anualmente depende del tipo de red eléctrica y del punto analizado, esto ocasiona que sea irregular.

La Norma UNE-EN 50160-2001 recomienda que, en condiciones normales, la cantidad de huecos de tensión esperados pueden ir desde decenas a un millar durante un año. La mayoría de los huecos de tensión duran menos de un segundo con una magnitud por debajo del 60 %. A veces, pueden producirse huecos de tensión con una profundidad de duración superior. En ciertos lugares, frecuentemente se producen huecos de tensión entre el 10 % y el 15 % del voltaje que suministra la red, que se provocan por conmutaciones de carga en las instalaciones eléctricas de los clientes.

2.1.14. Interrupciones

Se considera interrupción toda falta del suministro de energía eléctrica a los usuarios, que ocurre cuando la tensión o la corriente disminuye al menos 0,1 p. u. por un periodo de tiempo indefinido.

Con base en la Norma UNE-EN 50160-2001, en condiciones normales, la cantidad anual de interrupciones breves van desde decenas a muchas centenas. El 70 % de interrupciones breves tienen una duración de menos de 1 segundo.

Las interrupciones generadas accidentalmente se dan por causas que no puede prevenir el agente distribuidor. No es posible determinar con exactitud la frecuencia anual y el tiempo que permanecen las interrupciones largas, debido a las diferencias de la arquitectura de la red eléctrica en cada país, como a los efectos del clima o de problemas externos.

2.1.15. Factor K del transformador

A la capacidad que tiene un transformador para brindar energía a cargas no lineales y mantener las corrientes armónicas, sin que se sobrepase la temperatura de funcionamiento de las cargas, se le conoce como factor K del transformador. Se determina según la siguiente ecuación:

$$K = \sqrt{1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I}\right)^2 * \sum_{i=1}^{\infty} \left(i^q \left(\frac{I_i}{I_1}\right)^2\right)}$$

Donde:

K = es el factor K del transformador.

I_i = es la componente de corriente de la armónica de orden i .

i = es el orden de la componente armónica.

q = es la constante que depende de los arrollamientos y de la frecuencia.

I = es el valor eficaz de la corriente.

I_1 = es la componente de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

e = es el valor de las pérdidas por corriente de Foucault, que provoca la corriente de la frecuencia fundamental entre las pérdidas de una corriente continua idéntica al valor eficaz de la corriente senoidal.

El valor de e lo proporciona el fabricante del transformador que suele ser 0,3. El valor de q es 1,7 para transformadores con conductores redondos o rectangulares en los arrollamientos de baja como de alta tensión y 1,5 para transformadores con conductores de lámina en baja tensión.

La figura 8 muestra el factor k que deberán tener los transformadores, según el tipo de carga que alimentan para su correcto funcionamiento.

Figura 8. Factor K según el tipo de carga

Tipo de carga	Factor K
Lámparas incandescentes (sin dimmers de estado sólido), calefactores eléctricos resistivos (sin controles de calor de estado sólido), motores (sin controladores de estado sólido), transformadores de control, dispositivos electromagnéticos de control, motor generador (sin controladores de estado sólido).	K-1
Lámparas de descarga, UPS con filtros de entrada opcional, equipos de calefacción inductivos, PLC y controladores de estado sólido	K-4
Equipos de telecomunicaciones, UPS sin filtros de entrada.	K-13
Servidores de computadores, controladores de estado sólido (variadores de frecuencia), conectores multiconductor para instalaciones de salud, escuelas, etc., conectores multiconductor para alimentadores en equipos de inspección o prueba o para líneas de producción.	K-20
Conectores multiconductor para circuitos industriales, médicos y laboratorios educacionales, conectores multiconductor para circuitos comerciales en oficinas, pequeños servidores.	K-30
Otras cargas identificadas como productores de grandes cantidades de armónicos.	K-40

Fuente: ASTORGA GÓMEZ, Juan Miguel. *Estimación del factor k en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal*. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/10546/11907>. Consulta: 20 de octubre de 2020.

Según la Norma ANSI C57.110, el factor K de un transformador debe cumplir con los valores de THD de tensión, como lo muestra la tabla IV.

Tabla IV. Valores de factor K

THD	Factor K
< 5 %	K – 1
< 35 %	K – 4
< 50 %	K – 7
< 75 %	K – 13
< 100 %	K – 20

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

2.1.16. Factor de desclasificación 1/K del transformador

Cuando un transformador en funcionamiento es cargado con cargas que generan corrientes armónicas, se debe usar un factor 1/k de reducción aplicado

a la potencia nominal. Se calcula obteniendo el inverso de la ecuación del factor K:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I}\right)^2 * \sum_{i=1}^{\infty} \left(i^q \left(\frac{I_i}{I_1}\right)^2\right)}}$$

Donde:

$1/K$ = es el factor de desclasificación del transformador.

I_i = es la componente de corriente de la armónica de orden i .

i = es el orden de la componente armónica.

q = es la constante que depende de los arrollamientos y de la frecuencia.

I = es el valor eficaz de la corriente.

I_1 = es la componente de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

e = es el valor de las pérdidas por corriente de Foucault, que provoca la corriente de la frecuencia fundamental entre las pérdidas de una corriente continua idéntica al valor eficaz de la corriente senoidal.

En transformadores convencionales, el factor de desclasificación puede llegar a valores de 30 % a 40 %, si están sobrealimentados, lo que también reduce su impedancia y facilita la circulación de armónicos.

2.1.17. Magnitudes de iluminación

Es importante diferenciar las medidas de magnitudes de iluminación. En los apartados siguientes, se describen las que son de mayor importancia.

2.1.17.1. Luxes

Es la unidad de medida de iluminancia que llega a una superficie. Se define como la cantidad de lúmenes por metro cuadrado y se determina matemáticamente por la ecuación:

$$E = \frac{\phi}{A}$$

Donde:

E = es la iluminación, medida en lúmenes sobre metro cuadrado $\left(\frac{Lm}{m^2}\right)$ o bien en luxes (lx).

ϕ = es el flujo incidente, medido en lúmenes (*lumen*).

A = es el área, medida en metros cuadrados (m^2).

2.1.17.2. Lúmenes

Es la unidad del flujo luminoso que emite una lámpara. El lux es la cantidad de luz que cada objeto percibe, según la posición y distancia respecto a la luminaria. Los lúmenes son la luz que irradia cualquier lámpara. Esta es la diferencia entre ambas unidades de medida.

No se tienen cantidades iguales de luxes en un escritorio ubicado inmediatamente debajo de una luminaria, que los que percibe otro posicionado diagonalmente a la misma luminaria. Los lúmenes emitidos serán siempre los mismos.

Los niveles de iluminación se especificarán a detalle en el capítulo 5, según el Acuerdo Gubernativo 229-2014, Reglamento de Salud y Seguridad

Ocupacional del Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala y las Normas de la Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norteamérica (IES).

2.2. Normas técnicas utilizadas para el estudio de calidad de energía

Existe diversidad de normas para todo proceso industrial, con el fin de dirigir la correcta realización de una acción o actividad. Estas normas pueden ser propias de cada país o internacionales.

Se detallan las siguientes normas y se describen los objetivos o alcances que buscan realizar en forma general. En ellas, están contenidos aspectos importantes para la calidad de energía, los cuales serán citados en los capítulos posteriores.

2.2.1. NTSD

Las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD) son normas guatemaltecas que, de conformidad con lo que establece el artículo 78, inciso b, del Acuerdo Gubernativo 256-97, Reglamento de la Ley General de Electricidad, fueron elaboradas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

La NTSD tiene como objetivo primordial describir las obligaciones y derechos que tienen los usuarios, las referencias para evaluación de la calidad del servicio desde el punto de entrega hasta la red del usuario final. Asimismo, debe verificar las tolerancias límites, indemnizaciones, controles y multas respecto a los parámetros siguientes.

- Calidad del producto suministrado por el distribuidor:

- Regulación de Tensión.
 - Desequilibrio de Tensión en Servicios Trifásicos.
 - Distorsión Armónica
 - *Flicker*
- Incidencia del usuario en calidad del producto:
 - Distorsión armónica
 - *Flicker*
 - Factor de potencia
- Calidad del servicio técnico:
 - Interrupciones.
- Calidad del servicio comercial:
 - Calidad del servicio comercial del distribuidor
 - Calidad de la atención al usuario.

2.2.2. ISO 50001

Redactada por la Organización Internacional de Normalización (ISO). La Norma ISO 50001 fue publicada en junio del 2011 y se adecua para cualquier organización sin importar el tamaño, sector o ubicación geográfica.

El objetivo de la norma es especificar los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión de energía, con el fin de que una organización o empresa mantenga sistemáticamente un enfoque que pueda mejorar el rendimiento de los recursos de energía como la eficiencia energética, consumo, entre otros.

2.2.3. NEC

El Código Eléctrico Nacional (NEC) es un estándar elaborado por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA); es una entidad estadounidense. Fue publicado originalmente en 1987. Es revisado y publicado, con las debidas actualizaciones, cada 3 años.

El objetivo principal del código es proponer una guía de indicaciones, para que los procedimientos que se necesitan al realizar una instalación eléctrica sean hechos cuidando la salud del personal y el buen uso de los materiales o equipos respectivos.

2.2.4. IEC60364

Es una norma internacional publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), entidad que fue fundada en el Reino Unido en el año de 1906. Su última actualización fue en el año 2019.

La norma proporciona requisitos, medidas y recomendaciones adicionales para el diseño, montaje, verificación de todo tipo de instalación eléctrica de bajo voltaje, incluida la producción local, el almacenamiento de energía para optimizar el uso eficiente general de la electricidad.

Proporciona requisitos y recomendaciones para el diseño de una instalación eléctrica con un enfoque de gestión de eficiencia energética, con el fin de obtener un mejor servicio funcional permanente para el menor consumo de energía eléctrica. Con ello, se logra contar con el recurso energético más aceptable, con un mejor equilibrio económico.

2.2.5. Política Energética 2013-2027

La política energética 2013-2027 es un documento guatemalteco realizado por El Ministerio de Energía y Minas (MEM), en conjunto con algunas organizaciones gubernamentales.

El objetivo de esta política es el desarrollo energético sostenible del país, pero con equidad y respeto al medioambiente. Fue elaborado a partir de revisiones técnicas, metodológicas y políticas necesarias para que se fortalezca la institucionalidad junto a la rectoría del MEM y el conjunto de entidades públicas relacionadas con el sector.

La estrategia principal de la política busca realizar una planificación a largo plazo, que genere producción efectiva, comercialización y el uso correcto de los recursos, para que la calidad de vida de los habitantes de Guatemala mejore. Propone tener como principal alternativa el uso de energías renovables limpias, que ayudan al medioambiente, pero también reduce costos económicos en la producción de energía.

- La política se divide en dos partes: Marco general y marco de estrategias. La primera parte brinda información sobre el estado actual del sector energético junto a los subsectores que lo conforman. Mientras que la segunda parte comprende los ejes estratégicos, metas, acciones e instituciones públicas relacionadas con el sector energético. Aquí se plasman las intervenciones necesarias para lograr los objetivos.

2.2.6. Plan Nacional de Energía 2017-2032

El Plan Nacional de Energía 2017-2032 es un documento elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), que tiene por objetivo apoyar los esfuerzos del país para la reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), lo que se puede lograr mediante la promoción del uso de tecnologías eficientes, ahorro de energía, la utilización de energías limpias, entre otras. Este plan está aunado a lo que se propone en los ejes de la Política Energética 2013-2027, Plan Nacional de Desarrollo K'atún 2032 y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El plan está compuesto por 3 ejes:

- El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- Eficiencia y ahorro energético.
- Reducir, en la medida de lo posible, las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionado por recursos energéticos.

Los ejes descritos se desarrollarán por medio de acciones enfocadas a la promoción de proyectos de generación de energía renovable, actualización de mapas correspondientes a las fuentes de energía eólica, solar, geotérmica y la generación de informes para el desarrollo del subsector eléctrico.

3. DATOS HISTÓRICOS Y HÁBITOS DE CONSUMO

3.1. Historial del consumo eléctrico

El suministro de energía eléctrica de las áreas de la subestación es abastecido por medio de dos bancos de transformadores de 13800/220 V, con capacidad de 200 kVA cada uno. Estos son alimentados a partir del devanado terciario de los bancos de transformadores de 13,8/69 kV, que se encuentran dentro de la subestación, identificados como bancos de transformación 1 y 2, respectivamente.

En las instalaciones eléctricas de la subestación, no se tiene establecida ninguna acometida de empresas eléctricas privadas de distribución, debido a que el suministro es propio del sistema. El monto mensual de consumo de energía eléctrica se liquida en el Mercado de Oportunidad de la Energía en las transacciones económicas del Administrador del Mercado Mayorista (AMM), en las horas respectivas. Cada seis meses, el agente transportista debe enviar al AMM, las lecturas del consumo, para someterse a revisiones y ajustes que corresponden, conforme a lo estipulado en la Norma de Coordinación Comercial No. 14.

En la tabla V se detalla el consumo anual en la subestación, correspondiente a los años entre el 2010 al 2019, obtenidos del documento *Estudio de eficiencia energética Servicios Auxiliares Subestación Guatemala Sur*, en el que se indica que el control del consumo se da por medio de dos medidores multifuncionales, marca Schneider Electric, modelo ION-8400.

Tabla V. **Consumo anual de la Subestación Guatemala Sur**

Año	Consumo anual en kWh
2010	771998,49
2011	793459,74
2012	827803,90
2013	890099,83
2014	899471,61
2015	959849,58
2016	1029716,20
2017	1044174,43
2018	1073246,37
2019	1119688,80

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

3.2. Historial del consumo de combustibles

La Subestación Guatemala Sur cuenta con vehículos propios tales como camiones, pick ups y vehículos tipo panel, para el desplazamiento del personal, debido a la necesidad para llevar a cabo los trabajos interdepartamentales a su cargo, el traslado de material, equipos, entre otros. Cuenta también con montacargas, pero, al no poseer odómetro, no es posible conocer cuánto se han desplazado, al igual que la planta generadora, la chapeadora y otros equipos que utilizan combustible dentro de la subestación por ser estacionarios.

En la actualidad, el uso de gasolina ha sido casi exclusivo para los equipos y vehículos estacionarios.

Las tablas VI y VII muestran, de forma resumida, el consumo de combustibles desde el año 2010 al 2019. Por disposiciones internas de la institución, los datos que se muestran son aproximados.

Tabla VI. **Consumo de combustible diésel 2010-2019**

Año	Galones con recorrido	Kilómetros recorridos	Galones/kilómetros	Galones sin recorrido	Galones totales
2010	16004,493	558020	0,029	3506,368	19510,861
2011	18077,832	616950	0,029	3627,355	21705,187
2012	19928,897	699716	0,028	2777,777	22706,674
2013	17382,933	591300	0,029	3076,730	20459,663
2014	20421,510	640337	0,032	2753,710	23175,220
2015	18500,552	775614	0,024	462,495	18963,047
2016	230430,973	707799	0,326	955,566	231386,539
2017	18577,053	633889	0,029	1022,192	19599,245
2018	17606,802	610797	0,029	1243,931	18850,733
2019	17260,412	575805	0,030	1408,708	18669,120

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Tabla VII. **Consumo de combustible gasolina regular 2010-2019**

Año	Galones con recorrido	Kilómetros recorridos	Galones/kilómetros	Galones sin recorrido	Galones totales
2010	3563,381	119661	0,030	344,970	3908,351
2011	1954,944	55349	0,035	267,110	2222,054
2012	1059,094	26161	0,040	232,030	1291,124
2013	911,653	22154	0,041	130,019	1041,672
2014	1015,646	26540	0,038	293,150	1308,796
2015	0,000	0	0,000	40,000	40,000
2016	38639,000	1041	37,117	82,109	38721,109
2017	0,000	0	0,000	110,048	110,048
2018	0,000	0	0,000	104,203	104,203
2019	0,000	0	0,000	94,460	94,460

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

3.3. Encuesta de hábitos de consumo a trabajadores

Con el propósito de conocer a detalle los hábitos de algunos trabajadores de la subestación, se realizó una encuesta a 30 personas distribuidas en las diferentes áreas de trabajo. En la figura 9, se muestra el modelo de la encuesta realizada y, en el apéndice 1, la muestra de 4 encuestas respondidas.

Figura 9. Encuesta sobre hábitos de consumo



Encuesta sobre hábitos de consumo
Subestación Guatemala Sur del INDE

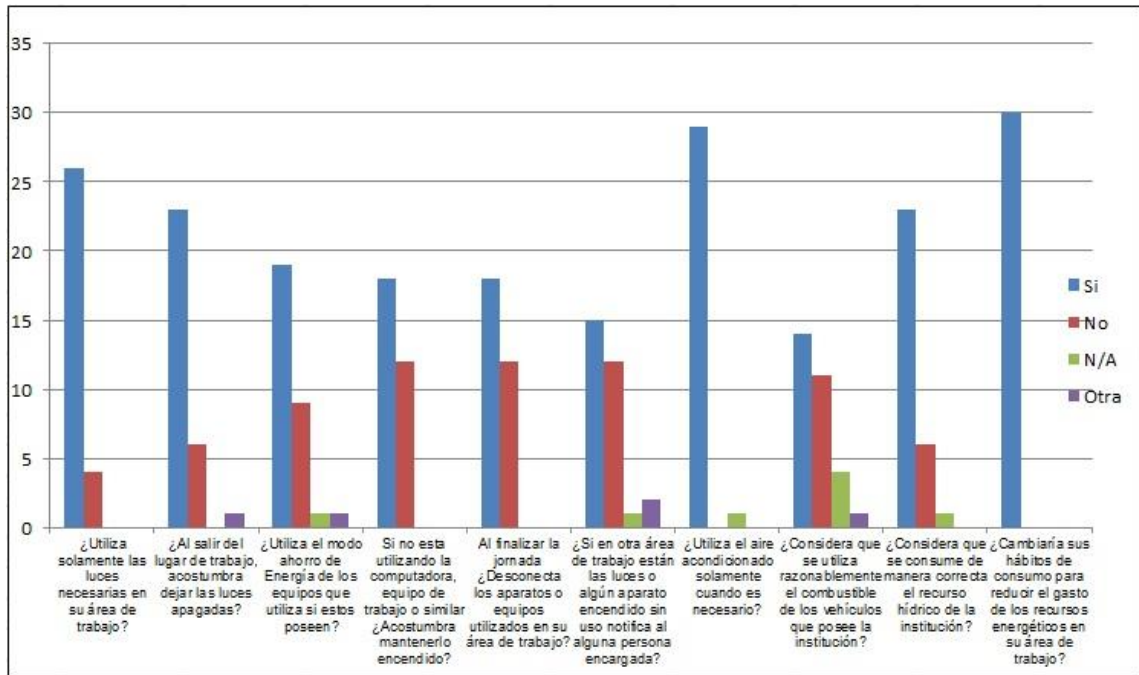


No.	Pregunta	Sí	No	N/A	Otra respuesta
1	¿Utiliza solamente las luces necesarias en su área de trabajo?				
2	¿Al salir del lugar de trabajo, acostumbra dejar las luces encendidas?				
3	¿Utiliza el modo ahorro de energía de los equipos que utiliza, si estos poseen?				
4	Si no está utilizando la computadora, equipo de trabajo o similar, ¿acostumbra mantenerlo encendido?				
5	Al finalizar la jornada, ¿desconecta los aparatos o equipos utilizados en su área de trabajo?				
6	Si en otra área de trabajo están las luces o algún aparato encendido sin uso, ¿notifica a la persona a cargo?				
7	¿Utiliza el aire acondicionado solamente cuando es necesario?				
8	¿Considera que se utiliza razonablemente el combustible de los vehículos que posee la institución?				
9	¿Considera que se consume de manera correcta el recurso hídrico de la institución?				
10	¿Cambiaría sus hábitos de consumo para reducir el gasto de los recursos energéticos en su área de trabajo?				

Nota: N/A significa no aplica.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Figura 10. **Resultados de la encuesta sobre hábitos de consumo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

3.4. Análisis de resultados de encuesta

Los resultados mostrados en la figura 10 muestran que los empleados de la Subestación Guatemala Sur poseen buenos o aceptables hábitos de consumo.

En las preguntas 1,2, 3, 7, 9 se tiene más del 55 % de diferencia a favor de las respuestas positivas contra las negativas. La más baja es la pregunta 3, mientras que la pregunta 10 posee el 100 % de respuesta positiva.

En las preguntas 4, 5, 6 y 8, se tiene menos del 55 % de diferencia a favor de las respuestas positivas contra las negativas, En este, la pregunta 6 es la

que menor porcentaje de positivismo cuenta. Las preguntas 4 y 5 son las que poseen mayormente respuestas positivas.

Algunas respuestas fueron distintas para las preguntas 2, 3, 6 y 8, que algunas personas indicaron al momento de someterse a la encuesta. Estas se han enlistado:

- Pregunta 2: Que se dejan apagadas las luces únicamente al término de la jornada.
- Pregunta 3: Que solamente aplica para el teléfono celular el modo ahorro de energía.
- Pregunta 6: Dos personas coincidieron con la misma respuesta, que solamente si hay alguien en el momento, se es notificado, de lo contrario, todo transcurre como se encuentra el lugar.
- Pregunta 8: Que se ignora si se utiliza de manera correcta el combustible debido a no contar con vehículo de la institución.

Se concluye que el personal de la subestación sí tiene buenos hábitos de consumo, pero se debe mejorar en algunos aspectos, los cuales ayudarían a reducir el consumo general de los recursos energéticos disponibles.

3.5. Propuestas de mejora sobre hábitos de consumo

Al analizar los datos recabados en el apartado anterior, se proponen las siguientes recomendaciones sobre la mejora de hábitos de consumo:

- Siempre verificar al salir de cualquier sitio de trabajo, oficina, etc. que las luces, aire acondicionado, aparatos o equipos se encuentren apagados o desconectados.
- Utilizar el recurso de combustibles para el desplazamiento de manera responsable, únicamente con fines laborales; de esta manera no solo se ahorran recursos, sino se reduce la contaminación del medio ambiente.
- Hacer uso responsable del recurso hídrico, para evitar desperdicios o el exceso de utilización si no es necesario.
- Realizar capacitaciones o programas sobre eficiencia energética y campañas informativas acerca de cómo utilizar, de manera más eficiente, los diferentes recursos con que se cuenta dentro de la institución.

Es preciso mencionar que todas las personas que fueron encuestadas coincidieron con estar dispuestas a cambiar sus hábitos de consumo. Esto ayudaría a reducir los costos que actualmente se tienen asignados para cada recurso.

4. ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1. Equipos de medición

Durante la realización del estudio de calidad de energía y eficiencia energética, se utilizaron equipos de medición acordes a los parámetros necesarios para su análisis.

4.1.1. Analizador de redes eléctricas

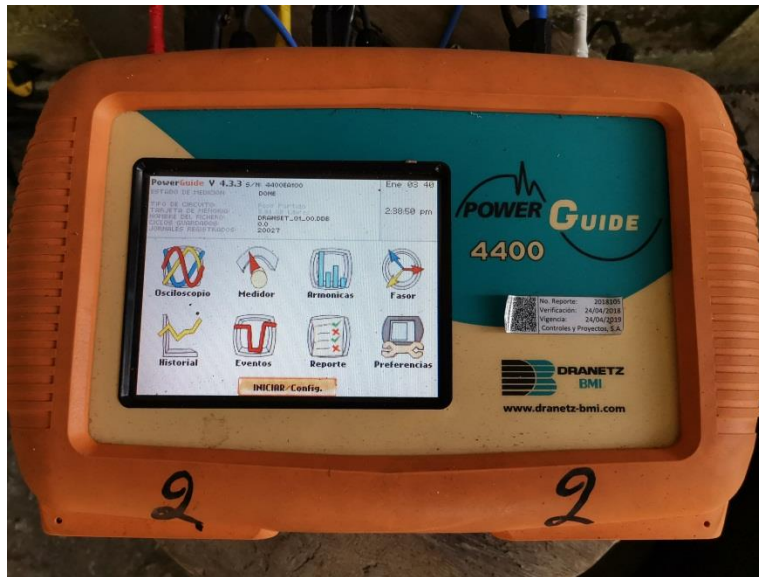
El analizador de redes eléctricas es un equipo básico para el uso de auditores eléctricos, que desean realizar un estudio energético completo de una instalación eléctrica. Existen portátiles y estacionarios o fijos.

Este instrumento realiza mediciones desde magnitudes básicas como voltaje y corriente, hasta magnitudes avanzadas como armónicos tanto individuales como totales, *flicker*, desequilibrios, entre otros.

Algunos modelos tienen las funciones de ser visualizadas gráficas fasoriales y vectoriales de algunos parámetros medidos. Almacena datos históricos con intervalos de tiempo, según sea configurado.

En el presente estudio, se utilizó el analizador de redes eléctricas de la marca DRANETZ, modelo Power Guide 4400.

Figura 11. **Analizador de redes eléctricas marca Dranetz**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

4.1.2. **Cámara termográfica**

Una cámara termográfica es una herramienta que mide la temperatura y evita el contacto de los objetos. Esta detecta, por medio de receptores infrarrojos, la energía emitida, reflejada o transmitida por todos los materiales. La energía que es detectada es transformada a valores de temperatura, y se genera un termograma para el análisis del comportamiento del calor en el objeto capturado.

Durante las mediciones de temperatura, se utilizó una cámara termográfica marca FLIR, modelo i60, versión 2010.

Figura 12. **Cámara termográfica marca FLIR**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

4.1.3. Multímetro

El multímetro es una herramienta portátil, utilizada para la medición de parámetros eléctricos básicos como lo son voltaje, corriente y resistencia. Las mediciones pueden ser de corriente directa y corriente alterna. Funciona por medio de dos puntas que son colocadas en las terminales del elemento a medir.

Algunos multímetros más sofisticados son capaces de medir temperatura, capacitancia, realizar pruebas de transistores, entre otras. Existen también multímetros que utilizan pinzas (llamadas gancho), que se entrelazan en el conductor para medir el campo eléctrico que circula y es convertido a valores de corriente, lo que evita desenergizar el equipo a medir y el contacto directo, lo que permite la seguridad del usuario.

En el presente estudio fue utilizada una pinza amperimétrica, también llamada multímetro de gancho, marca Fluke, modelo 323.

Figura 13. **Pinza amperimétrica modelo 323**



Fuente: Fluke. *Pinzas amperimétricas*. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-323>. Consulta: 6 de mayo de 2020.

4.1.4. Luxómetro

El luxómetro es un dispositivo portátil que se utiliza para medir la iluminancia en cualquier entorno o ambiente ya sea abierto o cerrado. Por medio de una fotocelda integrada, se captura la luz; esta es transformada a impulsos eléctricos que se proyectan en la pantalla, medidos en luxes o candelas, según la configuración del instrumento.

En el presente estudio se empleó un luxómetro marca AEMC INSTRUMENTS, modelo CA813.

Figura 14. **Luxómetro marca AEMC INSTRUMENTS**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

4.1.5. Medidor de energía multifuncional

Son equipos de medición utilizados para monitorear y controlar el consumo de energía de la red, calidad del suministro y demás. Son estacionarios; pueden registrar datos históricos, compatibles a sistemas de comunicación de acceso a distancia.

Para el presente estudio, fue utilizado el medidor de energía multifuncional marca SCHNEIDER ELECTRIC, modelo ION-8400. Estos son utilizados para monitorear el consumo eléctrico propio y las líneas que se conectan a la subestación.

Figura 15. **Medidor de energía multifuncional marca Schneider**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

4.2. Análisis de las áreas principales de la Subestación Guatemala Sur

El análisis de los principales parámetros de calidad de energía y eficiencia energética se detalla en los siguientes apartados, a través del uso de la NTSD. En el resumen que corresponde a la sección 4.2.8, se utilizan normas internacionales. Para los parámetros de voltaje, corriente, potencias, armónicos de la red, *flicker* y variaciones de frecuencia, se utilizó el analizador de redes eléctricas marca Dranetz. La medición del factor de potencia fue realizada con la ayuda de un medidor de energía multifuncional de marca Schneider. A partir de una cámara termográfica, se analizan los termogramas capturados.

En la tabla VIII, se muestran los periodos en que se realizaron las mediciones de los principales servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur.

Tabla VIII. **Horario de mediciones**

Sección o área	Inicio	Fin
Protecciones/Subestación	29/11/2019 09:50	6/12/2019 11:30
Administrativa	11/12/2019 09:20	18/12/2019 10:00
Líneas de Transmisión/ Metrología	19/12/2019 10:50	26/12/2019 12:00
Cafetería/Comunicaciones	19/12/2019 11:30	26/12/2019 12:30
Bodega Regional	27/12/2019 13:20	1/1/2020 00:00
Laboratorio de Geotérmica	27/12/2019 13:20	1/1/2020 00:00
Taller Eléctrico	21/1/2020 16:00	28/1/2020 16:00
Clínicas Médicas	21/1/2020 16:10	28/1/2020 19:00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

4.2.1. Análisis de voltajes

Con base en la Norma NTSD, los valores de distribución en voltaje no deben exceder de $\pm 5\%$ de su valor nominal. Para el caso del país, se distribuye un valor nominal de 120 V. Los valores de voltaje máximos, mínimos de línea a neutro y de línea a línea, son descritos y obtenidos por el uso de un analizador de redes.

Tabla IX. **Voltaje sección de protecciones/subestación**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	4/12/2019 13:20	103,24	30/11/2019 15:40	122,04
Línea B-N	4/12/2019 13:20	103,92	30/11/2019 15:40	122,36
Línea A-B	4/12/2019 13:20	207,15	30/11/2019 15:40	244,34

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla IX, se presentan los valores de voltaje de la sección de Protecciones/Subestación (estas se alimentan del mismo tablero de distribución). El comportamiento de los valores máximos es aceptable dentro del rango de la Norma NTSD, pero los valores mínimos se encuentran por debajo del límite. Estos valores pueden deberse a que existe corrosión galvánica en los elementos dentro del tablero de distribución, así como por la antigüedad de la instalación.

Tabla X. **Voltaje sección administrativa**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	13/12/2019 08:30	94,85	13/12/2019 19:20	141,43
Línea B-N	16/12/2019 14:50	87,93	13/12/2019 08:30	130,24
Línea A-B	16/12/2019 14:50	195,55	15/12/2019 16:50	243,53

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla X, se muestra que los valores, tanto máximo como mínimo, de ambas líneas se presentan lejanos del 5 % que establece la Norma NTSD. La línea B es la que presenta valores más apartados del rango establecido, en comparación con la línea A, tanto para el valor mínimo como para el valor máximo. El voltaje mínimo de la línea A coincide con la corriente máxima de la línea A en la fecha y hora (ver sección 4.2.2); esto es indicio de la descompensación del voltaje.

El desbalance restante podría ser causado por falta de mantenimiento a los componentes dentro del tablero de distribución, que se encontraron por inspección visual.

Tabla XI. **Voltaje sección líneas de transmisión/metrología**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	13/12/2019 08:30	94,85	13/12/2019 19:20	141,43
Línea B-N	16/12/2019 14:50	87,93	13/12/2019 08:30	130,24
Línea A-B	16/12/2019 14:50	195,55	15/12/2019 16:50	243,53

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XI, se observa que ninguno de los datos cumple con el 5 % de incerteza establecida. Esto puede deberse a que en el tablero de distribución no se cuenta con una barra de neutro, pues se utiliza una especie de abrazadera mecánica de hierro, a donde se han conectado los conductores neutros. Se puede observar que la tierra se encuentra aterrizada al tablero, desde lo que se utiliza como neutro. Además, se encuentran ocupados todos los polos del tablero. También, se observa la falta de limpieza respectiva en los demás componentes del tablero.

Tabla XII. **Voltaje cafetería/sección de comunicaciones**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	23/12/2019 10:10	93,25	25/12/2019 07:00	115,82
Línea B-N	19/12/2019 12:40	96,99	20/12/2019 17:10	119,01
Línea A-B	23/12/2019 09:10	191,08	21/12/2019 15:40	230,47

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XII, se presenta que los valores máximos sí cumplen con los valores límites de la Norma NTSD. Los datos mínimos están debajo del límite recomendado, esto es debido a fatiga de conductores, porque la instalación

eléctrica es bastante antigua y podría tener defectos internos en el tablero de distribución. No se observan anomalías importantes como las descritas.

Tabla XIII. Voltaje bodegas regionales

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	30/12/2019 16:10	99,74	28/12/2019 16:50	116,3
Línea B-N	27/12/2019 21:40	100,1	31/12/2019 17:00	116,7
Línea A-B	30/12/2019 16:10	200,21	28/12/2019 16:50	232,76

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los registros máximos no sobrepasan el límite; mientras que los registros mínimos descienden del límite recomendado. La tabla XIII describe este comportamiento. Esto podría ser debido a la antigüedad de los conductores, porque en el tablero de distribución no se observaron defectos importantes.

Tabla XIV. Voltaje laboratorio de geotérmico

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	27/12/2019 21:40	102,75	28/12/2019 16:40	120,44
Línea B-N	27/12/2019 21:40	101,86	28/12/2019 17:00	121,05
Línea A-B	27/12/2019 21:40	204,57	28/12/2019 16:40	241,17

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los datos máximos se presentan dentro del límite recomendado; pero los datos mínimos están debajo del rango durante la noche, esto se muestra en la tabla XIV. Se puede apreciar en el tablero de distribución el poco mantenimiento que recibe, pues posee corrosión galvánica en terminales de los interruptores y

presencia de óxido. El tablero está ubicado a la intemperie, con su respectiva tapadera en las mismas condiciones que las internas.

Tabla XV. **Voltaje taller eléctrico**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	25/1/2020 07:00	0,04	22/1/2020 17:10	132,1
Línea B-N	25/1/2020 07:00	0,05	28/1/2020 09:10	132,9
Línea C-N	25/1/2020 07:00	0,04	28/1/2020 09:01	132,9
Línea A-B	25/1/2020 07:00	0,05	21/1/2020 17:50	228,7
Línea B-C	25/1/2020 07:00	0,04	28/1/2020 09:10	231,6
Línea C-A	25/1/2020 07:00	0,05	22/1/2020 17:10	229,7

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 16.

En la tabla XV, se aprecia que los valores máximos de la línea A cumplen con los valores establecidos; pero son muy bajos en los mínimos, debido a que el 25 de enero del año 2020 estuvieron inhabilitadas las líneas durante casi todo el día. Los datos de los días restantes en los que se realizó la medición, los valores mínimos cumplen con lo establecido en la Norma NTSD; aunque fallan únicamente en la fecha del 21 de enero a las 15:30, ya que para la línea B el valor fue de 98,79 V y para la línea C un valor de 95,17 V.

Estos desbalances de tensión pueden ser ocasionados por los equipos industriales que son utilizados al mismo tiempo durante la jornada laboral.

Tabla XVI. **Voltaje clínicas médicas**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(V)	Fecha y hora	(V)
Línea A-N	26/1/2020 04:00	98,52	28/1/2020 01:50	120,3
Línea B-N	26/1/2020 04:00	98,25	28/1/2020 01:50	120,2
Línea A-B	26/1/2020 04:00	232,6	28/1/2020 01:50	240,46

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XVI, se observa que los valores máximos están dentro del rango aceptable. Los valores mínimos tienen un desbalance significativo, debido a que el tablero de distribución está con todos los polos funcionando. Se cuenta con algunos equipos médicos que poseen cargas no lineales, los cuales serían los causantes del desbalance y el poco mantenimiento de dicho tablero. No fueron tomados en cuenta los datos desde las 17:00 a las 17:50 del 22 de enero, desde las 06:50 del 25 de enero a las 12:10 del mismo día y del 25 de enero desde las 23:30 al 26 de enero a las 03:20, debido a no contar con el suministro eléctrico.

4.2.2. Análisis de corrientes

En las tablas de la XVII a la XXIV se presentan los valores máximos y mínimos obtenidos durante la medición de corrientes en cada área o sección junto con sus análisis respectivos de cada una.

Tabla XVII. **Corriente sección de protecciones/subestación**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	2/12/2019 20:50	0,67	5/12/2019 12:40	35,20
Línea B	2/12/2019 01:40	0,70	6/12/2019 09:50	33,99

Fuente: elaboración propia, empleando con Microsoft Excel 16.

En la tabla XVII, se observa que, durante la semana de medición, la línea A tuvo un valor máximo de 35,20 amperios; mientras que la línea B tuvo valor máximo de 33,99 amperios. Los valores mínimos surgieron en horas no laborales, por lo cual, no se encuentra el personal laborando dentro de las secciones. Los datos máximos se registraron por la mañana hasta medio día, horario en que la mayoría de personal está presente, previo a realizar comitivas en otros lugares de la misma subestación o sitios externos pertenecientes a la ETCEE. El desbalance de cargas es pequeño (2,3 %) debido a que no difieren en gran magnitud las amplitudes entre líneas.

Tabla XVIII. **Corrientes sección administrativa**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	13/12/2019 07:20	0,09	13/12/2019 08:30	18,69
Línea B	14/12/2019 08:10	0,81	12/12/2019 09:20	47,72

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Con base en la tabla XVIII, se observa un comportamiento similar al de la sección de Protecciones/Subestación. En esta, la corriente máxima sucede durante la jornada laboral y los mínimos en horario previo a que el personal se

haga presente. La línea B consume más en relación con la línea A, debido a que en la primera se encuentra más saturado, por consiguiente, las cargas del sistema tienen un desbalance de 43,5 %. El tablero refleja poco mantenimiento interno y destellos de corrosión galvánica y también de óxido.

Tabla XIX. **Corrientes sección líneas de transmisión/metrología**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	21/12/2019 16:50	0,47	19/12/2019 11:20	36,69
Línea B	19/12/2019 10:50	5,15	23/12/2019 09:20	13,93

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los valores de corriente de la sección Líneas de Transmisión y Metrología se muestran en la tabla XIX. Se encuentran de mayor amplitud en la línea B respecto de la línea A. Esto muestra alto desbalance de las cargas (44,9 %) conectadas en cada línea. La línea B, aún en su valor mínimo que se presenta durante la semana de mediciones, mantiene un valor alto, que podría ser debido a no poseer una barra de neutro en el tablero de distribución; además, hay algunos electrodomésticos en la cocina de las secciones que funcionan durante el día. La línea A posee valores mínimos en horario laboral, los máximos en el caso contrario.

Tabla XX. **Corrientes cafetería/sección de comunicaciones**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	26/12/2019 10:30	6,68	26/12/2019 09:40	15,64
Línea B	26/12/2019 07:20	4,43	26/12/2019 06:40	12,73

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XX, se denota que hay un desbalance de cargas de 10,3 %. Debido a que en el área de cafetería se cuenta con cámaras frías y refrigeradores similares que funcionan las 24 horas del día, los valores mínimos no son necesariamente fuera del horario laboral. Pero los valores máximos obtenidos son en horarios aproximados a la preparación de alimentos durante el día, en donde se utiliza más el recurso energético.

Tabla XXI. **Corrientes bodega regional**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	30/12/2019 10:00	1,68	28/12/2019 09:10	2,71
Línea B	27/12/2019 21:40	3,27	27/12/2019 11:40	5,17

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Se observa en la tabla XXI que el valor máximo de la corriente es de 2,71 y 5,17 amperios para cada línea respectivamente. Es un consumo relativamente bajo, debido a que son pocas las oficinas dentro de la bodega regional. El área exclusiva que cumple con la función de bodega para el resguardo del material y equipo es amplia, con entrada de luz natural extensa, por lo que no es necesario el uso de luz artificial continuamente. Los valores, tanto para máximos como mínimos, se notan balanceados entre sí.

Tabla XXII. **Corrientes laboratorio de geotérmica**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	27/12/2019 16:40	0,19	30/12/2019 8:10	27,09
	28/12/2019 14:40			
Línea B	27/12/2019 13:20	6,31	29/12/2019 9:30	29,80

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXII, se observa desbalance de cargas del laboratorio de geotérmica. Algunos equipos que se encuentran conectados a la línea A no son utilizados siempre, únicamente cuando es necesario; esto se ve reflejado en los valores máximos que son parecidos entre sí, con diferencia de 2,71 amperios, Se mantienen bastante balanceadas las cargas que fueron registradas dentro del horario laboral. El laboratorio cuenta con otros equipos que permanecen en uso continuo durante el día, como refrigeradores u otros dispositivos de laboratorio; lo anterior se ve reflejado en el valor mínimo de la línea B.

Tabla XXIII. **Corrientes taller eléctrico**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	25/1/2020 07:00	0,03092	26/1/2020 20:15	7,08
Línea B	25/1/2020 12:10	0,02124	26/1/2020 20:20	5,72
Línea C	25/1/2020 07:00	0,01829	22/1/2020 11:40	74,92

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Se describió que el 25 de enero no estuvo disponible el servicio eléctrico, lo que dio como resultado los valores de corriente más bajos para ese día. La línea C presentó sobrecarga en la fecha que se indica el valor máximo de la

tabla XXIII, debido a que es la línea con mayores cargas del sistema; esto provoca un desbalance alto. Sin tomar en cuenta los valores del 25 de enero, se tiene que los valores mínimos de corriente son 3,77 amperios para la línea A; 2,73 amperios, ambos el 21 de enero a las 15:10 horas y para la línea C, 0,17 amperios el 26 de enero a las 08:00 horas; dichos valores se encuentran en horario que se realizan trabajos mínimos.

Tabla XXIV. **Corrientes clínicas médicas**

Conexión	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	(A)	Fecha y hora	(A)
Línea A	26/1/2020 3:00	0,02	26/1/2020 19:50	113,14
Línea B	26/1/2020 1:00	0,02	26/1/2020 04:00	39,04

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla XXIV muestra que los valores mínimos suceden en la madrugada, cuando ninguna persona se encuentra en esa área; mientras que los valores máximos se han dado en horas fuera de la jornada laboral, con un desbalance de 48,7 %, esto, por posibles sobrecargas, debido a fallas en el sistema. Si se omiten los dos valores mostrados, los restantes máximos mantienen estabilidad sin exceder 15 amperios en su mayoría.

4.2.3. Análisis de potencia activa, reactiva y aparente

En las tablas de la XXV a la XXXII se presentan los valores máximos y mínimos sobre los tres tipos de potencias obtenidos durante la medición de cada área o sección y se realizan los análisis respectivos de cada una.

Tabla XXV. **Potencias Sección Protecciones/Subestación**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	5/12/2019 04:20	0,11	5/12/2019 12:40	3,08
P en B (kW)	1/12/2019 17:30	0,11	2/12/2019 09:40	3,14
Q en A (kVAR)	29/11/2019 13:00	-0,11	1/12/2019 07:40	0,77
Q en B (kVAR)	29/11/2019 13:00	-0,22	5/12/2019 14:50	0,37
S en A (kVA)	5/12/2019 04:20	0,16	5/12/2019 12:40	3,19
S en B (kVA)	1/12/2019 17:30	0,14	2/12/2019 09:40	3,14

Fuente: elaboración propia, empleando con Microsoft Excel 16.

En la tabla XXV, se observa que la sección de Protecciones/Subestación presenta, en ambas líneas, consumo similar. La potencia reactiva presenta valores diferentes entre líneas, aunque se consuma casi la misma potencia activa en una y otra línea, las características de las cargas son distintas. La potencia aparente también presenta valores parecidos entre las líneas.

Tabla XXVI. **Potencias sección administrativa**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	15/12/2019 06:20	0,03	13/12/2019 08:30	1,85
P en B (kW)	16/12/2019 07:40	0,10	13/12/2019 09:50	4,00
Q en A (kVAR)	17/12/2019 09:20	-0,10	12/12/2019 00:10	0,02
Q en B (kVAR)	12/12/2019 10:10	-0,29	18/12/2019 08:40	0,66
S en A (kVA)	16/12/2019 06:50	0,06	13/12/2019 08:30	1,86
S en B (kVA)	14/12/2019 04:20 15/12/2019 01:10	0,17	13/12/2019 9:50	4,11

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXVI, se percibe que, en la sección administrativa, la potencia activa y potencia aparente presentan mayor consumo en la línea B que en la A. La potencia reactiva se mantiene estable entre las líneas, esto debido a que, en su mayoría, la sección desarrolla trabajos de oficinas, por ello, las cargas son parecidas, ya que se limitan al uso de computadoras, impresoras, fotocopadoras, cargadores de celular, etc., como también al consumo de iluminación, que en algunas áreas se mantienen encendidas por periodos de tiempo prolongados.

Tabla XXVII. **Potencias sección líneas de transmisión/metrología**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	22/12/2019 15:10	0,01	19/12/2019 11:20	3,82
P en B (kW)	25/12/2019 11:30	0,01	22/12/2019 08:10	0,46
Q en A (kVAR)	19/12/2019 11:10	-0,13	19/12/2019 11:20	0,33
Q en B (kVAR)	22/12/2019 08:10	-1,07	19/12/2019 11:30	-0,55
S en A (kVA)	21/12/2019 12:10	0,09	19/12/2019 11:20	3,85
S en B (kVA)	19/12/2019 11:30	0,56	22/12/2019 08:10	1,17

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXVII, se nota que la sección de líneas de transmisión y Metrología presenta mayores valores de potencia activa y potencia reactiva en la línea A respecto a la línea B, pero sin ser diferencias grandes. La potencia aparente posee un comportamiento parecido a las otras, con la diferencia que el promedio es mayor en la línea B que la A.

Tabla XXVIII. **Potencias cafetería/sección de comunicaciones**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	21/12/2019 19:00	0,00	22/12/2019 09:10	0,26
P en B (kW)	22/12/2019 08:40	0,01	19/12/2019 12:50	0,19
Q en A (kVAR)	26/12/2019 10:50	0,74	26/12/2019 09:40	1,57
Q en B (kVAR)	19/12/2019 12:50	-1,05	26/12/2019 10:40	-0,49
S en A (kVA)	26/12/2019 10:50	0,75	26/12/2019 09:40	1,59
S en B (kVA)	26/12/2019 09:40	0,51	19/12/2019 12:50	1,07

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXVIII, se observa que la cafetería/sección de comunicaciones presenta valores menores de potencia activa la línea B que la línea A, pero un tanto bajos, debido a que permanece una cantidad de personas bastante menor en comparación con las demás áreas, lo que ocasiona que se consuma menos energía. La potencia reactiva en ambas líneas muestra valores altos, debido al uso de cámaras frías de la cafetería. La potencia aparente, al igual que la potencia activa, muestra mayor consumo en la línea A.

Tabla XXIX. **Potencias bodegas regionales**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	29/12/2019 06:50	0,01	28/12/2019 15:40	0,07
P en B (kW)	30/12/2019 04:20	0,01	31/12/2019 14:00	0,04
Q en A (kVAR)	30/12/2019 10:10	0,21	29/12/2019 16:20	0,27
Q en B (kVAR)	30/12/2019 15:00	0,37	27/12/2019 11:40	0,52
S en A (kVA)	30/12/2019 10:00	0,20	28/12/2019 16:50	0,28
S en B (kVA)	30/12/2019 15:00	0,37	27/12/2019 11:40	0,53

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXIX, se analiza que la bodega regional muestra bajo consumo de potencia activa, esto por la entrada de luz natural. La potencia reactiva muestra un consumo constante relativamente bajo, debido al equipo utilizado y a que parte del trabajo se realiza con montacargas que utilizan combustible tipo diésel para su funcionamiento. La potencia aparente presenta mayor consumo en la línea B que en la línea A.

Tabla XXX. **Potencias laboratorio de geotérmica**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	28/12/2019 14:40	0,03	30/12/2019 8:10	2,81
P en B (kW)	31/12/2019 18:10	0,01	30/12/2019 9:50	1,30
Q en A (kVAR)	30/12/2019 8:20	-0,17	30/12/2019 8:50	0,55
Q en B (kVAR)	29/12/2019 9:20	-3,28	30/12/2019 12:50	-0,96
S en A (kVA)	28/12/2019 14:40	0,04	30/12/2019 8:10	2,86
S en B (kVA)	27/12/2019 16:40	0,94	29/12/2019 9:30	3,55

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXX, se observa que el consumo de potencia activa en el laboratorio de geotérmica es bajo en ambas líneas. La potencia reactiva también presenta valores bajos, debido a que el equipo utilizado en el laboratorio no es de uso continuo. La potencia aparente muestra mayor valor en la línea B.

Tabla XXXI. **Potencias taller eléctrico**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	22/1/2020 06:10	0,50	26/1/2020 07:50	0,57
P en B (kW)	26/1/2020 08:40	0,40	26/1/2020 21:20	0,48
P en C (kW)	27/1/2020 06:50	0,02	23/1/2020 13:40	3,90
Q en A (kVAR)	27/1/2020 10:00	-0,45	26/1/2020 08:10	-0,39
Q en B (kVAR)	23/1/2020 06:10	0,27	26/1/2020 07:50	0,38
Q en C (kVAR)	24/1/2020 08:00	-0,49	23/1/2020 13:40	3,79
S en A (kVA)	22/1/2020 11:50	0,64	26/1/2020 07:50	0,74
S en B (kVA)	23/1/2020 11:20	0,51	26/1/2020 07:50	0,62
S en C (kVA)	26/1/2020 08:30	0,03	23/1/2020 13:40	5,24

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXXI, se observa que el taller eléctrico presenta consumo de potencia activa con valores similares entre las líneas A y B, mientras que la línea C es inferior.

Las tres líneas del sistema registran valores altos de potencia reactiva, porque algunos equipos son de categoría industrial. La potencia aparente muestra el mismo comportamiento que la potencia activa.

Tabla XXXII. **Potencias clínicas médicas**

Tipo de potencia	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
P en A (kW)	27/1/2020 08:10	0,03	23/1/2020 10:50	3,90
P en B (kW)	26/1/2020 19:30	0,00	27/1/2020 21:30	2,01
Q en A (kVAR)	27/1/2020 19:00	-0,19	23/1/2020 10:50	2,22
Q en B (kVAR)	27/1/2020 22:40	0,02	22/1/2020 12:30	0,77
S en A (kVA)	27/1/2020 08:10	0,05	23/1/2020 10:50	5,05
S en B (kVA)	26/1/2020 19:30	0,03	27/1/2020 21:30	2,11

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la tabla XXXII, se percibe que las clínicas médicas presentan valores de potencia activa bajos y mayores en la línea A que en la B; esto, debido a que el consumo se resume, en la mayoría de tiempo, a iluminación porque el equipo médico y dental dentro de las clínicas no es utilizado en todo momento por el personal. La potencia reactiva posee mayor consumo en la línea B que en la línea A. La potencia aparente presenta mayor consumo en la línea A.

Dentro de las áreas principales de los servicios auxiliares, durante la jornada laboral, se registraron los datos máximos; en horas de la noche y fines de semana, se registraron los datos mínimos. Los desbalances de potencia obedecen a la diferencia de corrientes mostrados en el apartado 4.2.2.

4.2.4. Análisis de factor de potencia

Los registros del factor de potencia, que corresponden al mes de enero, fueron brindados por un medidor de energía multifuncional, colocado en el sótano de la gerencia. Muestra datos del factor de potencia de toda la subestación. A excepción de los otros parámetros analizados, el factor de

potencia es medido cada 5 minutos. En la tabla XXXIII, se muestran los valores más importantes.

Tabla XXXIII. **Factor de potencia**

Mínimo		Máximo	
Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
26-1-2020 20:00	0,7507	28/1/2020 09:00	0,9412

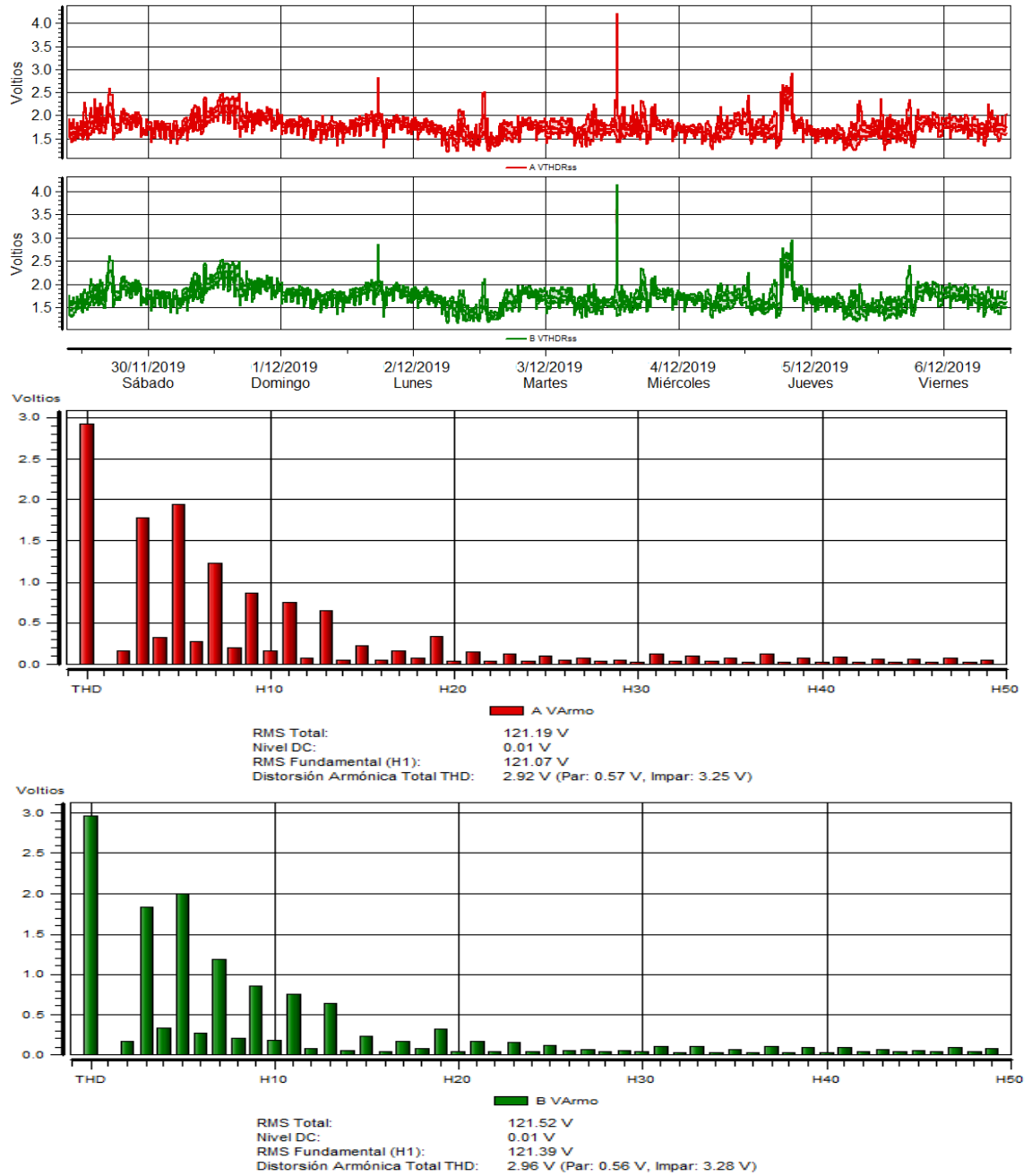
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los valores mínimos del factor de potencia, según la Norma NTSD, fueron descritos en la tabla de la sección 2.6.1. Como en los servicios auxiliares de la subestación varía la potencia instalada, según la sección o área, se tomó como válido el valor de potencia mayor a 11 kW, en la que el factor de potencia no debe estar debajo de 0,90. El valor máximo correspondiente se encuentra aceptable. El valor mínimo está por debajo del valor permitido. Al verificar todos los datos, el factor de potencia descendía del valor permitido únicamente durante cortos periodos.

4.2.5. Análisis de armónicos de la red

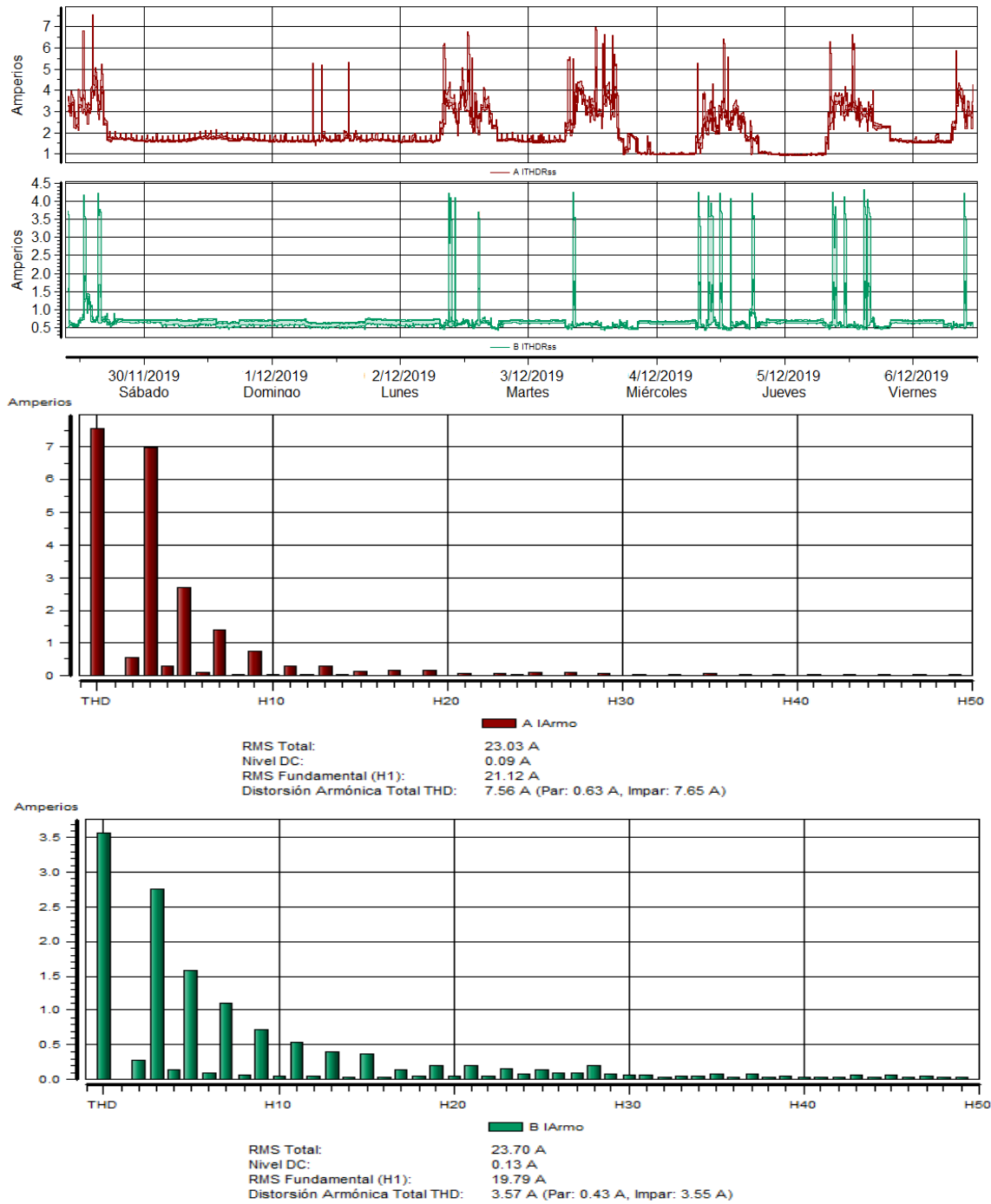
En las figuras de la 16 a la 31 se presentan gráficamente los valores de los armónicos de tensión y corriente obtenidos de cada área con su respectivo análisis.

Figura 16. THD de tensión sección de protecciones/subestación



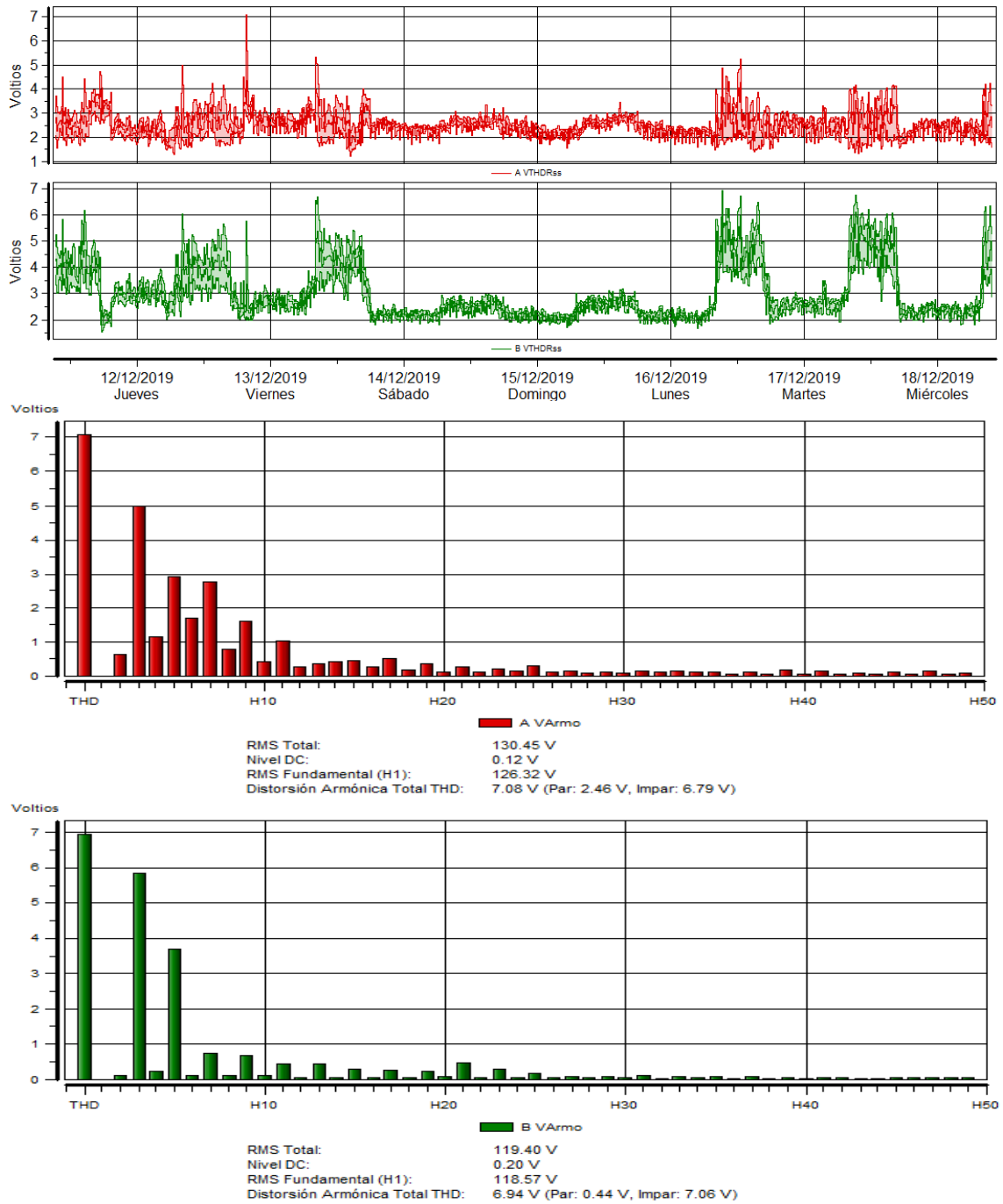
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 17. THD de corriente sección de protecciones/subestación



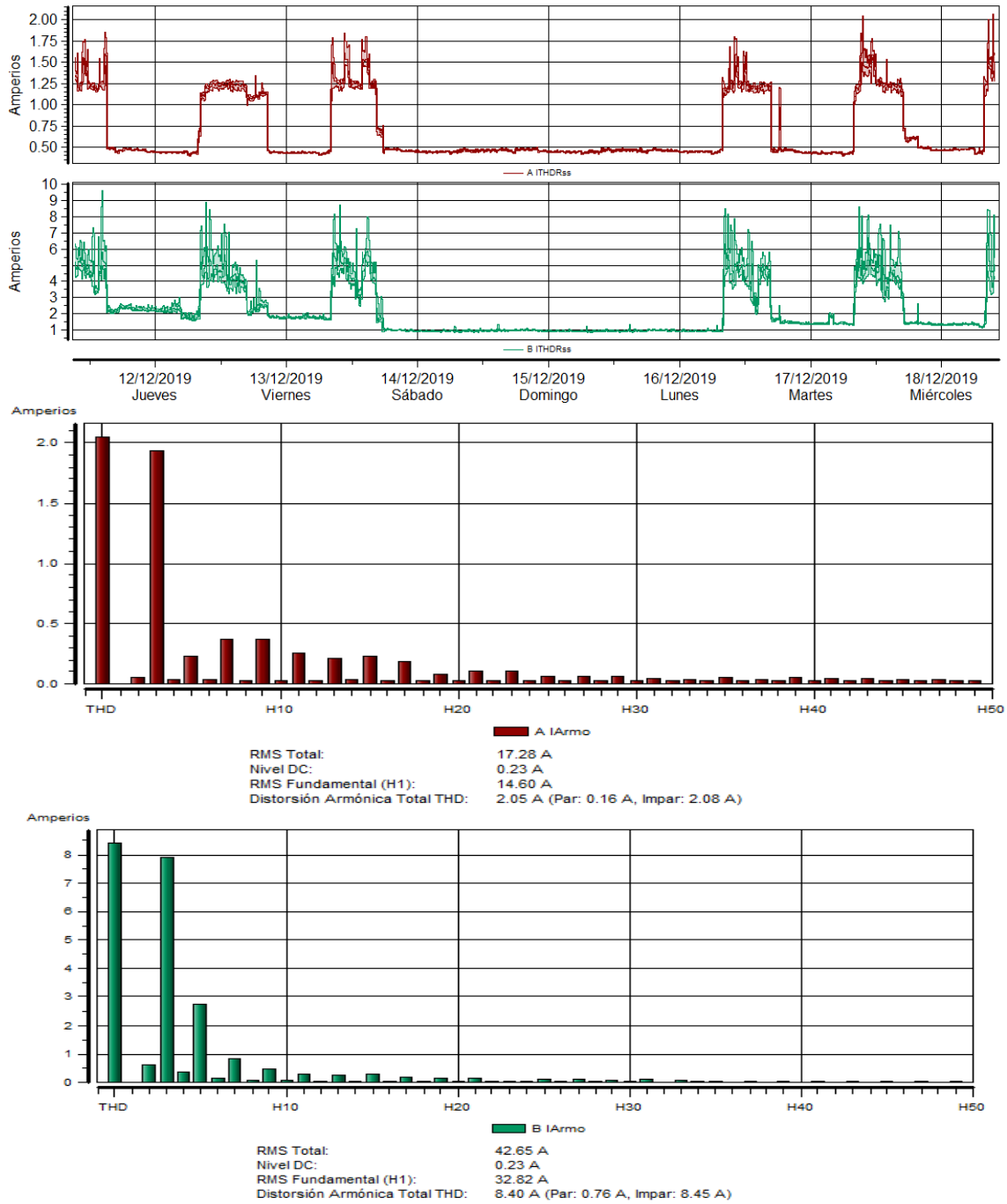
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 18. THD de tensión sección administrativa



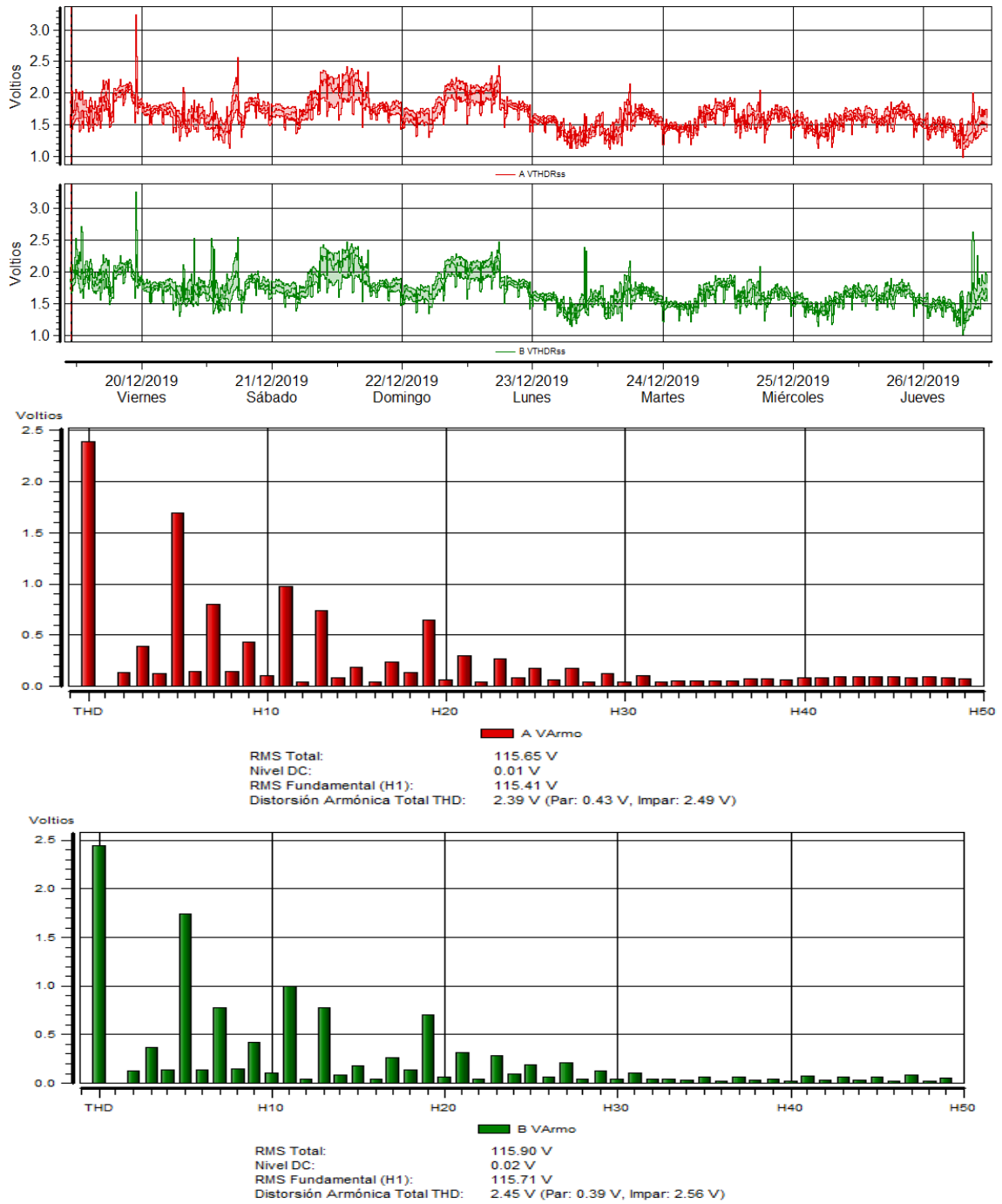
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 19. THD de corriente sección administrativa



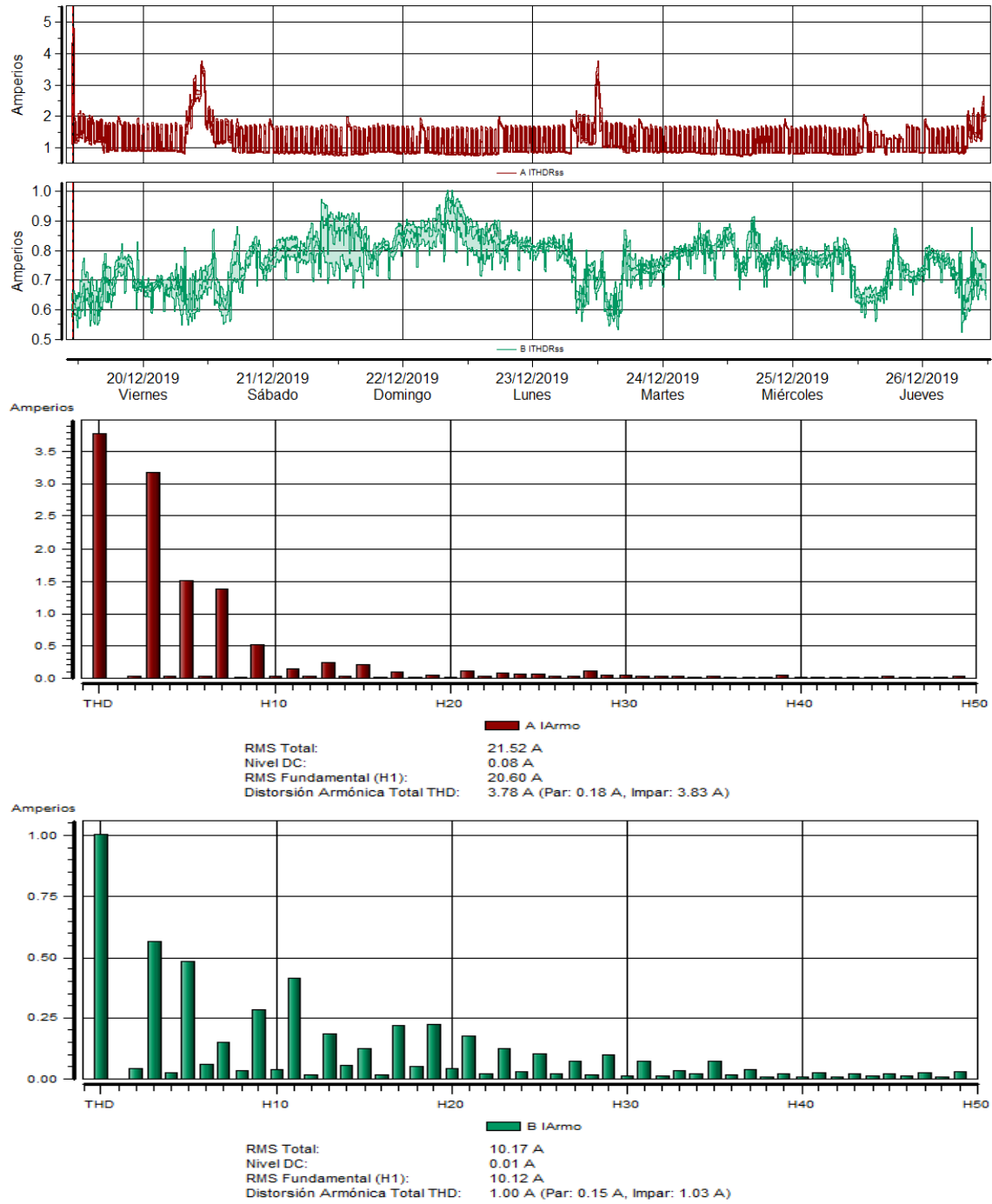
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 20. THD de tensión sección líneas de transmisión/metrología



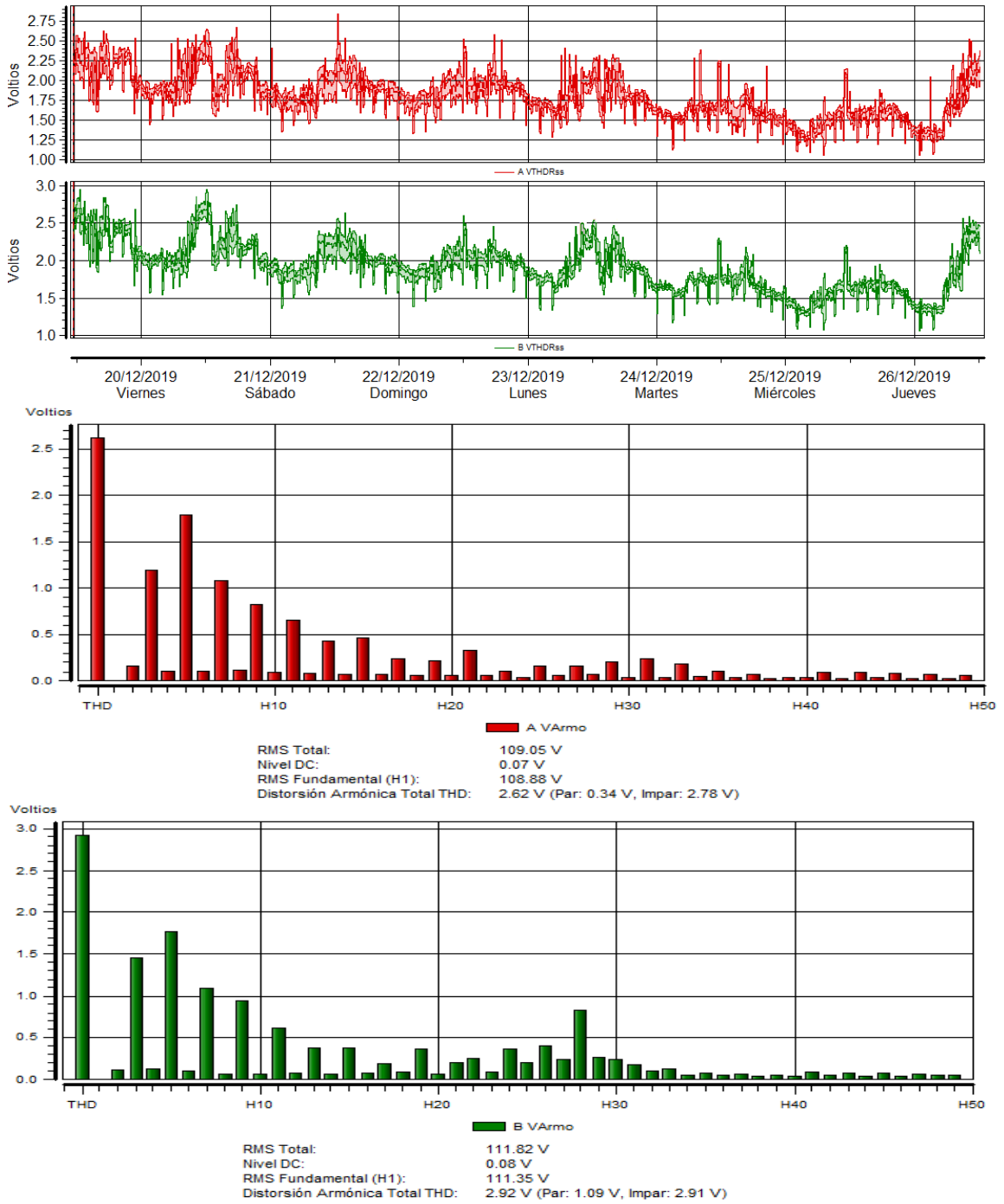
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 21. THD de corriente sección líneas de transmisión/metrología



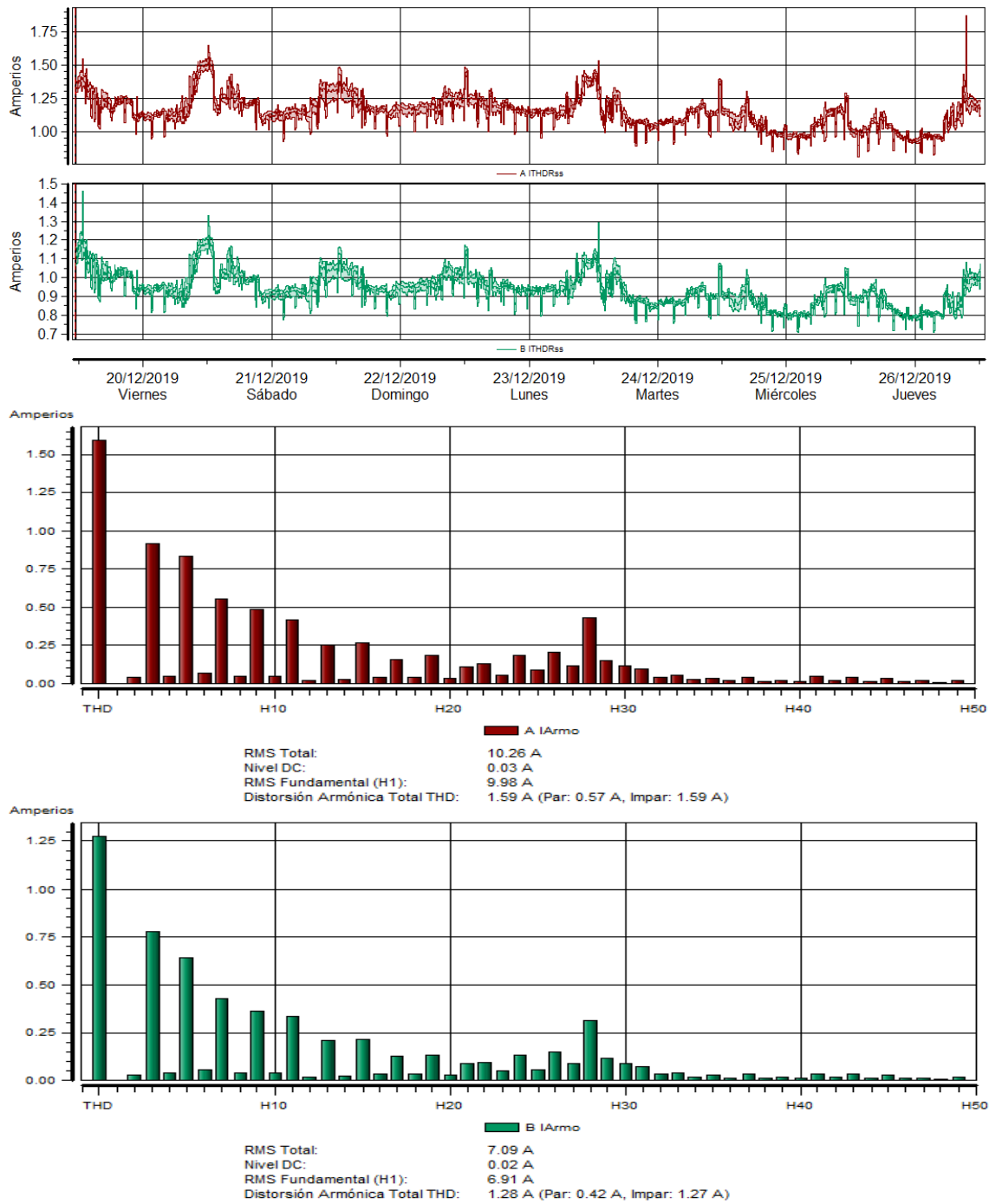
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 22. THD de tensión cafetería/sección de comunicaciones



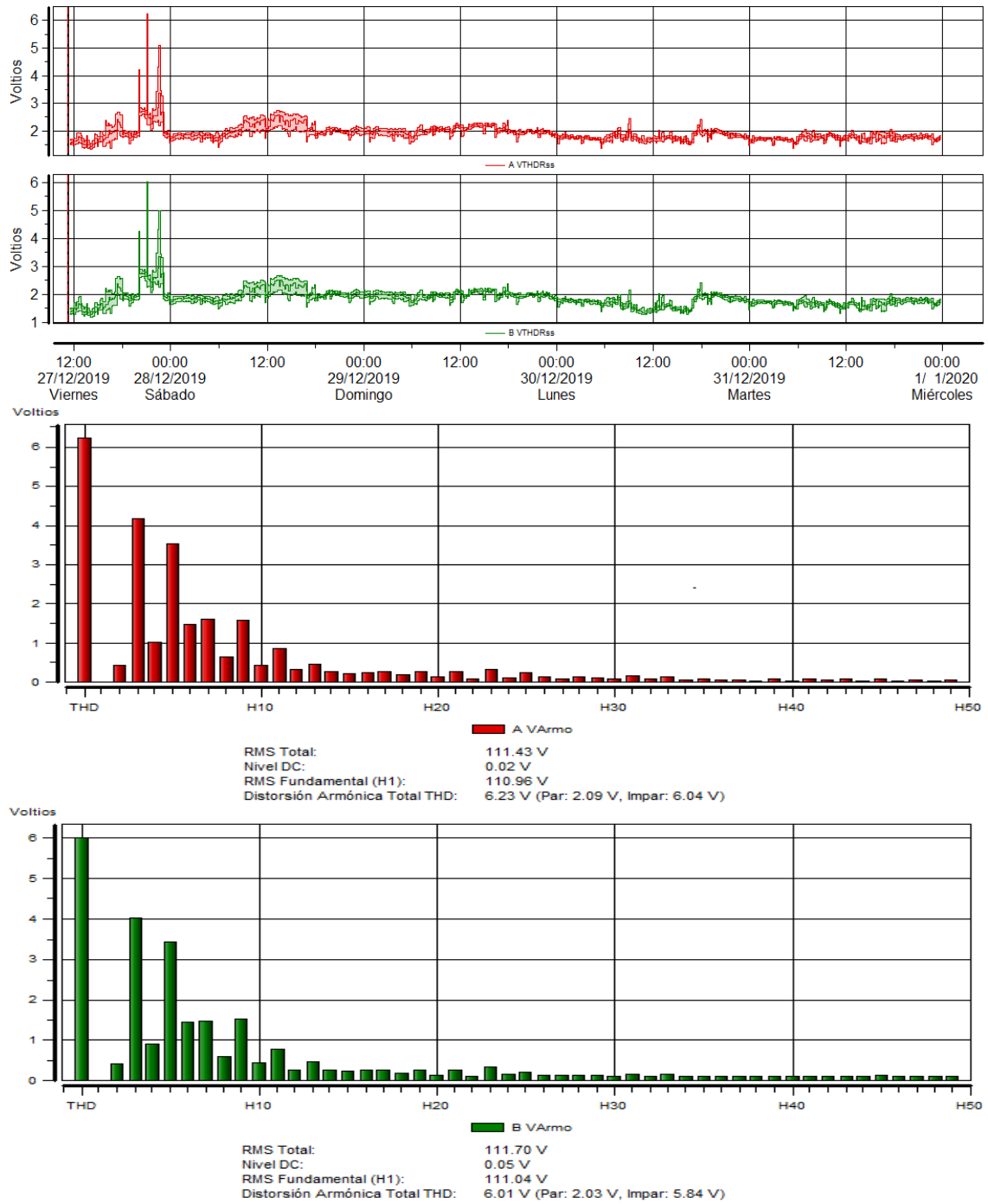
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 23. THD de corriente cafetería/sección de comunicaciones



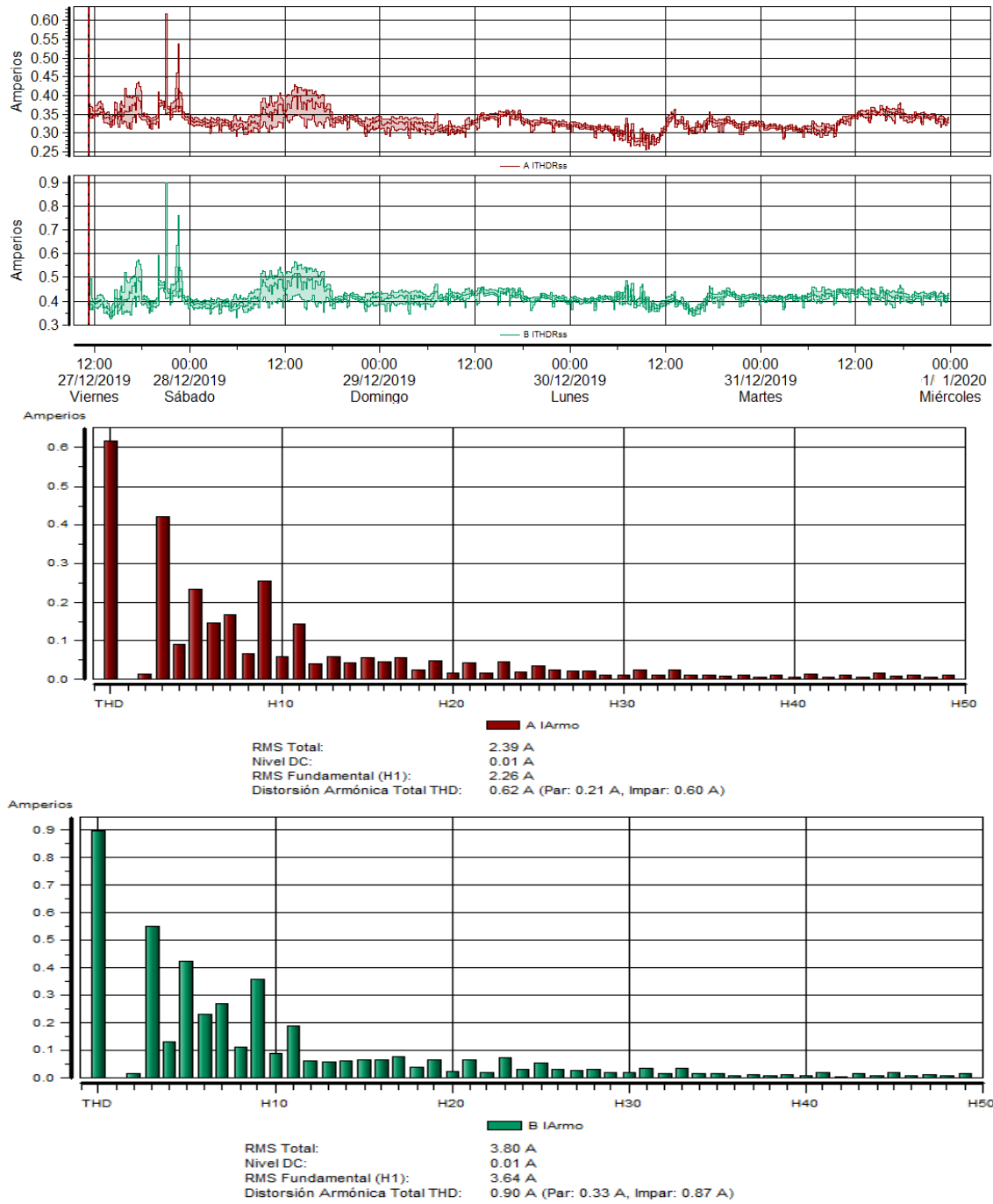
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 24. THD de tensión bodega regional



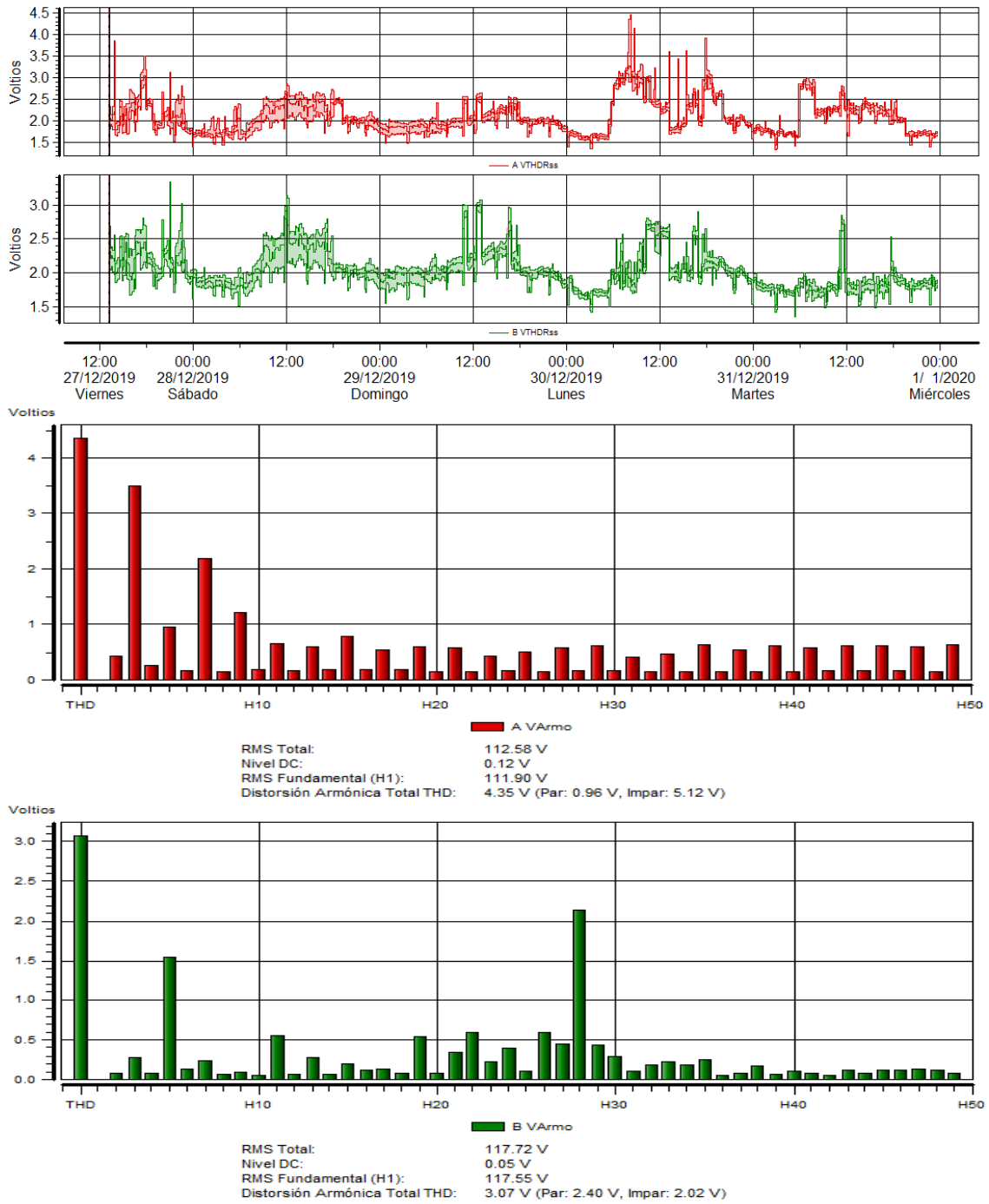
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 25. THD de Corriente bodega regional



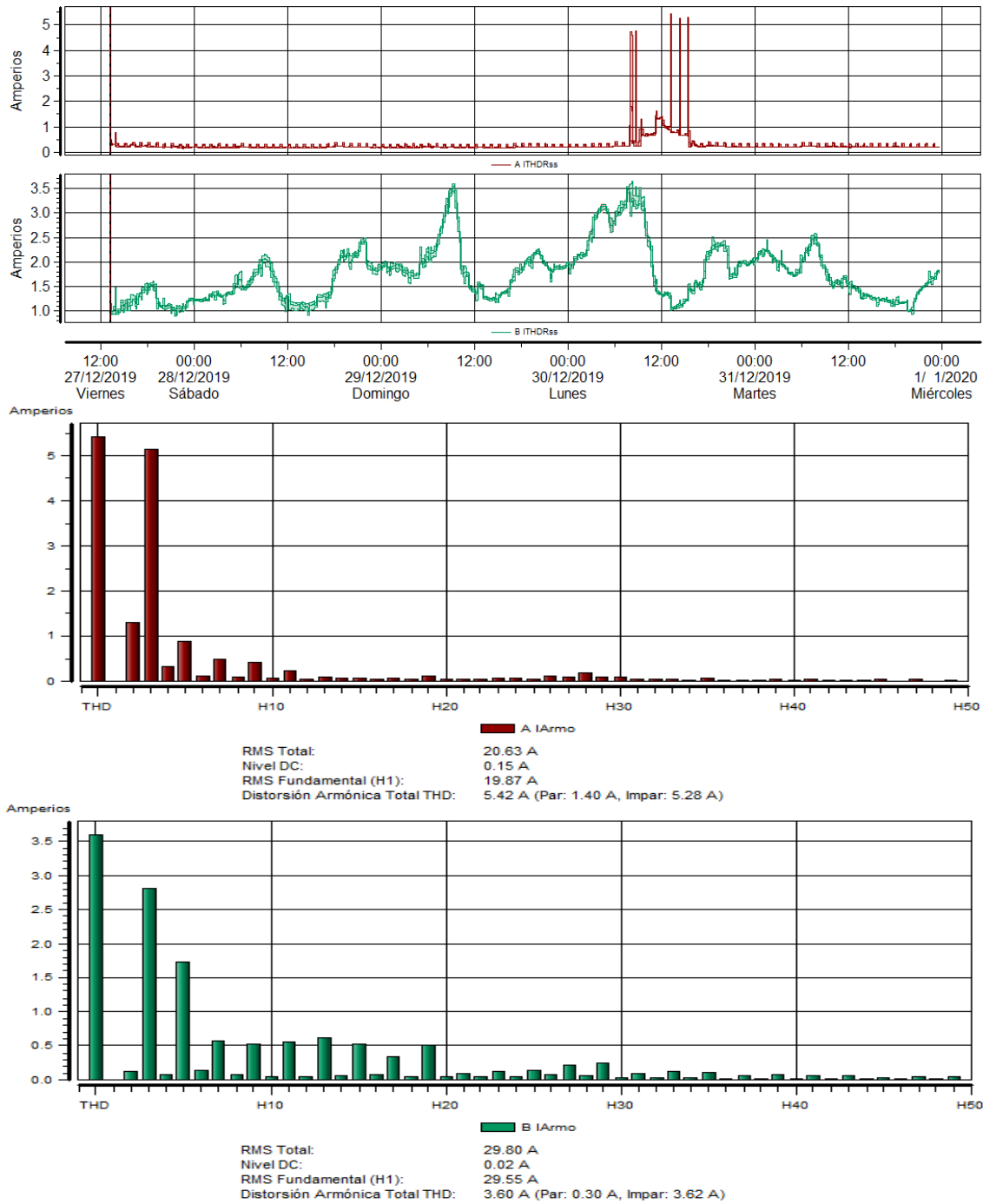
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 26. THD de tensión laboratorio de geotérmica



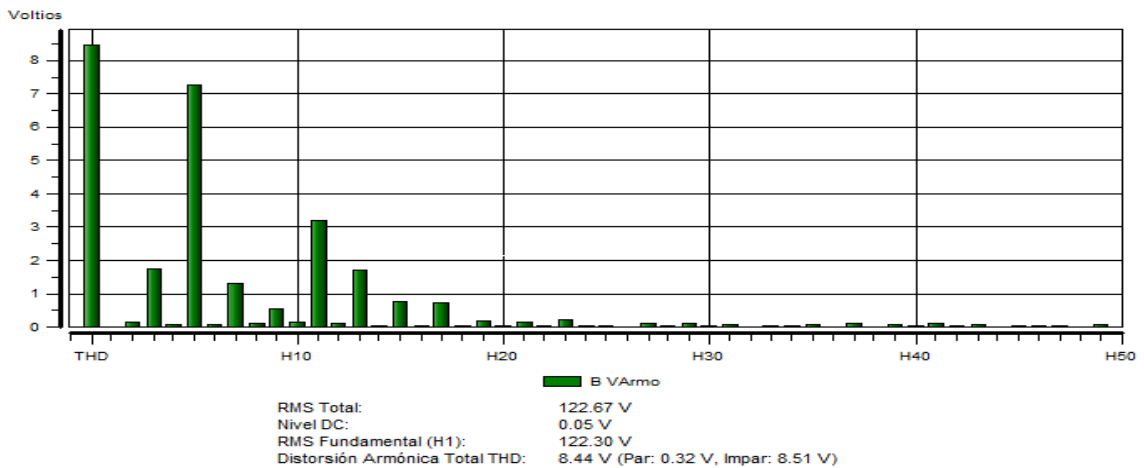
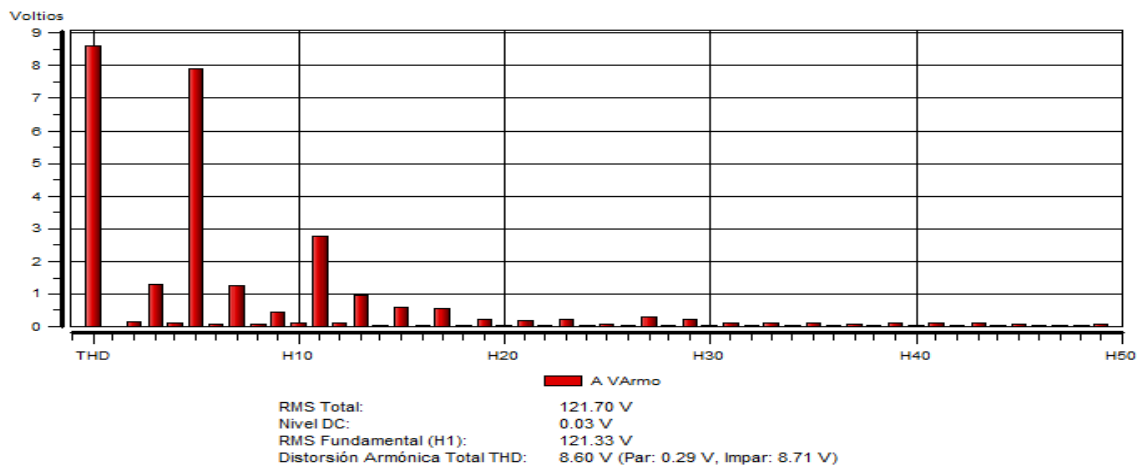
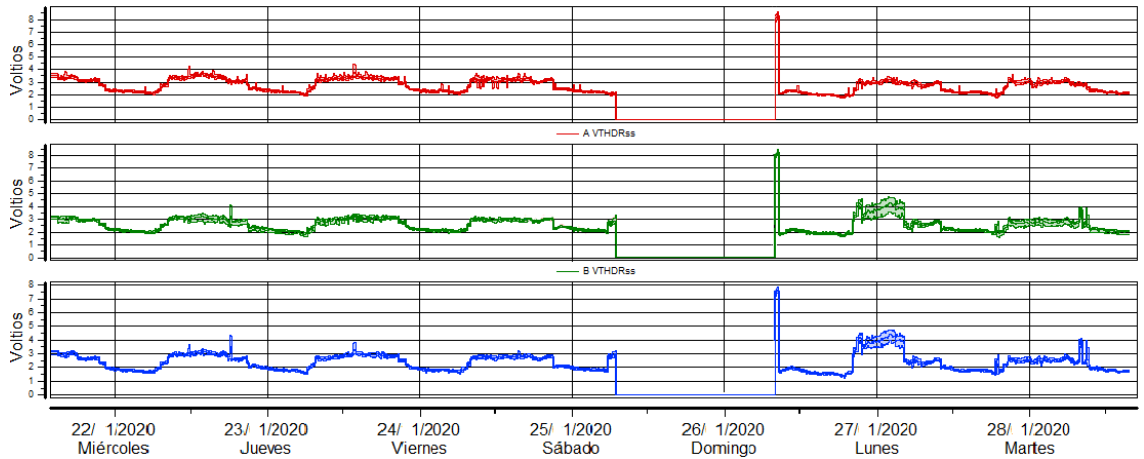
Fuente: elaboración propia, empleando Dran-View 7.

Figura 27. THD de corriente laboratorio de geotérmica

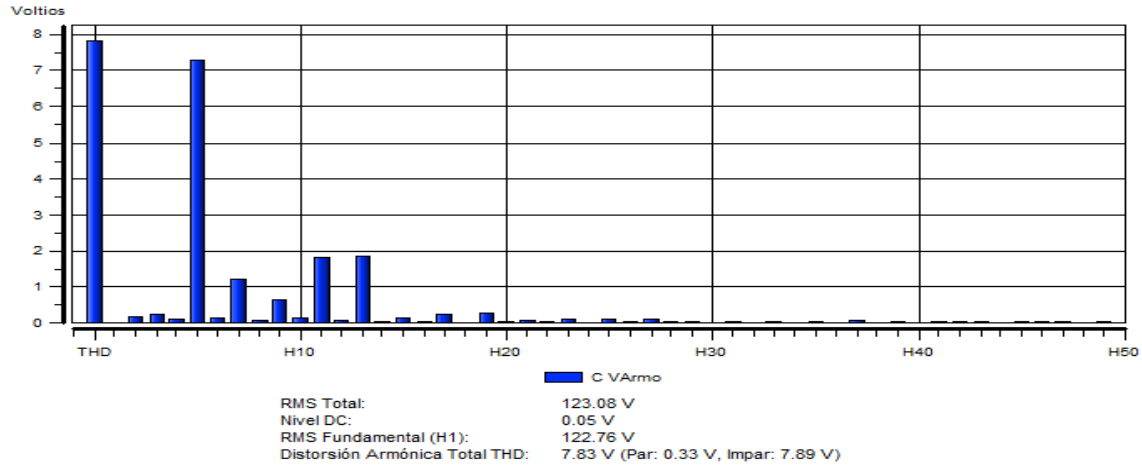


Fuente: elaboración propia, empleando Dran View 7.

Figura 28. THD de tensión taller eléctrico

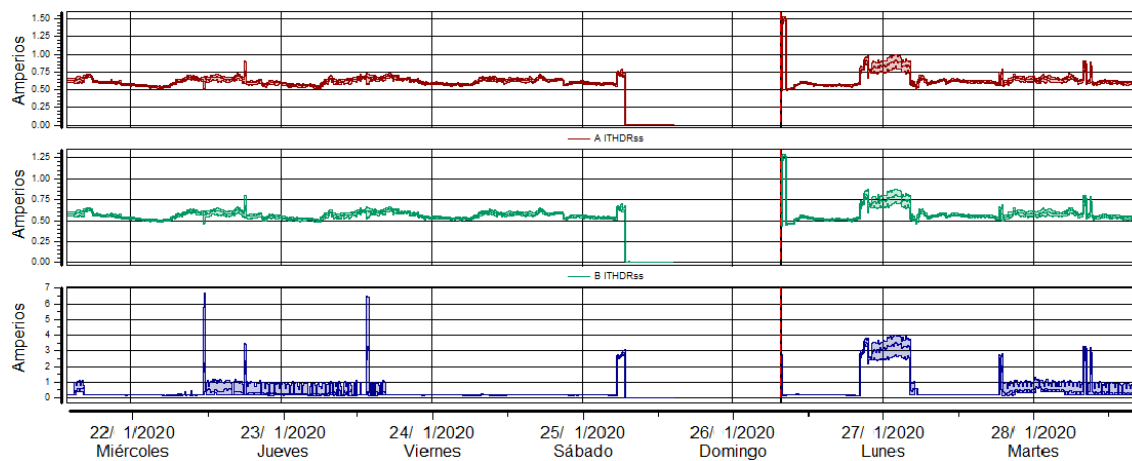


Continuación figura 28.

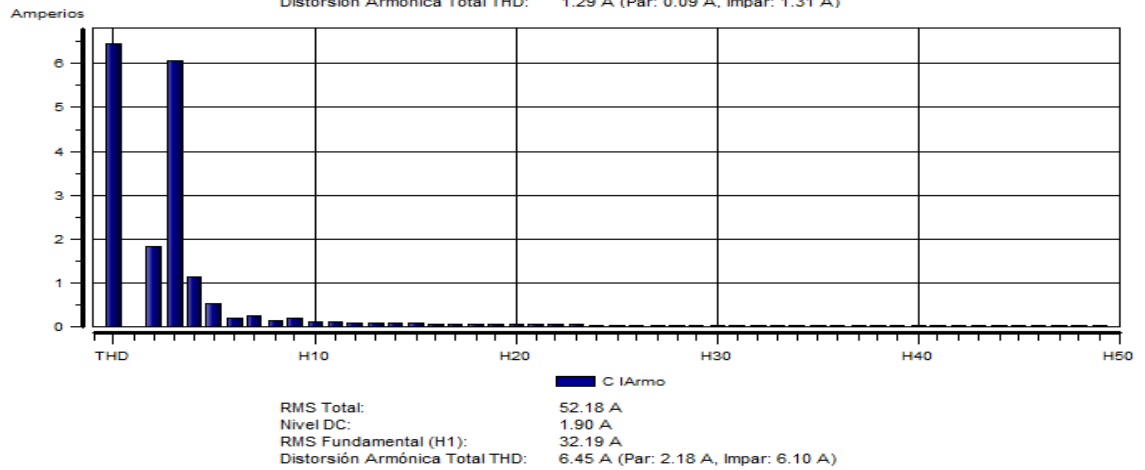
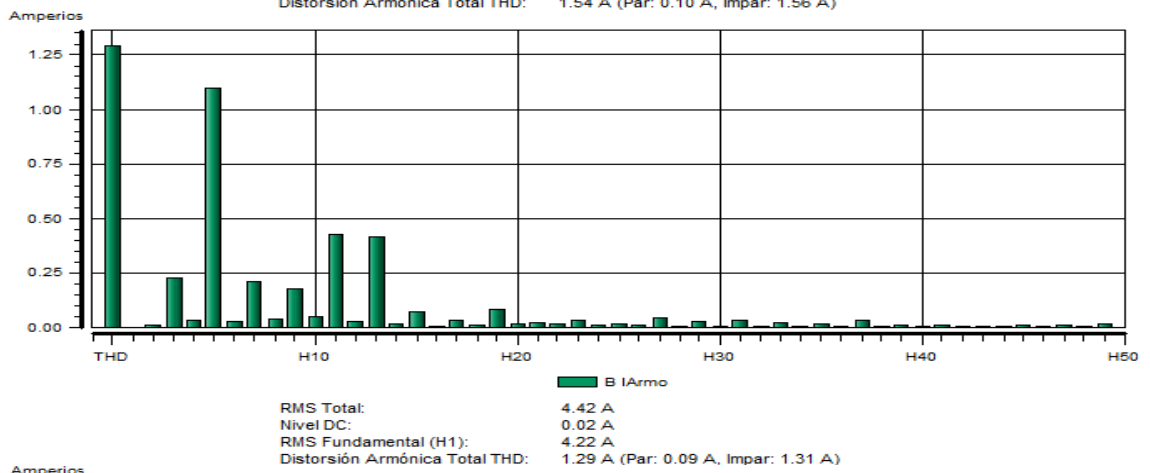
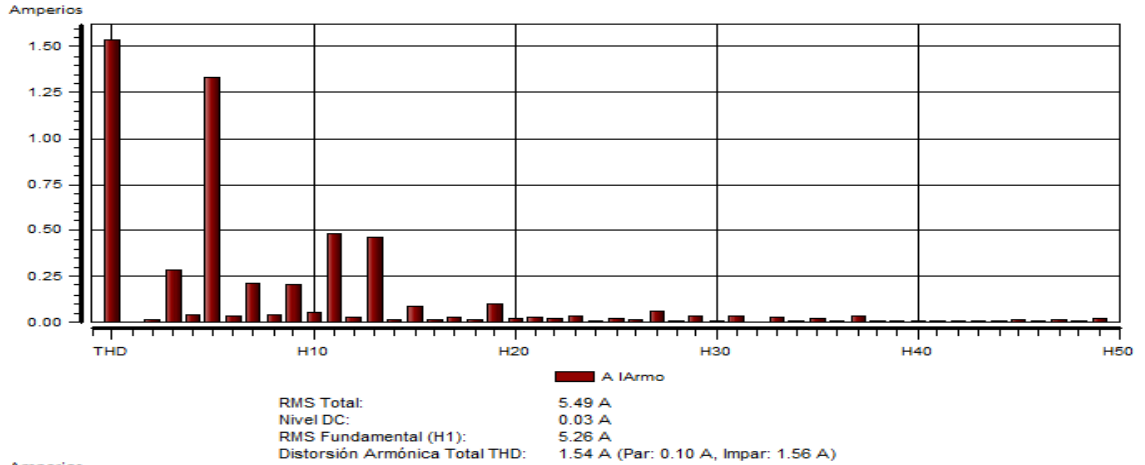


Fuente: elaboración propia, empleando Dran View 7.

Figura 29. THD de corriente taller eléctrico

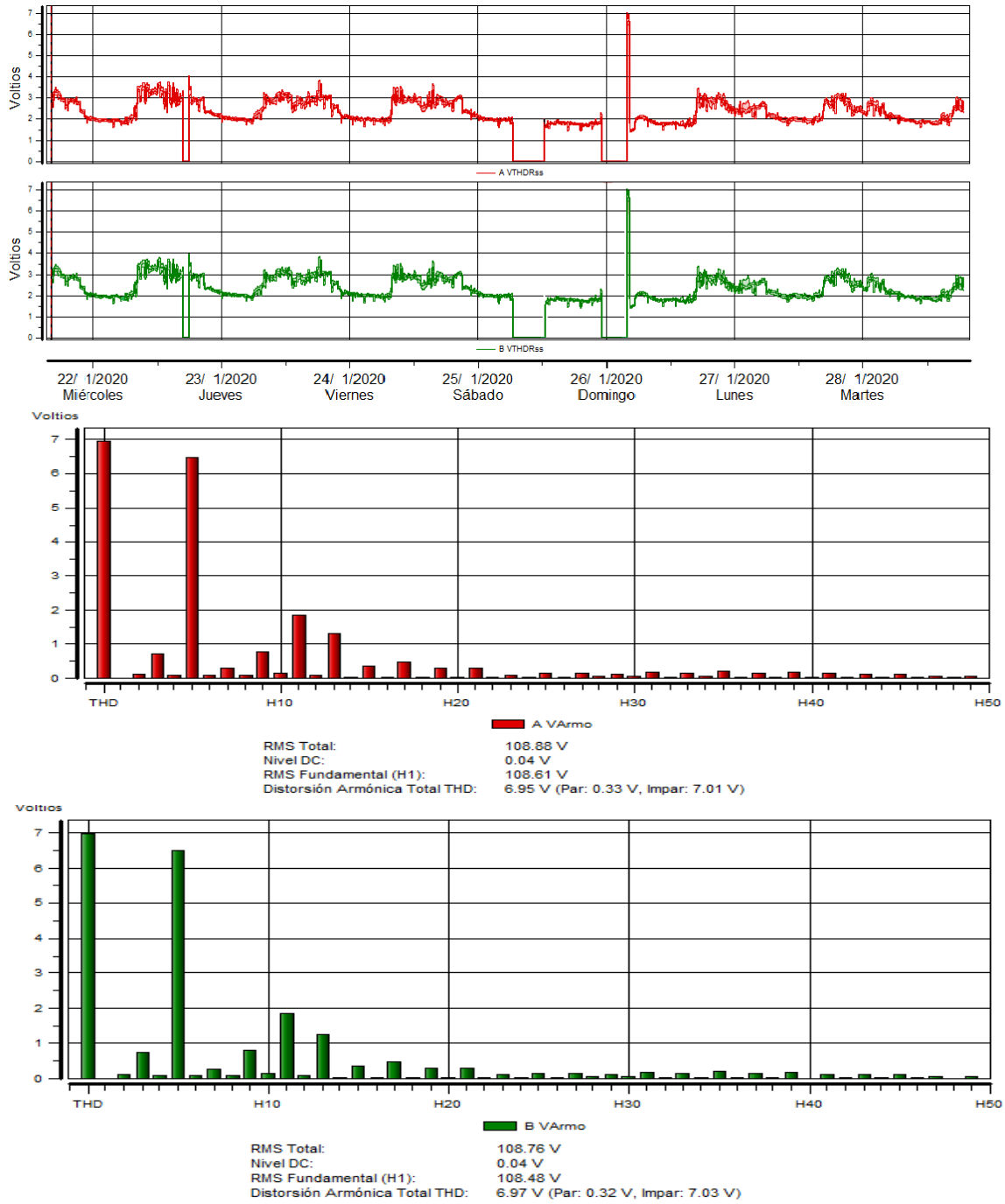


Continuación figura 29.



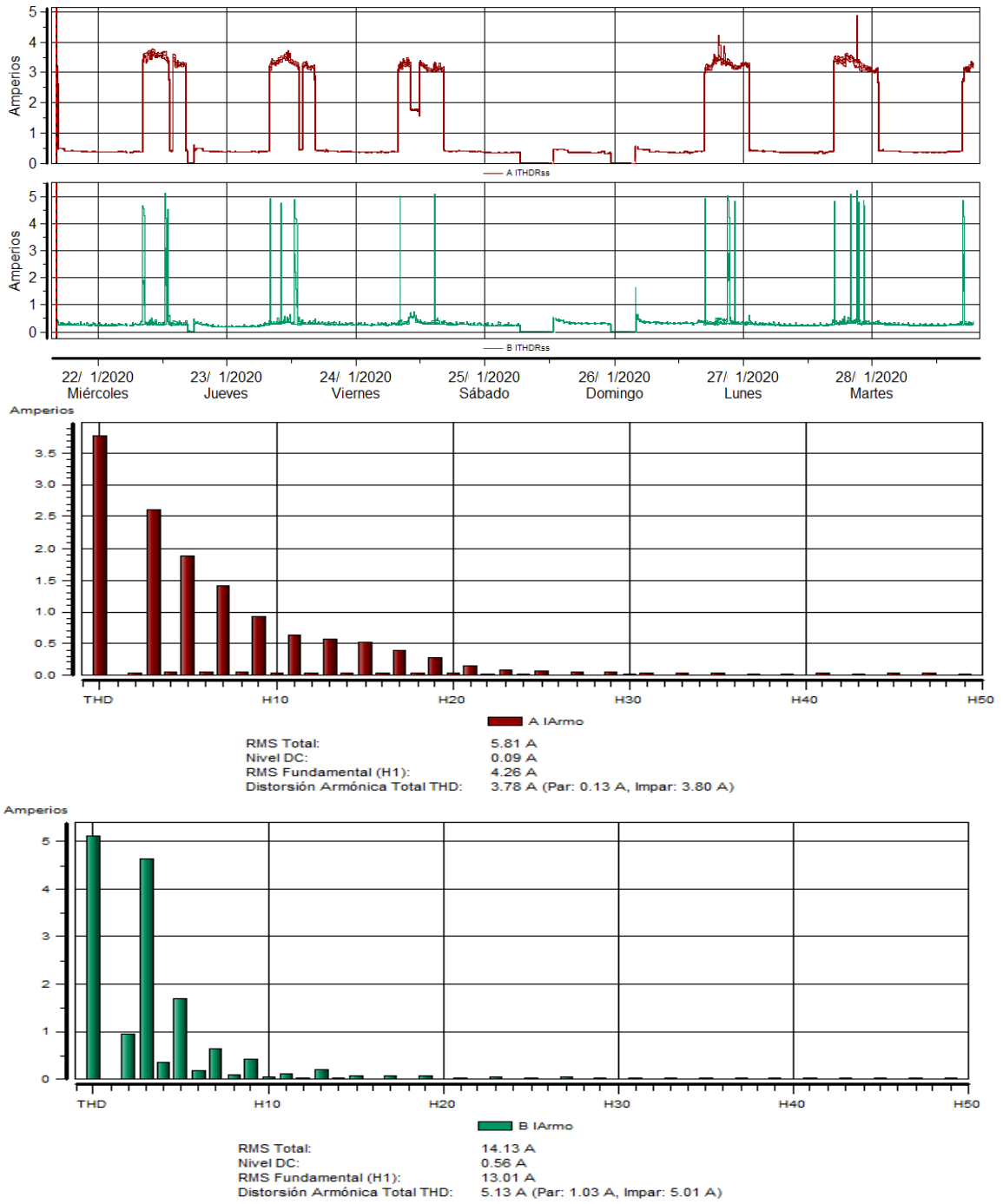
Fuente: elaboración propia, empleando Dran View 7.

Figura 30. THD de tensión clínicas médicas



Fuente: elaboración propia, empleando Dran View 7.

Figura 31. THD de corriente clínicas médicas



Fuente: elaboración propia, empleando Dran View 7.

Según la Norma IEEE-519 Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica, los valores permitidos del total de distorsión armónica de tensión no deben exceder el 8 % y para corriente el 12 %.

- La sección de protecciones/subestación, la sección de Líneas de transmisión/metrología, la cafetería/sección de comunicaciones y el laboratorio de geotérmica presentan valores de distorsión armónica total de tensión y corriente por debajo de los límites establecidos.
- La sección administrativa presenta valores de distorsión armónica total de tensión y corriente por debajo de los límites establecidos. Los valores de tensión en ambas líneas como de corriente en la línea B son un tanto altos.
- La bodega regional y las clínicas médicas presentan valores de distorsión armónica total de ambos parámetros debajo del límite, pero los valores de tensión son un tanto altos.
- El taller eléctrico presenta valores de distorsión total armónica de tensión en la línea A y B por encima del límite permitido. La línea C está por debajo del límite por poco valor. La distorsión armónica total de corriente si permanece en valores correctos.

4.2.6. Análisis de flicker

Los valores obtenidos de *flicker* se presentan en la tabla XXXIV, que corresponden a cada sección o área de los principales servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur.

Tabla XXXIV. **Flicker a corto plazo**

Sección o Área	Línea	Mínimo		Máximo	
		Fecha y hora	%	Fecha y hora	%
Protecciones Subestación	A	02/12/2019 21:20	0,10	5/12/2019 7:20	1,68
	B	29/11/2019 21:30	0,10	5/12/2019 7:20	1,69
Administrativa	A	12/12/2019 02:30	0,36	18/12/2019 9:30	4,69
	B	12/12/2019 02:30	0,37	18/12/2019 9:30	5,38
Líneas de Transmisión Y Metrología	A	22/12/2019 03:20	0,06	19/12/2019 20:50	2,26
	B	22/12/2019 02:20	0,06	23/12/2019 09:40	1,32
Cafetería/ Com.	A	26/12/2019 02:40	0,13	19/12/2019 12:40	1,78
	B	24/12/2019 04:20	0,11	23/12/2019 15:30	1,40
Bodega Regional	A	29/12/2019 09:10	0,09	28/12/2019 02:40	1,20
	B	31/12/2019 14:30	0,10	28/12/2019 02:40	1,29
Lab. de Geotérmica	A	30/12/2019 03:40	0,10	30/12/2019 09:30	2,71
	B	30/12/2019 03:40	0,10	30/12/2019 09:30	2,43
Taller Eléctrico	A	23/1/2020 18:50	0,08	25/1/2020 09:40	15,64
	B	23/1/2020 21:40	0,09	25/1/2020 09:40	13,80
	C	23/1/2020 19:50	0,07	25/1/2020 08:20	19,64
Clínicas Médicas	A	22/1/2020 19:40	0,08	26/1/2020 01:50	21,47
	B	22/1/2020 19:40	0,08	26/1/2020 01:50	21,87

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La Norma NTSD establece que el índice de severidad de *flicker* a corto plazo (Pst) debe ser menor o igual a 1. Los valores mínimos cumplen todos, pero en sus valores máximos ninguno cumple.

La Norma NTSD también establece que si los valores, en el tiempo de medición, exceden el valor mayor o igual a 1 en el 5 % del tiempo se considera que el *flicker* ha excedido su valor aceptable. La tabla XXXV muestra los

valores del percentil al 95 %, con lo cual se verifica si el Pst y Plt cumplen con lo anteriormente mencionado.

Tabla XXXV. **Porcentaje de exceso del Pst y Plt**

Sección o área	Línea A		Línea B		Línea C	
	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt
Protecciones/ Subestación	1,097	0,695	1,109	0,714		
Administrativa	1,883	1,654	2,386	2,283		
Líneas de Transmisión/ Metrología	1,239	1,692	1,167	0,6932		
Cafetería/ Comunicaciones	1,339	1,107	1,264	0,828		
Bodegas Regionales	1,100	0,569	1,166	0,682		
Laboratorio de Geotérmica	1,219	0,992	1,309	0,9356		
Taller Eléctrico	9,500	1,182	9,664	0,831	12,730	1,587
Clínicas Médicas	12,610	10,69	12,850	10,83		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Con base en la tabla XXXV, se concluye que en la distorsión a corto plazo (Pst) todas las secciones o áreas exceden el porcentaje permitido; pero es la sección de protecciones/subestación la que más se acerca a cumplir lo

establecido; mientras que las clínicas médicas son la que mayor exceso de *flicker* a corto plazo presentan.

La distorsión a largo plazo (Plt) la cumplen ambas líneas de la sección de protecciones/subestación, las bodegas regionales y el laboratorio de geotérmica. Únicamente la línea B cumple en las secciones de líneas de transmisión/metrología y la cafetería/sección de comunicaciones. En las clínicas médicas es donde se presenta el mayor valor.

4.2.7. Análisis de variaciones de frecuencia

En la tabla XXXVI, se describen los valores obtenidos de variaciones de frecuencia. Presentan poca variación. El más bajo es de 59,79 *Hz* en la sección de protecciones/subestación. El más alto es de 60,13 *Hz*, y corresponde a las bodegas regionales, el laboratorio de geotérmica y el taller eléctrico.

Los valores obtenidos en las mediciones cumplen con lo establecido en la Norma UNE-EN50160-2001.

Tabla XXXVI. **Variaciones de frecuencia**

Sección o área	Mínimo		Máximo	
	Fecha y hora	Valor (Hz)	Fecha y hora	Valor (Hz)
Protecciones/ Subestación	5/12/2019 10:40 5/12/2019 17:20	59,79	5/12/2019 11:10 5/12/2019 18:10	60,13
Administrativa	12/12/2019 09:00	59,91	13/12/2019 01:10	60,11
Líneas de Transmisión/ Metrología	23/12/2019 17:10 25/12/2019 17:10	59,91	21/12/2019 07:10 22/12/2019 13:50 26/12/2019 09:00	60,11
Cafetería/ Comunicaciones	23/12/2019 17:10 25/12/2019 17:10	59,91	21/12/2019 07:10	60,12
Bodegas Regionales	27/12/2019 18:30	59,86	27/12/2019 16:20	60,13
Laboratorio de Geotérmica	27/12/2019 18:30	59,86	27/12/2019 16:20	60,13
Taller Eléctrico	22/01/2020 23:30	59,89	23/1/2020 11:20	60,13
Clínicas Médicas	23/01/2020 01:40 25/01/2020 19:50 28/01/2020 01:40	59,92	22/1/2020 16:00 24/1/2020 08:00 27/1/2020 15:20	60,10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

4.2.8. Resumen calidad de energía

Para el presente estudio, se realiza un resumen de calidad de energía únicamente para 4 tableros de distribución, que corresponden a la sección de protecciones/subestación, Sección administrativa, sección de líneas de transmisión/metrología y el taller eléctrico, respectivamente.

En este, se incluirán parámetros de calidad de energía basados en normas internacionales; únicamente en el tablero del taller eléctrico fueron

incluidos los parámetros de desequilibrio y asimetría para tensión y corriente, debido a que solo se aplican en sistemas trifásicos.

La distorsión armónica individual junto a la total, tanto de voltaje como de corriente de los cuatro tableros resumidos, se muestran en las tablas XLI y XLII, respectivamente.

En la tabla XXXVII, se muestran los parámetros correspondientes del tablero de la sección de Protecciones/Subestación. La potencia demandada, durante el lapso de las mediciones para la línea A, fue 82,33 kWh y para la línea B 75,60 kWh, lo que da un total de 157,93 kWh. Dicho resultado presenta un desbalance bajo.

Tabla XXXVII. **Tablero sección de protecciones/subestación**

Línea	Parámetro	Resultado		Norma utilizada	Cumple
		Mínimo	Máximo		
A	Regulación voltaje	103,24 V	122,04 V	UNE-EN 50160	Solo máximo
B		103,92 V	122,36 V		Solo máximo
General	Calidad de frecuencia	59,79 Hz	60,13 Hz	UNE-EN 50160	Ambos cumplen
General	Factor de potencia	0,75	0,94	GREG 198/97	Solo máximo
A	Factor de Desclasificación	1,20	9,68	ANSI C57.110	No cumple
B		1,07	8,80		No cumple
		Percentil 95%			
A	<i>Flicker</i> Pst	1,10		CEI-868	Exceso leve
B		1,11			Exceso leve
A	<i>Flicker</i> Plt	0,70		CEI-868	Sí cumple
B		0,71			Sí cumple

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

El voltaje se mantiene regulado en los datos máximos. Los registros de frecuencia son correctos siempre- El factor de potencia baja del valor recomendado en pocas ocasiones; el factor de desclasificación indica que, aun con el porcentaje bajo de THD, el transformador instalado permite el paso de armónicos, más de lo normal. El Pst excede el valor permitido por muy poco y el Plt cumple siempre con lo indicado en la norma.

En la tabla XXXVIII, se presentan los parámetros correspondientes del tablero de la Sección Administrativa. La potencia demandada durante el lapso de las mediciones para la línea A fue 42,42 kWh y para la línea B 112,90 kWh, para un total de 155,32 kWh. Por lo que presenta un desbalance alto.

Tabla XXXVIII. **Tablero sección administrativa**

Línea	Parámetro	Resultado		Norma utilizada	Cumple
		Mínimo	Máximo		
A	Regulación voltaje	94,85 V	141,43 V	UNE-EN 50160	Ninguno
B		87,93 V	130,24 V		Solo máximo
General	Calidad de frecuencia	59,91 Hz	60,11 Hz	UNE-EN 50160	Ambos cumplen
General	Factor de potencia	0,75	0,94	GREG 198/97	Solo máximo
A	Factor de Desclasificación	1,28	27,55	ANSI C57.110	No cumple
B		1,31	5,71		No cumple
		Percentil 95%			
A	<i>Flicker</i> Pst	1,88		CEI-868	No cumple
B		2,39			No cumple
A	<i>Flicker</i> Plt	1,65		CEI-868	No cumple
B		2,28			No cumple

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 16.

La regulación de voltaje cumple solamente en su valor máximo en la línea B. La calidad de frecuencia mantiene sus valores correctos en todo momento. El factor de potencia desciende de su valor aceptable en pocas ocasiones; el factor de desclasificación se encuentra muy alto respecto al THD de las líneas, que también son un poco altos, pero sin exceder el valor permitido, por lo que el transformador pueda tener fallos internos. El Pst y el Plt exceden su valor permitido.

En la tabla XXXIX, se presentan los parámetros correspondientes del tablero de la sección líneas de transmisión/metrología. La potencia demandada durante las mediciones para la línea A fue de 67,73 kWh y para la línea B 34,48 kWh, para un total de 102,21 kWh. Presenta un desbalance alto.

Tabla XXXIX. **Tablero sección de líneas de transmisión/metrología**

Línea	Parámetro	Resultado		Norma utilizada	Cumple
		Mínimo	Máximo		
A	Regulación voltaje	94,85 V	141,43 V	UNE-EN 50160	Ninguno
B		87,93 V	130,24 V		Solo máximo
General	Calidad de frecuencia	59,91 Hz	60,11 Hz	UNE-EN 50160	Ambos cumplen
General	Factor de potencia	0,75	0,94	GREG 198/97	Solo máximo
A	Factor de Desclasificación	1,06	15,33	ANSI C57.110	No cumple
B		1,5	2,4		Sí cumple
		Percentil 95 %			
A	<i>Flicker</i> Pst	1,239		CEI-868	Exceso leve
B		1,167			Exceso leve
A	<i>Flicker</i> Plt	1,692		CEI-868	No cumple
B		0,693			Sí cumple

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

El voltaje se mantiene regulado en los datos máximos de la línea B. Los registros de frecuencia son correctos siempre. El factor de potencia baja del valor recomendado en pocas ocasiones; el factor de desclasificación de la línea B si cumple, pero el factor de la línea A es muy alto, debido al desbalance de las cargas. El Pst excede su valor en ambas líneas y el Plt solamente cumple en la línea B.

En la tabla XL, se presentan los parámetros correspondientes del tablero del taller eléctrico. La potencia demandada durante el lapso de las mediciones para la línea A fue de 45,99 kWh; para la línea B, 64,81 kWh y para la línea C, 31,99 kWh, con un total de 142,79 kWh. Presenta un desbalance considerable.

Tabla XL. **Tablero taller eléctrico**

Línea	Parámetro	Resultados		Norma utilizada	Cumple
		Mínimo	Máximo		
A	Regulación voltaje	117,08 V	132,1 V	UNE-EN 50160	Ambos
B		98,79 V	132,9 V		Solo máximo
C		95,17 V	132,9 V		Solo máximo
General	Calidad de frecuencia	59,89 Hz	60,13 Hz	UNE-EN 50160	Ambos cumplen
A	Desequilibrio voltaje	0,01	2,32	UNE-EN 50160	Exceso leve
B		0,00	2,30		Exceso leve
C		0,00	1,89		Sí cumple
A	Asimetría de tensión	0,10	18,06	IEC/TR 61000-3	No cumple
B		0,69	3,49		No cumple
C		0,17	0,49		Sí cumple
A	Desequilibrio corriente	0,00	69,87	UNE-EN 50160	No cumple
B		0,03	76,50		No cumple
C		0,17	146,35		No cumple
A	Asimetría de corriente	0,04	4,56	IEC/TR 61000-3	Sí cumple
B		0,06	0,34		Sí cumple
C		0,03	0,05		Sí cumple
General	Factor de potencia	0,75	0,94	GREG 198/97	Solo máximo

Continuación de la tabla XL

A	Factor de Desclasificación	1,37	1,57	ANSI C57.110	Sí cumple
B		1,46	1,72		Sí cumple
C		1,04	10,94		No cumple
		Percentil 95%			
A	<i>Flicker Pst</i>	9,50		CEI-868	No cumple
B		9,66			No cumple
C		12,73			No cumple
A	<i>Flicker Plt</i>	1,18		CEI-868	Exceso leve
B		0,83			Exceso leve
C		1,59			No cumple

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La regulación de voltaje cumple en ambos casos para la línea A; mientras que las líneas B y C cumplen solamente para los valores máximos. Los registros de frecuencia son correctos siempre. El factor de potencia baja del valor recomendado en pocas ocasiones-La tensión se desequilibra en las primeras dos líneas, lo que excede levemente el límite recomendado. La asimetría de tensión para la línea A es muy alta; para la línea B no es tan alta como la línea A, pero sigue incumpliendo; mientras que la línea C cumple. El desequilibrio de corriente es incumplido en todas las líneas; puede observarse en la sección 4.2.2 que se muestra un desbalance de corrientes muy alto; las corrientes de las tres fases no presentan asimetría que exceda los límites permitidos. El factor de potencia baja del valor recomendado en pocas ocasiones; las líneas A y B cumplen con el factor de desclasificación; mientras que la línea C supera por gran magnitud a las otras dos líneas, debido a la mala distribución de cargas en el sistema eléctrico. Las tres líneas del sistema superan los valores aceptables de Pst; el Plt es excedido levemente en las primeras dos líneas; entre tanto, la última tiene registros correctos siempre.

Tabla XLI. **Armónicos de voltaje**

Área	Línea	Orden de armónico					Cumplen
		H3	H5	H7	H9	THD	
Protecciones/ Subestación	A	1,80	1,95	1,26	1,87	2,92	Todos
	B	1,84	1,98	1,21	1,84	2,96	Todos
Administrativo	A	5,00	2,99	2,84	2,64	7,08	H1 alto
	B	5,96	3,75	0,77	0,68	6,94	H3 y H5 altos
Líneas de Transmisión/ Metrología	A	0,40	1,71	0,82	0,44	2,39	Todos
	B	0,38	1,72	0,79	0,42	2,45	Todos
Taller eléctrico	A	1,25	7,99	1,22	0,46	8,60	H5 y THD altos
	B	1,87	7,26	1,40	0,52	8,44	H5 y THD altos
	C	0,26	7,36	1,17	0,70	7,83	H5 alto

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los armónicos de tensión y de corriente son analizados con base en la Norma IEEE519 Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica.

La sección de protecciones/subestación no presenta exceso de ningún valor de los armónicos; la sección administrativa en la línea A presenta el H3 un valor por encima del límite, mientras que en la línea B el H3 no cumple. El H5 no cumple, pero excede ligeramente el valor permitido. La sección de líneas de transmisión/metrología no presenta exceso de ningún valor de armónicos. El taller eléctrico presenta, en las primeras dos líneas, exceso de H5 y THD, mientras que en la línea C muestra exceso del H5.

Tabla XLII. **Armónicos de corriente**

Área	Línea	Orden de armónico					Cumple
		H3	H5	H7	H9	THD	
Protecciones/ Subestación	A	7,00	2,76	1,44	0,74	7,56	Todos
	B	2,77	1,59	1,10	0,72	3,57	Todos
Administrativo	A	2,00	0,22	0,37	0,36	2,05	Todos
	B	7,99	2,76	0,97	0,46	8,40	Todos
Líneas de transmisión/ Metrología	A	3,18	1,51	1,40	0,52	3,78	Todos
	B	0,56	0,48	0,16	0,27	1,00	Todos
Taller eléctrico	A	0,28	1,32	0,20	0,18	1,54	Todos
	B	0,24	1,10	0,21	0,17	1,29	Todos
	C	6,03	0,53	0,25	0,19	2,18	Todos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 16.

La distorsión armónica de corriente es correcta durante las mediciones realizadas de todas las secciones analizadas en este resumen.

4.2.9. Análisis termográfico

El análisis termográfico es de gran ayuda para determinar deficiencias en la red eléctrica con el fin de prevenir o corregir problemas que puedan causar daños parciales o permanentes en las instalaciones.

4.2.9.1. Detección de fallas

Para detectar fallas termográficas, se utiliza una cámara capaz de capturar termogramas que registran la intensidad de radiación infrarroja y la convierte en una imagen visual. El ojo humano solo es capaz de percibir la radiación electromagnética que genera un espectro de luz visible; la infrarroja y

ultravioleta no es posible visualizarla sin un equipo especial, por estar fuera de los límites de longitud de onda que el hombre es capaz de ver.

4.2.9.2. Causas, tipos y solución de fallas

Algunas de las causas que provocan fallas son las siguientes:

- Conexiones flojas
- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o contactos
- Degradación de los materiales aislantes
- Empalmes sulfatados
- Contactos defectuosos
- Puntos de conexión en mal estado
- Alta resistividad
- Conductores sobre cargados

Entre las fallas eléctricas que pueden suceder por las causas anteriores, se encuentran las siguientes:

- Cortos circuitos: si el transformador u otros dispositivos se calientan más de lo normal, puede que un corto circuito sea el responsable de esto. también pueden presentarse de la misma manera en alimentadores de energía.
- Circuitos abiertos: pueden ser detectados al poseer una temperatura más fría de lo normal, esto se puede considerar que se encuentran en desuso por circuito abierto. Sucede con mayor frecuencia en los inversores, al tener el capacitor dañado.

- Resistencia eléctrica alta: esta es la falla más común de puntos calientes en equipo eléctrico. Cuando la corriente de la línea es casi constante, la resistencia es más alta de lo normal; la potencia adicional se disipa y presenta una anomalía térmica. La caída de potencial aumenta, lo que genera pérdidas de corriente. La temperatura se eleva causando desgaste a equipos y conductores.
- Corrientes inductivas: si las partes de hierro o componentes que experimentan un campo magnético experimentan calentamiento en exceso, las corrientes inductivas son las causantes. Esto puede ocasionar puntos calientes en ubicaciones poco probables como el chasis de elementos estructurales.
- Tierras energizadas: cuando la tierra se energiza, se calienta en extremo y es difícil detectarla directamente por termografía. Defectos en el aislamiento podrían ser los causantes y es posible que se generen corrientes inducidas en elementos cercanos.

Para solucionar o prevenir las fallas, es importante realizar mantenimientos de las instalaciones eléctricas y de los equipos instalados, tales como:

- Verificar el apretamiento de las terminales.
- Comprobar estado de los conductores.
- Comprobar si la instalación está sobrecargada.
- Realizar limpieza externa e interna en las instalaciones y equipos.
- Verificar el correcto funcionamiento de la red de tierras instalada.
- Sustituir los elementos quemados o defectuosos.
- No añadir cargas a las instalaciones, arbitrariamente.

El rango de temperatura, recomendado por la norma para inspección infrarroja de sistemas eléctricos y equipos de rotación, se detalla en la tabla XLIII.

Tabla XLIII. **Rango de temperatura**

Exceso de temperatura (sobre referencia o ambiente)	Orticidad de la falla (según exceso de temperatura)	Observaciones
0 a 10 °C	Incipiente	Los correctivos deberán ser efectuados en el próximo programa de mantenimiento
10 a 20 °C	Pronunciada	El equipo debe colocarse en observación y los correctivos deben ser efectuados cuando el programa lo permita
20 a 40 °C	Severa	Los correctivos deben ser efectuados tan pronto como sea posible
Mayor de 40 °C	Crítica	Los correctivos deben ser efectuados inmediatamente

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

4.2.9.3. **Emisividad**

La cantidad de luz infrarroja que se irradia en una superficie se determina por la eficiencia con que la misma emite energía. Algunos ejemplos de emisión de energía muy eficiente son los materiales no metálicos, la piel humana, entre otros. Mientras que otros son eficientes al momento de irradiar la energía.

Si se calienta una superficie metálica sin ningún material aislante, aumenta levemente la transferencia de calor; debido a esto, es difícil distinguir entre superficies metálicas calientes o tibias. Como los metales poseen baja

emisividad, se recomienda realizar la inspección termográfica sobre el forro aislante del cable, para obtener la medición más cercana a la realidad.

Tabla XLIV. **Emisividad de materiales comunes**

Material	Emisividad (ε)
Aluminio pulido	0,05
Ladrillo común	0,85
Ladrillo refractario basto	0,94
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hormigón	0,54
Cobre pulido	0,01
Cobre negro oxidado	0,88
Cinta aislante, papel negro	0,95
Vidrio	0,92
Barniz, bakelita	0,93
Pintura sintética normal	0,94
Papel negro, mate	0,94
Porcelana vidriada	0,92
Goma	0,93
Acero galvanizado	0,28
Acero muy oxidado	0,88
Agua	0,98

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

4.2.9.4. **Relación corriente y temperatura**

La corriente y la temperatura se relacionan por el efecto Joule. La corriente que circula en un conductor hace que una fracción de la energía cinética sea convertida en calor, provocado por choques que experimentan los átomos del material en que circula la corriente, y aumenta la temperatura.

La potencia de un circuito es el cambio de la carga en unidad de tiempo (la corriente) por la diferencia de potencial (voltaje):

$$P = \frac{dq}{dt} * \Delta V = I\Delta V$$

Donde:

P = es la potencia del sistema, medida en watts.

$\frac{dq}{dt}$ = es el cambio de carga en el tiempo del sistema, medida en coulombs sobre segundos.

ΔV = es el cambio de potencial del sistema, medido en voltios.

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

Cuando la potencia se multiplica por el tiempo, se obtiene la energía o calor que se disipa.

$$Q = P * t$$

Donde:

Q = es la energía o calor desprendido, medido en joules.

P = es la potencia consumida, medida en watts.

t = es el tiempo transcurrido, medido en segundos.

El cambio de potencial puede expresarse, a partir de la ley de Ohm como IR , al sustituirlo en la ecuación de potencia, da como resultado la potencia de pérdida por efecto Joule:

$$P = I(IR) = I^2R$$

Donde:

P = es la potencia del sistema, medida en watts.

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

R = es la resistencia del sistema, medida en ohms.

Al sustituir I^2R por la potencia en la ecuación de la energía, se logra la relación que tiene la corriente con la temperatura.

$$Q = I^2R * t$$

Donde:

Q = es la energía o calor desprendido, medido en joules.

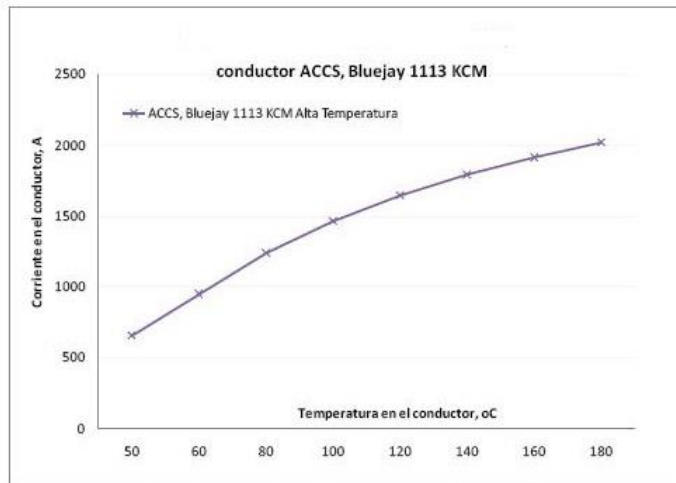
I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

R = es la resistencia del sistema, medida en ohms.

t = es el tiempo transcurrido, medido en segundos.

La forma de crecimiento de la temperatura respecto a la corriente se muestra en la figura 32.

Figura 32. **Relación corriente vs temperatura**



Fuente: CASTELLANOS BUSTAMANTE, Rafael. *Determinación de límites de transmisión en sistemas eléctricos de potencia*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432014000200010. Consulta 2 de septiembre de 2020.

4.2.9.5. **Relación corriente y resistencia**

En la sección 2.1.4, fue descrito que la corriente y resistencia se relacionan, a su vez, con el voltaje. A esta relación, se le conoce como la ley de Ohm. Esta determina que la corriente que fluye en un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado entre dos puntos, e inversamente proporcional a la resistencia del circuito, ambas en forma lineal, siempre que la temperatura se mantenga constante.

La densidad de corriente que es proporcional al campo eléctrico se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$J = \sigma E$$

Donde:

J = es la densidad de corriente, medida en amperios sobre metros cuadrados.

σ = es la conductividad del material, medida en siemens sobre metro.

E = es el campo eléctrico, medido en voltios sobre metros.

Como la corriente es igual a la densidad de corriente por área y el campo eléctrico es igual a el cambio de voltaje por unidad de longitud, la ecuación de corriente puede expresarse de la siguiente manera:

$$I = J * A = (\sigma * E) * A = \sigma \left(\frac{V}{l} \right) A = \frac{\sigma A}{l} * V$$

Donde:

I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

J = es la densidad de corriente del sistema, medida en amperios sobre metros cuadrados.

A = es el área, medida en metros cuadrados.

σ = es la conductividad del material, medida en siemens sobre metro.

E = es el campo eléctrico, medido en voltios sobre metros.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios.

l = es el largo del conductor, medido en metros.

La expresión que acompaña al voltaje es el inverso de la resistencia, también llamado conductancia. Debido a lo anterior, es posible expresar la corriente en términos de resistencia y voltaje con un comportamiento lineal.

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

Donde:

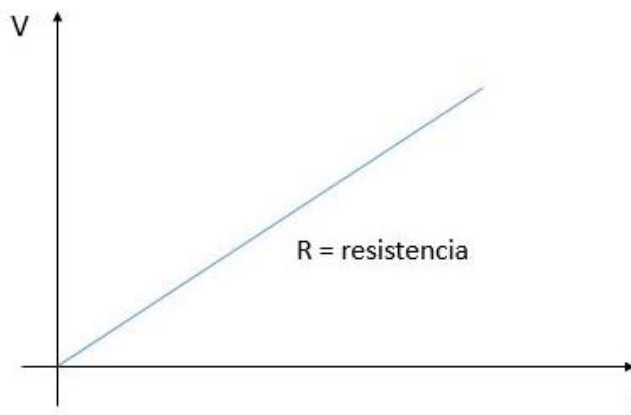
I = es la corriente del sistema, medida en amperios.

V = es el voltaje del sistema, medido en voltios

R = es la resistencia del conductor, medida en ohms.

El comportamiento gráfico de la ley de Ohm es el mostrado en la figura 33.

Figura 33. **Relación entre corriente, resistencia y voltaje**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

4.2.9.6. Efecto de dilatación del conductor a causa de la corriente

Cuando a los conductores se les suministra corriente, es posible que experimenten extensiones al calentarse, lo que provoca alargamiento.

Si se elimina la corriente en un circuito, el conductor que se ha deformado podría tomar su aspecto original; pero si constantemente se reproduce este proceso, el conductor permanecerá de distinta forma a la que tenía inicialmente y no la tendrá de vuelta.

En el caso de los conductores, se produce dilatación lineal que es aquella en que predomina la variación en una sola dimensión. Para el caso de los conductores, será el alargamiento de estos. Matemáticamente, se puede describir la dilatación por la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \alpha * L_1 * \Delta T$$

Donde:

ΔL = es el cambio de longitud del conductor, medida en metros.

α = es el coeficiente de dilatación del material.

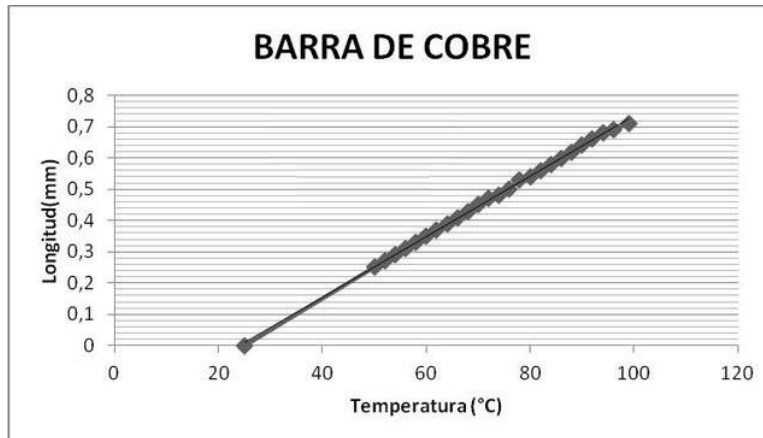
L_1 = es la longitud inicial del conductor, medida en metros.

ΔT = es el cambio de temperatura en el conductor, medida en joules.

Como la anterior ecuación muestra un cambio de temperatura y se sabe que aumenta o disminuye según la corriente, entonces la corriente influye en la dilatación de los conductores.

La forma aproximada de la dilatación del cobre respecto de la temperatura se muestra en la figura 34.

Figura 34. **Dilatación térmica del cobre**



Fuente: MONTERO, German. *Dilatación térmica lineal en metales*. <https://steemit.com/stem-espanol/@germanmontero/dilatacion-termica-lineal-en-metales>. Consulta: 4 septiembre de 2020.

La dilatación se repite mientras se aumente la temperatura, y se contrae conforme se reduzca. Se distorsionan bastante las moléculas del material, esto causa que mantenga la forma actual, sin regresar al estado inicial.

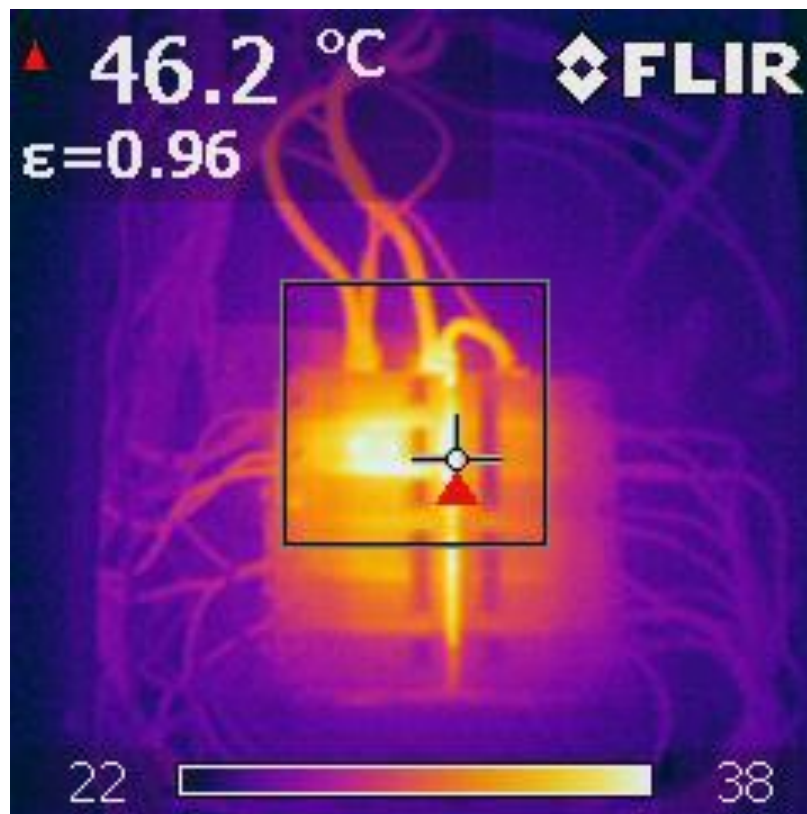
Si la temperatura de un material disminuye demasiado, también experimentará dilatación, y tampoco será posible que vuelva a su forma inicial.

4.2.9.7. Análisis de los tableros de distribución

Se realiza un análisis termográfico, con el objetivo de detectar defectos no visibles directamente por el ojo humano como conductores u otros elementos que posean temperaturas elevadas. Los termogramas analizados fueron capturados por medio de una cámara termográfica Marca FLIR.

El presente estudio fue realizado en los tableros de distribución de los principales servicios auxiliares de mayor consumo eléctrico, dentro de la Subestación Guatemala Sur. Las figuras 35 a la 42 muestran los termogramas capturados:

Figura 35. **Tablero sección de protecciones y subestación**

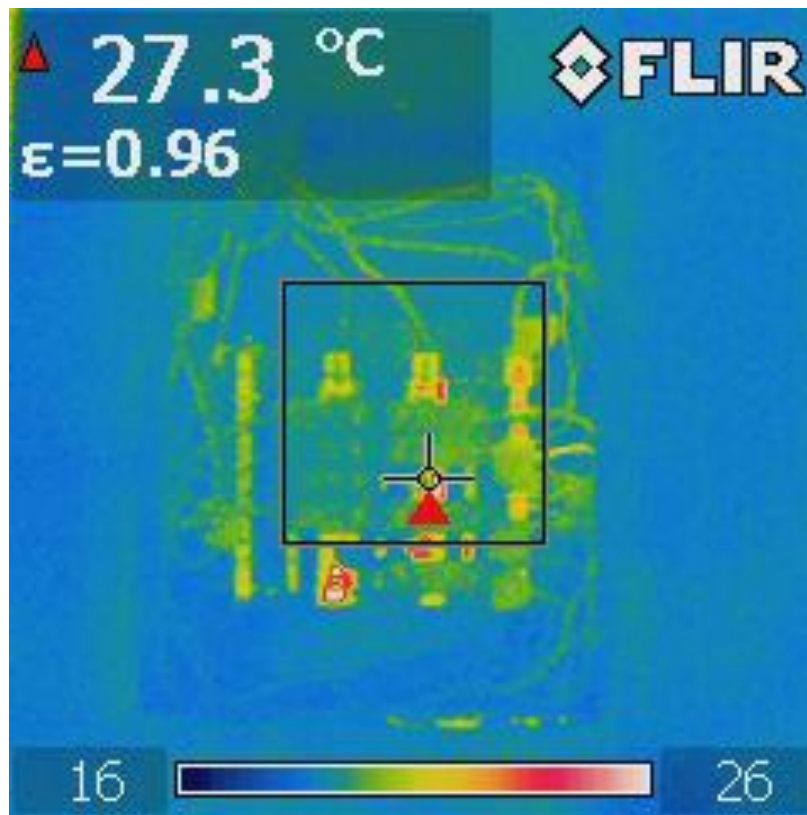


Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 35, se muestra el termograma del tablero de la sección de protecciones/subestación. Se observa que el interruptor No. 3 posee el punto más caliente; las líneas provenientes de los alimentadores se perciben calientes, pero posee menos temperatura que el interruptor mencionado; esto,

debido a que al momento de capturar el termograma se encuentra la mayoría del personal laborando. El resto de los componentes presentan temperaturas aceptables.

Figura 36. **Tablero sección administrativa**

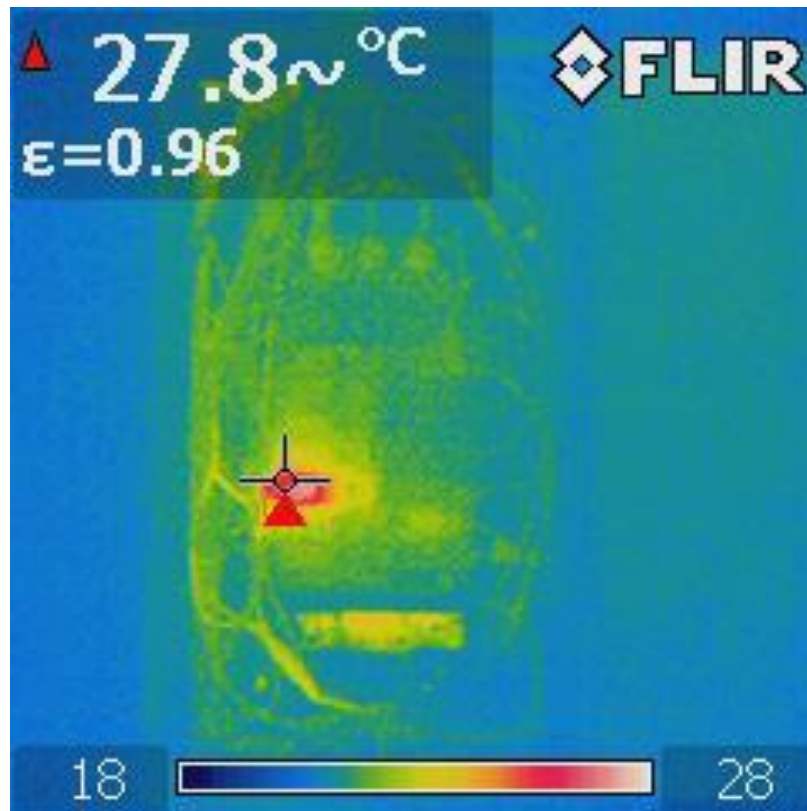


Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 36, se muestra el termograma del tablero de la sección administrativa. Se observa que los puntos calientes están en la barra de neutro y, aproximadamente, en la orilla del interruptor correspondiente al polo 5 que pertenece a un circuito de fuerza, pero la temperatura no se considera alta o

con riesgo de alguna falla, por causa de algún desperfecto térmico. El resto de los componentes presentan valores aceptables.

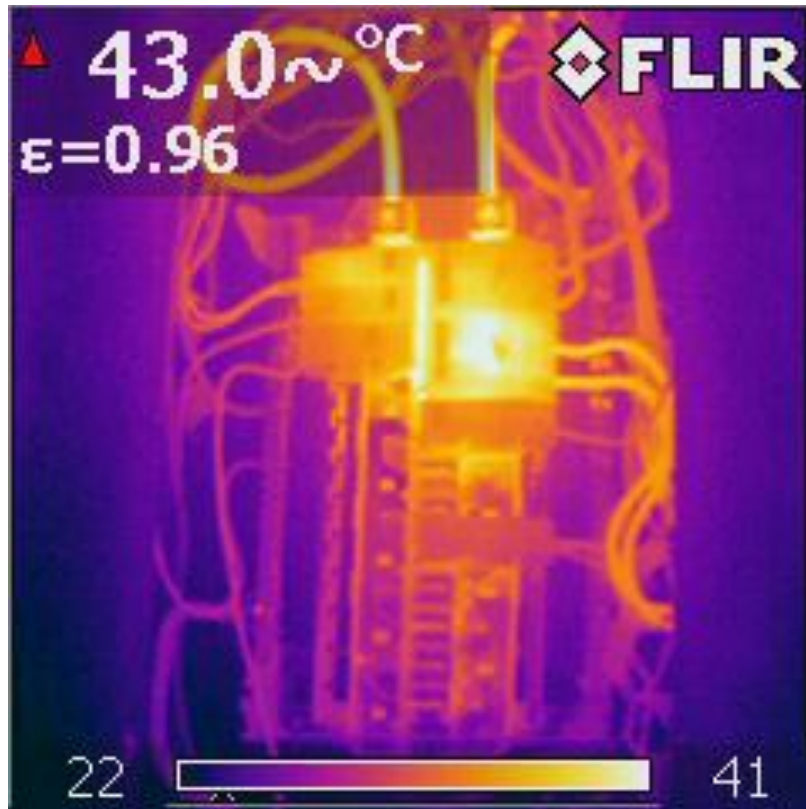
Figura 37. **Tablero sección líneas de transmisión y metrología**



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 37, se presenta el termograma del tablero de la sección de líneas de transmisión/metrología, se analiza que la mayoría de los interruptores y conductores del tablero de distribución no poseen puntos calientes, con excepción del interruptor correspondiente al polo 13, que es propio de un circuito de fuerza.

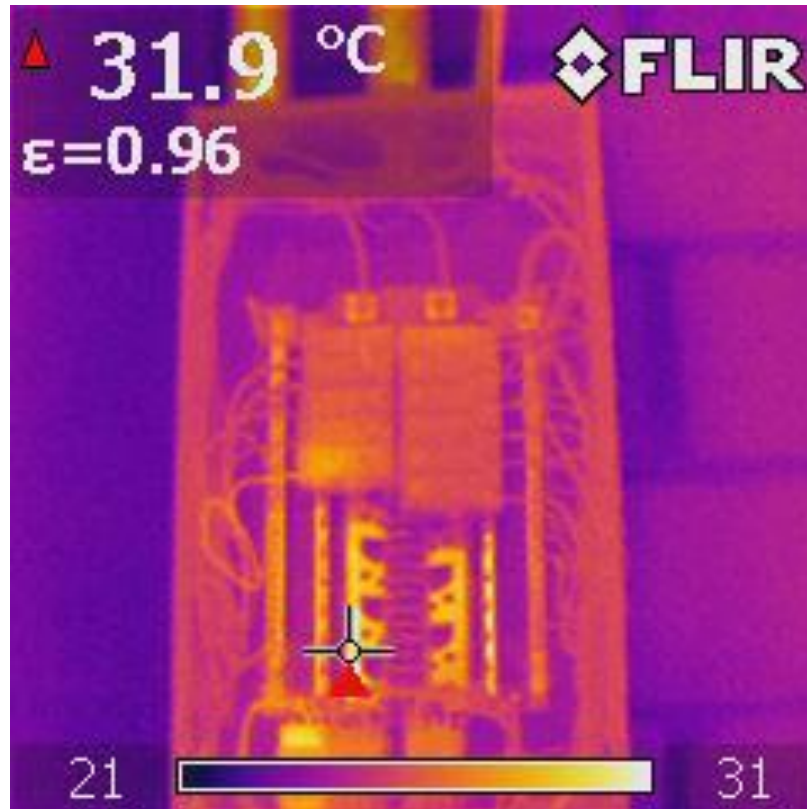
Figura 38. **Tablero cafetería y sección de comunicaciones**



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 38, se muestra el termograma de la cafetería/sección de comunicaciones, se observa que el breaker que corresponde a los polos 6 y 8 es el punto más caliente, los interruptores que corresponden a los polos 1, 2, 4 y las líneas que llegan desde los alimentadores se presentan calientes. Esto, debido al equipo de cocina que se utiliza constantemente dentro de la cafetería.

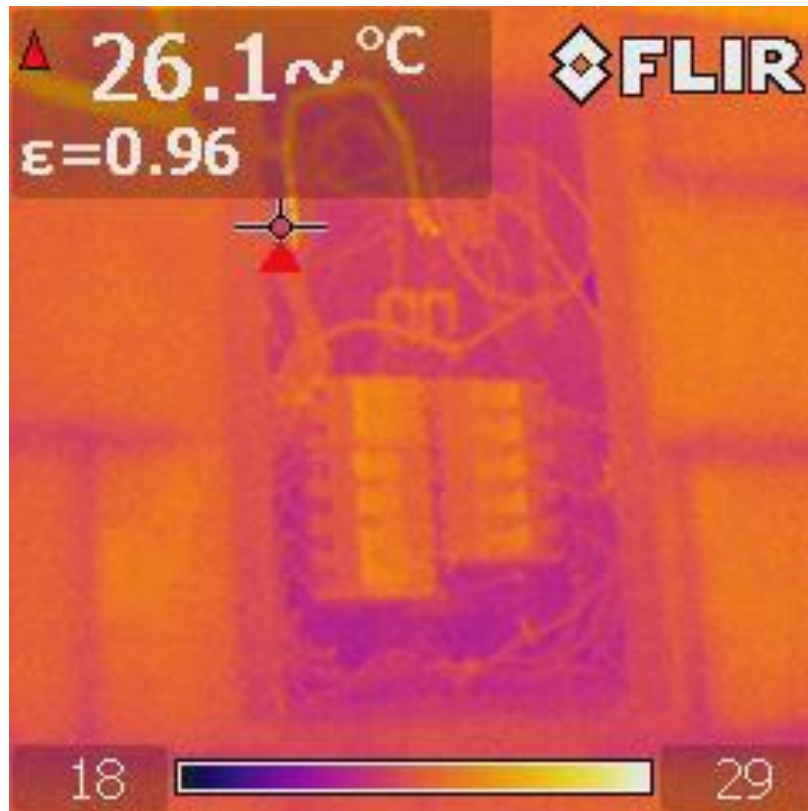
Figura 39. **Tablero bodegas regionales**



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 39, se muestra el termograma del tablero de la bodega regional. Se observa que en dicho tablero no se cuenta con puntos calientes significativos; esto, porque hay pocas oficinas dentro de las bodegas, y la entrada de luz natural hace que no se utilice mucha iluminación artificial. Por otra parte, el consumo dentro de las pocas oficinas con que cuenta la bodega regional es bajo.

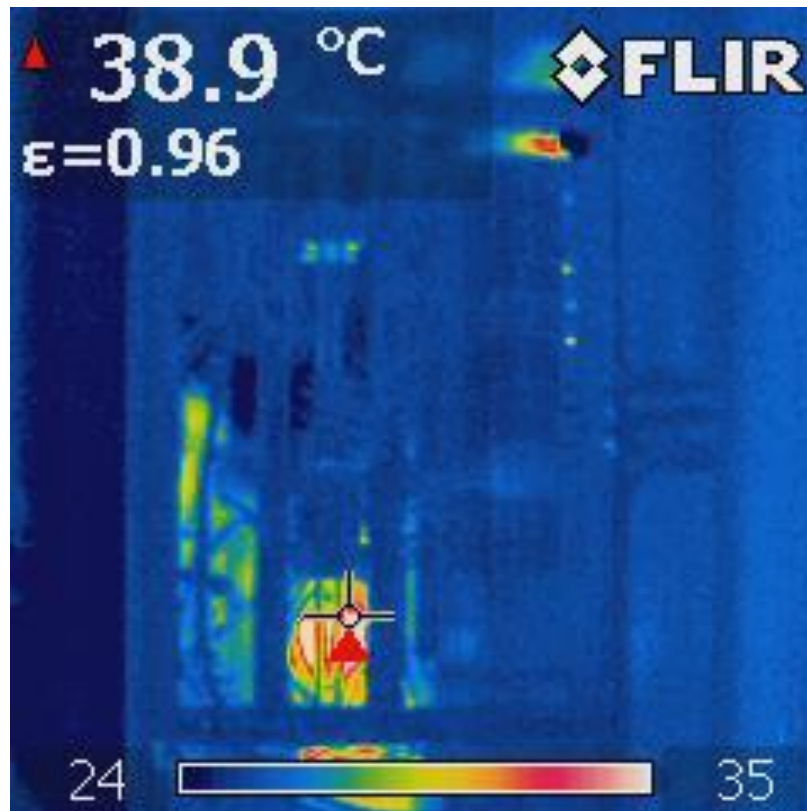
Figura 40. **Tablero laboratorio de geotérmica**



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 40, se muestra el termograma del tablero del laboratorio de geotérmica, se observa que no se poseen puntos calientes importantes en los interruptores ni en los conductores.

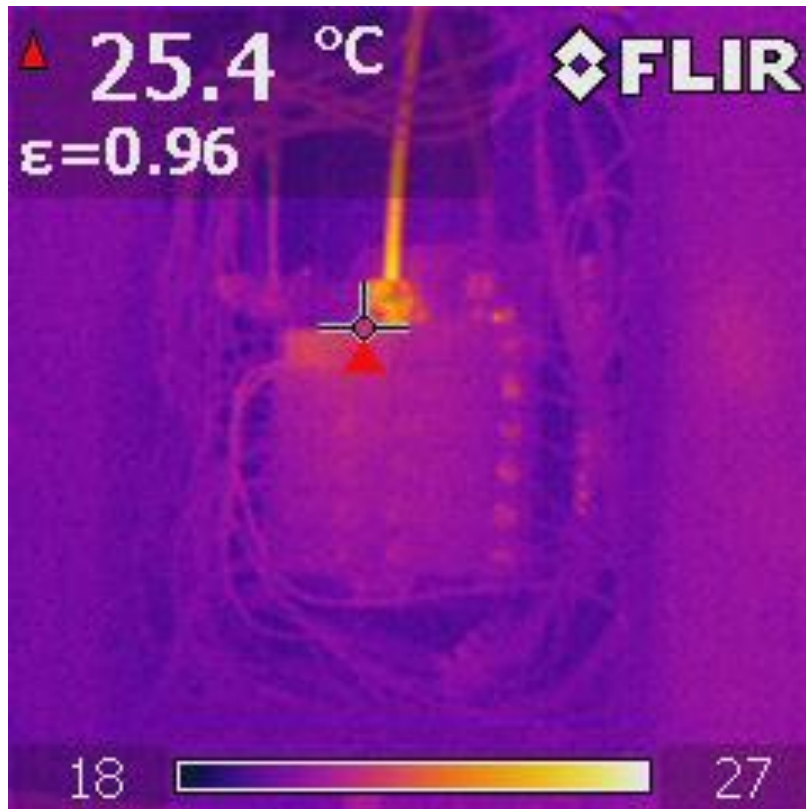
Figura 41. **Tablero taller eléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 41, se muestra el termograma del tablero del taller eléctrico, se observa que no se cuenta con puntos calientes significativos. Lo que se aprecia como puntos calientes es parte del chasis de la caja del tablero.

Figura 42. Tablero clínicas médicas



Fuente: elaboración propia, empleando FLIR QuikReport.

En la figura 42, se muestra el termograma del tablero de las clínicas médicas. Se observa que una de las líneas de alimentación posee el punto caliente, secundado por el interruptor correspondiente al polo No. 1, que tiene la función de proteger parte de la iluminación.

4.3. Propuestas de mitigación

Se presentan las siguientes propuestas de mitigación, basadas en el análisis respectivo de los datos registrados en los parámetros de calidad de energía:

- Se recomienda redistribuir las cargas en cada sección analizada, debido a que algunos tableros de distribución no tienen polos disponibles, lo que ocasiona saturación en los circuitos conectados.
- Verificar que las barras de neutro y de bases no posean óxido o corrosión galvánica. En caso de no poseer algún componente necesario para el buen funcionamiento, realizar la respectiva instalación de este.
- Revisar que los conductores estén debidamente atornillados o enganchados, según sea el caso, en los tableros de distribución.
- Evaluar los conductores e interruptores de las instalaciones eléctricas, que por antigüedad podrían estar averiados. Se debe partir de los que se registran calientes en los termogramas presentados.
- En el caso del factor de potencia, por ser un valor general, su promedio fue aceptable, pero en momentos fue bajo. Se propone evaluar los bancos de capacitores instalados y realizar los respectivos cambios, si fueran necesarios.
- Los armónicos, en la mayoría de las áreas, fueron de valores aceptables. Únicamente, en el taller eléctrico, sobrepasa los valores de la distorsión

armónica total de tensión. Se recomienda evaluar los filtros instalados y realizar las respectivas modificaciones o sustituciones.

- En el caso del *flicker* y la potencia reactiva, en los lugares que se encuentran valores altos de uno o ambos parámetros, se propone instalar un compensador síncrono estático. Este también podría corregir el factor de potencia, si fuera necesario, en las áreas que se instalara.
- Mejorar los hábitos de consumo, para reducir el consumo energético.

5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación actual de los principales servicios auxiliares fue evaluado con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento. Se realizó por medio de la medición de la iluminancia. Se utilizó un luxómetro marca AEMC Instruments en las áreas de trabajo como oficinas, pasillos, bodegas, cocinas, comedores, entre otros.

5.1. Inventario de luminarias

Se llevó a cabo el inventario de luminarias interiores y exteriores, a partir de los datos registrados dentro de las instalaciones de la Subestación Guatemala Sur:

Tabla XLV. **Inventario de luminarias**

Sección/área	Lámparas tipo led 2X40 W (#)	Potencia (VA)
Protecciones/Subestación	27	2 160
Administrativo	29	2 320
Cafetería/Comunicaciones	37	2 960
Laboratorio de Geotérmica	13	1 040
Clínicas Médicas	15	1 200
Estación de gasolina	3	240
Garita	2	160
Líneas de Transmisión/ Metrología	41	3 280
Bodegas Regionales	17	1 360
Superintendencia/control	108	8 640
Taller Eléctrico	58	4 640
Casa de policías	4	320
Total	354	28 320

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

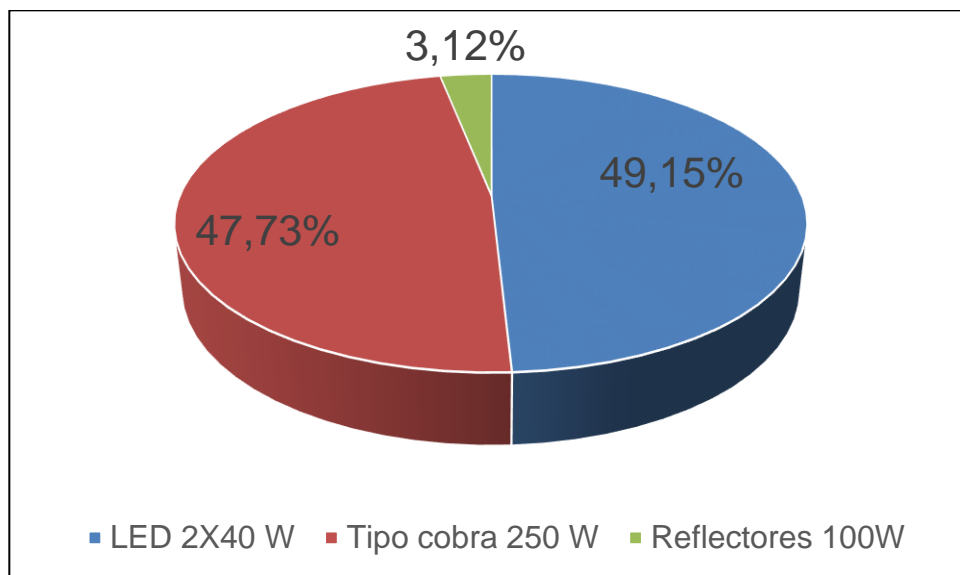
Tabla XLVI. **Inventario de luminarias exteriores**

Iluminación exterior	Lámparas (#)	Potencia (VA)
Lámparas tipo cobra 250 W Fluorescentes	90	27 500
Lámparas reflectores 100 W Tipo led	18	1 800
Total		29 300

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

El total de potencia consumida en iluminación, considerando interiores y exteriores, es de 57 620 VA.

Figura 43. **Consumo de iluminación**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la figura 43, se muestra el porcentaje de consumo que realiza cada tipo de luminarias en la Subestación Guatemala Sur.

5.2. Análisis de las mediciones de iluminación

Las mediciones de iluminancia fueron realizadas en los servicios auxiliares de mayor consumo dentro de la Subestación Guatemala Sur, por medio de un luxómetro marca AEMC INSTRUMENTS digital.

Los datos obtenidos durante las mediciones se comparan con los valores de iluminancia detallados en el anexo 1 y el apéndice 11, recomendados por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, citados en el Acuerdo Gubernativo 229-2014 y sus reformas 33-2016, como también con las normas de la Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norteamérica (IES), que se presenta en el Manual de Iluminación publicado por esta entidad.

Tabla XLVII. **Iluminación sección de protecciones/subestación**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Entrada	510	200-500	100-150-200
Jefatura protecciones	352	500-1000	500-750-1000
Sub Jefatura Protecciones	550	500-1000	500-750-1000
Oficina Lab. de Protecciones	302	500-1000	500-750-1000
Bodegas	269	200-500	200-300-500
Jefatura Subestación	834	500-1000	500-750-1000
Subestación Oficina II	418	500-1000	500-750-1000
Baños	283	100-150	50-75-100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla XLVII corresponde al nivel de iluminancia de la sección de Protecciones/Subestaciones. Se observa que la mayoría de los resultados

están dentro de los rangos recomendados. Algunas áreas se encuentran un poco por debajo del rango especificado, pero no muestran mayor relevancia.

Tabla XLVIII. **Iluminación sección administrativa**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Entrada	239	200-500	100-150-200
Recepción	228	200-500	100-150-200
Jefatura	342	500-1000	500-750-1000
Viáticos	637	500-1000	500-750-1000
Oficina contigua a viáticos	291	500-1000	500-750-1000
Sala de Sesiones	703	200-500	200-300-500
Secretaría Compras	693	500-1000	500-750-1000
Secretaría Protecciones	444	500-1000	500-750-1000
Encargada de RRHH	177	500-1000	500-750-1000
Auxiliar de compras	147	500-1000	500-750-1000
Combustibles	115	500-1000	500-750-1000
Jefe de compras	409	500-1000	500-750-1000
Fondo fijo	546	500-1000	500-750-1000
Corredores	232	100-150	100-150-200
Baños	239	100-150	50-75-100

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 16.

La tabla XLVIII corresponde al nivel de iluminancia de la sección administrativa. Se observa que en algunas oficinas el valor medido se encuentra un poco por debajo o por encima del valor recomendado.

Los datos registrados no exceden por mucho lo recomendado para determinar una diferencia importante, pero en el caso de las oficinas de

Recursos Humanos, Auxiliar de Compras y Combustibles, estos mantienen un nivel bastante bajo.

Tabla XLIX. **Iluminación sección de líneas de transmisión/metrología**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Entrada	410	200-500	100-150-200
Jefatura líneas	591	500-1000	500-750-1000
Subjefatura líneas	545	500-1000	500-750-1000
Bodega de la Subjefatura	125	200-500	200-300-500
Cubículos sección Líneas	342	500-1000	500-750-1000
Cocina Líneas	494	200-500	200-300-500
Oficina contigua a cocina	295	500-1000	500-750-1000
Baño mujeres	348	100-150	50-75-100
Baño hombres	260	100-150	50-75-100
Corredor líneas	346	100-150	100-150-200
Jefatura Metrología	328	500-1000	500-750-1000
Subjefatura Metrología	250	500-1000	500-750-1000
Cubículos Metrología	127	500-1000	500-750-1000
Corredor Jefatura	281	100-150	100-150-200
Bodega Metrología	209	200-500	200-300-500
Cubículos Bodega Metrología	140	500-1000	500-750-1000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla XLIX corresponde al nivel de iluminancia de la sección de líneas de transmisión/metrología. Se observa que en la sección de Líneas de Transmisión se cuenta con valores aceptables, incluso un poco por encima del rango recomendado; esto se debe a que se cuenta con ingreso de luz natural, lo que ocasiona que el luxómetro mida un valor mayor que lo emitido por las lámparas instaladas. La sección de Metrología presenta valores un tanto por

debajo de lo recomendado, al ser un lugar más cerrado, sin mucha iluminación natural.

Tabla L. **Iluminación cafetería/sección de comunicaciones**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Cocina	116	1500-2000	1000-1500-2000
Mesas	260	1500-2000	1000-1500-2000
Baño de personal cafetería	50	100-150	50-75-100
Bodega de cafetería	65	200-500	200-300-500
Oficinas Comunicaciones	243	500-1000	500-750-1000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla L corresponde al nivel de iluminancia de la cafetería/sección de comunicaciones. Para la cafetería, en el área de mesas, se cuenta con luminarias en cada mesa. Algunas de estas no funcionan, por lo que la medición muestra datos bajos, pero en las horas de desayuno y almuerzo, que es cuando la mayor parte del personal se hace presente, la luz natural ingresa al lugar, por lo que no es imprescindible el uso de la luz artificial. La Sección de Comunicaciones presenta valores de iluminancia bajos.

Tabla LI. **Iluminación bodega regional**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Corredor y entrada	243	200-500	100-150-200
Jefatura	360	500-1000	500-750-1000
Oficinas	271	500-1000	500-750-1000
Bodega en área oficinas	118	200-500	200-300-500
Cocina	167	200-500	200-300-500
Baños	47	100-150	50-75-100
Cuarto de bodega	1151	200-500	200-300-500

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LI corresponde al nivel de iluminancia de la bodega regional. Presenta valores un tanto por debajo del rango recomendado, sin ocasionar diferencia significativa. Para el caso del cuarto de bodega, que es el lugar en donde se almacenan los dispositivos, materiales y equipo adquiridos por la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE), posee un gran ingreso de luz natural, por lo que el valor medido es muy elevado, sin ocasionar problema en el desempeño del personal.

Tabla LII. **Iluminación laboratorio de geotérmica**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Entrada	452	200-500	100-150-200
Laboratorio de la entrada	1884	500-1000	500-750-1000
Laboratorio contiguo a la entrada	317	500-1000	500-750-1000
Laboratorio principal	457	500-1000	500-750-1000
Laboratorio del fondo	315	500-1000	500-750-1000
Laboratorio contiguo al fondo	270	500-1000	500-750-1000
Baños	47	100-150	50-75-100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LII corresponde al nivel de iluminancia del laboratorio de geotérmica. Se observan valores aceptables, ya que existen equipos o dispositivos que, al realizar tareas propias del laboratorio, poseen luces incorporadas para un mejor desempeño en cada proceso.

Tabla LIII. **Iluminación taller eléctrico**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Jefatura y Subjefatura	586	500-1000	500-750-1000
Gradas hacia Jefatura	264	150-200	100-150-200
Bodega primer nivel	97	200-500	200-300-500
Área de trabajo taller	697	200-500	200-300-500
Área de bancos	1172	200-500	200-300-500
Salida a patio	4300	100-150	100-150-200
Salida a parqueo	6500	100-150	100-150-200
Baños	590	100-150	50-75-100
Gradas hacia el sótano	215	150-200	100-150-200
Cocina	213	200-500	200-300-500
Vestidor	214	200-500	200-300-500
Pasillos sótano	130	100-150	100-150-200
Sótano fondo	251	200-500	200-300-500
Cuarto planta de emergencia	123	150-200	100-150-200

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LIII corresponde al nivel de iluminancia del taller eléctrico. Se observa que, en la mayoría de las áreas, las mediciones están dentro del rango de los valores recomendados, a excepción de la bodega del primer nivel que se encuentra un tanto bajo. En las salidas, áreas de trabajo y bancos presentan iluminancia alta, debido a que la infraestructura del taller eléctrico está compuesta de diversos ingresos de luz natural.

Tabla LIV. **Iluminación clínicas médicas**

Ambiente	Iluminancia (lx)		
	Medida	Recomendada	
		AG 229-2014	Manual IES
Recepción	201	200-500	100-150-200
Oficina Dental	168	500-1000	500-750-1000
Clínica Dental	378	1500-2000	1000-1500-2000
Laboratorio Dental	102	500-1000	500-750-1000
Comedor	667	200-500	200-300-500
Bodega	55	200-500	200-300-500
Baños dental	130	100-150	50-75-100
Enfermería 1	154	1500-2000	1000-1500-2000
Enfermería 2	274	1500-2000	1000-1500-2000
Clínica Médica	293	1500-2000	1000-1500-2000
Baño Clínica Médica	336	100-150	50-75-100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LIV corresponde al nivel de iluminancia de las clínicas médicas. Se observa un nivel un tanto bajo en algunas áreas, como las enfermerías y la Clínica Dental. Esto puede compensarse con las luces incorporadas que poseen los equipos médicos, que al momento de utilizarse aumentan el nivel de iluminancia.

5.3. **Propuestas de mitigación**

A partir de los datos expuestos en las tablas de la XLVII a la LIV con sus respectivas observaciones y análisis, se plantean las siguientes propuestas para mitigar problemas:

- Utilizar las luminarias, solamente si es necesario, al tener presencia de luz natural en el área de trabajo y apagarlas al momento de abandonar el área, si no hay más personas en el lugar.
- Sustituir las luminarias quemadas o que funcionan incorrectamente, como en el caso de la cafetería, donde se observó que algunas no realizaban su labor correctamente.
- Verificar siempre que todas las luminarias se encuentren funcionando correctamente, sin *flicker* o pérdida de potencia. Cualquier anomalía reportarla con las respectivas autoridades o jefaturas.
- Cambiar de posición escritorios, muebles, equipos o cualquier objeto en que se realice cualquier actividad laboral, si se presentan sombras, fatiga visual o cualquier otra anomalía que afecte al personal.
- Debido a la ergonomía del lugar, si no es posible que los equipos, escritorios o instrumentos de trabajo puedan ser trasladados a posiciones de mejor aprovechamiento de la luz artificial o natural, se recomienda aumentar la iluminación en las áreas que presentan niveles muy por debajo de los que recomienda el Acuerdo Gubernativo 229-2014 y el Manual de Iluminación de la IES. Reevaluar los niveles en donde corresponda.
- Elaborar un plan de limpieza constante, debido a posibles capas de polvo impregnadas en las luminarias o en el vidrio difuminante que se coloca en el cielo falso, porque estas capas de polvo o suciedad ocasionan que no lleguen los luxes necesarios a las áreas de trabajo.

- Remover pintura ya deteriorada por el paso del tiempo, pues puede degradar la propagación de la iluminación. Se recomienda utilizar colores claros en el techo y paredes que posean colores oscuros.
- En el caso de los baños, que según las tablas de resultados poseen un efecto bajo o alto, en relación con los valores recomendados, es necesario un ajuste a la iluminación. Si se cuenta con un nivel alto, podría ocasionar un consumo de energía menos necesario, aun con el poco tiempo que el personal permanece en ellos.
- Verificar el correcto funcionamiento de los interruptores e instalaciones eléctricas de las luminarias.

6. DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se realizó una revisión a la instalación eléctrica del taller eléctrico de la Subestación Guatemala Sur, desde la alimentación.

6.1. Transformador

Se conoce como transformador a los dispositivos, también llamados máquinas estáticas, que a partir de un nivel de voltaje este es convertido a otro nivel de voltaje distinto, por medio de efectos de un campo magnético. La corriente cambia inversamente proporcional al voltaje, y la potencia se mantiene constante en ambos niveles.

Una de las causas que ocasionan pérdidas en los transformadores es la presencia de armónicos. Estos producen aumento de pérdidas por histéresis y de Foucault; lo que incrementa la temperatura de funcionamiento, por lo tanto, reduce su vida útil.

Los transformadores que experimentan armónicos se van desclasificando o perdiendo la capacidad de funcionar, sin generar aumento de temperatura que exceda los niveles normales.

Los servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur son alimentados a partir del suministro eléctrico de dos bancos de transformación de 13800/220 V, con capacidad de 200 kVA cada uno. Estos reciben su alimentación de los devanados terciarios de los bancos de transformación de 13,8/69 kV, que se identifican dentro de la subestación como bancos de transformación 1 y 2.

6.1.1. Descripción de transformador

Para el caso del taller eléctrico, los dos bancos de transformación de 13800/200 voltios alimentan un transformador trifásico tipo seco, marca Eaton Culter-Hammer de 220/480 V configuración delta-estrella, con capacidad de 225 kVA, instalado como elevador de voltaje. Este se encarga de suministrar de energía eléctrica a las filtradoras del taller eléctrico y la del patio.

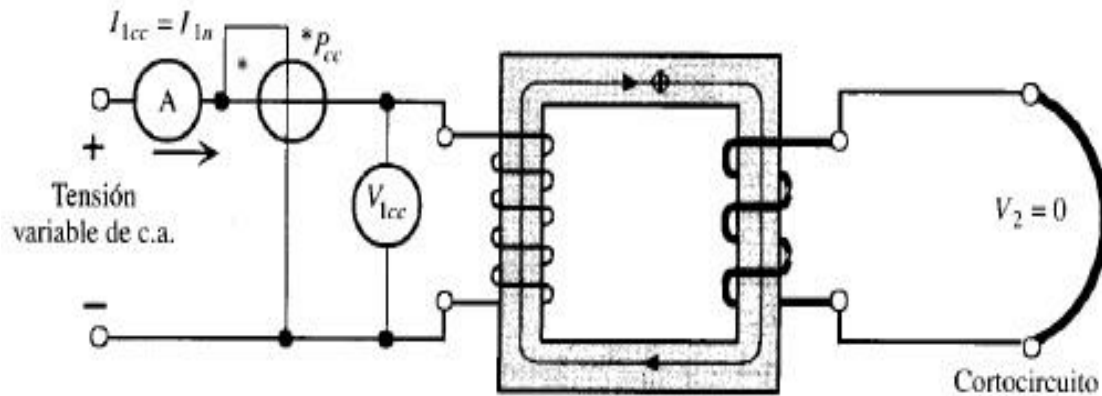
El transformador mencionado también alimenta a un transformador trifásico tipo seco, marca Eaton Culter-Hammer de 480/220 V, configuración delta-estrella, con capacidad de 30 kVA, instalado como reductor de voltaje. Se encarga de suministrar la energía eléctrica utilizado en la instalación restante del taller eléctrico.

6.1.2. Prueba de corto circuito del transformador

Para realizar esta prueba, uno de los devanados se cortocircuita a propósito; y en el otro devanado, se inyecta un voltaje nulo que será aumentado progresivamente, hasta que se genere en los devanados la corriente correspondiente a la plena carga.

La tensión que se aplica para esta prueba es aproximadamente de 3 a 10 % del valor nominal. Esto causa que el flujo en el núcleo sea pequeño y que las pérdidas en el hierro sean casi nulas. La potencia que absorbe el cortocircuito coincide con las pérdidas que se originan en el cobre, lo que facilita determinar el valor de estas.

Figura 44. Circuito eléctrico de ensayo de cortocircuito



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Máquinas Eléctricas*. p. 190.

La figura 44 muestra esquemáticamente la forma de colocar los equipos de medición para la prueba del cortocircuito. Mediante esta prueba se determina la impedancia total del transformador, pero no de qué forma está distribuida en cada devanado. Puede realizarse cortocircuitando cualquiera de los dos devanados y alimentando el restante indistintamente. Generalmente es realizada en el devanado de menor capacidad, para reducir el riesgo de accidentes.

Por disposiciones internas de la institución, no fue posible realizar físicamente la prueba de cortocircuito al transformador descrito en la sección anterior.

La corriente de cortocircuito en los bornes del secundario del transformador, por el método de barra infinita, para un sistema trifásico, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{I_{pc}}{Z}$$

Donde:

I_{cc} = es la corriente de cortocircuito, medida en amperios.

I_{pc} = es la corriente a plena carga, medida en amperios.

Z = es la impedancia del sistema, medida en ohms.

La corriente de plena carga para un sistema trifásico se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$I_{pc} = \frac{P_n}{V_{l-l}}$$

Donde:

I_{pc} = es la corriente a plena carga, medida en amperios.

P_n = es la potencia nominal, medida en kilo voltios-amperios.

V_{l-l} = es el voltaje de línea a línea, medido en kilo voltios.

La placa del transformador del taller eléctrico indica los siguientes valores: Potencia nominal: 30 kVA, voltaje línea-línea: 220 V e impedancia: 0,0769 Ω . Al aplicar la ecuación descrita del método de barra infinita, se tienen los resultados de corriente de plena carga de 78,73 A. Finalmente, la corriente de cortocircuito es 1023,79 A.

Por medio del teorema de Fortescue (componentes simétricas), se simplifica el análisis de sistemas trifásicos desbalanceados.

Si se tienen las componentes I_a , I_b y I_c de un sistema trifásico, por medio del teorema de Fortescue, el sistema se representa de la siguiente manera:

$$I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

Donde:

I_a^0 = es la corriente de secuencia cero, medida en amperios.

I_a = es la corriente de la fase A, medida en amperios.

I_b = es la corriente de la fase B, medida en amperios.

I_c = es la corriente de la fase C, medida en amperios.

$$I_a^+ = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

Donde:

I_a^+ = es la corriente de secuencia positiva, medida en amperios.

I_a = es la corriente de la fase A, medida en amperios.

I_b = es la corriente de la fase B, medida en amperios.

I_c = es la corriente de la fase C, medida en amperios.

a = es el valor de la unidad desfasada 120° eléctricos.

a^2 = es el valor de la unidad desfasada 240° eléctricos.

$$I_a^- = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

Donde:

I_a^- = es la corriente de secuencia negativa, medida en amperios.

I_a = es la corriente de la fase A, medida en amperios.

I_b = es la corriente de la fase B, medida en amperios.

I_c = es la corriente de la fase C, medida en amperios.

a = es el valor de la unidad desfasada 120° eléctricos.

a^2 = es el valor de la unidad desfasada 240° eléctricos.

Los valores de corriente mencionados en las 3 expresiones han sido referidos a la fase A. Según los datos del analizador de red, el 23 de enero de 2020 a las 13:40 sucedió el mayor desbalance de cargas; tuvo valores de corriente de 5,42 A, 4,29 A y 55,08 A, para las líneas A, B y C, respectivamente.

Al realizar los cálculos correspondientes, se determinó: 21,59 A, con un desfase de 0° para la corriente de secuencia cero; 16,74 A, con un desfase de $241,12^\circ$ para la corriente de secuencia positiva y 16,74 A, con un desfase de $118,88^\circ$, para la corriente de secuencia negativa. La suma vectorial de las corrientes de cada secuencia da como resultado el desbalance de corriente del sistema; para este caso, el valor es de 5,41 A, con un desfase de 0° .

6.2. Tablero

Se le llama tablero eléctrico a un gabinete o panel metálico que se utiliza para instalar y proteger los dispositivos, ya sean de control como de mando de cualquier instalación eléctrica, desde un circuito residencial sencillo, instalaciones industriales, hasta lo más sofisticado en tecnología.

El tablero del taller eléctrico se encuentra instalado dentro de un panel marca ABB, con grado de protección de fijación mural IP65, modelo SR12830. Las dimensiones del panel son: 80 centímetros de ancho, 120 centímetros de alto y 30 centímetros de profundidad. Cuenta con una puerta que puede girar hasta 120 grados.

Los criterios para la selección del gabinete o tablero eléctrico son los siguientes:

- Capacidad física: número de polos y espacios, debe tener el 30% extra de reserva. El tablero de distribución del taller eléctrico tiene la capacidad de 24 polos, que actualmente están ocupados en su totalidad, distribuidos en 12 interruptores. Estos se detallan en la sección 6.3.3. Posee una barra donde están instalados 4 contactores junto con una bornera que corresponde a las alarmas.
- Voltaje del sistema: para el caso del taller eléctrico, el voltaje es de 220 V.
- Capacidad de barras: la capacidad de las barras es estimada en la sección 6.2.1, las cuales son de 400 A, que coinciden con las que tiene instaladas actualmente.
- Interruptor principal: no se cuenta con un interruptor o breaker principal entre la salida del transformador y los ramales del tablero. Como la corriente nominal del transformador es 78,73 A, este valor se multiplica por un factor de 1,25, del cual se obtiene un valor de 146,45 A. Con el dato anterior, se sugiere colocar un panel entre el transformador y el panel del taller eléctrico, con un interruptor de 3X100 A de 400 V para proteger la instalación eléctrica.

Como actualmente se encuentra sin espacios disponibles, se recomienda retirar los interruptores en desuso y los que tienen un polo vacío, para instalar los indicados en la sección 6.2.2. Es posible continuar utilizando el mismo panel, debido a que con el redimensionamiento propuesto en las siguientes secciones se tuvo un total de 17 polos ocupados (incluyendo el interruptor principal). Como se debe considerar el 30 % de espacios de reserva por crecimiento de carga, se requiere un total de 23 polos. El panel actual cumple

con las características necesarias para operar de manera eficiente, luego de las modificaciones.

6.2.1. Barras

Las barras son conductores de baja impedancia, en el que se conectan los circuitos eléctricos como un punto en común de la instalación eléctrica. Soportan diferentes tipos de amperaje según su grosor, ancho y largo.

Las barras que se tienen en uso en la instalación eléctrica dentro del panel del taller eléctrico son: barras de cobre de 32 x 5 mm, con capacidad de 400 amperios.

Para dimensionar las barras a instalar, se debe determinar la corriente permanente de la red por un factor de corrección, adecuado a la temperatura ambiente.

$$I_{perm} = I_n * Fc$$

Donde:

I_{perm} = es la corriente permanente de la red, medida en amperios

I_n = es la corriente nominal entregada por el transformador de distribución, medida en amperios.

Fc = es el factor de carga según la temperatura ambiente.

Para el caso de los sistemas trifásicos, debe multiplicarse la corriente por 3 y el factor de carga suele ser de 1,29.

Al realizar el cálculo correspondiente, se determina una corriente permanente de 304,68 A. Por lo tanto, una barra de cobre de 32X5 mm que corresponde a 400 A, según la tabla de la norma EN 13601, coincide con la barra instalada en el tablero de distribución del taller eléctrico.

6.2.2. Interruptores

Los interruptores, comúnmente llamados breaker o interruptores termomagnéticos, son dispositivos de protección cuya función principal es interrumpir la circulación de corriente, cuando existe una sobrecarga o cualquier falla que supere la capacidad del interruptor.

Tabla LV. **Interruptores conectados al tablero del taller eléctrico**

Cantidad	Marca	Tipo	Polos	Corriente nominal	Voltaje máximo
3	ABB	S202P-C20	2	20 A	400 V
2	ABB	S202P-C32	2	32 A	400 V
1	ABB	S202-C50	2	50 A	400 V
1	ABB	S203P-C20	3	20 A	400 V
1	ABB	S201P-C20	1	20 A	400 V
2	ABB	S201P-C16	1	16 A	400 V
1	ABB	S203P-C40	3	40 A	400 V
1	ABB	S202P-C50	2	50 A	400 V

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LV muestra las características de fábrica de los interruptores que se encuentran conectados en el tablero de distribución del taller eléctrico.

Para seleccionar las características de cada interruptor que debe instalarse dentro del tablero eléctrico, es necesario, principalmente, conocer la

corriente nominal de la carga, al considerar los respectivos factores de corrección que se conecta en cada interruptor. La corriente debe ser multiplicada por 1,25, con el fin de evitar saturación de corriente para que cada circuito no sobre pase la capacidad del interruptor. Deben considerarse el voltaje de la red que brinda el transformador de distribución correspondiente y el número de polos. La estimación de la corriente nominal de cada uno se detalla en la sección 6.2.4. En la tabla LVI se muestran los tipos de cargas que protegen los interruptores actualmente.

Tabla LVI. **Interruptores actuales**

Breaker	Carga	Tipo de interruptores
		Actual
1	Fuerza taller	2X20 A
	Iluminación entrada	
2	Fuerza oficinas	2X20 A
	Fuerza sótanos	
3	Iluminación exterior	2X32 A
	Iluminación sótano	
4	Esmeril y compresor	2X50 A
5	Iluminación oficinas	2X32 A
6	Desuso	3X20 A
7	Fuerza bancos	1X20 A
8	Desuso	1X16 A
9	Desuso	1X16 A
10	Grúa (trifásica)	3X40 A
11	Soldadora	2X50 A
12	Iluminación taller	2X20 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los primeros 3 interruptores poseen dos tipos de cargas que no deberían instalarse de esa manera; en su lugar, cada circuito deberá tener un interruptor individual. Los interruptores 4, 11 y 12 poseen dos polos, de los cuales solo uno se utiliza actualmente; se propone utilizar uno para cada circuito. Los demás poseen la cantidad de polos adecuados, según los elementos que alimentan, sin tomar en cuenta los interruptores que no tienen cargas conectadas.

Luego de realizar los cálculos respectivos con base en las corrientes estimadas en la sección 6.2.4, se detalla en la tabla LVII el redimensionamiento de los interruptores:

Tabla LVII. Interruptores propuestos

Breaker	Carga	Tipo de Interruptores
		Propuesto
Principal	Tablero general	3X100 A
1	Fuerza taller	1X20 A
2	Iluminación entrada	1X20 A
3	Fuerza oficinas	1X20 A
4	Fuerza sótanos	1X20 A
5	Iluminación exterior	1X32 A
6	Iluminación sótano	1X32 A
7	Esmeril y compresor	1X50 A
8	Iluminación oficinas	1X20 A
9	Fuerza bancos	1X16 A
10	Grúa (trifásica)	3X40 A
11	Soldadora	2X32 A
12	Iluminación taller	1X20 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

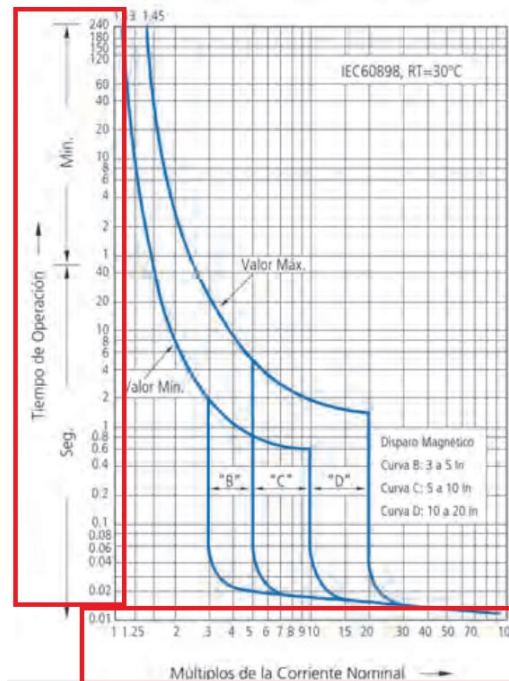
Con el redimensionamiento propuesto, se ahorran espacios ocupados sin uso y se independizan circuitos que estaban conectados en un mismo interruptor.

6.2.3. Curva de disparo de interruptores

Las curvas de disparo brindan información del tiempo en que se dispara un interruptor, en función de la corriente que sobrepase el valor nominal. Constan de dos partes:

- Disparo de protección contra sobrecarga: llamado de disparo térmico. Es el tiempo de disparo que será más corto mientras la corriente sea más alta.
- Disparo de protección contra cortocircuitos: llamado de disparo magnético: Es el tiempo de disparo menor a 10 milisegundos, si sobrepasa el umbral.

Figura 45. **Curvas de disparo tipo B, C y D**



Fuente: TOLOCKA, Ernesto. *Entendiendo las curvas de disparo de los Interruptores automáticos*. <https://www.profetolocka.com.ar/2019/04/18/entendiendo-las-curvas-de-disparo-de-los-interruptores-automaticos/>. Consulta: mayo 2020.

Según las necesidades de un circuito por el tipo de cargas que se alimentan, así debe ser el tipo de curva de disparo requerida en los interruptores. Existen del tipo B, C, D, MA y Z. Para el caso del taller eléctrico, todos los interruptores poseen curva de disparo tipo C.

Los interruptores con curva tipo C poseen una respuesta de disparo entre 3,85 y 8,80 veces la corriente nominal. Se utiliza para la protección de cables que alimentan equipos más comerciales, industriales o para iluminación. Los umbrales magnéticos están entre 5 y 10 veces la corriente nominal.

6.2.4. Conductores

Un conductor eléctrico es cualquier material que presenta poca resistencia al flujo de electrones. La estructura atómica del material facilita el movimiento de estos, y da ventaja a la transmisión de electricidad.

Según la necesidad que exijan las cargas dentro de los circuitos, se utilizan diferentes calibres y estructuras de los conductores para que no existan sobrecalentamientos, fallas o se reduzca su tiempo de vida por no utilizar el conductor adecuado.

Para la instalación eléctrica del taller eléctrico, en la salida del transformador trifásico que alimenta el tablero de distribución, se tiene conductores en las fases y neutro de calibre 1/0 AWG THHW, que soportan hasta 150 amperios. En las salidas de los interruptores, la mayoría de los conductores instalados hacia los respectivos ramales son de calibre 12 AWG THHW. Estos soportan hasta 25 amperios de corriente.

Si no se conoce la distancia en que serán instaladas las cargas, se utiliza el análisis por corriente para determinar el tipo de conductores necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica. Se determina la corriente nominal de cada circuito por medio de la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{P}{V * f_t * f_{nc} * f_u}$$

Donde:

I_n = es la corriente nominal que consumen las cargas del circuito, medida en amperios.

P = es la potencia activa de las cargas conectadas, medida en watts.

V = es el voltaje de la red, medido en voltios.

f_t = es el factor de temperatura.

f_{nc} = es el factor según el número de conductores.

f_u = es el factor de utilización.

En el caso de las cargas trifásicas, el voltaje se multiplica por $\sqrt{3}$. Para cada interruptor instalado.

Se considera que la temperatura de operación de cada circuito es de 21 °C a 25 °C, que pasarán entre 4 y 6 conductores, por lo que el factor de temperatura es de 1,05. El factor, según el número de conductores, es de 0,8; el factor de utilización según el NEC es de 0,8. En el caso de los circuitos de fuerza, se utiliza directamente la corriente nominal, sin considerar los factores descritos.

Se calculó la corriente nominal que consume cada circuito, con el fin de seleccionar el conductor adecuado, dado por la tabla del anexo 2, y comparar con los conductores instalados. Los resultados se muestran en la tabla LVIII.

Tabla LVIII. **Selección de conductores**

Circuito	Carga	Corriente (A)	Calibre	
			Actual	Propuesto
Principal	Alimentación	117,15	1/0	1/0
1	Fuerza taller	15,00	12	12
2	Iluminación entrada	11,90	12	14
3	Fuerza oficinas	12,00	12	14
4	Fuerza sótanos	15,00	12	14
5	Iluminación exterior	18,60	12	12
6	Iluminación sótano	17,87	12	12
7	Extractor y esmeril	24,44	12	12
8	Iluminación oficinas	11,90	12	14
9	Fuerza bancos	9,00	12	14
10	Grúa (trifásica)	28,72	12	10
11	Soldadora	22,32	12	12
12	Iluminación taller	15,86	12	14

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Los conductores actuales todos son de calibre 12 AWG THHW, pero los calibres de los conductores propuestos, en su mayoría, son de calibre 14 AWG THHW, algunos de calibre 12 AWG THHW y el circuito de la grúa de calibre 10 AWG THHW. Los conductores calibre 12 que están actualmente instalados se puede tomar como válidos, debido a una posible expansión de carga en cada interruptor. El conductor de la alimentación actual coincide con el cálculo realizado.

6.2.5. Supresores de picos de voltaje

Se le conoce como supresores de pico de voltaje a los instrumentos que recortan un porcentaje del sobrevoltaje, envían sobrecorriente a tierra que se presentan en la red y apartan los fenómenos transitorios.

Las descargas atmosféricas producidas por caídas de rayos son las principales causantes de la aparición de fallas en la red eléctrica, pero también el uso de equipo industrial que contengan cargas de alto índice, tanto capacitivo como inductivo. El mal uso de algunos equipos, sin un supresor de picos de voltaje, puede causar fallas en la iluminación y, en el peor de los casos, provocar incendios.

7. SISTEMA DE TIERRA FÍSICA Y PARARRAYOS

La conexión a tierra es un sistema de seguridad ante cualquier falla de aislamiento. Hace que las partes metálicas de cualquier equipo eléctrico deriven una descarga eléctrica de falla hacia un punto no energizado, que comúnmente es el suelo, lo que evita el contacto con los usuarios y aparatos que pudieran sufrir una descarga brusca. La puesta a tierra se realiza colocando un juego de electrodos o mallas ubicadas debajo de la superficie del lugar que se desea proteger.

7.1. Medición de puesta a tierra

Para la medición de la puesta a tierra, se utilizó el método de medición de 2 pinzas, también llamada prueba de resistencia de bucle. Consiste en medir la impedancia de varillas, cables o conexiones bajo tierra al colocar dos pinzas en el lugar a medir. Este método necesita un bucle cerrado para generar corrientes de prueba. La pinza conductora inyecta una tensión en el sistema de puesta a tierra; esta tensión genera una corriente de prueba en el bucle.

7.2. Criterios para instalación de tierras físicas

Para realizar una correcta instalación de tierra, se deben considerar los siguientes criterios:

- Resistencia baja: una conexión de tierra física debe tener idealmente una resistencia de 0 ohms. En la práctica, es casi imposible contar con este valor, por lo que el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

recomienda un valor de 5 ohms o menos. El NEC indica que la conexión del sistema de tierra física debe tener un valor menor a 25 ohms y para instalaciones donde exista equipo sensible, recomienda que sea de 5 ohms o menos.

- Resistividad baja del suelo: el terreno en donde se realice una puesta de tierra debe tener una resistividad baja.

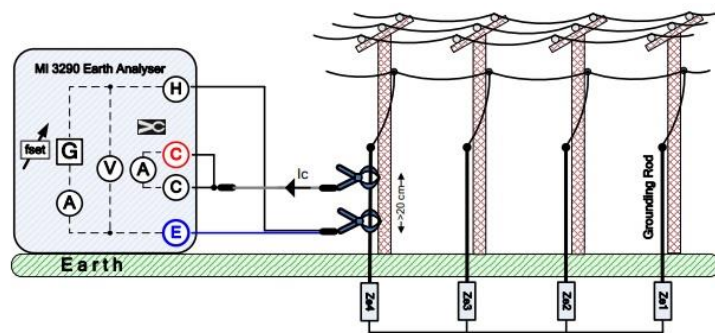
El clima, sales presentes, granos y humedad son algunos de los factores de los que depende la resistividad del suelo. Por lo que, si se cuenta con datos no deseados, se debe realizar tratamientos especiales en el suelo para mejorar la resistividad. Generalmente, estos tratamientos son a base de líquidos como cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, bicarbonato de sodio y cloruro de calcio.

- Ubicación del sistema: para la instalación del sistema de tierra, es necesario que sea seleccionada una ubicación lo más cercana posible al equipo a proteger. Solamente las personas encargadas deben tener autorización de acceso para ejecutar cambios, registro de mediciones o lo necesario según la situación.
- Cálculo del sistema de tierras: se debe seleccionar el tipo de instalación de tierra a realizar, seleccionar el tipo de conductor, el tipo de varillas o electrodos y conectores.

7.3. Toma de tierra

Para el presente estudio, se realizó la toma de tierra a un poste que tiene instalado un banco trifásico dentro de la Subestación Guatemala Sur, que brinda el suministro eléctrico a la sección de líneas de transmisión/metrología.

Figura 46. Toma de tierra, medición de 2 pinzas



Fuente: METREL D. D. *Analizador de tierra MI 3290 Manual de Instrucciones*. p. 69.

Las medidas fueron realizadas por medio de un analizador de tierra marca METREL, modelo MI 3290. Este es un dispositivo portátil, diseñado para el diagnóstico de: resistencia e impedancia de tierra, impedancia de tierra selectiva, resistencia específica de tierra, potencial de tierra, resistencia CC, impedancia CA e impedancia de impulso. También fue medida la temperatura ambiente por medio del medidor de temperatura y humedad marca Fluke, modelo 971.

Figura 47. **Analizador de tierra, marca METREL**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Figura 48. **Medidor de temperatura y humedad, marca FLUKE**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Los resultados correspondientes a las mediciones se muestran en la tabla LIX, y el promedio de estos indica que la impedancia del suelo medido es 80Ω .

Tabla LIX. **Toma de tierra**

Frecuencia (Hz)	Temperatura ambiente (°C)	Corriente medida con pinzas de hierro (mA)	Impedancia de tierra (Ω)
82	25	0,51	84
94	25	0,58	74
105	25	0,54	81
111	25	0,54	79
128	25	0,58	75
164	25	0,61	72
329	25	0,50	89

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

7.4. **Cálculo del sistema de tierras**

Se calcula la resistencia de las varillas a utilizar mediante la ecuación:

$$R_{var} = \left(\frac{\rho}{2\pi * L} \right) * \left(\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right)$$

Donde:

R_{var} = es la resistencia de la varilla, medida en ohms.

ρ = es la resistividad del suelo, medida en ohms por metro.

L = es la longitud de la varilla, medido en metros.

r = es el radio de la varilla, medido en metros.

Para el cálculo de la red de tierras, correspondiente a la sección de líneas de transmisión, se propone utilizar varillas de 5/8" (0,0158 m) y 2,43 m. El valor de la resistividad del suelo del terreno cercano es de 480 Ω-m. El cálculo

correspondiente de la resistencia de la varilla resulta un valor de 170,45 Ω . Si se utilizan 6 varillas, se divide la resistencia de la varilla entre la cantidad propuesta, y da como resultado 28,41 Ω .

Las varillas deben unirse por un conductor enterrado, por lo cual es necesario calcular la resistencia del conductor por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{cab} = \left(\frac{\rho}{2\pi * L} \right) * \left(\ln \left(\frac{2L}{r} \right) + \ln \left(\frac{L}{P} \right) - 2 \right)$$

Donde:

R_{cab} = es la resistencia del cable, medido en ohms.

ρ = es la resistividad del suelo, medida en ohms por metro.

L = es el largo del conductor, medido en metros.

r = es el radio del conductor, medido en metros.

P = es la profundidad del conductor, medido en metros.

Si se utiliza cable No. 4/0 que tiene un radio de 0,00584 m, longitud de 20 m y se instala a una profundidad de 0,5 m, al realizar los cálculos con la ecuación de la resistencia del cable, respectivamente, se obtiene el valor de 40,19 Ω .

Para conocer la resistencia del sistema de tierras, se calcula por medio de la siguiente ecuación, que es un análogo a la resistencia equivalente en paralelo:

$$R_{tot} = \frac{R_{var} * R_{cab}}{R_{var} + R_{cab}}$$

Donde:

R_{tot} = es la resistencia total del sistema medido en ohms.

R_{var} = es la resistencia de la varilla medida en ohms.

R_{cab} = es la resistencia del cable medido en ohms.

Al realizar el cálculo del análogo de resistencias en paralelo, se obtiene la resistencia del sistema de tierras con un valor de 16,65 Ω .

El resultado del sistema debe cumplir con lo establecido por el NEC, que indica que la resistencia debe ser menos a 25 Ω . Se comprueba que el cálculo anterior cumple con lo establecido. Pueden variarse el número de varillas y el tipo de conductores, según sea lo necesario para tener un adecuado valor de resistencia.

Para reducir el valor de la resistencia de la red de tierras, también se debe tratar el suelo del terreno por medio de aditivos químicos. Los elementos químicos recomendados que se utilizan comúnmente son el cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, bicarbonato de sodio y cloruro de calcio. También es posible utilizar bentonita, marconita o yeso, estos últimos ayudan a mantener la resistividad relativamente baja durante un periodo largo.

La Norma IEEE std 80, recomienda el uso de químicos en el terreno para aumentar el diámetro del conductor de manera eficiente. La bentonita sódica tiene una resistividad entre 2 y 5 ohm-m, por lo que el agregado de este material puede reducir el valor de la resistividad del terreno en un 5 %. Es posible acortar hasta un 15 % la magnitud de la resistencia si el elemento a utilizar presenta menor resistividad que la bentonita tradicional.

El concepto general de resistencia del radio, equivalente a cualquier electrodo y la resistencia del terreno con bentonita, está dado por las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r_c}$$

Donde:

R = es la resistencia del electrodo, medida en ohms.

ρ = es la resistividad del terreno, medida en ohms-m.

r_c = es el radio del electrodo, medido en metros.

$$R_b = \frac{\rho}{2\pi r_b}$$

Donde:

R_b = es la resistencia del electrodo y terreno con bentonita, medida en ohms.

ρ = es la resistividad del terreno, medida en ohms-metros.

r_b = es el radio del electrodo y terreno con bentonita, medido en metros.

Entonces, se obtiene la relación de proporción de la resistencia del sistema de tierras con elementos químicos:

$$\frac{R_b}{R} = \frac{r_c}{r_b}$$

Donde:

R_b = es la resistencia del electrodo y terreno con bentonita, medida en ohms.

R = es la resistencia del electrodo, medida en ohms.

r_c = es el radio del electrodo, medido en metros.

r_b = es el radio del electrodo y terreno con bentonita, medido en metros.

Como la resistividad disminuye aproximadamente 5 % con bentonita, la resistividad del terreno será de 456 $\Omega \cdot m$. Si se mantienen los demás datos constantes y se realizan los cálculos correspondientes, el valor de la resistencia del sistema de tierras es de 15,81 Ω .

7.5. Selección de pararrayos

Los instrumentos que son capaces de ionizar el aire para atraer rayos hacia él y desviarlos hacia el sistema de tierras son llamados pararrayos. No se debe confundir con un apartarrayos, cuya función es eliminar los sobrevoltajes transitorios de las líneas de distribución eléctrica, producidos por descargas atmosféricas en las líneas o cambios repentinos en el sistema eléctrico interno.

7.5.1. Tipos de pararrayos

Existen diferentes tipos de pararrayos según su uso, condiciones climáticas y capacidad. Algunos son los siguientes:

- Pararrayos Franklin: atrae los rayos mediante un sistema pasivo de protección. Es el más utilizado.

- Jaula de Faraday: es una estructura metálica conductora que se instala alrededor de un edificio en conexión a tierra. Aísla en su interior propio los campos electromagnéticos que pudieran llegar al interior del edificio. La única desventaja es que solo puede proteger la estructura rodeada.
- Pararrayos con dispositivo de cebado electrónico: capta las descargas atmosféricas con una punta que añade atracción eléctrica, para aumentar la probabilidad de ser el receptor de la descarga.
- Pararrayos con instrumento que compensa campos eléctricos variables: equilibra y compensa los campos eléctricos que varían en el tiempo, producidos por la formación de rayos equilibrados, entonces, los desvía al sistema de tierras.

7.5.2. Dimensionamiento

En la Subestación Guatemala Sur, se tienen pararrayos con dispositivo de cebado marca DAT CONTROLLER, modelo AT-1515, certificados según la Norma UNE-EN 60060-1: 2012.

Funciona según las características eléctricas basadas en la formación de rayos, a través de la emisión de trazado ascendente, cuando un objeto ingrese al interior del radio que es capaz de proteger según su capacidad. A esta característica se le conoce como tiempo de avance en el cebado.

Mientras la anticipación de formar el trazador ascendente sea mayor, la distancia de captura del trazador descendente también será mayor, lo que provoca que el área de protección frente al rayo sea mayor.

Soporta una corriente certificada de 20 impactos de 100 kA (10/350 μ s) y energía específica mayor a 2,5 MJ/ Ω . Mantiene su funcionamiento en condiciones de lluvia, porque posee un aislamiento superior al 95 %. La temperatura soportada está entre -25 °C a 88 °C. Su tiempo de avance (anticipación al rayo) es de 15 μ s.

Los niveles de protección que corresponden a los radios de esfera rodante, que dependen de la altura en que el pararrayos esté instalado, se muestran en la tabla LX.

Tabla LX. Radios de protección DAT CONTROLLER AT-1515

Altura (m)	Nivel de protección			
	D=20m	D=30m	D=45m	D=60m
2	13	15	18	20
4	25	30	36	41
6	32	38	46	52
8	33	39	47	54
10	34	40	49	56
20	35	44	55	63
60	35	45	60	75

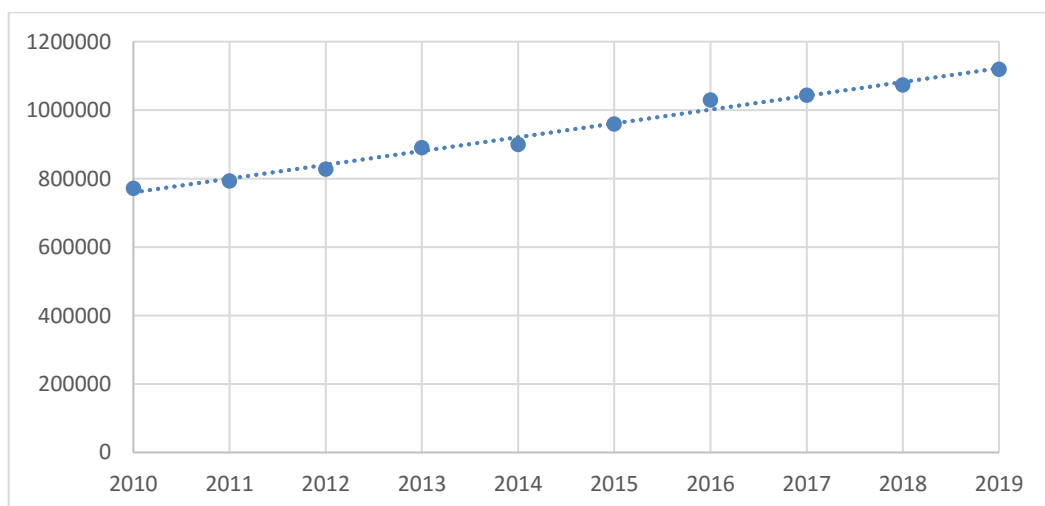
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

8. PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

8.1. Proyección de consumo en diez años

Es de gran utilidad para cualquier entidad estatal o privada proyectar medidas con vista hacia el futuro, a través de herramientas matemáticas, según datos históricos. Por medio de una proyección, se puede dar una idea del tipo de crecimiento de consumo de energía eléctrica con el pasar de los años, para prever posibles sobrecargas en los transformadores alimentadores, tableros de distribución, conductores, interruptores, protecciones, entre otros. Esto conllevaría a realizar redimensionamientos en los circuitos eléctricos instalados y posibles cambios o modificaciones en los equipos utilizados.

Figura 49. Tendencia de consumo años 2010-2019

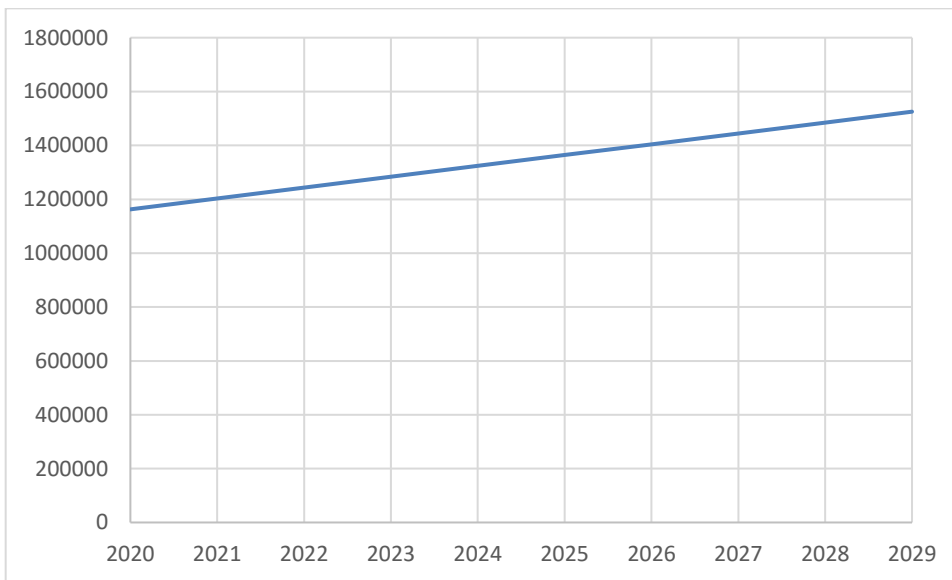


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

En la figura 49, se presenta el consumo de energía eléctrica en kWh que se tuvo en el periodo 2010-2019, indicado en el apartado 3.1. El gráfico muestra una tendencia aproximadamente lineal.

A partir del comportamiento lineal del periodo 2010-2019, por medio de regresión lineal, se presenta en la figura 50 la proyección esperada para el periodo 2020-2029.

Figura 50. Proyección de consumo años 2020-2029



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Para el año 2020, se espera tener un consumo proyectado de 1162578,86 kWh; para el año 2027 la cantidad es de 1444652,09 kWh y para el año 2029 la cifra es de 1525244,44 kWh. Se proyecta que, en promedio, tendrá un crecimiento de 40296,18 kWh cada año, a una tasa de 3,6 % anual.

8.2. Análisis económico del cubrimiento del consumo proyectado

El administrador del Mercado Mayorista (AMM) es la entidad que se encarga de que la energía eléctrica en Guatemala sea abastecida de manera segura, por medio de operaciones coordinadas y al decretar los precios del mercado, a partir de las necesidades de la calidad del servicio de energía eléctrica.

Según la Norma NCC-4: Precio de oportunidad de la energía, los consumos propios de la Subestación Guatemala Sur se liquidan en el Mercado de Oportunidad, al precio de oportunidad de la energía (SPOT o POE) para la demanda. Esto debido a que la Subestación pertenece a la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE); es un participante consumidor en el AMM.

El precio SPOT es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, definido como el costo total en que incurre el sistema eléctrico para suministrar un kilovatio-hora (kWh), adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia y según el parque de generación y transmisión efectivamente disponible.

Los informes de transacciones económicas mensuales del AMM, publicados en su sitio web <https://www.amm.org.gt> en la pestaña Resultados de la Operación, presentan, entre otras cosas, información del precio SPOT de la energía en demanda en dólares estadounidenses, por cada megavatio hora (US\$/MWh), en cada hora de cada día del mes.

Para calcular los costos de consumos propios de un participante del AMM, es necesario promediar los precios SPOT mensual o diariamente, según se

desea estimar. Para el presente estudio, se utilizó los datos mensuales de 2019.

Tabla LXI. **Costos de consumos propios 2019**

Mes	Consumo (kWh)	Precio mensual (US\$/kWh)	Costo mensual (US\$)
Enero	92422,60	0,06	5865,39
Febrero	89468,01	0,07	6672,17
Marzo	99845,06	0,07	7409,36
Abril	87585,45	0,08	6758,49
Mayo	95474,45	0,09	8623,14
Junio	88992,36	0,08	6828,62
Julio	89227,00	0,08	7084,21
Agosto	94609,03	0,07	6772,73
Septiembre	92077,55	0,06	5754,26
Octubre	89910,91	0,04	3620,90
Noviembre	96255,05	0,03	3241,59
Diciembre	103821,33	0,04	3964,76
Total			72595,61

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

El consumo reportado en el país se presenta en unidades de kWh y el precio SPOT se publica en unidades de US\$/MWh, entonces, es preciso convertir los valores a US\$/kWh.

El promedio del precio SPOT en el año 2019 fue de 0,07 US\$/kWh y por medio de este precio se puede estimar cuánto sería el costo de la energía eléctrica proyectada en el apartado 8.1, para el periodo de 2020-2029.

Tabla LXII. **Costos anuales en el periodo 2020-2029**

Año	Consumo (kWh)	Costo anual (US\$)
2020	1162578,86	75768,78
2021	1202875,03	78395,00
2022	1243171,21	81021,22
2023	1283467,39	83647,45
2024	1323763,56	86273,67
2025	1364059,74	88899,89
2026	1404355,91	91526,12
2027	1444652,09	94152,34
2028	1484948,26	96778,56
2029	1525244,44	99404,79

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

La tabla LXII muestra que el costo anual tendrá un crecimiento de US\$ 2626,22, a una tasa de 3,6 % anual.

9. EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

9.1. Definición

Los gases de efecto invernadero son todos aquellos compuestos químicos que se encuentran en estado gaseoso acumulados en la atmósfera; tienen la capacidad de absorber la radiación infrarroja del sol, esto produce que se aumente y retenga el calor en la atmósfera de la tierra. Es un gas que contribuye al efecto invernadero, lo intensifica y lo vuelve más peligroso. Se produce un aumento considerable en la temperatura del planeta, lo que contribuye al incremento del calentamiento global. Comúnmente se abrevia con las siglas GEI.

En el año 2016, Guatemala se incorporó a la lista de países que han ratificado el acuerdo de París, establecido dentro de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En él se establecen un conjunto de medidas, con el fin de reducir la emisión de GEI.

En el año 2017, se formuló el Plan Nacional de Energía, que tiene como objetivo reducir para el 2032, en un 29,2 %, la emisión de gases de efecto invernadero en Guatemala.

Se propone en el plan el uso de fuentes de energía renovable, sustituir el uso de leña por otras fuentes de energía limpia, la utilización correcta de los recursos energéticos, tener buenos hábitos de consumo. Aplicar las medidas mencionadas, ocasionarían una reducción de GEI dentro de la Subestación Guatemala Sur.

Se tienen en Guatemala un incremento promedio anual del 9,3 % de GEI. En el año 2012, se reportaron 12,41 millones de toneladas de CO_2e (dióxido de carbono equivalente); mientras que para el año 2016, se reportaron 18,44 millones de toneladas. Estos datos corresponden al sector energía.

9.2. Cantidad de CO2 emitido anualmente

Para el cálculo de la cantidad de gases de efecto invernadero, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Emisiones = DA * FE$$

Donde:

Emisiones = es la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por el consumo de energía eléctrica, medida en *Kg CO2e*.

DA = es el dato de actividad. Para el presente estudio será la cantidad de kWh consumidos durante un año.

FE = es el factor de emisión por el consumo de energía eléctrica del sistema nacional interconectado, medido en kgCo2e/kWh.

El Factor de emisión equivale a 0,3671 kgCo2e/kWh, según El Balance Energético 2017, publicado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) en su página web <https://mem.gob.gt/> en las pestañas Energía>Estadísticas de Energía>Balances de Energía.

Con base en la ecuación anterior y a los registros históricos citados en el apartado 3.1, se muestran en la tabla LXIII la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por consumo de energía eléctrica en el periodo 2017-2027, en la Subestación Guatemala Sur.

Tabla LXIII. **Emisión de gases de efecto invernadero 2017-2027**

Año	Consumo anual (kWh)	GEI (Kg CO ₂ e)	GEI (Toneladas de CO ₂ e)
2017	1041690,33	382404,52	382,40
2018	1081986,51	397197,25	397,20
2019	1122282,68	411989,97	411,99
2020	1162578,86	426782,70	426,78
2021	1202875,03	441575,43	441,58
2022	1243171,21	456368,15	456,37
2023	1283467,39	471160,88	471,16
2024	1323763,56	485953,60	485,95
2025	1364059,74	500746,33	500,75
2026	1404355,91	515539,06	515,54
2027	1444652,09	530331,78	530,33

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Se muestran valores en kilogramos y toneladas de la emisión de gases de efecto invernadero desde el año 2017, porque el factor de emisión fue distinto en años anteriores, y se proyecta hasta el año 2027, como lo indica el Plan Nacional de Energía, con base en el consumo proyectado en la sección 8.1.

Para reducir la emisión de gases de efecto invernadero generado por las instalaciones eléctricas y que estas funcionen de mejor manera, se recomienda:

- Sustituir las luminarias incandescentes por led.
- Apagar y desconectar dispositivos o equipos no utilizados.
- Sustituir equipos muy antiguos que consumen más energía.
- Utilizar fuentes de energía renovables.
- Realizar constante monitoreo de armónicos en la red.
- Brindar mantenimiento a los tableros de distribución.

CONCLUSIONES

1. Con base en lo presentado en el capítulo 3, cada año se tiene mayor consumo de energía eléctrica, debido a la expansión del sector eléctrico en el país, que ha aumentado en los últimos 10 años a razón de 3,6 % anual, en forma aproximadamente lineal.
2. Se constató, en el capítulo 3, que el personal posee hábitos de consumo aceptables, pero pueden ser mejorados por medio de programas sobre ahorro energético que serían de gran impacto en el desarrollo de las labores diarias.
3. Las instalaciones eléctricas de los servicios auxiliares de la Subestación Guatemala Sur, en su mayoría, son antiguas; esto deriva en fallas de conexión encontradas, falta de mantenimiento que genera pérdidas, mala distribución de las cargas y desbalances en la red eléctrica, según lo descrito en los capítulos 4, 6 y 7.
4. Se determinó del capítulo 4 que: la regulación de voltaje es inestable, se mantiene debajo del valor nominal, cumple casi solo en datos máximos. Existen algunos desbalances de carga altos al analizar corrientes y potencias. El f_p baja del valor límite pocas veces; el valor de armónicos cumple lo normado, se excede levemente en pocos registros; la frecuencia es correcta siempre; el *flicker* no cumple la mayoría de las ocasiones.

5. En el análisis termográfico, que se detalla en el capítulo 4, se encontraron puntos calientes en interruptores y conductores de algunos tableros, por sobrecarga de circuitos individuales, corrosión galvánica por causa del poco mantenimiento que se aplica.
6. La iluminación descrita en el capítulo 5 es correcta en la cantidad de luminarias y potencia irradiada. Los niveles de iluminación son aceptables con base en lo recomendado por el Acuerdo Gubernativo 229-2014 y sus reformas 33-2016 y las normas del *Manual de iluminación* de la IES.
7. Al proyectar el consumo de energía eléctrica hacia el año 2029, como se muestra en el capítulo 8, se espera un crecimiento anual con una tasa de 3,6 %; es igual al crecimiento de los años previos.
8. El precio SPOT sobre el consumo de energía eléctrica se ha mantenido durante el 2019 en 0,7 US\$/kWh, según los informes de transacciones económicas mensuales del AMM. La proyección de los costos, por consumo propio, descrita en el capítulo 8, determina un crecimiento de 3,6 % anualmente en US\$/kWh.
9. En el capítulo 9, se muestra que la emisión de gases de efecto invernadero, al igual que el consumo de energía eléctrica anual, muestra un comportamiento de crecimiento aproximadamente lineal, esto según el factor de emisión que brinda el balance energético del Ministerio de Energía y Minas.

10. Se han determinado posibles formas de mitigar los problemas presentados en cada capítulo del presente estudio, y se muestra de manera resumida en la tabla del apéndice 13.

RECOMENDACIONES

1. Verificar que no existan subregistros no tomados en cuenta de los datos históricos de años anteriores, para conocer un valor más exacto al presentado en los consumos de energía eléctrica.
2. Llevar a cabo programas sobre hábitos de consumo, para concienciar al personal que labora en la institución acerca del aprovechamiento de los recursos energéticos con los que se cuentan, para reducir gastos económicos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Elaborar un plan de mantenimiento de los tableros de distribución de cada área; redistribuir cargas para evitar desbalances que ocasionen pérdidas; reordenar el cableado interno y sustituir los que presenten deficiencias o corrosión.
4. Realizar un estudio de regulación de voltaje en bancos de transformadores que suministran la energía eléctrica a los servicios auxiliares.
5. Redistribuir las cargas de cada área para evitar saturación en alguna línea, dar prioridad a las que presentan más desbalance; verificar el estado de los bancos de capacitores y realizar las modificaciones necesarias, con el fin de corregir el factor de potencia.
6. Evaluar el funcionamiento de los filtros instalados para disminuir el porcentaje de armónicos. Instalar un compensador sincrónico estático

para la corrección del *flicker*, que también podría corregir el factor de potencia.

7. Mantener constante monitoreo sobre los parámetros de calidad de energía, para tener el mínimo de fallas en la red eléctrica y mejor desempeño de los equipos y herramientas utilizadas.
8. Realizar los respectivos cambios de posición de las áreas de trabajo en donde se detectó falta de iluminación artificial, y si fuera necesario, aumentar el número de luminarias o potencia lumínica en áreas oscuras. De ser posible, no utilizar iluminación artificial si se cuenta con suficiente iluminación natural dentro del área de trabajo.
9. Realizar planes de ahorro de energía, para reducir la tasa de crecimiento del consumo de energía.
10. Es necesario reducir el consumo de energía eléctrica, debido al constante cambio del precio SPOT. Esto se reflejaría en ahorros de dinero por los consumos propios.
11. Implementar el uso de energías renovables para reducir la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. El anexo 3 muestra los elementos necesarios para abastecer la energía necesaria por medio de paneles fotovoltaicos.
12. Tomar en cuenta las propuestas de mitigación descritas en el presente estudio y que se presentan de manera resumida en el apéndice 13.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB Group. *Miniature Circuit Breakers*. [en línea]. <<https://at3w.com/producto/pararrayos/pararrayos-con-dispositivo-de-cebado/s2xat1xp1101>>. [Consulta: 1 de junio de 2020].
2. Administrador del Mercado Mayorista. *Determinación de los Criterios de Calidad y Niveles Mínimos de Servicio*. Guatemala: AMM, 2015. 18 p.
3. _____. *Resultados de la operación, Informe de transacciones económicas*. [en línea]. <https://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145>. [Consulta: 27 de mayo de 2020].
4. Aplicaciones Tecnológicas. *Pararrayos con dispositivo de cebado*. [en línea]. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=Miniature%20Circuit%20Breakers&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. [Consulta: 1 de junio de 2020].
5. Acuerdo Gubernativo 229-2014. *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional del Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala*. Guatemala. 2014. 86 p.
6. BOYLESTAD, Robert. *Introducción al análisis de circuitos*. 10a ed. México: Pearson Educación, 2004. 1 220 p.

7. BRATU SERBÁN, Neagu. *Instalaciones Eléctricas conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 1995. 240 p.
8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *NCC-4: Precio de la oportunidad de la energía*. Guatemala: CNEE, 2007. 10 p.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución, NTSD*. Guatemala: CNEE, 2003. 114 p.
10. DE LEÓN GÓMEZ, Sarvelio Orlando, *Estudio de Eficiencia Energética Servicios Auxiliares Subestación Guatemala Sur*. Guatemala: ETCEE, 2019. 22 p.
11. ESTANDAR ANSI C57.110.2008. *Práctica recomendado por IEEE para establecer la capacidad de transformadores de distribución y energía de tipo seco y sumergidos en líquido cuando se suministran corrientes de carga no sinusoidales*. 2018. 68 p.
12. ESTÁNDAR IEEE 519. *Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica*. 2014. 16 p.
13. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *Manual práctico de instalaciones eléctricas*. 2a ed. México: Editorial Limusa, 2004. 355 p.
14. FRAILE MORA, Jesús, *Máquinas eléctricas*. 5a ed. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2003. 757 p.
15. Illuminating Engineering Society of North America. *The IESNA Lighting Handbook*. 9a ed. Estados Unidos: 2000. 1 037 p.

16. Instituto Nacional de Electrificación. *¿QUÉ ES EL INDE?* [en línea]. <<http://www.inde.gob.gt/somos/>>. [Consulta: 23 de Marzo de 2020].
17. Ministerio de Energía y Minas. *Balance energético 2017*. Guatemala: MEM, 2017. 11p.
18. _____. *Plan Nacional de Energía*. Guatemala: MEM, 2017. 104 p.
19. National Fire Protection Association. *Norma NFPA 70: National Electrical Code*. Estados Unidos. 2004. 158 p
20. Norma IEC 60364-8-1. *Aspectos funcionales. Eficiencia energética*. Suiza: 2019. 72 p.
21. Norma ISO 50001. *Requisitos necesarios para la implementación de un Sistema de Gestión de Energía*. 2011. 145 p.
22. _____. *Política energética 2013-2027*. 2013. Guatemala: MEM, 2003. 52 p.
23. REY MARTÍNEZ, Francisco Javier. *Eficiencia energética en edificios: Certificación y auditorías energéticas*. 1a ed. España: Editorial Paraninfo, 2006. 313 p.
24. Schneider Electric. *¿Qué son las curvas de disparo en Interruptores Riel Din?* [en línea]. <<https://www.se.com/cl/es/faqs/FA363567/>>. [Consulta: 21 de mayo de 2020].

25. UNE-EN 5016:2001. *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*. España: AENOR, 2001. 22 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Analizador de redes eléctricas instalado, Sección de Protecciones y Subestación



Encuesta sobre hábitos de consumo
Subestación Guatemala Sur del INDE



No.	Pregunta	Si	No	N/A	Otra respuesta
1	¿Utiliza solamente las luces necesarias en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
2	¿Al salir del lugar de trabajo, acostumbra dejar las luces encendidas?	<input checked="" type="checkbox"/>			El ultimo que sale los apaga
3	¿Utiliza el modo ahorro de Energía de los equipos que utiliza si estos lo poseen?			<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Si no está utilizando la computadora, equipo de trabajo o similar ¿Acostumbra mantenerlo encendido?	<input checked="" type="checkbox"/>			
5	Al finalizar la jornada ¿Desconecta los aparatos o equipos utilizados en su área de trabajo?		<input checked="" type="checkbox"/>		
6	¿Si en otra área de trabajo están las luces o algún aparato o equipo encendidos sin uso notifica a la persona a cargo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
7	¿Utiliza el aire acondicionado solamente cuando es necesario?	<input checked="" type="checkbox"/>			
8	¿Considera que se utiliza razonablemente el combustible de los vehículos que posee la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
9	¿Considera que se consume de manera correcta el recurso hídrico de la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
10	¿Cambiaría sus hábitos de consumo para reducir el gasto de los recursos energéticos en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			

Nota: N/A significa no aplica.



Encuesta sobre hábitos de consumo
Subestación Guatemala Sur del INDE



No.	Pregunta	Si	No	N/A	Otra respuesta
1	¿Utiliza solamente las luces necesarias en su área de trabajo?				
2	¿Al salir del lugar de trabajo, acostumbra dejar las luces encendidas?				
3	¿Utiliza el modo ahorro de Energía de los equipos que utiliza si estos lo poseen?				
4	Si no está utilizando la computadora, equipo de trabajo o similar ¿Acostumbra mantenerlo encendido?				
5	Al finalizar la jornada ¿Desconecta los aparatos o equipos utilizados en su área de trabajo?				
6	¿Si en otra área de trabajo están las luces o algún aparato o equipo encendidos sin uso notifica a la persona a cargo?				
7	¿Utiliza el aire acondicionado solamente cuando es necesario?				
8	¿Considera que se utiliza razonablemente el combustible de los vehículos que posee la institución?				
9	¿Considera que se consume de manera correcta el recurso hídrico de la institución?				
10	¿Cambiaría sus hábitos de consumo para reducir el gasto de los recursos energéticos en su área de trabajo?				

Nota: N/A significa no aplica.



Encuesta sobre hábitos de consumo
Subestación Guatemala Sur del INDE



No.	Pregunta	Si	No	N/A	Otra respuesta
1	¿Utiliza solamente las luces necesarias en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
2	¿Al salir del lugar de trabajo, acostumbra dejar las luces encendidas?				Depende al personal de la jornada de trabajo
3	¿Utiliza el modo ahorro de Energía de los equipos que utiliza si estos lo poseen?	<input checked="" type="checkbox"/>			
4	Si no está utilizando la computadora, equipo de trabajo o similar ¿Acostumbra mantenerlo encendido?		<input checked="" type="checkbox"/>		
5	Al finalizar la jornada ¿Desconecta los aparatos o equipos utilizados en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
6	¿Si en otra área de trabajo están las luces o algún aparato o equipo encendidos sin uso notifica a la persona a cargo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
7	¿Utiliza el aire acondicionado solamente cuando es necesario?	<input checked="" type="checkbox"/>			
8	¿Considera que se utiliza razonablemente el combustible de los vehículos que posee la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
9	¿Considera que se consume de manera correcta el recurso hídrico de la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
10	¿Cambiaría sus hábitos de consumo para reducir el gasto de los recursos energéticos en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			

Nota: N/A significa no aplica.



Encuesta sobre hábitos de consumo
Subestación Guatemala Sur del INDE



No.	Pregunta	Si	No	N/A	Otra respuesta
1	¿Utiliza solamente las luces necesarias en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
2	¿Al salir del lugar de trabajo, acostumbra dejar las luces encendidas?		<input checked="" type="checkbox"/>		
3	¿Utiliza el modo ahorro de Energía de los equipos que utiliza si estos lo poseen?	<input checked="" type="checkbox"/>			
4	Si no está utilizando la computadora, equipo de trabajo o similar ¿Acostumbra mantenerlo encendido?		<input checked="" type="checkbox"/>		
5	Al finalizar la jornada ¿Desconecta los aparatos o equipos utilizados en su área de trabajo?		<input checked="" type="checkbox"/>		
6	¿Si en otra área de trabajo están las luces o algún aparato o equipo encendidos sin uso notifica a la persona a cargo?	<input checked="" type="checkbox"/>			
7	¿Utiliza el aire acondicionado solamente cuando es necesario?	<input checked="" type="checkbox"/>			
8	¿Considera que se utiliza razonablemente el combustible de los vehículos que posee la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
9	¿Considera que se consume de manera correcta el recurso hídrico de la institución?	<input checked="" type="checkbox"/>			
10	¿Cambiaría sus hábitos de consumo para reducir el gasto de los recursos energéticos en su área de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>			

Nota: N/A significa no aplica.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Apéndice 2. **Analizador de redes eléctricas instalado, Sección de Protecciones y Subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 3. **Analizador de redes eléctricas instalado Sección Administrativa**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 4. **Analizador de redes eléctricas instalado Sección de Líneas de Transmisión y Metrología**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 5. **Analizador de redes eléctricas instalado Cafetería y Sección de Comunicaciones**



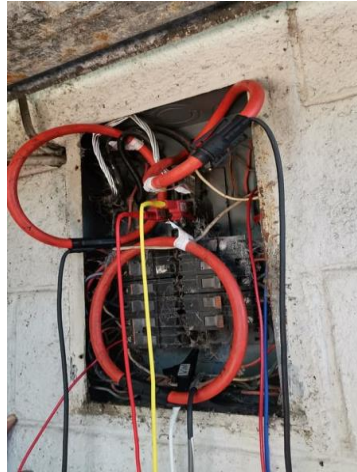
Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 6. **Analizador de redes eléctricas instalado bodega regional**



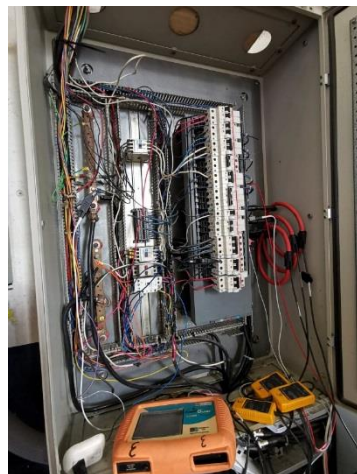
Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 7. **Analizador de redes eléctricas instalado Laboratorio de Geotérmica**



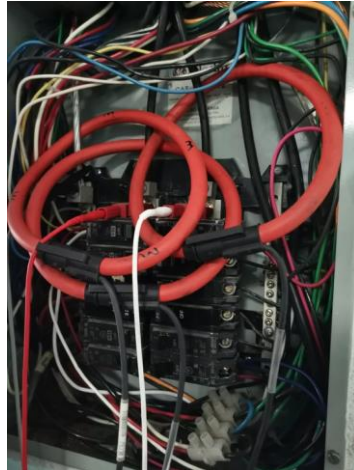
Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 8. **Analizador de redes eléctricas instalado Taller Eléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 9. **Analizador de redes eléctricas instalado Clínicas Médicas**



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 10. **Analizador de tierras instalado Sección de Líneas de Transmisión**



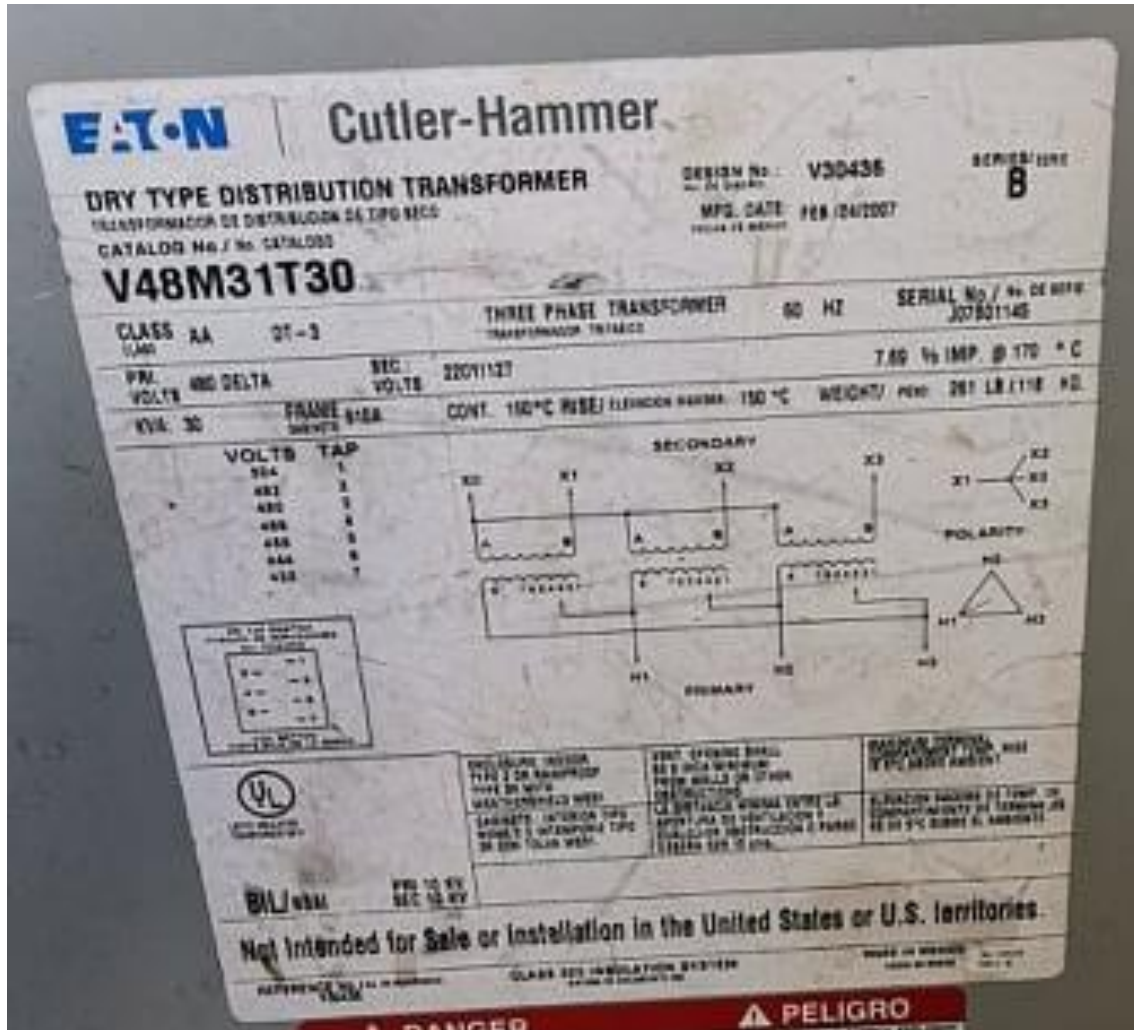
Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

**Apéndice 11. Categorías y niveles de iluminación de interior
recomendados por la IES**

Tipo de actividad	Categoría de Iluminación	Iluminación Nominal lx
Espacios públicos con alrededores oscuros.	A	20-30-50
Simple orientación para visitas cortas temporales.	B	50-75-100
Recinto de trabajo donde las tareas visuales solo se realizan ocasionalmente.	C	100-150-200
Realización de tareas visuales de gran contraste o tamaño.	D	200-300-500
Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeño tamaño.	E	500-750-1000
Realización de tareas visuales de bajo contraste y muy pequeño tamaño.	F	1000-1500-2000
Realización de tareas visuales de bajo contraste o muy pequeño tamaño a través de un prolongado período.	G	2000-3000-5000
Realización de tareas visuales muy prolongadas y exactas.	H	5000-7500-10000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

Apéndice 12. Placa del transformador del taller eléctrico



Fuente: elaboración propia, empleando celular Huawei Mate 20.

Apéndice 13. **Resumen de propuestas de mitigación**

Tema	Propuesta de mitigación de problemas diagnosticados.
Hábitos de consumo	Al salir, verificar que toda luminaria esté apagada.
	Apagar y desconectar todo equipo que no se esté usando.
	Utilizar combustibles de manera responsable.
	Hacer uso responsable del recurso hídrico.
	Realizar capacitaciones sobre eficiencia energética.
Calidad de Energía	Redistribuir las cargas de cada tablero de distribución.
	Verificar barras de neutro, barra de tierra, sockets y piezas metálicas dentro de los tableros.
	Asegurar los conductores e interruptores flojos o mal colocados.
	Sustituir componentes averiados o que se encuentren en mal estado.
	Evaluar los bancos de capacitores instalados y realizar los respectivos cambios de ser necesario.
	Examinar los filtros actuales que mitigan armónicos, para modificar o sustituir algún desperfecto.
	Instalar en las áreas de mayor presencia de <i>flicker</i> un compensador sincrónico estático.
Instalar los conductores, interruptores y red de tierras propuestos en los capítulos 6 y 7.	
Iluminación	Utilizar luz artificial únicamente al ser necesario, al tener presencia de luz natural.
	Sustituir luminarias quemadas o que presenten deficiencias
	Cambiar posición de mobiliario y equipo en que se presenten sombras, fatiga visual o cualquier otra anomalía al momento de realizar actividades laborales.
	Aumentar o disminuir la iluminación, según sea el caso, como se indica en el capítulo 5.
	Elaborar planes de limpieza en las luminarias y vidrios difuminantes, para evitar capas de polvo o suciedad.
	Remover pintura deteriorada en paredes, utilizar pintura clara en el techo y oscura en paredes.
	Verificar el correcto funcionamiento de interruptores que corresponden a luminarias.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 16.

ANEXOS

Anexo 1. Intensidad de la iluminación artificial

Zona de Trabajo	Exigencia visual	Nivel mínimo de Luxes en las áreas de trabajo
FÁBRICAS		
Áreas de tránsito y Pasillos	Baja	100-150
Tanques y Frías	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Escaleras y Pasamanos	Media	150-200
Sala de Calderas y Cuartos de Control	Media	150-200
Bandas transportadoras	Media	150-200
Rodegas de Almacenaje y Centros de distribución	Alta	200-500
Bancos de trabajo y Líneas de Producción	Alta	200-500
Empaque de Productos	Alta	200-500
Áreas de Carga	Alta	200-500
Control de Calidad	Alta	500-1000
Laboratorios	Alta	500-1000
OFICINAS		
Escaleras y Pasillos	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Recepción y Sala de Reuniones	Media	200-500
Rodegas de Materiales	Media	200-500
Trabajo de Oficinas	Alta	500-1000
Redacción	Alta	1,500-2,000
Archivo	Alta	1,500-2,000
BODEGAS Y TALLERES		
Baños	Baja	100-150
Bodegas de Almacenaje y Centros de distribución	Alta	200-500
Trabajo, Inspección y selección de producto	Alta	1,500-2,000
Trabajo mecánico o manual	Alta	1,500-2,000
COMERCIOS		
Pasillos	Baja	100-150
Recepción	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Elevadores y gradas eléctricas	Media	200-500
Restaurantes y Cocinas	Alta	1,500-2,000
Vitrinas	Alta	1,500-2,000
HOSPITALES		
Baños	Baja	100-150
Sala de Espera y Corredores	Media	200-500
Laboratorios	Alta	500-1000
Cuarto de Examinación	Alta	1,500-2,000
Quirófano y Sala de Operaciones	Alta	1,000-3,000

Fuente: Ministerio de Trabajo y Previsión Social. *Acuerdo Gubernativo 229-2014.*

<https://agexporthoy.export.com.gt/wp-content/uploads/2020/03/REGLAMENTO-G.-SSO-2.pdf>.

Consulta: Mayo de 2020.

Anexo 2. **Tabla de selección de conductores**

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: Secretaría de Energía. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)*. <http://www.issste-cmn20n.gob.mx/Datos/Normas/136NOM.pdf>.

Consulta: octubre de 2020.

Anexo 3. Elementos de instalación fotovoltaica para abastecer el consumo de energía proyectada al año 2027

RESUMEN

Resumen de los elementos resultantes del cálculo

Unidades	Elementos
5314	Modulo tipo -LUXOR Eco line 60/230 W Policristalino
519	Regulador tipo - STECA TAROM 440-48 PWM
24	Bateria tipo - ABSOLYTE GP 1-100G99 FLAT PLATE
1	Inversor tipo -VICTRON MULTIPLUS 48/3000/35-16

Con los elementos de consumos seleccionados y los componentes de las instalación calculados, obtenemos la siguiente comparativa de consumos y producción estimados a lo largo del año

	Ene	Feb	Mar	Abl	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Consumo	148041	133715	148041	143266	148041	143266	148041	148041	143266	148041	143266	148041
Producción	201987	187346	195537	165247	154800	151778	164305	146653	148492	172792	186601	197234

Consumo total al año: 1743066 Kw

Producción total al año: 2072772 Kw

Total kg/año CO2 evitados: 1123442

Fuente: Calculation Solar. *Elementos de instalación fotovoltaica.*

<http://calculationsolar.com/es/calculador.php#>. Consulta 20 de noviembre de 2020.

