



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

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA  
ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL  
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

**Josué Daniel García Valdez**

Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA  
ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL  
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSUÉ DANIEL GARCÍA VALDEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ALBERTO NAVARRO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

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



**Josué Daniel García Valdez**

Guatemala, 24 de agosto de 2018

Ingeniero  
Otto Fernando Andrino González  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Andrino:

Por este medio le informo que como asesor del estudiante universitario JOSUÉ DANIEL GARCÍA VALDEZ quien se identifica con el carnet no. 2008-18923, hago constar que procedí a revisar el informe final, titulado **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS"**. Después de haberle hecho las correcciones pertinentes, doy por aprobado el siguiente trabajo ya que considero que llena los requisitos para el debido seguimiento por parte de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica; en vista de ello, se lo remito y pongo a su consideración.

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



Ing. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes

Colegiado No. 8339

Asesor

Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 8339



Guatemala, 09 de noviembre de 2018.  
Ref:EPS.DOC.951.11.18.

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Josué Daniel García Valdez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **200818923 y CUI 1939 84423 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS”**.

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



Guatemala 09 de noviembre de 2018.  
Ref.EPS.D.441.11.18.

Ing. Otto Fernando Andrino González  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente


Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Josué Daniel García Valdez**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes 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 del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra





REF. EIME 88.2018.  
22 DE OCTUBRE 2018.

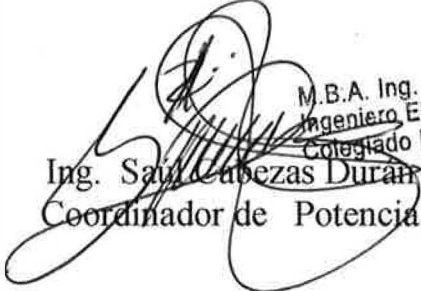
Señor Director  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS,** del estudiante; **Josué Daniel García Valdez,** que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Saul Cabezas Durán  
Coordinador de Potencia

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 4648







REF. EIME 88. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **JOSUÉ DANIEL GARCÍA VALDEZ** titulado: **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS,** procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Andriño González



GUATEMALA, 14 DE NOVIEMBRE 2018.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala




Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.131.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica del trabajo de graduación titulado: **“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS”** presentado por el estudiante universitario: **Josué Daniel García Valdez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Marzo de 2019

/echm

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Jorge Rudy García Monterroso y Carolina Valdez Rivera, las acciones y palabras nunca serán lo suficiente para agradecer las enseñanzas, el apoyo incondicional y el amor infinito que día a día me regalan.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Ser supremo</b>	Por alinear las piezas del universo a mi favor y darme hasta lo inmerecido.
<b>Mis padres</b>	Por haberme brindado el preciado privilegio de la educación y asistirme incondicionalmente a lo largo de la carrera y de la vida.
<b>Mis hermanos</b>	Brenda Paola y Rudy Antonio García Valdez, por ser ejemplo y apoyo en todo momento.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mí casa de estudios y darme la oportunidad de formarme como profesional en sus aulas.
<b>Dirección General de Energía</b>	Por abrirme las puertas y brindarme todas las facilidades para la ejecución de este proyecto.
<b>Elviramaría Castellanos y Gabriel Velásquez</b>	Por ser parte importante del camino que me ha llevado a concluir este objetivo.
<b>Empresa Eléctrica de Guatemala</b>	Por ser la institución que me brindó la oportunidad de iniciarme en el medio profesional.

**Mi asesor**

Por ser parte importante en la elaboración de este trabajo.

**Compañeros de la  
Facultad de Ingeniería**

Por haberme brindado su apoyo en todo momento y premiarme con su sincera amistad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN.....	1
1.1. Historia .....	1
1.2. Misión .....	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Estructura organizacional .....	3
1.5. Organigrama.....	3
1.6. Marco legal .....	4
1.6.1. Ley General de Electricidad.....	4
1.6.2. Política Energética 2013 - 2027 .....	5
1.6.3. Plan Nacional de Energía 2017 – 2032 .....	6
1.7. Normas de referencia .....	8
1.7.1. ISO 50001 .....	8
1.7.2. ISO 50002 .....	10
2. CONCEPTOS GENERALES.....	11
2.1. Instalación eléctrica .....	11
2.2. Objetivos de una instalación eléctrica .....	11
2.2.1. Seguridad .....	11

2.2.2.	Eficiencia .....	12
2.2.3.	Economía .....	12
2.2.4.	Flexibilidad .....	12
2.2.5.	Accesibilidad .....	12
2.3.	Elementos de una instalación eléctrica .....	13
2.3.1.	Acometida .....	13
2.3.2.	Conductores .....	14
2.3.2.1.	Calibres de conductores .....	15
2.3.3.	Centro de carga .....	15
2.3.4.	Tablero de distribución .....	15
2.3.5.	Canalización .....	16
2.3.5.1.	Tubos conduit .....	17
2.3.5.2.	Bandejas portacables .....	17
2.3.5.3.	Canaletas .....	17
2.3.6.	Protecciones eléctricas .....	18
2.3.6.1.	Interruptor termomagnético .....	18
2.3.6.2.	Interruptor diferencial .....	19
2.3.6.3.	Fusibles .....	19
3.	DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS .....	21
3.1.	Instalaciones .....	21
3.2.	Caracterización de cargas .....	23
3.3.	Estado actual de la red en media tensión .....	26
3.3.1.	Conductores y aislamiento .....	27
3.3.2.	Banco de transformadores .....	29
3.3.2.1.	Prueba de relación de transformación (TTR) .....	30
3.3.2.2.	Prueba de resistencia de aislamiento .....	30
3.3.2.3.	Prueba de aceite dieléctrico .....	32

3.3.3.	Inspección termográfica.....	33
3.4.	Estado actual de la red en baja tensión.....	34
3.4.1.	Conductores .....	34
3.4.2.	Canalización .....	35
3.4.3.	Protección eléctrica .....	36
3.4.4.	Centro de carga.....	37
3.5.	Diagramas unifilares.....	38
3.6.	Normas aplicables a diagramas unifilares .....	38
3.6.1.	NEMA ICS 19-2002 (R2007) .....	39
3.6.2.	IEC 60617.....	40
3.7.	Diagrama unifilar de la red principal .....	41
3.8.	Diagramas unifilares de la red secundaria.....	42
3.8.1.	Diagrama unifilar tablero TD2.....	42
3.8.2.	Diagrama unifilar tablero TE2.....	43
3.8.3.	Diagrama unifilar tablero TD9.....	44
3.8.4.	Diagrama unifilar tablero TD6.....	45
3.8.5.	Diagrama unifilar tablero TD8.....	46
3.8.6.	Diagrama unifilar tablero TD7.....	47
3.8.7.	Diagrama unifilar tablero TD3.....	48
3.8.8.	Diagrama unifilar tablero TD4.....	49
3.8.9.	Diagrama unifilar tablero TD5.....	50
3.8.10.	Diagrama unifilar tablero TD11.....	51
3.8.11.	Diagrama unifilar tablero TD1.....	52
3.8.12.	Diagrama unifilar tablero TD10.....	53
3.8.13.	Diagrama unifilar tablero TE1.....	54
4.	ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	55
4.1.	Calidad de energía eléctrica.....	55
4.1.1.	Disturbios en el sistema.....	55



4.1.2.	Disturbios por elevaciones momentáneas de voltaje .....	56
4.1.3.	Disturbios por caídas momentáneas de voltaje .....	56
4.1.4.	Interrupciones de larga duración .....	57
4.1.5.	Normas aplicables a la calidad de energía .....	57
4.1.5.1.	Estándar IEEE 1159-1995.....	57
4.1.5.2.	Estándar IEEE 519-1992.....	58
4.1.5.3.	IEC 61000-4-30 .....	59
4.1.5.4.	Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) .....	60
4.2.	Armónicos .....	61
4.2.1.	Importancia de armónicos en sistemas eléctricos actuales.....	61
4.2.2.	Efectos de armónicos .....	61
4.2.3.	Fuentes de armónicos .....	62
4.2.4.	Factor k .....	63
4.3.	Instrumentos utilizados para la medición de la calidad de energía .....	64
4.3.1.	Analizador de red Dranetz HDPQ® Guide .....	64
4.3.2.	Características técnicas del Dranetz HDPQ® Guide.....	65
4.3.3.	Programas de medida .....	66
4.3.4.	Software para el análisis DRAN-VIEW 7 .....	66
4.3.5.	Funciones básicas del software DRAN-VIEW 7 .....	67
4.4.	Medición en el edificio .....	67
4.4.1.	Análisis de voltaje.....	69
4.4.1.1.	Desbalance de voltaje .....	70
4.4.1.2.	Regulación de voltaje .....	71
4.4.2.	Análisis de corriente .....	72

4.4.2.1.	Análisis de desbalance de corriente ....	73
4.4.2.2.	Incidencia del desbalance de corriente sobre el voltaje.....	74
4.4.3.	Análisis de potencia activa .....	75
4.4.4.	Análisis de potencia reactiva .....	76
4.4.5.	Análisis de potencia aparente.....	77
4.4.6.	Análisis de potencia trifásica y factor de potencia ..	78
4.4.7.	Distorsión armónica total de voltaje .....	81
4.4.8.	Distorsión armónica total de corriente .....	82
4.4.8.1.	Distorsión armónica individual de corriente.....	83
4.4.9.	<i>Flicker</i> .....	87
4.4.10.	Factor K.....	89
4.5.	Conclusiones y recomendaciones .....	90
5.	EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	93
5.1.	Objetivos de la eficiencia energética .....	93
5.2.	Análisis de facturación histórica .....	94
5.3.	Hábitos de consumo .....	98
5.4.	Medidas de ahorro y eficiencia energético .....	100
5.4.1.	Iluminación .....	100
5.4.1.1.	Medidas de mejora .....	109
5.4.2.	Climatización y aires acondicionados .....	110
5.4.2.1.	Medidas de mejora .....	110
5.4.3.	Equipos eléctricos.....	111
5.4.3.1.	Medidas de mejora .....	112
5.4.4.	Selección de equipo más eficiente .....	114
5.4.4.1.	Sello Energy Star.....	114
5.4.4.2.	Etiqueta energética.....	115

5.5.	Análisis económico del ahorro energético por cambio en la tecnología de iluminación .....	116
5.5.1.	Proyección del consumo de energía eléctrica .....	117
5.5.2.	Simulación de consumo eléctrico con tecnología led .....	118
5.5.3.	Inversión necesaria para el cambio de iluminación .....	120
5.5.4.	Evaluación económica de la rentabilidad del proyecto.....	121
5.6.	Otras formas de ahorro .....	122
5.6.1.	Modificación al valor de potencia contratada.....	122
5.6.2.	Buenas prácticas y hábitos de consumo .....	123
5.7.	Comparación entre el costo de energía eléctrica proyectado y el esperado .....	125
6.	PROTECCIONES ELÉCTRICAS .....	127
6.1.	Sistemas de puesta a tierra.....	127
6.1.1.	Resistividad eléctrica de los suelos .....	127
6.1.2.	Medición de la resistividad de los suelos .....	128
6.1.3.	Cálculo de la resistencia de puesta a tierra.....	128
6.1.4.	Variables que afectan la resistencia de puesta a tierra .....	130
6.1.4.1.	Longitud del electrodo .....	131
6.1.4.2.	Diámetro del electrodo .....	131
6.1.4.3.	Número de electrodos .....	131
6.1.4.4.	Diseño del sistema .....	132
6.1.5.	Selección del sistema de puesta a tierra para la DGE.....	132
6.2.	Sistemas de pararrayos .....	135

6.2.1.	Tipos de pararrayos .....	135
6.2.1.1.	Pararrayos de puntas captadoras .....	136
6.2.1.2.	Pararrayos punta simple Franklin .....	136
6.2.1.3.	Pararrayos con dispositivo de cebado .....	136
6.2.1.4.	Pararrayos CTS .....	137
6.2.2.	Evaluación de riesgo por impacto de rayo .....	137
6.2.2.1.	Densidad de impacto de rayo sobre el terreno .....	137
6.2.2.2.	Frecuencia de impactos directos de rayo sobre la estructura .....	139
6.2.2.3.	Frecuencia aceptable de rayos sobre la estructura .....	141
6.2.2.4.	Selección del nivel de protección .....	142
6.3.	Supresores .....	142
6.3.1.	Categorización de supresores según ubicación ...	143
6.3.2.	Especificaciones técnicas de un supresor .....	143
6.3.3.	Criterios de selección de un supresor .....	144
6.3.4.	Selección de supresores en las instalaciones de la DGE .....	145
CONCLUSIONES .....		149
RECOMENDACIONES .....		151
BIBLIOGRAFÍA .....		153



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura organizacional DGE, MEM.....	3
2.	Vista satelital de la DGE.....	21
3.	Área y vista de planta de la DGE .....	23
4.	Curva de demanda diaria de la DGE.....	24
5.	Distribución de cargas eléctricas en la DGE .....	25
6.	Red interna de media tensión .....	26
7.	Libranza entre conductores y árboles .....	27
8.	Aislamiento visto a través de cámara coronográfica .....	28
9.	Placa de transformador .....	29
10.	Inspección termográfica a transformadores .....	33
11.	Simbología NEMA .....	39
12.	Simbología IEC .....	40
13.	Diagrama unifilar de acometida y tablero principal.....	41
14.	Diagrama unifilar tablero TD2 .....	42
15.	Diagrama unifilar tablero TE2.....	43
16.	Diagrama unifilar tablero TD9 .....	44
17.	Diagrama unifilar tablero TD6 .....	45
18.	Diagrama unifilar tablero TD8 .....	46
19.	Diagrama unifilar tablero TD7 .....	47
20.	Diagrama unifilar tablero TD3 .....	48
21.	Diagrama unifilar tablero TD4 .....	49
22.	Diagrama unifilar tablero TD5 .....	50
23.	Diagrama unifilar tablero TD11 .....	51

24.	Diagrama unifilar tablero TD1 .....	52
25.	Diagrama unifilar tablero TD10 .....	53
26.	Diagrama unifilar tablero TE1 .....	54
27.	Dranetz HDPQ® Guide .....	65
28.	Instalación de Dranetz HDPQ Guide en tablero principal .....	68
29.	Perfiles de voltaje línea a neutro .....	69
30.	Perfiles de voltaje línea a línea .....	70
31.	Desbalance de voltaje .....	71
32.	Regulación de voltaje .....	72
33.	Corrientes por fase .....	73
34.	Desbalance de corriente .....	74
35.	Gráfica de dispersión V - I .....	75
36.	Potencia activa .....	76
37.	Potencia reactiva .....	77
38.	Potencia aparente .....	78
39.	Potencia trifásica total .....	79
40.	Factor de potencia trifásico .....	80
41.	Distorsión armónica total de voltaje .....	81
42.	Distorsión armónica total de corriente .....	82
43.	Distorsión armónica individual de corriente en la fase A .....	84
44.	Distorsión armónica individual de corriente en la fase B .....	85
45.	Distorsión armónica individual de corriente en la fase C .....	86
46.	Índice de severidad de corto plazo .....	87
47.	Forma de onda de voltaje durante <i>sag</i> .....	88
48.	Factor K .....	89
49.	Consumo de energía 2016 y 2017 .....	94
50.	Demanda de potencia 2016 y 2017 .....	95
51.	Factor de potencia 2016 y 2017 .....	96
52.	Facturación de energía eléctrica 2016 y 2017 .....	97

53.	Precio de tarifa 2016 y 2017 .....	98
54.	Valores promedio de iluminación por ambiente .....	107
55.	Nivel de eficiencia lumínica por ambiente .....	108
56.	Sello Energy Star .....	114
57.	Etiqueta energética .....	116
58.	Comparación entre el costo de energía eléctrica proyectado y el esperado.....	125
59.	Sistema de puesta a tierra propuesto para la DGE.....	135
60.	Mapa isocerámico de Guatemala.....	138
61.	Superficie de captura equivalente del edificio de la DGE.....	140
62.	Frecuencia de rayos 2017.....	146

## **TABLAS**

I.	Desglose del área superficial de la DGE.....	22
II.	Distribución de cargas en la DGE .....	25
III.	Prueba de relación de transformación.....	30
IV.	Prueba de resistencia de aislamiento.....	31
V.	Prueba de aceite dieléctrico .....	32
VI.	Estado actual de los conductores .....	35
VII.	Estado actual de la canalización .....	36
VIII.	Estado actual de las protecciones.....	37
IX.	Transformadores tipo k más comerciales.....	64
X.	Encuesta de hábitos de consumo .....	99
XI.	Altura y temperatura de color por luminaria .....	101
XII.	Tipo de difusor por luminaria.....	102
XIII.	Control de encendido y apagado por luminaria.....	103
XIV.	Luz natural y deficiencias de iluminación en áreas de trabajo .....	104
XV.	Eficiencias e iluminación promedio .....	105



XVI.	Niveles de iluminación .....	106
XVII.	Consumo de energía eléctrica según día de la semana .....	117
XVIII.	Proyección del consumo de energía eléctrica para el período de un año.....	118
XIX.	Comparación entre lámparas existentes y propuestas .....	119
XX.	Cuadro comparativo entre la energía consumida por lámparas fluorescentes y lámparas led en un día hábil .....	119
XXI.	Ahorro esperado con el cambio de luminarias propuesto .....	120
XXII.	Costo asociado al cambio de luminaria fluorescente por tipo led .....	121
XXIII.	Ahorro asociado a la modificación de la potencia contratada .....	123
XXIV.	Ahorro esperado con la implementación de buenas prácticas y hábitos de consumo.....	124
XXV.	Configuraciones de electrodos de puesta a tierra.....	129
XXVI.	Factor de multiplicación para arreglos de 2 a 24 varillas .....	130
XXVII.	Medidas de resistividad del terreno .....	132
XXVIII.	Determinación del coeficiente $C_1$ .....	139
XXIX.	Coeficientes $C_2$ , $C_3$ , $C_4$ y $C_5$ .....	141
XXX.	Categorías de supresores según IEEE C62.41.1-2002 .....	143
XXXI.	Procedimiento para seleccionar un supresor.....	144
XXXII.	Coordinación de supresores según IEEE C62.41.1-2002.....	145
XXXIII.	Sumatoria de punteo.....	147
XXXIV.	Dimensionamiento de supresores para la DGE.....	148

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Unidad de intensidad de corriente eléctrica en amperios
<b>dyn/cm</b>	Unidad de medida de torque en dinas sobre centímetro
<b>GWh</b>	Unidad de energía eléctrica que equivale a mil millones de vatios hora
<b>GΩ</b>	Unidad de medida de resistencia eléctrica que equivale a mil millones de ohms
<b>kA</b>	Unidad de intensidad de corriente eléctrica que equivale a mil amperios
<b>kV</b>	Unidad de tensión o voltaje que equivale a mil voltios
<b>kVA</b>	Unidad de potencia eléctrica que equivale a mil voltamperios
<b>kW</b>	Unidad de potencia eléctrica que equivale a mil vatios
<b>kWh</b>	Unidad de energía eléctrica que equivale a mil vatios hora
<b>kWh/día</b>	Razón de consumo de mil vatios hora por día
<b>lx</b>	Unidad de medida del nivel de iluminación en luxes
<b>m</b>	Unidad de medida de longitud en metros
<b>m<sup>2</sup></b>	Unidad de medida de área en metros cuadrados

<b>mgKOH/gr</b>	Unidad de medida que representa la reserva alcalina en miligramos de Hidróxido de Potasio que contiene un gramo de aceite
<b>MW</b>	Unidad de potencia eléctrica que equivale a un millón de vatios
<b>V</b>	Unidad de tensión o voltaje en voltios
<b>Wh</b>	Unidad de energía eléctrica en vatios hora
<b><math>\Omega</math></b>	Unidad de medida de resistencia eléctrica en ohms

## GLOSARIO

<b>ACSR</b>	Acrónimo del inglés <i>Aluminium Conductor Steel Reinforced</i> / conductor de aluminio con refuerzo de acero.
<b>AWG</b>	Acrónimo del inglés <i>American Wire Gauge</i> / calibre de alambre estadounidense.
<b>BS</b>	Acrónimo del inglés <i>British Standards</i> / normas británicas.
<b>Cámara coronográfica</b>	Cámara capaz de registrar una imagen de radiación ultravioleta junto con una imagen regular.
<b>Cámara termográfica</b>	Cámara capaz de registrar la emisión de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados y convertirla en una imagen visible.
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono.
<b>DGE</b>	Dirección General de Energía.
<b>Factor K</b>	Constante que indica la capacidad del transformador para alimentar cargas no lineales y soportar las corrientes de armónicos sin exceder su temperatura de funcionamiento.

<b><i>Flicker</i></b>	Término que se refiere a un disturbio en la amplitud de tensión, el cual es percibido como una variación en la luminosidad de una lámpara.
<b><i>IEC</i></b>	Acrónimo del inglés <i>International Electrotechnical Commission</i> / Comisión Electrotécnica Internacional.
<b><i>IEEE</i></b>	Acrónimo del inglés <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> / Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b><i>ISO</i></b>	Acrónimo del inglés <i>International Organization for Standardization</i> / Organización Internacional de Normalización.
<b>Luz led</b>	Lámpara que basa su funcionamiento en cuerpos semiconductores sólidos de gran resistencia, los cuales al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad emiten luz de forma eficiente y con un alto rendimiento.
<b>Leyes de Kirchhoff</b>	Son dos igualdades que tienen su origen en la ley de conservación de la energía y que son empleadas para obtener los valores de la corriente y el voltaje en cualquier punto de un circuito.

<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>Método Wenner</b>	Método empleado para medir la resistividad de los suelos, el cual consiste en clavar en el terreno cuatro electrodos separados con una distancia constante y hacer circular corriente por los mismos.
<b>Nivel ceráunico</b>	Término que se refiere al promedio anual de días u horas de descargas electro atmosféricas para una localidad determinada.
<b>NTSD</b>	Normas técnicas del servicio de distribución.
<b>Sag</b>	Disminución del valor eficaz de la tensión entre el 0.9 y el 0.1 p.u. de la tensión de funcionamiento normal y con una duración desde medio ciclo hasta algunos segundos.
<b>SENACYT</b>	Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología.
<b>Swell</b>	Incremento del valor eficaz de la tensión entre el 1.1 y el 1.8 p.u. de la tensión de funcionamiento normal, con una duración entre medio ciclo y algunos segundos.
<b>Telurómetro</b>	Es un instrumento de medida que emite una pequeña tensión alterna de prueba junto a un valor determinado de corriente. Sabiendo la tensión y

corriente, el instrumento obtiene la resistencia de puesta a tierra.

<b>THD</b>	Acrónimo del inglés <i>Total Harmonic Distortion</i> / distorsión armónica total.
<b>Transientes</b>	Término que hace referencia a aumentos de tensión muy elevados, del orden de kV, de muy corta duración, originados principalmente por el impacto de un rayo.
<b>UNE</b>	Asociación Española de Normalización.
<b>Valor rms</b>	Valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica.
<b>Varilla <i>copperweld</i></b>	Es un elemento bimetálico compuesto por un núcleo de acero y una película externa de cobre unidos metalúrgicamente.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación contiene información de lo desarrollado durante el Ejercicio Profesional Supervisado en la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas. En este se describen los detalles más relevantes de la ejecución del proyecto, los cuales tratan de ser abarcados en seis capítulos que se estructuran de la siguiente manera:

En el primer capítulo se desarrolla lo referente a las generalidades de la institución, donde se detalla su historia, estructura organizacional, así como el marco legal que rige sus funciones principales. Además, se hace mención de la Política Energética y el Plan Nacional de Energía que la institución ha impulsado, temas que adquieren gran relevancia para efectos de este proyecto por ser los principales promotores del mismo.

En el segundo capítulo se expone la terminología y conceptos generales relacionados a los elementos más comunes que constituyen una instalación eléctrica, sirviendo esto como plataforma para algunos de los capítulos posteriores.

En el tercer capítulo se realiza una evaluación diagnóstico de la instalación eléctrica del edificio, obteniendo de esta forma información importante acerca de los elementos que la conforman, así como del estado de los mismos.

En el cuarto capítulo se incluye el análisis de los resultados obtenidos durante el estudio de calidad de energía, el cual persigue identificar posibles



alteraciones en los parámetros eléctricos luego de realizar la comparación entre los datos adquiridos y los límites establecidos en las normativas de referencia.

En el quinto capítulo se realiza una evaluación de los consumos energéticos del edificio y se proponen medidas de ahorro para los mismos. Durante esta evaluación se encuentran incluidos aspectos como el gasto energético que demanda la iluminación, la climatización de los ambientes y la utilización de equipos que no se consideran eficientes.

El sexto capítulo consiste en la propuesta de un rediseño del sistema de puesta a tierra, así como la evaluación y planteamiento de un sistema de protecciones que incluye pararrayos y supresores de transientes, los cuales en conjunto tienen como finalidad favorecer a la seguridad física y operativa de la instalación.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar el funcionamiento de la instalación eléctrica interna del edificio de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas y proponer en base a los resultados correcciones para mejorar la calidad de la potencia eléctrica y la eficiencia en el consumo de la energía eléctrica.

### **Específicos**

1. Elaborar un compendio de propuestas para la optimización de la energía que se consume en el inmueble con el fin de poderlas traducir en un ahorro económico para la institución.
2. Identificar todas aquellas variables eléctricas que se encuentren fuera de los límites establecidos por las normativas de referencia.
3. Identificar fuentes evidentes de problemas que puedan llegar a repercutir en fallas dentro de la instalación eléctrica del inmueble.



## INTRODUCCIÓN

En cumplimiento del eje número 2 del Plan Nacional de Energía 2017-2032 nace el convenio de cooperación entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Ministerio de Energía y Minas, el cual tiene como objetivo desarrollar auditorías energéticas sobre edificios de distintas instituciones públicas del país. Dichas auditorías persiguen fomentar el uso eficiente de los consumos energéticos, la promoción de tecnologías para la eficiencia y el ahorro energético, así como la reducción de gases de efecto invernadero. Derivado de lo anterior, el presente trabajo contempla llevar a cabo un estudio sobre el estado físico y operativo de las instalaciones eléctricas del edificio de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, y en base a los resultados obtenidos proponer las soluciones que sean física y económicamente más factibles.

Es importante mencionar que la institución pública que fuera asignada para efectos de este proyecto posee una antigüedad considerable y que si bien la misma ha tenido algunos cambios y modificaciones derivadas de readecuaciones surgidas durante las últimas décadas, el diseño eléctrico original y los elementos que la conforman, de tecnologías pasadas principalmente, persisten en su gran mayoría; esto hace considerar la necesidad de llevar a cabo un proyecto de este tipo no solo por el impacto económico que esto pudiera estar significando sino también por el riesgo a la seguridad del estado operativo que esto representa.



# **1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN**

La Dirección General de Energía es la dependencia del Ministerio de Energía y Minas cuya función principal es la de velar por el estricto cumplimiento de las leyes y reglamentos atinentes a sus funciones y atribuciones, formulando y coordinando las políticas de Estado y programas indicativos de las diversas fuentes energéticas. Con el objetivo principal de, consolidar la rectoría del Ministerio de Energía y Minas en materia energética e igualmente consolidar su autoridad reguladora en el control y supervisión radiológica y eléctrica.

## **1.1. Historia**

Conforme la Ley que regulaba las actividades del Organismo Ejecutivo, correspondía al Ministerio de Economía conocer todo lo relativo a los hidrocarburos, minas y canteras, pero por lo creciente y complejo de tales actividades fue necesario separar de dicho Ministerio, la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, dando vida mediante el Decreto Ley 57-78 a la Secretaría de Minería, Hidrocarburos y Energía Nuclear, adscrita a la Presidencia de la República.

Ante el crecimiento e importancia de las actividades relativas al desarrollo de la industria petrolera y minera, y el aprovechamiento del uso pacífico de la energía nuclear y de las fuentes nuevas y renovables de energía, cambió la denominación de tal Secretaría mediante el Decreto Ley Número 86-83, llamándose Secretaría de Energía y Minas. No obstante que la Emisión de este Decreto Ley significó un avance para que dicha secretaría cumpliera en

mejor forma sus funciones, se hizo necesario contar con un órgano más especializado que atendiera y dinamizara el desarrollo en el sector, dando lugar a que por medio del Decreto Ley Número 106-83 de fecha 8 de septiembre de 1983, naciera a la vida política del país el Ministerio de Energía y Minas, tomando vigencia a partir del 10 de septiembre de ese mismo año.

De conformidad con las políticas de gobierno, se creó la Dirección General de Energía, que es la dependencia que tiene bajo su responsabilidad el estudio, fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía de conformidad con el Decreto número 57-78 del Congreso de la República de Guatemala (Ley de Creación del Ministerio de Energía y Minas) y sus reformas, la Ley General de Electricidad contenida en el Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, y la Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes, Decreto Ley número 11-86.

## **1.2. Misión**

Contribuir al desarrollo energético sustentable, impulsando el suministro y utilización eficiente y competitiva de la energía eléctrica, de las energías renovables, y de los usos pacíficos de la energía nuclear, con la finalidad de apoyar las sustentabilidad económica, social y ambiental del país.

## **1.3. Visión**

Coadyuvar al desarrollo energético para fortalecer el crecimiento económico y social del país.

#### 1.4. Estructura organizacional

Para el adecuado cumplimiento de sus funciones, la Dirección General de Energía, como unidad administrativa superior del MEM, cuenta dentro de su estructura orgánica con las siguientes unidades administrativas:

- Despacho del Director.
  - Subdirección de Energía.
    - Departamento de Desarrollo Energético.
    - Departamento de Energías Renovables.
    - Departamento de Protección y Seguridad Radiológica.
    - Departamento de Radiaciones No Ionizantes.
    - Departamento Gestión Legal.
    - Departamento Administrativo Financiero.

#### 1.5. Organigrama

A continuación se muestra el organigrama esquemático de funcionamiento de la Dirección General de Energía:

Figura 1. Estructura Organizacional DGE, MEM



Fuente: Dirección General de Energía.



## **1.6. Marco legal**

La Constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 119, indica las obligaciones fundamentales del estado, en ella refiere en su literal c: la adopción de medidas necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales del país en forma eficiente. El estado de Guatemala tiene un mandato constitucional claro para el aprovechamiento y desarrollo de los recursos naturales renovables.

La Ley del Organismo Ejecutivo en su artículo 34, establece que corresponde al Ministerio de Energía y Minas el estudio y fomento del uso de fuentes nuevas y renovables de energía, así como la promoción del aprovechamiento racional y el desarrollo energético en sus diferentes formas y tipos, de tal forma que se cuente con una política nacional que busquen lograr la autosuficiencia energética del país.

### **1.6.1. Ley General de Electricidad**

La Ley General de Electricidad fue aprobada por medio del Decreto Número 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, el 13 de noviembre de 1996.

En su artículo 3, dicta que el Ministerio de Energía y Minas, es el ente responsable de formular y coordinar las políticas, planes de estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar esta ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones; y en su artículo 7, regula la separación de funciones en la actividad eléctrica, es decir, una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar y

transportar y distribuir energía eléctrica en el sistema eléctrico nacional deberá realizarlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes.

### **1.6.2. Política Energética 2013 - 2027**

La Política Energética 2013-2027 es un instrumento de carácter público, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, aprobado bajo el Acuerdo Gubernativo 80-2013, con el objetivo de contribuir al desarrollo energético sostenible del país con equidad social y respeto al medio ambiente.

La Política Energética 2013-2027 contempla 5 ejes estratégicos de acción:

- Eje #1. Seguridad y abastecimiento de electricidad a precios competitivos: entre sus objetivos operativos proyecta diversificar la matriz de generación de energía eléctrica mediante la priorización de fuentes renovables, promoviendo la inversión en generación de 500 MW de dichas fuentes y enfocando como meta de largo plazo alcanzar un 80 % de la generación de energía eléctrica por medio de recursos renovables con 95 % de índice de cobertura eléctrica.
- Eje #2. Seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos: con base en sus objetivos operativos se promueve la inserción de la comercialización de combustibles alternos dentro del territorio nacional, a la vez se planea fortalecer el control y fiscalización de los actores de la cadena de comercialización de combustibles y gas natural, buscando mejorar la competitividad en el mercado de combustibles.

- Eje #3. Exploración y explotación de reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional: las miras de los objetivos operativos de este eje consisten en incrementar la oportunidad de exploración y explotación de las reservas del país para tener mayor producción de petróleo y gas natural a nivel nacional, paralelo a esto, se persigue modernizar la plataforma tecnológica para la producción y transporte de petróleo y gas natural bajo un enfoque de desarrollo sostenible, esto ayuda a incentivar la refinación de crudo nacional.
- Eje #4. Ahorro y uso eficiente de la energía: se trabaja la creación de los mecanismos para el ahorro y uso de la energía, donde se busca el cumplimiento de uno de sus objetivos operativos, el cual consiste en lograr que el 30 % de las instituciones del sector público utilicen eficientemente la energía.
- Eje #5. Reducción del uso de leña en el país: la finalidad de los objetivos operativos de este eje radica en la reducción del uso de leña en los sectores residencial e industrial, promoviendo métodos alternativos que cumplen con la misma finalidad que tiene el uso de la leña.

Asimismo, la Política Energética manda a la implementación de un plan nacional para el ahorro y uso eficiente de la energía.

### **1.6.3. Plan Nacional de Energía 2017 – 2032**

El fin de la elaboración del Plan Nacional de Energía es cumplir con los objetivos establecidos en la Ley Marco de Cambio climático, decreto 07-2013 del Congreso de la República de Guatemala, los cuales están orientados a reducir los impactos del cambio climático por medio de la disminución de gases

de efecto invernadero promoviendo el uso de tecnologías para la eficiencia y el ahorro energético; priorizando el uso de fuentes de energía renovable de manera sostenible para diversificar la matriz de generación de energía eléctrica, así como la sustitución del uso de leña por nuevas fuentes energéticas y tecnológicas, de tal manera que se obtengan beneficios para mejorar las condiciones ambientales utilizando fuentes con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

El Plan Nacional de Energía plantea los siguientes 3 ejes estratégicos:

- Eje #1. Aprovechamiento sostenible de los recursos renovables: este tiene como objeto priorizar el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, para la generación y consumo de energía eléctrica. Los recursos renovables deben ser aprovechados de manera sostenible en el tiempo para no comprometer los recursos de las generaciones futuras, logrando beneficios ambientales y climáticos a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para el cumplimiento en este eje se promueven los lineamientos necesarios para la expansión del sistema de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y su energía base por medio de combustibles fósiles que garanticen la seguridad energética del país.
- Eje # 2. Eficiencia y ahorro energético: el segundo eje de este plan fortalece los objetivos y acciones del cuarto eje de la Política Energética 2013-2027, para fomentar el uso eficiente de los consumos energéticos en los sectores residencial, comercial, institucional y comercial del país. El plan también hace énfasis en los mecanismos de implementación existentes y nuevas metodologías para el ahorro y uso eficiente de la energía.

- Eje # 3. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: el tercer eje enmarca la importancia de llevar a cabo las acciones planteadas en el plan, en sus dos ejes anteriores, demostrando las cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero que se pueden reducir por sector, aportando a la mitigación de los efectos del cambio climático. La meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, propuestas por el Plan Nacional de Energía, es de 29,20 % para el 2032. Esta reducción del 29,20 % implica que las emisiones, en un escenario tendencial de 16,82 millones de toneladas de CO2 equivalentes para el 2032, serán reducidas a un valor de 11,91 millones de toneladas de CO2 equivalentes en ese año.

## **1.7. Normas de referencia**

En materia de eficiencia energética existen normas establecidas, las cuales están dirigidas a establecimientos y organizaciones con el objetivo de hacer más eficiente el manejo de su consumo energético mediante prácticas sugeridas.

### **1.7.1. ISO 50001**

El propósito de esta norma internacional es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta norma internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. Esta norma internacional es

aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y, especialmente, de la alta dirección.

Esta norma internacional especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. Un SGEn permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política, tomar acciones, según sea necesario, para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta norma internacional. Esta norma internacional se aplica a las actividades bajo el control de la organización y la utilización de la misma puede adecuarse a los requisitos específicos de la organización, incluyendo la complejidad del sistema, el grado de documentación y los recursos.

Esta norma se basa en el ciclo de mejora continua, el cual puede resumirse de la manera siguiente:

- Planificar: llevar a cabo la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético, los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para lograr los resultados que mejorarán el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización.
- Hacer: implementar los planes de acción de gestión de la energía.

- Verificar: realizar el seguimiento y la medición de los procesos y de las características clave de las operaciones que determinan el desempeño energético en relación a las políticas y objetivos energéticos e informar sobre los resultados.
- Actuar: tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético y el SGE<sup>1</sup>.

### **1.7.2. ISO 50002**

Esta norma especifica los requisitos del proceso de realización de una auditoría energética en relación con la eficiencia energética. Es aplicable a todos los tipos de establecimientos y organizaciones, y todas las formas de uso de la energía.

Además, también especifica los principios de la realización de auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante las auditorías energéticas, y los resultados de las auditorías energéticas.

La Norma ISO 50002 no se ocupa de los requisitos para la selección y evaluación de la competencia de los organismos que prestan servicios de auditoría energética, y no cubre la auditoría del sistema de gestión de energía de una organización, ya que esta se describe en la norma ISO 50003.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> International Standard Organization. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es:term:3.18>. Consulta: 15 de marzo de 2018.

<sup>2</sup> Ibid.

## **2. CONCEPTOS GENERALES**

### **2.1. Instalación eléctrica**

Una instalación eléctrica es aquel conjunto de elementos que permite la distribución de la energía eléctrica desde una fuente o punto de suministro, hasta cada una de las cargas instaladas. Entre los elementos que conforman una instalación de este tipo se pueden mencionar: transformadores, tableros, interruptores, cables conductores, canalizaciones, equipos de control, equipos de protección, entre otros.

### **2.2. Objetivos de una instalación eléctrica**

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos de una manera segura y eficiente. Además debe ser económica, flexible y de fácil acceso.

#### **2.2.1. Seguridad**

El aspecto de seguridad en una instalación corresponde a la acción de eliminar cualquier tipo de riesgo en el cual los usuarios, los equipos que se alimentan o incluso los que están a sus alrededores puedan llegar a verse afectados.



### **2.2.2. Eficiencia**

El diseño de una instalación debe contemplar los más mínimos detalles para evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la componen o por el impedimento de poder desconectar equipos o secciones de iluminación mientras no estén siendo utilizados.

### **2.2.3. Economía**

Esta característica se refiere a la ejecución de proyectos tomando como punto de partida la solución más óptima en el plano económico, dicha solución corresponde a ejecutar con la menor inversión posible pero siempre sin dejar de cumplir con los requerimientos y las especificaciones de diseño.

### **2.2.4. Flexibilidad**

El concepto de flexibilidad en una instalación eléctrica está ligado a la capacidad que tiene esta de adaptarse a modificaciones posteriores, es decir, a todo aquel cambio que pueda llegar a alterar el diseño original.

### **2.2.5. Accesibilidad**

El diseño de una instalación debe contemplar un fácil acceso a todos los sitios que puedan requerir manipulación o mantenimiento.

Dentro de este concepto también se incluye el contar con todas las facilidades que permitan entender el diseño de la instalación, desde la especificación detallada de los equipos mediante rotulado o etiquetado hasta la existencia de planos y diagramas.

### **2.3. Elementos de una instalación eléctrica**

Es importante considerar y definir todos aquellos elementos que conforman una instalación eléctrica, a fin de lograr una visión general de lo que cualquier instalación debe contemplar.

Las instalaciones eléctricas interiores en cualquier tipo de inmueble coinciden casi siempre con los mismos elementos, sin embargo, se presentan ciertas diferencias a medida de que la complejidad y aumento de carga de las instalaciones aumenta. Independientemente de lo anterior, cualquier instalación debe estar constituida por las siguientes partes funcionales: una alimentación de donde se recibe la energía del exterior, un sistema de protecciones que garantiza la seguridad de personas y equipos conectados, elementos conductores que se encargan de conducir la corriente, elementos de mando y maniobra que permiten actuar sobre el flujo de corriente, y finalmente los puntos de consumo que son los que reciben la energía para transformarla según sea la necesidad.

#### **2.3.1. Acometida**

Como acometida se define a todo aquel conjunto de conductores y componentes utilizados para realizar la conexión entre la red, propiedad de la distribuidora de energía, y el alimentador que suministra al usuario.

Las acometidas eléctricas se clasifican por dos criterios básicos: según el nivel de tensión y según el tipo de construcción.

- Según nivel de tensión:
  - Baja tensión: 120/240 V, 120/208 V, 240/480 V, aplica a todos los servicios cuya tensión de suministro sea menor o igual a 1 kV.
  - Media tensión: aplica a todos los servicios cuya tensión de suministro, en el punto de entrega, sea 13.2 kV.
  
- Según tipo de construcción:
  - Acometida aérea: la alimentación, desde el punto de entrega de energía hacia la propiedad del interesado se da por alto de la construcción por medio de una mufa y tubo, desde un poste de la red de suministro.
  - Acometida subterránea: la alimentación, desde el punto de entrega de energía hacia la propiedad del interesado se da por debajo de la construcción, desde un registro o pozo de visita de la red de suministro.

### **2.3.2. Conductores**

Por conductores nos referimos a todos aquellos elementos que proveen un camino para que la corriente eléctrica pueda circular. La mayor parte de los conductores usados en instalaciones eléctricas son de cobre o aluminio debido a su buena conductividad y a que son accesibles económicamente. A pesar de lo anterior, es importante mencionar que el cobre es el material que comúnmente se emplea en instalaciones eléctricas de baja tensión, es decir, todas aquellas cuyo voltaje de operación no excede los 1 000 voltios.

### **2.3.2.1. Calibres de conductores**

Los conductores se identifican por un número que corresponde a lo que tradicionalmente se le conoce como calibre, el cual está directamente relacionado a su sección o diámetro. Dicha numeración obedece a la designación que el sistema norteamericano de calibres (*AWG*) ha establecido, donde a medida que el número aumenta la sección disminuye, siendo el mayor de ellos el número 4/0 y siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 3, 4 y luego avanzando en números pares hasta llegar al número 18 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas. Para conductores que poseen una sección mayor al 4/0 se hace una designación especial que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea la unidad mil circular mil.

### **2.3.3. Centro de carga**

Un centro de carga se puede definir como el conjunto de elementos agrupados en determinado lugar, donde se controla la alimentación de energía eléctrica de una instalación. Puede tratarse de solamente un tablero que contenga todos los elementos, o también puede ser un conjunto de interruptores, instrumentos de medición y otros dispositivos colocados en un muro y que juntos desarrollen la función de controlar la distribución de la energía a circuitos derivados.

### **2.3.4. Tablero de distribución**

Forma parte de una de los elementos fundamentales dentro de una instalación eléctrica, y se le define como el panel o conjunto de ellos, en los que se realiza el montaje de interruptores, elementos de protección contra

sobrecargas, barras de conexión y conductores. Se denomina como tablero general a aquel desde el cual se alimenta y se protege toda la instalación interna, y que además, puede ser utilizado para interrumpir el suministro de entrada a la instalación.

Algunas de las funciones que están asociadas a los tableros de distribución, ya sea generales o sub tableros, pueden detallarse a continuación:

- Distribución de la energía eléctrica en circuitos ramales, en el caso de sub tableros; y en alimentación a sub tableros en el caso de los tableros generales.
- Protección contra cortocircuitos y sobrecargas de cada uno de los circuitos ramales o de cada uno de los alimentadores.
- Brindar flexibilidad al sistema eléctrico, con la facilidad de poder desconectar o sacar del sistema a un circuito ramal, un tablero, o al sistema en su totalidad.

### **2.3.5. Canalización**

Se le denomina canalización eléctrica a todos aquellos equipos utilizados en instalaciones eléctricas para alojar a los conductores en su interior, de manera que queden protegidos contra cualquier tipo de contaminación ambiental o deterioro mecánico, además ayudan a proteger a la instalación contra cualquier tipo de incendio que se pueda producir por algún arco eléctrico en condiciones de cortocircuito. Las canalizaciones más comunes en las instalaciones eléctricas son:

### **2.3.5.1. Tubos conduit**

El tubo conduit es un tipo de tubo (metal o plástico) usado para contener y proteger los conductores eléctricos empleados en las instalaciones. Los tubos conduit metálicos pueden ser de distintos materiales como aluminio, acero o aleaciones especiales, los tubos plásticos a su vez se fabrican en los tipos rígido, intermedio y flexible, distinguiéndose entre ellos por el grosor de la pared interna del mismo.

### **2.3.5.2. Bandejas portacables**

Es una unidad o conjunto de secciones con sus herrajes, que forman una estructura rígida empleada para soportar conductores y canalizaciones. Si se hacen curvas o modificaciones durante la instalación, se deben hacer de manera que se mantenga la continuidad eléctrica del sistema de bandeja portacables y el soporte de los conductores. Las bandejas portacables pueden tener segmentos mecánicamente discontinuos entre los tramos de conductores o entre los conductores y los equipos.

### **2.3.5.3. Canaletas**

Las canaletas son otro medio de canalización de conductores eléctricos y se usan sólo en instalaciones eléctricas visibles debido a que no pueden ir directamente embebidas en la pared o dentro de losas de concreto. Se fabrican de canales de lámina de acero, plásticos de sección cuadrada o rectangular con tapas atornillables o ajustables. Los conductores se alojan dentro de las canaletas en forma similar a los tubos conduit y se pueden usar para circuitos alimentadores y circuitos ramales. Las canaletas poseen varias ventajas en comparación a los tubos conduit debido a que brindan mayor espacio para

alojar los conductores y son más fáciles de alambrear; esto en sistemas pequeños de distribución en donde por una misma canaleta se pueden tener circuitos múltiples.

### **2.3.6. Protecciones eléctricas**

El propósito de un sistema de protección en una instalación eléctrica es detectar lo más rápido que se pueda un problema, aislarlo para evitar daños que repercutan en pérdidas económicas y a la vez que el resto de la instalación no se vea afectada para poder seguir operando de manera normal.

Para garantizar lo anterior es necesario contar con dispositivos de protección que actúen eficazmente ante los distintos tipos de falla que se puedan presentar, siendo los más comunes el cortocircuito, la sobrecarga y la sobretensión. Algunos de los dispositivos que más comúnmente se utilizan en instalaciones eléctricas se detallan a continuación.

#### **2.3.6.1. Interruptor termomagnético**

Es un dispositivo de protección cuya función consiste en desconectar automáticamente una instalación o un circuito mediante la acción de una pieza bimetálica y un elemento electromagnético cuando la corriente que circula por él excede cierto valor en un tiempo dado.

El principio de funcionamiento se basa en el efecto térmico y el efecto magnético que produce la corriente al circular sobre un conductor. Cuando un exceso de corriente se presente se producirá aumento de temperatura y por consiguiente dilatación del bimetálico, el cual activará el dispositivo de desconexión. De la misma forma, el aumento de corriente producirá atracción

del núcleo, el cual también activará el dispositivo de desconexión. En ambos casos, el disyuntor cuenta con un sistema de enclavamiento mecánico que impide la reconexión automática del dispositivo. Para restablecer el paso de energía debe eliminarse la causa que provocó el exceso de corriente, destrabar el mecanismo bajando la palanca manualmente y luego volviéndola a subir.

### **2.3.6.2. Interruptor diferencial**

Este dispositivo de protección está diseñado para desenergizar un circuito bajo condición de falla a tierra cuando la suma vectorial de las corrientes a través de los conductores del circuito es mayor al que ha sido establecido por el fabricante.

Su principio de funcionamiento está basado en la ley de *Kirchhoff*, la cual establece que la suma vectorial de las corrientes en un circuito es igual a cero. En condiciones normales de operación la suma de estas corrientes es cero, sin embargo, al presentarse una falla a tierra que afecte a alguno de los cables conductores, esta ley ya no se cumplirá.

### **2.3.6.3. Fusibles**

Los fusibles son dispositivos de protección que se autodestruyen en el momento que interrumpen el circuito. Estos dispositivos están fabricados de un metal que fácilmente se funde a temperaturas bajas y que son calibrados de tal manera que se funden cuando la corriente alcanza su valor de diseño; debido a que los fusibles se conectan en serie con la carga, éstos interrumpen el circuito cuando se funden. Se dice que todos los fusibles tienen una característica de tiempo inversa, es decir, si un fusible es de 30 A debe conducir 30 A en forma continua, con 10 % de sobrecarga se debe fundir en algunos



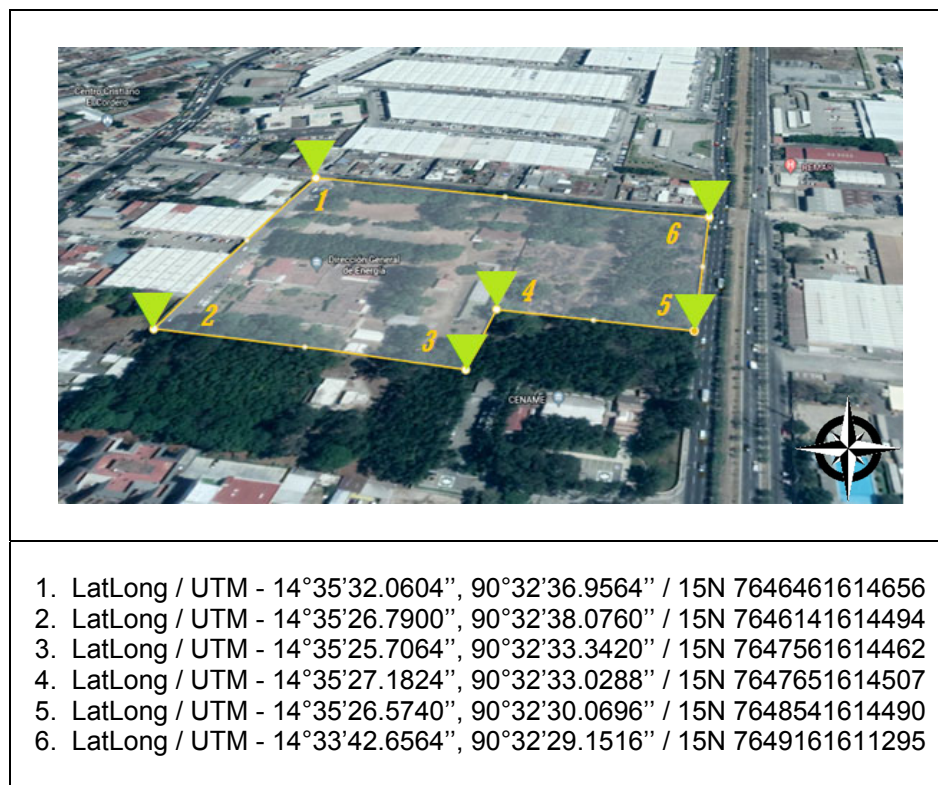
minutos, con una sobrecarga del 20 % se funde en menos de 1 minuto y si alcanza una sobrecarga del 100 %, el fusible se funde en fracciones de segundo, es decir, que a mayor sobrecarga menor es el tiempo en el que se tarda para interrumpir el circuito.

### 3. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

#### 3.1. Instalaciones

La DGE se ubica en la 24 calle de la zona 12, ciudad de Guatemala, entre la avenida Petapa y la calzada Atanasio Tzul. El plano de su ubicación se muestra a continuación:

Figura 2. Vista satelital de la DGE



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

El área superficial del edificio de la DGE está conformado por dos fincas: la primera con un área superficie superficial de 1 087,90 m<sup>2</sup> y la segunda finca con un área superficial de 57 600,00 m<sup>2</sup>, ubicadas en avenida petapa, 24 calle 21-12 zona 12, dando en total un área superficial 58 687,90 m<sup>2</sup>. A esta área se le debe de realizar la siguiente desmembración debido a que se ha donado una cantidad de área superficial para el SENACYT y otra ha sido cedida mediante convenio con el ministerio de economía para el uso de un laboratorio de metrología, tal y como se indica en la siguiente tabla:

Tabla I. **Desglose del área superficial de la DGE**

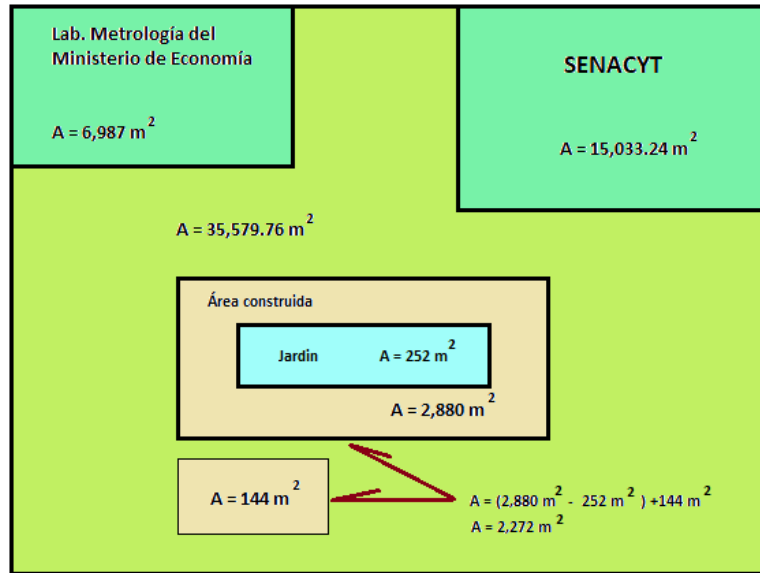
<b>Terrenos cedidos</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Fincas de la DGE</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>SENACYT</b>	15 033,24	Total finca 1	1 087,90
<b>Laboratorio Nacional de Metrología del Ministerio de Economía</b>	6 987,00	Total finca 2	57 600,00
<b>Total desmembrado</b>	22 020,24	Total área superficial DGE	58 687,90
		<b>Total actual</b>	<b>35 579,76</b>

Fuente: elaboración propia.

Por lo que de acuerdo a la tabla, la superficie legal del edificio de la DGE es de 35 579,76 m<sup>2</sup>, como se puede apreciar en el croquis de la figura 3.

El área de construcción del edificio de la DGE es de 2 272,00 m<sup>2</sup> con un área verde en medio del edificio que corresponde a una superficie de 252,00 m<sup>2</sup>, del cual se muestra la vista de planta en la figura siguiente:

Figura 3. Área y vista de planta de la DGE



Fuente: elaboración propia.

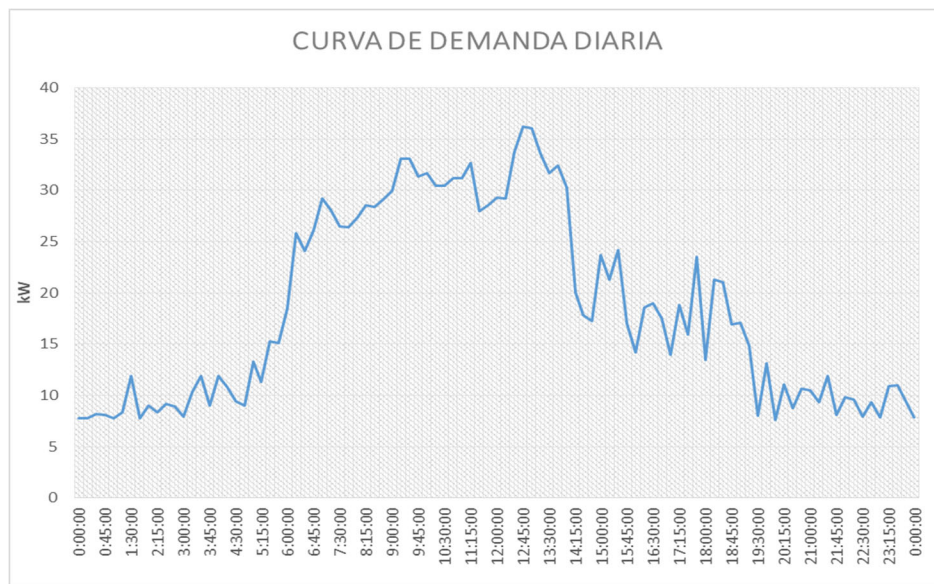
### 3.2. Caracterización de cargas

En una instalación eléctrica la demanda es la cantidad de potencia eléctrica que requiere la carga instalada para funcionar en un intervalo de tiempo específico. Ese lapso de tiempo se denomina intervalo de demanda y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda.

Además, es importante obtener el detalle de la demanda para llevar a cabo distintos casos de estudio: de amperios para el dimensionamiento de conductores, fusibles, interruptores termo magnéticos, ajuste de protecciones o balance de cargas; de kilovatios para estudios sobre la energía consumida, de kilovoltamperios para la selección de la capacidad de transformadores y alivio de carga; e incluso de kilovares para estudios de compensación de reactiva.

El detalle de esta demanda, específicamente el que corresponde al de un día de trabajo normal en las instalaciones de la DGE, es posible apreciarlo en la gráfica siguiente.

Figura 4. **Curva de demanda diaria de la DGE**



Fuente: elaboración propia.

Para tomar acciones sobre cualquier tipo de instalación eléctrica es fundamental considerar la carga y determinar todos sus atributos; y aunque la carga puede ser descrita de manera general por una curva de demanda que es posible obtener mediante instrumentos de medición, el uso de este tipo de registros es insuficiente para llevar a cabo una adecuada caracterización de cargas. Por tal razón, es importante llevar a cabo un levantamiento de las cargas instaladas con el objetivo de obtener magnitudes y características lo más precisas posibles. Tomando en cuenta lo anterior se ha llevado a cabo el levantamiento de cargas en el interior de la DGE, obedeciendo el mismo a lo descrito en la siguiente tabla.

Tabla II. **Distribución de cargas en la DGE**

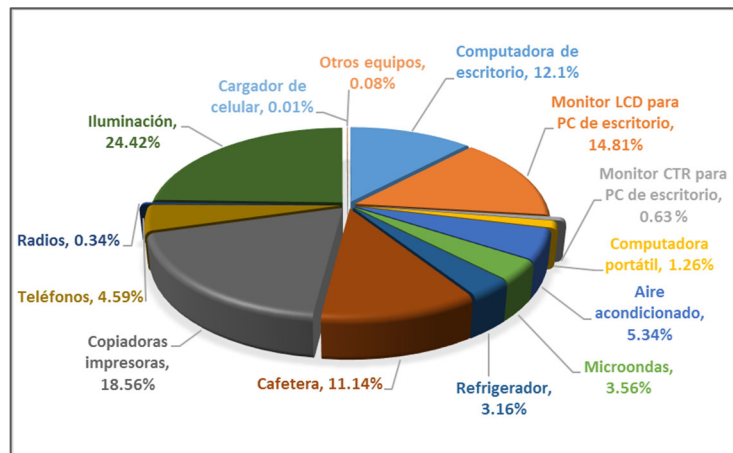
Equipo	Cantidad	Consumo individual (Wh)	Horas de uso	Energía consumida (kWh/día)*	Energía mes (kWh)*	Energía %
Computadora de escritorio	82	70	8	45,92	1 010	12,10%
Monitor LCD para PC de escritorio	78	90	8	56,16	1 236	14,81%
Monitor CTR para PC de escritorio	4	75	8	2,4	53	0,63%
Computadora portátil	17	35	8	4,76	105	1,26%
Aire acondicionado	3	1 350	5	20,25	446	5,34%
Microondas	6	1 500	1,5	13,5	297	3,56%
Refrigerador	2	250	24	12	264	3,16%
Cafetera	13	650	5	42,25	930	11,14%
Copiadoras impresoras	8	1 100	8	70,4	1 549	18,56%
Teléfonos	29	25	24	17,4	383	4,59%
Radios	7	30	6	1,26	28	0,34%
Iluminación	251	1 3231,59	7	92,62	2 038	24,42%
Cargador de celular	50	0.3	4	0,06	1	0,01%
Otros equipos	10	10	3	0,3	7	0,08%

\*Los datos son estimados, según el patrón de consumo encontrado

379,28	8 347	100,00%
--------	-------	---------

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Distribución de cargas eléctricas en la DGE**



Fuente: elaboración propia.

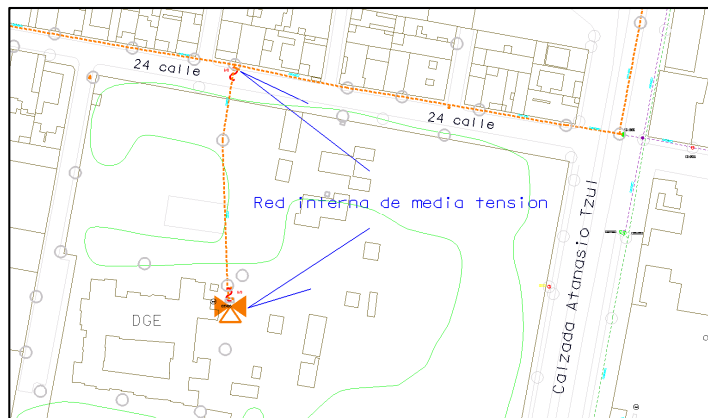
### 3.3. Estado actual de la red en media tensión

Las instalaciones de la DGE se encuentran alimentadas por una acometida que se conecta a la red de media tensión y alimenta un banco de transformadores en conexión estrella - estrella con capacidad de 500 kVA mediante unidades monofásicas de 167 kVA, con el objetivo de poder proveer una tensión de servicio de 120/208 V en el interior del inmueble.

A lo largo de la red de media tensión es necesario realizar inspecciones periódicas como parte de un mantenimiento preventivo y predictivo con el objetivo de anticipar posibles fallas y así evitar una interrupción de servicio que pueda repercutir en el paro de actividades.

Como parte de dichas inspecciones se procedió a realizar sobre algunos de los elementos vinculados a dicha red las actividades que se describen en los subtítulos posteriores.

Figura 6. Red interna de media tensión



Fuente: Sistemas de Información Gráfica (SIGRE), *instalaciones de la DGE*. Consulta: marzo de 2018.

### 3.3.1. Conductores y aislamiento

La red aérea que interconecta desde el punto de suministro hacia el lado primario del banco de transformadores recorre un total de 108,00 metros y está conformada por tres fases de conductor *ACSR* en calibre 2 *AWG*.

La línea de media tensión durante su recorrido atraviesa el área verde del terreno pasando a través de una brecha formada por árboles de altura considerable a cada uno de sus lados y por encima de otros que poseen una altura menor. Siendo estos últimos los que representan un riesgo inminente por la libranza fuera de límites seguros que ofrecen a la línea, llegando a evidenciar que incluso en el pasado ha existido contacto entre ramas y conductores.

Figura 7. **Libranza entre conductores y árboles**



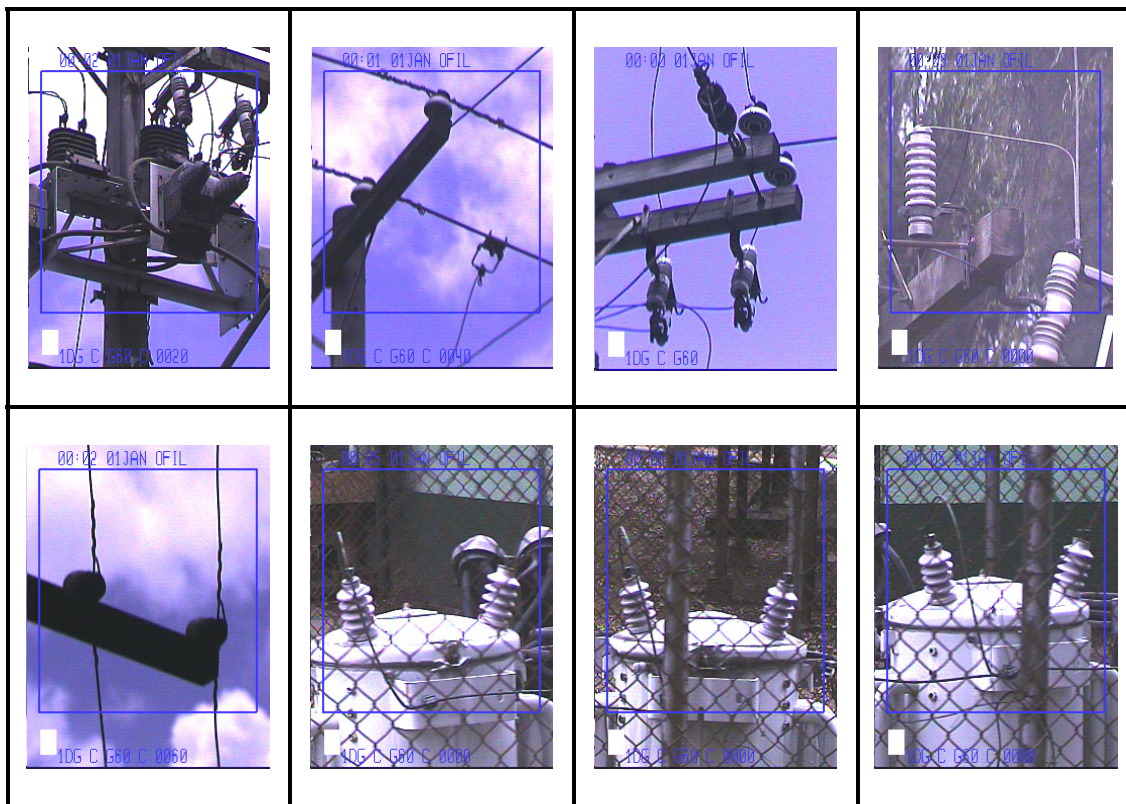
Fuente: instalaciones internas, DGE.



Tras la inspección visual del aislamiento es posible mencionar que si bien no se detecta flameo o ruptura de los mismos, si se detecta una alta contaminación derivado muy posiblemente del pobre mantenimiento que se ha efectuado. Para tener certeza del buen funcionamiento del aislamiento se ha empleado una cámara coronográfica para detectar cualquier descarga parcial que pueda provocar disrupción eléctrica.

Tras emplear dicho equipo para la revisión se ha podido determinar que el aislamiento se encuentra en condiciones aceptables tras no localizarse evidencia de arcos o descargas parciales superficiales.

Figura 8. **Aislamiento visto a través de cámara coronográfica**



Fuente: instalaciones internas, DGE.

### 3.3.2. Banco de transformadores

El banco de transformadores que alimenta la carga de las instalaciones eléctricas de la DGE se encuentra conformado por tres unidades monofásicas convencionales marca McGraw Edison de 167 kVA con conexión estrella - estrella, cada uno con impedancia de 1,8 % y operando en el paso núm. 1 del cambiador de derivaciones para obtener el voltaje nominal de 120/208 V.

Figura 9. Placa de transformador



Fuente: instalaciones internas, DGE.

De acuerdo a datos internos el banco de transformadores es propiedad de la institución, por lo cual todo mantenimiento requerido deja de ser responsabilidad de la empresa distribuidora de energía y pasa a ser una gestión propia del usuario.

Para determinar el buen estado del banco de transformadores y determinar su vida útil se han llevado a cabo las pruebas de: relación de transformación (TTR), resistencia de aislamiento, prueba de aceite dieléctrico e inspección termográfica.

### 3.3.2.1. Prueba de relación de transformación (TTR)

Esta prueba determina la relación entre el devanado primario y el devanado secundario, con el objetivo de comprobar que no existan devanados cortocircuitados, circuitos abiertos o conexiones incorrectas.

Tabla III. Prueba de relación de transformación

BOBINA PRIMARIA	BOBINA SECUNDARIA	FASE	MEDICIÓN TAP # 3	RELACIÓN TEÓRICA	% ERROR
H1 – H2	X1 – X2	A	63,619	63,5	0,187
H1 – H2	X1 – X2	B	63,606	63,5	0,167
H1 – H2	X1 – X2	C	63,608	63,5	0,170

Dictamen:	Los transformadores tienen relación de transformación dentro del rango recomendado de $\pm 0,5$ % del valor nominal, esto indica que no hay defectos en los devanados.
-----------	--

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2.2. Prueba de resistencia de aislamiento

Esta prueba tiene como objetivo verificar que los aislamientos del transformador cumplen con la resistencia mínima soportable bajo la operación a la que serán sometidos.

Tabla IV. Prueba de resistencia de aislamiento

ENTRE BOBINAS DE ALTA TENSIÓN	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
H1 – H2	0 Ω			ok
H1 – H2		0 Ω		ok
H1 – H2			0 Ω	ok
El valor aceptado debe ser muy cercano a cero ohmios				

ENTRE BOBINAS DE ALTA Y BAJA TENSIÓN	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
H – X	24,2 G Ω			ok
H – X		22,07 G Ω		ok
H – X			21,00 G Ω	ok
El valor mínimo aceptado es 320 Mega ohmios				

ENTRE BOBINAS DE ALTA Y TIERRA	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
H - TIERRA	12,01 G Ω			ok
H - TIERRA		10,85 G Ω		ok
H - TIERRA			1,936 G Ω	ok
El valor mínimo aceptado es 320 Mega ohmios				

ENTRE BOBINAS DE BAJA Y TIERRA	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
X - TIERRA	6,49 G Ω			ok
X - TIERRA		8,05 G Ω		ok
X - TIERRA			5,05 G Ω	ok
El valor mínimo aceptado es 320 Mega ohmios				

ENTRE BOBINAS DE BAJA TENSIÓN	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
X1 – X2	0 Ω			ok
X1 – X2		0 Ω		ok
X1 – X2			0 Ω	ok
El valor aceptado debe ser muy cercano a cero ohmios				

Dictamen:	El aislamiento sólido de los transformadores se encuentra en condiciones aceptables de operación, según se observa en las mediciones de resistencia de aislamiento
-----------	--

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2.3. Prueba de aceite dieléctrico

Esta prueba tiene el objetivo de determinar que el aceite del transformador cumple con las características dieléctricas requeridas.

Tabla V. Prueba de aceite dieléctrico

PRUEBA DE COLOR	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
Observa turbia la muestra	No	No	No	ok
Existen partículas libres	No	No	No	ok
Grado del color	2,0	2,0	1,5	ok
El valor máximo aceptado para la prueba anterior es 3				

PRUEBA DE ACIDEZ	FASE A	FASE B	FASE C	OBSERVACIONES
Resultado	< 0,3	< 0,3	< 0,3	ok
Ampolla utilizada	3 A	3 A	3 A	ok
El valor máximo aceptado para la prueba anterior es 0.3 mg KOH/gr. de aceite				

TENSIÓN INTERFACIAL	PRUEBA 1 (Dyn/cm)	PRUEBA 2 (Dyn/cm)	PRUEBA 3 (Dyn/cm)	OBSERVACIONES
FASE A	30,0			ok
FASE B		35,5		ok
FASE C			33,1	ok
El valor mínimo aceptado para la prueba es 28 Dyn/cm				

RIGIDEZ DIELECTRICA	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)	OBSERVACIONES
Rigidez dieléctrica	40,1			ok
Rigidez dieléctrica		33,8		ok
Rigidez dieléctrica			41,0	ok
El valor mínimo promedio para esta prueba es de 25 kV				

Dictamen:	Las pruebas realizadas a las muestras de aceite reflejan un buen estado del mismo
-----------	---

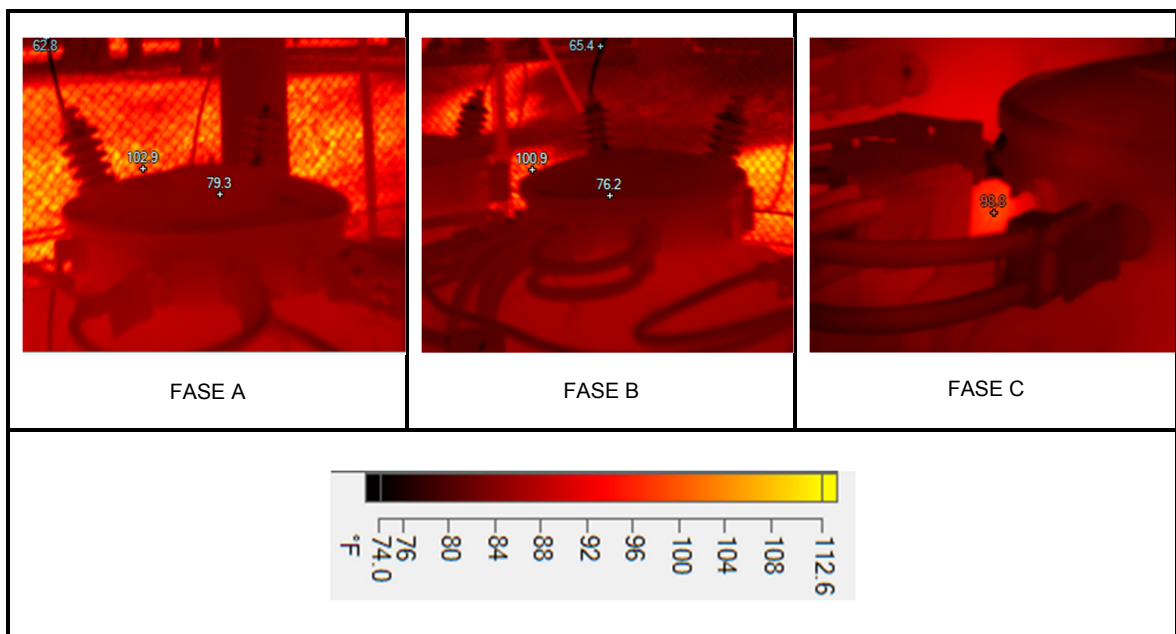
Fuente: elaboración propia.

### 3.3.3. Inspección termográfica

Se llevó a cabo una inspección con cámara termográfica sobre toda conexión o tipo de unión entre conductores con el objetivo de localizar aumentos de temperatura que puedan llegar a representar puntos calientes y que puedan repercutir en una falla posterior.

Durante la inspección se registraron gradientes de temperatura en las conexiones del lado secundario del transformador de la fase C con valores por encima de los límites de operación, a raíz de esto se identifican uniones deficientes entre conexiones y mal estado del aislante del conductor por dos factores principales, antigüedad y exposición a la intemperie.

Figura 10. Inspección termográfica a transformadores



Fuente: instalaciones internas, DGE.

### **3.4. Estado actual de la red en baja tensión**

Las instalaciones internas del inmueble se encuentran conformadas por tableros eléctricos de iluminación, fuerza y combinados, distribuidos de tal manera que puedan proveer de tensión de alimentación a los distintos ambientes internos. Dentro de estos tableros es posible encontrar las protecciones contra sobrecorrientes correspondientes a cada circuito y la conexión de los cables conductores, los cuales a su salida proceden a almacenarse dentro del sistema de canalización hasta llegar al punto donde se encuentran instaladas las cargas.

El buen estado de cada uno de estos elementos garantiza el correcto funcionamiento de las instalaciones y es por ello que dentro del plan de mantenimiento del edificio es importante poder incluir inspecciones periódicas a estos elementos. A continuación se presentan datos correspondientes a los resultados de dichas inspecciones.

#### **3.4.1. Conductores**

Como parte de la evaluación se llevó a cabo una inspección general de los conductores sobre cada uno de los tableros que conforman la instalación eléctrica, y en términos generales fue posible evidenciar que la mayor parte de los mismos reflejan un deterioro como producto de la edad de las instalaciones. El resto en cambio, presentan un estado mucho más aceptable, esto a raíz de que han sido parte de las últimas remodelaciones efectuadas a la instalación.

Como parte de la misma inspección, se procedió a evaluar otros aspectos puntuales, los cuales se ven detallados en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Estado actual de los conductores**

Tablero	Conductores expuestos están soportados adecuadamente		Conductores que entran al tablero están sujetos y soportados adecuadamente para asegurar que el esfuerzo no se transmite a otros conductores y terminales		Los empalmes y derivaciones están conectados sólidamente		No muestran evidencia de sobre calentamiento o deterioro		No muestran evidencia de desgaste, daño físico	
	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple
TP	✓		✓			✓		✓	✓	
TD2	✓			✓	✓		✓			✓
TE2	✓		✓		✓		✓			✓
TD9	✓		✓		✓			✓		✓
TD6	✓		✓		✓		✓			✓
TD8	✓			✓	✓		✓			✓
TD7	✓				✓		✓			✓
TD3	✓		✓		✓		✓			✓
TD4	✓		✓		✓			✓		✓
TD5	✓		✓		✓			✓		✓
TD11	✓		✓		✓		✓		✓	
TD1	✓		✓		✓		✓			✓
TD10	✓		✓			✓	✓			✓
TE1	✓		✓		✓		✓			✓

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. **Canalización**

El estado de la canalización por el hecho de ser sobrepuesta presenta un estado bastante aceptable, esto se debe a que la mayor parte de este equipo se encuentra correctamente instalado y en sitios donde difícilmente pueden verse sujetos a esfuerzos mecánicos o a situaciones desfavorables. En la siguiente tabla se muestran los resultados de algunos aspectos que fueron evaluados para obtener el dictamen del estado actual.



Tabla VII. **Estado actual de la canalización**

Planta baja – Ala noroeste		
	Si cumple	No cumple
Están sujetas firmemente en la instalación	✓	
Terminan en accesorios o conectadores	✓	
No muestran evidencia de daño físico o deterioro	✓	
Planta baja – Ala suroeste		
	Si cumple	No cumple
Están sujetas firmemente en la instalación	✓	
Terminan en accesorios o conectadores	✓	
No muestran evidencia de daño físico o deterioro	✓	
Planta baja – Ala noreste		
	Si cumple	No cumple
Están sujetas firmemente en la instalación	✓	
Terminan en accesorios o conectadores	✓	
No muestran evidencia de daño físico o deterioro	✓	
Planta baja – Ala suroeste		
	Si cumple	No cumple
Están sujetas firmemente en la instalación	✓	
Terminan en accesorios o conectadores	✓	
No muestran evidencia de daño físico o deterioro	✓	
Planta alta		
	Si cumple	No cumple
Están sujetas firmemente en la instalación	✓	
Terminan en accesorios o conectadores	✓	
No muestran evidencia de daño físico o deterioro	✓	

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. **Protección eléctrica**

La evaluación de las protecciones eléctricas únicamente fue posible realizarla de manera superficial debido a que la prueba de dichos elementos resulta ser un poco más compleja. Para efectos de esto se procedió a calificar ciertos aspectos que pueden servir para tomar acciones sobre reparaciones y mejoras, el detalle de esto se muestra en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla VIII. Estado actual de las protecciones

Tablero	Son de capacidad adecuada para las condiciones del conductor conectado		No muestran evidencia de daño físico o sobre calentamiento		Conexiones están desconectadas o muestran evidencia de corrosión		Están instalados de acuerdo con el instructivo del fabricante		Presentan evidencia de fundición o daño en sus bases	
	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple	Si cumple	No cumple
TP		✓		✓	✓		✓		✓	
TD2	✓		✓		✓		✓		✓	
TE2	✓			✓	✓		✓		✓	
TD9	✓			✓	✓		✓		✓	
TD6	✓		✓		✓		✓		✓	
TD8		✓	✓		✓		✓		✓	
TD7	✓			✓	✓		✓			✓
TD3		✓		✓	✓		✓		✓	
TD4	✓		✓		✓		✓		✓	
TD5	✓		✓		✓		✓		✓	
TD11	✓			✓	✓		✓		✓	
TD1	✓		✓		✓		✓		✓	
TD10		✓	✓		✓		✓			✓
TE1		✓	✓		✓		✓			✓

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4. Centro de carga

El centro de carga en esta instalación corresponde al tablero general, el cual se encuentra instalado en un cuarto exclusivo con condiciones no aceptables para alojar el equipo eléctrico. Estas condiciones básicamente se ven afectadas por las dimensiones del lugar y el poco espacio para cualquier manipulación que se requiera de los equipos. Adicional a esto, y aunque el estado general de los elementos alojados en el interior del tablero sean aceptables, es posible mencionar deficiencias en los elementos de fijación del tablero hacia la pared y de la tapadera del tablero hacia el mismo tablero.

### **3.5. Diagramas unifilares**

Un diagrama unifilar es la representación gráfica de la interconexión de componentes, conexiones y relaciones eléctricas dentro de un circuito o sistema. Este diagrama presenta la diferencia respecto a otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito solamente se representa mediante una línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores, además, presenta la característica que los componentes con los que estos diagramas normalmente están representados son símbolos que son universalmente aceptados. Generalmente en este tipo de diagramas se suelen incluir los dispositivos de control, de protección y de medición.

### **3.6. Normas aplicables a diagramas unifilares**









Con el crecimiento constante de la globalización, la industria eléctrica está dirigiendo su mirada hacia todas las partes del mundo para producir, comercializar y vender sus productos. Sin embargo, debido a que las normas eléctricas adoptadas por los países algunas veces pueden variar, las marcas y símbolos utilizados para describir los sistemas eléctricos también pueden hacerlo.

Independientemente de la complejidad del sistema eléctrico al que se quiera hacer referencia, la necesidad de reconocer y entender estos símbolos es sumamente importante. Es por ello que a continuación se describen algunas de las variaciones que se pueden presentar de acuerdo a la norma que se esté utilizando.

### 3.6.1. NEMA ICS 19-2002 (R2007)

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) define como alcance en la presente norma el proveer una guía para la representación de dispositivos eléctricos en diagramas y dibujos de una manera estandarizada.

Figura 11. Simbología NEMA


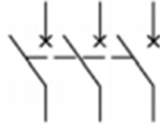
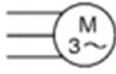





Interruptor magnético	Interruptor termomagnético
	
Motor de inducción trifásico	Transformador de tensión
	
Fusible	Lámpara
	
Tierra	Medidor
	

Fuente: elaboración propia, con imágenes del documento comparison of NEMA and IEC schematic diagrams, EATON.

### 3.6.2. IEC 60617

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece en la presente norma una gran cantidad de símbolos gráficos para su aplicación en diagramas electrotécnicos.

Figura 12. **Simbología IEC**

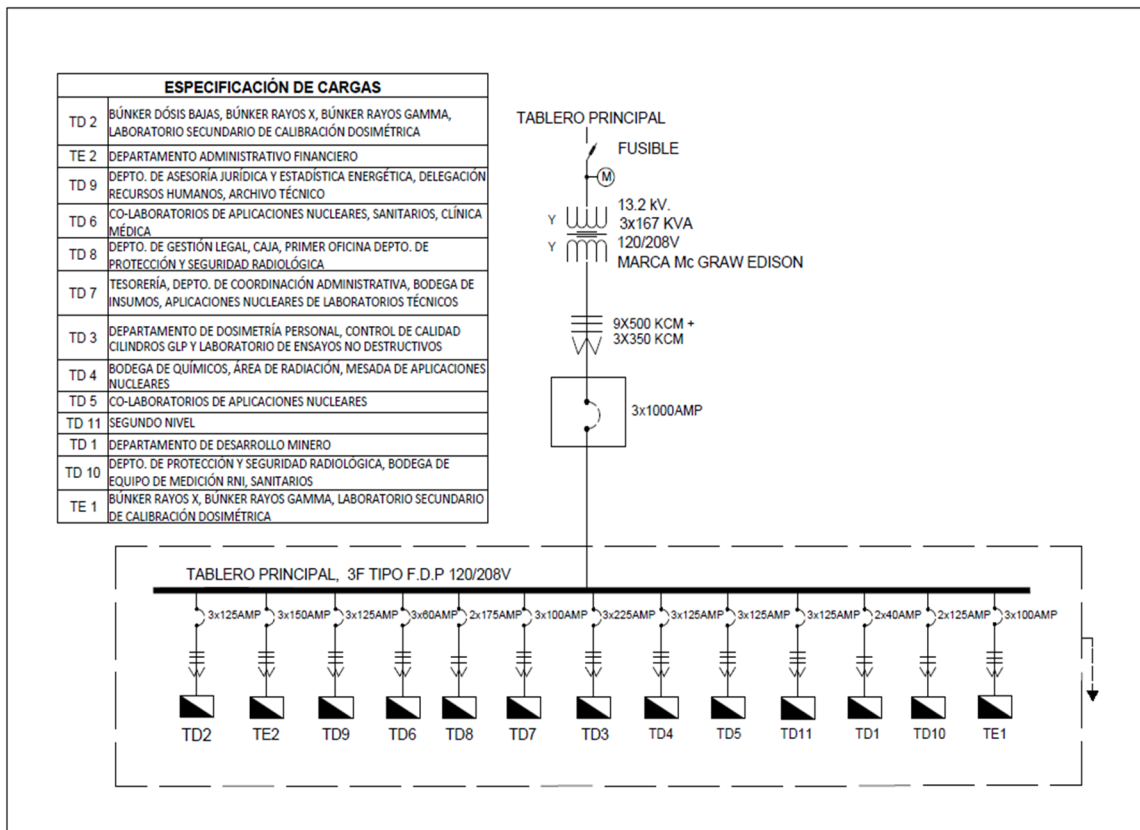
Interrupor magnético	Interrupor termomagnético
	
Motor de inducción trifásico	Transformador de tensión
	
Fusible	Lámpara
	
Tierra	Medidor
	

Fuente: elaboración propia, con imágenes del documento comparison of NEMA and IEC schematic diagrams, EATON.

### 3.7. Diagrama unifilar de la red principal

En el diagrama siguiente es posible representar la red principal de alimentación del edificio de la DGE, en la misma es posible observar tanto los elementos situados alrededor de la acometida, así como el transformador y el tablero principal.

Figura 13. Diagrama unifilar de acometida y tablero principal



Fuente: elaboración propia.

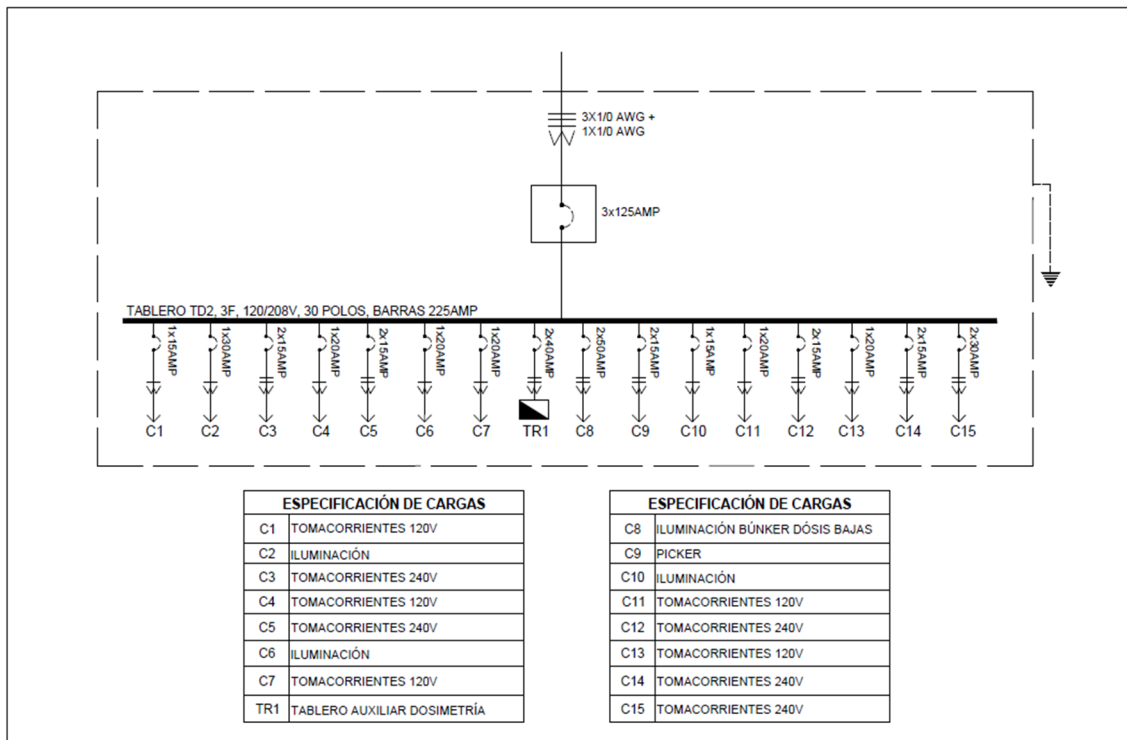
### 3.8. Diagramas unifilares de la red secundaria

A continuación se presentan los diagramas unifilares de los 13 tableros secundarios que forman parte de la instalación eléctrica interna de la DGE.

#### 3.8.1. Diagrama unifilar tablero TD2

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: búnker dosis bajas, búnker rayos x, búnker rayos gamma y laboratorio secundario de calibración dosimétrica.

Figura 14. Diagrama unifilar tablero TD2

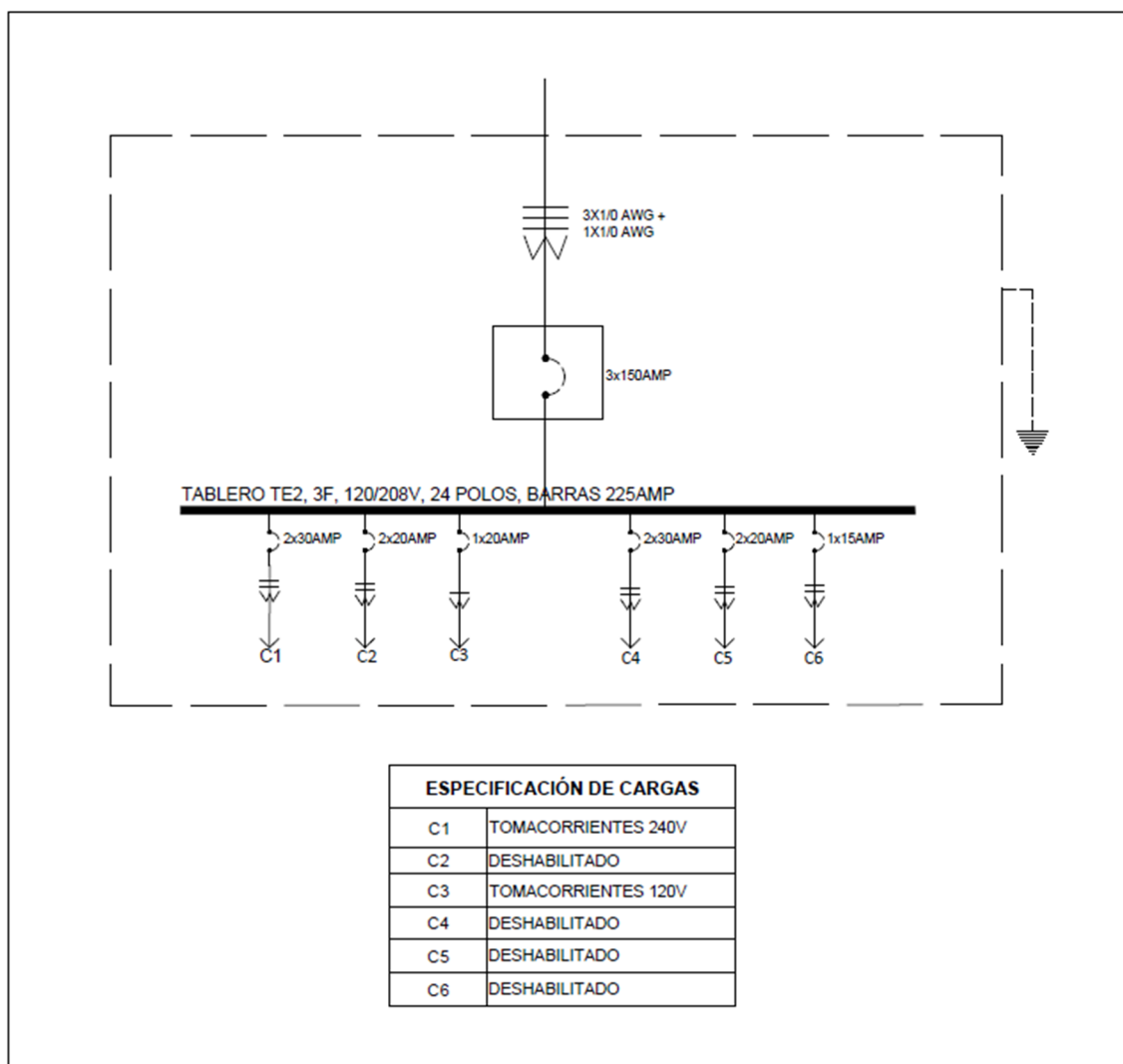


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.2. Diagrama unifilar tablero TE2

Este tablero alimenta la carga de un único ambiente, el departamento administrativo financiero.

Figura 15. Diagrama unifilar tablero TE2



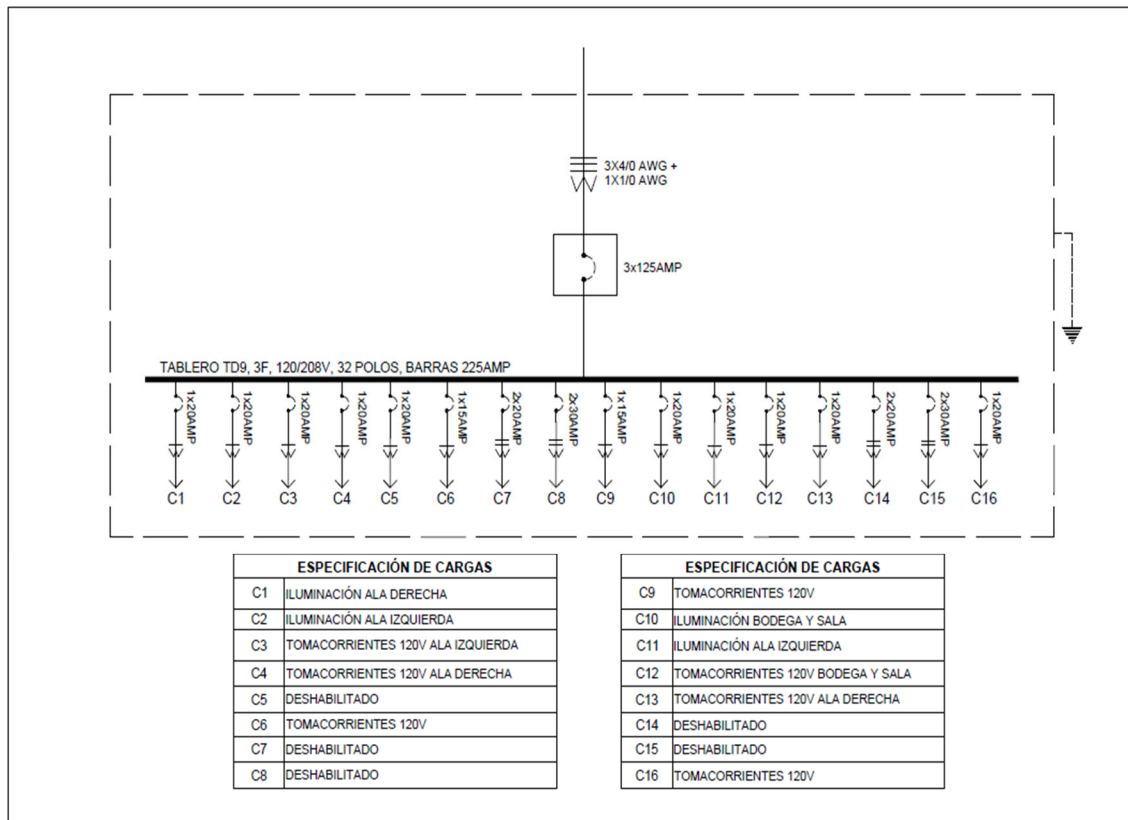
Fuente: elaboración propia.



### 3.8.3. Diagrama unifilar tablero TD9

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: departamento de asesoría jurídica, departamento de estadística energética, delegación recursos humanos y archivo técnico.

Figura 16. Diagrama unifilar tablero TD9

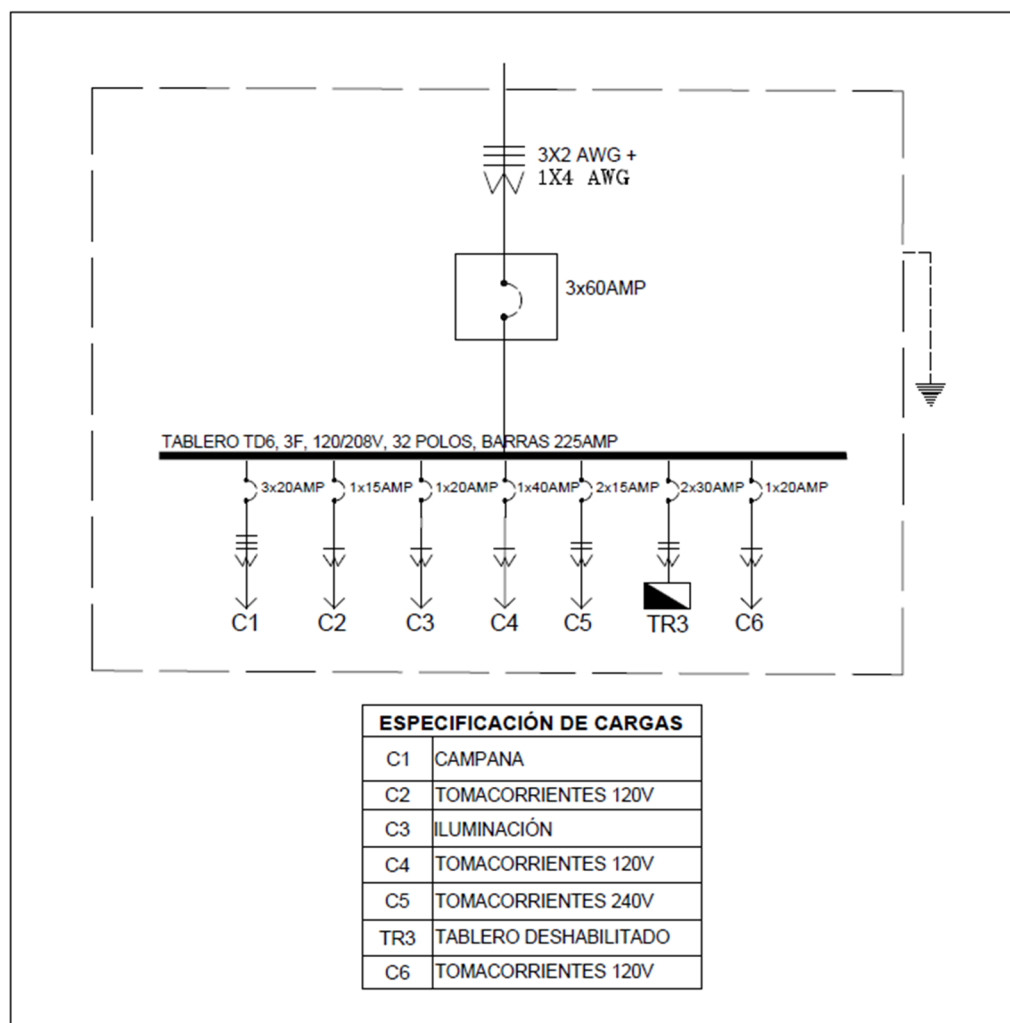


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4. Diagrama unifilar tablero TD6

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: co laboratorios de aplicaciones nucleares, servicios sanitarios y clínica médica.

Figura 17. Diagrama unifilar tablero TD6

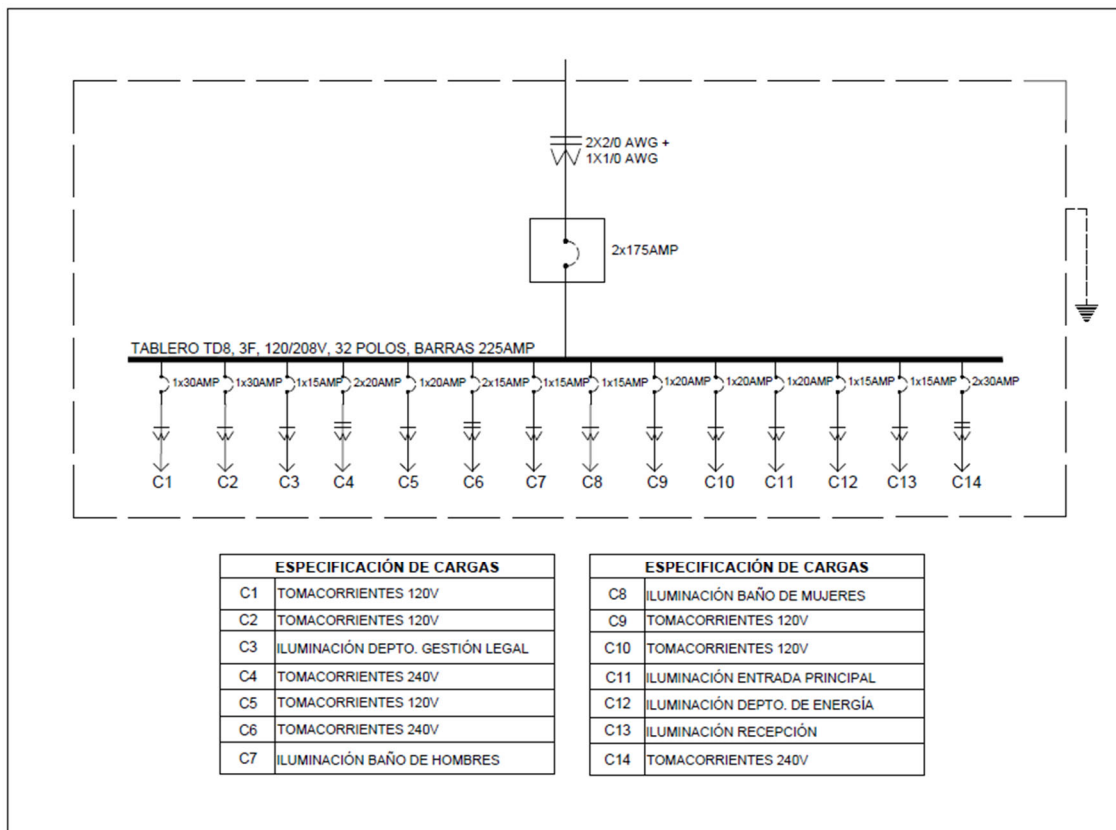


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.5. Diagrama unifilar tablero TD8

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: departamento de gestión legal, caja y primera oficina del departamento de protección y seguridad radiológica.

Figura 18. Diagrama unifilar tablero TD8

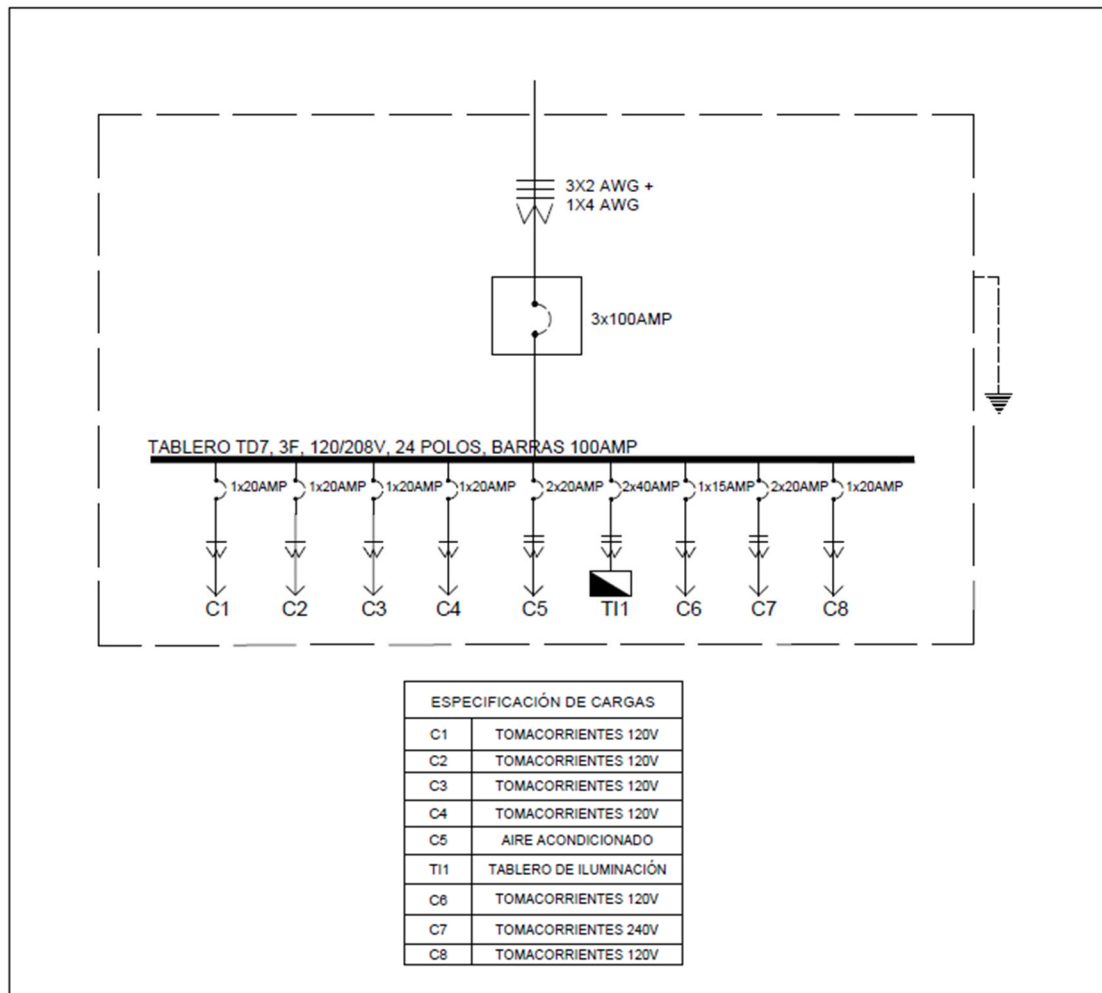


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.6. Diagrama unifilar tablero TD7

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: tesorería, departamento de coordinación administrativa, bodega de insumos, y aplicaciones nucleares de laboratorios técnicos.

Figura 19. Diagrama unifilar tablero TD7

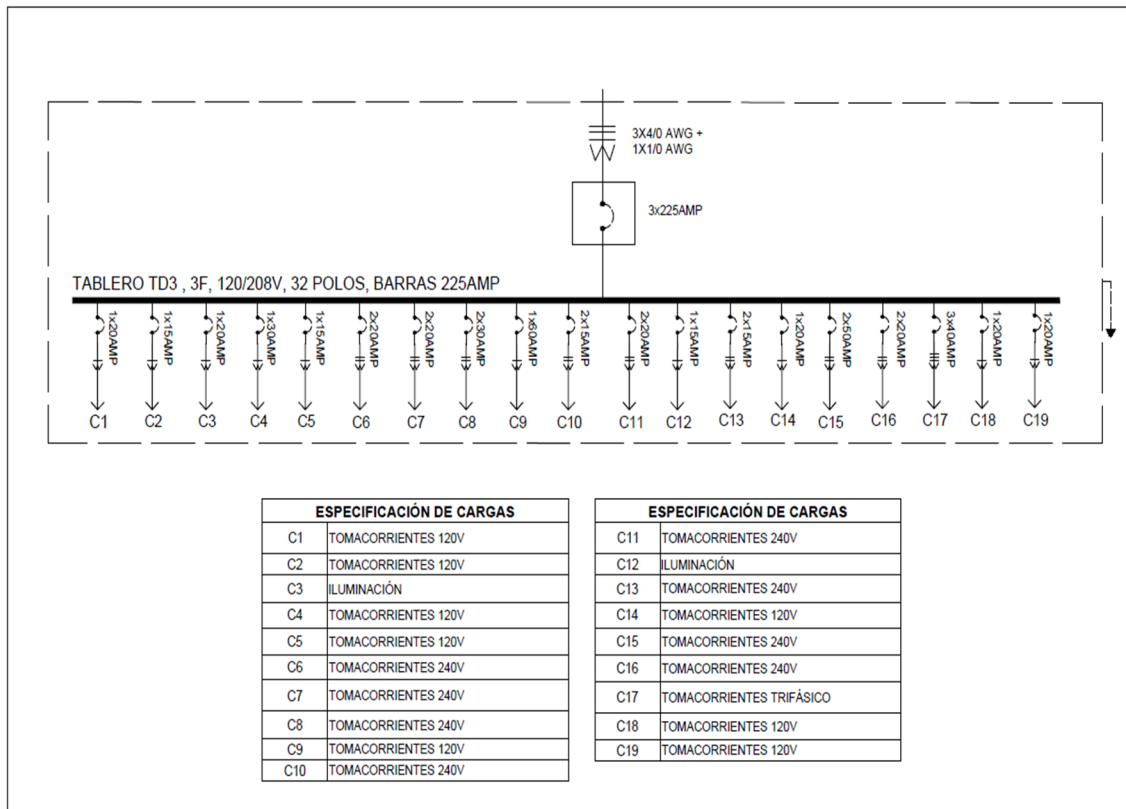


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.7. Diagrama unifilar tablero TD3

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: departamento de dosimetría personal, control de calidad cilindros GLP y laboratorio de ensayos no destructivos.

Figura 20. Diagrama unifilar tablero TD3

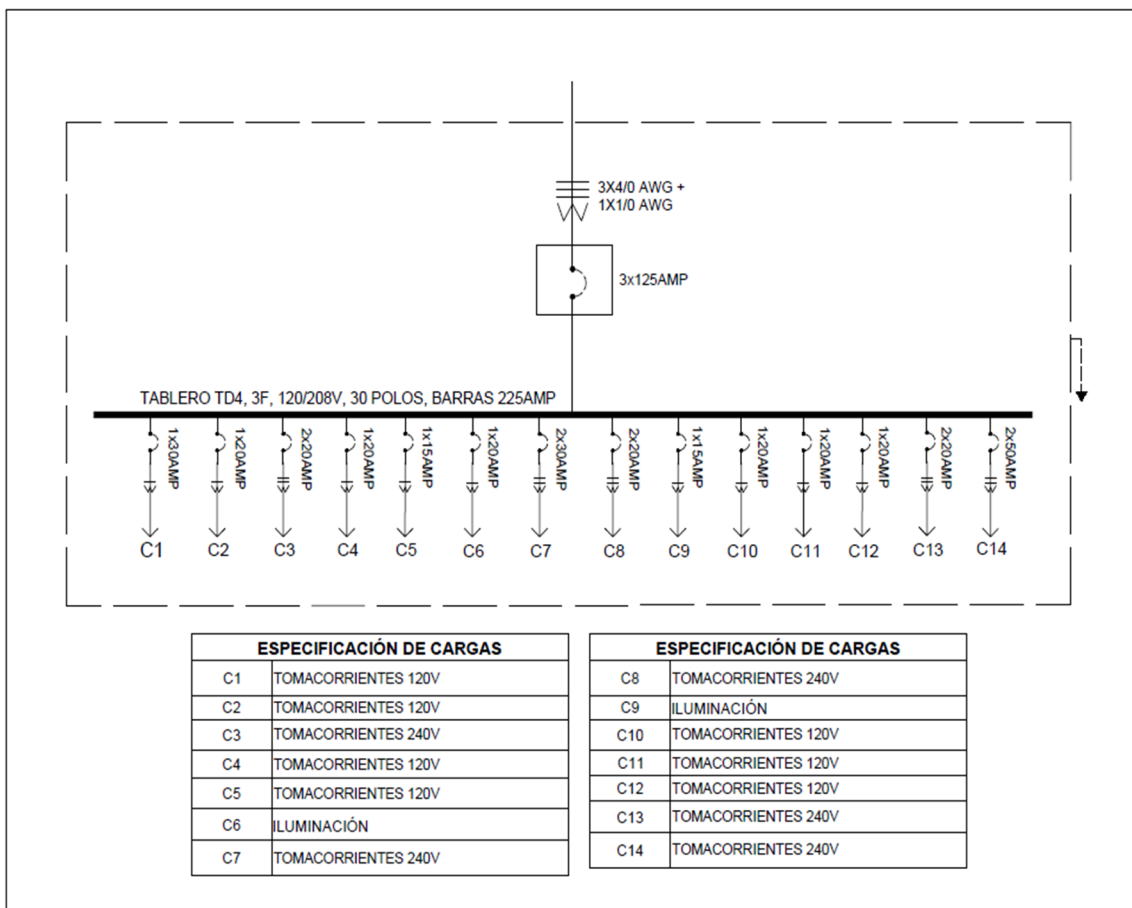


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.8. Diagrama unifilar tablero TD4

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: bodega de químicos, área de radiación y mesada de aplicaciones nucleares.

Figura 21. Diagrama unifilar tablero TD4

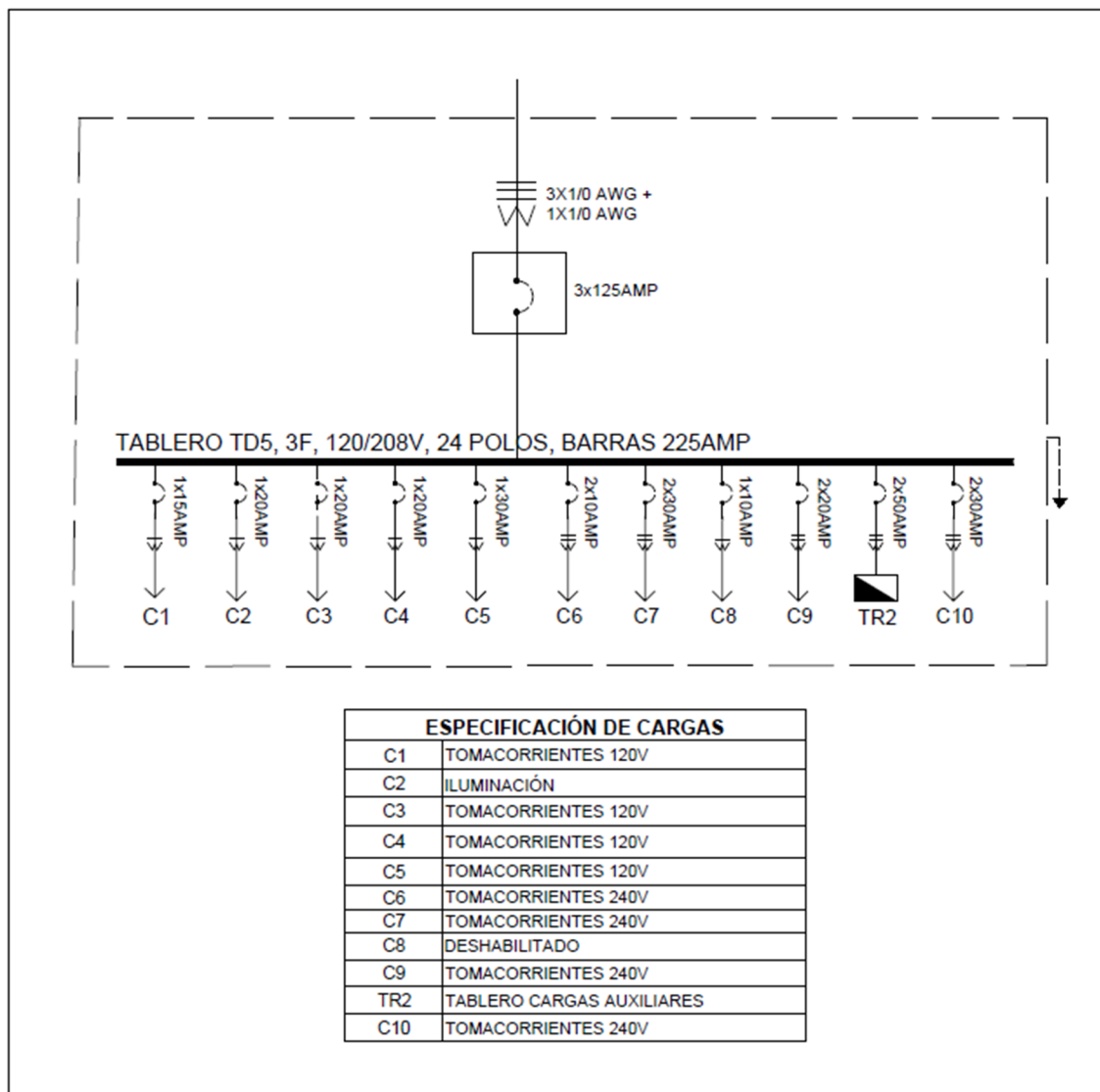


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.9. Diagrama unifilar tablero TD5

Este tablero alimenta la carga de un único ambiente, los co laboratorios de aplicaciones nucleares.

Figura 22. Diagrama unifilar tablero TD5

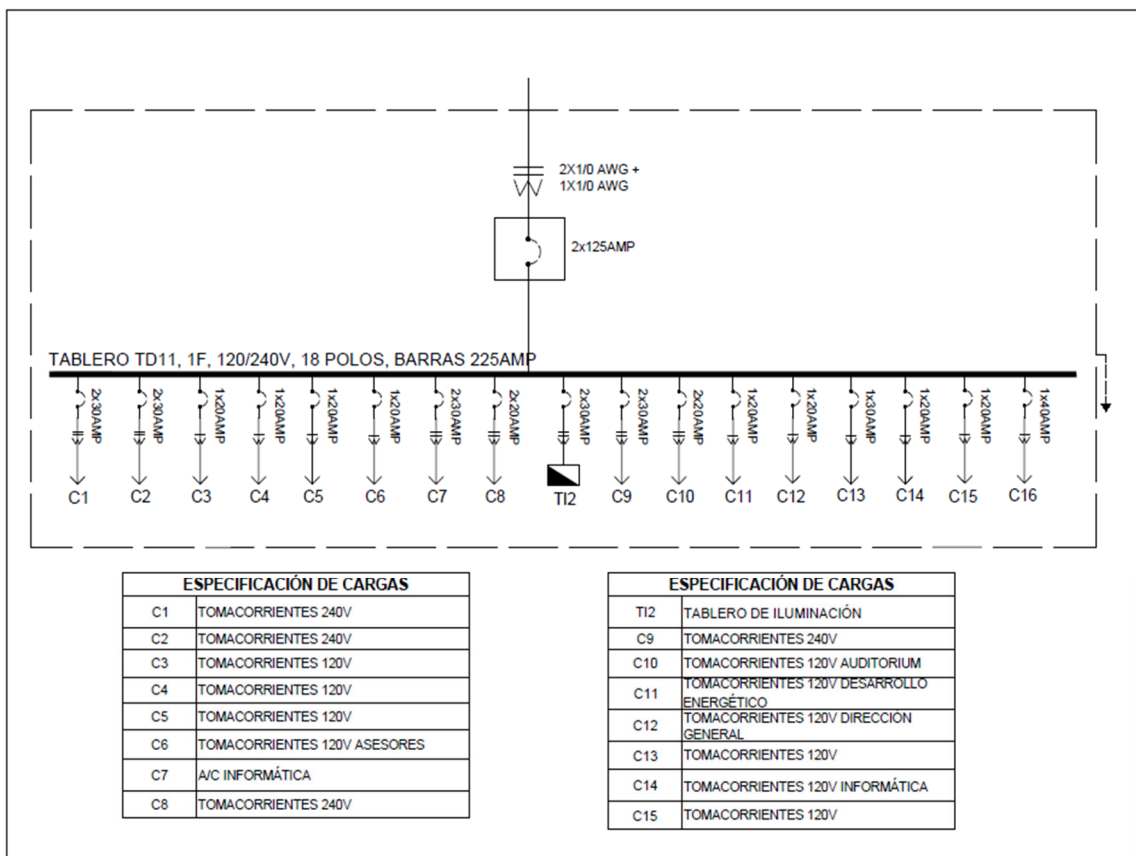


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.10. Diagrama unifilar tablero TD11

Este tablero alimenta la carga de todos los ambientes de la planta alta del edificio: departamento de desarrollo energético, área de electrificación rural, auditorium, servicios sanitarios, delegación de informática, sub-dirección general de energía, dirección general de energía y despacho de vice-ministro del área energética.

Figura 23. Diagrama unifilar tablero TD11



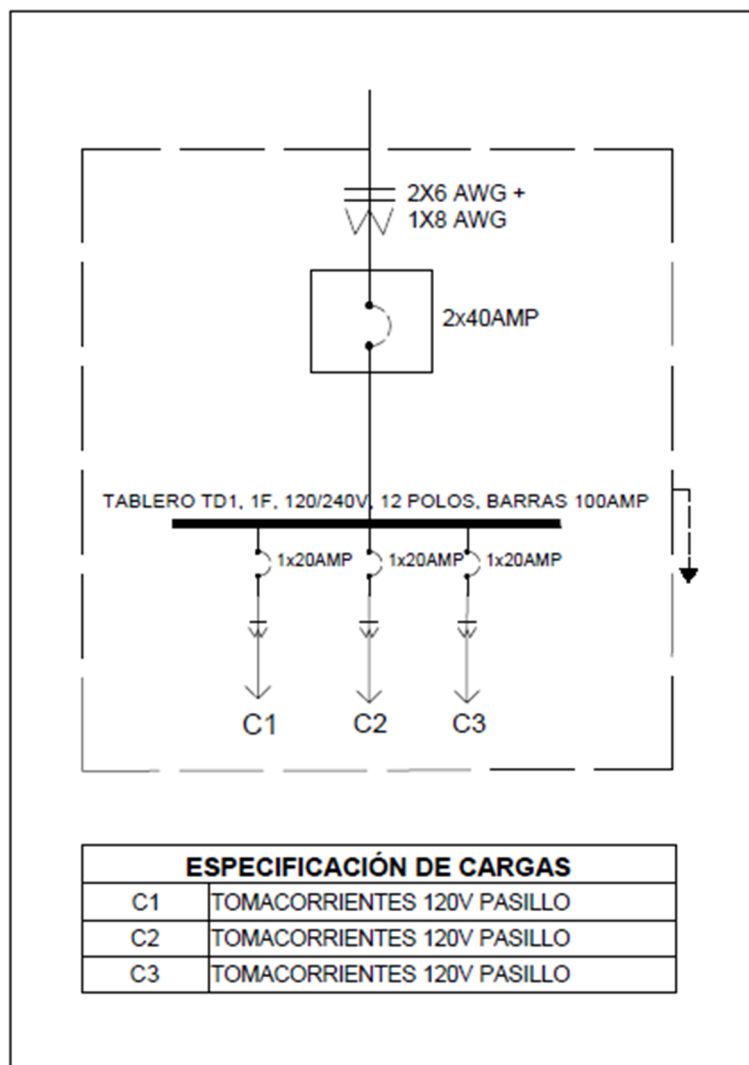
Fuente: elaboración propia.



### 3.8.11. Diagrama unifilar tablero TD1

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: departamento de desarrollo minero y pasillo del ala suroeste.

Figura 24. Diagrama unifilar tablero TD1

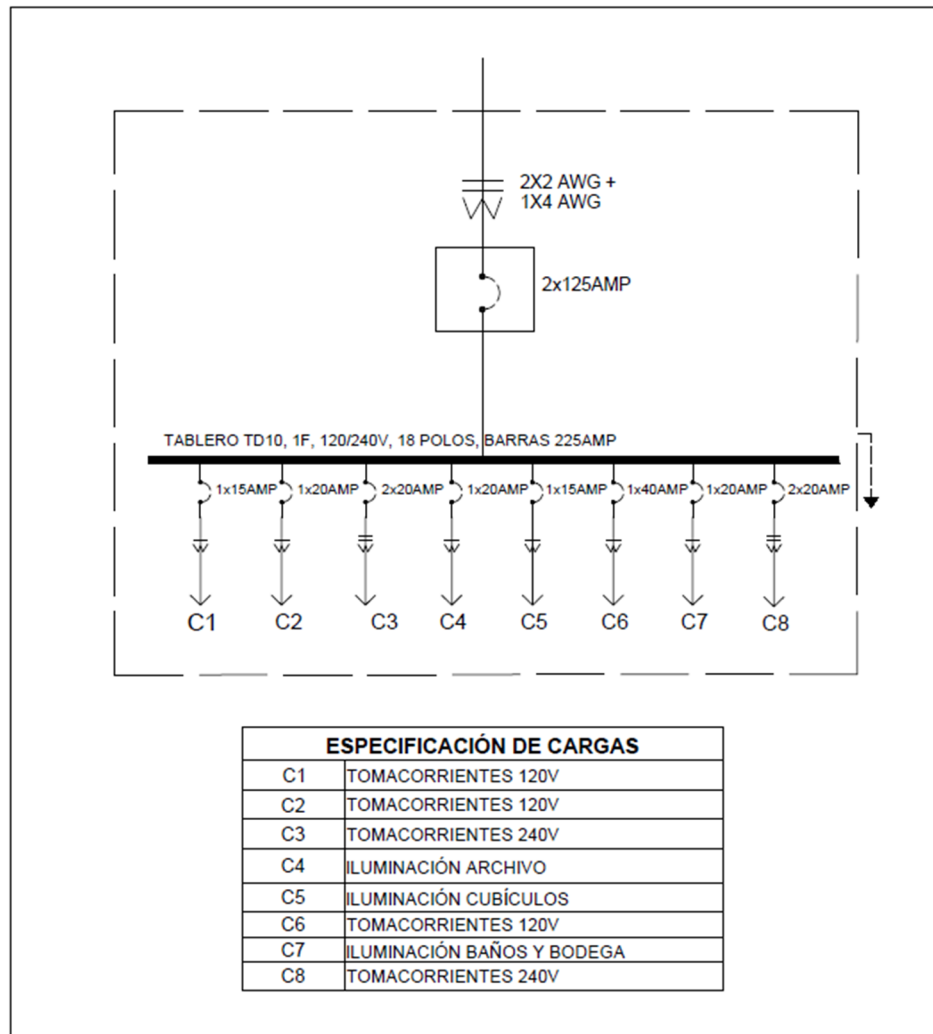


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.12. Diagrama unifilar tablero TD10

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: departamento de protección y seguridad radiológica, bodega de equipo de medición RNI y servicios sanitarios.

Figura 25. Diagrama unifilar tablero TD10

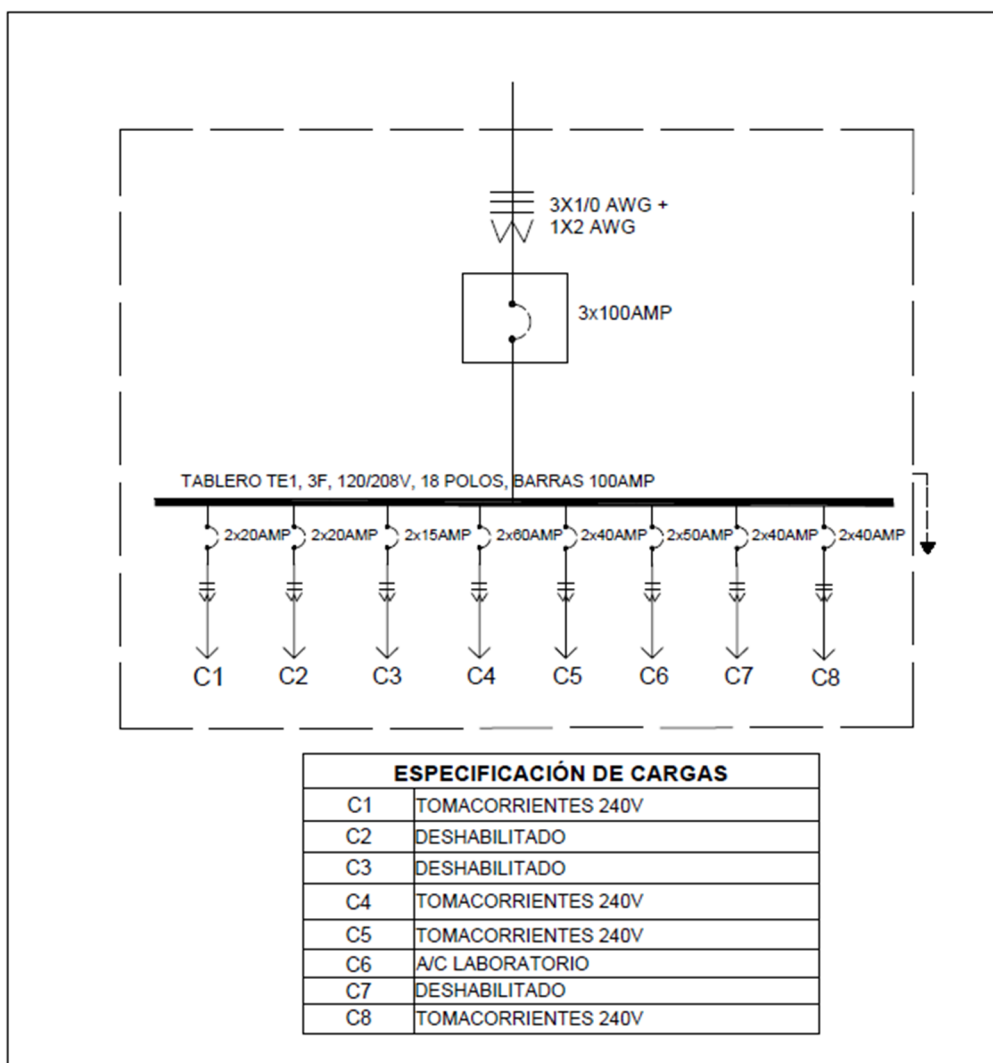


Fuente: elaboración propia.

### 3.8.13. Diagrama unifilar tablero TE1

Este tablero alimenta la carga de los siguientes ambientes: búnker rayos x, búnker rayos gamma y laboratorio secundario de calibración dosimétrica.

Figura 26. Diagrama unifilar tablero TE1



Fuente: elaboración propia.

## **4. ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **4.1. Calidad de energía eléctrica**

La calidad de la energía eléctrica es un indicador del nivel de adecuación de una instalación eléctrica para poder soportar y garantizar el correcto funcionamiento de las cargas. La relevancia de este tema surge debido a que la aparición de un evento o perturbación dentro de una instalación puede incidir directamente sobre los límites de las tres variables eléctricas principales: el voltaje, la corriente o la frecuencia; y en algunos casos puede contribuir en una pérdida significativa del rendimiento y tiempo de vida de los equipos.

#### **4.1.1. Disturbios en el sistema**

Un disturbio eléctrico puede tener dos orígenes, puede provenir de las instalaciones del usuario o de la empresa suministradora de energía eléctrica; e independientemente del mismo es común catalogarlos en términos de magnitud y duración.

Los disturbios eléctricos en un sistema pueden presentarse de muchas maneras y pueden variar desde eventos transitorios de muy corta duración hasta eventos prolongados que pueden llegar a contabilizarse en horas. Cuando sucede un evento de este tipo se producen variaciones sobre los parámetros eléctricos que pueden llegar a provocar que los límites de operación se vean superados, y esto puede repercutir en que los equipos instalados funcionen incorrectamente o incluso puedan llegar a dañarse.

#### **4.1.2. Disturbios por elevaciones momentáneas de voltaje**

Cuando el nivel de voltaje se eleva por encima del 110 % del valor nominal con una duración entre 0,5 ciclos y 30 ciclos la perturbación recibe el nombre de *swell* o sobretensión momentánea. Estas elevaciones se producen en el sistema eléctrico generalmente por fallas monofásicas, las cuales provocan una subida temporal de voltaje en las fases no involucradas en la falla. Otras causas que pueden llegar a provocar este tipo de eventos son la desconexión de grandes cargas, conexión de grandes bancos de capacitores, resonancias y ocurrencia de fenómenos de descargas atmosféricas naturales.

El valor de la elevación de tensión es proporcional a la distancia a donde ocurre la falla, el valor de impedancia y la capacidad de la puesta a tierra del sistema de alimentación. La consecuencia más relevante de las elevaciones de tensión es la pérdida de vida útil de los equipos conectados al sistema, así como desgaste del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas y estáticas. También se presentan operaciones indeseadas en relés de protección e incremento en la potencia de salida en banco de condensadores

#### **4.1.3. Disturbios por caídas momentáneas de voltaje**

Las caídas momentáneas de voltaje o *sags* son disminuciones de corta duración en el voltaje de estado estable y algunas veces pueden durar muchos segundos, desde 0,5 a 30 ciclos o inclusive más. Pueden provocar efectos muy pequeños sobre cargas sensibles si la caída en la tensión no es mayor del 10 al 20 %, o pueden tener un mayor efecto si la disminución en la tensión es más grande, por ejemplo, del 50 %.

#### **4.1.4. Interrupciones de larga duración**

Una interrupción de larga duración se presenta cuando hay ausencia de voltaje por un lapso superior a 1 minuto, además es una condición en la cual la tensión es inferior al 10 % de la tensión nominal. Este tipo de eventos se pueden clasificar en dos categorías, en los que son programados y en los que son accidentales; estos últimos no son controlados y por lo tanto difícilmente pueden preverse, siendo las principales causas de sus orígenes los accidentes, eventos climáticos o fallas humanas.

#### **4.1.5. Normas aplicables a la calidad de energía**

Para llevar a cabo un análisis de calidad de energía es muy importante tener como referencia las normas nacionales e internacionales, ya que ellas proporcionarán los límites y las directrices generales. Dentro del medio, la IEEE y la IEC son las instituciones más reconocidas que se encuentran dedicadas a la estandarización y desarrollo de normas para este tipo de mediciones.

##### **4.1.5.1. Estándar IEEE 1159-1995**

Esta norma fue diseñada y desarrollada para establecer una estandarización de los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de los equipos de medición de calidad de energía; sin embargo, el resultado no fue del todo lo esperado ya que es bastante común que cada uno de ellos proponga sus propios diseños y productos. Aún así, esta norma logró dejar establecidas técnicas de uso de los instrumentos, así como también métodos de interpretación para los resultados obtenidos por medio de las mediciones.

Como parte de las buenas técnicas de medición es posible mencionar ciertos pasos y condiciones que deben tomarse en cuenta antes y durante las mediciones.

- Determinar objetivos de la medición.
- Localización de los puntos a monitorear.
- Reconocimiento del sistema eléctrico a medir.
- Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
- Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
- Determinar límites y umbrales de medición.
- Tiempo de la medición.
- Interpretación de datos.

#### **4.1.5.2. Estándar IEEE 519-1992**

Esta norma fue desarrollada con el objetivo de establecer una regulación para los contenidos de armónicos de voltaje y corriente dentro de los sistemas eléctricos. Los límites propuestos en esta norma tienen como objeto controlar la distorsión armónica de corriente y voltaje, así como la calidad de la tensión generada por los armónicos eléctricos en el punto común de conexión. Además, esta norma también aclara la diferencia de las técnicas usadas en las mediciones de los sistemas eléctricos ordinarios y las técnicas requeridas para el monitoreo de armónicos eléctricos.

El estándar IEEE 519 -1992 también hace referencia a los instrumentos básicos usados para la medición de tensiones y corrientes no sinusoidales, cada uno de ellos acompañado con su descripción y el detalle de los datos que pueden llegar a monitorear.

#### 4.1.5.3. IEC 61000-4-30

La norma IEC 61000-4-30 define los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad del suministro eléctrico para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables.

Además define con claridad la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos. La finalidad es eliminar las conjeturas a la hora de seleccionar con precisión un instrumento para el análisis de la calidad eléctrica. Los parámetros que se incluyen son los siguientes:

- Frecuencia de la tensión de alimentación.
- Magnitud de la tensión de alimentación.
- *Flicker* (parpadeo de tensión).
- Armónicos e interarmónicos.
- Fluctuaciones de la tensión de alimentación.
- Interrupciones en la tensión de alimentación
- Desequilibrios en la tensión de alimentación.
- Transmisión de señales a través de la alimentación.
- Cambios rápidos en la tensión de alimentación.

Un equipo se clasifica como clase A cuando cumple con la totalidad de la norma. Si hubiera algún punto que no lo cumple, o lo cumple bajo otros criterios, entonces se clasifica como clase B.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Schneider Electric. <https://www.schneider-electric.es/es/faqs/FA134674/>. Consulta: 10 de mayo de 2018.



#### **4.1.5.4. Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD)**

El objetivo de estas normas es establecer derechos y obligaciones para los participantes del sistema de distribución de energía eléctrica, índices de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el punto de entrega como en el punto de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, indemnizaciones, sanciones y multas, respecto de los siguientes parámetros:

- Calidad del producto suministrado por el distribuidor:
  - Regulación de tensión.
  - Desbalance de tensión en servicios trifásicos.
  - Distorsión armónica.
  - *Flicker*.
  
- Incidencia del usuario en la calidad del producto:
  - Distorsión armónica.
  - *Flicker*.
  - Factor de potencia.
  
- Calidad del Servicio Técnico:
  - Interrupciones.
  
- Calidad del servicio comercial:
  - Calidad del servicio comercial del distribuidor.
  - Calidad de la atención al usuario.

## **4.2. Armónicos**

Son señales periódicas de forma sinusoidal cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la señal de voltaje o corriente; dichas señales son sumadas a la frecuencia fundamental y como resultado se da una deformación en la onda sinusoidal original.

Estos efectos suelen producirse cuando se tienen cargas no lineales, las cuales absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente y de forma sinusoidal.

### **4.2.1. Importancia de armónicos en sistemas eléctricos actuales**

Hasta hace pocos años difícilmente los usuarios presentaban mayores problemas con sus cargas, esto debido a que las mismas se comportaban con características de un elemento lineal en su gran mayoría. Hoy en día, se ha producido un aumento en el uso de dispositivos que basan su funcionamiento en tecnologías de estado sólido, y son estos los causantes de que un amplio espectro armónico sea inyectado a la red y provoque un deterioro en la calidad de la tensión suministrada.

### **4.2.2. Efectos de armónicos**

Una presencia de distorsión armónica que se encuentre por encima de los límites sugeridos puede llegar a generar situaciones indeseables sobre los sistemas eléctricos, algunos de estos efectos se detallan a continuación:

- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos.
- Corrientes armónicas en motores de inducción, transformadores y claves que causan pérdidas adicionales de energía y calentamiento.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Errores en los equipos de medición, debido a que generalmente los diseños consideran señales senoidales puras.
- Interferencia en el rango de audiofrecuencias con señales de control y líneas de energía.
- Inestabilidad dieléctrica de cables aislados como resultado de sobretensiones del sistema.
- Interferencia inductiva con los sistemas de comunicación, que resulta del acoplamiento inductivo entre las frecuencias armónicas y las líneas de comunicación.

#### **4.2.3. Fuentes de armónicos**

El creciente uso de dispositivos electrónicos ha causado un creciente interés sobre la generación de corrientes armónicas y los efectos que estas puedan tener sobre el sistema de suministro. Es común en estos tiempos que la gran mayoría de cargas, desde las residenciales hasta las utilizadas en procesos industriales tengan alguna aplicación electrónica implícita, lo que conduce a un interés individual acerca de la distorsión de la corriente armónica.

Las fuentes más comunes de armónicos son las siguientes:

- Equipos de cómputo.
- Fotocopiadoras.
- Sistemas de potencia ininterrumpida (UPS).

- Sistemas cargadores de baterías.
- Alternadores electrónicos.
- Accionamientos de frecuencia variable.
- Controladores electrónicos de ascensores.
- Convertidores de frecuencia para motores síncronos y de inducción.
- Rectificadores.
- Accionadores de estado sólidos.
- Hornos de arco y de inducción.
- Lámparas de encendido electrónico.
- Transformadores sobre excitados.
- Lámparas fluorescentes.
- Contactores vibratorios.
- Lámparas de descarga.
- Circuitos magnéticos saturables (transformadores, etc.).
- Otros.

#### **4.2.4. Factor k**

Los transformadores son especificados para su operación con cargas lineales, sin embargo, con el aumento de cargas no lineales estos equipos cada vez se han visto sujetos a corrientes no sinusoidales cada vez mayores. Debido a esto, la norma IEEE 1100-1992 ha establecido el factor k, el cual relaciona la capacidad del transformador para servir varios grados de carga no lineal sin exceder los límites de elevación de temperatura nominal. Este factor está basado principalmente en las pérdidas en los transformadores debido a efecto piel y corrientes parásitas que las corrientes no lineales pueden provocar.

Es importante mencionar que los transformadores convencionales son considerados del tipo K-1, y los transformadores con factor k más usuales

desde el punto de vista de los fabricantes son los que se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Transformadores tipo k más comerciales**

CATEGORÍA
K – 4
K – 9
K – 13
K – 20
K – 30
K - 40

Fuente: elaboración propia.

#### **4.3. Instrumentos utilizados para la medición de la calidad de energía**

Para la medición de calidad de energía dentro de las instalaciones de la DGE fue necesario hacer uso de un equipo analizador de redes, esto debido a que es un equipo capaz de medir una gran cantidad de los parámetros que definen la calidad de la potencia eléctrica y además lo hacen con una muy buena precisión. Adicional a esto, un equipo de este tipo tiene la capacidad de almacenar la data y poder exportarla hacia un ordenador para poder realizar una fácil interpretación de la misma.

##### **4.3.1. Analizador de red Dranetz HDPQ® Guide**

El analizador de redes Dranetz HDPQ Guide posee una muy buena capacidad de monitoreo de calidad de energía dentro de la gama disponible en su clase, ya que mide todos los estándares actuales de la industria, incluyendo IEC 61000-4-30 Clase A, IEC 61000-4-7, IEEE 1159, IEEE 519, IEEE 1459, y algunos otros más. El equipo cuenta con 8 canales independientes, las

configuraciones automatizadas que posee brindan detección instantánea de circuitos y configuraciones, asegurando que el instrumento esté listo para recopilar datos en segundos. Además, los usuarios pueden seleccionar la cantidad y modo en la que se recopilan los datos.

Figura 27. **Dranetz HDPQ® Guide**



Fuente: Dranetz HDPQ Guide Power Quality Analyzer. <http://www.dranetz.com/wp-content/uploads/2017/10/Guide-GuideSP-1.jpg>. Consulta: 12 de mayo de 2018.

#### 4.3.2. Características técnicas del Dranetz HDPQ® Guide

De acuerdo a lo que establece el fabricante en el manual del equipo, es posible mencionar las siguientes características:

- Monitoreo de calidad y energía de alta definición: 1000 Vrms, AC / DC, 512 muestras / ciclo.
- Ocho canales, 4 voltajes y 4 corrientes.
- Módulos de respuesta: dirección de sag, identificación de capacitores por factor de potencia, motor - categorización automática de eventos.
- PQ avanzada – compatible con IEC 61000- 4-30 clase A & IEEE 1159.
- Armónicos: IEC 61000-4-7, IEEE 519 (2014).
- Capacidades transitorias: V & I: provocadores de la forma de onda.
- IEEE 1459 mediciones avanzadas de energía.
- 10 000 ciclos pre / post amortiguación.
- EN 50160 Ed 3.

#### **4.3.3. Programas de medida**

El programa de medición empleado se ha basado en los procedimientos de medida que las normas IEC 61000-4-30 y NTSD han definido para cada uno de los parámetros eléctricos. Con esto se determina la exactitud, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos para obtener una mejor confiabilidad y eficacia de los trabajos.

#### **4.3.4. Software para el análisis DRAN-VIEW 7**

La herramienta DRAIN-VIEW 7 es un paquete de software basado en *Windows* que permite al profesional de la rama visualizar y analizar de manera simple y rápida los datos de monitoreo de la potencia y la energía. Es una herramienta fácil de manejar, brinda una funcionalidad automatizada e incorpora potentes capacidades analíticas y opciones configurables para satisfacer las necesidades de cada usuario individual.

#### **4.3.5. Funciones básicas del software DRAN-VIEW 7**

El software DRAN-VIEW 7 proporciona un análisis detallado de la calidad de la energía y datos de energía de casi todos los productos recientes de la marca Dranetz. Los resultados no son solamente capturas de pantalla, sino que se trata de un análisis avanzado de puntos de muestra grabados y almacenados, y se presentan en diversas formas, incluyendo gráficos de tiempo, listas de eventos, así como toda la información relacionada a los mismos. Debido al diseño avanzado de la base de datos de eventos, los gráficos de tiempo y detalles de eventos se pueden acercar para obtener una información más precisa.

Pasos simples dentro de la herramienta permiten desplazarse rápidamente a través de los datos, acercarse a las perturbaciones, visualizar datos de tendencias, filtrar eventos, evaluar de estadísticas y llevar a cabo análisis de armónicos e inter armónicos avanzados.

#### **4.4. Medición en el edificio**

Debido al aumento considerable en los últimos años de cargas no lineales y dispositivos electrónicos, en las instalaciones eléctricas es cada vez más común encontrarse con perturbaciones y distorsiones de la forma de onda de la tensión y la corriente. Si bien estos dispositivos han venido a contribuir de buena manera en varios ámbitos de la vida, también han venido a afectar la calidad de la energía al introducir contaminación en los sistemas eléctricos.

Toda esta contaminación es posible medirla y analizarla con distintos instrumentos, equipos o analizadores de redes que cuenten con las



características técnicas necesarias para cumplir con los métodos de medida y procedimientos que establecen las normas.

Para poder obtener un diagnóstico sobre la calidad de energía en las instalaciones eléctricas del edificio de la DGE fue necesario proceder con la adquisición e interpretación de los parámetros eléctricos previamente mencionados, los cuales en primera instancia fueron tomados de manera directa desde el tablero principal y luego como parte de mediciones complementarias desde los tableros secundarios TD11 y TD2. Dichas mediciones fueron realizadas de acuerdo al programa de medida que se expone en los artículos 20 y 21 de la NTSD, los cuales establecen que los parámetros principales deben medirse en intervalos de quince minutos, mientras que la distorsión armónica y *flicker* en intervalos de diez; teniendo todos ellos en común que el período de medición debe durar al menos siete días de manera ininterrumpida.

Figura 28. **Instalación de Dranetz HDPQ Guide en tablero principal**



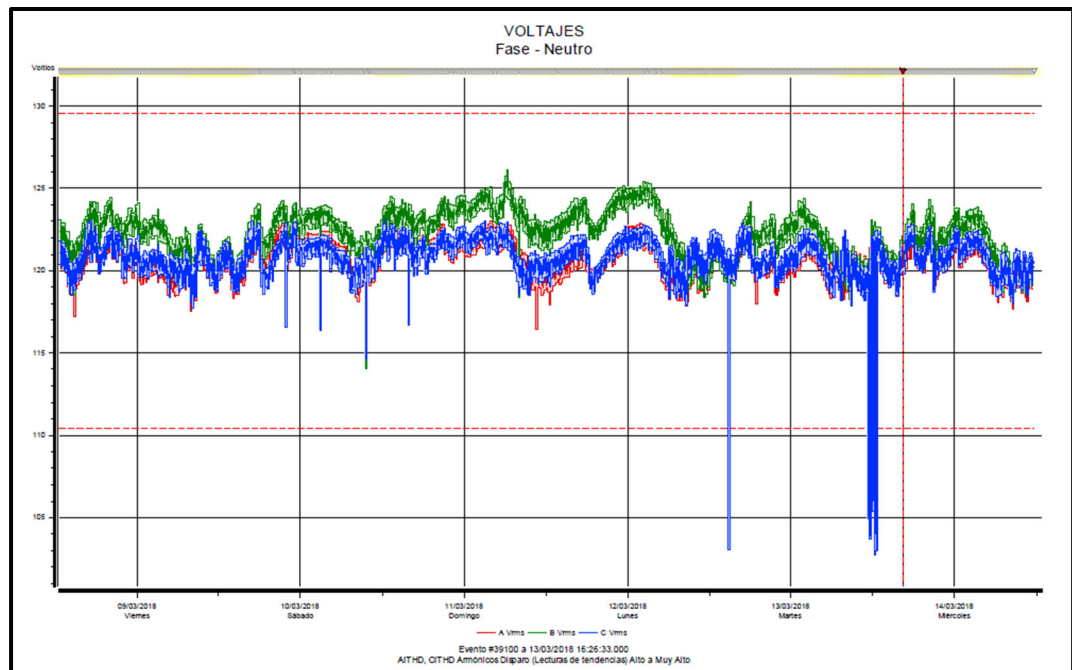
Fuente: tablero principal, DGE.

#### 4.4.1. Análisis de voltaje

Las gráficas mostradas a continuación muestran el perfil de comportamiento de los voltajes de línea a neutro y de línea a línea para cada una de las fases durante el periodo total de medición.

Se puede apreciar que los niveles de voltaje línea a neutro rondan el valor nominal de 120 V, lo que implica que la regulación de voltaje es correcta; sin embargo, durante la campaña de medición se pudo observar durante ciertos periodos la aparición de varias disminuciones de voltajes.

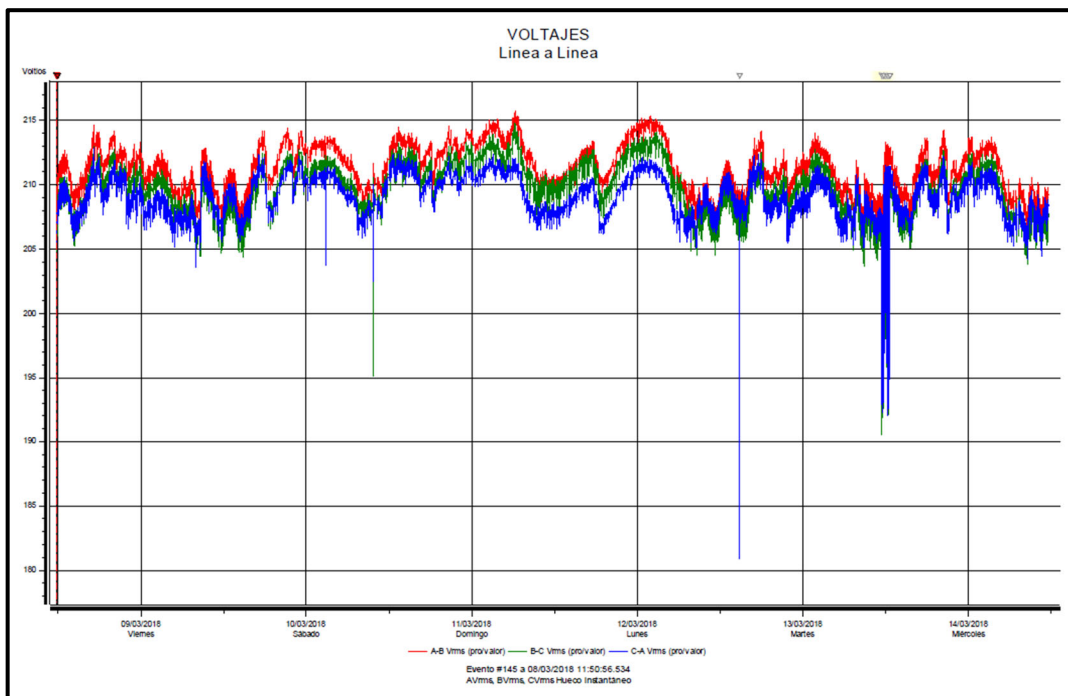
Figura 29. **Perfiles de voltaje línea a neutro**



Fuente: software DRAN-VIEW 7.

Los niveles de voltaje línea a línea cumplen con el valor nominal de 208 V, con una fluctuación de +/- 3,5 % cuando la normativa establece como límites una variación entre el +/- 8,0 %. Sin embargo, al igual que lo observado en la gráfica de perfiles de voltajes línea a neutro, es posible notar que se presentan huecos de tensión, los cuales pueden tener su origen debido a distintas causas y formaran parte de un análisis posterior.

Figura 30. **Perfiles de voltaje línea a línea**



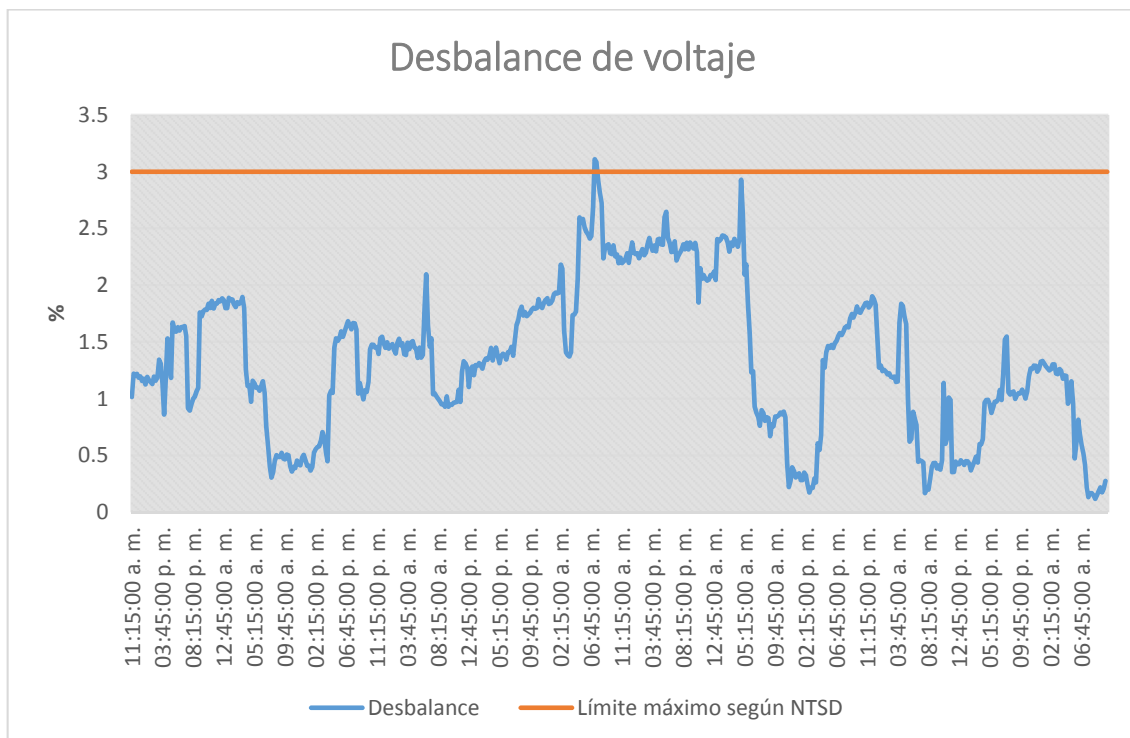
Fuente: software DRAN-VIEW 7.

#### 4.4.1.1. **Desbalance de voltaje**

Como es posible apreciar en la gráfica, el desbalance se encuentra por debajo del límite establecido por la normativa, sin embargo, se encuentra un

pico de desbalance que si supera el límite, el mismo es generado principalmente por la diferencia del nivel de voltaje que existe entre la fase B con la fase A y el resto de las fases durante ese lapso de tiempo.

Figura 31. **Desbalance de voltaje**

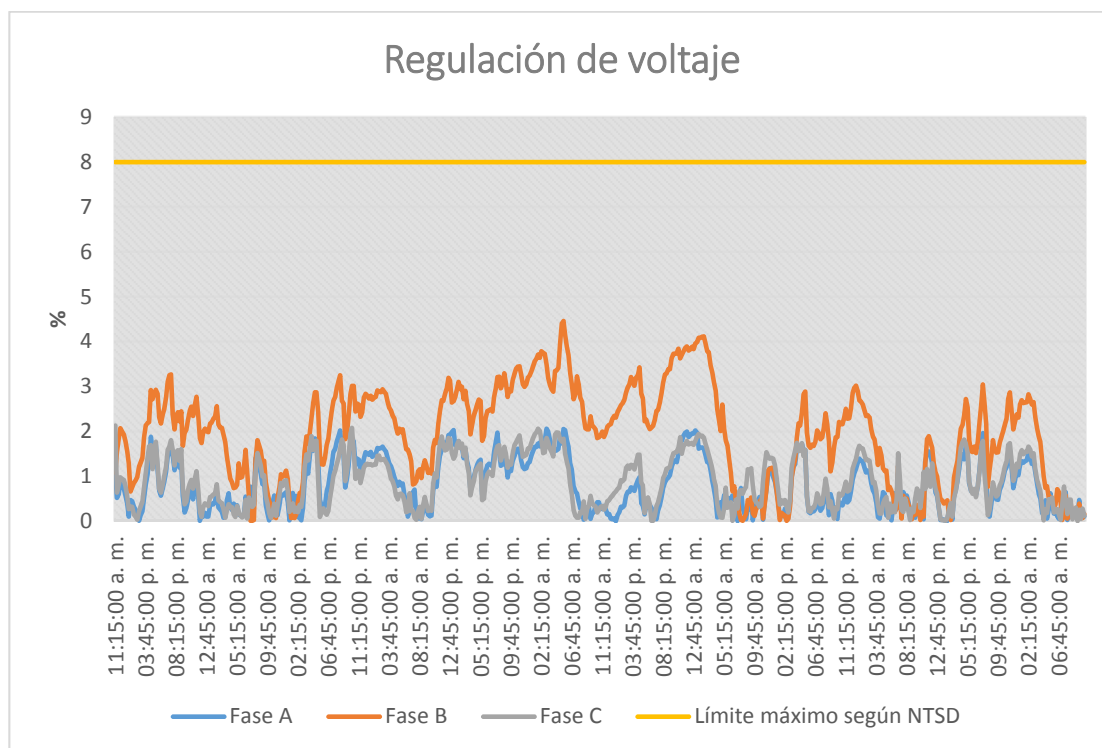


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.1.2. **Regulación de voltaje**

La gráfica muestra el porcentaje de regulación de los voltajes de fase a neutro para cada fase durante el periodo total de medición. Como es posible notar, no se refleja ningún valor que exceda las tolerancias de regulación de tensión, ni tampoco valores cercanos al límite como para considerar que exista algún tipo de situación a considerar.

Figura 32. Regulación de voltaje

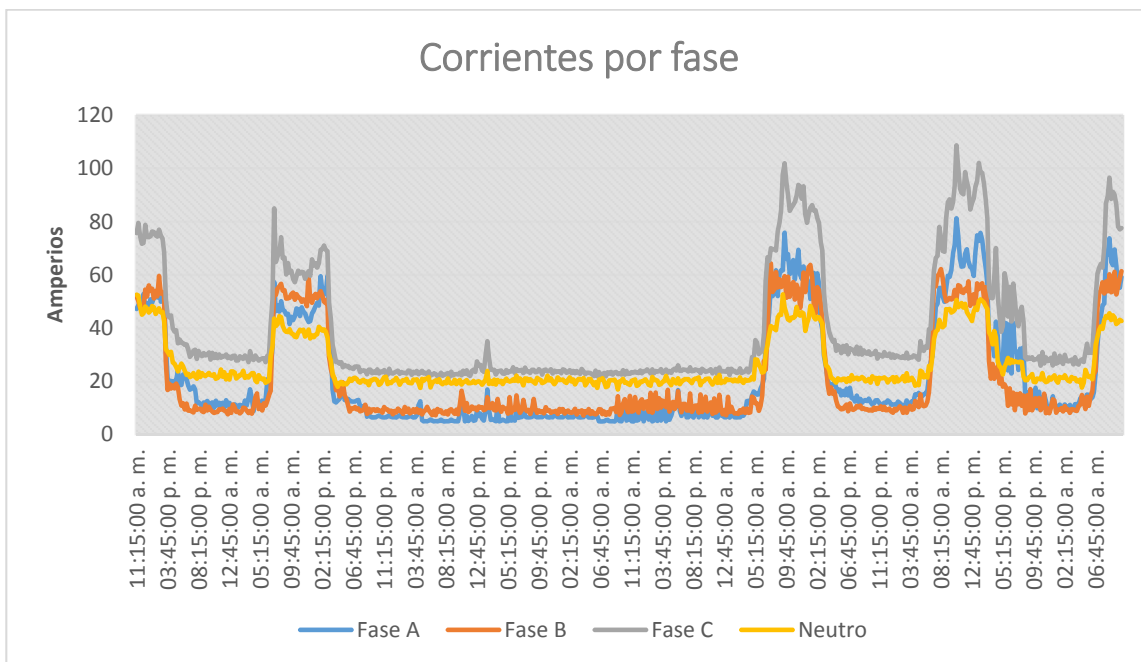


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Análisis de corriente

La gráfica muestra el perfil de comportamiento de la corriente para cada una de las fases y neutro durante el periodo total de medición. El comportamiento de la gráfica refleja una diferencia entre fases considerablemente alto por el desbalance de cargas que existe, lo cual da lugar a que el valor de la corriente de neutro permanezca por encima del valor de dos de las fases la mayor parte del tiempo.

Figura 33. Corrientes por fase

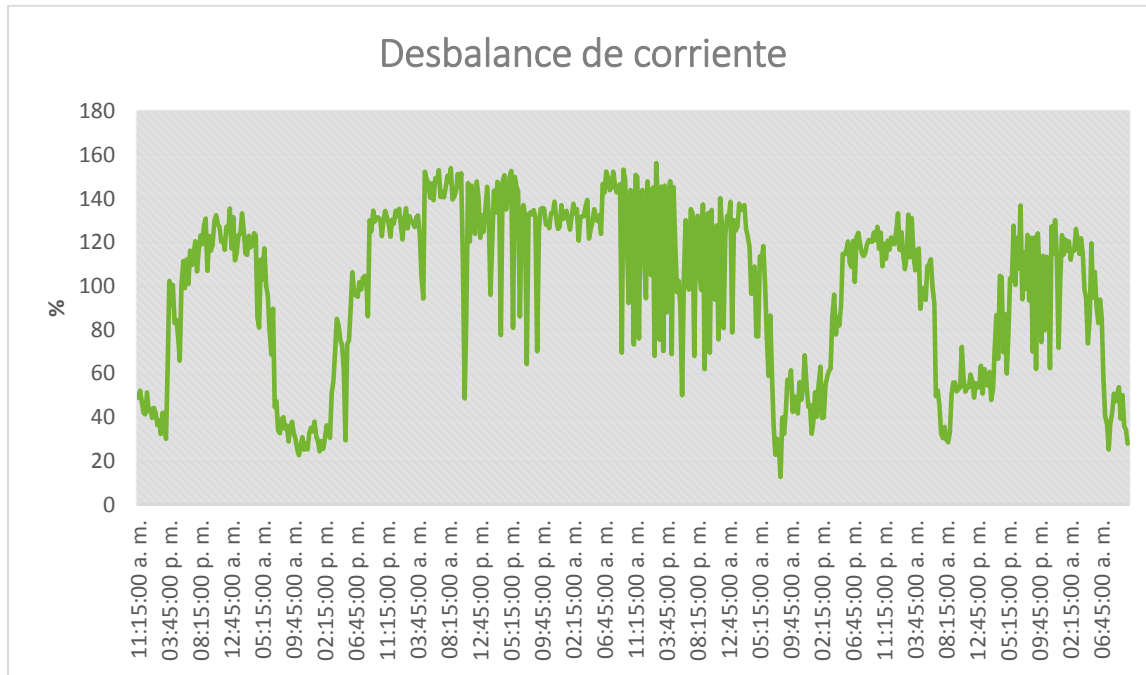


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2.1. Análisis de desbalance de corriente

La gráfica muestra el perfil de comportamiento del desbalance para las corrientes de cada una de las fases durante el periodo total de medición. Como es evidente, la gráfica refleja un porcentaje bastante considerable de los valores de desbalance, dicho desbalance es principalmente generado por la diferencia de consumo que existe entre las fases A y B con respecto al de la fase C, donde se aprecia una diferencia de consumo de aproximadamente 25 amperios.

Figura 34. **Desbalance de corriente**

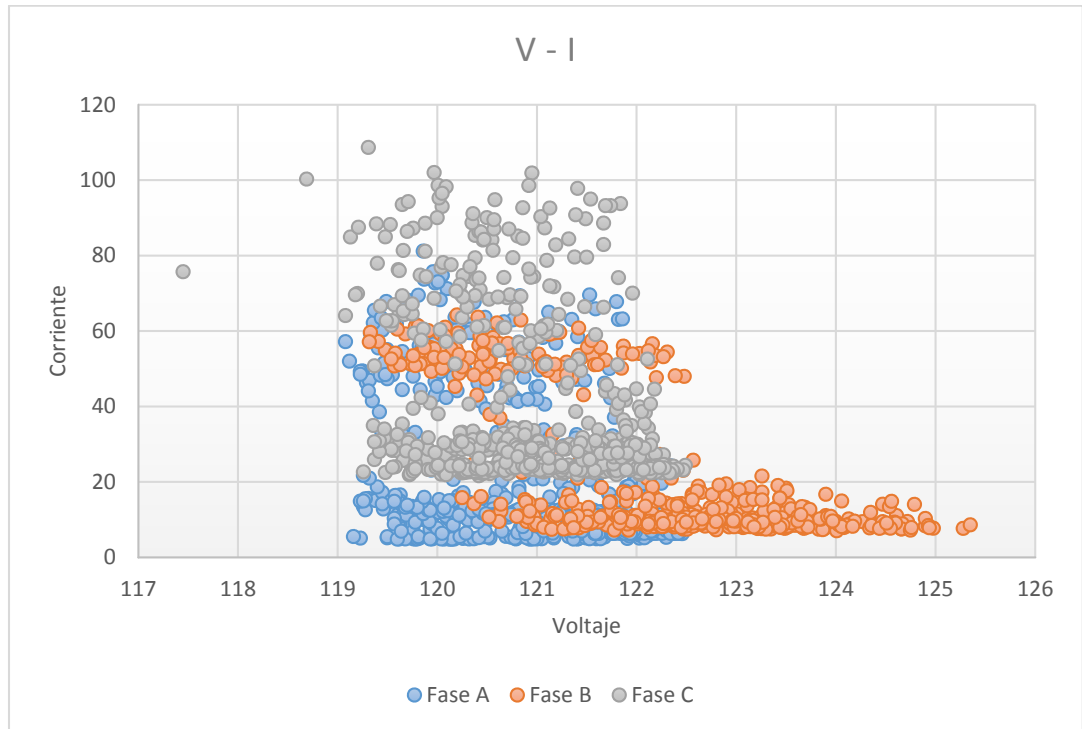


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2.2. **Incidencia del desbalance de corriente sobre el voltaje**

En un análisis donde se confrontan corrientes contra voltajes, donde el objetivo es descubrir alguna incidencia del consumo desbalanceado de corriente sobre el comportamiento del voltaje de alimentación, se encontró un patrón mínimamente marcado por la información de la fase B, sin embargo, los límites en los que se encuentra están dentro de los aceptados y por el momento no incide en una pobre calidad del voltaje.

Figura 35. Gráfica de dispersión V - I



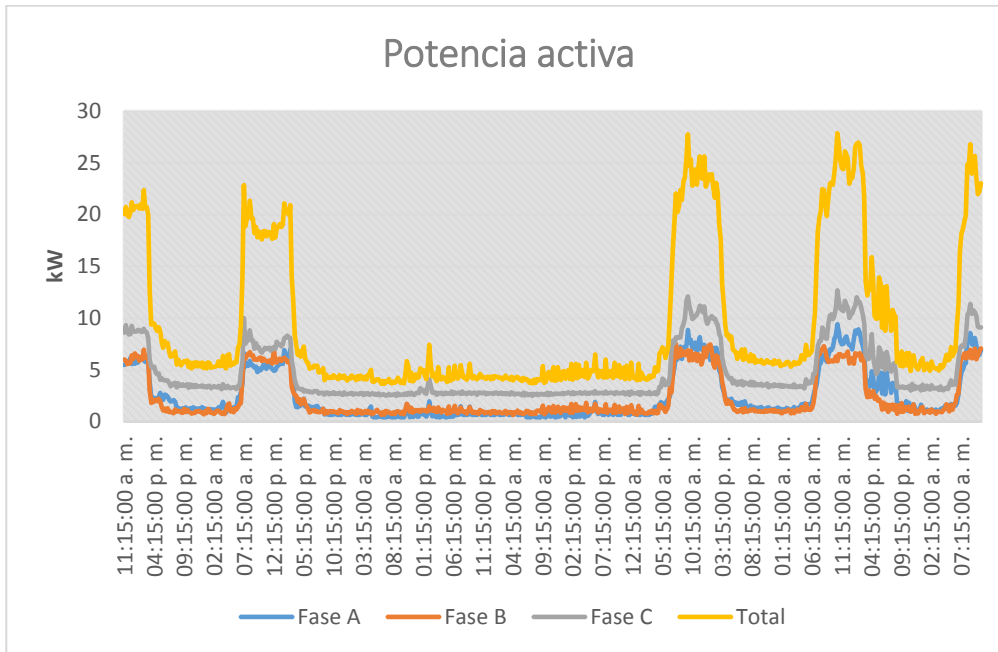
Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.3. Análisis de potencia activa

La gráfica muestra el comportamiento de la potencia activa por fase y de manera total durante el periodo completo de medición. Es evidente poder notar que los valores de las fases presentan un desbalance en consumos, teniendo la fase C valores más altos que los de las fases A y B.



Figura 36. **Potencia activa**



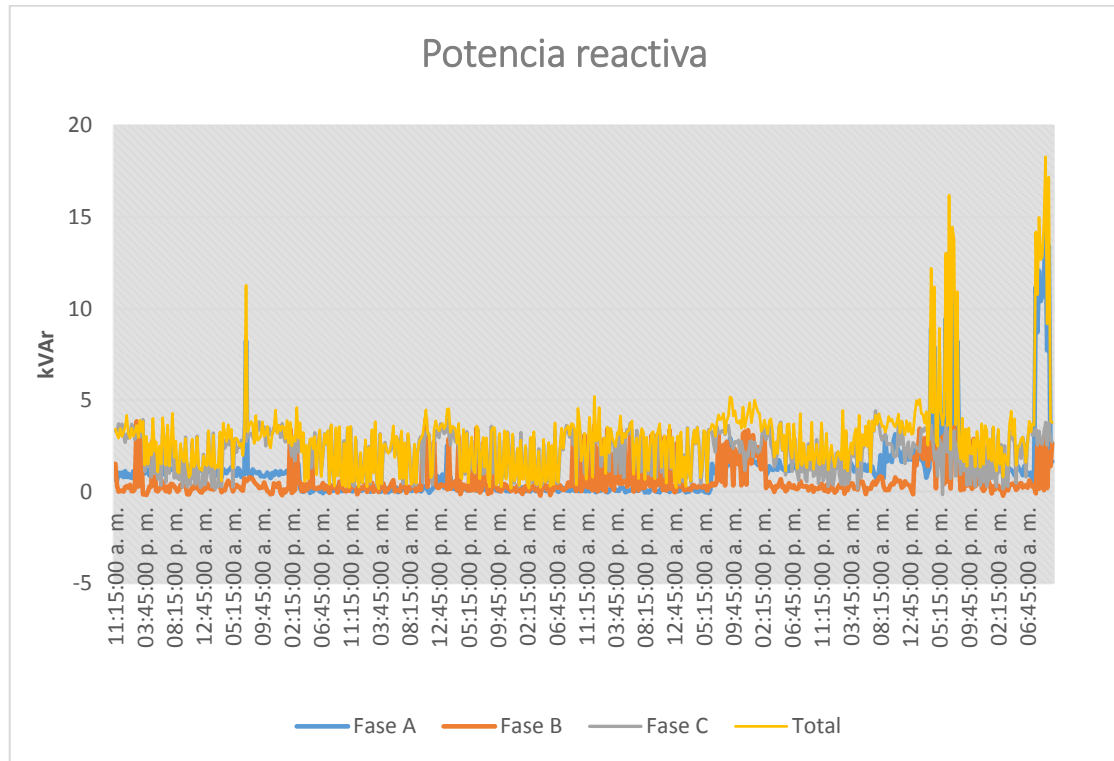
Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.4. **Análisis de potencia reactiva**

La gráfica muestra el comportamiento de la potencia reactiva por fase y de manera total durante el periodo completo de la medición. Es evidente poder notar que el mayor consumo de potencia reactiva corresponde al valor de la fase C, fluctuando sobre su máximo y su mínimo durante la mayor parte del tiempo. Además, se observa un importante consumo de la fase B en ciertos períodos de tiempo.

Más adelante en un apartado posterior se podrá observar si los valores de potencia reactiva detectados modifican el factor de potencia por debajo del límite y si merecen una compensación para que este se corrija.

Figura 37. **Potencia reactiva**

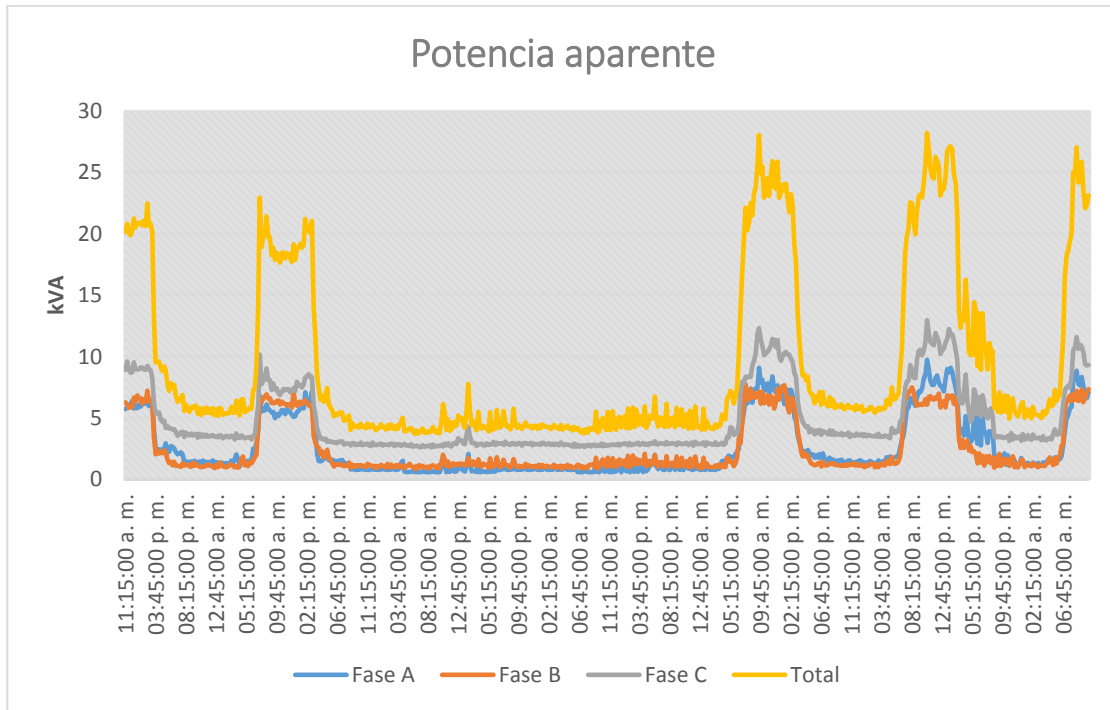


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.5. **Análisis de potencia aparente**

La gráfica muestra el comportamiento de la potencia aparente por fase y de manera total durante el periodo completo de la medición. Básicamente, la interpretación de esta gráfica corresponde a lo que ya se ha mencionado para la potencia activa, debido a que se comporta de muy similar manera.

Figura 38. **Potencia aparente**

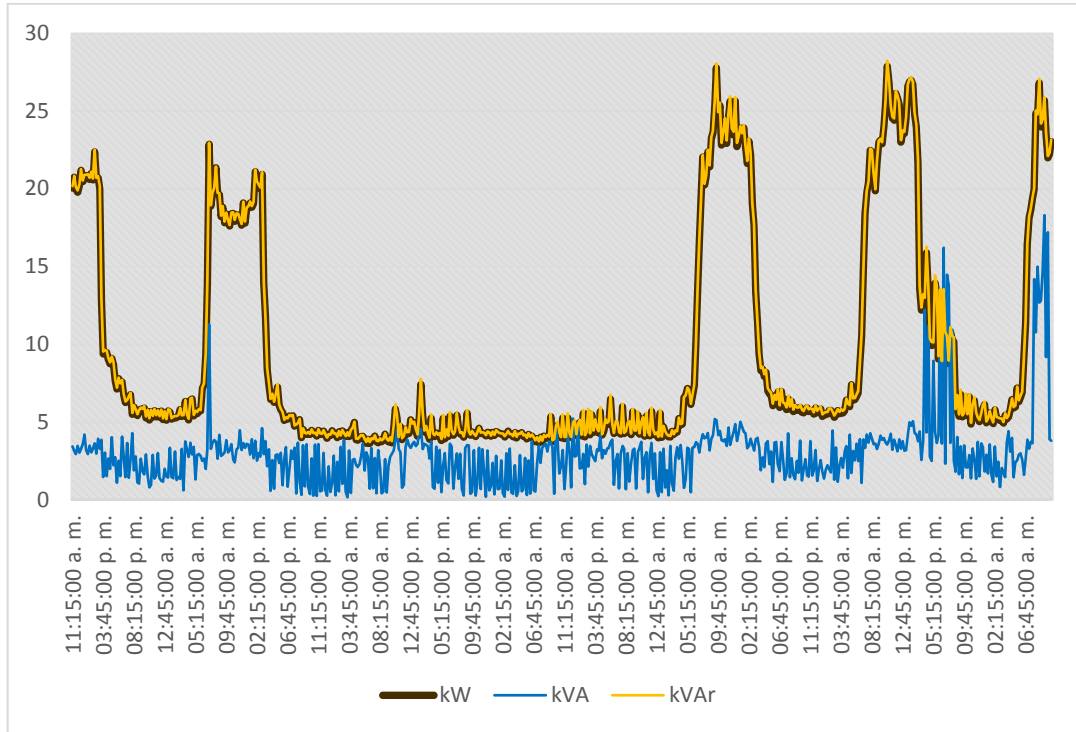


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.6. **Análisis de potencia trifásica y factor de potencia**

La gráfica muestra el comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente de manera total durante el periodo completo de la medición. Es posible apreciar la tendencia de consumo durante los días laborales y los días de descanso mediante la observación de la potencia activa y aparente, asimismo es posible identificar una tendencia casi constante de la potencia reactiva durante todos los días de la semana.

Figura 39. **Potencia trifásica total**

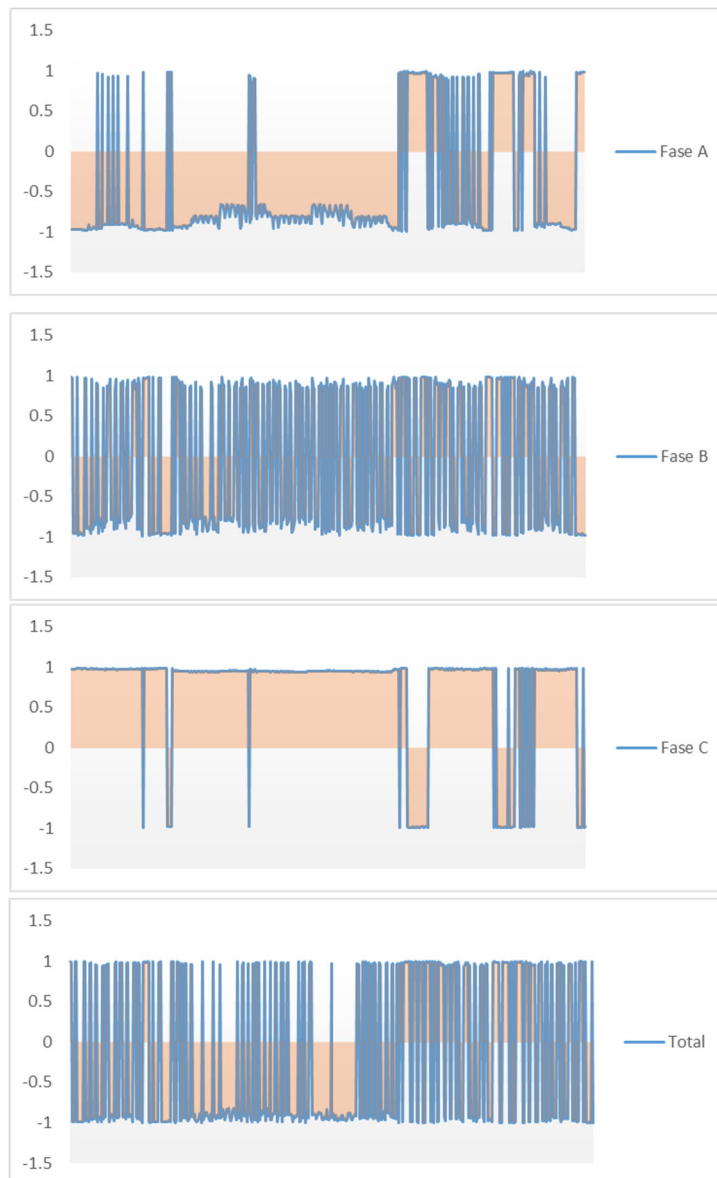


Fuente: elaboración propia.

La siguiente gráfica muestra el perfil de comportamiento del factor de potencia trifásico durante el periodo total de la medición. En el comportamiento de la gráfica es posible apreciar que los registros de factor de potencia varían dependiendo de la fase de estudio, teniendo un comportamiento de factor de potencia negativo para la fase A, un factor de potencia que oscila de positivo a negativo de manera intermitente para la fase B y un factor de potencia positivo la mayor parte del tiempo para la fase C. En base a esto es posible determinar que existen cargas inductivas de funcionamiento casi permanente y otras con ingresos y salidas constantes, mismas que corresponden a dos situaciones en particular: una incorrecta operación de la bomba de agua y equipos derivados

que forman parte de la instalación hidráulica y la intermitencia de la carga como producto de la utilización de máquinas de calibración de equipo médico.

Figura 40. **Factor de potencia trifásico**



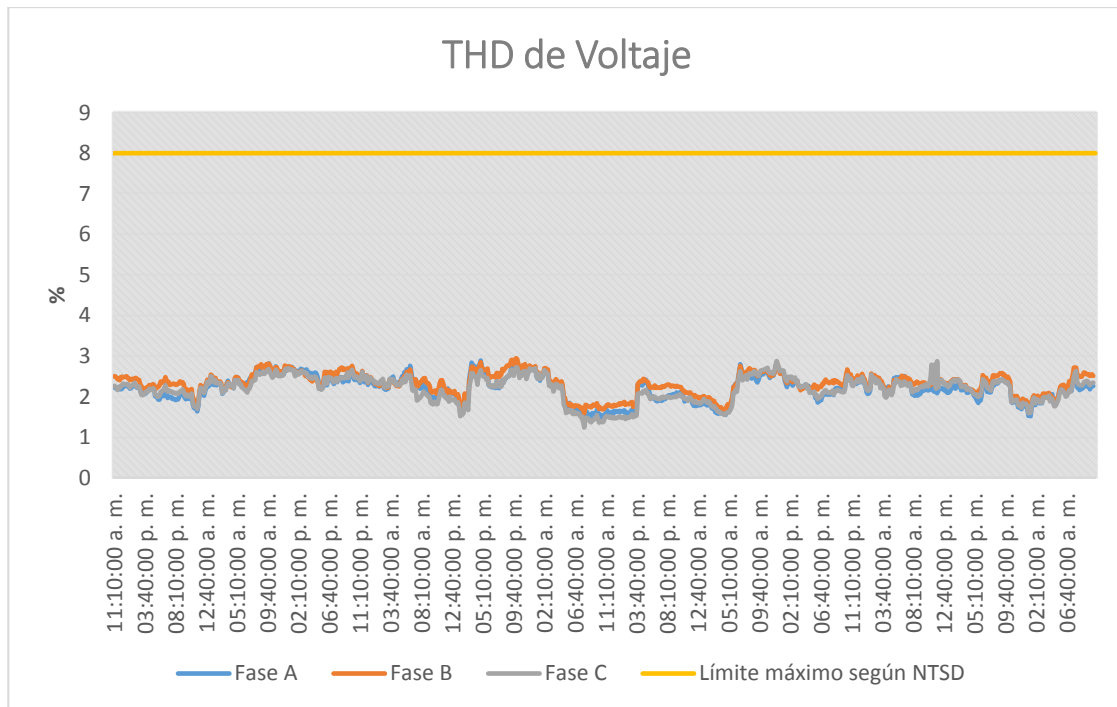
Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.7. Distorsión armónica total de voltaje

La gráfica muestra el perfil del comportamiento del porcentaje de distorsión armónica total en voltaje para cada una de las fases durante el periodo total de medición.

En el comportamiento de la gráfica es evidente notar que no se presenta ningún porcentaje considerable en los valores de distorsión que pueda llegar a afectar la forma de onda de tensión; cumpliendo con los indicadores de calidad de energía establecidos en la NTSD, los cuales establecen un valor máximo del 8 %.

Figura 41. Distorsión armónica total de voltaje

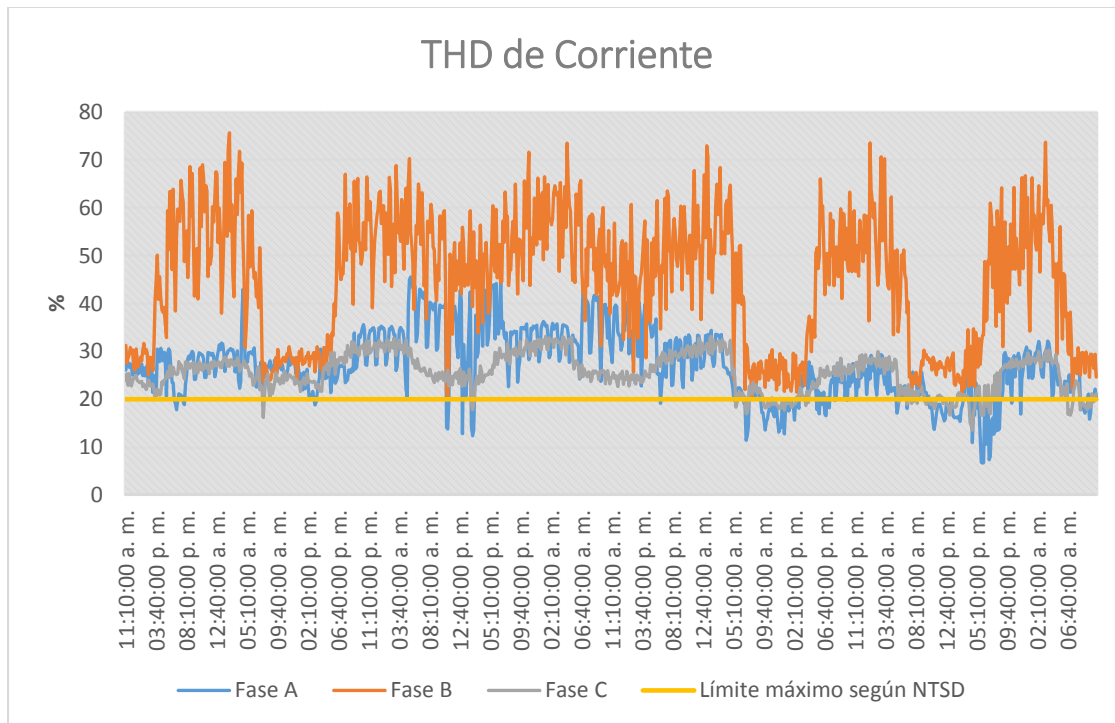


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.8. Distorsión armónica total de corriente

La gráfica muestra el perfil del comportamiento del porcentaje de distorsión armónica total de corriente para cada una de las fases durante el periodo total de medición. Como se aprecia, la gráfica refleja un porcentaje considerable de los valores de distorsión que se introducen a la red y que a la vez afectan la calidad de energía que percibe el usuario. Es importante indicar que el porcentaje de THD de corriente permitido por la NTSD es de 20 % y las tres fases superan dicho límite la mayor parte del tiempo, teniendo el caso más serio en la fase B.

Figura 42. **Distorsión armónica total de corriente**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.8.1. Distorsión armónica individual de corriente

La distorsión armónica individual es la relación entre el valor RMS del armónico individual y el valor RMS del fundamental, y es posible obtenerla para cada uno de los componentes armónicos por medio de la siguiente expresión:

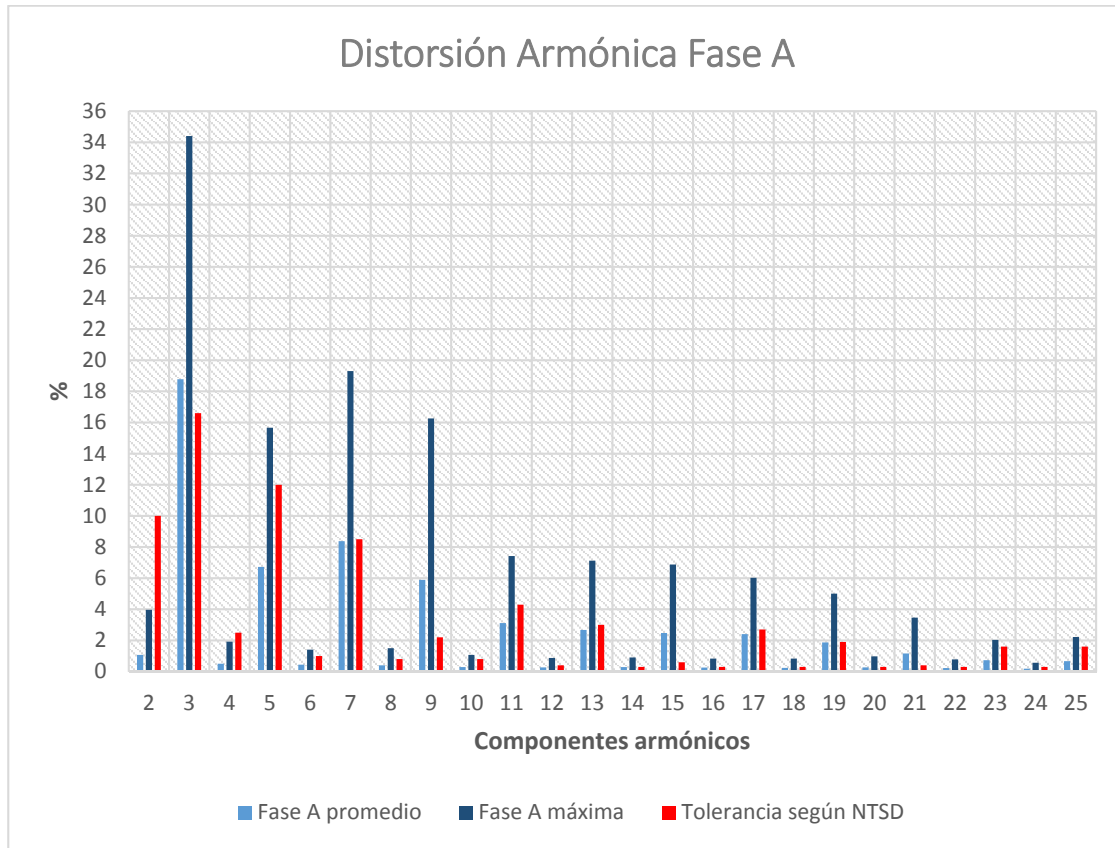
$$IHD_n = \frac{I_n}{I_1}$$

El siguiente histograma muestra los porcentajes individuales de componentes armónicas de corriente para la fase A, considerando que el porcentaje de THD para esta línea es del orden de 21,44 % y que tiene una contribución individual principalmente por parte de la 3ª, 5ª, 7ª, 9ª, 11ª, 13ª y 15ª armónica.

Para este histograma es evidente notar que las componentes armónicas promedio de la 3ª, 7ª, 9ª y 15ª sobrepasan las tolerancias indicadas en la NTSD para considerar una energía eléctrica de buena calidad, además de que se encuentran introduciendo perturbaciones a la red de la distribuidora. Lo anterior es sin considerar los valores máximos, los cuales superan los valores de la normativa en todos los componentes impares y algunos pares.



Figura 43. **Distorsión armónica individual de corriente en la fase A**



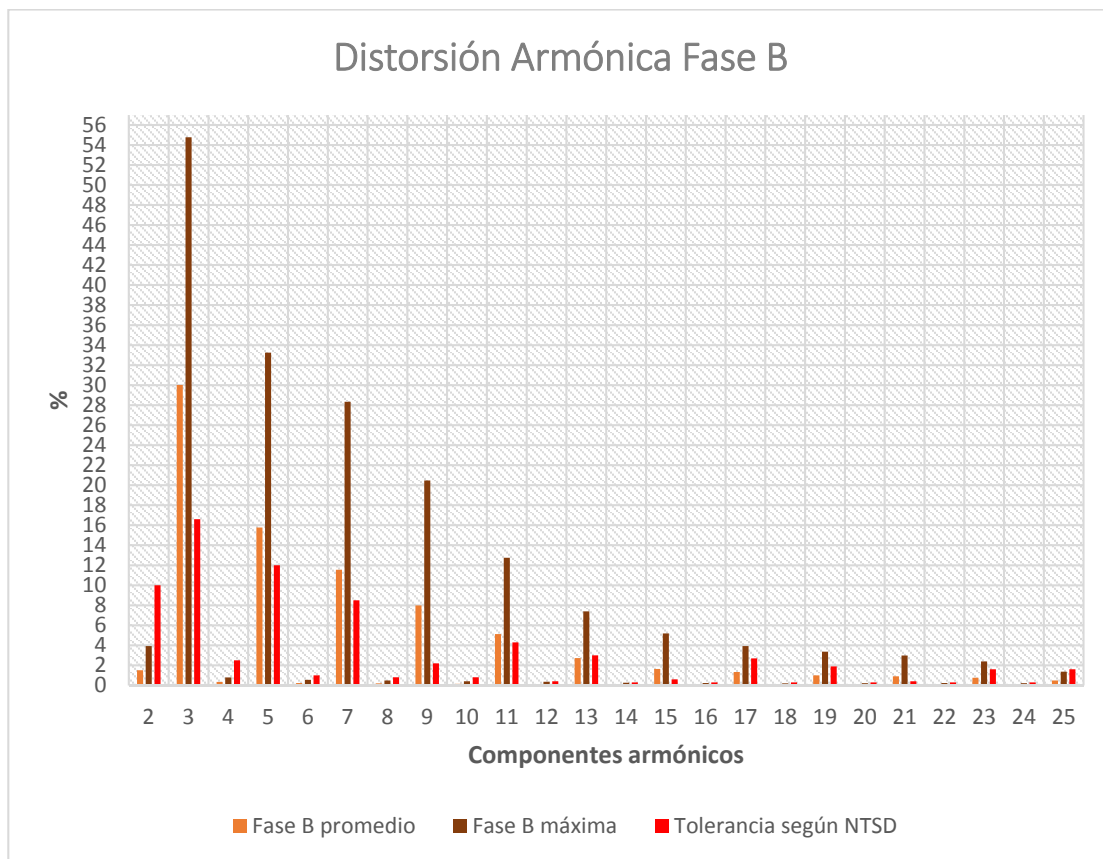
Fuente: elaboración propia.

El siguiente histograma muestra los porcentajes individuales de componentes armónicas de corriente para la fase B, considerando que el porcentaje de THD para esta línea es del orden de 30,38 % y que tiene una contribución individual principalmente por parte de la 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup>, 13<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> armónica.

Para este histograma es evidente notar que las componentes armónicas promedio de la 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup>, 13<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> sobrepasan las tolerancias indicadas en la NTSD para considerar una energía eléctrica de buena calidad, además de

que se encuentran introduciendo perturbaciones a la red de la distribuidora. Lo anterior es sin considerar los valores máximos, los cuales superan los valores de la normativa en todos los componentes impares y algunos pares.

Figura 44. **Distorsión armónica individual de corriente en la fase B**

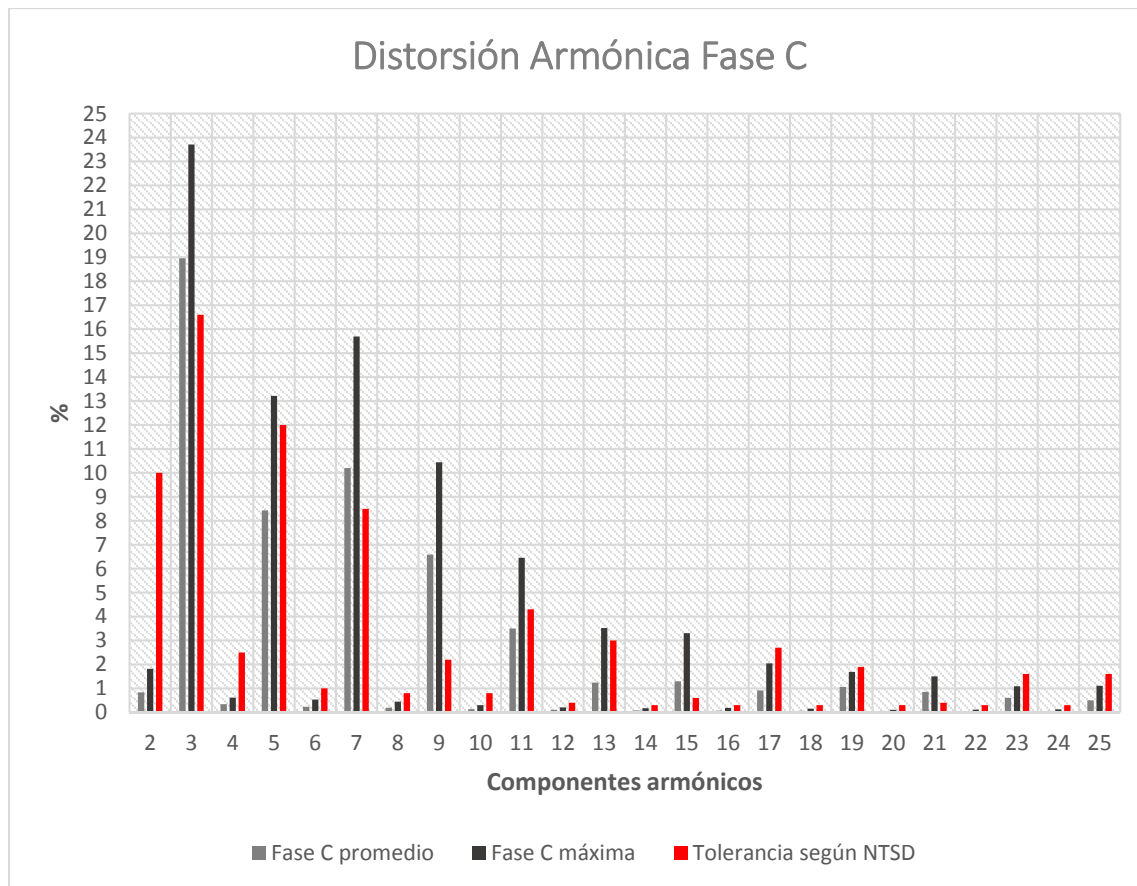


Fuente: elaboración propia.

El siguiente histograma muestra los porcentajes individuales de componentes armónicas de corriente para la fase C, considerando que el porcentaje de THD para esta línea es del orden de 44,44 % y que tiene una contribución individual principalmente por parte de la 3ª, 5ª, 7ª, 9ª, 11ª, 13ª y 15ª armónica.

Para este histograma es evidente notar que las componentes armónicas promedio de la 3<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> sobrepasan las tolerancias indicadas en la NTSD para considerar una energía eléctrica de buena calidad, además de que se encuentran introduciendo perturbaciones a la red de la distribuidora. Lo anterior es sin considerar los valores máximos, los cuales superan los valores de la normativa en todos los componentes impares y algunos pares.

Figura 45. **Distorsión armónica individual de corriente en la fase C**

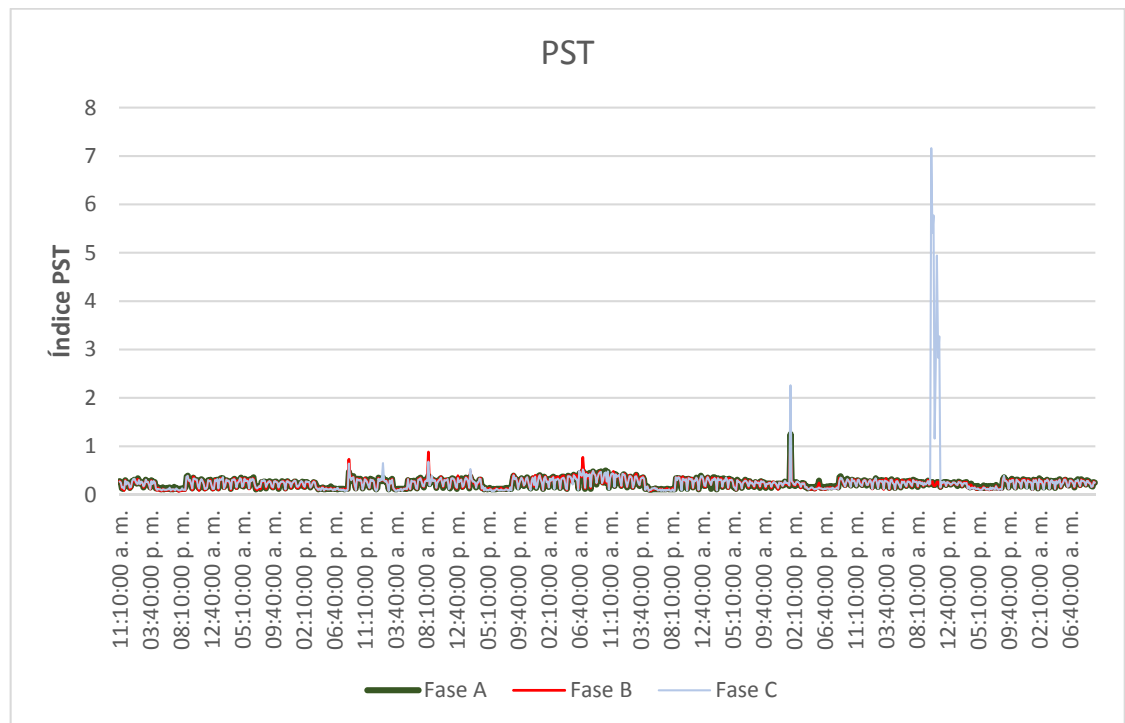


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.9. Flicker

La gráfica que se muestra a continuación refleja el comportamiento del índice de severidad de corto plazo PST, el cual tiene un límite máximo recomendado de 1 según la norma NTSD. Debido a que las mediciones muestran que el *flicker* no ha excedido el rango de tolerancias establecidas durante un lapso mayor al cinco por ciento del empleado en las mediciones es posible establecer que la energía eléctrica es de buena calidad.

Figura 46. Índice de severidad de corto plazo

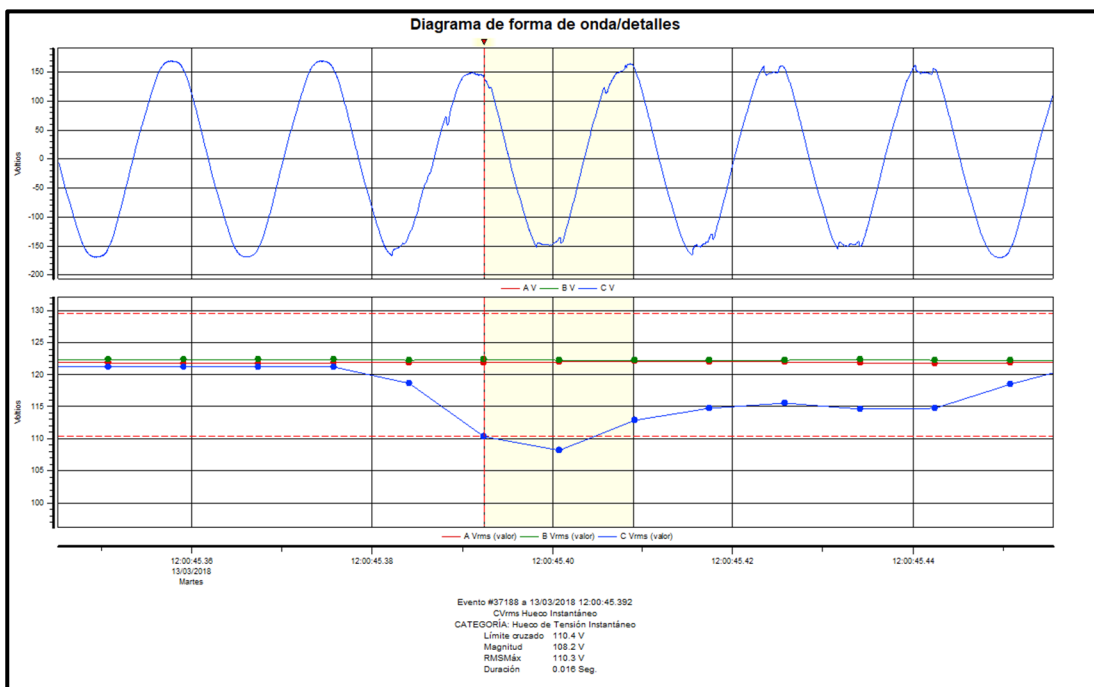


Fuente: elaboración propia.

A pesar de lo expuesto anteriormente, al apreciar la gráfica es posible observar la existencia de eventos aislados que claramente superan los valores límite del PST y que por lo tanto merece la pena analizarlos para determinar sus posibles causas.

Al hacer un acercamiento en la gráfica a través del software DRAN-VIEW 7 y analizar más detalladamente los eventos es posible percatarse que la perturbación es exclusivamente de la fase C y que de acuerdo a la forma en que se distorsiona la onda de voltaje se pueden mencionar las siguientes posibles situaciones como causas de la misma: falla proveniente de la red de suministro, arranques de motores, fallas y cortos, interruptores defectuosos, cableado suelto o inestabilidad de los UPS.

Figura 47. Forma de onda de voltaje durante sag



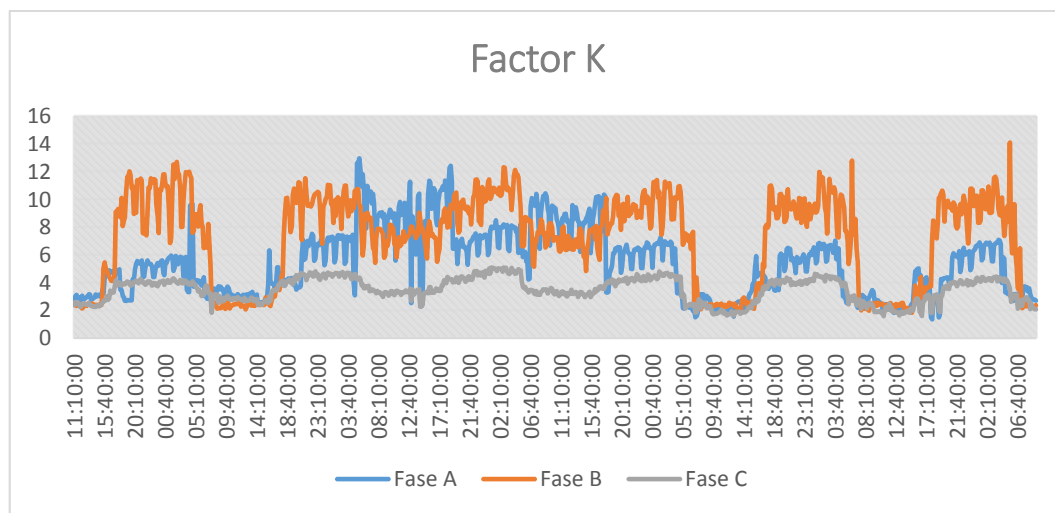
Fuente: software DRAN-VIEW 7.

#### 4.4.10. Factor K

Producto del registro de una importante presencia de armónicos en las instalaciones eléctricas de la DGE, se procedió a obtener los valores correspondientes al factor k para cada una de las fases. En base al análisis de la gráfica se ha podido observar que los valores que tienen mayor representatividad son los de las fases B y A, sin embargo no por eso se le resta importancia al valor de la fase C, el cual no deja de ser relevante solamente por no presentar un valor de similar magnitud.

Según el valor promedio de cada una de las fases, el cual es de 5,4, 7,2 y 3,5 para las fases A, B y C respectivamente, es posible determinar el factor k necesario para que un banco de transformadores pueda suprimir el efecto de pérdidas y sobrecalentamiento en su interior por el alto contenido de armónicos de corriente.

Figura 48. Factor K



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Conclusiones y recomendaciones

Una vez registrados los principales parámetros eléctricos que ayudan a determinar la calidad de la potencia eléctrica, se ha organizado y analizado la información de tal manera que tras el análisis general es posible emitir los siguientes comentarios.

- La regulación de voltaje por parte de la distribuidora es correcta ya que los niveles de voltaje permanecen dentro de los límites establecidos por la normativa NTSD y siempre cercanos al valor nominal de 120 V. Sin embargo, durante la campaña de medición fue posible apreciar la existencia de varios huecos de tensión, mismos que pueden ser originados por varias situaciones. Para este caso en particular se han identificado dos probables causas:
  - Dentro de las instalaciones de la DGE existe un árbol que evidencia contacto con los conductores de media tensión que alimentan la subestación eléctrica, el contacto intermitente de las ramas pudiera ser la causa principal de los eventos de corta duración que se registran. Dado que el árbol se encuentra dentro de las instalaciones, es conveniente que el responsable de mantenimiento de la institución gestione la poda del árbol y que lo pueda incluir dentro de un plan de mantenimiento para evitar que el inconveniente se repita.
  - El alto contenido de armónicos de corriente podría dar lugar a perturbaciones de este tipo, el detalle de una posible solución a esta situación se abarca en uno de los incisos posteriores.

- El consumo de corriente presenta un porcentaje alto de desbalance, incluso con valores cercanos al límite de regulación. La mala distribución de cargas es el principal aporte de dicho desbalance, principalmente por la diferencia de consumos que existe entre la fase C y el resto de las fases. Se recomienda realizar un balance de cargas para corregir el problema y así evitar bajo voltaje sobre la fase C.
- El contenido armónico total de voltaje es menor al 3 %, estando muy por debajo del 8 % que la norma establece como límite.
- El contenido armónico total THD de corriente es alto, lo cual significa que esto incide directamente sobre su propia calidad energética, así como sobre el de la propia red de distribución. Siendo más específicos, se presentan valores totalizados de distorsión armónica desde un mínimo de 21 % hasta un máximo de 44 %, cuando el 20 % es el límite de distorsión armónica total de corriente establecido por la NTSD. Para dichos casos, es evidente notar que la 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> componente armónica sobrepasan las tolerancias indicadas en la NTSD para considerar energía eléctrica de buena calidad, tomando como principal argumento que estas magnitudes de componentes armónicas introducen perturbaciones importantes a la red. El alto contenido armónico de corriente refleja una deformación de la onda de corriente que puede ocasionar problemas en los equipos, por esta y otras razones mencionadas anteriormente se recomienda la implementación de filtros de armónicos para minimizar el alto contenido de la 3<sup>a</sup> armónica y las impares posteriores.
- En cuanto al análisis de potencias, lo encontrado corresponde a un factor de potencia que fluctúa demasiado, lo cual puede estar relacionado al



ingreso y salida de alguna carga inductiva en particular, o bien al desbalance de corriente existente. Se recomienda corregir el desbalance y posteriormente analizar alternativas de compensación de reactiva si fuera demasiado necesario.

- Durante la instalación del analizador de redes fue posible percatarse de la existencia de un punto caliente en el tablero principal, mismo que posteriormente fue confirmado mediante el respectivo análisis termográfico. Dicho punto, con gradiente de temperatura de 35°C, corresponde a la alimentación del segundo nivel del edificio y pudiera llegar a ocasionar en cierto momento una mala regulación de voltaje y por consiguiente una mala calidad de energía. Se recomienda un cambio del tornillo de fijación y un corte a la punta sobrecalentada del conductor como solución inmediata.

## **5. EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La eficiencia energética se refiere a todas aquellas prácticas empleadas para que el consumo de energía eléctrica alcance el menor valor posible mediante la optimización de procesos que involucren su uso y al mismo tiempo puedan definir la mejor relación entre cantidad de energía consumida y productos y servicios finales obtenidos.

### **5.1. Objetivos de la eficiencia energética**

Los objetivos de la eficiencia energética están situados sobre tres ejes que son:

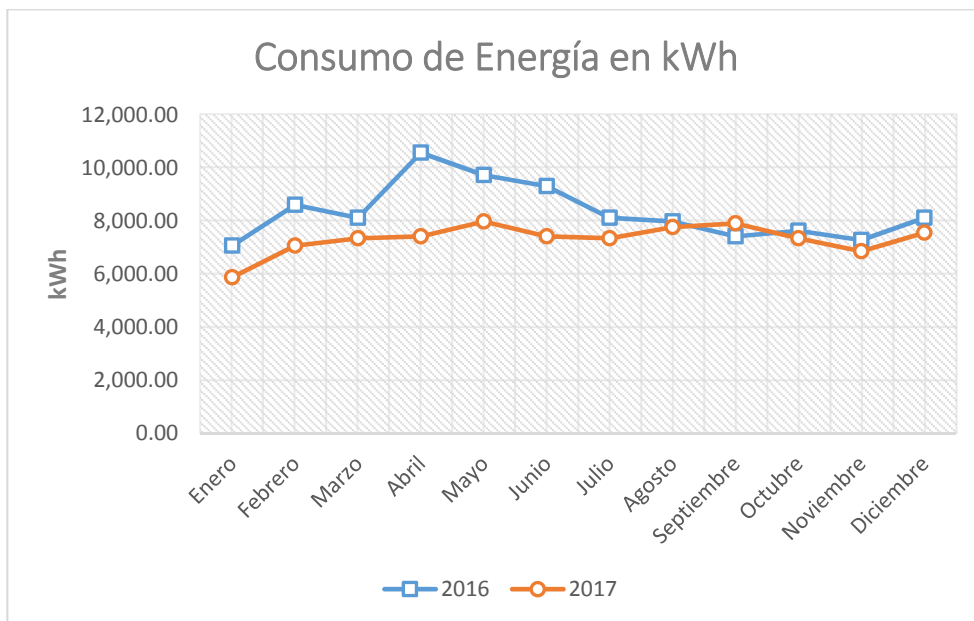
- **Ahorro energético:** el ahorro energético implica no sólo la reducción del consumo, sino también la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al medio ambiente. De todos los costos operativos, el energético es el más fácil de controlar, pero para su reducción es indispensable un control continuo, una gestión adecuada de la información y una asesoría energética efectiva.
- **Mejora de la productividad:** las mejoras en la productividad se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, facilitando un correcto mantenimiento.
- **Disponibilidad y fiabilidad:** la supervisión energética permite garantizar la continuidad del suministro, maximizar el tiempo operativo de su proceso

productivo, y alcanzar los requerimientos de calidad y tiempos de respuesta.

## 5.2. Análisis de facturación histórica

Luego de analizar los consumos de energía en períodos mensuales a lo largo de los años 2016 y 2017 ha sido posible notar que dicho comportamiento no permite establecer un patrón definido de consumo según la estacionalidad, ya que cada uno de los años presenta un comportamiento distinto entre sí. En base a los datos de la energía mensual ha sido posible obtener el acumulado de los 12 meses para cada uno de los casos, siendo la energía consumida para el año 2016 de 99,96 GWh y de 87,92 GWh para el 2017.

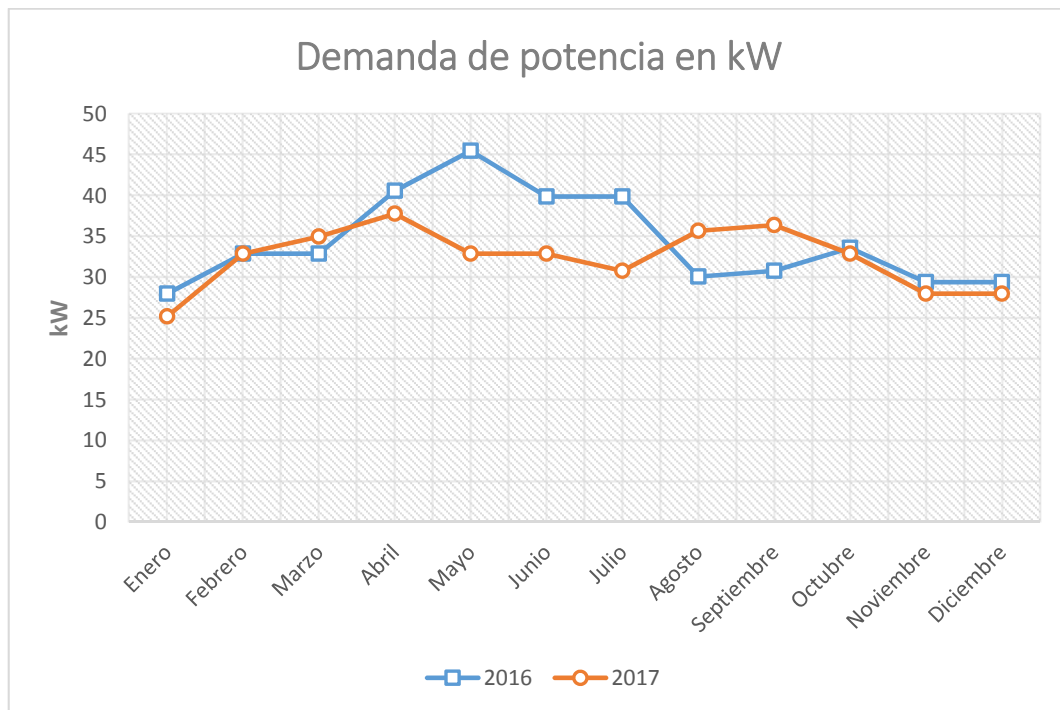
Figura 49. Consumo de energía 2016 y 2017



Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la demanda máxima registrada, es decir, la demanda facturable mensual; es posible definir un patrón individual para cada uno de los años, muy similar a lo que se percibe con el consumo de energía. Durante el año 2016 se obtuvo un máximo de 45,5 kW y se promediaron 34,42 kW de demanda mensual, mientras que durante el año 2017 se obtuvo un máximo de 37,8 kW y se promediaron 32,38 kW. Es importante mencionar que en ninguno de los dos años en análisis se han sobrepasado los 56 kW contratados, es más, en el último de los años incluso se ha podido observar una disminución respecto al año anterior.

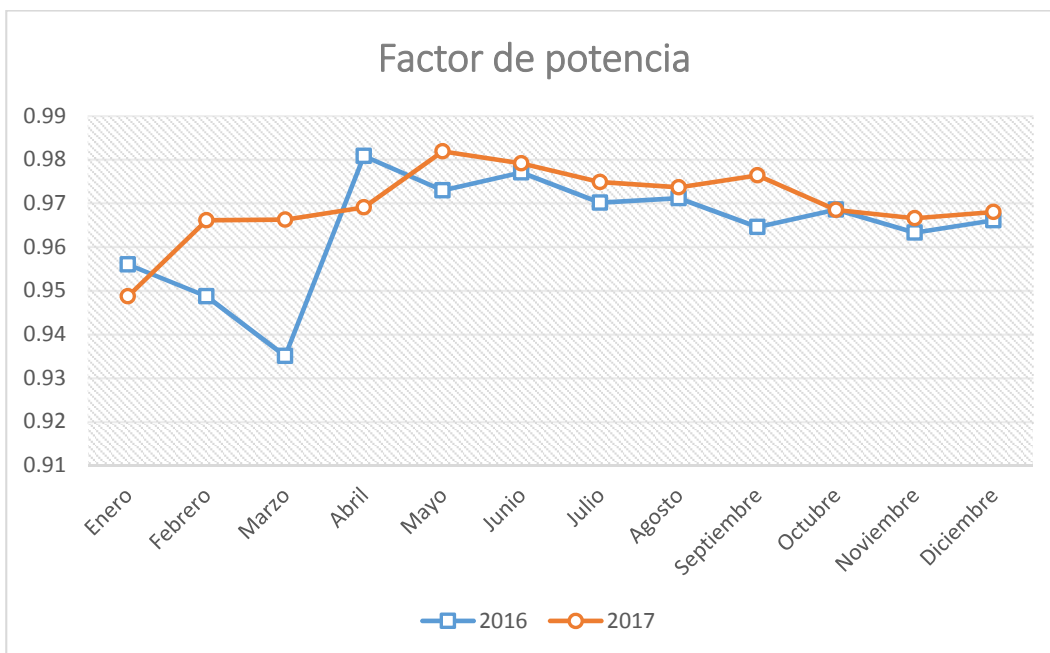
Figura 50. **Demanda de potencia 2016 y 2017**



Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta al factor de potencia, es posible notar que nunca ha bajado de 0,90 durante los dos últimos años, y tomando en cuenta que la norma NTSD establece que el límite inferior es de 0,85, es evidente que no existe riesgo de penalización por bajo factor de potencia. Adicional a lo anterior se hace mención que incluso en el último de los dos años dicho valor no ha bajado de 0,95, lo cual nos lleva a determinar que no es necesario invertir en algún tipo de compensación en estos momentos si es que para la decisión se toma únicamente el criterio de penalización por bajo factor de potencia.

Figura 51. **Factor de potencia 2016 y 2017**

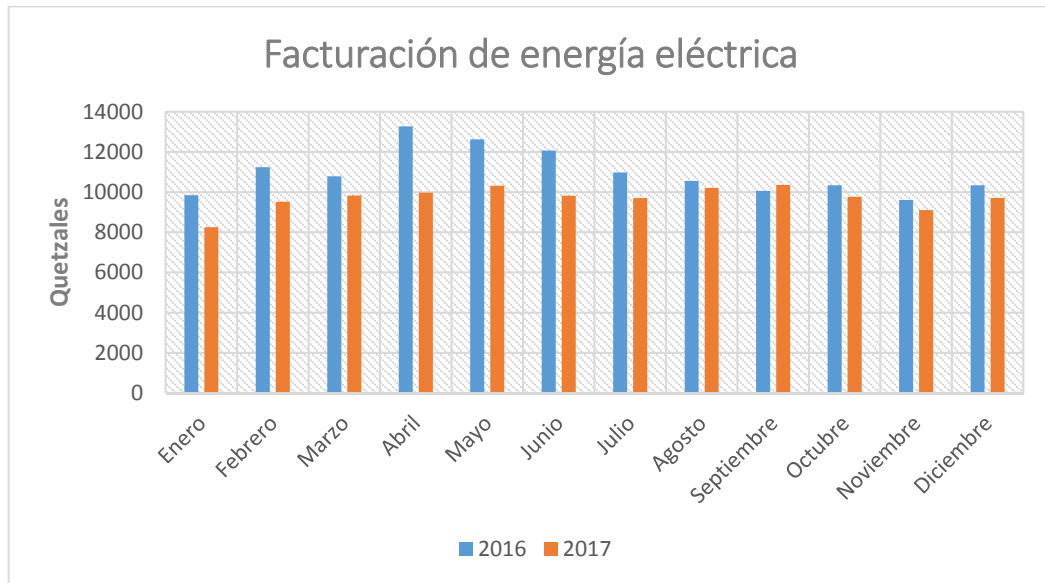


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los gastos por concepto de facturación de energía eléctrica es posible observar que el valor correspondiente al consumo anual al final del año 2016 es de Q. 131 736,05, y que el cargo mensual promedio que le

corresponde es de Q. 10 978,00; mientras que en el año 2017 el total fue de Q. 116 587,82 y se manejó un promedio mensual de Q. 9 715,65.

Figura 52. **Facturación de energía eléctrica 2016 y 2017**

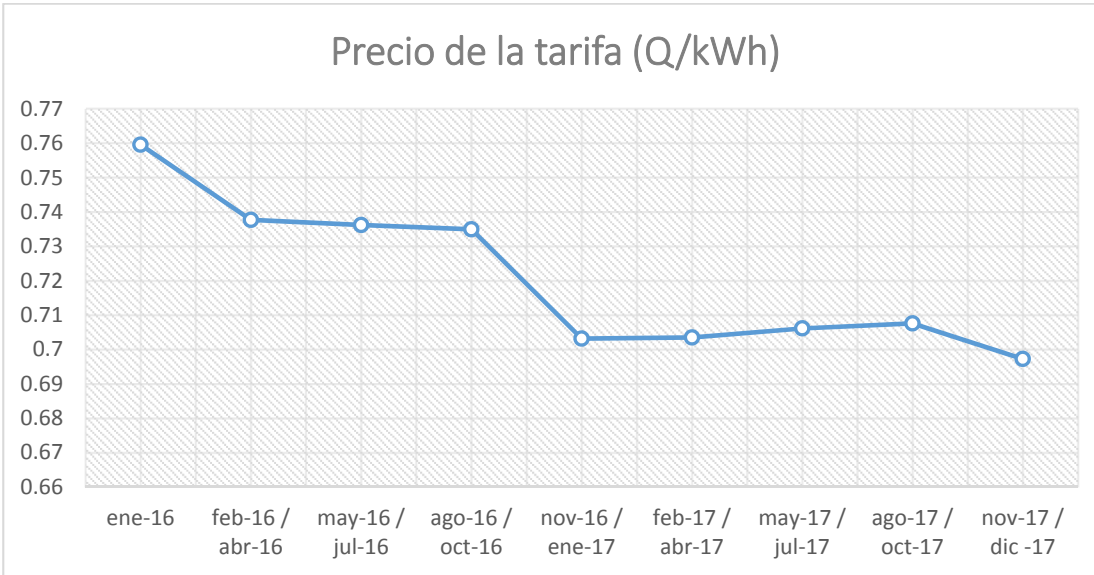


Fuente: elaboración propia.

La diferencia de los dos años se ve marcada por dos situaciones que resultan ser bastante evidentes, la primera de ellas y posiblemente la que mayor impacto significó corresponde a la reducción en el consumo de energía eléctrica; mientras que la segunda de ellas es producto de la disminución en el precio de la tarifa de energía eléctrica.

Es importante mencionar que la variación en el consumo mencionada ha correspondido a una disminución del 13 % y que la misma ha significado un ahorro de Q. 15 148,23.

Figura 53. **Precio de tarifa 2016 y 2017**



Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Hábitos de consumo

Para la obtención de información relacionada a los hábitos de consumo de los trabajadores de la DGE, se procedió a realizar una encuesta con el objetivo de obtener un panorama más completo del uso que se le da a las instalaciones eléctricas y a las cargas instaladas; y así poder identificar todas aquellas situaciones puntuales que tengan un mayor impacto sobre el gasto energético y económico de la organización.

A continuación se da a conocer el modelo de encuesta con la cual los colaboradores dieron a conocer su opinión reflejando sus hábitos de consumo:

Tabla X. Encuesta de hábitos de consumo

No.	Pregunta	Respuesta			Observaciones
		Sí	No	N/A	
1	¿Cuál es su horario de trabajo?				08:00 a.m. – 04:00 p.m. (6) 08:00 a.m. – 09:00 p.m. (1) 09:00 a.m. – 03:00 p.m. (1)
2	¿Acostumbra dejar las luces encendidas cuando sale de una sala y esta queda sin personal?	2	6	0	
3	¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina?	6	2	0	En computadora no, en impresora y otros sí.
4	¿Mantiene la computadora encendida durante largos períodos de tiempo sin utilizarla? ¿Cuánto tiempo?	0	8	0	Suspendida en horario de almuerzo. (1) Suspendida durante dos horas. (2)
5	¿A qué temperatura suele programar el termostato del aire acondicionado?			4	23 °C (1) 18 °C (1) Otra temperatura (2)
6	¿Se suele dejar abierta la puerta o ventanas cuando el equipo de aire acondicionado está funcionando?	0	4	4	
7	¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada laboral?	2	6	0	Sólo el equipo de cómputo permanece conectado
8	¿Imprime a doble cara y en blanco y negro cuando es necesario?	8	0	0	
9	¿Conoce usted de algún plan de ahorros energéticos para su puesto de trabajo?	0	8	0	
10	¿Ve positivo que el ministerio decida utilizar energías renovables para suministrar energía a las instalaciones?	8	0	0	
11	¿Le parece bien que el Ministerio ponga en marcha un plan en la oficina y campañas informativas entre los empleados para reducir el consumo energético de su lugar de trabajo?	8	0	0	
12	¿Estaría dispuesto(a) a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el gasto de energía en su lugar de trabajo?	8	0	0	

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la encuesta demuestran que en general existen buenos hábitos y prácticas de consumo energético entre los colaboradores de la DGE.

Es importante mencionar que en el 100 % de los casos, los entrevistados consideran positivo que:



- Se utilicen energías renovables para el suministro eléctrico del edificio.
- Que implemente un plan de eficiencia energética mediante campañas de información y concientización.
- Estarían dispuestos a cambiar sus hábitos de consumo para apoyar con la reducción de los consumos energéticos actuales.

#### **5.4. Medidas de ahorro y eficiencia energético**

A continuación se presenta la selección de medidas de ahorro y eficiencia energética que han sido materia de análisis para el presente trabajo.

##### **5.4.1. Iluminación**

Este es el principal factor de consumo energético en el edificio de la DGE, ya que aporta el 24 % del consumo total; por lo que cualquier actuación dirigida a reducir este consumo tendrá una repercusión importante sobre el consumo eléctrico total. Además, es importante mencionar que los sistemas de iluminación también inciden sobre el consumo total de energía eléctrica de la oficina a través de la energía disipada por las lámparas en forma de calor, lo cual contribuye a aumentar la carga térmica interna y, por lo tanto, a incrementar las necesidades de refrigeración en época de verano.

La evaluación de suministro lumínico del edificio de la DGE se realizó por medio de verificaciones y cuantificaciones de unidades de iluminación por área, cantidad de luxes (medidos a través de luxómetro), difusores, altura, temperatura de color, eficiencia, deficiencias por área y aprovechamiento de luz general.

A continuación se muestra una serie de tablas que contienen los datos obtenidos de las mediciones y verificaciones en cuanto a las condiciones de iluminación de los distintos ambientes del inmueble.

Tabla XI. **Altura y temperatura de color por luminaria**

ÁREA DE TRABAJO	INFORMACIÓN LUMINARIA		ALTURA Y TEMPERATURA DE COLOR POR LUMINARIA			
	TIPO DE LÁMPARA	CANTIDAD	ALTURA (m)	CÁLIDA	NEUTRA	FRÍA
Tesorería	Fluorescente	6	3	✓	--	--
Energías renovables	LED	14	3	✓	--	--
Bodega de insumos	Fluorescente	4	3	✓	--	--
Archivo técnico	LED	7	3	✓	--	--
Protección y seguridad radiológica	LED	18	3	✓	--	--
Estadística energética	LED	9	3	✓	--	--
Recursos humanos	LED	4	3	✓	--	--
Mesadas aplicaciones nucleares	Fluorescente	15	3	✓	--	--
Laboratorios técnicos aplicaciones nucleares	LED	5	3	✓	--	--
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	Fluorescente	17	3	✓	--	--
Baños estadística	LED	4	3	✓	--	--
Administrativo financiero	Fluorescente	8	3	✓	--	--
Módulo de información	LED	42	3	✓	--	--
Baños recepción	LED	10	3	✓	--	--
Gestión legal	LED	13	3	✓	--	--
Desarrollo energético	LED	8	3	✓	--	--
Despacho Vice Ministro	LED	8	3	✓	--	--
Dirección General	LED	12	3	✓	--	--
Recepción segundo nivel	LED	10	3	✓	--	--
Subdirección	LED	4	3	✓	--	--
Informática	LED	4	3	✓	--	--
Auditorio DGE	LED	8	3	✓	--	--
Electrificación rural	LED	9	3	✓	--	--
Sala de espera segundo nivel	LED	6	3	✓	--	--
Baños y pasillos segundo nivel	LED	6	3	✓	--	--

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Tipo de difusor por luminaria

ÁREA DE TRABAJO	INFORMACIÓN LUMINARIA		TIPO DE DIFUSOR EN LUMINARIA					
	TIPO DE LÁMPARA	CANTIDAD	R. BÁSICA*	LBASD*	LCSD*	LCDB*	LCDA*	LDAF*
Tesorería	Fluorescente	6	--	--	--	6	--	--
Energías renovables	LED	14	--	--	--	--	14	--
Bodega de insumos	Fluorescente	4	--	--	--	4	--	--
Archivo técnico	LED	7	--	--	--	--	7	--
Protección y seguridad radiológica	LED	18	--	--	--	13	5	--
Estadística energética	LED	9	--	--	--	--	9	--
Recursos humanos	LED	4	--	--	--	--	4	--
Mesadas aplicaciones nucleares	Fluorescente	15	--	--	--	15	--	--
Laboratorios técnicos aplicaciones nucleares	LED	5	--	--	--	--	5	--
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	Fluorescente	17	--	--	--	17	--	--
Baños estadística	LED	4	--	--	--	--	4	--
Administrativo financiero	Fluorescente	8	--	--	--	2	6	--
Módulo de información	LED	42	--	--	--	--	42	--
Baños recepción	LED	10	--	--	--	--	10	--
Gestión legal	LED	13	--	--	--	--	13	--
Desarrollo energético	LED	8	--	--	--	--	8	--
Despacho Vice Ministro	LED	8	--	--	--	1	7	--
Dirección General	LED	12	--	--	--	1	11	--
Recepción segundo nivel	LED	10	--	--	--	--	10	--
Subdirección	LED	4	--	--	--	--	4	--
Informática	LED	4	--	--	--	--	4	--
Auditorio DGE	LED	8	--	--	--	--	8	--
Electrificación rural	LED	9	--	--	--	--	9	--
Sala de espera segundo nivel	LED	6	--	--	--	--	6	--
Baños y pasillos segundo nivel	LED	6	--	--	--	--	6	--

\* R. BÁSICA: Regleta básica, LBASD: Lámparas blancas abiertas sin difusor, LCSD: Luminarias cerradas sin difusor, LCDB: Luminarios con difusor blanco, LCDA: Luminarias con difusor en aluminio, LDAF: Luminarias de alta frecuencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Control de encendido y apagado por luminaria

ÁREA DE TRABAJO	REGULACIÓN DE ENCENDIDO Y APAGADO				
	CPI*	CPP*	CPT*	CPR*	CDM*
Tesorería	6	--	--	--	--
Energías renovables	14	--	--	--	--
Bodega de insumos	4	--	--	--	--
Archivo técnico	7	--	--	--	--
Protección y seguridad radiológica	18	--	--	--	--
Estadística energética	9	--	--	--	--
Recursos humanos	4	--	--	--	--
Mesadas aplicaciones nucleares	15	--	--	--	--
Laboratorios técnicos aplicaciones nucleares	5	--	--	--	--
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	17	--	--	--	--
Baños estadística	4	--	--	--	--
Administrativo financiero	8	--	--	--	--
Módulo de información	42	--	--	--	--
Baños recepción	10	--	--	--	--
Gestión legal	13	--	--	--	--
Desarrollo energético	8	--	--	--	--
Despacho Vice Ministro	8	--	--	--	--
Dirección General	12	--	--	--	--
Recepción segundo nivel	10	--	--	--	--
Subdirección	4	--	--	--	--
Informática	4	--	--	--	--
Auditorio DGE	8	--	--	--	--
Electrificación rural	9	--	--	--	--
Sala de espera segundo nivel	6	--	--	--	--
Baños y pasillos segundo nivel	6	--	--	--	--

\* CPI: Control por interruptor, CPP: Control por potenciómetro, CPT: Control por timer, CPR: Control por reloj, CDM: Control por medición.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Luz natural y deficiencias de iluminación en áreas de trabajo

ÁREA DE TRABAJO	LUZ NATURAL			DEFICIENCIAS			
	LUZ NATURAL	LN VENTANAS	LN TRAGALUZ	SOMBRAS	DESLUMBRAMIENTOS	PARPADEOS	COLOR LUZ
Tesorería	Si	Si	No	No	No	No	Si
Energías renovables	Si	Si	No	No	No	No	Si
Bodega de insumos	No	No	No	No	No	No	Si
Archivo técnico	No	No	No	No	No	No	Si
Protección y seguridad radiológica	No	No	No	No	No	No	Si
Estadística energética	Si	Si	No	No	No	No	Si
Recursos humanos	Si	Si	No	No	No	No	Si
Mesadas aplicaciones nucleares	No	No	No	Si	No	Si	Si
Laboratorios técnicos aplicaciones nucleares	No	No	No	No	No	No	Si
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	No	Si	No	No	No	Si	Si
Baños estadística	No	No	No	No	No	No	Si
Administrativo financiero	Si	Si	No	No	No	No	Si
Módulo de información	Si	Si	No	No	No	No	Si
Baños recepción	No	Si	No	No	No	No	Si
Gestión legal	No	Si	Si	No	No	No	Si
Desarrollo energético	Si	Si	No	No	No	No	Si
Despacho Vice Ministro	Si	Si	No	No	No	No	Si
Dirección General	Si	Si	No	No	No	No	Si
Recepción segundo nivel	Si	Si	No	No	No	No	Si
Subdirección	Si	Si	No	No	No	No	Si
Informática	No	No	No	No	No	No	Si
Auditorio DGE	Si	Si	No	No	No	No	Si
Electrificación rural	Si	Si	No	Si	No	No	Si
Sala de espera segundo nivel	Si	Si	No	Si	No	No	Si
Baños y pasillos segundo nivel	Si	Si	No	No	No	No	Si

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Eficiencias e iluminación promedio

ÁREA DE TRABAJO	% EFICIENCIA	LAMPARAS POR LUMINARIA	POTENCIA (W)	EFICIENCIA	POTENCIA (W)	ILUMINACIÓN PROMEDIO (lx)	OBSERVACIONES
Tesorería	100	24	240	1,0000	240,00	160,6	
Energías renovables	94,64	56	560	0,9464	529,98	494	Tubos diferentes
Bodega de insumos	100	16	512	1,0000	512,00	96,5	Tubo de U
Archivo técnico	21,43	28	280	0,2143	60,00	98	
Protección y seguridad radiológica	86,96	72	720	0,8696	626,11	171,2	
Estadística energética	68,75	36	360	0,6875	247,50	248,6	
Recursos humanos	81,25	16	160	0,8125	130,00	260,5	
Mesadas aplicaciones nucleares	86,67	60	1 920	0,8667	1 664,06	175	
Laboratorios técnicos aplicaciones nucleares	100	20	640	1,0000	640,00	165,2	
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	93,75	68	2 176	0,9375	2 040,00	154	
Baños estadística	100	16	160	1,0000	160,00	360,4	
Administrativo financiero	96,88	32	1 024	0,9688	992,05	233	
Módulo de información	100	168	1 680	1,0000	1 680,00	366,4	
Baños recepción	100	40	400	1,0000	400,00	350	
Gestión legal	71,15	52	520	0,7115	369,98	217,7	
Desarrollo energético	100	32	320	1,0000	320,00	240,6	
Despacho Vice Ministro	100	32	320	1,0000	320,00	317,6	Modificar distribución de lámparas en la sala principal y sus áreas de trabajo
Dirección General	97,92	48	480	0,9792	470,02	299,3	Corregir encendido de las 4 lámparas, ya sea por sensor o por interruptor. Modificar distribución de lámparas en la sala de la Dirección.
Recepción segundo nivel	100	40	480	1,0000	480,00	368,9	
Subdirección	100	16	160	1,0000	160,00	454,5	Medición de luz natural fue 256 lx. Existe buena iluminación natural. Control individual on-off
Informática	100	16	160	1,0000	160,00	199,8	El control de informática es con un interruptor
Auditorio DGE	100	32	320	1,0000	320,00	306,4	Instalar interruptor independiente para las lámparas del frente
Electrificación rural	86,11	36	360	0,8611	310,00	218,9	Algunas áreas que no cumplen. Solo 2 interruptores por área
Sala de espera segundo nivel	100	24	240	1,0000	240,00	223,7	2 lámparas sin funcionar. 2 lámparas mal ubicadas. Las 2 lámparas defectuosas se controlan por un interruptor de afuera del ambiente
Baños y pasillos segundo nivel	100	24	240	1,0000	240,00	686,5	

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la cuantificación de luminarias dan como resultado un total de 251 luminarias conformadas por aproximadamente 1 004 lámparas y un porcentaje de eficiencia lumínica en el edificio de 91 %.

Para la realización del análisis de calidad e intensidad lumínica en las áreas de trabajo del edificio de la DGE se tomó como referencia la Norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464.1, la cual presenta varias tablas con valores de iluminación recomendados para oficinas y otros ambientes.

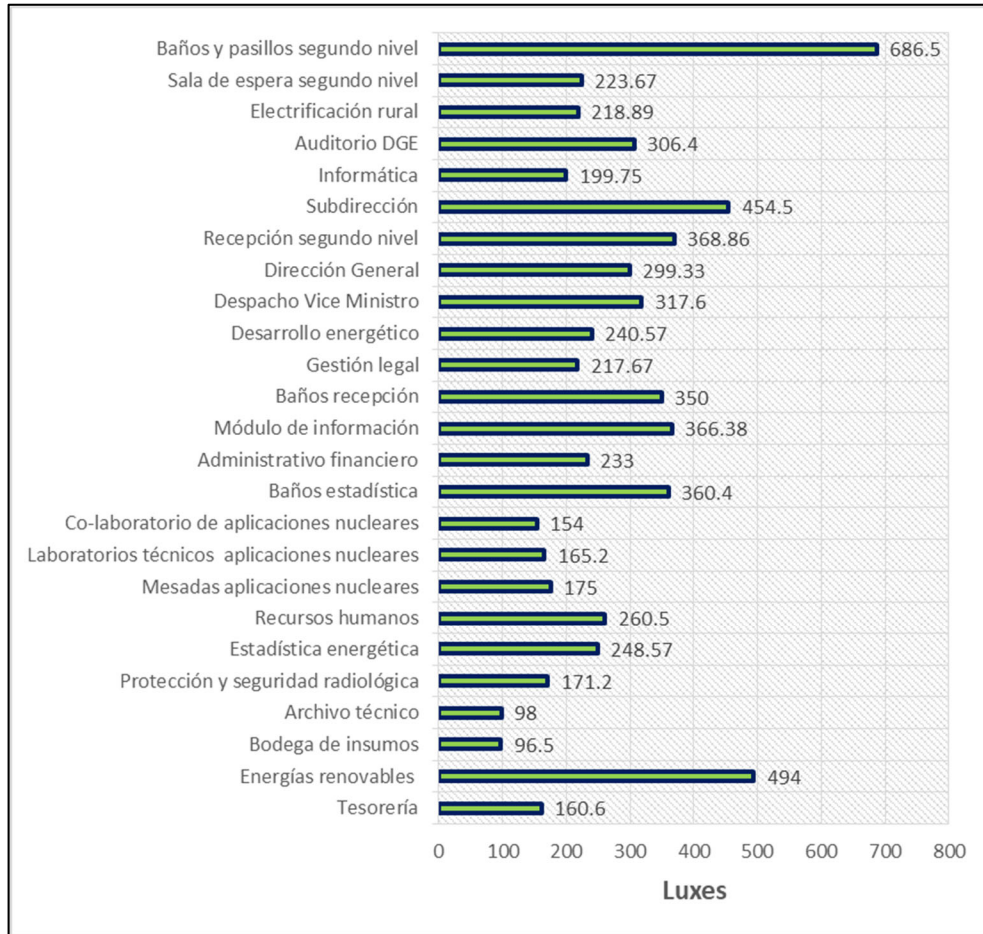
Tabla XVI. **Niveles de iluminación**

ZONA DE TRABAJO	NIVEL DE ILUMINACIÓN (lx)
Archivos, copias, etc.	300
Escritura, escritura a máquina, lectura y tratamiento de datos	500
Salas de conferencias y reuniones	500
Mostrador de recepción	300
Archivos	200
Área de circulación y pasillos	100
Baños	200

Fuente: elaboración propia, con información de la Norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464.1.

Tomando como referencia la tabla anterior se llevó a cabo la medición de intensidad lumínica en las distintas áreas de trabajo, dando como resultado un valor promedio de luxes para cada uno de los ambientes del inmueble.

Figura 54. **Valores promedio de iluminación por ambiente**



Fuente: elaboración propia.

Como es posible observar, la mayoría de áreas de trabajo no cumplen con los valores de iluminación recomendados por la norma a pesar de que existe un importante aporte de iluminación natural a través de ventanas y corredores.

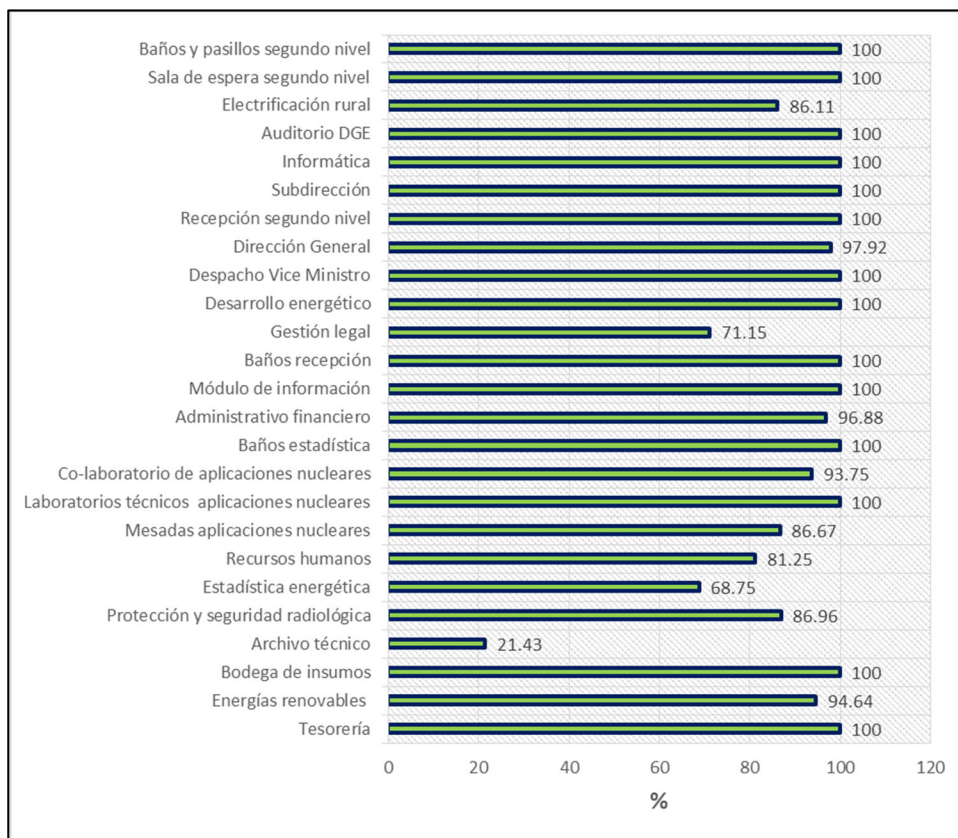
Las áreas más afectadas por falta de iluminación y a las cuales debería dárseles prioridad para corregir las deficiencias son las siguientes:



- Bodega de insumos, 96 luxes.
- Archivo Técnico, 98 luxes.
- Co-Laboratorio de Aplicaciones Nucleares, 154 luxes.
- Tesorería, 160 luxes.
- Mesadas de Aplicaciones Nucleares, 175 luxes.

La anterior deficiencia es provocada principalmente por la cantidad de lámparas quemadas, desconectas o en mal estado. La siguiente figura muestra el resultado de lo anterior representado mediante niveles de eficiencia lumínica:

Figura 55. Nivel de eficiencia lumínica por ambiente



Fuente: elaboración propia.

#### 5.4.1.1. Medidas de mejora

- Uso de lámparas, luminarias y equipos auxiliares de mayor eficiencia energética como el caso de las lámparas tipo led que reducen el consumo eléctrico en un 24 %. La implementación de esta última tecnología significaría un ahorro económico de Q 6 141,39 por año en la facturación por consumo de energía eléctrica.
- Establecer un programa de mantenimiento que incluya la limpieza y reposición de lámparas dañadas. Actualmente no existen planes de mantenimiento enfocados al sistema de iluminación.
- Utilizar sistemas de regulación y control de la iluminación; así como establecer un plan de acción que garantice el uso eficiente de las instalaciones (régimen de utilización, control de encendido y apagado y aprovechamiento de la luz natural).
  - Promover el uso correcto de las instalaciones de iluminación y el uso eficiente de los focos de luz.
  - Realizar un cambio en los sistemas de control de iluminación, ya que actualmente todos los circuitos de luz son controlados por interruptor. Dentro del listado de propuestas es posible mencionar las siguientes:
    - *Timers.*
    - Sensores de movimiento.
    - Fococeldas.
    - Control por reloj.

- Asegurar el control adecuado de las instalaciones para evitar que las mismas sean manipuladas por personas ajenas al personal de mantenimiento.
- Pintar con colores claros los ambientes que lo requieran y mantener el buen estado de la pintura en los ya existentes, con el objetivo de aprovechar de una mejor manera la luz natural y la luz artificial.

En cualquier caso, es necesario cuidar siempre que en cada área de trabajo exista un nivel de iluminación suficiente, confortable y adecuado para garantizar un ambiente agradable para los usuarios de las instalaciones y así poder asegurar el cumplimiento de las condiciones de calidad y confort visual.

#### **5.4.2. Climatización y aires acondicionados**

La climatización y uso de aire acondicionado dentro de las oficinas de la DGE no aporta más del 5 % del gasto energético del edificio, esto se debe en gran medida a que cuenta con suficiente ventilación natural por medio de ventanas, corredores y puertas que promueven la circulación de viento en el interior. Esto no significa que no se puedan promover medidas de eficiencia en el uso del aire acondicionado y propuestas de mejora sobre todo para la época de verano.

##### **5.4.2.1. Medidas de mejora**

- Utilizar sistemas de regulación de temperatura como termostatos programables o de control de temperatura.

- Brindar el mantenimiento adecuado a las instalaciones y equipos ya instalados al menos en períodos de un año. Los equipos de aire acondicionado con dos años o más sin mantenimiento, consumen el doble de energía.
- Reemplazar los equipos obsoletos o en mal estado por equipos nuevos o más eficientes. En el caso de que por alguna circunstancia no sea factible el reemplazo, se proponen las siguientes medidas auxiliares recomendadas desde el punto de vista energético y medioambiental:
  - El uso de ventiladores es más económico que el uso de equipos de aire acondicionado, y constituyen una excelente solución para reducir la sensación térmica del aire entre 4° y 8° C, por el simple movimiento del aire. Y aunque se trate de equipos que también dependen de la electricidad, estos presentan un consumo menor de energía.
  - Utilizar persianas o filtros solares para las ventanas para reducir la cantidad de radiación solar dentro de las oficinas del edificio.
  - Verificar que los sellos de aislamiento (empaques) de las ventanas y puertas donde se encuentren equipos de aire acondicionado se encuentren en buen estado.

### **5.4.3. Equipos eléctricos**

El segundo rubro de consumo energético importante en la DGE se origina en la utilización de equipos eléctricos, principalmente en equipo de oficina como

las computadoras, monitores e impresoras. Los consumos unitarios de estos equipos son relativamente bajos, pero considerados en conjunto, y dado el gran número de horas que están en funcionamiento, suponen una parte importante de la factura de consumo eléctrico.

A estos equipos hay que sumarles, además, los consumos debidos a otros electrodomésticos también habituales en la oficina, como refrigeradores, microondas, cafeteras, etc.

#### **5.4.3.1. Medidas de mejora**

- Adquirir equipos eléctricos más eficientes, que consuman menos energía y generen menos calor en su funcionamiento.
  - Al momento de realizar las compras o adquirir equipos eléctricos se recomienda considerar el consumo energético de los equipos. Estos equipos deberán contar con etiquetado energético clase A, Energy Star o similar.
- Mejorar el comportamiento y hábitos de consumo de los usuarios.
  - Apagar la pantalla del monitor al realizar pausas cortas. Para pausas de más de una hora se recomienda apagar por completo el equipo.
  - Ajustar el brillo de la pantalla a nivel medio para ahorrar entre un 15 % y 20 % de energía.

- Para los usuarios de computadoras portátiles (laptops) se recomienda desconectar la alimentación AC cuando la batería de la computadora esté completamente cargada.
- Elegir imágenes con colores oscuros para el fondo de pantalla del escritorio. En promedio, una página blanca requiere 74 vatios para desplegarse, mientras que una oscura necesita sólo 59 vatios (hasta un 20 % de ahorro).
- Gestionar eficientemente el consumo energético.
  - Apagar todos los equipos eléctricos al acabar la jornada laboral a través del uso de enchufes múltiples (regletas) con interruptor para evitar pequeños consumos de energía innecesarios en modo de espera.
  - Se recomienda configurar adecuadamente el modo de ahorro de energía de las computadoras, impresoras, fotocopadoras y resto de equipos ofimáticos, con los que se puede ahorrar hasta un 50 % del consumo de energía del equipo.
- Utilización de energías renovables.
  - El principal beneficio derivado de la utilización de la energía solar es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de CO<sub>2</sub>, y además, puede ser utilizada en entornos urbanos cerca de los puntos de consumo.

#### 5.4.4. Selección de equipo más eficiente

El ahorro en el consumo de energía eléctrica entre aquellos que usan equipos eléctricos más antiguos, y por lo tanto, menos eficientes, y quienes usan aparatos con algún tipo de etiqueta de eficiencia energética es bastante grande. De hecho, se vuelve aún más evidente si valoramos que la vida útil de un electrodoméstico común y corriente es superior a los diez años.

##### 5.4.4.1. Sello Energy Star

Energy Star es un sello para la eficiencia energética de los equipos eléctricos, es apoyado principalmente por el gobierno federal de los Estados Unidos y algunos otros países, y al igual que el Sello *Fide A*, permite saber cuáles son los productos que debemos comprar sin necesidad de sacrificar alguna de las funciones, el estilo o la comodidad.

Figura 56. Sello Energy Star



Fuente: Wikipedia. *Energy Star*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Energy\\_Star](https://es.wikipedia.org/wiki/Energy_Star). Consulta: 15 de mayo de 2018.

#### 5.4.4.2. Etiqueta energética

La etiqueta energética es una herramienta informativa al servicio de los compradores que permite conocer de forma rápida la eficiencia energética de un electrodoméstico, ya que incluyen los datos sobre consumo y eficiencia que aportan los fabricantes. La etiqueta energética permite conocer de manera sencilla el ahorro que se puede llegar a obtener con ciertos equipos.

Las clases energéticas para electrodomésticos que se consideran de bajo consumo vienen representadas en las letras A, B y C, con tres tonos de verde diferentes.

- Los que pertenecen a la clase A se consideran como los más eficientes presentando un consumo de energía inferior al 55 %.
- La categoría B presentan un nivel de consumo un poco más elevado, entre 55 % y el 75 %.
- Los de la clase C son los que gastan entre el 75 % y el 90 %.

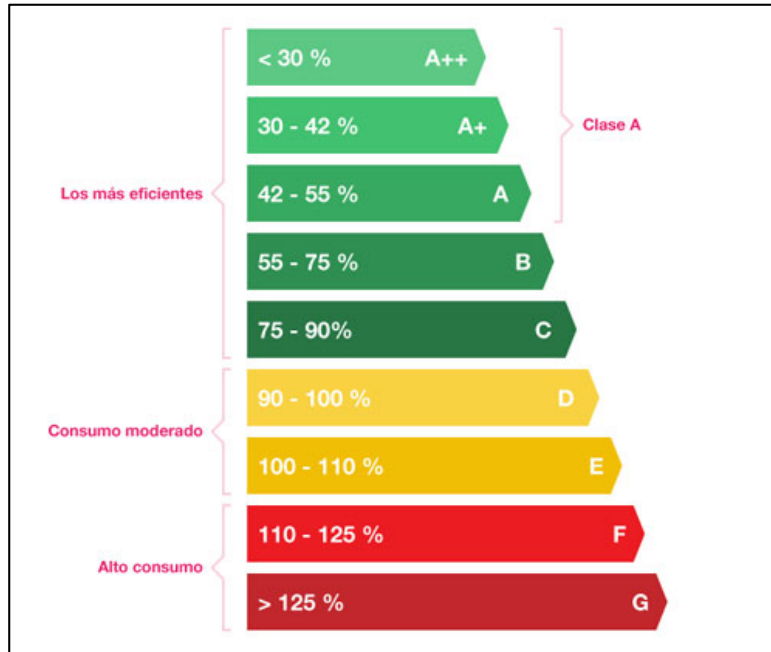
En el caso de las refrigeradoras, existen además las clases A+ y A++. Estas clases tienen una eficiencia energética mayor (consumen entre un 58 % y un 70 % menos del consumo normal) y se han creado a raíz de las mejoras técnicas producidas en la fabricación de frigoríficos en los últimos años.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Coopelasca. *Etiqueta energética*.  
[http://www.coopelasca.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=106&Itemid=137](http://www.coopelasca.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=106&Itemid=137).  
Consulta: 20 de mayo de 2018



Figura 57. **Etiqueta energética**



Fuente: Holaluz. *Etiqueta energética*. <https://blog.holaluz.com/la-etiqueta-energetica-una-aliada-muy-eficiente/>. Consulta: 15 de mayo de 2018.

### 5.5. **Análisis económico del ahorro energético por cambio en la tecnología de iluminación**

Al analizar las mediciones y patrones de consumo energético de la DGE se determinó que existe un área de mejora importante en el cambio de iluminación, la cual puede implementarse fácilmente ya que es factible desde el punto de vista técnico y económico. A continuación se describe un resumen del análisis económico efectuado.

### 5.5.1. Proyección del consumo de energía eléctrica

En base a las mediciones obtenidas por medio del analizador de redes Dranetz HDPQ Guide se han extraído los consumos de energía eléctrica para cada uno de los días de la semana y así poder obtener una proyección mensual del consumo dentro de las instalaciones de la DGE.

Tabla XVII. Consumo de energía eléctrica según día de la semana

Días laborales		Días de descanso o de asueto	
	Consumo en kWh		Consumo en kWh
Lunes	286,20	Sábado	102,84
Martes	316,70	Domingo	107,40
Miércoles	305,80		
Jueves	289,73		
Viernes	244,09		
Promedio	288,50		105,12

Fuente: elaboración propia.

En base a los datos anteriores, se proyecta el consumo total de energía eléctrica para los meses de enero a diciembre, tomando como referencia los días laborales y de descanso del año 2018.

Es importante mencionar que esta proyección de consumos de energía eléctrica se presenta bajo un escenario en el cual la demanda no está expuesta a situaciones que puedan modificar el patrón de consumo, ya sea por un crecimiento o por algún evento especial.

Tabla XVIII. **Proyección del consumo de energía eléctrica para el período de un año**

Mes	Tipo y cantidad de días		Energía estimada (kWh)
	Laboral	Descanso	
Enero	22	9	7 293,08
Febrero	20	8	6 610,96
Marzo	20	11	6 926,32
Abril	21	9	7 004,50
Mayo	21	10	7 109,70
Junio	20	10	6 821,20
Julio	22	9	7 293,08
Agosto	22	9	7 293,08
Septiembre	19	11	6 637,82
Octubre	22	9	7 293,08
Noviembre	21	9	7 004,50
Diciembre	18	13	6 559,56

Fuente: elaboración propia.

### 5.5.2. Simulación de consumo eléctrico con tecnología led

Actualmente en el edificio de la DGE existen alrededor de 200 lámparas fluorescentes, sobre todo en los laboratorios de aplicaciones nucleares y otras áreas, tales como bodegas y oficinas. Esto constituye un gasto de energía innecesario que se refleja en el consumo energético y en la factura por servicio de energía eléctrica.

Se estima que el consumo de energía eléctrica en las oficinas de la DGE aún puede ser más eficiente si se cambian las lámparas y los tipos de luminaria dentro de los ambientes previamente mencionados.

Con el objetivo de poder dimensionar las diferencias respecto a una opción más eficiente, a continuación se detalla una comparación entre las lámparas fluorescentes existentes y una propuesta de lámparas con tecnología led de características similares.

Tabla XIX. **Comparación entre lámparas existentes y propuestas**

	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>
Tipo	Fluorescente	Led
Potencia (W)	32	10
Lúmenes (lm)	1125	1100
Lámparas por oficina estándar	8	8
Potencia total (W)	256	80
Radio de trabajo (m)	2	2
Total de luxes (lx)	179,05	175,07

Fuente: elaboración propia.

Tomando como base la propuesta anterior, se estima que la implementación de dichas lámparas led pueden llegar a reducir el consumo de energía en los ambientes que aún son iluminados con lámparas fluorescentes en un 68,75 %, tal y como es posible apreciar en la siguiente tabla.

Tabla XX. **Cuadro comparativo entre la energía consumida por lámparas fluorescentes y lámparas led en un día hábil**

<b>Tipo de iluminación</b>	<b>Potencia por lámpara (W)</b>	<b>Cantidad total de lámparas</b>	<b>Potencia total (W)</b>	<b>Horas de uso en día hábil</b>	<b>Energía consumida en un día hábil (kWh)</b>
Fluorescente	32	200	6 400	8	51,20
LED	10	200	2 000	8	16,00

Fuente: elaboración propia.

Con la información anterior se calcula un estimado de la reducción del consumo que se obtiene tras hacer el cambio de la iluminación, y multiplicando esto por el promedio de la tarifa de los últimos cinco trimestres es posible traducirlo en el valor monetario que representa.

Tabla XXI. **Ahorro esperado con el cambio de luminarias propuesto**

Mes	Energía estimada con mediciones de consumo actual (kWh)	Energía estimada con cambio de iluminación (kWh)	Tarifa promedio de los últimos meses (Q/kWh)	Ahorro (Q)
Enero	7 293,08	6 518,68	0,703513	544,80
Febrero	6 610,96	5 906,96	0,703513	495,27
Marzo	6 926,32	6 222,32	0,703513	495,27
Abril	7 004,50	6 265,30	0,703513	520,04
Mayo	7 109,70	6 370,50	0,703513	520,04
Junio	6 821,20	6 117,20	0,703513	495,27
Julio	7 293,08	6 518,68	0,703513	544,80
Agosto	7 293,08	6 518,68	0,703513	544,80
Septiembre	6 637,82	5 969,02	0,703513	470,51
Octubre	7 293,08	6 518,68	0,703513	544,80
Noviembre	7 004,50	6 265,30	0,703513	520,04
Diciembre	6 559,56	5 925,96	0,703513	445,75
Promedio				511,78
Sumatoria				6 141,39

Fuente: elaboración propia.

### 5.5.3. Inversión necesaria para el cambio de iluminación

Para la implementación de esta medida se requiere una inversión inicial de Q. 34 500,00, la cual contempla el precio de materiales y mano de obra para el cambio de las 50 luminarias que se encuentran instaladas. En la tabla siguiente es posible observar a detalle dicha información.

Tabla XXII. **Costo asociado al cambio de luminaria fluorescente por tipo led**

Lugar	Luminarias	Lámparas	Costo unitario por cambio de luminaria	Costo total por cambio de luminaria
Tesorería	6	24	Q. 690,00	Q. 4 140,00
Bodega de insumos	4	16	Q. 690,00	Q. 2 760,00
Mesadas aplicaciones nucleares	15	60	Q. 690,00	Q. 10 350,00
Co-laboratorio de aplicaciones nucleares	17	68	Q. 690,00	Q 11 730,00
Administrativo financiero	8	32	Q. 690,00	Q. 5 520,00
Totales	50	200		Q. 34 500,00

Fuente: elaboración propia.

#### 5.5.4. Evaluación económica de la rentabilidad del proyecto

Para determinar si la propuesta anterior es rentable económicamente, se toma en cuenta el valor económico que se dejará de cancelar anualmente por el servicio de energía eléctrica así como el valor de la inversión inicial y se aplican los métodos de valor presente neto y tasa interna de retorno mediante la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} + I_0$$

Donde:  $I_0$  = Inversión inicial,  $k$  = tasa de rendimiento,  $n$  = cantidad de años,  $V_t$  = ahorro anual por energía que se dejará de consumir.

En este caso, los valores contenidos dentro de la fórmula son los siguientes:

$$I_0 = \text{Q. } 34\,500,00$$

$$k = 2,5 \%$$

$$n = 8 \text{ años}$$

$$V_t = \text{Q. } 6\,141,39$$

Dando como resultado un valor presente neto de Q. 4 494,07 y una tasa interna de retorno de 6 %. Con dichos resultados se concluye que el proyecto se hace factible en un tiempo de 8 años, período que sobrepasa el tiempo de evaluación de los proyectos de inversión, los cuales oscilan en 3 años. Sin embargo, es conveniente evaluar y comparar respecto a la vida útil de los equipos para determinar la conveniencia de la realización del proyecto.

## **5.6. Otras formas de ahorro**

Adicional al ahorro que es posible obtener con modificaciones en la tecnología de iluminación se proponen otras alternativas en los subtítulos posteriores.

### **5.6.1. Modificación al valor de potencia contratada**

Al analizar la facturación de los últimos dos años es posible observar que el valor de potencia demandada en la institución ha estado siempre por debajo de los 56 kW de potencia que se tienen contratados, incluso en el último año llegando a estar un 33 % por debajo de ella. Lo anterior permite sugerir una disminución en la potencia contratada y así poder obtener un beneficio económico como consecuencia de ello.

Dicha disminución junto a su respectivo ahorro económico es evaluada en la tabla siguiente al utilizar tres valores distintos de potencia. En este caso, y tomando en consideración el valor máximo alcanzado durante el último año, se sugiere reducir al mínimo posible para obtener el mayor ahorro económico.

Tabla XXIII. **Ahorro asociado a la modificación de la potencia contratada**

Potencia contratada	Cargo unitario promedio por potencia contratada (Q/kW-mes)	Cargo mensual por potencia contratada	Cargo anual por potencia contratada	Ahorro mensual	Ahorro anual
56	29,10689092	1 629,99	19 559,83	0,00	0,00
50	29,10689092	1 455,34	17 464,13	174,64	2095,70
45	29,10689092	1 309,81	15 717,72	320,18	3842,11
40	29,10689092	1 164,28	13 971,31	465,71	5588,52

Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que esta propuesta es simplemente un ahorro económico como producto de la modificación de un contrato y no representa una medida de mejora en el tema de eficiencia del consumo energético.

### **5.6.2. Buenas prácticas y hábitos de consumo**

Esta medida es la más difícil de implementar ya que conlleva un cambio en los hábitos de consumo de los trabajadores, sin embargo, es la que representa una inversión nula y que se estima puede llegar a representar un ahorro del 20 % en el uso de equipos eléctricos de oficina.

De acuerdo a la estimación que se expone en la siguiente tabla es posible observar que tras disminuir en un 20 % el consumo de los principales equipos



eléctricos de oficina se puede llegar a obtener un ahorro diario en el consumo de energía de 15,89 kWh, lo cual se traduce en un ahorro económico mensual de aproximadamente Q. 231,04.

Tabla XXIV. **Ahorro esperado con la implementación de buenas prácticas y hábitos de consumo**

Mes	Energía diaria ahorrada (kWh)	Días hábiles laborales	Tarifa promedio de los últimos meses (Q/kWh)	Ahorro (Q)
Enero	15,8906	22	0,703513	245,94
Febrero	15,8906	20	0,703513	223,58
Marzo	15,8906	20	0,703513	223,58
Abril	15,8906	21	0,703513	234,76
Mayo	15,8906	21	0,703513	234,76
Junio	15,8906	20	0,703513	223,58
Julio	15,8906	22	0,703513	245,94
Agosto	15,8906	22	0,703513	245,94
Septiembre	15,8906	19	0,703513	212,41
Octubre	15,8906	22	0,703513	245,94
Noviembre	15,8906	21	0,703513	234,76
Diciembre	15,8906	18	0,703513	201,23
Promedio				231,04
Sumatoria				2 772,45

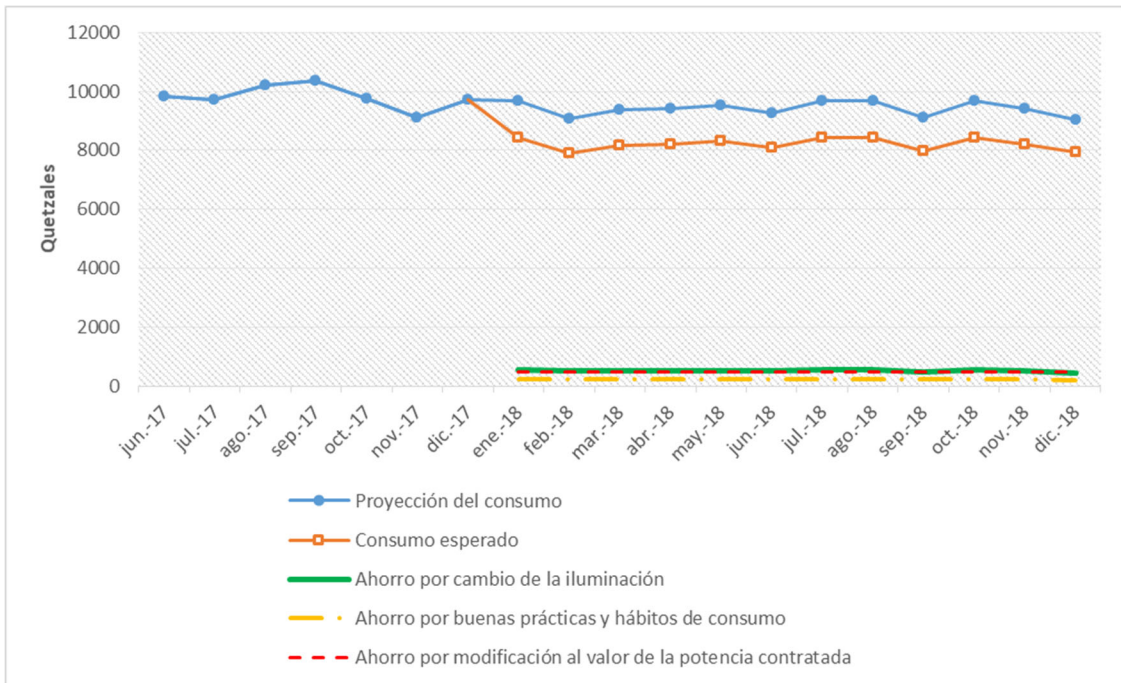
Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que esta medida es la que ofrece mayor rentabilidad en el tema de eficiencia del consumo energético, ya que su implementación es la que ofrece el mejor indicador costo beneficio.

## 5.7. Comparación entre el costo de energía eléctrica proyectado y el esperado

A continuación se muestra mediante una gráfica la comparación entre la proyección del costo del consumo de energía y el costo del consumo de energía esperado aplicando los cambios en la iluminación, la implementación de mejores prácticas y hábitos de consumo y la modificación al valor de la potencia contratada.

Figura 58. Comparación entre el costo de energía eléctrica proyectado y el esperado



Fuente: elaboración propia.



## **6. PROTECCIONES ELÉCTRICAS**

### **6.1. Sistemas de puesta a tierra**

Un sistema de puesta a tierra tiene como objetivo proveer de una conexión a tierra a las superficies conductoras expuestas. Esta conexión no debe tener una resistencia mayor a la requerida para que los mecanismos de seguridad que se encargan de aislar el suministro de electricidad bajo una situación de falla puedan operar de manera segura. Otra característica importante que debe poseer el sistema de puesta a tierra es que debe tener la capacidad de transportar la máxima corriente de falla esperada sin representar ningún riesgo para la instalación o las personas.

El valor de la resistencia requerida en el sistema puede no estar siempre apegado al valor que se ha establecido. Por lo tanto, varios de los factores que afectan la resistencia a tierra y la capacidad de corriente de falla del conductor enterrado deben ser considerados.

Estas consideraciones deben incluir el tamaño y forma del conductor del sistema de puesta a tierra, la resistividad del suelo en el que está enterrado y la conexión del propio sistema. También es esencial poder considerar la densidad de corriente en la superficie del electrodo de tierra y el potencial a su alrededor.

#### **6.1.1. Resistividad eléctrica de los suelos**

Es recomendable que la resistividad de la tierra en el sitio donde se realiza la conexión sea previamente analizada, ya que la resistividad de los suelos

puede llegar a variar en función de algunos de los factores presentes en el lugar, por ejemplo: la profundidad, el tipo y la concentración de sustancias químicas solubles en el suelo, el contenido de humedad y la temperatura. En otras palabras, el electrolito en el suelo es el que determina la resistividad.

### **6.1.2. Medición de la resistividad de los suelos**

Los instrumentos portátiles disponibles para medir la resistencia del electrodo de tierra normalmente se pueden usar también para medir la resistividad del suelo. Cuando se utilizan para este propósito, estos equipos se conectan a cuatro electrodos espaciados a una misma distancia el uno del otro sobre una línea recta. El espacio entre los dos electrodos del medio es una medida directa de la profundidad efectiva deseada para la resistividad. Por ejemplo, un espaciado de 3 metros arrojará la resistividad promedio a 3 metros del suelo, y así sucesivamente. Este método de prueba es conocido como Método Wenner de 4 pines y se encuentra entre los métodos más populares para determinar la resistividad de la tierra.

El instrumento arroja una lectura óhmica, que, multiplicada por  $2\pi$  y el espaciado en centímetros de los electrodos, es la resistividad del suelo en ohmios-cm. Normalmente cada instrumento de medición proporciona instrucciones completas para este tipo de prueba.

### **6.1.3. Cálculo de la resistencia de puesta a tierra**

La resistencia de tierra puede ser medida, o bien puede ser calculada. El cálculo ha sido simplificado en gran medida por una serie de fórmulas presentadas en distintas normas, en este caso se hace referencia a las descritas en la IEEE 142-2007 y la BS 7430:2011. Es necesario indicar que

estas fórmulas son solamente aproximaciones y que dado el avance actual que se tiene respecto a los modelos computarizados que se emplean para el cálculo y diseño de sistemas de puesta a tierra, se debe examinar seriamente la posibilidad de utilizar esas herramientas.

Tabla XXV. **Configuraciones de electrodos de puesta a tierra**

Una varilla	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
Dos varillas espaciadas a una distancia mayor que la longitud de la varilla	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
Malla	$R = 0.443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$
Alambre horizontalmente enterrado	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} + \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
Estrella de tres puntos	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
Placas	$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$
Tres varillas en los vértices de un triángulo equilátero	$R = \frac{1}{3} \left\{ 2 \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right] - 1 + 2Ls \right\}$

Fuente: elaboración propia, con información de norma IEEE 142-2007 y BS:7430:2011.

La instalación de múltiples electrodos en paralelo produce una menor resistencia a tierra que la de un solo electrodo. Por tal razón, múltiples varillas son utilizadas para proporcionar una resistencia a tierra baja, que es la que comúnmente requiere una instalación de alta capacidad. Sin embargo, el agregar una segunda varilla no proporciona la mitad de la resistencia de la primera, a menos que las dos varillas tengan varias longitudes de separación.

Una regla útil es que los sistemas de puesta a tierra de 2 a 24 varillas separados por una distancia igual a la longitud de la varilla, y en configuraciones de línea recta, triángulo, círculo o cuadrado proporcionarán un valor de resistencia que luego tendrá que ser dividido por el número de varillas y multiplicadas por el factor F tomado de la siguiente tabla.

Tabla XXVI. **Factor de multiplicación para arreglos de 2 a 24 varillas**

Numero de varillas	F
2	1,16
3	1,29
4	1,36
8	1,68
12	1,80
16	1,92
20	2,00
24	2,16

Fuente: elaboración propia, con información de norma IEEE 142-2007.

#### **6.1.4. Variables que afectan la resistencia de puesta a tierra**

La composición del suelo, el contenido de humedad y la temperatura influyen en la resistividad del suelo, es por ello que se recomienda colocar las varillas de tierra lo más profundo posible y así alcanzar una mayor efectividad.

Adicional a lo anterior es importante considerar las siguientes variables, las cuales tienen un impacto directo sobre la resistencia de tierra de un sistema de tierras.

#### **6.1.4.1. Longitud del electrodo**

Una manera bastante efectiva de disminuir la resistencia de tierra es ubicar los electrodos a una profundidad considerable debido a que algunas veces el suelo no es consistente en su resistividad y puede ser altamente impredecible. En general, cuando se duplica la longitud del electrodo de tierra es posible reducir el nivel de resistencia en un 40 %.

Hay ocasiones en las que es físicamente imposible instalar las varillas de tierra a una mayor profundidad porque los suelos contienen algún otro material como roca o granito. En estos casos, son viables los métodos alternativos, incluido el cemento conductor.

#### **6.1.4.2. Diámetro del electrodo**

Un aumento en el diámetro del electrodo tiene muy poco efecto en la disminución de la resistencia. Por ejemplo, si se duplica el diámetro de un electrodo su resistencia podría no presentar ninguna disminución.

#### **6.1.4.3. Número de electrodos**

Otra forma de reducir la resistencia a tierra es usar múltiples electrodos. En este diseño, más de un electrodo es instalado y conectado en paralelo para disminuir la resistencia. Para que los electrodos adicionales sean efectivos, la separación de las varillas debe ser al menos igual a la profundidad de la varilla accionada.



#### 6.1.4.4. Diseño del sistema

Las conexiones más simples para sistemas de puesta a tierra consisten en un solo electrodo instalado en el suelo, siendo esta la forma más común de conexión y siendo también lo que comúnmente se puede encontrar en una edificación de dimensiones pequeñas.

Los sistemas de puesta a tierra un poco más complejos están compuestos de múltiples varillas, mallas, placas, conexiones en anillos, etc. La ventaja de estos sistemas es que aumentan drásticamente la zona de contacto con la tierra circundante y disminuyen la resistencia de puesta a tierra.

#### 6.1.5. Selección del sistema de puesta a tierra para la DGE

Con apoyo de un telurómetro AEMC-4630 y siguiendo el procedimiento establecido por el método Wenner se obtuvieron 4 valores de resistencia a tierra, cada uno de ellos correspondiente a una distancia de separación distinta entre electrodos. En base a estos resultados fue posible obtener un valor de resistividad del terreno para cada una de las medidas y así poder determinar un valor promedio que será de utilidad para el cálculo del sistema.

Tabla XXVII. **Medidas de resistividad del terreno**

Medida	d (m)	r ( $\Omega$ )	$\rho=2\pi dr$ ( $\Omega\text{-m}$ )
I	1,0	8,43	52,97
II	1,5	6,71	63,24
III	2,0	5,23	65,72
IV	2,5	3,80	59,70
Promedio			60,41

Fuente: elaboración propia, con datos de instrumento de medición AEMC-4630

Una vez establecida la resistividad del terreno, conviene determinar los valores del resto de variables implicadas en las fórmulas, para este caso específico los correspondientes a las dimensiones del electrodo. Para efectos del diseño de este sistema se ha elegido una varilla copperweld con diámetro de 5/8 de pulgada y 8 pies de longitud.

Tomando como referencia un valor recomendado menor a los 25  $\Omega$  de resistencia, el cual es el sugerido por el National Electric Code® (NEC®) NFPA 70 edición 2008, se evalúan varias configuraciones para poder determinar el sistema más adecuado.

- Una varilla: para  $\rho = 60,41 \Omega\text{-m}$ ,  $L = 2,4384 \text{ m}$ ,  $a = 0,0079375 \text{ m}$ .

$$R = \frac{60,41}{2\pi(2,4384)} \left( \ln \frac{4(2,4384)}{0,0079375} - 1 \right)$$

$$R = 24,11 \Omega$$

- Dos varillas espaciadas a una distancia mayor que la longitud de la varilla: para  $\rho = 60,41 \Omega\text{-m}$ ,  $L = 2,4384 \text{ m}$ ,  $a = 0,0079375 \text{ m}$ ,  $s = 3 \text{ m}$ .

$$R = \frac{60,41}{4\pi(2,4384)} \left( \ln \frac{4(2,4384)}{0,0079375} - 1 \right) + \frac{60,41}{4\pi(3)} \left( 1 - \frac{(2,4384)^2}{3(3)^2} + \frac{2(2,4384)^4}{5(3)^4} \right)$$

$$R = 13,5793 \Omega$$

- Tres varillas en los vértices de un triángulo equilátero: para  $\rho = 60,41 \Omega\text{-m}$ ,  $L = 2,4384 \text{ m}$ ,  $a = 0,0079375 \text{ m}$ ,  $s = 3 \text{ m}$ .

$$R = \frac{1}{3} \left\{ 2 \left[ \ln \left( \frac{8(2,4384)}{2(0,0079375)} \right) - 1 \right] - 1 + 2(2,4384)(3) \right\}$$

$$R = 8,62 \Omega$$

- Dos varillas espaciadas a una distancia igual a la longitud de la varilla:  
para  $\rho = 60,41 \Omega\text{-m}$ ,  $L = 2,4384 \text{ m}$ ,  $a = 0,0079375 \text{ m}$ ,  $s = 2,4384 \text{ m}$ .

$$R = \frac{60,41}{2\pi(2,4384)} \left( \ln \frac{4(2,4384)}{0,0079375} - 1 \right) \left( \frac{1,16}{2} \right)$$

$$R = 13,98 \Omega$$

- Tres varillas espaciadas a una distancia igual a la longitud de la varilla:  
para  $\rho = 60,41 \Omega\text{-m}$ ,  $L = 2,4384 \text{ m}$ ,  $a = 0,0079375 \text{ m}$ ,  $s = 2,4384 \text{ m}$ .

$$R = \frac{60,41}{2\pi(2,4384)} \left( \ln \frac{4(2,4384)}{0,0079375} - 1 \right) \left( \frac{1,29}{3} \right)$$

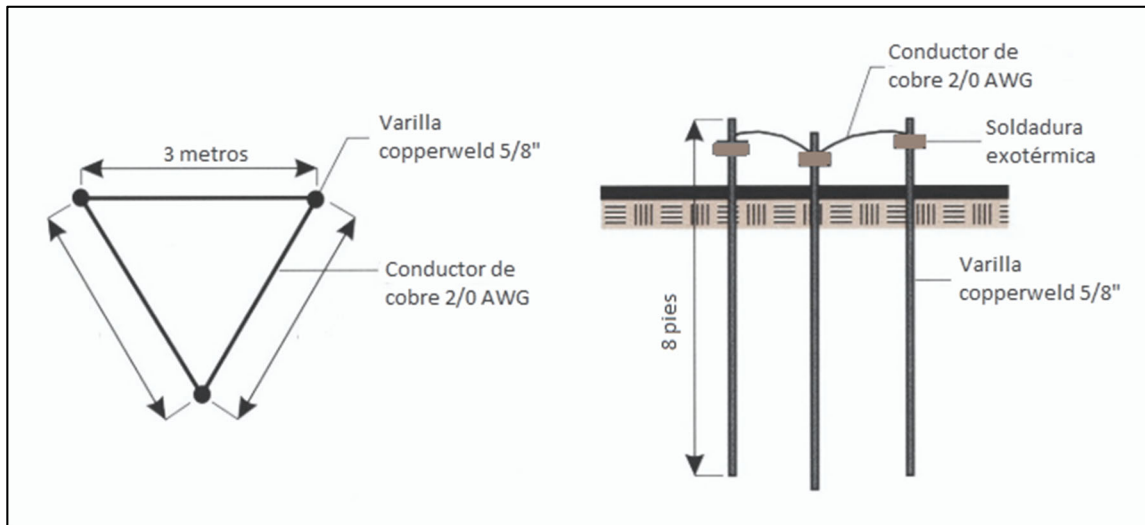
$$R = 10,37 \Omega$$

Tras obtener los resultados de las cinco configuraciones se opta por elegir obviamente la del sistema que arroja la menor resistencia, con un valor asociado de  $8,62 \Omega$  esta corresponde a la de un sistema de puesta a tierra con varillas distribuidas en cada uno de los vértices de un triángulo equilátero.

Por otra parte, con el objetivo de determinar el conductor del electrodo de puesta a tierra se ha consultado la tabla 250,66 del National Electric Code® (NEC®) NFPA 70 edición 2008, la cual establece que para las dimensiones que poseen los conductores de alimentación de la instalación, el calibre del conductor recomendado para realizar las conexiones entre los electrodos de puesta a tierra debe ser 2/0 AWG.

Con la configuración establecida y los elementos dimensionados, para el proceso de instalación y conexión de los mismos se sugiere que el conductor de unión se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante soldadura exotérmica, evitando así la utilización de cualquier conexión que dependa de soldadura blanda.

Figura 59. Sistema de puesta a tierra propuesto para la DGE



Fuente: elaboración propia, con base en imagen del sitio

<https://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/production/beef/print,everything-you-need-to-know-about-electric-fencing.html>. Consulta: 20 de mayo de 2018.

## 6.2. Sistemas de pararrayos

Un sistema de pararrayos es un sistema de protección contra rayos conformado por una punta captadora, cuyo objetivo es atraer un rayo ionizado del aire para conducir la descarga a través de sus conductores de bajada hacia el sistema de puesta a tierra de la instalación, de tal modo que se evite a toda costa cualquier daño a las personas o construcciones.

### 6.2.1. Tipos de pararrayos

En el mundo de la protección contra el rayo es necesario saber qué tipos de pararrayos existen, cuáles son sus características y sus principios de funcionamiento. A continuación se detallan algunos de ellos:

### **6.2.1.1. Pararrayos de puntas captadoras**

Los pararrayos o puntas de descarga son dispositivos de protección contra descargas atmosféricas para la subestación, edificios o cualquier instalación en general. Consisten en una varilla de material conductor con terminación en punta que se conectan a la red de tierras. El principio de operación de los pararrayos se basa en que ante las descargas atmosféricas, se les debe proporcionar un camino de muy baja impedancia a fin de garantizar que en caso de ocurrir una descarga, ésta se vaya a tierra a través de las puntas y no a través de otros elementos en donde pudiera ocurrir alguna situación desfavorable.

### **6.2.1.2. Pararrayos punta simple Franklin**

Son electrodos de acero o de materiales similares que tienen una terminación en una o varias puntas, los cuales no tienen ningún dispositivo electrónico ni fuente radioactiva. Alrededor de la punta o electrodo aparece la ionización natural o efecto corona, resultado de la transferencia de energía. Este fenómeno es el principio de excitación para trazar un canal conductor que facilitará la descarga del rayo.

### **6.2.1.3. Pararrayos con dispositivo de cebado**

Están formados por electrodos de acero o de materiales similares con terminación en una punta. Incorporan un sistema electrónico que genera un avance teórico del trazador; otros incorporan un sistema piezoeléctrico que genera un efecto similar. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo, una vez que se produce la carga del dispositivo electrónico de excitación (cebador). No incorporan ninguna fuente radioactiva y

su principio de funcionamiento sigue siendo el mismo que los pararrayos tipo Franklin, con la única diferencia tecnológica del sistema electrónico.

#### **6.2.1.4. Pararrayos CTS**

Los pararrayos CTS (*Charge Transfer System*) basan su principio en la desionización del aire. El objetivo es evitar la saturación de carga electrostática entre la instalación de tierra y la atmósfera que nos rodea, busca compensar pacíficamente la diferencia de potencial eléctrico de la zona durante el primer proceso de la formación del rayo.

### **6.2.2. Evaluación de riesgo por impacto de rayo**

En este apartado se evalúan los riesgos de daños debidos a la descarga tomando en cuenta algunos factores como: el entorno del edificio, la naturaleza de la estructura del edificio, el valor de su contenido, la ocupación humana, el riesgo de pánico y la consecuencia que tendrían sobre el entorno los daños al edificio. La situación del edificio dentro de su entorno y su altura son aspectos que también serán considerados para el cálculo del riesgo de exposición.

#### **6.2.2.1. Densidad de impacto de rayo sobre el terreno**

Este concepto corresponde al número de rayos a tierra por unidad de área y por unidad de tiempo. Y es la probabilidad que tiene un punto del terreno de ser alcanzado por una descarga electroatmosférica. El comité de coordinación de aislamiento del IEEE ha definido la siguiente relación matemática para hallar la densidad de las descargas a tierra, donde  $N_g$  es la densidad de rayos



Estableciendo  $T_c$  con un valor igual a 60 descargas eléctricas en promedio por año, se obtiene el siguiente valor:

$$N_g = 0,04 * 60^{1,25} = 6,68 \text{ rayos}/\text{km}^2/\text{año}$$

### 6.2.2.2. Frecuencia de impactos directos de rayo sobre la estructura

Para calcular la frecuencia de descargas directas de rayo en el edificio o estructura se tiene la siguiente expresión:

$$N_d = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año}$$

Donde  $N_g$  es la densidad de rayos eléctricos,  $A_e$  es la superficie de captura equivalente del edificio y  $C_1$  es un factor que toma en cuenta la influencia del entorno.

Este último factor es posible obtenerlo por medio de la siguiente tabla al seleccionar la situación relativa a la estructura que más se adecue, en este caso el valor de  $C_1$  es igual a 0,25.

Tabla XXVIII. Determinación del coeficiente  $C_1$

Situación relativa a la estructura	$C_1$
Estructura situada donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0,25
Estructura rodeada de estructuras más bajas	0,50
Estructura aislada	1,00
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio	2,00

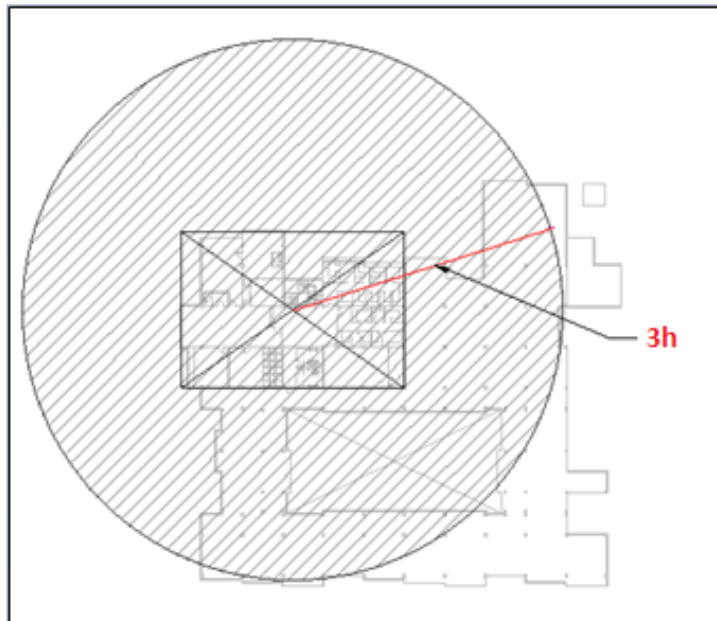
Fuente: elaboración propia, con información de norma NFPA 780 edición 2004.



El área de captura equivalente del edificio es posible obtenerla a través de la siguiente expresión matemática, la cual representa la superficie sombreada de la imagen.

$$A_e = \pi(3h)^2 = \pi(3 * 8)^2 = 1\,809,56\ m^2$$

Figura 61. **Superficie de captura equivalente del edificio de la DGE**



Fuente: elaboración propia

Finalmente, con los datos anteriores, el valor que corresponde a la frecuencia de impactos de rayo sobre el edificio de la DGE es equivalente a:

$$N_d = 6,68 * 0,25 * 1809,56 * 10^{-6} = 0,003021965$$

### 6.2.2.3. Frecuencia aceptable de rayos sobre la estructura

Este valor es posible estimarlo a través del análisis de riesgo de daños, teniendo en cuenta los factores apropiados, tales como: el tipo de construcción, el contenido de la estructura, la ocupación de la estructura y las consecuencias sobre el entorno. Y se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C}$$

Donde el coeficiente C corresponde al producto de los coeficientes C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>, los que pueden ser determinarlos por medio de la siguiente tabla.

Tabla XXIX. Coeficientes C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>

Estructura	Coeficiente de estructura C <sub>2</sub>		
	Techo de metal	Techo no metálico	Techo inflamable
Metal	0,5	1	2
Común	1	1	2,5
Inflamable	2	2,5	3
Coeficiente del contenido de la estructura C <sub>3</sub>			
Contenido de la estructura			C <sub>3</sub>
Sin valor o no inflamable			0,5
Valor común y no inflamable			1
Gran valor, moderadamente inflamable			2
Valor excepcional, inflamable, computadoras o electrónicos			3
Valor excepcional, objetos irremplazables			4
Coeficiente de ocupación de la estructura C <sub>4</sub>			
Ocupación de la estructura			C <sub>4</sub>
No ocupada			0,5
Ocupada normalmente			1
De difícil evacuación o riesgo de pánico			3
Coeficiente de consecuencia sobre el entorno C <sub>5</sub>			
Consecuencia sobre el entorno			C <sub>5</sub>
Sin necesidad de continuidad en el servicio y sin alguna consecuencia sobre el entorno			1
Necesidad de continuidad en el servicio y sin alguna consecuencia sobre el entorno			5
Consecuencia para el entorno			10

Fuente: elaboración propia, con información de norma NFPA 780 edición 2004.

Una vez establecidos cada uno de los coeficientes de la estructura es posible encontrar el valor de C e incluirlo en la ecuación, tal y como se muestra a continuación.

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{1 * 2 * 1 * 5} = 0,0003$$

#### **6.2.2.4. Selección del nivel de protección**

La comparación entre la frecuencia de impactos directos de rayo y la frecuencia aceptable de rayos permite decidir si es necesario un sistema de protección contra rayos. Esta decisión se basa en la aplicación de los siguientes criterios:

- Si  $N_d \leq N_c$ , el sistema de protección no es necesario.
- Si  $N_d > N_c$ , el sistema de protección es necesario.

Con base en lo anterior, se obtiene que el sistema de protección no es necesario debido a que  $(N_d = 0,003) > (N_c = 0,0003)$ .

### **6.3. Supresores**

Los supresores son dispositivos que poseen una resistencia interna no lineal, la cual responde a la variación de voltaje que está presente en sus bornes. Cuando el supresor opera bajo niveles de voltaje normales el equipo se comporta como un circuito abierto, sin embargo, al presentarse una sobretensión el valor de la resistencia se vuelve casi nula y el supresor actúa como un circuito cerrado hacia el sistema de tierras de la instalación, drenando de esta forma las corrientes producto de los transientes de alto voltaje y evitando que se dañen los sistemas sensitivos.

### 6.3.1. Categorización de supresores según ubicación

Dependiendo del punto donde se encuentre instalado el supresor en una instalación eléctrica es posible catalogarlo dentro de una categoría específica.

Tabla XXX. **Categorías de supresores según IEEE C62.41.1-2002**

CATEGORÍA	Lugar de instalación
Categoría A	Tomacorrientes y derivados que estén a una distancia de la acometida
	Todos los tomacorrientes que estén a más de 10 m de categoría B
Categoría B	Alimentadores y circuitos derivados cortos en la instalación
	Alimentadores en plantas industriales
	Tableros de distribución
Categoría C	Instalación exterior y acometida
	Circuitos que van del medidor principal a la desconexión principal de la instalación
	Cables del poste al medidor

Fuente: elaboración propia.

### 6.3.2. Especificaciones técnicas de un supresor

Algunas de las características que posee un supresor son las siguientes:

- Voltaje máximo continuo de operación MCOV.
- Nivel de protección VPR.
- Corriente de corto circuito.
- Corriente nominal de descarga por fase.
- Modos de protección de un supresor.
- Tiempo de respuesta de un supresor.
- Dispositivo de seguimiento de onda.

### 6.3.3. Criterios de selección de un supresor

En la siguiente tabla se detallan una serie de aspectos geográficos, eléctricos y económicos que forman parte de un procedimiento que debe tomarse en cuenta para la selección de la coordinación de supresores de acuerdo a la norma IEEE C62.41.1-2002.

Tabla XXXI. Procedimiento para seleccionar un supresor

No.	Criterio	Exposición	Valor
1	<i>Nivel isocerámico:</i> el nivel isocerámico de la región donde se desea proteger es alto, medio o bajo.	Alto	10
		Medio	5
		Bajo	1
2	<i>Ubicación respecto a otras actividades:</i> el espacio es abierto, aislado, área en crecimiento o si es un área densamente poblada.	Rural	10
		Sub urbano	5
		Urbano	1
3	<i>Ubicación respecto a otras construcciones:</i> la altura del edificio que se desea proteger es la más alta, mediana o pequeña.	El más alto	10
		Mediano	5
		El más pequeño	1
4	<i>Tipo de acometida:</i> la acometida del edificio que se desea proteger es la más alejada en una distribución radial.	Ultimo usuario	10
		Usuarios múltiples	5
		Acometida independiente	1
5	<i>Historial de disturbios:</i> verificar los disturbios que hayan dañado equipo eléctrico, tarjetas electrónicas, equipo crítico, etc.	Frecuentes	10
		Ocasionales	5
		Escasos	1
6	<i>Importancia del equipo a proteger:</i> existe equipo crítico que genere pérdidas o paro de producción al momento de fallar.	Indispensable	10
		Moderada	5
		Puede detenerse	1
7	<i>Costo económico del equipo si falla:</i> el costo del equipo es alto, moderado o económico.	Costosa	10
		Moderada	5
		Económica	1
8	<i>Categoría de aplicación:</i> ubicación donde se instalará el equipo para transitorios.	Acometida	A
		Distribución	B
		Derivado	C

Fuente: elaboración propia, con información de IEEE C62.41.1-2002.

Una vez identificadas las características de la instalación se procede a asignar el valor que corresponde a cada uno de los criterios de la tabla anterior,

para posteriormente mediante la sumatoria de dichos valores poder comparar con la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla XXXII. Coordinación de supresores según IEEE C62.41.1-2002**

Nivel de categorías según IEEE C62.41	Puntos correspondientes según índice de exposición calculado y categoría del supresor			
	7 – 25 puntos	26 – 40 puntos	41 – 55 puntos	56 – 70 puntos
Categoría C	120 kA	160 kA	240 kA	480 kA ó 320 kA
Categoría B	80 kA	120 kA	160 kA	240 kA
Categoría A	40 kA	50 kA	80 kA	120 kA

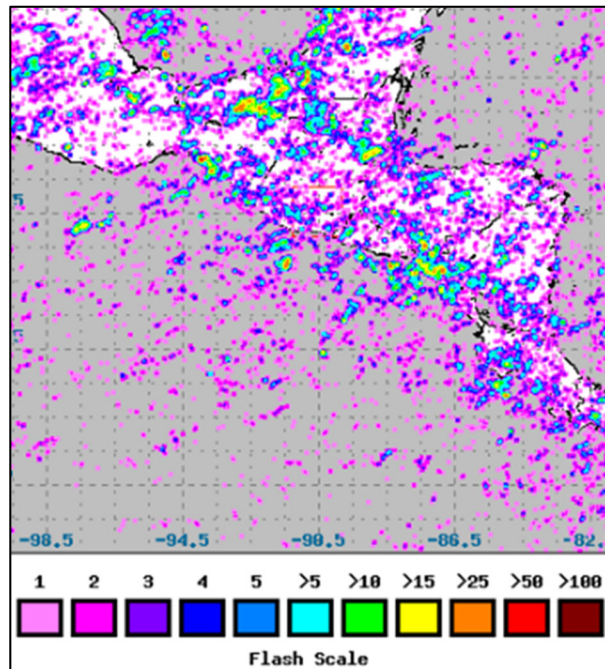
Fuente: elaboración propia.

#### **6.3.4. Selección de supresores en las instalaciones de la DGE**

Para analizar la coordinación de supresores en las instalaciones eléctricas de la DGE es necesario identificar la información que corresponde a cada uno los criterios expuestos en la tabla XXIII.

- Criterio 1: se procede a consultar una fuente que proporcione información del nivel cerámico de la zona. Para este caso, se consultan los mapas de niveles isocerámicos del insivumeh y se verifican con información histórica de la época invernal del año 2017 proporcionada por el sitio oficial de la NASA.

Figura 62. Frecuencia de rayos año 2017



Fuente: Nasa. *Lightning image*. <http://lightning.nsstc.nasa.gov/>. Consulta: 21 de mayo de 2018.

Con la información anterior es posible concluir que la zona muestra un valor bajo en la categoría de nivel isoceráunico, y por lo tanto se asigna el valor 1.

- Criterio 2: el edificio de la DGE se encuentra ubicado dentro de un área urbana, por lo tanto, se asigna el valor 1.
- Criterio 3: la altura del inmueble se encuentra dentro del promedio de las construcciones de la zona, por lo tanto, se asigna el valor 5.
- Criterio 4: la acometida de la DGE es independiente, por lo tanto, se asigna el valor 1.

- Criterio 5: el historial de disturbios en la DGE es muy escaso, por lo tanto, se asigna el valor 1.
- Criterio 6: en las instalaciones de la DGE la mayor parte de la carga corresponde a equipo de oficina, sin embargo, en laboratorios y bunkers existe equipo bastante especializado; lo cual es determinante para asignar el valor 5.
- Criterio 7: bajo el mismo argumento de la sentencia anterior es posible asignar el valor 10 a este criterio.

Una vez determinada la información correspondiente a cada uno de los criterios es posible establecer el punteo total, el cual es equivalente a la sumatoria de cada uno de los valores asignados.

Tabla XXXIII. **Sumatoria de punteo**

Criterio	Valor
1	1
2	1
3	5
4	1
5	1
6	5
7	10
<b>Resultado</b>	<b>24</b>

Fuente: elaboración propia.

El resultado obtenido de la tabla anterior, un total de 24 puntos, permite dimensionar la coordinación de los supresores en el interior de la DGE con los valores de la tabla siguiente:



Tabla XXXIV. **Dimensionamiento de supresores para la DGE**

Ubicación	Valor de supresor
Alimentación primaria	120 kA
Ramales de distribución	80 kA
Cargas	40 kA

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La evaluación del estado físico de las instalaciones eléctricas ha permitido evidenciar una falta de mantenimiento a nivel general. Entre las situaciones a considerar se menciona el deterioro en la calidad del aislamiento de algunos conductores, interruptores mal sujetos a las bases, falta de rigidez mecánica de algunos tableros y soportes, así como la dificultad en el acceso a algunos de ellos.
2. Se ha podido identificar que los principales aspectos en los cuales es posible obtener una reducción sustancial del consumo energético por prácticas más eficientes es en iluminación y en la implementación de equipo especificado con sellos o etiquetas energéticas.
3. Tras llevar a cabo el análisis de calidad de energía eléctrica se han podido identificar ciertas alteraciones en los parámetros eléctricos, mismos que deben corregirse si se quiere evitar que esto afecte o reduzca el tiempo de vida de los equipos conectados y que incluso puedan llegar a incrementar los costos de funcionamiento de los mismos.
4. En la gran mayoría de ambientes de trabajo los niveles de Iluminación no cumplen con los valores recomendados para cada uno de ellos; esto derivado de la cantidad de lámparas instaladas que se encuentran quemadas, desconectadas, ausentes de mantenimiento y que además funcionan con tecnologías menos eficientes.

5. Se ha logrado evidenciar que las unidades transformadoras de la subestación eléctrica se encuentran sobredimensionadas, situación que reduce considerablemente la eficiencia de estos equipos por las pérdidas internas que se generan por el simple hecho de estar energizados.
  
6. La inadecuada distribución de cargas de la instalación produce que el desbalance alcance una magnitud necesaria de considerar, la misma tiene su mayor contribución por parte de la carga de la planta alta, la cual se deriva de una alimentación monofásica y llega a representar aproximadamente un 40 % de la carga total.

## RECOMENDACIONES

1. Considerar las medidas de ahorro que impactan en el consumo energético y las sugerencias de mejora que contribuyen para la eficiencia energética del mismo. Ambas situaciones contemplan una serie de propuestas que se resumen en el cambio de tecnologías y en el cambio de hábitos de consumo por parte de los colaboradores de la institución.
2. Elaborar y poner en ejecución un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para las instalaciones eléctricas del inmueble con el objetivo de evitar aún más el deterioro y a la vez poder garantizar que estas mantengan un buen estado operativo.
3. Como solución al alto contenido de armónicos de corriente se sugiere la instalación de un filtro activo debido a la capacidad de este para actuar sobre un amplio rango de armónicos y eliminarlos por completo; dicha propuesta se considera la más adecuada por el hecho de haberse registrado varios componentes armónicos que sobrepasan las tolerancias permitidas.
4. Para solucionar el desbalance producto de la asimetría de las cargas se propone una alimentación trifásica para el circuito derivado que sirve al tablero de distribución de la planta alta. Con esto se lograría poder distribuir sobre las tres fases el 40 % de la carga de la instalación y reducir en un alto porcentaje el desbalance de la corriente.

5. Las propuestas expuestas dentro del presente trabajo están sujetas a presentar variantes durante su ejecución, sin embargo, se sugiere apegarse lo más que se pueda para obtener los resultados esperados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BRATU, Neagu; CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Alfaomega, 1995. 240 p. ISBN 970-15-0127-6, ISBN 958-68-2610-4.
2. British Standards Institution. *BS 7430:2011: Code of practice for protective earthing of electrical installations*. Reino Unido: BSI, 2011. 89 p.
3. CERVANTES ROA, Oscar. *Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa – CUC*. Colombia: Universidad de la Costa CUC, Facultad de Ingenierías, 2014. 102 p.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución –NTSD- Resolución CNEE No. 09-99*. Guatemala: CNEE, 1999. 114 p.
5. Dranetz. *DRANETZ HDPQ USER GUIDE*. Estados Unidos: Dranetz, 2015. 312 p.
6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Std 142 – 2007: IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. Estados Unidos: IEEE, 2007. 215 p.

7. Ministerio de Energía y Minas. *Manual de funciones y descripción de puestos*. Guatemala: MEM, 2011. 216 p.
8. \_\_\_\_\_. *Plan nacional de energía 2017 – 2032*. Guatemala: MEM, 2017. 101 p.
9. National Fire Protection Association. *NFPA 70 National Electrical Code*. Estados Unidos: NFPA, 2008. 933 p.
10. \_\_\_\_\_. *NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*. Estados Unidos: NFPA, 2004. 110 p.
11. VILLATORO HERNÁNDEZ, Selvyn Donald. *Propuesta para la coordinación de supresores de transitorios, según IEEE Std C62.41.1-2002 para sistemas eléctricos en baja tensión, evaluando aspectos geográficos y eléctricos en la república de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Electricista. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 122 p.