



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL
CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO,
SACATEPÉQUEZ**

Erick Roberto Gallina Rucal

Asesorado por el Ing. Gabriel Armando Velásquez Velásquez

Guatemala, octubre del 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL
CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO,
SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ROBERTO GALLINA RUCAL

ASESORADO POR EL ING. GABRIEL ARMANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DEL 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
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 CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de septiembre de 2018.

Erick Roberto Gallina Rucal

Guatemala, 01 de octubre del 2019

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

Estimado Ingeniero Argueta:

Por este medio me permito dar aprobación al informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado: "ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ" desarrollado por el estudiante Erick Roberto Gallina Rucal, quien se identifica con el CUI 2049 18545 0304 y registro académico No. 2012-12506, previo a optar el título de Ingeniero Electricista.

En base a la revisión y corrección de dicho trabajo, considero que ha alcanzado los objetivos propuestos, por lo que el estudiante y asesor, nos hacemos responsables del contenido del trabajo.

Sin otro particular, me despido cordialmente.

Atentamente,



Ing. Gabriel Armando Velásquez Velásquez
Asesor
Colegiado 12,731

Gabriel Armando Velásquez Velásquez
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 12,731

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 14 de julio de 2021.
Ref.EPS.DOC.273.07.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

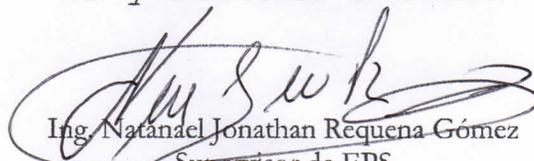
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Erick Roberto Gallina Rucal** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **201212506** y CUI **2049 18545 0304**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ"**.

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
NJRJ/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 14 de julio de 2021.
Ref.EPS.D.116.07.2021.

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Erick Roberto Gallina Rucal**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Gabriel Armando Velásquez Velásquez 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 Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

/ra



REF. EIME 24..2020.

24 DE NOVIEMBRE 2020.

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ, del estudiante: Erick Roberto Gallina Rucal, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Anibal Silva de los Angeles
Coordinador de Electrotécnica

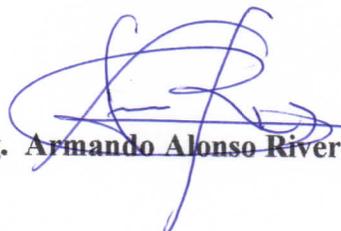


sro



REF. EIME 146. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ERICK ROBERTO GALLINA RUCAL, titulado: ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 2 DE SEPTIEMBRE 2,021.



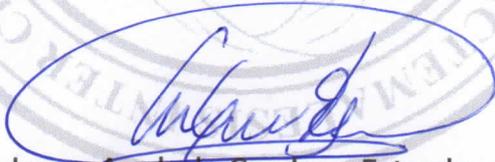
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 457-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DEL CENTRO DE SALUD DE SUMPANGO, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Roberto Gallina Rucal**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Gracias por todas las bendiciones recibidas en mi vida, por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para seguir siempre adelante a pesar de los tropiezos.
- Mi padre** Víctor Gallina Joj, por ser un gran ejemplo de trabajo, dedicación y por enseñarme a nunca bajar los brazos.
- Mi madre** María Guadalupe Rucal, gracias por todo tu amor, tu apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado y darme esos sabios consejos.
- Mis hermanos** Luis Alberto y Jorge Gallina Rucal, por apoyarme en todo momento, gracias, estaré eternamente agradecido.
- Mi hermana** Blanca Gallina Rucal, por siempre tenerme en tus oraciones y apoyarme de una u otra manera.
- Mi novia** Lesslie Ojer, gracias por tu amor, paciencia y alentarme a seguir luchando por mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> .
Centro de Atención Permanente (CAP)	Por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos y habilidades para realizar mi trabajo de graduación.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y herramientas para formarme profesionalmente.
Marlon Ramírez	Por siempre apoyarme, alentarme y ser un amigo incondicional.
Mis amigos	Carlos Acual, Henry Panteul, Javier Ramírez, William Surqué, Renato Reyes, Marcos Miranda y a todos aquellos con quienes compartí a lo largo de la carrera, gracias por esa amistad y todo el apoyo que me brindaron.
Mi asesor	Por brindarme su asesoría y su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DE SUMPANGO SACATEPÉQUEZ	1
1.1. Misión	2
1.2. Visión.....	2
1.3. Infraestructura	2
1.4. Servicios que presta	3
1.5. Estructura organizacional	3
1.5.1. Organigrama jerárquico del Centro de Atención Permanente	4
1.6. Ubicación territorial y área del edificio	5
1.7. Detalles de la construcción.....	5
1.8. Horario de trabajo.....	6
1.9. Condiciones generales del edificio	6
1.10. Croquis simplificado de la construcción.....	7
2. FENÓMENOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE ENERGÍA Y TRANSITORIOS	9
2.1. Armónicos.....	9

2.1.1.	Origen y causas de los armónicos	9
2.1.1.1.	Origen.....	10
2.1.1.2.	Causas	10
2.1.2.	Armónicos según las Normas.....	12
2.1.2.1.	NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)	12
2.1.2.2.	Estándar IEC 61000-3-2.....	14
2.1.2.3.	Estándar IEEE 519.....	15
2.1.2.4.	Estándar EN 50160	17
2.2.	Flicker.....	18
2.2.1.	Flicker según las normas.....	19
2.2.1.1.	NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)	19
2.2.1.2.	Norma IEC 61000-3-3	20
2.3.	Sags	21
2.4.	Swells.....	21
2.5.	Interrupciones	22
2.6.	Factor de potencia.....	23
2.7.	Cálculo de valores según norma NTSD	25
2.8.	Definiciones relacionadas a instalaciones eléctricas.....	26
2.8.1.	Tensión de servicio	27
2.8.2.	Carga.....	27
2.8.3.	Circuitos	27
2.8.4.	Tableros eléctricos	28
2.8.5.	Coordinación de protecciones.....	28
2.8.6.	Protecciones eléctricas.....	30
2.8.6.1.	Interruptores electromagnéticos	30
2.8.6.2.	Prueba de disparo	31
2.8.6.3.	Prueba de disparo térmico	31

	2.8.6.4.	Prueba de disparo magnético	32
2.9.		Eficiencia energética	35
	2.9.1.	Beneficios de la eficiencia energética	36
	2.9.2.	Cálculo de la eficiencia energética	38
3.		DATOS ACTUALES Y EN FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.....	41
3.1.		Centro de Atención Permanente	41
	3.1.1.	Alimentadores.....	41
		3.1.1.1. Conductores	42
		3.1.1.2. Tableros eléctricos.....	43
		3.1.1.3. Tipos de cargas	45
	3.1.2.	Circuitos ramales	45
		3.1.2.1. Conductores	45
		3.1.2.2. Tipos de cargas	46
		3.1.2.3. Diagrama unifilar del Centro del Atención Permanente	47
3.2.		Iluminación	47
	3.2.1.	Características de las luminarias	48
	3.2.2.	Total de luminarias	48
	3.2.3.	Consumo eléctrico por luminaria	49
	3.2.4.	Análisis de los resultados de consumo eléctrico por iluminación.....	49
	3.2.5.	Medición del nivel de iluminación	50
3.3.		Equipos eléctricos	54
	3.3.1.	Total de equipos	55
	3.3.2.	Consumo eléctrico por equipo	56
	3.3.3.	Tiempo promedio de operación de cada equipo.....	57
	3.3.4.	Total de consumo eléctrico diario	58

3.3.4.1.	Diagramas de iluminación y fuerza	58
3.4.	Termografía.....	62
3.4.1.	Cámara termográfica.....	62
3.5.	Análisis termográfico de la instalación eléctrica	62
4.	MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	67
4.1.	Analizador de redes	67
4.1.1.	Características del analizador de redes	67
4.1.1.1.	Incerteza.....	68
4.1.1.2.	Método de medición e instalación del equipo.....	69
4.1.1.3.	Monitoreo de eventos.....	70
4.1.1.4.	Software para extracción de datos	71
4.2.	Parámetros de medición sobre eficiencia energética	71
4.2.1.	Curva de carga diaria	71
4.2.1.1.	Curva de demanda diaria de potencia activa	71
4.2.1.2.	Curva de demanda diaria de potencia reactiva	72
4.2.2.	Curva de carga semanal	74
4.2.2.1.	Curva de demanda semanal de potencia activa	74
4.2.2.2.	Curva de demanda semanal de potencia reactiva	75
4.2.3.	Voltajes.....	76
4.2.4.	Corrientes.....	78
4.2.5.	Potencias.....	80
4.2.5.1.	Potencia activa	80
4.2.5.2.	Potencia reactiva	81

	4.2.5.3.	Potencia aparente.....	81
	4.2.6.	Factor de potencia	82
	4.2.7.	Distorsión armónica	83
	4.2.7.1.	Distorsión armónica de voltaje.....	83
	4.2.7.2.	Distorsión armónica de corriente	84
	4.2.8.	Frecuencia	85
	4.2.9.	Análisis flicker	86
	4.2.9.1.	Flicker Según el índice Pst	86
	4.2.9.2.	Flicker según el índice Plt.....	87
4.3.		Estructura tarifaria	88
	4.3.1.	Análisis tarifario	89
	4.3.2.	Historial de consumo durante un año	90
	4.3.2.1.	Elaboración de graficas de energía consumida y potencia máxima.....	91
5.		ANÁLISIS DE RESULTADOS, DISEÑO Y CÁLCULO TEÓRICO DE DISEÑO Y MEJORA	95
	5.1.	Calidad de energía eléctrica	95
	5.1.1.	Análisis de tensión.....	95
	5.1.2.	Análisis de corrientes.....	96
	5.1.3.	Análisis de flicker	97
	5.1.4.	Análisis de variaciones de frecuencia	97
	5.1.5.	Análisis de distorsión armónica	98
	5.1.5.1.	Distorsión armónica de tensión.....	99
	5.1.5.2.	Distorsión armónica de corriente	100
	5.1.6.	Análisis del factor de potencia	101
	5.2.	Cálculo de conductores eléctricos	101
	5.2.1.	Cálculo de conductores por caída de tensión	102
	5.2.2.	Cálculo de conductores por corriente	106

5.2.3.	Pruebas a los conductores	110
5.2.3.1.	Prueba de aislamiento.....	110
5.2.3.2.	Prueba Hi-pot	113
5.3.	Cálculo de protecciones	114
5.4.	Diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad y eficiencia energética.....	117
5.4.1.	Iluminación de interiores.....	117
5.4.2.	Análisis de factibilidad económica.....	120
5.4.2.1.	Valor presente neto (VPN)	121
5.4.2.2.	Tasa interna de retorno (TIR)	122
5.4.2.3.	Relación de beneficio costo (B/C) y período de recuperación.....	123
5.5.	Sistema de puesta a tierra	124
5.5.1.	¿Qué es una puesta a tierra?	125
5.5.2.	Elementos de un sistema de puesta a tierra	126
5.5.2.1.	Resistividad de tierra y resistencia	126
5.5.2.2.	Medición de la resistividad del suelo ..	127
5.5.3.	Impedancia actual del edificio Centro de Atención Permanente	130
5.5.3.1.	Impedancia recomendada.....	130
5.5.4.	Corriente de cortocircuito	131
5.5.4.1.	Características del corto circuito: asimetría.....	131
5.5.4.2.	Métodos para el análisis del cortocircuito	132
5.5.4.3.	Método de bus infinito (barra infinita) .	132
5.5.5.	Diseño propuesto para la red de tierras	134
5.5.5.1.	Cálculo de la corriente de cortocircuito	134

	5.5.5.2.	Selección del conductor.....	135
	5.5.5.3.	Elección de malla.....	136
	5.5.5.4.	Cálculo de la resistencia de la malla método de Schwarz	140
5.6.		Banco de capacitores	143
	5.6.1.	Factor de potencia	143
		5.6.1.1. Potencia activa	145
		5.6.1.2. Potencia reactiva	145
		5.6.1.3. Potencia aparente.....	145
	5.6.2.	Efectos de un bajo factor de potencia.....	146
	5.6.3.	Cálculo de un banco de capacitores.....	146
5.7.		Generador eléctrico o planta de emergencia.....	148
	5.7.1.	¿Por qué el hospital debe contar con una planta de emergencia?	149
	5.7.2.	Cálculo de generador eléctrico para el Centro de Atención Permanente	151
5.8.		Sistema de pararrayos.....	152
	5.8.1.	Cálculo para evaluación de riesgo del sistema de pararrayos para protección del Centro de Atención Permanente	157
	5.8.2.	Selección del nivel de protección.....	161
		CONCLUSIONES	167
		RECOMENDACIONES.....	169
		BIBLIOGRAFÍA.....	171
		APÉNDICES	175
		ANEXOS	179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama del Centro de Atención Permanente	4
2.	Ubicación geográfica del Centro de Atención Permanente	5
3.	Croquis simplificado del primer nivel	7
4.	Croquis simplificado del edificio segundo nivel	8
5.	Gráfica prueba de disparo térmico	32
6.	Gráfica prueba de disparo magnético	33
7.	Curva de disparo térmico y disparo magnético	34
8.	Tipos de curvas	35
9.	Beneficios de la eficiencia energética	38
10.	Eficiencia energética	39
11.	Estructura monofásica tipo I bandera	42
12.	Diagrama unifilar	47
13.	Consumo de energía eléctrica de luminarias en el CAP	50
14.	Resultados de la medición de la intensidad lumínica	53
15.	Diagrama de iluminación del primer nivel.....	58
16.	Diagrama de iluminación del segundo nivel	59
17.	Diagrama de fuerza del primer nivel.....	60
18.	Diagrama de fuerza del segundo nivel	61
19.	Captura termográfica del tablero general	64
20.	Área con mayor temperatura en el tablero	64
21.	Analizador Fluke 435 clase A.....	68
22.	Instalación del analizador Fluke 435 clase A	70
23.	Curva de demanda diaria de potencia activa	72

24.	Curva de demanda diaria de potencia reactiva.....	73
25.	Curva de carga semanal de potencia activa	74
26.	Curva de carga semanal de potencia reactiva	76
27.	Voltaje línea 1	77
28.	Voltaje línea 2	78
29.	Corriente línea 1	79
30.	Corriente línea 2	79
31.	Potencia activa de línea 1 y línea 2	80
32.	Potencia reactiva línea 1 y línea 2	81
33.	Potencia aparente línea 1 y línea 2.....	82
34.	Factor de potencia línea 1 y línea 2	83
35.	Distorsión armónica de voltaje de línea 1 y línea 2.....	84
36.	Distorsión armónica de corriente de línea 1 y línea 2	85
37.	Frecuencia	86
38.	Flicker según el índice Pst	87
39.	Flicker según el índice Plt	88
40.	Grafica de energía consumida	92
41.	Gráfica de potencia máxima	93
42.	Gráfica de la frecuencia mediante el período de medición	98
43.	Naturaleza de las corrientes	111
44.	Realización de la prueba de aislamiento	112
45.	Realización de la prueba hi-pot	114
46.	Configuración método de Wenner	128
47.	Teluometro AEMC	130
48.	Asimetría de la corriente de cortocircuito.....	132
49.	Factor de potencia de diferentes cargas.....	144
50.	Triángulo de potencias.....	145
51.	Factor de potencia respecto cada mes	148
52.	Generador eléctrico actual.....	150

53.	Zona de protección para el pararrayo	153
54.	Estructura en forma compleja y radio de cobertura.....	155
55.	Impacto del rayo contra la esfera de protección.....	157

TABLAS

I.	Problemas y efectos que generan los armónicos.....	11
II.	Límites de corrientes armónicas	16
III.	Límites de distorsión armónica de voltaje	17
IV.	Límites de voltajes armónicos	18
V.	Definición de swell IEEE 1159-1995	22
VI.	Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995 y EN50160.....	23
VII.	Valor mínimo para el factor de potencia.....	24
VIII.	Cálculos regulación de tensión	25
IX.	Cálculo factor de potencia.....	26
X.	Calibre de conductores tablero general.....	43
XI.	Especificaciones del tablero principal.....	43
XII.	Especificaciones del tablero secundario	44
XIII.	Carga actual y disponibilidad en el tablero principal	44
XIV.	Conductores del tablero principal.....	46
XV.	Conductores del tablero secundario.....	46
XVI.	Total de luminarias.....	48
XVII.	Consumo eléctrico por luminaria.....	49
XVIII.	Nivel de iluminación actual.....	51
XIX.	Total de equipos que se encuentra actualmente funcionando	55
XX.	Consumo eléctrico por equipo.....	56
XXI.	Tiempo promedio de operación de cada equipo	57
XXII.	Clasificación de fallos en relación a la temperatura	63
XXIII.	Resumen de potencia activa máxima diaria.....	72

XXIV.	Resumen de potencia reactiva máxima diaria	73
XXV.	Resumen de potencia activa máxima semanal.....	75
XXVI.	Resumen de potencia reactiva máxima semanal.....	76
XXVII.	Datos del servicio de energía eléctrica principal.....	89
XXVIII.	Tarifa: baja tensión con demanda fuera de punta BTDFp.....	89
XXIX.	Tarifa: baja tensión con demanda en punta BTDP.....	90
XXX.	Historial de facturación de consumo eléctrico.....	91
XXXI.	Valores de tensión generado por el analizador.....	95
XXXII.	Valores de corriente generado por el analizador	96
XXXIII.	Tolerancia de la distorsión armónica de tensión (NTSD <i>vrs</i> Fluke 435)	99
XXXIV.	Tolerancia de la distorsión armónica de corriente (NTSD <i>vrs</i> Fluke 435)	100
XXXV.	Cálculos conductores, acometida y alimentadores principales	105
XXXVI.	Cálculo de conductores, tablero principal primer nivel.....	105
XXXVII.	Cálculo de conductores, tablero secundario segundo nivel	106
XXXVIII.	Factores de corrección de acuerdo con el número de conductores en tubo	107
XXXIX.	Factores de corrección por temperatura ambiente	108
XL.	Cálculo de conductores, tablero principal del primer nivel	109
XLI.	Cálculo de conductores, tablero secundario del segundo nivel	110
XLII.	Cálculo de protecciones de alimentadores principales	115
XLIII.	Cálculo de protecciones, tablero principal primer nivel.....	116
XLIV.	Cálculo de protecciones, tablero secundario segundo nivel	116
XLV.	Comparación de cantidad de luminarias.....	119
XLVI.	Diseño propuesto tubo fluorescente	120
XLVII.	Diseño propuesto tubo led	121
XLVIII.	Cálculo de la tasa interna de retorno	123
XLIX.	Valores de impedancias.....	126

L.	Resistencia y resistividad del terreno	129
LI.	Valores nominales.....	134
LII.	Factor de potencia respecto cada mes	147
LIII.	Valor del nivel cerámico de la red de estaciones sinópticas meteorológicas.....	156
LIV.	Frecuencia anual media Nd de impactos directos.....	158
LV.	Coeficiente relacionado con el entorno C_1	158
LVI.	Cálculo de la frecuencia tolerable del rayo N_c	159
LVII.	Coeficiente en función del tipo de construcción C_2	159
LVIII.	Coeficiente en función del contenido del edificio C_3	160
LIX.	Coeficiente de ocupación de la estructura C_4	160
LX.	Coeficiente de consecuencia del relámpago C_5	161
LXI.	Selección del nivel de protección del pararrayos	162
LXII.	Radios de protección del pararrayos Pulsar de HELITA	164

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
I_n	Corriente nominal
F_p	Factor de potencia
f	Frecuencia
Hz	Hertz
kWh	Kilovatio hora
KV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio-amperio
kW	Kilowatts
Lm	Lumen
Lx	Lux
M	Metro
Mm²	Milímetros cuadrados
P	Potencia activa
S	Potencia aparente
Q	Potencia reactiva
W	Vatio
V	Voltaje
VA	Voltiamperio

GLOSARIO

Analizador de redes	Equipo electrónico diseñado para medir, analizar y cuantificar parámetros eléctricos como: tensión, corriente, distorsión armónica, flicker, factor de potencia, entre otros.
Barra	Material de cobre que es utilizado para derivar corrientes a conductores por medio de bornes, para los alimentadores.
Circuito	Es la interconexión de dos o más componentes que contiene una trayectoria cerrada por el cual fluye una corriente eléctrica.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Conductor	Material que permite el flujo de electrones al aplicarse una diferencia de potencial.
Diagrama unifilar	Es la representación gráfica de una instalación eléctrica, simbolizando los diferentes circuitos y cargas existentes.
Flicker	Es una variación de voltaje con amplitud perceptible apreciable en las fuentes luminosas.

IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
NEC	Código Eléctrico Nacional.
NTSD	Norma Técnica del Servicio de Distribución.
Ramal	Es la derivación de un circuito entre el dispositivo de protección frente a sobrecorrientes y la carga final.
Swell	Aumento en el valor efectivo del voltaje.
Tensión de servicio	Es el nivel de tensión al cual una empresa distribuidora abastece a un usuario de servicio eléctrico.
Voltaje	Es la diferencia de energía que induce el flujo de electrones de un punto a otro.

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación tiene como fin apoyar el mejoramiento del sistema eléctrico del Centro de Atención Permanente de Sumpango Sacatepéquez, realizando un análisis del estado actual de los diferentes elementos que componen dicho sistema eléctrico.

En el capítulo 1 se da a conocer una breve reseña histórica del Centro de Atención Permanente, los servicios que presta, cómo está organizado estructuralmente, las características y detalles de la construcción del edificio y un croquis de los diferentes ambientes del mismo.

En el capítulo 2 se hace énfasis sobre las normas y su importancia en la calidad de energía eléctrica, los valores admisibles para estos eventos, voltaje, corrientes armónicas y eventos enfocados a la calidad de energía, posteriormente se describe las definiciones más relevantes para la eficiencia energética.

En el capítulo 3 se realiza un diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas actuales del edificio, recaudando información de caracterización de cargas, circuitos ramales, iluminación, el consumo eléctrico y diagrama unifilar. También se realiza un análisis termográfico del tablero principal.

En el capítulo 4 se realiza la medición de la calidad de energía con el analizador de redes, mostrando tablas y gráficas que nos muestra si los valores que este nos generó están dentro de los límites permitidos de las normas. Se

realizó un análisis tarifario para la compra en energía y su historial de consumo durante un año.

En el capítulo 5 se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se realizan cálculos para los conductores y protecciones con base en la carga demandada en cada uno de los circuitos alimentadores y ramales. El diseño de un sistema de tierras para el edificio, se calcula el factor de potencia para corroborar si es necesaria la implementación de un banco de capacitores y el cálculo y diseño de un sistema de pararrayos.

OBJETIVOS

General

Analizar la calidad del servicio eléctrico del edificio del Centro de Atención Permanente de Sumpango Sacatepéquez ubicado entre la 2 da. avenida y 2 da. calle de la zona 2, la influencia de este sobre la red eléctrica, proponer mejoras relacionadas a la eficiencia energética y eléctrica de las instalaciones.

Específicos

1. Identificar las posibles causas que generan las perturbaciones eléctricas con magnitudes mayores a las permitidas en la red eléctrica.
2. Diseñar un cálculo teórico de los conductores y protecciones del edificio para el correcto funcionamiento de este.
3. Realizar un inventario de iluminación y equipos eléctricos que se encuentran en el edificio y verificar qué equipos consumen mayor potencia.
4. Realizar medición de intensidad de luz de cada ambiente, corroborar que cumpla con la norma UNE-EN 12464-1.
5. Calcular el factor de potencia teórico, con el resultado, diseñar un banco de capacitores si fuese necesario.

INTRODUCCIÓN

Con un enfoque energético orientado hacia el Centro de Atención Permanente (CAP) de Sumpango Sacatepéquez se ha elaborado el presente informe, el cual contiene la planificación sobre estudios de calidad de potencia eléctrica y eficiencia energética que se realizó a los centro de carga de dicho CAP, los cuales le serán de gran ayuda para abordar las mejoras de las instalaciones; dicho estudio está basado en parámetros permitidos y certificados en normas IEC y en las normas que permite la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Conforme pasan los años la población del pueblo de Sumpango va creciendo constantemente, razón por la cual es necesario que la red eléctrica interna del CAP sea revisada para suplir la demanda creciente de los pacientes, es necesario que el alimentador general y los circuitos ramales sean analizados para considerar el aumento de las cargas eléctricas y contemplando los patrones de calidad de energía establecidos por las normas de regulación.

Estos temas es de suma importancia estudiarlos por diversos factores, tales como la responsabilidad ambiental, mejoras para el servicio eléctrico y mejor distribución de los recursos eléctricos para obtener eficiencia en las instalaciones del edificio.

1. CENTRO DE ATENCIÓN PERMANENTE (CAP) DE SUMPANGO SACATEPÉQUEZ

El municipio de Sumpango forma parte de la red de servicios del Área de Salud de Sacatepéquez la cual depende directamente de la Dirección General del SIAS dentro del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

La red de servicios de salud en Sumpango Sacatepéquez inició en el año de 1968 como un servicio de primer nivel de atención en puesto de salud, encontrándose ubicado enfrente del edificio municipal de la localidad, únicamente se contaba con 3 auxiliares de enfermería y un técnico en salud rural para la atención de todo el pueblo y sus aldeas; en ese entonces el centro de salud pertenecía al Distrito II de Santiago Sacatepéquez.

En el año de 1995 ingreso una ONG, sin embargo, no bajo los índices de mortalidad de niños y mujeres, que es lo que se buscaba. En ese mismo año empezó la construcción del nuevo centro de salud de forma tripartito, siendo este costado con la ayuda de la municipalidad, el Ministerio de Salud Pública y de los mismos habitantes del pueblo.

En el año 2000 se inauguró el nuevo centro de salud y desde esa fecha hasta hoy en día se encuentra funcionando en dicho lugar, encontrándose ubicado en la zona 2 del municipio. Ese mismo año de puesto de salud se elevó a un centro de atención a pacientes ambulatorios (CENAPA), funcionando de 8 de la mañana a 8 de la noche.

En el año 2008 el centro de salud paso de ser un servicio de primer nivel a un servicio de segundo nivel de atención, y se recategorizó como Centro de Atención Permanente (CAP) y es perteneciente al distrito IV de Sacatepéquez (según Acuerdo Gubernativo 115-99), disponiéndose para la atención de partos; y atendiendo en un horario de 24/7.

1.1. Misión

Mantener y mejorar las condiciones de salud, con énfasis en los grupos de mayor riesgo, a través de ofertar integralmente actividades preventivas, curativas, de rehabilitación, promoción y complementarias a la salud, en todas las comunidades que conforman el Distrito, desarrollando la participación activa de la comunidad organizada, de las Corporaciones Municipales y otros organismos del Gobierno y No Gubernamentales¹.

1.2. Visión

“Ser una unidad de salud accesible tanto para los habitantes del Distrito como para demandantes en general sin exclusión alguna, a través de atención esmerada, caracterizada por su eficiencia, eficacia, calidez y fuerte sentido humano”².

1.3. Infraestructura

La infraestructura de salud en Sumpango posee un centro de atención permanente correspondiente al distrito IV de Sacatepéquez ubicado en el casco urbano en la zona 2. En el municipio existe un Centro de Salud tipo B, atendido por 6 médicos, 6 enfermeras profesionales y 22 auxiliares que dan cobertura a todo el municipio las 24 horas del día y los 365 días del año. Cada aldea posee

¹ Centro de Atención Permanente (CAP) de Sumpango Sacatepéquez. *Misión y visión*. <http://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUSAC12179/Details>. Consulta: 3 de mayo de 2020.

² *Ibíd.*

un centro de convergencia donde periódicamente se atiende a pacientes mayoritariamente niños por diversas causas.

1.4. Servicios que presta

- Salud reproductiva: planificación familiar, Papanicolaou y partos.
- Inmunización: monitoreo y promoción del crecimiento, vacunación y suplementación con micronutrientes.
- Monitoreo de: peso, vacunación, estabilización y referencia casos graves.
- Atención de enfermedades prevalentes en la infancia y referencia de enfermedades graves.
- Atención de enfermedades infecciosas, crónicas no transmisibles.
- Consulta general: revisión médico clínico.
- Servicio de laboratorio clínico: exámenes de sangre, heces y orina.
- Saneamiento ambiental: agua potable y supervisión de basureros.
- Trabajo social: investigación de abuso sexual y maltrato infantil.
- Salud bucal: odontología.
- Salud mental: psicología.
- Detección de cáncer de cérvix y mama.
- Control prenatal.
- Nutrición y farmacia.

1.5. Estructura organizacional

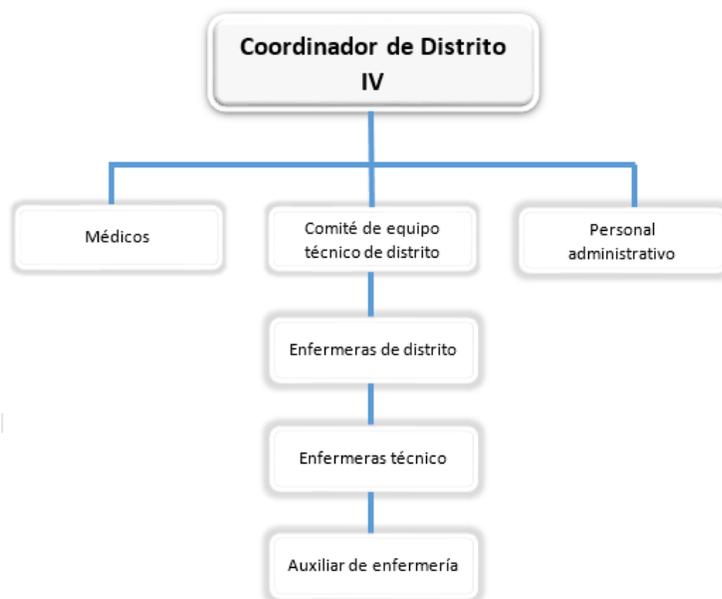
El Centro de Atención Permanente cuenta con los siguientes departamentos, los cuales en conjunto velan por la correcta atención y funcionamiento de las actividades del mismo. Estos a su vez, desarrollan actividades independientes con las cuales colaboran con los objetivos de la institución. Estas unidades organizativas son:

- Coordinador de distrito IV
- Comité de equipo técnico de distrito
- Enfermeras de distrito
- Enfermeras técnico
- Auxiliar de enfermería
- Médicos
- Personal administrativo

1.5.1. Organigrama jerárquico del Centro de Atención Permanente

En la figura 1 se muestra el organigrama esquemático de funcionamiento del Centro de Atención Permanente.

Figura 1. Organigrama del Centro de Atención Permanente



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.6. Ubicación territorial y área del edificio

Específicamente, el Centro de Atención Permanente (CAP) se encuentra ubicado entre la 2da. avenida y 2da. calle de la zona 2 de Sumpango Sacatepéquez. El terreno completo abarca un total de 371 m².

Figura 2. Ubicación geográfica del Centro de Atención Permanente



Fuente: Google Maps. *Ubicación geográfica del Centro de Atención Permanente.*
<https://earth.google.com/web/@14.59,-90.52,0r/data>. Consulta: 24 de julio de 2019.

1.7. Detalles de la construcción

El edificio consta de dos niveles; en el primer nivel podemos encontrar la sala de espera, la farmacia donde los pacientes pueden adquirir los medicamentos que le son recetados, dos salas de consultas médicas generales, una clínica psicológica, una sala de control prenatal, una clínica de

odontología, una clínica de inmunización, una sala de planificación familiar, una sala donde se esterilizan todos los utensilios que son utilizados.

En el segundo nivel se pueden encontrar dos salas de partos, una sala de postparto, una sala de espera, comedor para los doctores y enfermeras en turno, varias oficinas. En la parte de afuera cuenta con un pequeño parqueo, una pequeña área verde y el área de lavandería.

1.8. Horario de trabajo

El horario habitual que se atiende al público en general es de 08:00 a 17:00 horas de lunes a sábado sin cerrar al medio día. Pero por ser un centro de salud de tipo B se atienden emergencias las 24 horas del día y los 365 días del año.

1.9. Condiciones generales del edificio

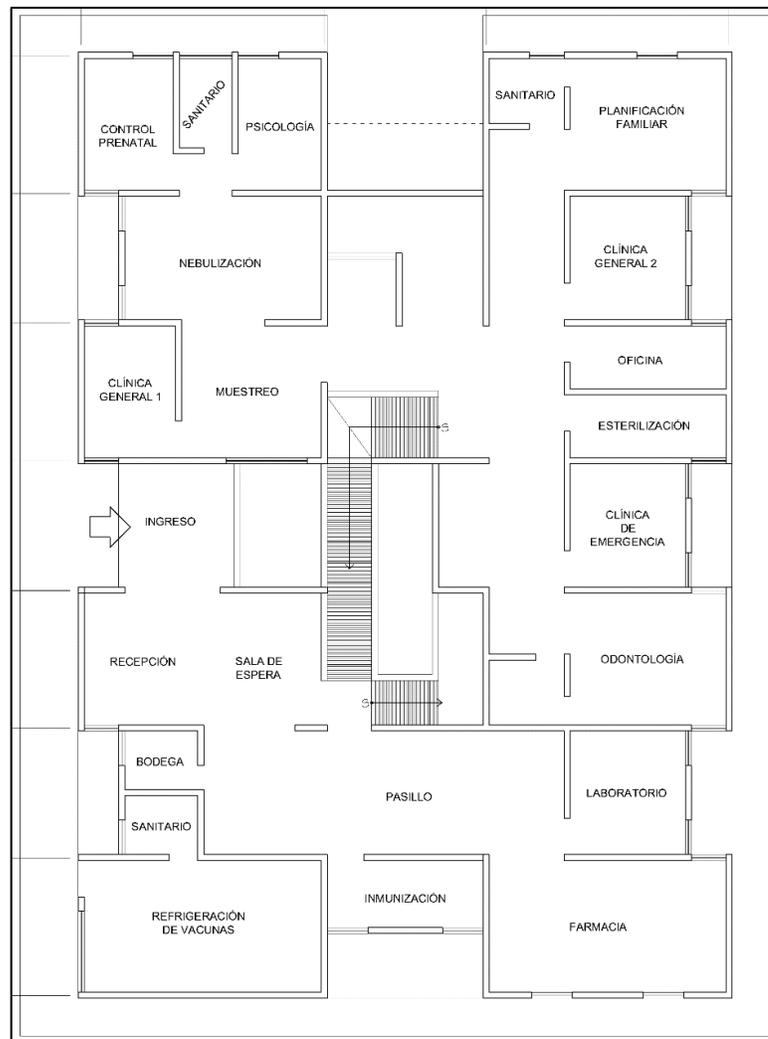
Para lo correcta verificación de las condiciones generales del edificio se realizó una inspección visual general a toda la instalación con la cual se recolectó la siguiente información:

- Edificación de concreto y block, bases y columnas con fundición en sitio.
- Puertas y ventanas exteriores en la mayoría de vidrio con marco de aluminio y con balcones metálicos.
- Puertas interiores de madera en su mayoría con chapa metálica bilateral.
- Tabiques de consultas médicas elaborados con madera tipo MDF y plywood.
- Techo construido a base de fundición en ambos niveles.
- Piso tipo granito de tamaño estándar cada pieza.

1.10. Croquis simplificado de la construcción

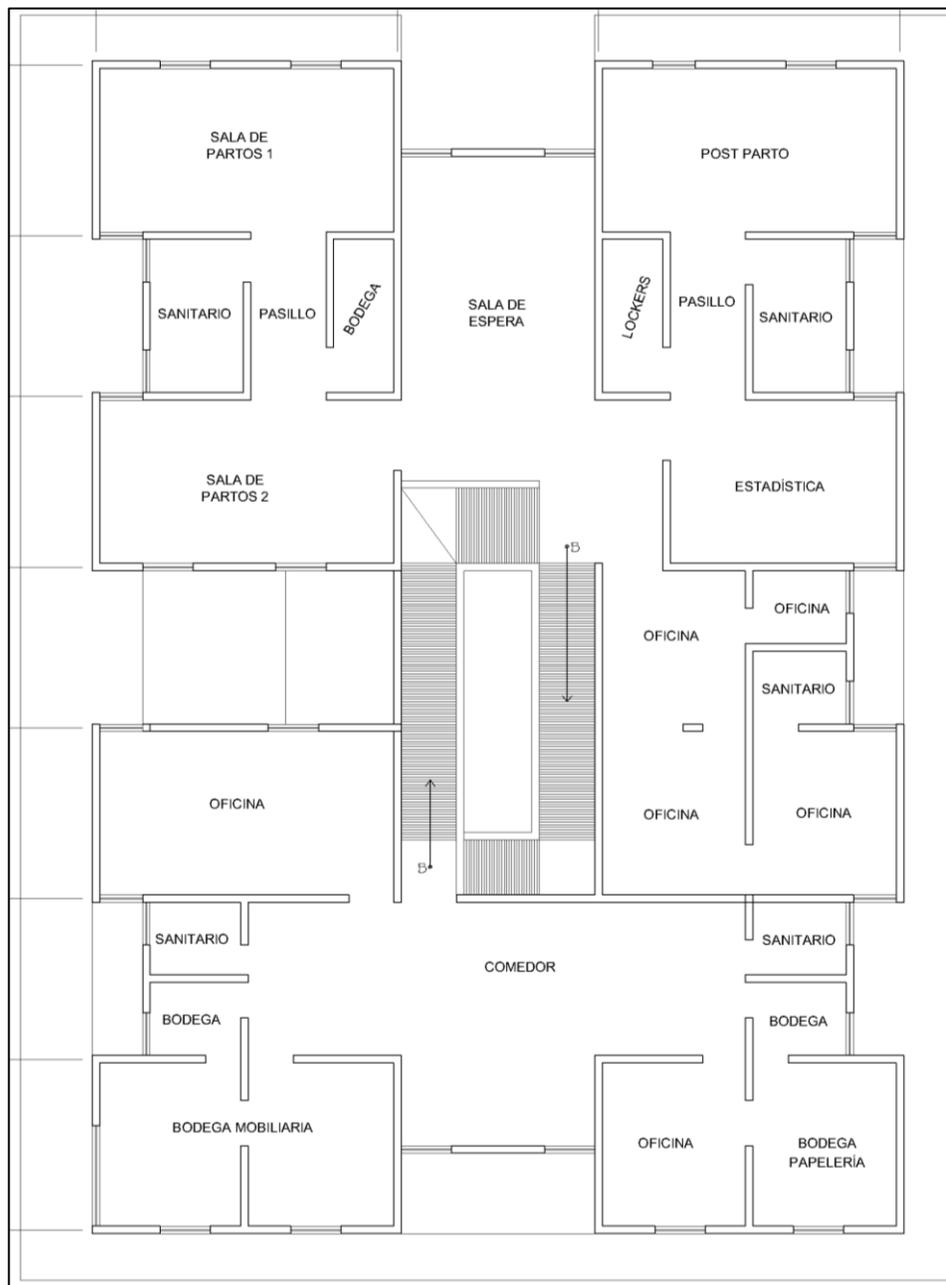
A partir de la inspección visual realizada y por medio de un plano base con el que cuenta el edificio, se localizaron las principales áreas del edificio y se señalaron en el bosquejo que se muestra a continuación.

Figura 3. Croquis simplificado del primer nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Figura 4. **Croquis simplificado del edificio segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

2. FENÓMENOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE ENERGÍA Y TRANSITORIOS

La calidad de la energía eléctrica en términos generales se evalúa cuando esta es suministrada a través de su instalación principal y los distintos ramales a los equipos y dispositivos con las características y condiciones recomendadas y que les permitan mantener la continuidad del servicio sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a ninguno de sus componentes.

Normalmente, cuando hablamos de la calidad de energía eléctrica, hacemos referencia sobre la calidad de las señales de corriente y tensión, también que tanto es la confiabilidad o continuidad del servicio de energía eléctrica.

2.1. Armónicos

Los armónicos se definen como un componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia fundamental. Un armónico se entiende como tensiones o corrientes presentes en un sistema eléctrico con respecto a la frecuencia fundamental (60 Hz).

2.1.1. Origen y causas de los armónicos

A continuación, se presenta el origen, las causas y los efectos que los armónicos causan en los equipos.

2.1.1.1. Origen

Generalmente, son producidos por las cargas no lineales, estos son generados con base en la forma de onda senoidal de la frecuencia de la red.

Los armónicos son componentes de la frecuencia fundamental de la red, los cuales, al hacerse presentes en los flujos de electricidad de la instalación, hace que la señal de voltaje y corriente sean deformados, haciendo que la potencia sea perturbada, ocasionando que la calidad de la energía disminuya.

2.1.1.2. Causas

Los equipos que generan distorsión de armónicos se encuentran presente en las industrias, comercios y en ocasiones en casas residenciales. Las distorsiones de armónicos son provocadas por las cargas no lineales.

Una carga no lineal suele ser cuando la forma senoidal del voltaje que alimenta el equipo, no tiene la misma forma senoidal que la corriente que circula por ella.

Algunos de los equipos que provocan la existencia de armónicos en la red eléctrica de una instalación son:

- Equipos industriales (máquina de soldar, hornos de inducción, rectificadores, entre otros).
- Variadores de velocidad para motores de corriente directa y asíncrona.
- Motores
- Equipos de aire acondicionado, entre otros.

La presencia de armónicos en el sistema genera perturbaciones inaceptables sobre la red de distribución. A continuación, se observa una tabla donde se muestran los problemas y efectos que generan los armónicos.

Tabla I. **Problemas y efectos que generan los armónicos**

Componente	Problema	Efecto
Conductor	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de corriente - Aumento de resistencia - Aumento de pérdidas térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de cables - Disparo de protecciones
Condensadores	<ul style="list-style-type: none"> - Resonancia paralela con el sistema - Amplificación de los armónicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento - Envejecimiento prematuro de condensadores - Destrucción de condensadores
Transformadores	<ul style="list-style-type: none"> - Circulación de corrientes armónicas por los devanados 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento de los devanados - Pérdida de aislamiento térmico por calentamiento - Pérdidas en el cobre y en el hierro (Histéresis y Foucault) - Disminución de rendimiento - Sobredimensionado del transformador - Saturación del transformador
Motores	<ul style="list-style-type: none"> - Circulación de corrientes armónicas por los devanados 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento de los devanados - Pérdida de aislamiento térmico por calentamiento - Pérdidas en el cobre y en el hierro (Histéresis y Foucault) - Disminución de rendimiento - Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidad - Reducción del par
Grupo electrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema blando, con mayor impedancia en la red - Tensión distorsionada 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad de sincronización automática y posterior conmutación
Equipos de medida y control	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas no validas - Errores en procesos de control 	<ul style="list-style-type: none"> - Error en equipos que toman como referencia el paso por cero de la onda - Saturación de transformadores de medida y/o protección - Valores de magnitudes incorrectas

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word.

2.1.2. Armónicos según las Normas

La automatización de procesos industriales ha impulsado la incorporación de cargas no lineales, verdaderas fuentes de perturbación de los sistemas eléctricos, que inyectan armónicas de corriente, distorsionando su forma de onda. Al interactuar con la impedancia del sistema, ésta distorsiona el voltaje y provoca diferentes problemas en los equipos asociados al sistema. Para establecer responsabilidades entre consumidor y distribuidor, se han creado normas nacionales e internacionales, las cuales limitan los rangos permitidos de forma de onda de voltaje a suministrar por la distribuidora y a distorsionar por los consumidores.

2.1.2.1. NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)

Índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga. El índice está dado por la distorsión armónica de la corriente de carga medida en el punto de conexión.

Para tensiones mayores de 1 kV y potencias de carga mayores de 10 kW, se utiliza:

$$DATI = \left(\sqrt{\sum \frac{Ii^2}{I1}} \right) * 100$$

$$DAII = \left(\frac{Ii}{I1} \right) * 100$$

Donde:

- DATI = distorsión armónica total de corriente
- DAII = distorsión armónica individual de corriente
- I_i = componente de la intensidad de corriente de la armónica de orden i
- I_1 = componente de la intensidad de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz)

$$\Delta I_i = (I_i \text{ carga} - I_i \text{ límite})$$

Donde:

- $I_i \text{ límite}$: límite de tolerancia establecida para la intensidad armónica

El artículo 31 menciona el procedimiento a seguir para realizar el cálculo del índice de calidad de la distorsión armónica de la tensión (se hace mención en el párrafo anterior). El artículo 32 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para la distribución armónica de la tensión. El artículo 33 hace mención sobre el control a seguir para la distorsión armónica de tensión, el cual debe realizar cuatro mediciones mensuales, realizadas en los bornes de baja tensión de los transformadores media/baja tensión. El artículo 34 describe el procedimiento que debe seguir el usuario para ser indemnizado por distorsión armónica de tensión, al comprobar que las condiciones de la distorsión armónica han sobrepasado las tolerancias indicadas en el artículo 32.

El artículo 41 menciona el procedimiento a seguir para realizar el cálculo del índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga. El artículo 42 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para la distribución armónica de la corriente de carga, la cual afirma que la distorsión armónica de voltaje creada por una fuente de intensidad armónica obedecerá a

la potencia del cliente, del nivel de voltaje en el cual está conectado, y del orden de la armónica. El artículo 43 hace mención sobre el control a seguir para la distorsión armónica de la corriente de carga, la generación de armónicas por los consumidores será responsabilidad de los distribuidores, también el proceso para solucionar el problema con las operaciones necesarias, realizando las mediciones necesarias en los puntos que se requiere. El artículo 44 estipula el procedimiento a seguir cuando alguno de los clientes ha sobrepasado permisiblemente las tolerancias establecidas descritas en el artículo 42, el cliente tendrá que pagar una indemnización determinada en función a la distorsión al distribuidor.

- Los artículos del 31 al 35 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de la distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor.
- Los artículos del 41 al 44 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de la distorsión armónica de la corriente generada por el usuario.

2.1.2.2. Estándar IEC 61000-3-2

Establece los límites de distorsión de armónicos de corriente manejados en Europa, es necesario aclarar que los límites especificados, son definidos para el sistema eléctrico conectado a 220/380, 230/400 y 240/415 V operando a 50 o 60 Hz.

El estándar está limitado para equipos con emisiones de corrientes armónicas menores a 16 amperios. Para propósitos de limitar las corrientes armónicas se clasifican los equipos de la siguiente manera:

- Clase A: equipo trifásico balanceado, utensilios domésticos (no tomando en cuenta equipos clasificados como clase D), controladores de lámparas incandescentes y equipo de audio.
- Clase B: herramientas para soldar y equipos portátiles.
- Clase C: equipo de iluminación.
- Clase D: computadores personales y televisores.

2.1.2.3. Estándar IEEE 519

Este estándar fragmenta la función de determinar los armónicos entre los clientes finales y las empresas distribuidoras, los clientes finales tienen la responsabilidad de determinar las inyecciones de corriente armónica, mientras que los proveedores serán los responsables de determinar la distorsión del voltaje en la red de distribución.

Los límites de distorsión que los armónicos logran producir deben ser medidos en la frontera entre la empresa suministradora de energía y el usuario, quiere decir, en un punto de acoplamiento común (PCC). La distorsión que el usuario origina a la empresa de energía depende de las corrientes armónicas que le inyecte y de la pronta respuesta de impedancia del sistema a estas frecuencias, a partir de esto se establece que los límites de distorsión armónica permitida por los usuarios se deben medir en corrientes, no obstante, la distorsión que la empresa de energía le produce al usuario se mide en la forma de onda de la tensión en el punto de acoplamiento común.

Los límites de corriente y voltaje armónicos que estipula este estándar son analizados en un punto de acoplamiento común. La norma fija límites de la inyección de corriente tomando como base el tamaño de las cargas con base en el tamaño del sistema de potencia, mismo que estará determinado por la

capacidad de cortocircuito. La relación de cortocircuito está determinada como el equilibrio de corriente de cortocircuito máximo en el punto de acoplamiento común para la máxima demanda de corriente de carga en el punto de acoplamiento común.

El fundamento para limitar las inyecciones armónicas de los usuarios individuales radica en impedir niveles inadmisibles de distorsiones de voltaje, es por ello que los límites de corriente son establecidos de tal forma que la inyección armónica total para cada usuario individual no debe exceder la distorsión total de voltaje máximo estipulado en dicho estándar.

Tabla II. **Límites de corrientes armónicas**

Relación de cortocircuito en el PCC	Voltaje máximo individual de frecuencia armónica (%)	Casos supuestos
10	2,5 - 3,0	Sistema delicado
20	2,0 - 2,5	1 - 2 Clientes grandes
50	1,0 - 1,5	Cliente relativamente grande
100	0,5 - 1,0	5 -20 Clientes medianos
1 000	0,05 - 0,10	Muchos clientes pequeños

Fuente: Estándar IEEE 519-1992, tabla 10-1. *Basis for Harmonic Current Limits*. p. 76.

Los valores tabulados en la tabla II, nos desglosan los límites de corrientes armónicas para varios tipos de sistemas. Se observa que entre más pequeño sea el valor de la carga se permite un rango mayor de corriente armónica, que las cargas más extensas con valores inferiores de relación de cortocircuito. Deberán obedecer a límites más fieles de distorsión las cargas más grandes, estos ocupan un segmento más grande de la capacidad de carga del sistema.

Los límites de corrientes armónicas en el punto de acoplamiento común son instituidos para limitar voltajes individuales de distorsión armónica como también para las distorsiones totales de voltaje THDv como se muestra en la tabla III. Si partimos de la premisa que la distorsión de voltaje depende de la impedancia del sistema entonces al lograr controlar la distorsión de voltaje se controla directamente la impedancia del sistema. Las dos causas más comunes que da como consecuencia una impedancia alta es cuando el sistema es demasiado débil para alimentar la carga y cuando el sistema se encuentra en resonancia, este último es el más común, por ende, si mantenemos el voltaje de distorsión en valores mínimos lograremos que nuestro sistema se mantenga libre de resonancia.

Tabla III. **Límites de distorsión armónica de voltaje**

Voltaje nominal en el PCC, Vn (KV)	Voltaje de distorsión armónica individual (%)	Voltaje de distorsión armónica total THDv (%)
Vn ≤ 69	3,0	5,0
69 ≤ Vn ≤ 161	1,5	2,5
Vn > 69	1,0	1,5

Fuente: Estándar IEEE 519-1992, tabla 11-1. *Voltage Distortion Limits*. p. 85.

2.1.2.4. Estándar EN 50160

Esta norma hace énfasis sobre los niveles específicos requeridos de voltaje que debe ser entregado por las distribuidoras de energía eléctrica y también menciona métodos rigurosos para la evaluación de la conformidad del suministro.

Los límites de voltaje armónicos que proporciona esta norma están dados en porcentaje del voltaje fundamental y es aplicado a sistemas de BT o MT; para voltajes de no mayores a 35 kV. En la tabla IV se muestran los límites de voltaje armónicos. La distorsión armónica total del voltaje de alimentación incluye todos los armónicos hasta el 40, estos no deben sobre pasar el límite de 8 %. Los valores de distorsión de orden superior no son tomados en cuenta, sus valores son mínimos y se puede despreciar.

Tabla IV. **Límites de voltajes armónicos**

Armónicos impares				Armónicos pares	
Núm. múltiplo de 3		Múltiplo de 3		Orden h	Voltaje armónico (%)
Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden h	Voltaje armónico (%)		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6 - 24	0,5
13	3	21	0,2		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
Límites de voltaje armónico (En porcentaje de la fundamental o p.u.)					

Fuente: UNE-EN 50160. *Características de la tensión suministrada por las redes generales de la distribución.* p. 13.

2.2. Flicker

El flicker es la captación de la alteración de la luz de una lámpara, ocasionada por la oscilación de tensión de la red del sistema eléctrico. Quien lo percibe puede que tenga una sensación desagradable. Este fenómeno depende básicamente de la amplitud, frecuencia y duración de las oscilaciones de tensión que lo causan, éstas pueden oscilar entre los 0,5 - 25 Hz de frecuencia.

2.2.1. Flicker según las normas

A continuación, se presentan los armónicos según las normas.

2.2.1.1. NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)

El artículo 36 establece el índice de calidad de flicker en la tensión, dicho flicker debe ser medido por el índice de severidad de corto plazo (Pst), bajo la Norma IEC 61000-3-7. El artículo 37 indica que la tolerancia máxima del índice de severidad de flicker de corto plazo (Pst) debe ser menor o igual a uno. El artículo 38 hace mención sobre el control del flicker en la tensión, dichos controles se realizarán cuatro mediciones mensuales en los bornes de BT de los transformadores MT/BT. Dichos puntos serán propuestos a la comisión con un tiempo de anticipación de tres meses. El artículo 39 describe el procedimiento que debe seguir el usuario para ser indemnizado por flicker en la tensión al comprobar que las condiciones de flicker han excedido las tolerancias establecidas en el artículo 37.

El artículo 45 establece el índice de calidad de flicker generado por el usuario, este se establece por el índice de severidad de flicker de corto plazo (Pst), medido sobre las impedancias de referencia estipulado por la Norma IEC 61000-3-3. El artículo 46 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para el flicker generado por el usuario, sí el valor obtenido excede al rango de tolerancia en un lapso mayor al cinco por ciento correspondiente al período de medición, se concluye que la energía eléctrica es de mala calidad. El artículo 47 hace mención sobre el control del flicker generado por los usuarios, el flicker generado por los consumidores será responsabilidad de los distribuidores, también el proceso de las operaciones precisas para que se dé

una solución a los problemas, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios. La medición debe ser realizada bajo una impedancia de referencia que estipula la Norma IEC 61000-3-3. El artículo 48 estipula el procedimiento a seguir para compensar por el flicker generado por el cliente en casos en que los distribuidores comprueben que alguno de sus consumidores ha excedido permisiblemente las tolerancias establecidas que describe el artículo 46.

- Los artículos del 36 al 40 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de flicker en la tensión.
- Los artículos del 45 al 48 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de flicker generado por el usuario.

2.2.1.2. Norma IEC 61000-3-3

Este estándar proporciona los límites e indica los procedimientos de la evaluación para el equipo de baja tensión con corrientes nominales menores a 16 A.

El período de medición para los métodos de análisis de flicker es caracterizado por los dos siguientes criterios:

- Pst: es un valor medido sobre 10 minutos que califica la posibilidad de que las oscilaciones de tensión induzcan parpadeos perceptibles de la luz.
- Plt: es un valor de 2 horas de valores Pst (doce valores combinados en relación cubica).

Los límites serán aplicables a las fluctuaciones y parpadeos de tensión en las terminales de suministro de equipos bajo prueba. Los siguientes límites de aplicación son:

- El valor de Pst no deberá ser superior a 1,0.
- El valor de Plt no podrá ser superior a 0,65.
- El equipo no producirá una fluctuación relativa máxima, demanda máxima, de voltaje rms, no excederá a más del 4 %.
- Los cambios de voltaje de estado estable, de corriente directa, no excederá a más del 3 %.

2.3. Sags

Según el estándar EN-50160, un sag o hueco en el voltaje de alimentación se define de la siguiente forma: disminución brusca del voltaje de alimentación a un valor situado entre el 90 % y el 1 % del voltaje de alimentación declarada nominal, seguida del restablecimiento del voltaje después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de voltaje dura de 10 ms a 1 minuto.

La profundidad de un hueco de voltaje se define como la diferencia entre el voltaje eficaz mínima durante el hueco de voltaje y el voltaje declarada. Las variaciones de voltaje que no reducen el voltaje de alimentación a un valor inferior al 90 % del voltaje declarada nominal no se consideran como huecos de voltaje.

2.4. Swells

Según lo recomendado en el Standard IEEE 1159-1995, un swell se define como un aumento del voltaje eficaz de una duración comprendida entre 0,5

ciclos y 1 minuto. El tamaño típico de un swell comprende de entre el 110 % y el 180 % del voltaje nominal. De la misma manera que los huecos de voltaje, los swells son hechos generalmente por fallos en la red eléctrica, pero son menos habituales que los huecos de voltaje. Un swell puede ser producido por el fallo de la línea a tierra que puede ser originado al aumento de voltaje en la fase no afectada por el fallo. La magnitud del aumento del voltaje es función de la ubicación de fallo, de la impedancia del sistema y del modelo de conexión a tierra.

Tabla V. **Definición de swell IEEE 1159-1995**

Clasificación	Duración
Instantáneo	De 0,5 a 30 ciclos
Momentáneo	De 30 ciclos a 3 seg.
Temporal	De 3 seg. a 1 minuto

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.5. Interrupciones

Las interrupciones se definen como, una pérdida absoluta del voltaje durante un cierto tiempo.

Las interrupciones casualmente son el resultado de fallas en el sistema eléctrico, equipos dañados, realización de trabajos de mantenimiento, ampliación o modificación de las instalaciones, entre otros. Las interrupciones se caracterizan por su duración la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10 % de su valor nominal.

Según la norma IEEE 1159-1995, define que una interrupción se produce cuando el voltaje de alimentación es inferior a 0,1 p.u. durante un tiempo inferior a 1 minuto.

Tabla VI. **Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995 y EN50160**

Clasificación	Duración
Momentánea	De 0,5 ciclo a 3 segundos con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Temporal	De 3 segundos a 1 minuto con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Sostenida	Mayores a 1 minuto y magnitud de 0,0 p.u.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

De acuerdo con la recomendación que brinda la norma EN50160, una interrupción en el sistema eléctrico se define como: una condición en que la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1 % del voltaje nominal.

Según la Norma de Transmisión y Servicio de Distribución de la Comisión de Energía Eléctrica, se considera como interrupción a toda falla del suministro eléctrico en el punto de entrega. Para efectos de esta norma, las interrupciones inferiores a los tres minutos no se considerarán; incluido también las que sean calificadas como casos de fuerza mayor.

2.6. Factor de potencia

Según las Normas Técnicas del Servicio de Distribución de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, el valor mínimo para el factor de potencia se evalúa como, el dato mínimo aceptado para el factor de potencia se distingue de acuerdo con la potencia del usuario, de la siguiente forma:

Tabla VII. **Valor mínimo para el factor de potencia**

Usuarios con potencias de hasta 11 kW	0,85
Usuarios con potencias superiores a 11 kW	0,90

Fuente: Normas Técnicas del Servicio de Distribución, CNEE. Artículo 49.

La inspección se hará en la acometida o en el punto de medición del cliente, en lapsos menores a los siete días, examinando datos de energía activa y reactiva. El factor de potencia se establecerá, realizando mediciones en el período horario de punta como en el resto del día, acorde a lo mostrado a continuación:

$$Fpot_p = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2}}$$

Donde:

- $Fpot_p$ = factor de potencia para el período horario (p).
- $EnergAct_p$ = energía activa examinada en el lapso de tiempo de registro para el tiempo horario (p).
- $EnergReact_p$ = energía reactiva examinada en el lapso de tiempo de registro para el tiempo horario (p).

Todo lo referente a la compensación por bajo factor de potencia será introducido en el contrato entre el distribuidor y el cliente, estimando lo acordado en los pliegos tarifarios determinados por la comisión.

2.7. Cálculo de valores según norma NTSD

Cálculos realizados sobre la calidad de energía con base en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), sobre el estudio realizado en el Centro de Atención Permanente.

- Regulación de tensión para el edificio del Centro de Atención Permanente.

$$\Delta V_k (\%) = \frac{|(V_k - V_n)|}{V_n} \times 100$$

Donde:

- $\Delta V_k (\%)$ = índice de regulación de tensión
- $V_k = 238 \text{ V}$
- $V_n = 240 \text{ V}$

$$\Delta V_k (\%) = \frac{|(238 - 240)|}{240} \times 100$$

$$\Delta V_k (\%) = 0,83$$

Tabla VIII. Cálculos regulación de tensión

Líneas	V _k	V _n	ΔV _k (%)
L ₁	238	240	0,83
L ₂	237	240	1,25

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Factor de potencia

$$Fpot_p = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2}}$$

$$Fpot_p = \frac{88\ 260}{\sqrt{88\ 260^2 + 30\ 883^2}}$$

$$Fpot_p = 0,94$$

Tabla IX. **Cálculo factor de potencia**

Energía activa	Energía reactiva	Factor de potencia
88 260	30 883	0,94

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.8. **Definiciones relacionadas a instalaciones eléctricas**

Una instalación eléctrica es un grupo de componentes que pueden trasladar y distribuir la energía eléctrica a partir del lugar del suministro hasta los equipos que la usan. Entre los componentes que la componen se encuentran: tableros, medidores, luminarias, interruptores, transformadores, cables, conexiones, soportes y protecciones, entre otros.

A continuación, se hace mención de algunos elementos esenciales presentes en cualquier instalación eléctrica.

2.8.1. Tensión de servicio

Es el valor de la tensión existente en un punto cualquiera de una instalación en un momento determinado. Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Es decir, es el voltaje con que la electricidad pasa de un cuerpo a otro, por eso comúnmente se le denomina voltaje; su unidad de medida es el voltio.

2.8.2. Carga

Es una propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos, siendo, a su vez, generadora de ellos. La denominada interacción electromagnética entre carga y campo eléctrico es una de las cuatro interacciones fundamentales de la física. Desde el punto de vista del modelo normal la carga eléctrica es una medida de la capacidad que posee una partícula para intercambiar fotones.

2.8.3. Circuitos

El circuito eléctrico es el recorrido preestablecido por el que se desplazan las cargas eléctricas, dichas cargas establecen una corriente eléctrica que se trasladan de un punto de mayor potencial hacia un punto de menor potencial eléctrico. Para conservar permanentemente esa diferencia de potencial más conocida como tensión, en los extremos de un conductor, es necesaria una fuente que tome las cargas que lleguen desde un extremo y las traslade hasta el otro.

2.8.4. Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos y están predestinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones: medición, control, maniobra, protección, señalización y distribución.

El tablero es uno de los componentes más importantes de una instalación eléctrica, independientemente de su nivel de tensión, su tipo o tamaño. Los tableros adquieren las más variadas formas y dimensiones de acuerdo con la función definida que les toque ejercer, como pueden ser aquellos componentes que se usen en los distintos tipos de inmuebles, edificios e industrias.

2.8.5. Coordinación de protecciones

Consiste en la selección y configuración de la serie de dispositivos de protección desde la carga corriente arriba hasta la fuente de energía. Esto se logra con una comparación de los tiempos de operación como respuesta ante distintos niveles de sobrecorriente en todos los dispositivos. El objetivo es diseñar un sistema eléctrico coordinado selectivamente. Un estudio de coordinación de protecciones debe hacerse cuando la corriente de cortocircuito disponible de la fuente de energía se incrementa, cuando nuevas cargas grandes se agregan o los equipos existentes son reemplazados por unos de mayor tamaño, cuando una falla apaga gran parte del sistema, y cuando los dispositivos de protección se actualizan.

Un estudio de coordinación de protecciones asegura que los sistemas reaccionen de manera predecible ante una falla, así como saber cuánto tiempo estará presente antes que se tome una acción de protección. Mantener la

confiabilidad del sistema eléctrico es crucial para cerciorarse de que el servicio no se verá interrumpido y que los accidentes podrán evitarse.

Estos son los pasos que deben seguirse para realizar un estudio de coordinación de protecciones:

- Estudio de cortocircuito: se hace un análisis de las corrientes de falla disponibles en un sistema.
- Recolección de datos: recoge información adicional sobre la configuración y clasificación de los dispositivos de protección.
- Datos del fabricante: cada dispositivo de protección cuenta con características de respuesta, las cuales están documentadas en las curvas de tiempo corriente del fabricante.
- Análisis de computadora: si bien un estudio de coordinación de protecciones puede hacerse manualmente, resulta más sencillo realizarlo con un software especializado. Estos programas cuentan con una librería de curvas de tiempo corriente para la mayoría de los dispositivos presentes en los sistemas eléctricos. Los que no están en la librería pueden ingresarse para usarse posteriormente. El software permite al ingeniero determinar la configuración óptima que proveerá la mejor protección para el sistema. En algunos casos, la coordinación entre dos dispositivos no es posible. En este caso, el criterio de ingeniería se utiliza para fijar la configuración apropiada que minimizará el daño en el equipo.
- Tabulación de resultados: la configuración y clasificación de cada dispositivo de protección determinada a partir del análisis se representan en una tabla para compararlas con las de campo.

- Reporte final: describe el alcance del estudio, todos los supuestos, el origen de los datos, los resultados tabulados y las acciones correctivas recomendadas.

2.8.6. Protecciones eléctricas

En toda instalación eléctrica deben existir protecciones por seguridad para el personal y los equipos conectados. Estas protecciones deben calcularse para condiciones máximas de falla.

Se inicia por aclarar que los elementos de protección en un sistema eléctrico son los interruptores termomagnéticos, los interruptores de falla a tierra, los fusibles o una mezcla de ellos y cuya la finalidad fundamental es:

- Preservar los conductores y el equipo colocado contra efectos desmedido de temperatura.
- Preservar de una sobrecorriente (toda corriente eléctrica en desmedido, la cual puede ser generada por una sobrecarga, un cortocircuito).

Estos elementos son los que se encargan de detener la energía eléctrica cuando hay una falla en el sistema eléctrico. Una mala o no adecuada elección del componente, coloca en peligro la seguridad de todos aquellos que se encuentren a su alrededor.

2.8.6.1. Interruptores electromagnéticos

Son elementos de uso generalizado para instalaciones eléctricas, desarrollan funciones de conexión, desconexión y protegen al circuito de cortocircuitos y sobrecargas.

Está formada por una caja plástica hecha con terminales, una para encajar a la barra del tablero y la otra para la salida mediante el conductor y una palanca para el accionamiento que puede ser manual o motorizado.

El sistema de disparo del interruptor termomagnético funciona mediante el almacenamiento de energía mecánica por la compresión de un resorte, cuando se cierran los contactos, se oprime el resorte en donde se almacena la energía, al operar el interruptor ya sea por sobrecarga o cortocircuito la energía almacenada se libera separando los contactos.

2.8.6.2. Prueba de disparo

A continuación, se presentan los diferentes tipos de pruebas que se le realizan a los interruptores termomagnéticos.

La curva de disparo de los interruptores termomagnéticos nos dice para cada intensidad el tiempo que tardará en abrir el interruptor. Se divide en dos zonas, la zona de disparo térmico, produciéndose una apertura lenta; y la zona de disparo magnético, produciéndose una apertura rápida.

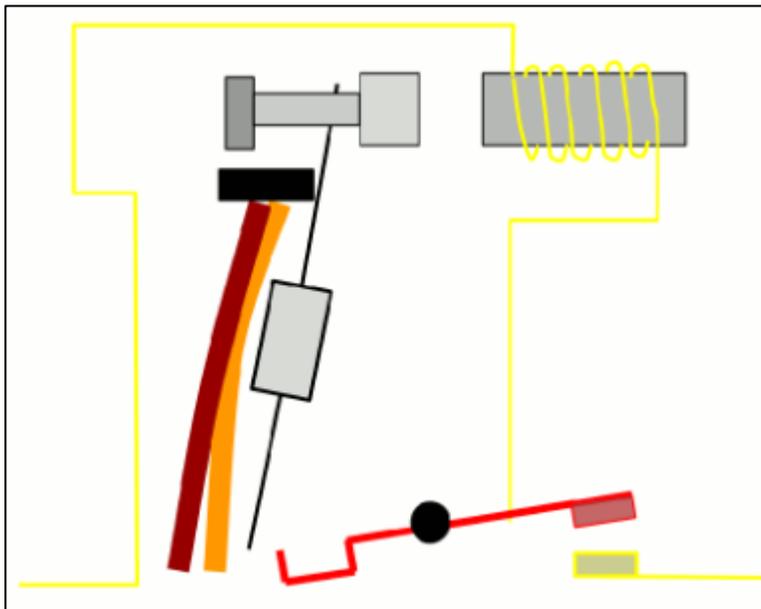
2.8.6.3. Prueba de disparo térmico

La prueba de disparo se realiza cuando la intensidad circula por un elemento conductor paralelo a una placa bimetálica, acalorándola en función de I^2 y el tiempo, de igual manera a la disipación del dispositivo.

Al acalorarse, la placa bimetálica se arquea, impulsando una palanca del dispositivo de disparo, en la cual las conexiones se separan deprisa por la acción de un resorte estirado. Al dispararse, la palanca que se encuentra afuera

queda en una postura intermedia, mostrando el disparo. Para cerrar el circuito nuevamente hay que bajar la palanca para restablecer el mecanismo de disparo y seguidamente subirla.

Figura 5. **Gráfica prueba de disparo térmico**

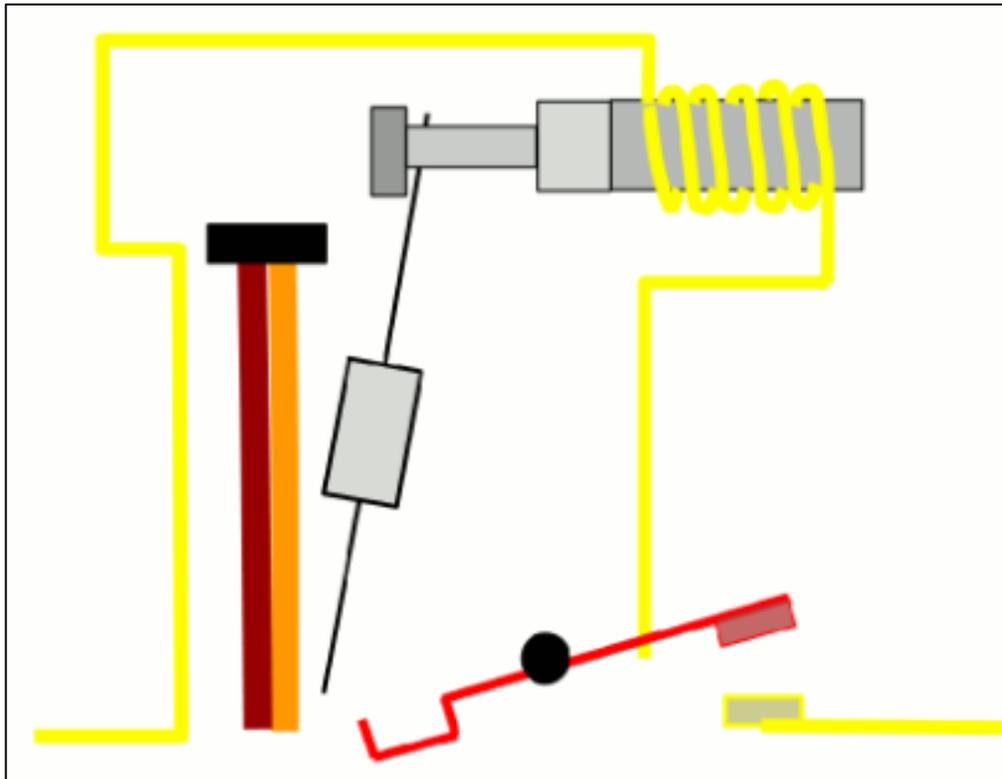


Fuente: Schneider Electric. *Especialistas en sistemas de monitoreo y calidad de energía.*
<https://www.se.com/gt/es/>. Consulta: 28 de julio de 2019.

2.8.6.4. Prueba de disparo magnético

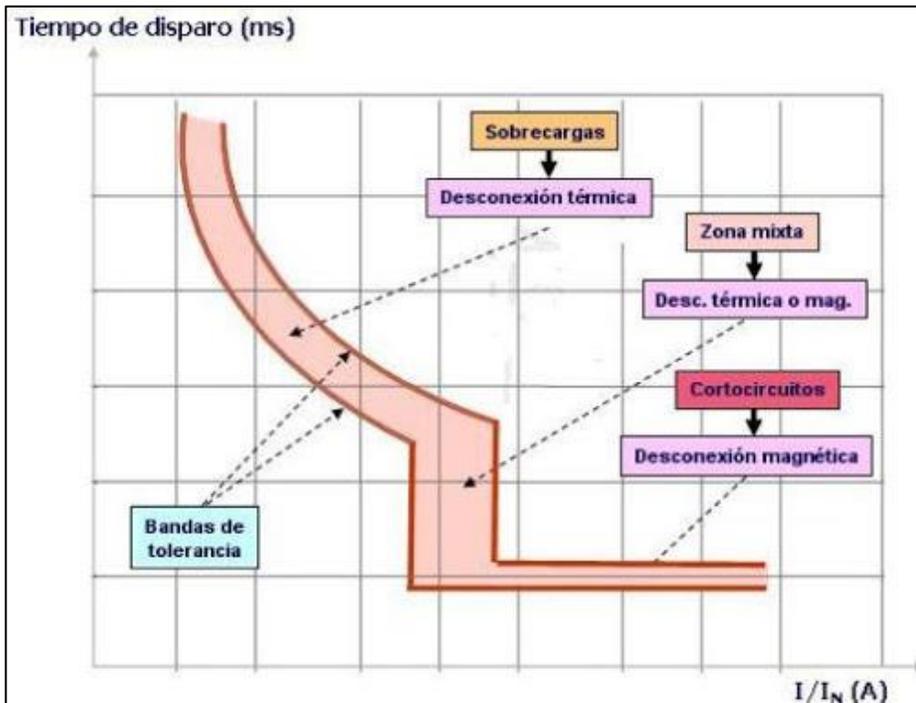
El disparo magnético se emplea para una protección más eficaz en caso de cortocircuito. Está conformada por una bobina enlazada en serie con la intensidad, que, al exceder un cierto valor, atrae su armadura, que este entrelazado mecánicamente en el dispositivo de disparo. El componente magnético es ajustable generalmente en cuanto a la intensidad de disparo, el tiempo es invariable, casi momentáneo.

Figura 6. **Gráfica prueba de disparo magnético**



Fuente: Schneider Electric. *Especialistas en sistemas de monitoreo y calidad de energía.*
<https://www.se.com/gt/es/>. Consulta: 28 de julio de 2019.

Figura 7. Curva de disparo térmico y disparo magnético

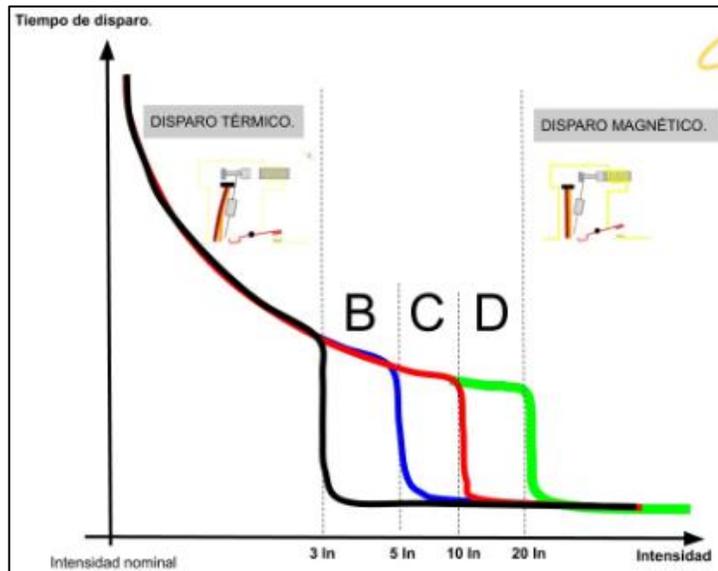


Fuente: Schneider Electric. *Especialistas en sistemas de monitoreo y calidad de energía.*

<https://www.se.com/gt/es/>. Consulta: 28 de julio de 2019.

- Tipo de curvas: en función de la intensidad en la que comienza el disparo magnético tenemos diferentes tipos de curvas.
- Curva B: protección de líneas e instalaciones sin puntas de corriente; corriente disparo magnético: 3 - 5 Inominal.
- Curva C: protección de líneas generales; corriente disparo magnético: 5 - 10 Inominal.
- Curva D: cargas con grandes puntas de arranque, motores, transformadores; corriente disparo magnético: 10 - 20 Inominal.

Figura 8. Tipos de curvas



Fuente: Schneider Electric. *Especialistas en sistemas de monitoreo y calidad de energía.*
<https://www.se.com/gt/es/>. Consulta: 28 de julio de 2019.

2.9. Eficiencia energética

La eficiencia energética es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y hábitos culturales.

En todos los escenarios, las mejoras de la eficiencia energética en los edificios, equipos y sistemas, el transporte, la industria, el comercio y la generación de electricidad representan los ahorros de mayor nivel y de menor costo, para la optimización del consumo energético y la reducción de los impactos ambientales de los gases efecto invernadero a corto plazo.

La eficiencia energética busca proteger el medioambiente mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más. Las emisiones de CO2 que enviamos a la atmósfera son cada vez mayores y, por ese motivo, la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar al planeta ya que, no solo está en usar electrodomésticos que consuman menos, sino en que seamos nosotros quienes consumamos menos y de forma más verde.

Los propósitos que se persigue por medio de la eficiencia energética son:

- Reducir indicador de intensidad energética.
- Lograr beneficios económicos y sociales.
- Modificar el mercado, gestión y hábitos.
- Mitigar impactos ambientales.

2.9.1. Beneficios de la eficiencia energética

Desde el punto de vista de un consumidor de energía, la motivación principal de la eficiencia energética a menudo es simplemente ahorrar dinero al reducir el costo de la compra de energía. Además, desde el punto de vista de la política energética, ha habido una larga tendencia en un reconocimiento más amplio de la eficiencia energética como el primer combustible, es decir, la capacidad de reemplazar o evitar el consumo de combustibles reales.

A nivel general, se detallan algunos beneficios que se buscan a través de la eficiencia energética:

- Económicas
 - Mejora la productividad y competitividad empresarial.

- Mejora el acceso a mercados protegidos por barreras arancelarias.
- Reduce o difiere las necesidades de inversión en la industria energética.
- Tiene efectos positivos sobre el sector externo -balanza de pagos, al contribuir a reducir las importaciones de derivados del petróleo.
- Reduce los presupuestos públicos y libera recursos.
- Mejora la seguridad del abastecimiento energético.
- Impacta positivamente sobre la demanda agregada.

- Sociales
 - Disminuye la factura energética en los hogares.
 - Facilita el acceso a fuentes nuevas y modernas de energía.

- Tecnológicas
 - Impulsa la mejora tecnológica y el desarrollo del conocimiento.

- Ambientales
 - Mitiga los efectos negativos sobre el ambiente.
 - Conserva la energía no renovable e incrementa la disponibilidad futura.

Figura 9. **Beneficios de la eficiencia energética**



Fuente: e4e soluciones. *Autoconsumo fotovoltaico con energía solar*. www.e4e-soluciones.com.

Consulta: 30 de julio de 2019.

2.9.2. **Cálculo de la eficiencia energética**

La eficiencia energética no es otra cosa que optimizar los sistemas o métodos para el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles. Este concepto es aplicable tanto a las industrias como al sector residencial. En cuanto a los hogares, se refiere a implementar opciones en cuanto a los sistemas de energía utilizados para obtener el mismo o un mejor resultado del actual con una reducción de los niveles de consumo actuales.

En otras palabras, con respecto a la iluminación, por ejemplo, en lugar de instalar bombillas incandescentes, optar por bombillas led o ahorradoras, que cumplen la misma función, pero con un ahorro energético, o alternar estas con la instalación de tragaluces que permitan un mayor aprovechamiento de la luz solar. Todo esto es medible y cuantificable. Por ello, a través de esta entrada

le ayudaremos a ver más claramente todo lo relacionado con el cálculo de la eficiencia energética.

En la actualidad, las normas ISO, específicamente la Norma ISO 50001, representan uno de los estándares más aplicados para medir o calcular la eficiencia energética. Sin embargo, cada sector consumidor de energía tiene sus propios procedimientos y métodos para medir el consumo de energía contra sus resultados y de esta manera obtener un cálculo objetivo y ajustado a la realidad.

Para el cálculo de la eficiencia energética, se toman en cuenta indicadores que miden los consumos de energía a través del tiempo en unidades, y sus variaciones. La eficiencia energética se relaciona con el uso de la intensidad de la energía, pero no es igual. Estos conceptos en realidad, son diametralmente opuestos, mientras mayor intensidad de energía utilizada, menor será la eficiencia en el uso de la energía.

Figura 10. **Eficiencia energética**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

3. DATOS ACTUALES Y EN FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

3.1. Centro de Atención Permanente

El edificio del Centro de Atención Permanente actualmente forma parte del distrito IV de Sacatepéquez, tiene más de 10 años de estar en funcionamiento como CAP y 40 años estuvo en funcionamiento como puesto de salud, fue construido para brindar cuidados para la salud y atender emergencias a todos los habitantes de la población, incluyendo sus aldeas.

3.1.1. Alimentadores

El edificio cuenta con una entrada principal, del lado izquierdo del primer nivel podemos localizar el tablero de distribución principal, de ese tablero se derivan los circuitos de distribución para cada uno de los dos niveles del edificio, la característica del servicio es un sistema monofásico de tres conductores tipo THW AWG calibre número 4, con una conexión directa de un transformador de 50 KVA autoprotegido colectivo montado en un poste de madera con una estructura tipo I bandera (figura 11) a 15 metros del tablero principal, por el tipo de conexión del transformador proporciona un voltaje nominal en el secundario de 120/240 V.

Figura 11. **Estructura monofásica tipo I bandera**



Fuente: Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

3.1.1.1. Conductores

Actualmente el edificio es alimentado por un sistema monofásico de tres hilos para alimentar el tablero principal, la alimentación para el tablero secundario y los diferentes circuitos se realiza del tablero principal, con las siguientes características; alimentadores monofásicos de cuatro hilos, todos los conductores son tipo THW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 75 °C.

Tabla X. **Calibre de conductores tablero general**

Núm.	Descripción	Conductor THW
F1	Fase 1	Núm. 4
F2	Fase 2	Núm. 4
N	Neutro	Núm. 4
GND	Tierra física	Núm. 4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.1.2. Tableros eléctricos

Se cuenta con un tablero principal con barras adecuadas para la capacidad de carga de consumo del edificio, el tablero principal no cuenta con un interruptor general, realizando una inspección visual el tablero se encuentra en buen estado; y en el segundo nivel del edificio existe un tablero secundario de distribución.

Tabla XI. **Especificaciones del tablero principal**

Capacidad de barra	200 amperios
Núm. de polos	30
Tensión nominal	120/240
Núm. de fases	2
Con los siguientes ramales	13 de 1 x 20 amperios 1 de 2 x 30 amperios 1 de 2 x 40 amperios 1 de 1 x 50 amperios

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XII. **Especificaciones del tablero secundario**

Capacidad de barra	125 amperios
Núm. de polos	12
Tensión nominal	120/240
Núm. de fases	2
Con los siguientes ramales	8 de 1 x 20 amperios 2 de 2 x 50 amperios

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIII. **Carga actual y disponibilidad en el tablero principal**

		Uso Amp.	Disponible Amp.	% Uso	% Disponible
Conductores 3 THW 200 Amp.	Fase A	106,4	93,6	53,2	46,8
	Fase B	130,2	69,8	65,1	34,9
		118,3	81,7	59,15	40,85
Núm. de fases	2				
Interruptor principal	Núm cuenta				
Potencias					
L1	2 360				
L2	4 650				
Potencia total	7 010				
Voltaje	240				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se establece que un conductor debe transportar solo el 60 % de su carga nominal para que no sufra calentamiento por sobrecarga, en este caso en los cálculos con corrientes pico la fase B sobrepasa dicho porcentaje, pero está lejos de que el conductor llegue a sufrir una sobrecarga. La fase A en ningún momento sobrepasa el porcentaje permitido.

3.1.1.3. Tipos de cargas

En su mayoría, el edificio utiliza carga no lineal; esta clase de carga comúnmente se encuentra en dispositivos y equipos eléctricos o electrónicos, donde el ahorro energético y el empleo eficaz de la electricidad es el semblante más importante. Entre las cargas no lineales que se encontraron en el edificio están las lámparas fluorescentes, computadoras y elementos de calefacción.

3.1.2. Circuitos ramales

Son derivaciones que se realizan desde un centro de distribución, actualmente cuenta con circuitos ramales para alimentar las diferentes cargas finales, se derivan circuitos para alimentar el sistema de iluminación, los circuitos de fuerza, alimentación de ventiladores, circuito para computadoras, equipos de alimentación para imprenta, bomba de agua, y los diferentes equipos que se encuentran distribuidos para los diferentes niveles del edificio.

3.1.2.1. Conductores

Los conductores utilizados para la alimentación de los diferentes ramales son de diferentes calibres según la corriente demandada por la carga puntual o un conjunto de cargas distribuidas, todos los conductores son tipo THW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 75 °C.

Tabla XIV. **Conductores del tablero principal**

Núm. de circuito	Conductor THW	Capacidad de <i>breaker</i> (amperios)
1,2,3,4,5,8,9,10,11,12,13,14,15	12	20
6	8	30
16	8	40
7	8	50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XV. **Conductores del tablero secundario**

Núm. de circuito	Conductor THW	Capacidad de <i>breaker</i> (amperios)
1,2,3,4,6,7,8,9	12	20
5,10	8	50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

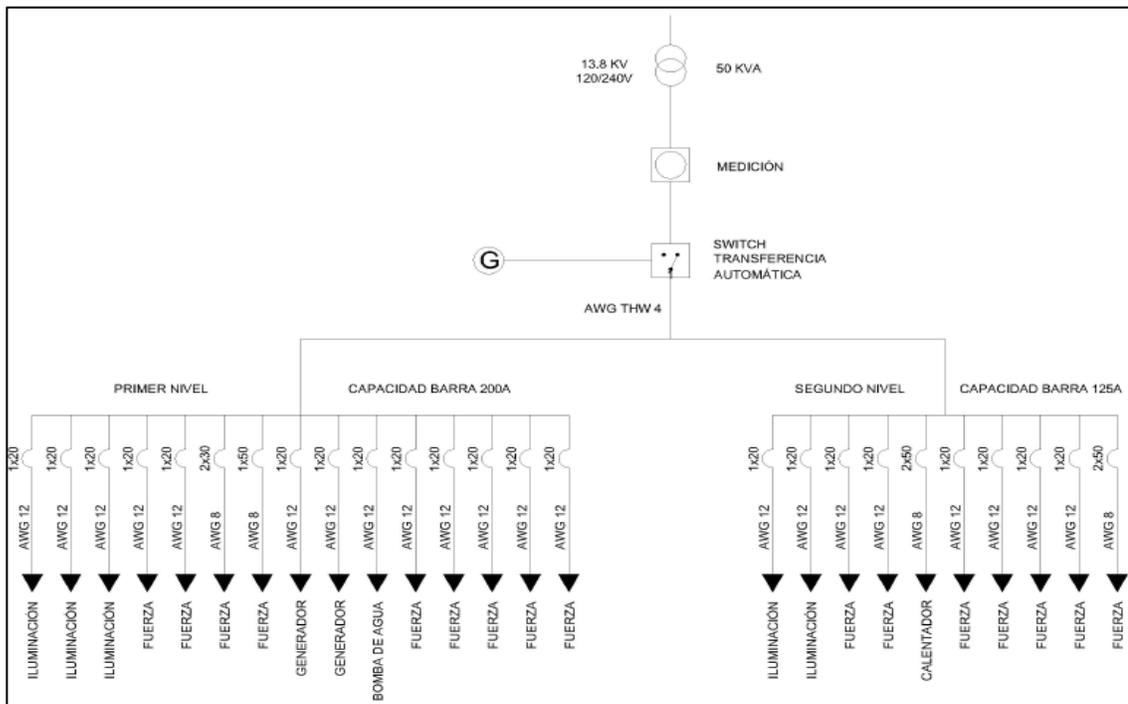
3.1.2.2. Tipos de cargas

En gran parte la carga instalada corresponde a computadoras de escritorio y lámparas tipo led. La demás carga está distribuida en refrigeradoras, una bomba de agua para abastecer a todo el edificio, equipos varios para atender a todos los pacientes del centro y una serie de circuitos para fuerza, iluminación y abastecer las necesidades eléctricas para uso del edificio.

3.1.2.3. Diagrama unifilar del Centro de Atención Permanente

A continuación, se presenta el diagrama unifilar del Centro de Atención Permanente.

Figura 12. Diagrama unifilar



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

3.2. Iluminación

La evaluación de suministro lumínico del edificio del Centro de Atención Permanente se realizó por medio de verificaciones y cuantificaciones de unidades de iluminación por cada área, cantidad de luxes existentes en cada

ambiente, estado de los difusores, altura óptima de cada luminaria, temperatura de color, eficiencia lumínica en cada ambiente, deficiencias presentadas por área y aprovechamiento de la luz en general en toda la instalación.

3.2.1. Características de las luminarias

Las luminarias instaladas en los ambientes interiores como salas de espera, pasillos, servicios sanitarios y la mayoría de las oficinas son bombillas tipo led de 15 watts, este tipo de luminaria es conocida como una bombilla que posee una larga vida útil, una gran eficacia energética, un encendido instantáneo y tienen gran calidad de luz comparada con los otros tipos de luminarias.

3.2.2. Total de luminarias

Luego del recuento de luminarias en toda la instalación, se recabó la siguiente información:

Tabla XVI. **Total de luminarias**

Ubicación	Luminaria	Cantidad
Pasillos, bodegas, sanitarios, exteriores	Bombillas ahorradoras (pequeñas)	34
Pasillos, bodegas, sanitarios, oficinas, sala de partos	Bombillas ahorradoras (grandes)	14
Farmacia, clínica de emergencia, postparto	Lámparas led (4 x 16w)	5
Pasillos, bodegas, sanitarios, sala de partos, oficinas	Bombillas led	46
Total de luminarias en el edificio		99

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2.3. Consumo eléctrico por luminaria

La potencia de cada una de las luminarias instaladas en el Centro de Atención Permanente se detalla en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla XVII. **Consumo eléctrico por luminaria**

Luminaria	Potencia individual (W)	Potencia total (W)
Bombillas ahorradoras (pequeñas)	32	1 088
Bombillas ahorradoras (grandes)	45	630
Lámparas led (4 x 16 w)	16	320
Bombillas led	15	690
Consumo eléctrico total en iluminación		2 728

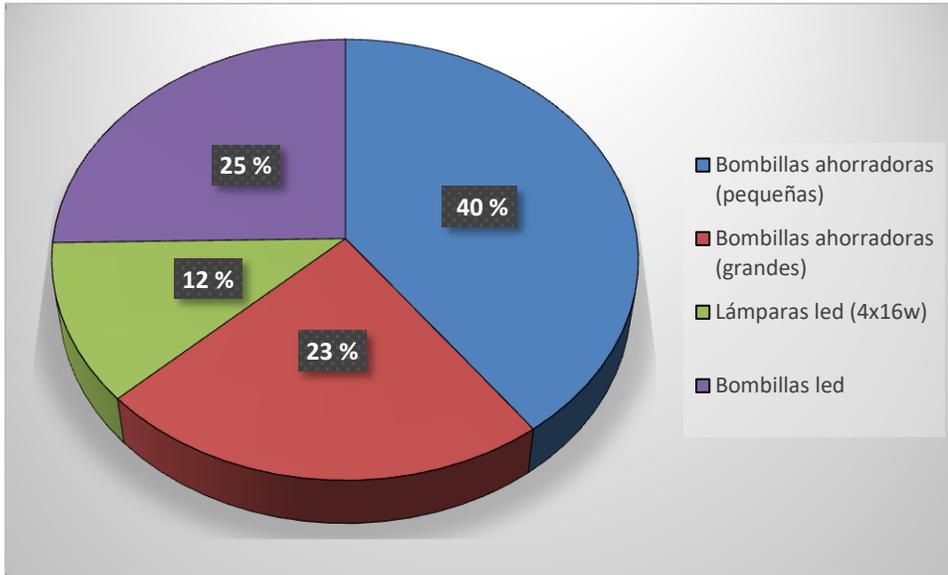
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2.4. Análisis de los resultados de consumo eléctrico por iluminación

El consumo eléctrico total del sistema de iluminación del Centro de Atención Permanente se encuentra mayormente predominado por el consumo de las bombillas tipo led que se encuentran en funcionamiento en mayor parte del edificio; cabe resaltar que las bombillas ahorradoras son las que presentan un mayor consumo eléctrico en comparación con las demás luminarias.

En la figura 13 se presenta la proporción en la cual se consume energía eléctrica a través de las luminarias, actualmente en funcionamiento dentro del edificio.

Figura 13. Consumo de energía eléctrica de luminarias en el CAP



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2.5. Medición del nivel de iluminación

Para la medición del nivel de iluminación de los diferentes ambientes del edificio, se utilizó un luxómetro marca AEMC modelo CA813, es un instrumento industrial que permite medir de manera sencilla y rápida la iluminancia real y no subjetiva de cada ambiente para la toma de muestreo de las distintas áreas para obtener el nivel de iluminación.

Tabla XVIII. Nivel de iluminación actual

Área o Departamento	Nivel de Iluminancia (lux)		Colores ambiente			Dimensiones		
	Actual	Recomendado	Techo	Piso	Pared	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Primer nivel								
Control prenatal	218	300	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,20	3,00
Sanitario 1	175	200	Blanco	Gris	Verde	2,35	1,30	3,00
Psicología	107	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,05	3,00
Nebulización	210	300	Blanco	Gris	Verde	4,85	3,05	3,00
Clínica general 1	168	300	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,40	3,00
Muestreo	132	300	Blanco	Gris	Verde	3,45	3,25	3,00
Entrada	97	200	Blanco	Gris	Verde	3,70	3,05	3,00
Recepción	103	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,95	3,00
Sala de espera 1	96	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,90	3,00
Pasillo 1	157	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	3,05	3,00
Bodega 1	110	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Sanitario 2	115	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Refrigeración de vacunas	140	300	Blanco	Gris	Verde	5,85	5,25	3,00
Escaleras	223	150	Blanco	Gris	Verde	7,00	1,10	3,00
Inmunización	186	300	Blanco	Gris	Verde	3,85	3,25	3,00
Pasillo 2	160	200	Blanco	Gris	Verde	2,75	1,55	3,00
Planificación familiar	153	300	Blanco	Gris	Verde	5,85	3,25	3,00
Sanitario 3	115	200	Blanco	Gris	Verde	1,85	1,75	3,00
Clínica general 2	110	300	Blanco	Gris	Verde	3,05	3,00	3,00
Pasillo 3	180	200	Blanco	Gris	Verde	11,95	1,85	3,00
Oficina 1	132	500	Blanco	Gris	Verde	3,85	1,55	3,00
Esterilización	144	300	Blanco	Gris	Verde	3,85	1,55	3,00
Clínica de emergencia	359	500	Blanco	Gris	Verde	3,05	3,00	3,00
Odontología	200	500	Blanco	Gris	Verde	3,85	3,25	3,00
Bodega 2	155	200	Blanco	Gris	Verde	1,85	1,60	3,00
Laboratorio	150	500	Blanco	Gris	Verde	3,05	2,85	3,00
Farmacia	292	500	Blanco	Gris	Verde	5,85	5,25	3,00
Segundo nivel								
Sala de partos 1	106	300	Blanco	Gris	Verde	5,85	3,25	3,00
Sanitario 4	175	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	2,15	3,00
Pasillo 4	212	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	1,50	3,00
Bodega 3	180	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	1,20	3,00
Sala de partos 2	155	300	Blanco	Gris	Verde	5,85	3,25	3,00
Sala de espera 2	134	200	Blanco	Gris	Verde	6,40	3,85	3,00
Postparto	557	100	Blanco	Gris	Verde	5,85	3,25	3,00
Sanitario 5	277	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	2,15	3,00
Pasillo 5	190	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	1,50	3,00
Lockers	165	200	Blanco	Gris	Verde	3,05	1,20	3,00
Estadística	175	300	Blanco	Gris	Verde	4,50	3,25	3,00
Oficina 2	162	500	Blanco	Gris	Verde	3,05	2,90	3,00
Oficina 3	160	500	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,90	3,00
Oficina 4	182	500	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,80	3,00
Oficina 5	110	500	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00

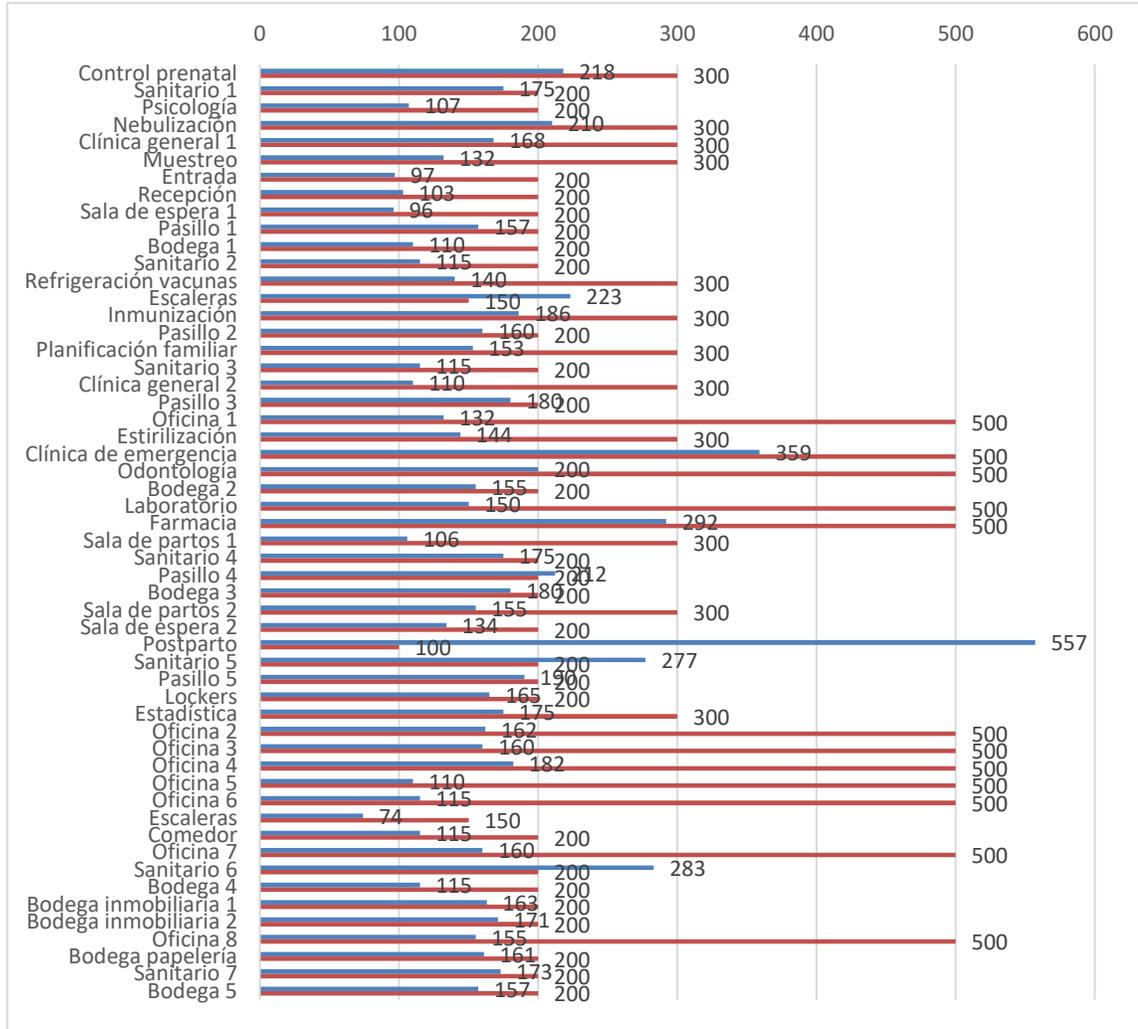
Continuación de la tabla XVIII.

Área o Departamento	Nivel de Iluminancia (lux)		Colores ambiente			Dimensiones		
	Actual	Recomendado	Techo	Piso	Pared	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Oficina 6	115	500	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Escaleras	74	150	Gris	Gris	Verde	6,45	1,10	3,00
Comedor	115	200	Blanco	Gris	Verde	9,95	3,05	3,00
Oficina 7	160	500	Blanco	Gris	Verde	5,85	3,25	3,00
Sanitario 6	283	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Bodega 4	115	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Bodega inmobiliaria 1	163	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,80	3,00
Bodega inmobiliaria 2	171	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,90	3,00
Oficina 8	155	500	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,90	3,00
Bodega papelería	161	200	Blanco	Gris	Verde	3,25	2,80	3,00
Sanitario 7	173	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00
Bodega 5	157	200	Blanco	Gris	Verde	1,80	1,45	3,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla anterior se observa que la iluminación dentro del Centro de Atención Permanente es muy baja, la tabla nos muestra los valores actuales y los valores según lo recomendado por la Norma UNE-EN 12464-1. Se recomienda cambiar el sistema de iluminación en todo el edificio, los empleados y pacientes se encuentran con niveles de luz que están por debajo de los recomendados, esto puede afectar en su salud, estado de ánimo y nivel de *comfort* laboral.

Figura 14. Resultados de la medición de la intensidad lumínica



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se llevó a cabo la medición de la intensidad lumínica en las distintas áreas del CAP dando como resultado un valor promedio de luxes para cada área como se muestra en la siguiente figura 14. Lo mostrado en azul es la medición realizada y lo mostrado en rojo es lo recomendado por la norma.

En la gráfica anterior se observa que más del 90 % de las áreas del Centro de Atención Permanente no cumplen con el requerimiento mínimo de iluminación indicado por la Norma UNE-EN 12464-1.

Las áreas más afectadas y con los niveles más críticos de iluminación (casi nulos) a las que se les debería dar importancia y atender las deficiencias para que no presenten un perjuicio a la salud son:

- Entrada principal, 97 luxes.
- Sala de espera, 96 luxes.
- Escaleras, 74 luxes.

Esta deficiencia en los niveles de iluminación por área es causada, en su mayoría, por la cantidad de luminarias quemadas o en mal estado, la mala e incorrecta ubicación de estas.

3.3. Equipos eléctricos

Los aparatos electrónicos y los equipos especiales que se utilizan en el Centro de Atención Permanente son los que consumen mayor cantidad de energía eléctrica. En los siguientes apartados, se detalla el total de equipos, el consumo eléctrico por cada uno, el tiempo promedio de operación de los mismos, el total de consumo eléctrico diario y el análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipo.

3.3.1. Total de equipos

Se realizó un levantamiento eléctrico en todo el edificio mediante el cual se obtuvo el listado total de equipos que se encuentran funcionando en el Centro de Atención Permanente, también la cantidad que hay en existencia de cada uno de ellos. Dicha información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XIX. **Total de equipos que se encuentra actualmente funcionando**

Equipo	Cantidad
Ultrasonido	1
Incubadora	1
Computadora de escritorio	11
Computadora portátil	4
Fotocopiadora	1
Impresora	2
Impresora láser	4
Cafetera	2
Ventilador	3
Televisor	2
Cañonera	1
Microonda	1
Agitador	1
Centrífuga	1
Estirilizador	1
Nebulizador	2
Calentador	1
Bomba de agua	1
Unidad dental	1
Lámpara cuello de ganzo	1
Lavadora	1
Secadora	1
Refrigerador	5
Congelador	1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.2. Consumo eléctrico por equipo

Con base en los manuales del fabricante de cada uno de los equipos y en los datos técnicos de las etiquetas de cada uno de ellos, se determinó el consumo individual y total que implica el funcionamiento de estos. A continuación, se resumen dicha información a través de una tabla.

Tabla XX. Consumo eléctrico por equipo

Equipo	Consumo individual (W)	Consumo total (W)
Ultrasonido	104	104
Incubadora	300	300
Computadora de escritorio	125	1 375
Computadora portátil	60	240
Fotocopiadora	1 320	1 320
Impresora	10	20
Impresora láser	1 068	4 272
Cafetera	600	1 200
Ventilador	55	165
Televisor	95	190
Proyector	170	170
Microonda	1 524	1 524
Agitador	58	58
Centrífuga	240	240
Estirilizador	7 680	7 680
Nebulizador	106	212
Calentador de agua	8 000	8 000
Bomba de agua	750	750
Unidad dental	1 000	1 000
Lámpara cuello de ganzo	35	35
Lavadora	1 320	1 320
Secadora	720	720
Refrigerador	170	850
Congelador	230	230
Consumo total en equipos		31 975

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.3. Tiempo promedio de operación de cada equipo

Por medio de entrevistas al personal que labora en cada área del Centro de Atención Permanente, se determinó un tiempo promedio de utilización de los aparatos eléctricos instalados en cada área del edificio, siendo los resultados recabados los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XXI. Tiempo promedio de operación de cada equipo

Equipo	Tiempo promedio de uso (horas)	Consumo total (Wh/día)
Ultrasonido	1	104
Incubadora	0,12	36
Computadora de escritorio	7	9 625
Computadora portátil	7	1 680
Fotocopiadora	1	1 320
Impresora	1	20
Impresora láser	1	4 272
Cafetera	5	6 000
Ventilador	4	660
Televisor	15	2 850
Proyector	0,9	153
Microonda	3	4 572
Agitador	1,2	70
Centrífuga	3	720
Estirilizador	2	15 360
Nebulizador	3,3	700
Calentador de agua	1	8 000
Bomba de agua	2	1 500
Unidad dental	6	6 000
Lámpara cuello de ganzo	0,12	4
Lavadora	2	2 640
Secadora	2	1 440
Refrigerador	24	20 400
Congelador	24	5 520
Consumo total en equipos		93 645

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

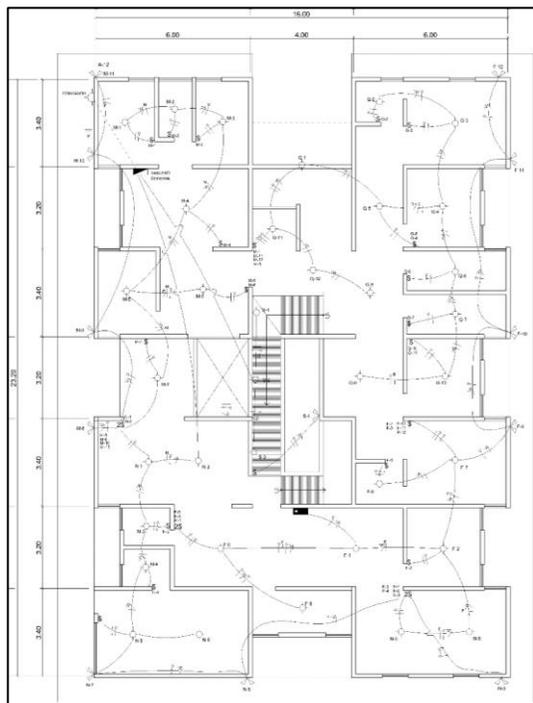
3.3.4. Total de consumo eléctrico diario

Según las tablas XIX, XX y XXI mostradas anteriormente en las que se especifica la potencia de cada uno de los equipos instalados en el Centro de Atención Permanente y el tiempo de operación de cada uno de ellos se determinó que el consumo eléctrico diario debido a equipos eléctricos es de 93,6 KWh/día.

3.3.4.1. Diagramas de iluminación y fuerza

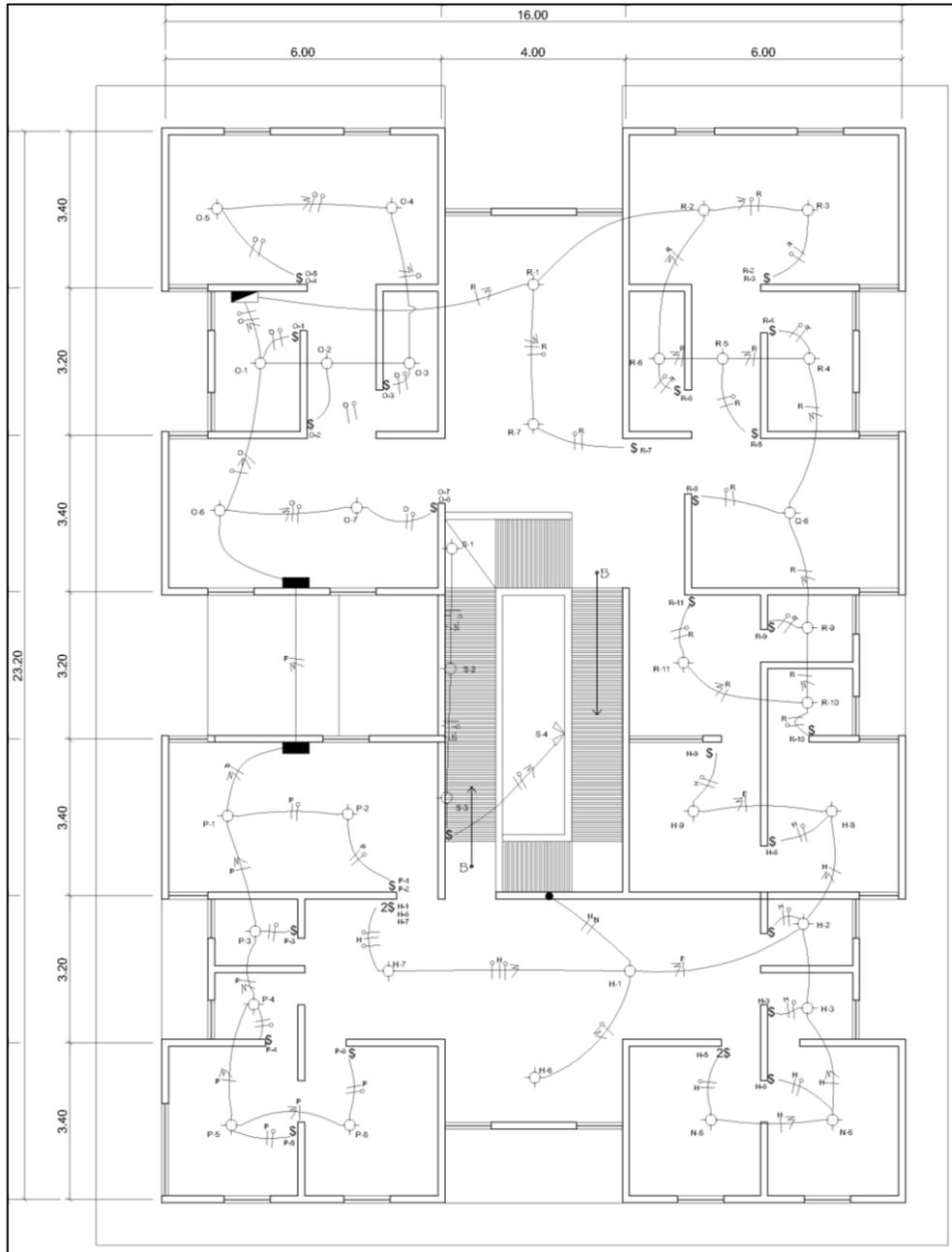
A continuación, se presentan los diagramas de iluminación y fuerza de ambos niveles del Centro de Atención Permanente.

Figura 15. Diagrama de iluminación del primer nivel



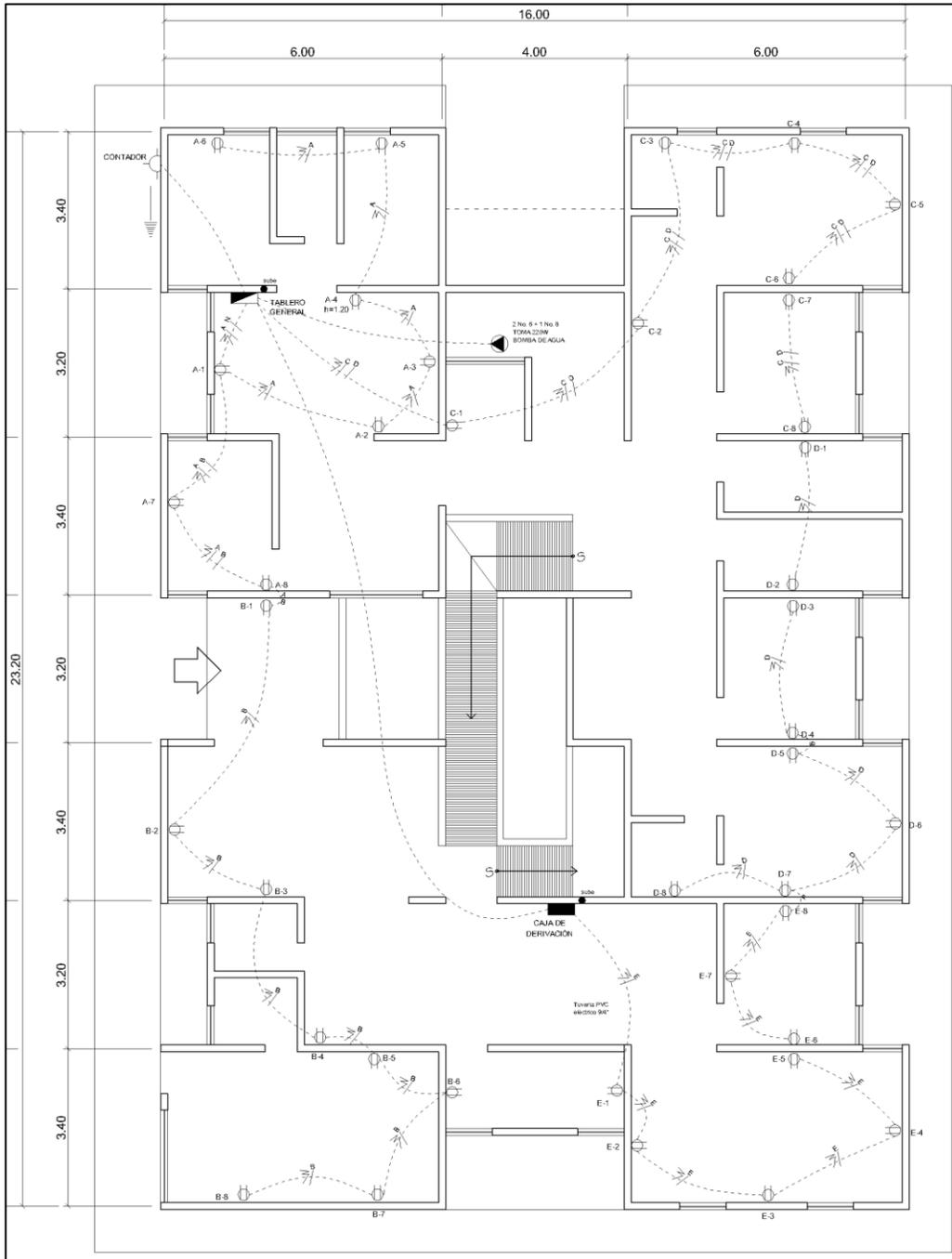
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Figura 16. Diagrama de iluminación del segundo nivel



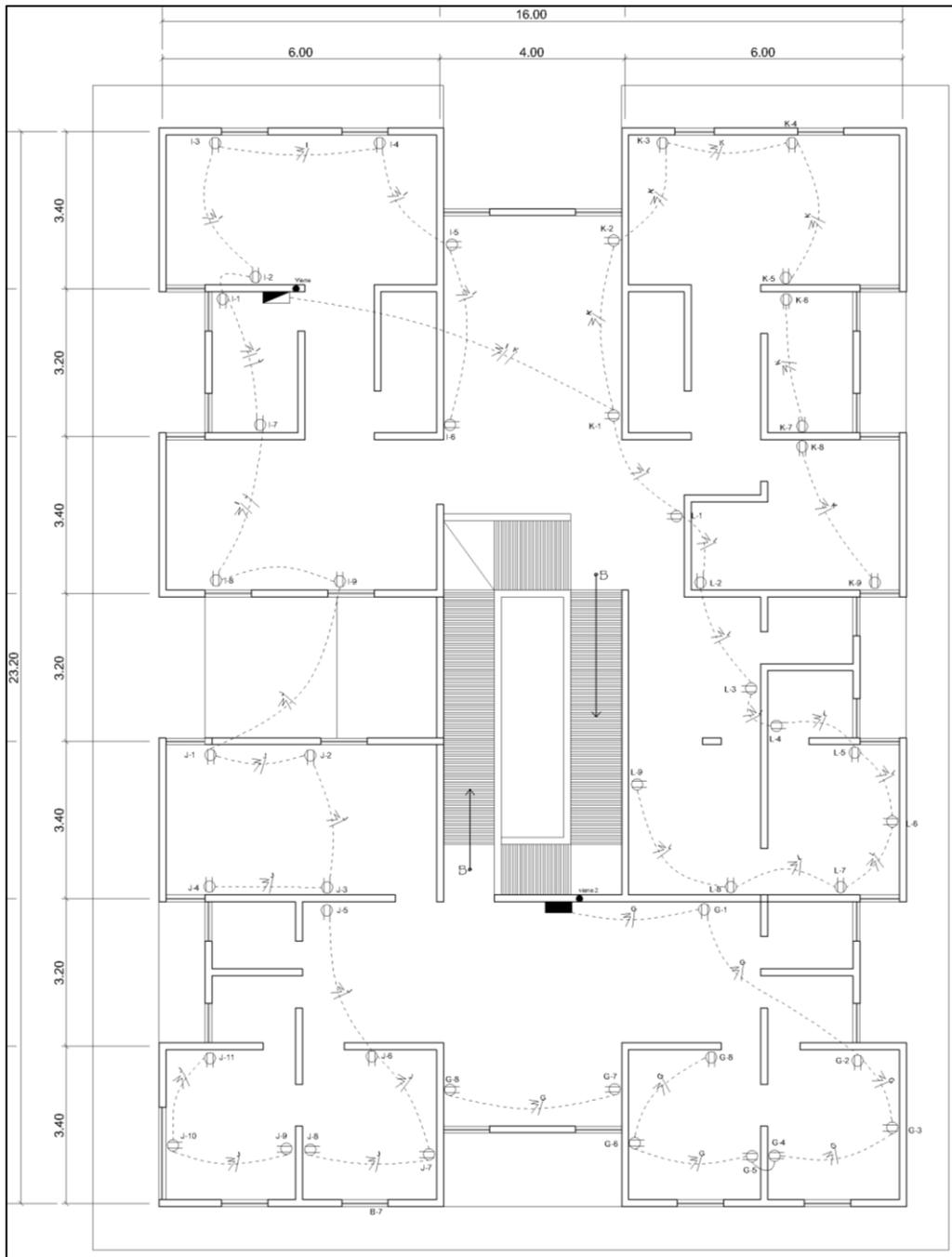
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Figura 17. Diagrama de fuerza del primer nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Figura 18. Diagrama de fuerza del segundo nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

3.4. Termografía

La termografía infrarroja es un método sin contacto y no destructivo, que está fundamentado en la radiación térmica que los cuerpos manifiestan, esta fuerza se radia en forma de ondas electromagnéticas que corren a la velocidad de la luz por medio del aire o por otro tipo de transporte y está en conexión directa con su temperatura, esto no dice, cuánto más cálido se encuentra la materia, la energía emitida será mucho mayor y una inferior longitud de onda tendrá esa energía. Comúnmente, la transmisión se hace en longitudes de onda mucho más grande a las que el ojo del ser humano es capaz de percibir, en conclusión, el espectro de emisión es invisible e infrarrojo.

3.4.1. Cámara termográfica

Es un instrumento para mensurar la temperatura sin la necesidad de tener contacto alguno. Las cámaras termográficas hallan la energía infrarroja emitida por todos los elementos a temperaturas mayores al cero absoluto (0° Kelvin) y transforman el factor de la energía en una interpretación de temperatura o termograma.

Un termograma es la figura térmica de la materia que está emitiendo la energía infrarroja, presentada por la cámara.

3.5. Análisis termográfico de la instalación eléctrica

Se realiza con el fin de detectar anomalías que usualmente no se pueden percibir a simple vista. Esto se lleva a cabo capturando imágenes digitales y térmicas, con la ayuda de la cámara termográfica y ésta a la vez determina la severidad del problema.

Los factores principales que intervienen en la elevación de temperatura en los puntos de contacto son:

- Conexiones mal fijadas.
- Desbalance de cargas.
- Corrientes pico.
- Sobrecargas (conductores, flipones, barras).
- Llegar al 80 % de la capacidad nominal del dispositivo eléctrico.
- Dispositivo dañado o que haya vencido su vida útil por uso.
- Por presentar resistencia elevada indica que posiblemente exista corrosión en las conexiones.
- Sumatoria de campos electromagnéticos.
- Superficies de contacto sucias o no uniformes.
- Soldaduras agrietadas.
- Defectos de aislantes.
- Daños en fusibles internos.
- Conexión de cables sueltos.

Tabla XXII. **Clasificación de fallos en relación a la temperatura**

Temperatura	Clase	Recomendación
$\Delta T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	A	Gran discrepancia; reparar inmediatamente
$21\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	B	Monitorear hasta que se puedan lograr las medidas correctivas
$11\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	C	Indica probable deficiencia; reparar si el tiempo lo permite
$1\text{ }^{\circ}\text{C} \Delta T \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	D	Posible deficiencia; justifica una investigación

Fuente: ANSI/MTS-07. *Norma para Especificaciones de Pruebas de Mantenimiento para Equipos y Sistemas de Distribución Eléctrica.* p. 18.

Figura 19. **Captura termográfica del tablero general**



Fuente: elaboración propia, empleando cámara termográfica Fluke TiS45.

En la figura 19 se observa una imagen tomada con la cámara termográfica marca Fluke modelo TiS45 del tablero general del Centro de Atención Permanente, podemos observar que no existe ningún sobrecalentamiento en las barras de las fases y el neutro.

Figura 20. **Área con mayor temperatura en el tablero**



Fuente: elaboración propia, empleando cámara termográfica Fluke TiS45.

En la figura 20 se observa que hay dos puntos calientes, las cuales son los flipones 11 y 12 que corresponden al circuito del generador instalado en el edificio, con una temperatura de 22,4 °C. Esto podría atribuirse a que el punto tenga corrosión o que los bornes no están apretados adecuadamente.

En las figuras 19 y 20 mostradas se puede observar que ambas figuras tienen una temperatura de 22,4 °C. Haciendo énfasis de la tabla XXII, éste nos indica que se encuentran dentro del rango de clase B de la clasificación de fallos ($21\text{ °C} < \Delta T \leq 40\text{ °C}$). Dicha tabla indica que hay una anomalía que requiere monitorear hasta que se puedan lograr las medidas correctivas.

4. MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

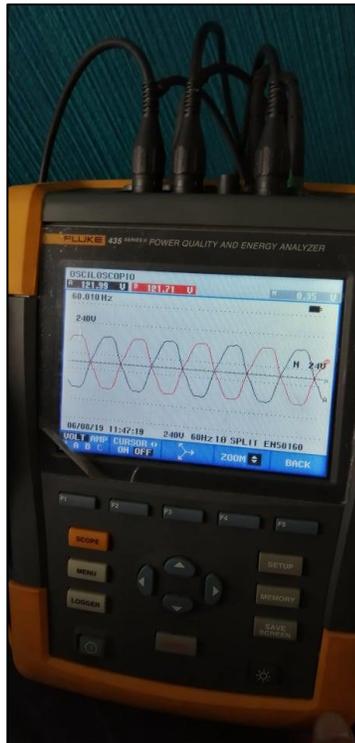
4.1. Analizador de redes

El analizador de redes eléctricas es un instrumento que permite analizar diferentes propiedades de una instalación. Se centra especialmente en los parámetros directamente del voltaje y corriente, calcular potencia y energías activas, factor de potencia, consumos máximos y mínimos, armónicos, flickers entre otros parámetros; y los datos que arroja permiten llevar un control exacto del consumo de energía eléctrica.

4.1.1. Características del analizador de redes

Para realizar el análisis de calidad de energía eléctrica se optó por utilizar el analizador Fluke 435 clase A, el cual fue instalado por una semana en el tablero general del Centro de Atención Permanente, de esta manera diagnosticar de manera global la calidad de energía eléctrica del edificio, cabe mencionar que este analizador se rige bajo los límites de la Norma EN 50160, aunque tiene la flexibilidad que el usuario pueda ingresar valores requeridos para un análisis más puntual.

Figura 21. **Analizador Fluke 435 clase A**



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

4.1.1.1. Incerteza

La incertidumbre en la medida de un instrumento de clase A establece que tendrá una exactitud de 0,1 % en la medición de voltaje y corriente; además especifica que la medida debe ser contigua y no sobrepuesta a lo largo de un período de 10 ciclos con una frecuencia de 60 Hz.

4.1.1.2. Método de medición e instalación del equipo

Antes de realizar cualquier conexión física es importante saber qué tipo de configuración eléctrica alimenta el edificio, para configurar de la misma manera el analizador y darnos las mediciones correctas.

Primero, se procede a colocar los lagartos de voltaje en cada fase. Si no se tiene la certeza de la secuencia de fase, no hay problema el monitor del analizador de redes nos indica por fasores la secuencia correcta.

Segundo, se procede a colocar las sondas amperimétricas alrededor de cada grupo de conductores por fase que alimentan las cargas. Cada sonda tiene en el extremo una flecha que señala la dirección de la carga y en la cual nos indica la forma correcta de realizar la conexión.

En tercer lugar, se observó en la pantalla del analizador que los fasores estén correctamente, para evitar obtener datos erróneos, luego se procede a introducir datos generales como; tipo de conexión, voltaje nominal, fecha, asignación de nombre, entre otros. Después de ello, se puede elegir en el menú la Norma EN 50160 y automáticamente el equipo optará en seleccionar todos los parámetros a medir que establece la norma.

Después de que se haya programado todos los parámetros que se desea obtener durante el período del análisis que según la norma debe ser de 7 días, se procede a dar run (el analizador empieza a tomar datos), todos los valores programados serán almacenados en la memoria interna del analizador de redes para luego ser descargado.

Figura 22. **Instalación del analizador Fluke 435 clase A**



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

4.1.1.3. Monitoreo de eventos

La pantalla del analizador Fluke 435 permite visualizar valores en tiempo real tales como: voltaje y corriente de cada línea, voltajes pico y rms, factor de potencia, desbalances, potencia activa, reactiva y aparente, flicker, y entre muchas más. Toda esta información puede ser de utilidad al momento que se desea monitorear lo que sucede en un preciso momento y tomar decisiones.

4.1.1.4. Software para extracción de datos

El software Power Log 430 II es la herramienta que permite descargar todos los datos que el analizador almacenó en su memoria interna durante los días en que el equipo estuvo conectado en el edificio. Esta descarga se hace a través de un cable de comunicación del analizador con entrada en uno de los extremos tipo USB para lograr comunicación con cualquier computadora.

4.2. Parámetros de medición sobre eficiencia energética

Los parámetros de medición más importantes a tomar en cuenta son los siguientes: fluctuaciones, huecos de tensión, sobretensiones, cortas y largas interrupciones; sin dejar atrás el factor de potencia y la distorsión armónica.

4.2.1. Curva de carga diaria

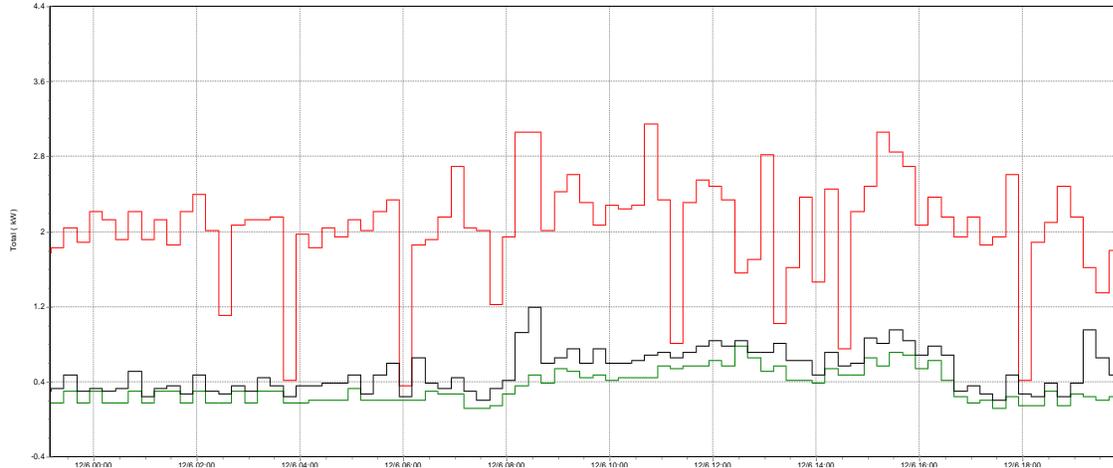
La curva de demanda diaria nos permite observar el comportamiento de la carga en función del tiempo durante el período de 24 horas ininterrumpidamente.

4.2.1.1. Curva de demanda diaria de potencia activa

Es un indicador del requerimiento de energía en watt-hora de la instalación completa; la curva potencia activa versus tiempo en el lapso de un día.

En la figura 23 se puede observar que el valor máximo fue de 3,15 kW el miércoles 12 a las 10:54:52 horas.

Figura 23. **Curva de demanda diaria de potencia activa**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Tabla XXIII. **Resumen de potencia activa máxima diaria**

Período de medición 11/06/2019 al 18/06/2019			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Miércoles 12	02:09:59	2,10 kW
Línea 2	Miércoles 12	10:54:52	2,81 kW
Total	Miércoles 12	10:54:52	3,15 kW

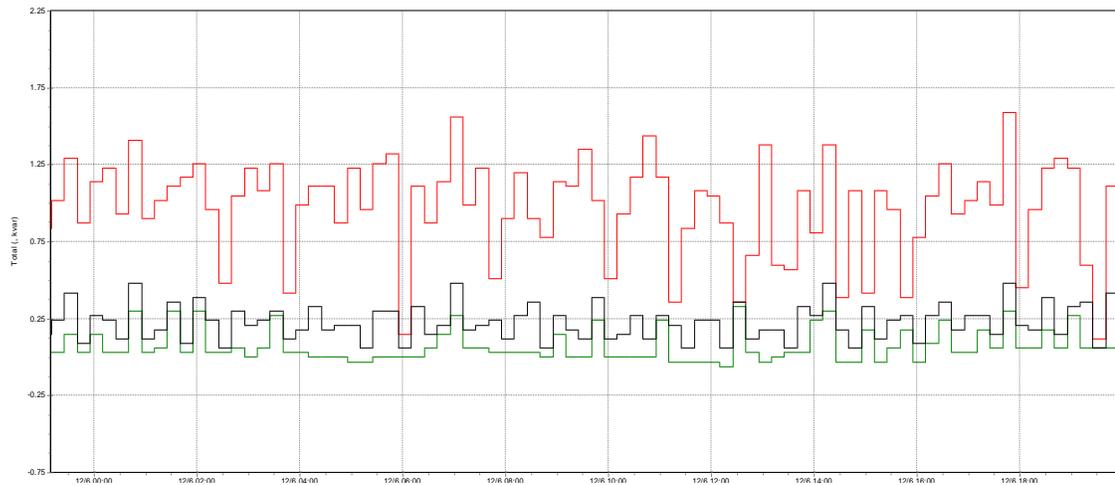
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.1.2. **Curva de demanda diaria de potencia reactiva**

Esta curva nos proporciona información sobre la cantidad de kilovoltio amperios reactivos (kVar) que necesita la instalación para su funcionamiento, de acuerdo con las características existentes en la instalación actual.

En la figura 24 se observa que el valor máximo fue de 1,59 kVar el miércoles 12 a las 17:54:52 horas.

Figura 24. **Curva de demanda diaria de potencia reactiva**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Tabla XXIV. **Resumen de potencia reactiva máxima diaria**

Período de medición 11/06/2019 al 18/06/2019			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Miércoles 12	17:09:52	0,96 kVar
Línea 2	Miércoles 12	10:54:52	1,40 kVar
Total	Miércoles 12	17:54:52	1,59 kVar

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.2. Curva de carga semanal

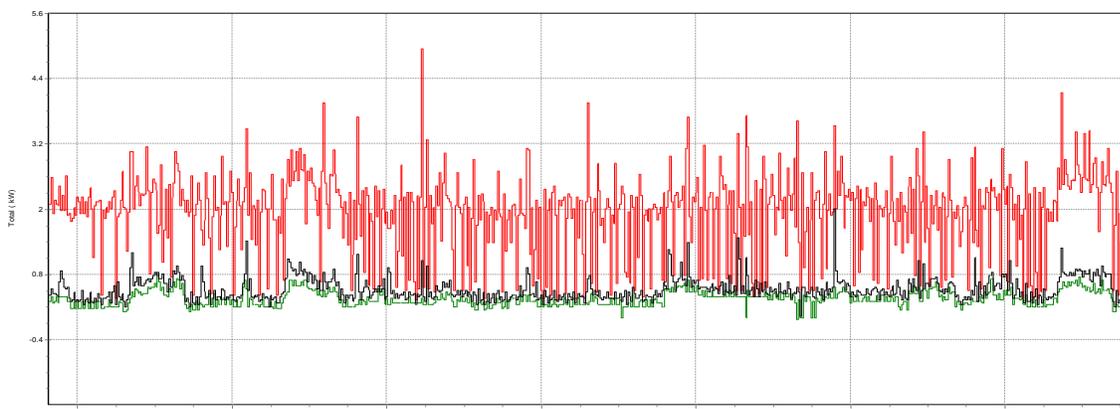
Esta curva proporciona información recopilada en un período mayor (más de 160 horas en este caso), con el fin de conocer el comportamiento más estable y predecible de la carga en estado permanente.

4.2.2.1. Curva de demanda semanal de potencia activa

Esta curva es muy interesante y brinda suficiente información cuando se trata de realizar un análisis más detallado en cuanto a costo de operación, esta curva es una herramienta para calcular costos y pérdidas de energía.

En la figura 25 se puede observar la demanda semanal de potencia activa comprendida del martes 11 de junio al martes 18 del mismo mes; el valor máximo de potencia activa fue de 4,95 kW el día viernes 14 a las 05:39:52 horas.

Figura 25. Curva de carga semanal de potencia activa



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Tabla XXV. **Resumen de potencia activa máxima semanal**

Período de medición 11/06/2019 al 18/06/2019			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Domingo 16	10:54:52	2,36 kW
Línea 2	Viernes 14	05:39:52	4,65 kW
Total	Viernes 14	05:39:52	4,95 kW

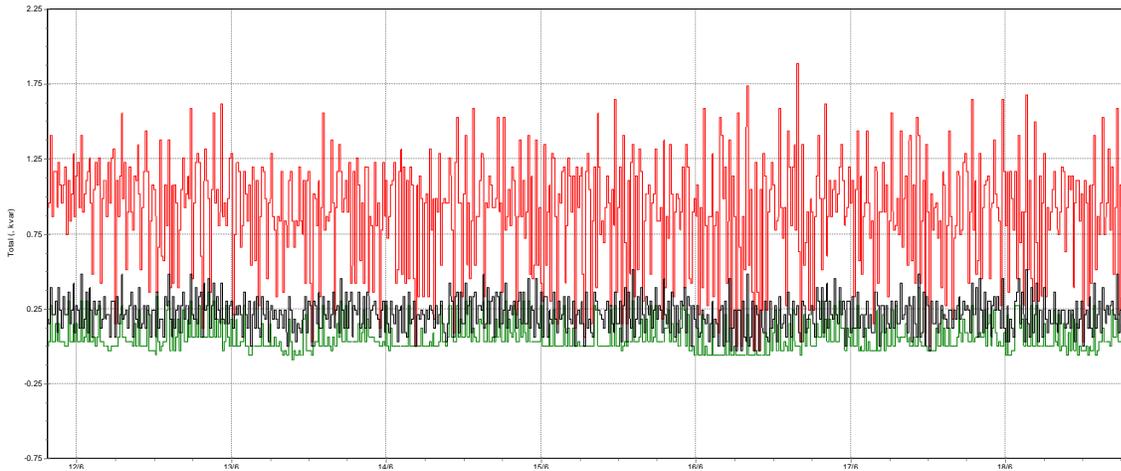
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.2.2. Curva de demanda semanal de potencia reactiva

La curva semanal de potencia reactiva muestra la cantidad diaria y semanal de kVar que el sistema necesita para funcionar correctamente. Esta gráfica es muy útil si se desea la instalación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia y para conocer la cantidad de potencia reactiva que se está requiriendo de la red de distribución existente actualmente.

En la figura 26 se puede observar la demanda semanal de potencia reactiva comprendida del día martes 11 de junio al martes 18 del mismo mes; el valor máximo de potencia reactiva fue de 1,89 kVar el día domingo 16 a las 15:54:52 horas.

Figura 26. **Curva de carga semanal de potencia reactiva**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Tabla XXVI. **Resumen de potencia reactiva máxima semanal**

Período de medición 11/06/2019 al 18/06/2019			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Domingo 16	17:54:52	1,02 kVar
Línea 2	Domingo 16	08:09:52	1,53 kVar
Total	Domingo 16	17:54:52	1,89 kVar

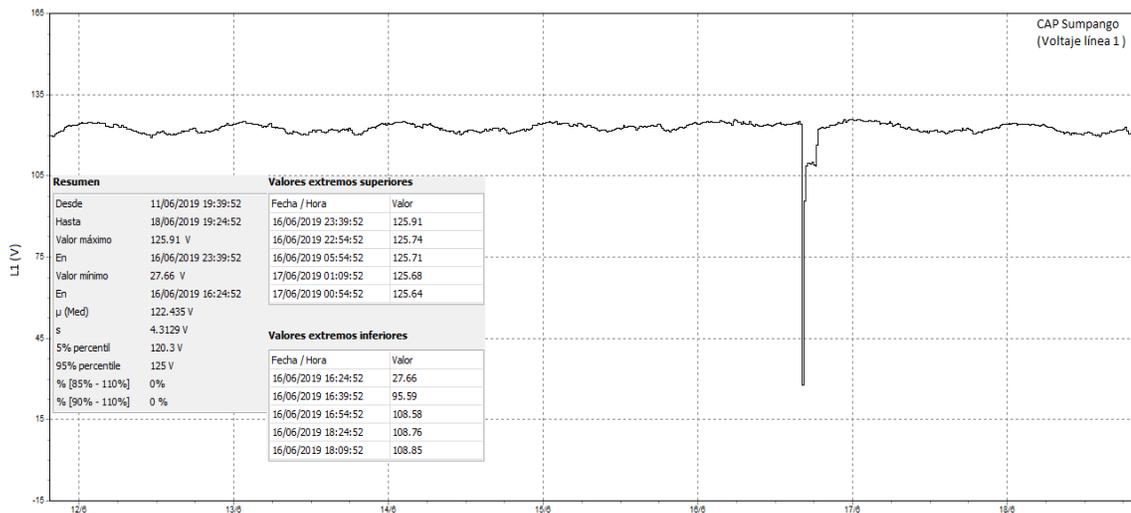
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.3. Voltajes

El voltaje tiene un comportamiento similar en las dos líneas a lo largo del tiempo como se muestra en las figuras 27 y 28, se puede observar que en ambas líneas presentan rangos de variación de entre 117 a 125 voltios.

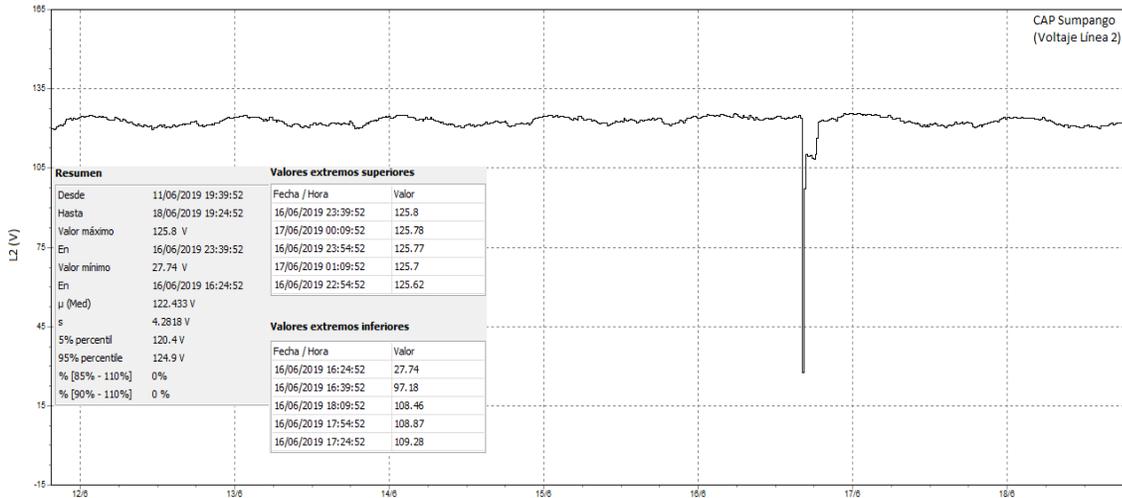
No se observan diferencias marcadas en las distintas ondas de tensión, por lo que se concluye que el sistema está operando de forma satisfactoria; a excepción de un lapso de tiempo del día domingo 16 entre las 16:24:52 y 18:39:52 horas, en ese lapso ocurrió una interrupción de energía eléctrica y eso derivó que también hubiese caídas de tensión, es por eso que en las gráficas se muestran con claridad esas interrupciones y caídas de tensión.

Figura 27. Voltaje línea 1



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Figura 28. Voltaje línea 2



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.4. Corrientes

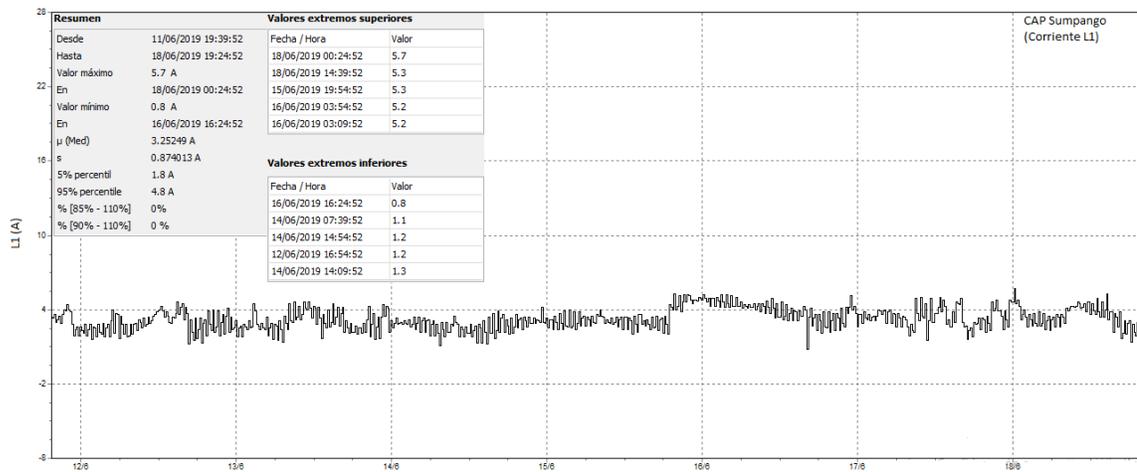
En las figuras 29 y 30 se muestran los resultados obtenidos en las ondas de corriente en las dos fases del sistema, estas gráficas permiten una evaluación sobre los comportamientos de dichas ondas en el tiempo y con respecto a la carga en ese momento.

Se puede observar en la gráfica de cada línea que el comportamiento característico de cada una de ellas difiere entre sí. La demanda de corriente se mantiene constante todos los días, esto debido a que el servicio que presta el Centro de Atención Permanente funciona 24/7.

La no similitud entre las gráficas indica que las cargas conectadas en cada línea no están compartidas correctamente, esto podría suceder debido a que los equipos que se encuentran en el edificio los utilizan conforme a la necesidad

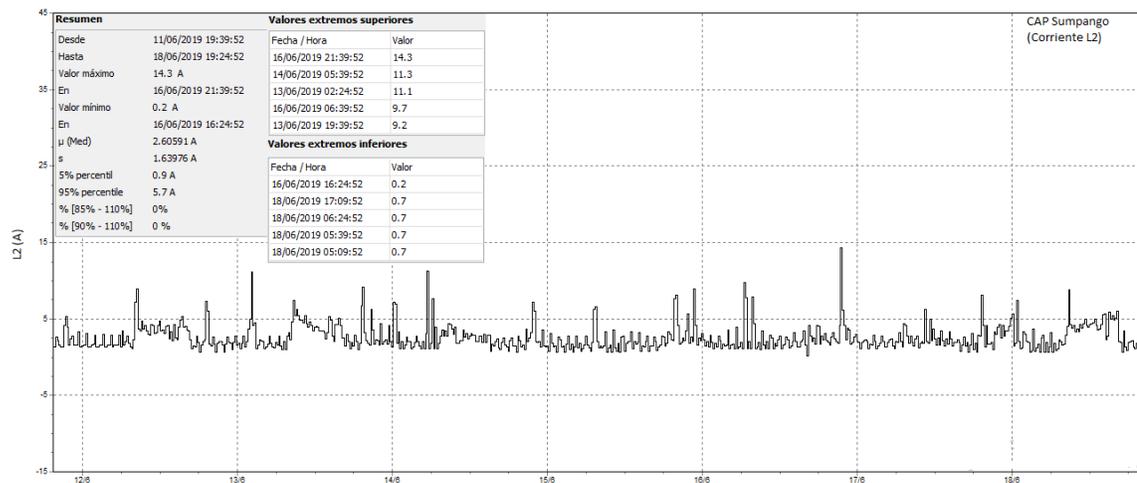
o emergencias que se pueden presentar, por lo cual hay equipos que no se utilizan con frecuencia.

Figura 29. Corriente línea 1



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

Figura 30. Corriente línea 2



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

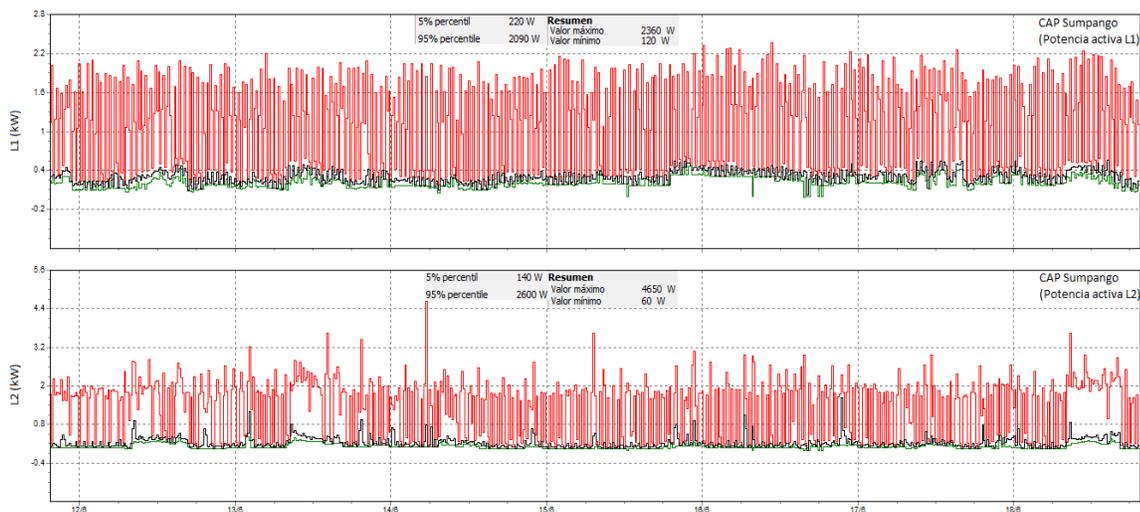
4.2.5. Potencias

En el sistema eléctrico del Centro de Atención Permanente se encuentran cargas resistivas, inductivas y totales, estas hacen referencias a la potencia activa, reactiva y aparente, respectivamente.

4.2.5.1. Potencia activa

En la figura 31 la línea dos se puede apreciar que es la que se encuentra más cargada con un valor de potencia máxima de 4,65 Kw; la línea uno tiene una menor potencia reducida casi a la mitad con un valor de 2,36 kW; esto debido a que en el sistema existen diversas cargas conectadas en cada línea.

Figura 31. Potencia activa de línea 1 y línea 2



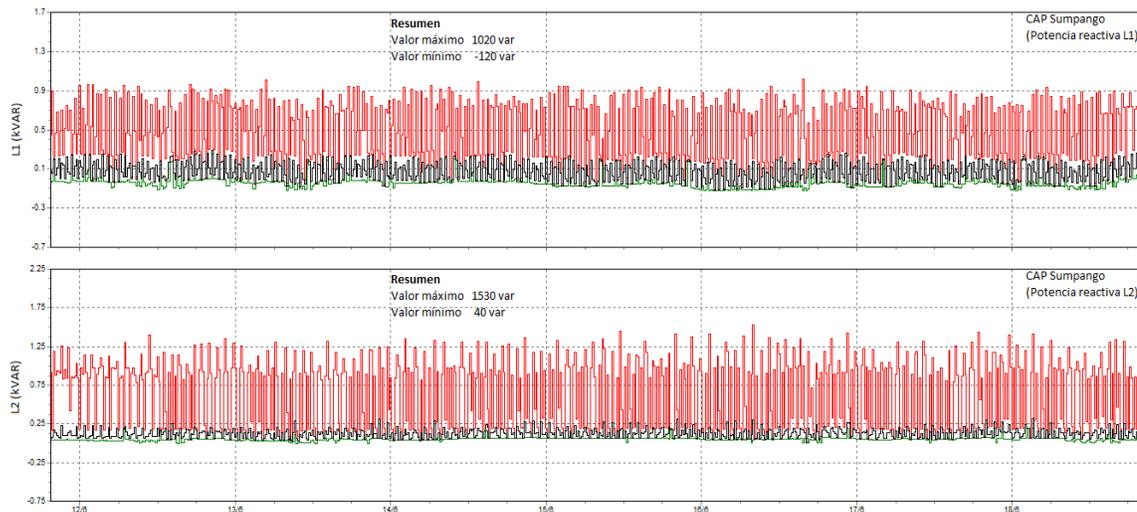
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.5.2. Potencia reactiva

La conducta de la potencia reactiva en cada línea es diferente entre ellas, esto exterioriza que la carga conectada a cada una de las líneas tiene características inherentes en relación del consumo de potencia reactiva.

Podemos observar en la figura 32 que el mayor consumo de potencia reactiva durante el período de medición fue en la línea dos con un valor de 1,53 kVar, mientras que en la línea uno el consumo fue de 1,02 kVar.

Figura 32. Potencia reactiva línea 1 y línea 2



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

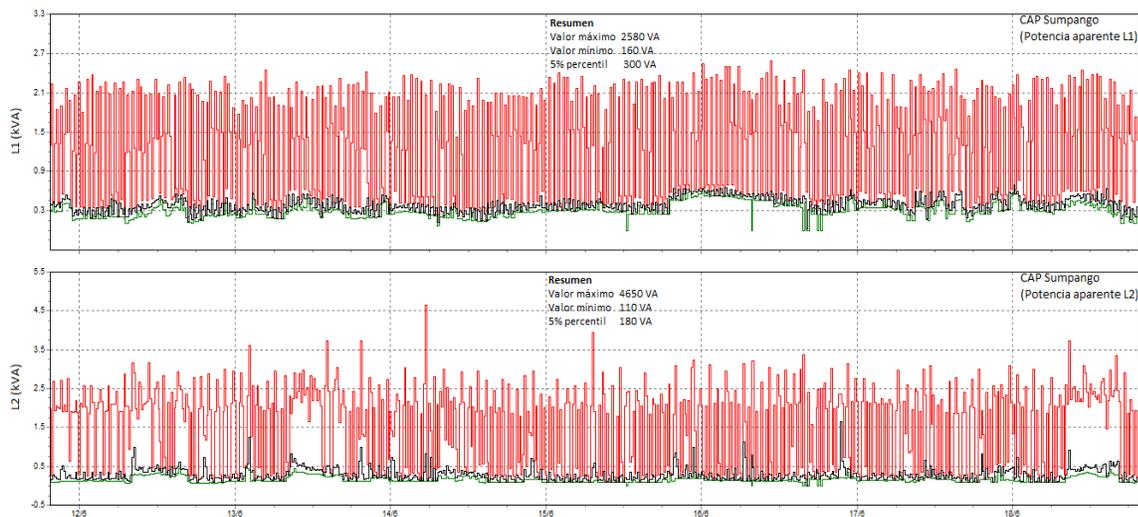
4.2.5.3. Potencia aparente

La importancia de la potencia aparente consiste en que normalmente se utiliza para calcular la corriente nominal y de cortocircuito que circula por los

conductores de las diferentes fases, la potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa y reactiva.

En la figura 33 se observan comportamientos distintos en cada una de las líneas, el mayor consumo de potencia aparente está en la línea dos con un valor de 4,65 kVA, mientras que en la línea uno tiene un consumo de 2,58 kVA.

Figura 33. **Potencia aparente línea 1 y línea 2**



Fuente: elaboración propia, empleando software Power Log 430 II.

4.2.6. **Factor de potencia**

El factor de potencia de la línea uno como se observa en la figura 34 tiene un valor máximo de 0,98, pero en promedio estuvo en un valor de 0,94 durante el tiempo que se realizó la medición; en la línea dos el valor máximo fue de 1, pero el valor promedio estuvo en 0,97. Ambas líneas tienen variaciones en ciertos horarios, sin embargo, el valor siempre se mantiene dentro del rango establecido.

Figura 34. Factor de potencia línea 1 y línea 2



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

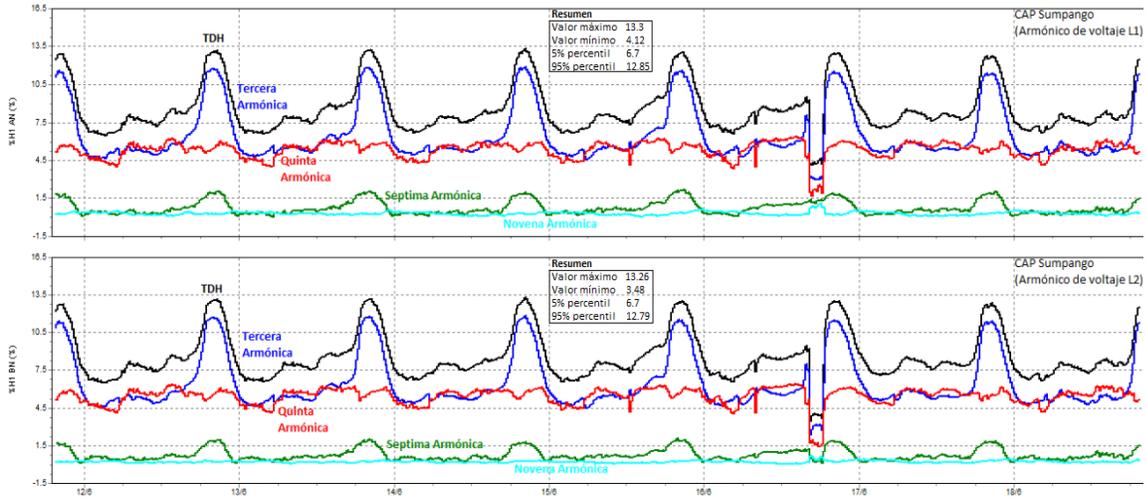
4.2.7. Distorsión armónica

Los inconvenientes que generalmente más dañan la calidad de la energía en los sistemas eléctricos de baja tensión es la alteración de la onda senoidal, generada en gran dimensión por la distorsión armónica, cuestión que interviene en los suministros eléctricos de distribución como también a los consumidores finales.

4.2.7.1. Distorsión armónica de voltaje

La Norma Técnica de Servicio de Distribución, establece que el porcentaje de distorsión armónica en el voltaje no debe ser mayor de 8 %. Se puede apreciar en la figura 35 que el valor se mantiene en 13 % en ambas líneas, esto quiere decir que el valor supera lo establecido por la norma.

Figura 35. Distorsión armónica de voltaje de línea 1 y línea 2

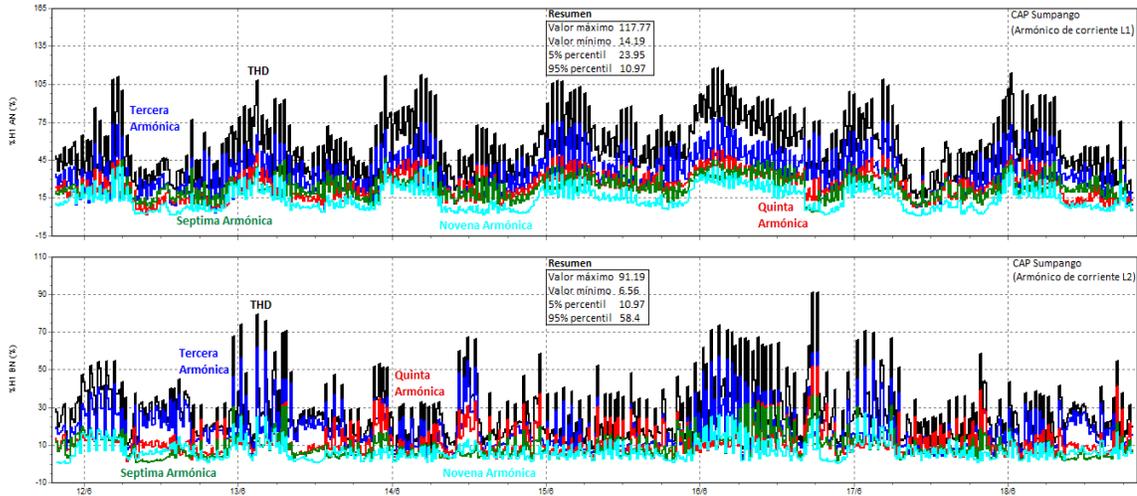


Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.7.2. Distorsión armónica de corriente

Las Normas Técnicas de Servicio de Distribución, establece que el porcentaje de distorsión armónica en la corriente no debe ser mayor de 20 %. Se puede apreciar en la figura 36 que el valor se mantiene en 117 % en la línea uno y 91 % en la línea dos, esto quiere decir que el valor supera lo establecido por la norma.

Figura 36. Distorsión armónica de corriente de línea 1 y línea 2

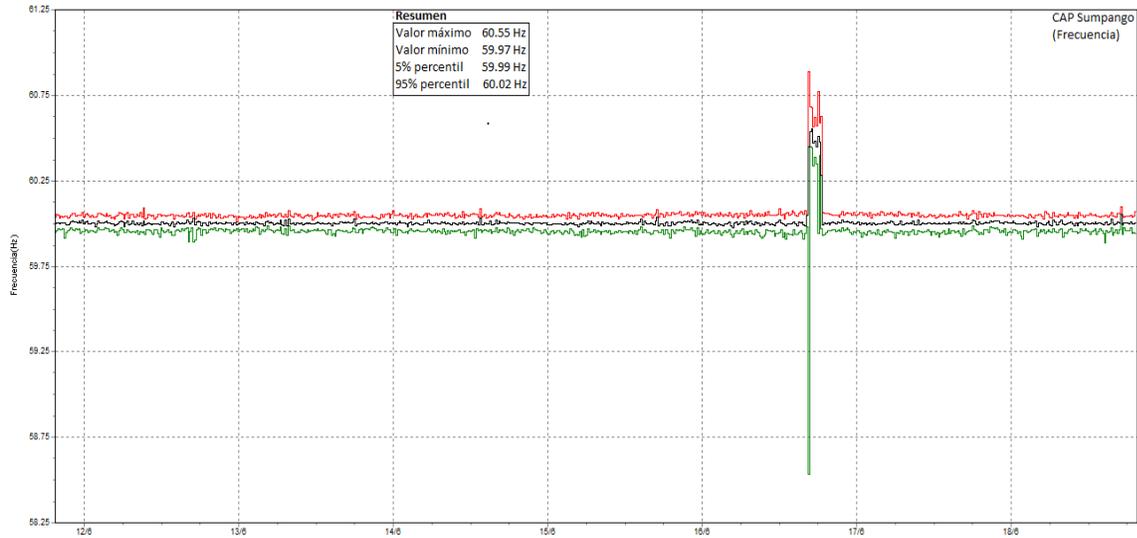


Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.8. Frecuencia

En la figura 37 se puede apreciar que durante el período de medición la frecuencia de la red eléctrica se mantuvo entre el rango de 59,97 Hz y 60,55 Hz esto indica que se encuentra dentro de lo que recomienda la norma. Este valor es de suma importancia, la variación relativamente alta puede ocasionar daños serios a los equipos que se encuentran en el edificio.

Figura 37. Frecuencia



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.9. Análisis flicker

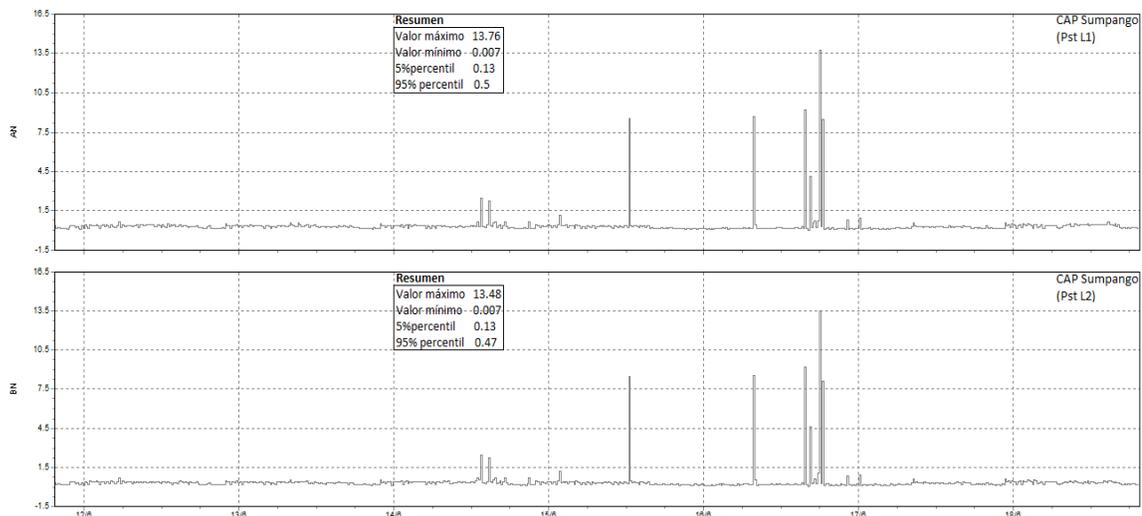
El cambio rápido de voltaje está relacionado directamente con el parpadeo (flicker) que es una impresión de inestabilidad visual inducida por una distribución espectral oscilante con el tiempo.

4.2.9.1. Flicker según el índice Pst

Las Normas Técnicas de Servicio de Distribución recomiendan que el índice de severidad de flicker para intervalos cortos debe ser menor o igual a 1. Se puede apreciar en la figura 38 que el resultado obtenido está dentro del valor que indica la norma.

El índice Pst evalúa la severidad de flicker en intervalos de diez minutos. En la figura 38 se observa claramente que en ambas líneas existieron algunos parpadeos que superaron el valor establecido por la norma, esto se considera que afectará de manera negativa.

Figura 38. **Flicker según el índice Pst**



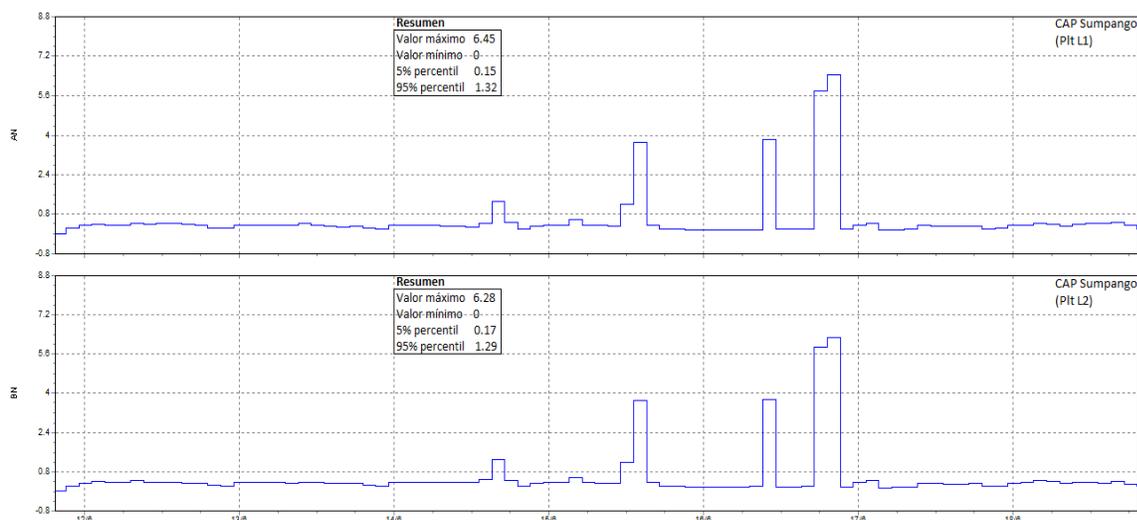
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2.9.2. **Flicker según el índice Plt**

El índice Plt evalúa la severidad del flicker a largo plazo y los intervalos de medición son de dos horas esto recomendado por la norma IEC 61000-4-30.

En la figura 39 se puede apreciar los valores obtenidos durante el período de medición están dentro del parámetro que recomienda la norma, pero que también existieron algunos parpadeos que superaron el valor establecido por la norma.

Figura 39. **Flicker según el índice Plt**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.3. Estructura tarifaria

Actualmente, el servicio con el que cuenta el edificio del Centro de Atención Permanente es la tarifa baja tensión demanda máxima fuera de punta (BTDfp), el pliego tarifario se aplica de acuerdo con diferentes tipos de usuarios, de los cuales existen varias categorías.

En caso de que el consumidor no pueda resolver la tarifa conveniente a su tipo de gasto de energía eléctrica, la distribuidora aplicará la tarifa que represente más beneficios para el consumidor con base en las características del consumo del mismo, dentro de las siguientes, los cuales se utilizaron para analizar el consumo del edificio y verificar si esta es la mejor tarifa.

Tabla XXVII. **Datos del servicio de energía eléctrica principal**

Medidor (contador)	S-01502
Tarifa	BTDfp
Voltaje	120/240 V
Fases	2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tarifa BTDfp: baja tensión con demanda fuera de punta. Tarifa aplicada a usuarios que tienen un límite de potencia mensual mayor a 11 KW y que presentan su posible mayor demanda fuera del horario de punta para Guatemala, el cual es de 18:00 a 22:00 horas.

4.3.1. Análisis tarifario

Los valores utilizados para el cálculo fueron tomados de las facturas de energía de los meses de mayor consumo, utilizando el pliego tarifario del 2018.

Tabla XXVIII. **Tarifa: Baja tensión con demanda fuera de punta BTDfp**

Tarifa baja tensión con demanda fuera de punta (BTDfp)							
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	240,946937	Q/ usuario-mes	=	Q240,95	
Energía	1 792	kWh	0,717585	Q/kWh	=	Q1 285,91	
Potencia máxima	10,5	kW-mes	22,814424	Q/kW-mes	=	Q239,55	
Potencia contratada	13,9	kW-mes	29,406222	Q/kW-mes	=	Q408,75	
						Q2 175,16	
					12 % IVA	=	Q261,02
						Q2 436,18	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXIX. **Tarifa: baja tensión con demanda en punta BTDp**

Tarifa baja tensión con demanda en punta (BTDp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario- mes	240,946937	Q/ usuario-mes	=	Q240,95
Energía	1 792	kWh	0,714094	Q/kWh	=	Q1 279,66
Potencia máxima	10,5	kW-mes	49,877313	Q/kW-mes	=	Q523,71
Potencia contratada	13,9	kW-mes	78,830934	Q/kW-mes	=	Q1 095,75
						Q3 140,07
					12 % IVA	= Q376,81
						Q3 516,87

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Después de realizar el análisis, se concluye que en baja tensión la tarifa con la que cuenta el servicio eléctrico es la óptima, que es la tarifa de baja tensión con demanda fuera de punta (BTDfp). El pliego tarifario utilizado para el análisis es el de abril del 2018.

4.3.2. Historial de consumo durante un año

A continuación, se muestra el historial de consumo eléctrico del Centro de Atención Permanente durante el año 2018.

Tabla XXX. **Historial de facturación de consumo eléctrico**

2017	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Costo (KWh)	Q0,697206	Q0,717585	Q0,717585	Q0,717585	Q0,748532	Q0,748532
Consumo (KWh)	1709	1810	1927	1792	1921	1883
Costo Energía	Q1 191,53	Q1 298,83	Q1 382,79	Q1 285,91	Q1 437,93	Q1 409,49
Costo potencia máxima (KW)	Q22,801444	Q22,814424	Q22,814424	Q22,814424	Q22,656521	Q22,656521
Potencia máxima (KW)	9,00	9,40	9,80	10,50	8,20	9,70
Costo por potencia máxima	Q205,21	Q214,46	Q223,58	Q239,55	Q185,78	Q219,77
Costo potencia contratada (KW)	Q29,014991	Q29,406222	Q29,406222	Q29,406222	Q29,406222	Q29,406222
Potencia contratada (KW)	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90
Costo por potencia contratada	Q403,31	Q408,75	Q408,75	Q408,75	Q408,75	Q408,75
Cargos fijos	Q236,81	Q240,95	Q240,95	Q240,95	Q240,95	Q240,95
Incumplimiento NTSD	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
Mora	Q23,54	Q0,00	Q0,00	Q25,77	Q0,00	Q25,97
Total factura (con IVA)	Q2 304,82	Q2 422,54	Q2 526,79	Q. 2 461,95	Q2 546,22	Q2 578,39
2017	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Costo (KWh)	Q0,748532	Q0,793178	Q0,793178	Q0,793178	Q0,840717	Q0,840717
Consumo (KWh)	1814	1990	1805	1951	1755	1799
Costo Energía	Q1 357,84	Q1 578,42	Q1 431,69	Q1 547,49	Q1 475,46	Q1 512,45
Costo potencia máxima (KW)	Q22,656521	Q22,830062	Q22,830062	Q22,830062	Q22,830062	Q22,830062
Potencia máxima (KW)	8,30	7,00	6,30	6,90	6,90	6,80
Costo por potencia máxima	Q188,05	Q159,81	Q143,83	Q157,53	Q157,53	Q155,24
Costo potencia contratada (KW)	Q29,406222	Q26,613899	Q26,613899	Q26,613899	Q26,613899	Q26,613899
Potencia contratada (KW)	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90
Costo por potencia contratada	Q408,75	Q369,93	Q369,93	Q369,93	Q369,93	Q369,93
Cargos fijos	Q240,95	Q106,65	Q106,65	Q106,65	Q106,65	Q106,65
Incumplimiento NTSD	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
Mora	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q23,44	Q0,00	Q0,00
Total factura (con IVA)	Q2 459,05	Q2 480,60	Q2 298,35	Q2 466,83	Q2 362,72	Q2 401,59

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El Centro de Atención Permanente cuenta con una potencia contratada de 13,9 Kw; la potencia máxima registrada en el período de los 12 meses del año 2018 fue en el mes de abril con un valor de 10,50 kW, consumiendo el 76 % de la potencia contratada durante ese mes. En la tabla XXX se puede observar la potencia registrada mes a mes.

4.3.2.1. Elaboración de gráficas de energía consumida y potencia máxima

A continuación, se presentan las gráficas de la energía consumida y de la potencia máxima utilizada.

Figura 40. **Gráfica de energía consumida**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la gráfica 40 se puede observar que en el mes de agosto fue donde se efectuó el mayor consumo de energía eléctrica, realizando un consumo de 1 990 kWh; y el mes que menos consumo se realizó fue en enero con un valor de 1 709 kWh.

Figura 41. Gráfica de potencia máxima



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la gráfica 41 se puede observar que en el mes de abril fue donde se efectuó el mayor consumo de potencia eléctrica, realizando un consumo de 10,50 kW; y el mes que menos consumo de potencia se realizó fue en septiembre con un valor de 6,30 kW.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS, DISEÑO Y CÁLCULO TEÓRICO DE DISEÑO Y MEJORA

5.1. Calidad de energía eléctrica

El analizador Fluke 435 proporcionó los parámetros sobre calidad de energía eléctrica mediante la Norma EN 50160, el cual estipula que en condiciones regulares de funcionamiento la variación de la tensión no debe exceder el $\pm 10\%$. También indica que en un período de una semana el 95 % del valor medido cada 10 minutos la tensión de alimentación, deberá estar dentro del intervalo estipulado.

5.1.1. Análisis de tensión

La Norma EN 50160 estipula que en condiciones regulares de funcionamiento la variación de la tensión no debe exceder el $\pm 10\%$. También indica que en un período de una semana el 95 % del valor medido cada 10 minutos (este tiempo esta normado y es programado en el analizador de redes) la tensión de alimentación deberá estar dentro del intervalo estipulado.

Tabla XXXI. **Valores de tensión generado por el analizador**

Tensión	L1	L2
95 % percentil	125 V	124,9 V

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Como se observa en la tabla XXXI los valores de las dos fases cumplen con el rango y condiciones que la norma establece.

La NTSD indica que los valores de tensión no deben exceder el ± 5 % de la tensión nominal y vemos que también cumple.

5.1.2. Análisis de corrientes

Como se observa en las figuras 29 y 30, la no similitud entre las gráficas indica que las cargas del sistema no están balanceadas correctamente, esto podría suceder a que los equipos que se encuentran en el edificio lo utilizan conforme a la necesidad o emergencias que se pueden presentar, por lo cual hay equipos que no se utiliza con frecuencia.

Tabla XXXII. **Valores de corriente generado por el analizador**

Línea	Amperios	% Uso
Línea 1	106,4 A	53,2
Línea 2	130,2 A	65,1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El porcentaje de uso de los conductores (% uso) depende de los parámetros que se menciona a continuación:

Bueno, menor a 60 %

Aceptable, entre 60 % y 80 %

Crítico, superior a 80 %

5.1.3. Análisis de flicker

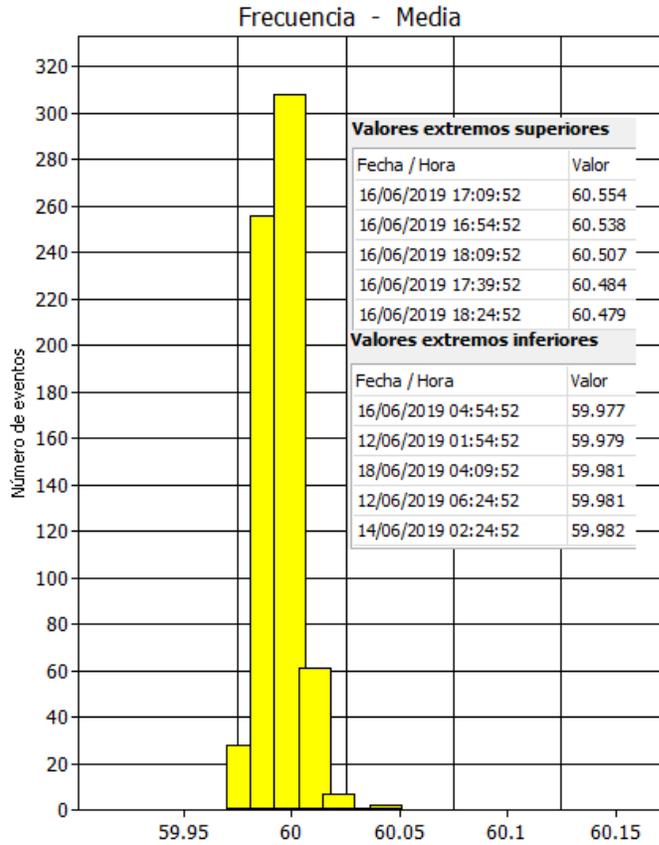
Como se observa en la figura 38 en el período de medición existieron parpadeos en cada una de las líneas que superaron a 1, no obstante, la Norma IEC 6100-3-3 nos indica que en condiciones normales y en un período de una semana, la severidad de parpadeo a largo plazo debe ser $Pst \leq 1$ durante 95 % del tiempo. Entonces como el 95 % percentil de la línea 1 y 2 son 0,5 y 0,47 respectivamente, se concluye que está dentro de los parámetros permisible y cumple los requerimientos que estipula esta norma.

5.1.4. Análisis de variaciones de frecuencia

La frecuencia nominal en Guatemala es de 60 Hz. La Norma EN 50160 nos indica que, en condiciones normales, el valor de la frecuencia fundamental medida durante 10 segundos deberá estar dentro del intervalo de $60 \text{ Hz} \pm 1 \%$ (59 Hz a 60 Hz) durante el 99,5 % de un año.

Los datos obtenidos según las figuras 37 y 42 están en los límites que estipula la norma, aunque el período de medición fue de 1 semana, y no de 1 año como lo indica la norma, el comportamiento debería ser semejante durante el año.

Figura 42. **Gráfica de la frecuencia mediante el período de medición**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

5.1.5. **Análisis de distorsión armónica**

La NTSD en el artículo 31 al 35 hace mención sobre el índice de calidad de la distorsión armónica de tensión y las tolerancias permitidas de la distorsión armónica individual de tensión.

La NTSD en el artículo 41 al 44 hace mención sobre el índice de calidad de la distorsión armónica de corriente y las tolerancias permitidas de la distorsión armónica individual de corriente.

5.1.5.1. Distorsión armónica de tensión

Durante el período de medición el analizador Fluke 435 registró 672 valores de distorsión armónica individual de tensión en cada línea. La NTSD brinda las tolerancias individuales de los armónicos pares e impares. El analizador nos registra hasta la armónica 50, pero a partir de la armónica 21 los valores se aproximan a cero.

Tabla XXXIII. **Tolerancia de la distorsión armónica de tensión (NTSD vrs Fluke 435)**

Orden de armónica (n)	Tolerancias dadas por NTSD	Valores dados por el Fluke 435 durante el período de medición	
	Distorsión armónica individual de tensión (%)	Distorsión armónica individual de tensión L1 (%)	Distorsión armónica individual de tensión L2(%)
2	2,0	0,71	0,71
3	5,0	11,89	11,8
4	1,0	0,46	0,46
5	6,0	6,41	6,41
6	0,5	0,38	0,38
7	5,0	2,16	2,04
8	0,4	0,19	0,19
9	1,5	1,1	0,72
10	0,4	0,09	0,11
11	3,5	0,88	0,77
12	0,2	0,08	0,16
13	3,0	0,53	1,07
14	0,2	0,18	0,26
15	0,3	0,51	0,53
16	0,2	0,19	0,18
17	2,0	0,67	0,39
18	0,2	0,12	0,06
19	1,5	0,59	0,51
20	0,2	0,04	0,12
21	0,2	0,53	0,45
.	.	.	.
50	0,2	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Como se observa en la tabla XXXIII, la distorsión armónica máxima individual de tensión se encuentra dentro de los parámetros permisible por la NTSD. Excepto la tercera y quinta armónica.

5.1.5.2. Distorsión armónica de corriente

Durante el período de medición el analizador Fluke 435 registro 672 valores de distorsión armónica individual de corriente en cada línea. La NTSD brinda las tolerancias individuales de los armónicos pares e impares.

Tabla XXXIV. **Tolerancia de la distorsión armónica de corriente (NTSD vrs Fluke 435)**

Orden de armónica (n)	Tolerancias dadas por NTSD	Valores dados por el Fluke 435 durante el período de medición	
	Distorsión armónica individual de corriente (%)	Distorsión armónica individual de corriente L1 (%)	Distorsión armónica individual de corriente L2 (%)
2	10,0	3,54	11,05
3	16,0	78,84	61,82
4	2,5	1,83	6,87
5	12,0	52,64	51,83
6	1,0	1,51	3,45
7	8,5	46,53	36,04
8	0,8	1,34	2,93
9	2,2	42,44	26,74
10	0,8	1,04	2,54
11	4,3	32,09	18,3
12	0,4	0,9	1,84
13	3,0	21,36	12,72
14	0,3	0,8	1,5
15	0,6	18,16	10,81
16	0,3	0,59	1,1
17	2,7	12,5	8,09
18	0,3	0,57	0,9
19	1,9	9,29	7,55
20	0,3	0,39	0,98
21	0,4	9,36	8,23
.	.	.	.
50	0,3	0	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XXXIV observamos que las armónicas impares supera el límite de distorsión armónica estipulada en la NTSD en las dos líneas. Hay que recordar que los valores tabulados son los máximos, los más críticos que midió el Fluke 435, durante el período de medición, la elevación de estas armónicas es producido por la carga de equipo electrónico y lámparas fluorescentes de descarga.

5.1.6. Análisis del factor de potencia

Las recomendaciones que rige la norma NTSD dice, que de ninguna manera el factor de potencia del consumidor debe ser inferior al 85 %. En la figura 34 podemos apreciar que durante el período de medición muestra que en un alto porcentaje la carga está en funcionamiento, el factor de potencia en la línea uno es de 0,94 y en la línea dos es de 0,97; ambas líneas permanecen dentro del rango establecido por la Normas Técnicas de Servicio de Distribución.

5.2. Cálculo de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos constituyen un elemento esencial en la instalación, es por ello que el correcto dimensionamiento del mismo es de suma importancia.

Para el cálculo teórico de las instalaciones eléctricas se aplican los métodos y formas de cálculo necesarios para seleccionar los elementos que cumplirán con las exigencias que presentará la instalación. Los conductores eléctricos constituyen un elemento fundamental en toda instalación eléctrica, razón por la cual, de su correcto dimensionamiento depende la efectividad en el funcionamiento de la red eléctrica y la duración de vida útil. Para el cálculo de

conductores eléctricos se emplearán los métodos de caída de tensión y por capacidad de corriente, con el fin de determinar los calibres AWG o MCM que permitan obtener el diseño de un sistema seguro, confiable y económico. El dato del cálculo que indique el conductor de más grande sección transversal será el que se elegirá.

5.2.1. Cálculo de conductores por caída de tensión

Se conoce como caída de tensión a la desigualdad que hay entre la tensión aplicada al extremo del alimentador de una instalación y el conseguido en otro nodo del sistema. En la selección de conductores por caída de tensión es necesario tener presente los valores de regulación de voltajes máximos permitidos es 2 % del contador al centro de carga denominado alimentador y 3 % del tablero a la carga ramal. Para obtener un máximo de regulación desde el contador hasta la carga de 5 % que lo que la norma estipula. Lo que se busca es que la sección del conductor no exceda la regulación permitida.

Para el cálculo teórico de la sección transversal de los conductores se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$V = I * R$$

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

$$P = \sqrt{3} * V * I \cos \theta$$

$$R = \frac{d}{A * K}$$

Donde:

- V = voltaje nominal (V)

- I = corriente nominal (A)
- P = potencia (W)
- Cos θ = factor de potencia
- R = resistencia del conductor (Ω)
- d = longitud del conductor (m)
- A = sección transversal del conductor (mm^2)
- K = conductividad del conductor ($K=57 \frac{mm^2}{ohms*m}$)

Combinando las ecuaciones, obtenemos la expresión que nos ayuda y permite determinar la sección del conductor.

$$A = \frac{I * L}{e * k}$$

Donde:

- e = porcentaje de caída de tensión.
- L = $\sqrt{3} * d$ para circuitos trifásicos y $2*d$ para circuitos monofásicos.

El planteamiento del cálculo teórico de conductores se desarrollará de la siguiente forma:

- Con los datos conocidos de cada nivel del Centro de Atención Permanente se calculará el calibre de conductor, para que sea más simple este proceso, solo se explicará el procedimiento de uno y los demás datos serán calculados y tabulados.

Se tomó como criterio para el cálculo de conductores el método de caída de tensión, esto porque la mayor parte de cargas tienen una distancia

significante desde el centro de carga, se muestra el cálculo para determinar el calibre del conductor óptimo para alimentar el circuito Núm. 1 para el tablero principal.

Datos: 120 voltios, carga instalada 575 W, distancia 20 metros, factor de potencia 0,98, para cobre $K=57 \frac{mm^2}{ohms*m}$ tipo AWG THW.

Paso 1: la caída de tensión admisible es del 3 % como máximo por ser alimentador secundario.

$$e = 0,03 * 120 = 3,6 \text{ voltios}$$

Paso 2: utilizaremos la siguiente fórmula por ser circuito monofásico.

$$L = 2 * 20 = 40 \text{ metros}$$

Paso 3: la corriente demandada se calcula en función de la potencia de la carga instalada.

$$I = \frac{575}{120} = 4,79 \text{ amperios}$$

Paso 4: aplicando la ecuación para calcular la sección del conductor, obtenemos el área necesaria para el conductor.

$$A = \frac{5,79 * 40}{3,6 * 57} = 0,93 \text{ mm}^2$$

Paso 5: la elección del conductor deberá ser un conductor que posea un área transversal igual o mayor al área calculado, de las tablas del anexo 1 se obtiene que el conductor que cumple con este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG THW calibre número 14.

Realizando los cálculos correspondientes, en las tablas XXXV, XXXVI y XXXVII, se muestra el resumen de los cálculos para la determinación del calibre de los conductores de los alimentadores principales, tablero principal y tablero secundario.

Tabla XXXV. Cálculos conductores, acometida y alimentadores principales

Circuito	Voltaje (V)	Potencia (W)	Distancia (m)	Área transversal (mm ²)	Calibre conductor (AWG THW)
Acometida	240	50 000	15	22,84	1/0
Primer nivel	240	35 411	5	5,39	2
Segundo nivel	240	17 068	9	4,68	8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVI. Cálculo de conductores, tablero principal primer nivel

Circuito	Voltaje (V)	Potencia (W)	Distancia (m)	Área transversal (mm ²)	Calibre conductor (AWG THW)
1	120	575	20	0,93	14
2	120	575	28	1,31	14
3	120	575	35	1,63	14
4	120	1 318	30	3,21	12
5	120	1 435	18	2,10	14
6	120	750	35	2,13	12
7	120	2 040	25	4,14	10
8	240	7 500	30	9,14	6

Continuación de la tabla XXXVI.

9	240	7 500	30	9,14	6
10	240	7 680	23	7,17	8
11	120	1 000	29	2,36	12
12	120	910	28	2,07	14
13	120	298	28	0,68	14
14	120	212	3	0,05	14
15	120	265	20	0,43	14
16	240	17 068	9	4.68	8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVII. **Cálculo de conductores, tablero secundario segundo nivel**

Circuito	Voltaje (V)	Potencia (W)	Distancia (m)	Área transversal (mm ²)	Calibre conductor (AWG THW)
1	120	501	30	1,22	14
2	120	503	40	1,63	14
3	120	1 524	27	3,34	12
4	120	404	15	0,49	14
5	120	6 000	17	8,28	8
6	120	995	33	2,67	12
7	120	1 200	29	2,83	12
8	120	260	24	0,51	14
9	120	205	27	0,45	14
10	120	3 476	24	6,78	8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.2.2. Cálculo de conductores por corriente

Este método utiliza la potencia aparente que esté conectada en el momento que se realiza el cálculo y el voltaje nominal de la instalación. Con estos datos se obtiene la corriente del circuito, esta corriente debe dividirse entre diferentes factores tales como:

- Continuidad del servicio
- Temperatura ambiente
- Material del tubo
- Número de conductores en el tubo

Para aplicar los factores se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Si el servicio es continuo (conectado más de tres horas) un factor de corrección de 0,8, si no de 1.
- Si el tubo es metálico un factor de corrección de 1, y si es no metálico un factor de 0,8.

Una vez teniendo el valor de la corriente ya dividida dentro de los factores anteriormente mencionados, se procede a buscar dicho valor en la tabla de capacidad de conductores (ver anexo 1) y ver el calibre de conductor que corresponde. Dichos factores se muestran en las siguientes tablas.

Tabla XXXVIII. Factores de corrección de acuerdo con el número de conductores en tubo

Nro. de conductores	Factor de corrección de capacidad de conducción
4 a 6	80 %
7 a 24	70 %
25 a 42	60 %
Más de 42	50 %

Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Tabla 5.1a – factores de corrección por agrupamiento*. p. 54.

Tabla XXXIX. **Factores de corrección por temperatura ambiente**

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima, permisible en el aislamiento en °C			
	60	75	85	90
31-40	0,82	0,88	0,9	0,91
41-45	0,71	0,82	0,85	0,87
46-50	0,58	0,75	0,8	0,82
51-55	0,41	0,67	0,74	0,76
56-60		0,58	0,67	0,71
61-70		0,35	0,52	0,58
71-80			0,3	0,41

Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Tabla 5.1b – factores de corrección por agrupamiento*. p. 54.

El NEC sugiere no sobrepasar un conductor con el 80 % de la capacidad nominal cuando se selecciona por el método de corriente, se hace indispensable como seguridad dejar un margen en el cálculo del conductor, esto debido a que en las instalaciones eléctricas pueden existir sobrecargas o desbalances.

$$I_{\text{nominal del cable}} = \frac{I_{\text{nominal del circuito}}}{\text{factores de corrección}}$$

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo del conductor del circuito 1 del tablero principal del primer nivel, los datos son los siguientes:

- Voltaje = 120 V
- Potencia = 575 W
- Factor de servicio continuo = 0,8
- Factor de temperatura ambiente = 0,88
- Factor de número de conductores en tubo = 0,8

- Factor de material del tubo = 0,8

$$I_{\text{nominal del circuito}} = \frac{575}{120} = 4,79 \text{ A}$$

$$I_{\text{nominal del cable}} = \frac{4,79}{(0,8)(0,8)(0,8)(0,88)} = 10,63 \text{ A}$$

Al buscar la corriente nominal del cable en la tabla (anexo 1) se observa que el calibre que corresponde es un 14 AWG.

Realizando los cálculos correspondientes, en las tablas XL y XLI se muestra el resumen de los cálculos para la determinación del calibre de los conductores del tablero principal y el tablero secundario.

Tabla XL. **Cálculo de conductores, tablero principal del primer nivel**

Circuito	Voltaje (V)	Potencia (W)	Corriente nominal del circuito (A)	Corriente nominal del cable (A)	Calibre conductor (AWG THW)
1	120	575	4,79	10,63	14
2	120	575	4,79	10,63	14
3	120	575	4,79	10,63	14
4	120	1 318	10,98	24,38	12
5	120	1 435	11,96	26,54	10
6	120	750	6,25	13,87	14
7	120	2 040	17,00	37,73	8
8	240	7 500	31,25	69,36	4
9	240	7 500	31,25	69,36	4
10	240	7 680	32,00	71,02	4
11	120	1 000	8,33	18,50	14
12	120	910	7,58	16,83	14
13	120	298	2,48	5,51	14
14	120	212	1,77	3,92	14
15	120	265	2,21	4,90	14
16	240	17 068	71,12	157,84	1/0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLI. **Cálculo de conductores, tablero secundario del segundo nivel**

Circuito	Voltaje (V)	Potencia (W)	Corriente nominal del circuito (A)	Corriente nominal del cable (A)	Calibre conductor (AWG THW)
1	120	501	4,18	9,27	14
2	120	503	4,19	9,30	14
3	120	1 524	12,70	28,19	12
4	120	404	3,37	7,47	14
5	120	6 000	50,00	110,97	2
6	120	995	8,29	18,40	14
7	120	1 200	10,00	22,19	12
8	120	260	2,17	4,81	14
9	120	205	1,71	3,79	14
10	120	3 476	28,97	64,29	6

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El porcentaje de uso de los conductores es del 45,06 %, y el NEC sugiere no cargar un conductor encima del 80 % de su capacidad nominal cuando se selecciona por el método de corriente para que no sufra calentamiento por sobrecarga, por lo que los conductores en ningún momento se sobrepasan del porcentaje permitido.

5.2.3. Pruebas a los conductores

Todo método de cables tiene que ser puesto a pruebas eléctricas que garanticen el estado general de los cables, esto permite un adecuado manejo y sobre todo brinda dar un mantenimiento correcto.

5.2.3.1. Prueba de aislamiento

En los lugares donde se encuentran equipos eléctricos se tienen unas peculiaridades de aislamiento específicas para brindar un uso seguro y correcto. El aislamiento de los conductores eléctricos es brindado por los

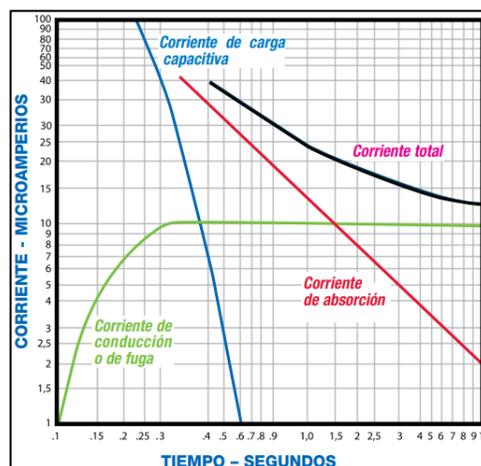
materiales que muestran una mayor resistencia eléctrica que restringe lo más que puede, el paso de corrientes distintas a la que debe circular por los conductores.

Es común que la eficiencia del aislamiento tenga variaciones con el pasar del tiempo por las diferentes acciones a las que son expuestos. Este cambio permite disminuir la resistividad eléctrica de los aislantes que permiten aumentar las corrientes de fuga, corrientes que hacen que se generen inconvenientes que dan lugar a la seguridad de personas y equipos.

La corriente total que recorre en el aislante es la suma de tres elementos:

- Corriente de carga capacitiva.
- Corriente de absorción.
- Corriente de conducción o fuga.

Figura 43. **Naturaleza de las corrientes**



Fuente: Guía de la medición de aislamiento - www.chauvin-arnoux.com.

Consulta: 10 de abril de 2020.

La intensidad total que recorre por el aislante que se está experimentando es variable en el tiempo, esto nos indica una gran alteración resultante del dato de resistencia de aislamiento en el circuito está alimentado con un voltaje constante.

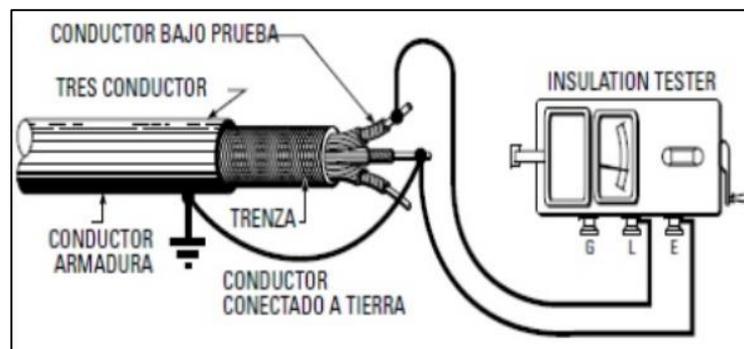
Los factores de influencia de la medida de resistencia de aislamiento son:

- Influencia de temperatura.
- Influencia de humedad.

Para el cálculo de la resistencia de aislamiento existen varios métodos los cuales son:

- Método lectura puntual o a corto plazo.
- Método tiempo/resistencia (DAR) – (Relación de absorción dieléctrica).
- Método tiempo/resistencia (PI) – (Índice de polarización).
- Método de descarga dieléctrica (DD).

Figura 44. **Realización de la prueba de aislamiento**



Fuente: Chauvin. *Guía de la medición de aislamiento*. www.chauvin-arnoux.com.

Consulta: 10 de abril de 2020.

5.2.3.2. Prueba Hi-pot

Hi-pot quiere decir un mayor voltaje o mayor potencia, este método comprueba el aislamiento de un componente eléctrico para que sea idóneo de salvaguardar al consumidor de un *shock* eléctrico, poder preservar la seguridad y confiabilidad del componente. Al realizarse este tipo de prueba, una gran carga de alto voltaje es inyectada, entre los cables y su aislamiento.

Esta prueba quiere probar si el componente es fiable de usarlo o no, inclusive si se somete a una mayor carga de alto voltaje.

La idea de la prueba es que, si el aislamiento soporta esta tensión durante cierto tiempo y no se produce ninguna evidencia de daño tal como una ruptura, una excesiva corriente de fuga o una perforación del material aislante, se asume entonces que será capaz de soportar sin peligros la tensión nominal al momento de estar en servicio.

Las pruebas Hi-pot son útiles para encontrar aislamientos cortados o mellados, hebras de cables parásitos o blindaje trenzado, contaminantes conductivos o corrosivos alrededor de los conductores, problemas de espaciado de terminales y errores de tolerancia en los cables. Inadecuadas distancias de fuga y separación introducidas durante el proceso de fabricación.

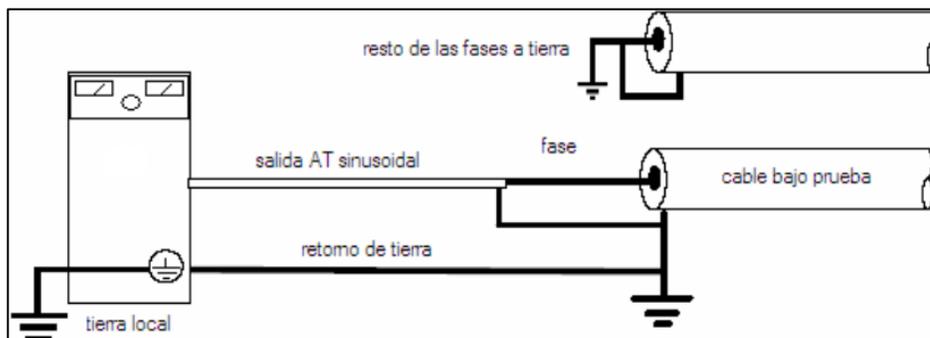
Existen 3 tipos de pruebas de Hi-pot:

Prueba de ruptura dieléctrica: durante este ensayo, la tensión se aumenta hasta que el dieléctrico falle o se rompa, con el fin de determinar el más alto voltaje que el cable pueda manejar. El dieléctrico habitualmente se destruye a esta prueba, por lo que se hace en base a una muestra aleatoria.

Prueba tensión de rigidez dieléctrico: al realizar esta prueba se verifica si el cable puede tolerar una cierta cantidad de tensión para una cantidad de tiempo requerido. La corriente de fuga se controla durante la prueba y debe estar por debajo de un límite preestablecido con el fin de pasar la prueba.

Prueba resistencia del aislamiento: lo que se propone demostrar con esta prueba es establecer la resistencia del aislamiento del componente. A través de la medición del voltaje y de la corriente, se puede deducir la resistencia del aislamiento.

Figura 45. **Realización de la prueba Hi-pot**



Fuente: Prueba de alta tensión (Hi-pot Test) y control de calidad - blog.asiaqualityfocus.com.

Consulta: 10 de abril de 2020.

5.3. Cálculo de protecciones

La filosofía de la protección busca primero proteger a las personas que usan las instalaciones y luego a los equipos instalados, por medio de interrupción inmediata de disparo en tiempos bastante cortos, provocados por fallas internas o externas de las instalaciones. Con la correcta coordinación de la protección se logra aislar solamente la parte de la instalación afectada,

mientras las otras zonas siguen funcionando sin interrupción alguna logrando que el servicio continúe con normalidad.

Entre los elementos utilizados para la protección de los recintos podemos encontrar: fusibles, interruptores y redes de tierras.

Calculando la protección para el tablero secundario del segundo nivel del edificio del Centro de Atención Permanente.

$$I_{\text{nominal del circuito}} = \frac{P}{V}$$

$$I_{\text{nominal del circuito}} = \frac{17\,068}{240} = 71,12 \text{ amperios.}$$

$$I_{\text{nominal del interruptor}} = 1,25 \times I_{\text{nominal del circuito}}$$

$$I_{\text{nominal del interruptor}} = 1,25 \times 71,12 = 88,9 \text{ amperios}$$

Por lo calculado el interruptor principal para el tablero secundario del segundo nivel tiene que ser de las siguientes dimensiones, 2*50 amperios, 240 voltios.

Tabla XLII. **Cálculo de protecciones de alimentadores principales**

Circuito	Corriente nominal (A)	Corriente interruptor (A)	Protección (A)
Acometida	208,33	260,42	2 x 150
Primer nivel	147,55	184,43	2 x 100
Segundo nivel	71,12	88,90	2 x 50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLIII. **Cálculo de protecciones, tablero principal primer nivel**

Circuito	Corriente nominal (A)	Corriente interruptor (A)	Protección (A)
1	4,79	5,99	1 x 15
2	4,79	5,99	1 x 15
3	4,79	5,99	1 x 15
4	10,98	13,73	1 x 20
5	11,96	14,95	1 x 20
6	6,25	7,81	2 x 15
7	17,00	21,25	1 x 30
8	31,25	39,06	1 x 50
9	31,25	39,06	1 x 50
10	32,00	40,00	1 x 50
11	8,33	10,42	1 x 15
12	7,58	9,48	1 x 15
13	2,48	3,10	1 x 15
14	1,77	2,21	1 x 15
15	2,21	2,76	1 x 15
16	71,12	88,90	2 x 50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLIV. **Cálculo de protecciones, tablero secundario segundo nivel**

Circuito	Corriente nominal (A)	Corriente interruptor (A)	Protección (A)
1	4,18	5,22	1 x 15
2	4,19	5,24	1 x 15
3	12,70	15,88	1 x 20
4	3,37	4,21	1 x 15
5	50,00	62,50	2 x 40
6	8,29	10,36	1 x 15
7	10,00	12,50	1 x 15
8	2,17	2,71	1 x 15
9	1,71	2,14	1 x 15
10	28,97	36,21	2 x 30

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.4. Diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad y eficiencia energética

A continuación, se muestra el diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad.

5.4.1. Iluminación de interiores

Para el diseño del sistema de iluminación de los diferentes ambientes y en cada nivel del Centro de Atención Permanente, se empleará un nivel de iluminación general.

A continuación, se calcularán las luminarias de cada ambiente del edificio, para ello, se deben tomar algunos criterios que se mencionarán en cada procedimiento.

Nota: con la iluminación que se encuentra actualmente instalada en el edificio no se cumple con lo que indica la norma, por lo cual para que haya una iluminación adecuada se harán cálculos con lámparas RS tipo industrial fluorescentes de 48" y más adelante se realizará un análisis económico entre las lámparas fluorescentes y las lámparas tipo led para concluir con qué tipo de iluminación sería más factible instalar en el edificio.

Datos generales:

- Se va a asumir que existe un mantenimiento periódico, por ende, el factor de mantenimiento a usar será de 0,65 (F.M. = 0,65).
- Las lámparas fluorescentes constan de 2 tubos de 40 watts, el número de lúmenes según tabla del anexo 2, es de 3 100 lúmenes por tubo.

El cálculo de luminarias para cada ambiente del edificio es muy similar, uno respecto a otro, es por ello que se desglosará el procedimiento únicamente para un ambiente, los restantes cálculos de los ambientes de cada nivel del edificio, se realizarán en Microsoft Excel.

Para la entrada al Centro de Atención Permanente según la tabla XVIII el color del techo es blanco claro, el color de la pared es verde claro y el color del piso es gris semiclaro. El coeficiente de reflexión para las tonalidades mencionadas se encuentra en la tabla del anexo 3.

Para calcular la cantidad de luminarias con relación al ambiente (RR) en análisis es necesario conocer con certeza las siguientes dimensiones exactas: 3,70 metros de largo, 3,05 metros de ancho y 3 metros de altura.

$$RR = \frac{W * L}{h (W + L)}$$

Entonces:

$$RR = \frac{3,05 * 3,70}{3 (3,05 + 3,70)}$$

$$RR = 0,56$$

Con la relación del ambiente y la información de los colores del mismo, se procede a buscar en la tabla de factores de utilización (el cual se encuentra en el anexo 3). En la fila D (alumbrado directo) se busca el RR que se calculó, como se observa, solo aparece RR = 0,6 pero no 0,56, en este caso particular se puede aproximar el 0,56 a 0,6 pero cuando el RR difiere ampliamente, entonces, es necesario interpolar para obtener la K final.

Con los datos que se conocen y la ecuación para calcular el número de luminarias, tenemos:

$$\text{Número de luminarias} = \frac{L * W * Luxes}{(\text{Lúmenes por tubo})(K)(\text{Factor de mantenimiento})}$$

Donde:

- Factor de mantenimiento = 0,65
- Lúmenes por tubo = 6 200 (3 100 por cada tubo de 40 W, son 2 tubos)
- Luxes = 200 luxes (según tabla de la Norma EN 12464.1)
- K = 0,8 (según anexo 3)

Entonces

$$\text{Número de luminarias} = \frac{3,70 * 3,05 * 200}{(6\ 200)(0,35)(0,65)}$$

$$\text{Número de luminarias} = 1,60$$

El número de luminaria sería de 2 lámparas, de doble tubo de 40 watts.

Tabla XLV. **Comparación de cantidad de luminarias**

	Cantidad de luminaria real	Cantidad de luminaria calculada
Primer nivel	38	59
Segundo nivel	39	54
Total	77	113

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XLV se tabula el número de luminaria calculada en cada nivel del edificio y la cantidad de luminarias reales, las cuales son las que se encuentran físicamente en el edificio.

5.4.2. Análisis de factibilidad económica

Después de realizar la medición del nivel de iluminación en el Centro de Atención Permanente se observó que existe una deficiencia en el mismo, es por ello, que a continuación se plantean dos propuestas para cumplir los niveles de iluminación que establece la Norma EN 12464-1 en cada ambiente del edificio.

Basándonos en la cantidad total de luminarias calculadas de la tabla XLV, se realizará el análisis económico con lámparas tipo fluorescentes y lámparas tipo led, la cual nos indicará que tipo de lámparas sería más factible utilizar en el edificio.

Para realizar el análisis económico se cotizo lámparas tipo fluorescentes de 40 watts y lámparas tipo led de 18 watts, partiendo de esos datos se presentan las siguientes dos tablas.

Tabla XLVI. **Diseño propuesto tubo fluorescente**

Nivel	Lámparas	Vatios	kW	Horas	kWh	Q/kWh	Total Q/mes
1	118	40	4,72	420	1 982,4	0,997878	1 978
2	108	40	4,32	420	1 814,4	0,997878	1 811
Total							3 789

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLVII. **Diseño propuesto tubo led**

Nivel	Lámparas	Vatios	kW	Horas	kWh	Q/kWh	Total Q/mes
1	118	18	2,12	420	890,4	0,997878	889
2	108	18	1,94	420	814,8	0,997878	813
Total							1 702

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

$$\text{Ahorro mensual} = 3\,789 - 1\,702 = Q\,2\,087$$

$$\text{Ahorro anual} = 12 \text{ meses} * Q\,2\,087 = Q\,25\,044$$

Realizando el análisis económico correspondiente entre ambos tipos de lámparas podemos observar en las tablas XLVI y XLVII que las lámparas de tipo led son las que conviene instalar en el edificio, esto nos ayudará a realizar un ahorro económico considerable tanto mensual como anualmente. Y al mismo tiempo se tendrá un nivel de iluminación adecuado para cada ambiente.

Se cotizo en el mercado el valor de las lámparas tipo led con fecha martes 20 de octubre de 2020 en Q190,00, incluye las 2 lámparas de 18 watts con su respectiva base marca SYLVANIA. Se necesita adquirir 113 unidades, el valor total de la compra de todas las lámparas será de Q21 470,00 y Q14 125,00 en mano de obra para la instalación de las mismas, haciendo un total de Q35 595,00. El valor total será nuestra inversión inicial para un análisis de 4 años, en este período es aceptable recuperar lo invertido.

5.4.2.1. **Valor presente neto (VPN)**

Utilizando la herramienta del valor presente neto (VPN), para evaluar si nuestra inversión es rentable a largo plazo tomando un 5 % como tasa de

inflación y el 3 % de factor de riesgo entonces la tasa de rendimiento mínima aceptada será del 8 %, con el ahorro que se logra en el cambio del sistema de iluminación a lámparas led.

$$VPN = -35\,595 + \frac{25\,044}{(1 + 0,08)} + \frac{25\,044}{(1 + 0,08)^2} + \frac{25\,044}{(1 + 0,08)^3} + \frac{25\,044}{(1 + 0,08)^4} =$$

$$VPN = 47\,353,90$$

Con base al análisis realizado y el cálculo obtenido, el valor presente neto es positivo, eso quiere decir, que la inversión es financieramente atractiva, además de recuperar la inversión y de obtener la rentabilidad deseada, mientras mayor sea el VPN más efectivo será la inversión.

5.4.2.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que equipara el valor presente de los flujos efectivos descontados con la inversión inicial; es la tasa que hace que el VPN sea igual a cero.

$$TIR = -35\,595 + \frac{25\,044}{(1 + K)} + \frac{25\,044}{(1 + K)^2} + \frac{25\,044}{(1 + K)^3} + \frac{25\,044}{(1 + K)^4} = 0$$

Tabla XLVIII. **Cálculo de la tasa interna de retorno**

Año	Flujo efectivo
0	-35 595
1	25 044
2	25 044
3	25 044
4	25 044
TIR	59 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XLVIII se determinó con ayuda de Microsoft Excel la tasa interna de retorno (TIR) igual al 59 %, este valor de tasa es superior a la tasa de rendimiento mínimo aceptable del 8 %, por tanto, se concluye que el proyecto es rentable para el periodo de tiempo trazado.

5.4.2.3. Relación de beneficio costo (B/C) y período de recuperación

La relación de beneficio costo evalúa la eficiencia con que se utiliza los recursos del proyecto. Si los ingresos superan a los costos el proyecto es aceptable.

$$VPN_{Beneficio} = 25\,044 \left(\frac{(1 + 0,08)^4 - 1}{0,1(1 + 0,08)^4} \right)$$

$$VPN_{Beneficio} = 66\,359,12$$

$$VPN_{Costo} = Inversión\ inicial$$

$$VPN_{Costo} = 35\,595$$

$$\frac{B}{C} = \frac{VPN_{Beneficio}}{VPN_{Costo}} = 1,86$$

La relación de beneficio costo es superior a cero, por tanto, la propuesta es rentable porque los ingresos son mayores a los egresos.

Con base en el análisis realizado con el período de recuperación, se puede concluir que la inversión inicial se recupera en el segundo año, para que un proyecto sea rentable la inversión inicial debe recuperarse en no más de cuatro años, esto indica que el proyecto es financieramente atractivo.

Los tres criterios de evaluación utilizados anteriormente determinaron que es rentable invertir en el cambio de iluminación a tecnología led. Además, con el cambio de iluminación, todos los ambientes del edificio tendrán el nivel de iluminación recomendado por la norma EN 12464.1.

5.5. Sistema de puesta a tierra

Lo primordial de un excelente sistema a tierra es conservar niveles adecuados para la seguridad del personal, funcionamiento de los equipos y eficiencia de los mismos, produciendo un buen punto de protección a los equipos, enlazando los sistemas a tierra acortamos las sobretensiones eléctricas o contacto accidental con líneas de alto voltaje. Los componentes al entrelazarse a tierra dan un camino de menor impedancia para las corrientes eléctricas de falla, haciendo más fácil el manejo de los equipos de protección contra sobrecorrientes.

5.5.1. ¿Qué es una puesta a tierra?

Se define como un sistema de conexión realizado por líneas de tierra de un sistema eléctrico y electrodos, entre las funciones principales es la de limitar voltajes causados por descargas atmosféricas o contacto accidental de los conductores de suministro durante condiciones anormales, poner a un mismo diferencial de potencial cero todas las partes tangibles como accesorios, carcasas y dispositivos que conforman una instalación eléctrica, la filosofía de realizar un buen diseño de tierras físicas es el de proteger a las personas y los equipos con que se cuentan, el conductor debe estar dimensionado para soportar, transportar, las corrientes de falla y de cortocircuito.

La trayectoria de tierra física debe ser íntegra como en el caso de los circuitos eléctricos de potencia. El conductor debe estar dimensionado para soportar, transportar, las corrientes de falla y de cortocircuito, plenamente identificado, como lo indica la norma, de color verde o cable desnudo protegido de canalización. La importancia de la tierra física debe ser considerada como parte principal en los diseños de cualquier instalación, como soporte y seguridad de funcionamiento de dispositivos electrónicos de transmisión de datos en telecomunicaciones que son los más susceptibles como consecuencia de problemas de funcionamiento y rendimiento de funciones. En la tabla XLIX se consideran valores de impedancias que pueden ser utilizados en los diseños de instalaciones de tierras físicas, para que estas funcionen adecuadamente sin repercusiones, como lo indica la Norma NEC.

Tabla XLIX. **Valores de impedancias**

Impedancias recomendadas por el NEC	
Tierra física de seguridad como casas de habitación, comercios, oficinas o locales considerados como de concentración pública.	Impedancia no mayor a 25 Ω
Tierra física para sistemas de protección de computadoras.	Impedancia no mayor a 5 Ω
Áreas de descarga atmosféricas con incidencias mayores a 30 descargas por milla cuadrada en un año.	Impedancia no mayor a 1 Ω

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.5.2. Elementos de un sistema de puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra tiene que tener un correcto diseño, esto es importante para garantizar que la corriente de falla tenga una buena conducción, la resistencia para el sistema de puesta a tierra deberá ser muy baja para prevenir tensiones inducidas. Principalmente, un sistema de puesta a tierra suele constar de los siguientes elementos:

- Tomas de tierra
- Línea principal de tierra
- Derivaciones de las líneas principales de tierra
- Conductores de protección

5.5.2.1. Resistividad de tierra y resistencia

La resistencia de tierra la podemos definir como la oposición al flujo de corriente que brinda a un sistema de tierra. Este dato depende de la resistividad

del terreno, propiedades físicas del electrodo, la longitud y área de los conductores. Esta es medida en ohm.

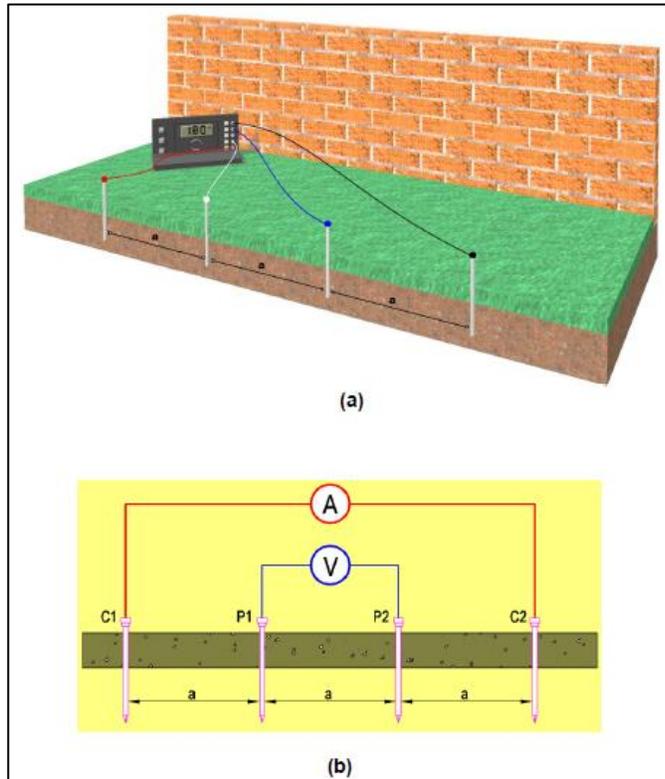
La resistividad de un material la podemos definir como la resistencia en corriente directa por las caras semejantes contrarias de una parte de éste, de largueza unitaria y sección unitaria homogéneo. Esta es medida en $\Omega \cdot m$.

El electrolítico suele variar la resistividad de una superficie y una manera de mejorarla es tratarla con geles, sales o abonado electrolítico.

5.5.2.2. Medición de la resistividad del suelo

Se realiza la medición con el objetivo de encontrar los puntos óptimos para la colocación de red de tierra, sí se usa un valor no adecuado de resistividad de los suelos en el período del diseño, puede resultar diferente a lo estipulado y consigo traer consecuencias serias por el tamaño de impedancia del sistema de tierra. Para la realizar la medición utilizaremos el método de Wenner, para esto se necesitan 4 electrodos insertados en una línea recta y a la misma profundidad, la distancia entre electrodo aplicada para este caso fue de 6 metros de separación con profundidad de 0,20 metros.

Figura 46. Configuración método de Wenner



Fuente: DUCHE ZABALA, Emerson y MIÑÁN MANRIQUE, Willy. *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. p. 37.

En la figura anterior se observa el diagrama de cómo deben ir insertados los electrodos, vemos que la corriente se inyecta por medio de los electrodos que están a la orilla y la tensión se mide por medio de los electrodos que se encuentran en el centro. Para hallar la resistividad aparente se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{4\pi a^2 r}{\left[1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}\right) - \left(\frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)\right]}$$

Si la longitud enterrada b es menor en relación con la longitud de separación entre electrodos, $a > 20b$ entonces la formula se simplifica.

$$\rho = 2\pi aR$$

Donde:

- ρ : resistividad aparente del terreno ohm*metro
- a : espaciamiento en metros de electrodos
- R : resistencia aparente del terreno

En la tabla L se muestran los valores obtenidos, los valores aplicados fueron de 6 metros de separación entre electrodos a una profundidad de 0,2 metros.

Tabla L. **Resistencia y resistividad del terreno**

Punto de la toma de medición	Resistencia aparente del terreno	Resistividad del terreno
Centro de Atención Permanente	1,89 ohm	72 ohm*metro

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

El equipo utilizado para realizar las mediciones es un medidor de tierras marca AEMC modelo 4 630, con un rango de medición de 0 a 2 000 ohm y una exactitud del 2 % para 0 a 200 ohm y ± 5 % de la lectura para 200 ohm a 2 000 ohm, con tiempo de respuesta de 4 a 8 segundos.

Figura 47. **Teluometro AEMC**



Fuente: AEMC. *Teluometro*. www.AEMC.com. Consulta: 8 de septiembre de 2019.

5.5.3. Impedancia actual del edificio Centro de Atención Permanente

El edificio de Centro de Atención Permanente no cuenta con una red de tierra física para la protección de las personas y los equipos del inmueble, por esa razón en este trabajo se propone un diseño adecuado con un nivel de impedancia adecuado a las necesidades.

5.5.3.1. Impedancia recomendada

La impedancia máxima para edificios es del 5 ohm, recomendado por el código de electrificación nacional NEC; con base a ese dato se inicia con un

diseño. Se realizó la medición de la resistividad del terreno y se obtuvo un valor de 72 ohm*metro, con estos datos se trabajará para llegar a la impedancia recomendada.

5.5.4. Corriente de cortocircuito

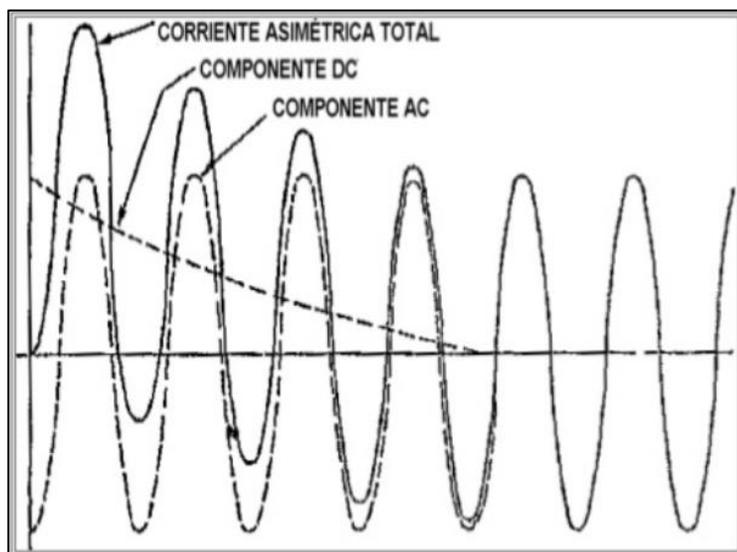
Cortocircuito es el aumento de un flujo de corriente en una cantidad muy grande establecido por la unión de un circuito de mejor impedancia, por lo general ocurre por accidente. A través del estudio del cortocircuito se estima el máximo dato de la corriente y su conducta durante el lapso de tiempo que persiste el cortocircuito, esto consiste en establecer el dato de la corriente que debe detenerse y saber el esfuerzo que los equipos son sometidos durante el lapso tiempo que ha pasado desde que se hace presente la falla hasta que se detiene el recorrido de la corriente.

Las protecciones de toda instalación deben estar calculadas para que funcionen con seguridad en circunstancias extremas y para separar las partes malas de manera que puedan seguir el mayor número de equipos cercanos a la falla.

5.5.4.1. Características del cortocircuito: asimetría

En estado normal la corriente es una onda senoidal a 60 Hz y de amplitud firme, pero al suceder un cortocircuito, sigue teniendo la misma frecuencia y la misma forma de onda senoidal, pero va disminuyendo exponencialmente desde un dato inicial mayor hasta un dato en estado estacionario, el cortocircuito es en esencia de condición transitorio. Lo descrito anterior lo observamos en la figura 48 en la curva de la corriente total.

Figura 48. **Asimetría de la corriente de cortocircuito**



Fuente: GÓMEZ MARCIAL, Daniel. *Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales*.
p. 128.

5.5.4.2. Métodos para el análisis del cortocircuito

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito hay diferentes métodos, unos más conocidos que otros, algunos son poco conocidos y otros son mejormente desarrollados para cumplir las exigencias de las empresas particulares.

5.5.4.3. Método de bus infinito (barra infinita)

En los bornes del secundario del transformador "a bus infinito" existe corriente de cortocircuito, esta es la corriente que abarcaría si el proveedor pudiera dar potencia indefinido de corto circuito en el lado primario. Y, es

idéntico a la corriente nominal del secundario a plena carga, realizada entre la impedancia del transformador.

- Método barra infinita en transformadores trifásicos:

$$I_{pc} = \frac{kVA}{\sqrt{3} * kV_{L-L}}$$

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

- Método barra infinita en transformadores monofásicos con derivación central

$$I_{pc} = \frac{kVA}{kV_{L-L}}$$

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

La corriente de falla en un lapso corto de tiempo se obtiene fácilmente con la ley de Ohm.

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

Lo que se quiere es encontrar la impedancia semejante en los distintos momentos de la falla, al encontrarlas se acorta el circuito en una única fuente de tensión con una impedancia.

En nuestro análisis calcularemos la I_{cc} entre los puntos del transformador hasta el lugar de instalación del tablero principal, entre los cuales hay una distancia de 15 metros (longitud total de la acometida) y tomaremos nuestra $Z_{eq} = 4,6 \%$, que es la impedancia del transformador.

5.5.5. Diseño propuesto para la red de tierras

A continuación, se realizará el cálculo del diseño propuesto de la red de tierras para el Centro de Atención Permanente.

Tabla LI. Valores nominales

Valores nominales	
Potencia nominal	50 KVA
Número de fases	2
Impedancia	4,6 %
Voltaje primario	13,8 KV
Voltaje secundario	120/240 V
Corriente en el secundario	240 A
Tiempo de falla	1 seg.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.5.5.1. Cálculo de la corriente de cortocircuito

$$I_{nom} = \frac{P}{2 * V_{nom}}$$

$$I_{nom} = \frac{50\ 000}{2 (240)} = 104\ A$$

$$I_{cc} = I_{nom} \times \frac{100\ \%}{Z\ \%}$$

$$I_{cc} = 104 \times \frac{100}{4,6} = 2,26 \text{ kA}$$

Cálculo de la maya de puesta a tierra, para $R \leq 5 \text{ ohm}$

5.5.5.2. Selección del conductor

$$A_c = I * \sqrt{\frac{33 * t}{\log \left[\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}}$$

Donde:

- A_c = área en mm
- T = tiempo máximo de la corriente de falla que fluye en 1 s
- T_m = temperatura máxima de fusión para el cobre es 1 084
- T_a = temperatura de ambiente de 30°

$$A_c = 2\,261 * \sqrt{\frac{33 * 1}{\log \left[\frac{1\,084 - 30}{234 + 30} + 1 \right]}} = 15\,543 \text{ cm}$$

$$1_{\text{cm}} = 5 * 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_c = 15\,543 * 5 * 10^{-4} = 7,77 \text{ mm}^2$$

Como calibre mínimo recomendado será # 2/0 con el objeto de mejorar la rigidez mecánica de la red de tierra.

5.5.5.3. Elección de malla

Dimensiones para la red de tierras, se utilizará 16 varillas de 5/8 por 8 pies, con una distancia de separación entre varillas de 3 metros a una profundidad de 0,7 m.

$$A = 9 \text{ m}$$

$$B = 9 \text{ m}$$

$$n = 4$$

$$m = 4$$

- Longitud total del conductor:

$$L_{cond} = (n * A) + (m * B)$$
$$L_{cond} = (4 * 9) + (4 * 9) = 72 \text{ metros}$$

- Cálculo del factor K_m

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[\frac{3 * 5 * 7 * \dots * (2n - 3)}{4 * 6 * 8 * \dots * (2n - 2)} \right]$$

Donde:

K_m = factor que depende del dimensionamiento de la maya

D = espaciamento entre conductores en la maya

d = diámetro de los conductores

h = profundidad del enterramiento del conductor

n = número de conductores transversales paralelos

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{3^2}{16 * 0,7 * 0,0093} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[\frac{3 * 5}{4 * 6} \right]$$

$$K_m = 0,560$$

- Cálculo del factor K_i

$$k_i = 0,656 + 0,172n$$

Donde:

K_i = es el factor de corrección por alteración del flujo de la intensidad a tierra

n = es el número de conductores transversales paralelos

$$k_i = 0,656 + 0,172(4)$$

$$K_i = 1,344$$

- Cálculo del factor K_s

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right]$$

Donde:

K_s = factor de corrección

D = espaciamiento entre conductores en la maya

h = profundidad que se inserta el conductor

n = número de conductores transversales paralelos

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,70} + \frac{1}{3 + 0,70} + \frac{1}{2 * 4} + \frac{1}{3 * 3} \right]$$

$$K_s = 0,389$$

- Cálculo del voltaje de paso tolerable por el cuerpo humano

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

E_{PT} = tensión de paso que tolera el cuerpo humano

t = es el tiempo de duración máxima de la falla

ρ_s = resistividad del terreno

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7(3\ 000)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{PT} = 2\ 216\ V$$

- Cálculo del voltaje de contacto tolerable por el cuerpo humano

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

E_{CT} = tensión de contacto que el cuerpo humano tolera

t = es el tiempo de duración máxima de la falla

ρ_s = resistividad del terreno

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17(3\ 000)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{CT} = 626\ V$$

- Cálculo de voltaje de paso o de malla

$$V_P = \frac{K_S * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Donde:

V_p = voltaje de paso o de malla

L_T = longitud total del conductor enterrado

K_S = factor de corrección

K_i = es el factor de corrección por alteración del flujo de la intensidad a tierra

ρ = resistividad del suelo

I_{cc} = corriente de corto circuito en amperios

$$V_P = \frac{0,389 * 1,344 * 72 * 2\ 261}{72}$$

$$V_P = 1\ 182\ V$$

- Cálculo del voltaje de contacto o de malla

$$V_c = \frac{K_m * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Donde:

V_c = voltaje de contacto o de malla

K_m = factor que depende del dimensionamiento de la malla

K_i = es el factor de corrección por alteración del flujo de la intensidad a tierra

ρ = resistividad del suelo

I_{cc} = corriente de corto circuito en amperios

$$V_c = \frac{0,560 * 1,344 * 72 * 2\ 261}{72}$$

$$V_c = 1\ 702\ V$$

5.5.5.4. Cálculo de la resistencia de la malla método de Schwarz

- Calculando la resistencia de tierra de los conductores de la malla

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{\sqrt{d_c * h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$K_1 = -0,05 \frac{L_x}{L_y} + 1,2$$

$$K_2 = -0,1 \frac{L_x}{L_y} + 4,68$$

Donde:

R_1 = resistencia de tierra de los conductores de la malla

ρ = resistividad del suelo

L_C = longitud total del conductor enterrado

d_C = diámetro del conductor

h = altura que están enterradas las varillas

A = área total de la malla

$K_1 = K_2$ = coeficientes

L_x = longitud horizontal de la malla

L_y = longitud vertical de la malla

- Calculando K_1 y K_2

$$K_1 = -0,05 \frac{9}{9} + 1,2 = 1,15$$

$$K_2 = -0,1 \frac{9}{9} + 4,68 = 4,58$$

$$R_1 = \frac{72}{\pi * 72} \left[\ln \left(\frac{2 * 72}{\sqrt{0,0093 * 0,6}} \right) + \frac{1,15 * 72}{\sqrt{81}} - 4,58 \right]$$

$$R_1 = 3,88 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de las varillas de tierra.

$$R_2 = \left(\frac{\rho}{2\pi n l_2} \right) \left[\ln \left(\frac{8l_2}{d_2} \right) - 1 + 2K_1 \left(\frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Donde:

R_2 = resistencia de tierra de todas las varillas

n = número de varillas de tierra

l_2 = longitud de varilla en m

d_2 = diámetro de la varilla en m

A = área total de la malla

n = total de varillas

$$R_2 = \left(\frac{72}{2 * 16 * \pi * 2,4} \right) \left[\ln \left(\frac{8 * 2,4}{0,016} \right) - 1 + 2 * 1,15 * \left(\frac{2,4}{\sqrt{81}} \right) (\sqrt{16} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 3,46 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

$$R_{12} = \frac{\rho}{l_1 \pi} \left[\ln \left(\frac{2l_1}{l_2} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

$$R_{12} = \frac{72}{72\pi} \left[\ln \left(\frac{2 * 72}{2,4} \right) + 1,15 \left(\frac{72}{\sqrt{81}} \right) - 4,58 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 3,03 \text{ ohm}$$

- Empleando la siguiente ecuación para determinar la resistencia de la maya de tierra.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}}$$

Donde:

R_1 = resistencia de tierra de los conductores de la malla

R_2 = resistencia de tierra de todas las varillas

R_{12} = resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y las varillas

$$R_g = \frac{3,88 * 3,46 - 3,03^2}{3,88 + 3,46 - 3,03}$$
$$R_g = 0,9847 \text{ Ohm}$$

Terminado de realizar los cálculos se obtiene un valor de resistencia aceptable de 0,9847 ohm adecuado para el sistema, este es el diseño propuesto para el edificio del Centro de Atención Permanente.

5.6. Banco de capacitores

Son aparatos que normalmente se colocan en los sistemas eléctricos, se puede colocar en BT y MT, estos son de gran utilidad para enmendar el factor de potencia y prevenir penalizaciones que la distribuidora impone, que el nivel de tensión mejore, sobre todo cuando arrancan los motores o conexiones de cargas de un gran tamaño. Cuando se usan como fracción de los filtros de armónicos, los bancos cooperan para disminuir las corrientes armónicas que recorren por la red eléctrica, evitando desgaste en los equipos y previniendo pérdidas eléctricas.

5.6.1. Factor de potencia

Se determina factor de potencia a la división de la potencia activa entre la potencia aparente y está representada por la ecuación.

$$FP = \frac{P}{S} = \text{Cos } \phi$$

Donde:

FP = factor de potencia

P = potencia activa [KW]

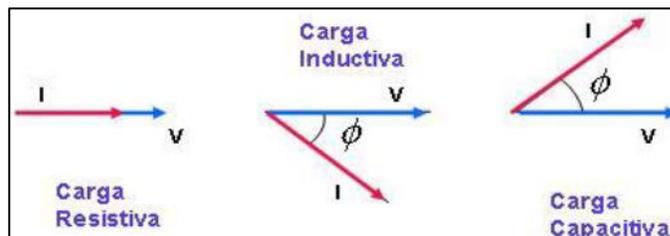
S = potencia aparente [KVA]

$\cos \Phi$ = cociente entre la potencia activa y la potencia aparente.

El factor de potencia es la relación entre la potencia consumida por el equipo y la potencia aparente suministrada por la red. El factor de potencia es adimensional de acuerdo con su definición y únicamente puede tomar datos entre 0 y 1.

- Las cargas resistivas (lámparas incandescentes), el voltaje y la corriente se encuentra en fase, por lo tanto, tienen un factor de potencia unitario.
- Las cargas inductivas (motores y transformadores), la corriente está atrasada en relación al voltaje, por lo tanto, tienen un factor de potencia retrasado.
- Las cargas capacitivas (banco de capacitores), la corriente está adelantada en relación al voltaje, por lo tanto, tienen un factor de potencia adelantado.

Figura 49. **Factor de potencia de diferentes cargas**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

5.6.1.1. Potencia activa

Representa la capacidad del circuito para realizar un trabajo en un tiempo dado. Se representa con la letra P y su unidad de medida es el vatio (W).

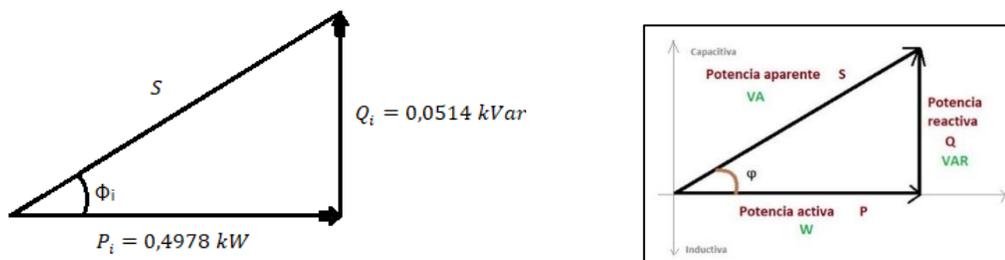
5.6.1.2. Potencia reactiva

Esta potencia solo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos, es utilizada para la generación del campo magnético, está desfasada 90 grados eléctricos de la potencia activa. No produce un trabajo útil por lo cual tiene un valor medio nulo, su unidad de medida es el voltio – amperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

5.6.1.3. Potencia aparente

Es la suma de la energía que dispersa el circuito en un lapso de tiempo en modo de calor o trabajo y la energía usada por la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Realmente esta potencia no es consumida, excepto cuando el factor de potencia sea unitario. Se representa con la letra S y su unidad de medida es el voltio – amperio (VA).

Figura 50. Triángulo de potencias



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

5.6.2. Efectos de un bajo factor de potencia

Las empresas que trabajan con un factor de potencia inferior a 1 tienen consecuencias en la medida que éste disminuye y además afecta a la red eléctrica tanto en alto voltaje como en bajo voltaje. Estas consecuencias pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Incrementos de las pérdidas por efecto Joule.
- Sobrecarga de las líneas de distribución, transformadores y generadores.
- Aumento de la caída de tensión.
- Incremento en la facturación eléctrica.

5.6.3. Cálculo de un banco de capacitores

Para realizar los cálculos se tomaron los datos de la factura eléctrica del Centro de Atención Permanente del mes de abril de 2018 (ver anexo 5). Se encontrará el factor de potencia y con base en ello se analizará si el edificio necesita un banco de capacitores para compensar el factor de potencia.

Datos: 1 792 kWh, 185 kVarh

Paso 1: los datos nos lo dan en horas, tenemos que convertirlo a segundos.

$$\frac{1\,792\text{ kW}}{h} * \frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ s}} = 0,4978\text{ kW} = P_i$$

$$\frac{185\text{ kVar}}{h} * \frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ s}} = 0,0514\text{ kVar} = Q_i$$

Paso 2: con las condiciones iniciales procedemos a calcular el ángulo Φ_i .

$$\operatorname{tg} \Phi_i = \frac{Q_i}{P_i}$$

$$\Phi_i = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{0,0514}{0,4978} \right)$$

$$\Phi_i = 5,89^\circ$$

Paso 3: con el valor del ángulo Φ_i se procede a calcular el factor de potencia.

$$FC = \operatorname{Cos} \phi$$

$$FP = \operatorname{Cos} (5,89^\circ)$$

$$FP = 0,9947$$

Tabla LII. **Factor de potencia respecto cada mes**

Mes	F.P.
Enero	0,9866
Abril	0,9947
Junio	0,9937
Julio	0,9944
Agosto	0,9956
Septiembre	0,9963
Octubre	0,9966

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 51. **Factor de potencia respecto cada mes**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según la normativa NSTD los usuarios superiores a 11 kW (que es el caso del Centro de Atención Permanente) deben de tener un factor de potencia mínimo a 0,90 y cómo podemos observar en la tabla LII y en la gráfica 51, el factor de potencia siempre se encuentra sobre el mínimo permitido según la norma, en ningún momento se aproxima a dicho rango. Se concluye que el edificio no necesita de algún banco de capacitores por el momento.

5.7. Generador eléctrico o planta de emergencia

En el ámbito hospitalario, contar con una planta de emergencia es fundamental para asegurar que todos los usuarios logren ser atendidos con extrema eficiencia y a tenor de sus requerimientos de salud.

Un generador de emergencia bien dimensionado garantiza el correcto funcionamiento de los equipos y permite la realización de los procedimientos hospitalarios de manera ininterrumpida.

Asimismo, este insumo proporciona otros beneficios como garantizar la continuidad y optimizar la seguridad del centro de salud.

5.7.1. ¿Por qué el hospital debe contar con una planta de emergencia?

En un hospital, cuando se interrumpe la provisión de energía que alimenta los aparatos, pueden ocurrir efectos irreversibles en la salud de los usuarios como secuelas neurológicas y, en los casos más graves, decesos. Bajo este contexto, además de ser un inconveniente, el corte de energía se vuelve un verdadero peligro para la vida.

Ante lo señalado, es evidente que los hospitales necesitan contar con mecanismos de provisión en energía, auxiliares, confiables y seguros, capaces de mantener el pleno funcionamiento de los aparatos en caso de falla del sistema de suministro de energía nacional. De hecho, al faltar energía, los generadores son responsables por mantener encendidos los equipos, sin comprometer las demandas en cuanto a los tratamientos y los procedimientos quirúrgicos que necesitan electricidad para funcionar.

Se observa que, los generadores energéticos son una necesidad primaria, por lo tanto, los hospitales deben integrar grupos generadores de alta calidad para el soporte de vida, pues ofrecen un excelente nivel de eficiencia y actúan con máxima fiabilidad en el respaldo de energía durante la emergencia.

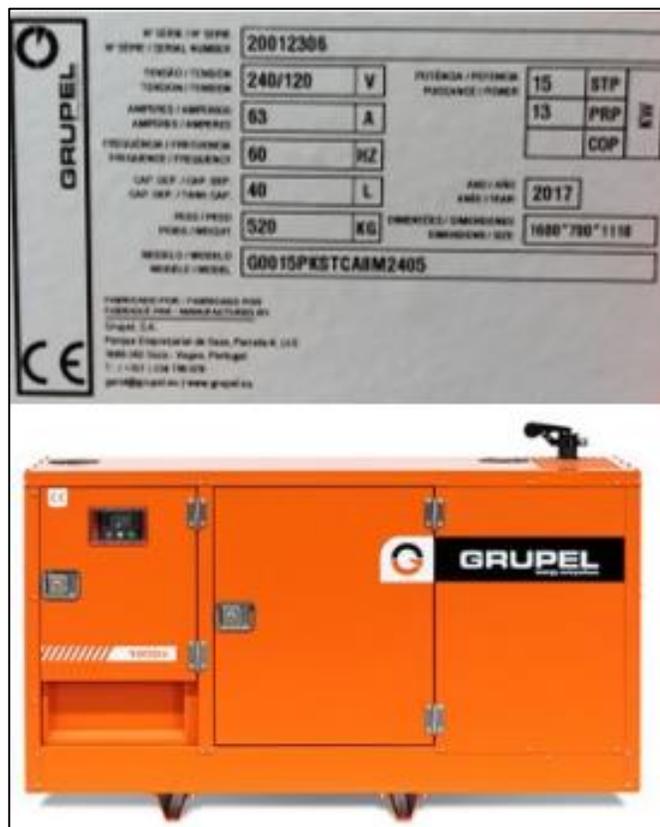
Algunas de las ventajas de contar con un generador eléctrico en un hospital son:

- Constituye una fuente de energía constante.

- Evita las pérdidas de medicamentos.
- Fomenta la seguridad.

Actualmente el Centro de Atención Permanente cuenta con un generador eléctrico de 15 kW, pero el mismo no se da abasto para suministrar a todo el edificio al momento de que ocurra una interrupción eléctrica; por lo cual se hará un cálculo estimado de un generador idóneo para el edificio.

Figura 52. **Generador eléctrico actual**



Fuente: elaboración propia.

5.7.2. Cálculo de generador eléctrico para el Centro de Atención Permanente

Para realizar los cálculos se tomarán como base los datos de la energía consumida de todo el edificio, tanto de luminarias como de todo el equipo electrónico y médico que se encuentra dentro del edificio.

Paso 1: se tomarán los datos de las tablas XVII y XX, que son los datos de la energía total consumida en el edificio.

- Consumo de energía de luminarias: 2,7 kW.
- Consumo de energía de equipos: 31,9 kW.
- Energía total consumida: 34,7 kW.

Paso 2: al tener la energía total en kW, lo pasaremos a KVA:

$$P = \frac{34,7 \text{ kW}}{0,8} = 43,4 \text{ KVA}$$

Paso 3: Al obtener el valor definitivo, se recomienda incrementarlo en un 20 % para contar con un margen de seguridad:

$$43,4 \text{ KVA} + 20 \% = 52,08 \text{ KVA}$$

En conclusión, se necesita un generador eléctrico que cubra 52,08 KVA, para suministrar a todo el edificio al momento de que ocurra una interrupción eléctrica; esto asumiendo que todos los equipos y luminarias estén funcionando a plena carga.

5.8. Sistema de pararrayos

Los pararrayos son elementos de protección que están hechos para proteger edificios, estructuras y zonas donde los impactos del rayo son directos y sus descargas atmosféricas son dirigidas hasta el suelo.

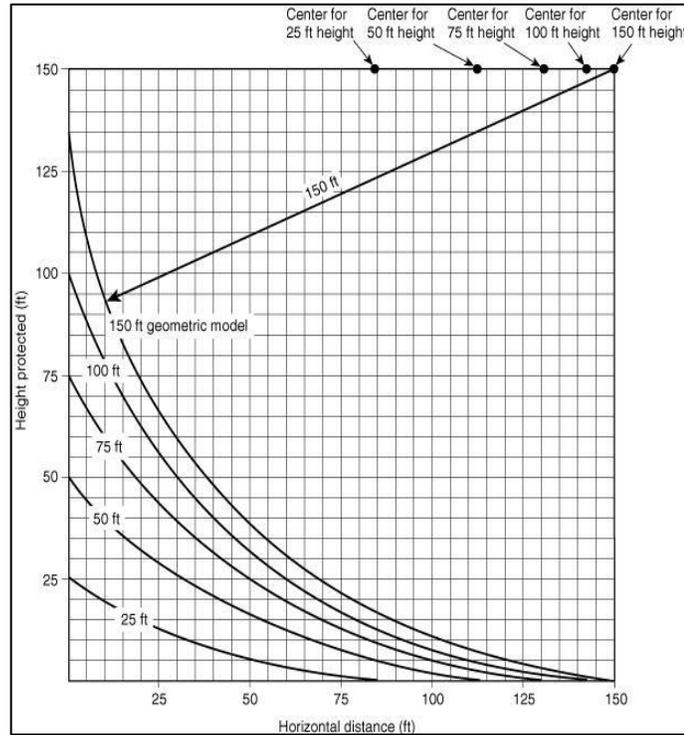
Estará basado en el concepto de esfera rodante, que se aplicará a la estructura para asegurar que todas las áreas expuestas dentro de un radio "R" sean protegidas por el esquema. Los materiales utilizados son generalmente cobre de alta pureza (99 % + pureza) de un grado similar al utilizado para conductores eléctricos.

Los accidentes ocasionados por el rayo pueden ser:

- Los accidentes ocasionados por un golpe directo: cuando el rayo afecta a la construcción o una zona determinada. Este accidente puede causar numerosos daños.
- Los accidentes ocasionados indirectamente: cuando el rayo impacta o induce sobretensiones en los elementos de energía o las interconexiones de transmisión.

Para realizar el análisis de riesgo, se debe evaluar el tipo de instalaciones que albergará el edificio, el área en metros cuadrados que será cubierta, la altura máxima que tendrá para definir el radio de protección. Este análisis se desarrolla por medio de la gráfica siguiente.

Figura 53. Zona de protección para el pararrayo



Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 125.

El eje vertical define la altura del pararrayos o protección en pies; el eje horizontal determina el radio o distancia en pies de la zona de protección.

Dentro de los aspectos a evaluar, el uso o tipo de ocupación corresponde a un edificio que prestará un servicio continuo de atención a pacientes, del tipo hospitalario.

Por las características del servicio por prestar y la naturaleza de construcción de la estructura determinada se clasifica como no metálico, será de concreto reforzado. Estos parámetros definen el diseño por ocupación.

Debido a que es un centro hospitalario, el valor del contenido del mismo corresponde a vidas humanas, lo que lo clasifica como un grado de protección de alto riesgo.

El tipo de estructura que tendrá el centro hospitalario para el análisis de la superficie de captura corresponde a una forma compleja debido a su diseño estructural. El método que será utilizado se indica en la figura 54. En el edificio la parte más alta tendrá una altura de 24,00 metros, más 5,50 metros del mástil y 2,00 metros del pararrayos seleccionado, la altura de montaje total corresponde a 31,50 metros, o su equivalente a 103 pies.

Debido a que es una estructura compleja, la fórmula utilizada para determinar el valor de la superficie de captura equivalente de la estructura única, corresponde a la siguiente, de acuerdo con la norma NFPA-780.

$$A_e = 9 * \pi * H_p^2$$

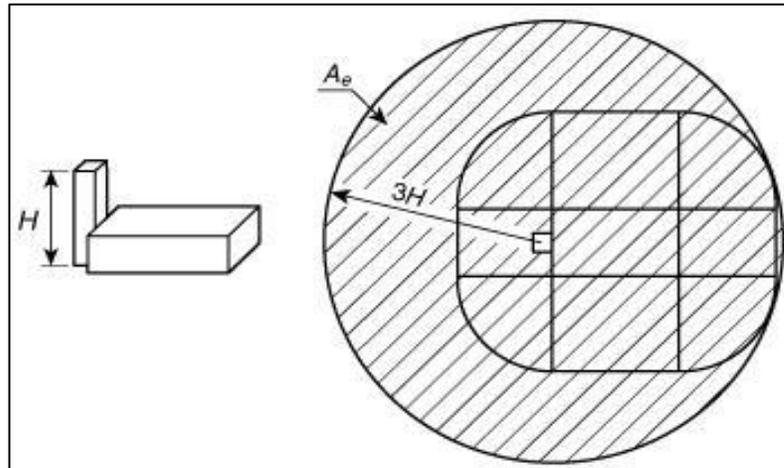
Donde:

A_e = corresponde a la superficie o área de captura equivalente de la estructura única en (m²).

H_p = corresponde a la altura del edificio que son 24 metros o su equivalente a 78,75 pies.

Al analizar la gráfica se determina que el radio de protección para este tipo de estructura está dentro del rango de 150 pies, o su equivalente a 45,72 metros.

Figura 54. Estructura en forma compleja y radio de cobertura



Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 126.

Para realizar el cálculo de evaluación de riesgo que comprende el análisis del centro médico, se debe tener la información correspondiente en relación con el nivel cerámico que se tiene definido en la región de ubicación para el proyecto en desarrollo, de acuerdo con la información siguiente:

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), por medio de la aplicación de técnicas estadísticas, obtiene los resultados que permiten asignarle a cada región del país, un valor real de número de días de tormentas eléctricas por año (o nivel cerámico), respecto de cada estación de acuerdo con la tabla LIII.

Tabla LIII. **Valor del nivel ceráunico de la red de estaciones sinópticas meteorológicas**

No.	Departamento	Nombre de la estación	Valor ceráunico
1	Alta Verapaz	Cobán	53
2	Chiquimula	Esquipulas	68
3	Escuintla	Puerto de San José	119
4	Guatemala	Aeropuerto	69
5	Huehuetenango	Huehuetenango	64
6	Izabal	Puerto Barrios	117
7	Jutiapa	Montúfar	60
8	Petén	Flores	107
9	Quetzaltenango	Labor Ovalle	66
10	Retalhuleu	Retalhuleu	158
11	Zacapa	La Fragua	64

Fuente: INSIVUMEH. *Estaciones sinópticas meteorológicas*. www.insivumeh.gob.gt. Consulta: 21 de septiembre de 2019.

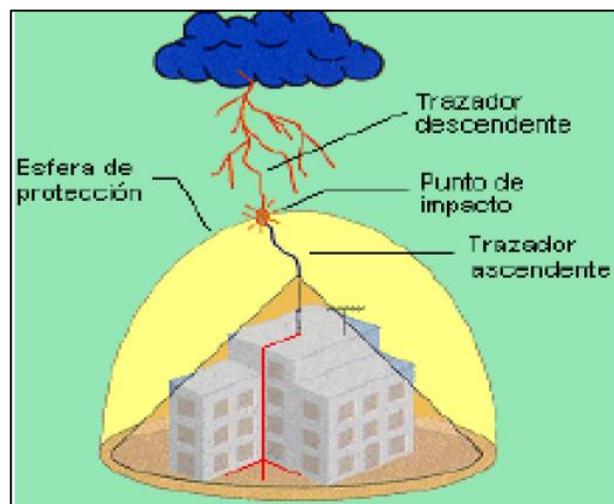
Esfera rodante: al hacer girar una esfera, de radio semejante a la distancia de cebado, las descargas afectan en los puntos en donde la esfera toca el elemento o quedan exteriores y a más altura de volumen de la esfera de radio d .

Como la distancia de cebado depende de la fuerza de la descarga, tenemos que examinar los posibles sucesos en que la altura h del edificio es mayor o menor a esta distancia d .

- $h > d$, quedan varias zonas del edificio sin protección, el ángulo es igual a cero.

- $h < d$, la esfera roza el edificio haciendo un ángulo de protección inestable, por la cual es importante saber, no solo si hay pocos o muchos rayos en la zona, sino también saber el dato de la corriente para la que se adopta la protección, se utilizará el valor del nivel cerámico de la región a instalar el sistema, para Guatemala corresponde a 69 de acuerdo con la tabla LIII. (Se utiliza el de Guatemala por ser el más cercano a Sacatepéquez).

Figura 55. **Impacto del rayo contra la esfera de protección**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

5.8.1. **Cálculo para evaluación de riesgo del sistema de pararrayos para protección del Centro de Atención Permanente**

Con la información obtenida anteriormente, se realizará el cálculo para la evaluación del riesgo de daños, y se determinará el valor de la frecuencia estimada N_d de impactos directos del rayo sobre una estructura:

Tabla LIV. **Frecuencia anual media Nd de impactos directos**

Fórmula	Descripción
$Ae = 9 \cdot \pi \cdot Hp^2$	C1 = coeficiente relacionado con el entorno C1 = 0,50
$Ae = 9 \cdot \pi \cdot (24)^2 = 16\ 286\ m^2$	Hp = altura del edificio. Hp = 24 metros
$Nd = (Ng \cdot Ae \cdot C1) / 1\ 000\ 000$	Ng = densidad anual de medios de impactos de rayo en la región donde se sitúa la estructura (Número de impactos/año/Km ²) Ng = 69 para Guatemala
$Nd = (69 \cdot 16\ 286 \cdot 0,50) / 1\ 000\ 000$ Nd = 0,567	Ae = superficie de captura equivalente de la estructura única (m ²)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla LV. **Coficiente relacionado con el entorno C₁**

Situación del edificio	C1
Estructura ubicada dentro de un espacio que contiene estructura o árboles de la misma altura o más alto dentro de una distancia 3H	0,25
Estructura rodeada de estructuras más pequeñas dentro de una distancia 3H	0,50
Estructura aislada: Ninguna otra estructura situada a una distancia de 3H	1,00
Estructura aislada en una colina o un montículo	2,00

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 186.

El valor de C1 que utilizaremos en el centro hospitalario corresponde a 0,50.

Frecuencia tolerable del rayo (Nc): es una medida del riesgo de daños a la estructura que incluye los factores que afectan el riesgo a la estructura, el medio ambiente y la pérdida monetaria.

La frecuencia del rayo tolerable se expresa por la siguiente fórmula:

$$N_c = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{C}$$

Tabla LVI. **Cálculo de la frecuencia tolerable del rayo Nc**

Fórmula	Descripción
$N_c = (1,5 \times 10^{-3}) / C$	Nc = Frecuencia tolerable del rayo
$C = (C_2)(C_3)(C_4)(C_5)$	C2 = Coeficiente estructural
$C = (1)(4)(3)(10) = 120$	C3 = Coeficiente contenido de estructura
$N_c = 0,0015/120$	C4 = Coeficiente ocupación de la estructura
$N_c = 0,0000125$	C5 = Coeficiente consecuencia del relámpago

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla LVII. **Coeficiente en función del tipo de construcción C₂**

Estructura	Techo de metal	Techo no metálico	Techo inflamable
Metálica	0,50	1,00	2,00
No metálico, hormigón	1,00	1,00	2,50
Inflamable, madera	2,00	2,50	3,00

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 188.

La estructura y techo del centro hospitalario corresponde a hormigón, por lo que el valor que se utilizará para el cálculo de C₂ será 1,00.

Tabla LVIII. **Coeficiente en función del contenido del edificio C₃**

Contenido de Estructura	C3
Bajo valor y no inflamable	0,50
Valor normal y no inflamable	1,00
Alto valor inflamabilidad moderada	2,00
Un valor excepcional, inflamable, de informática o electrónica	3,00
Un valor excepcional, artículos culturales irremplazables	4,00

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 188.

Debido a que es un centro hospitalario, el valor para el coeficiente en función del contenido C3 será de 4,00.

Tabla LIX. **Coeficiente de ocupación de la estructura C₄**

Estructura de ocupación	C4
Edificios no ocupados normalmente. Desocupado	0,50
Normalmente ocupado	1,00
Difícil de evacuar o riesgo de pánico, usos: concurrencia pública, sanitario, comercial, docente	3,00

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 189.

El valor para C4 será de 3,00 por las características del edificio.

Tabla LX. **Coefficiente de consecuencia del relámpago C₅**

Consecuencia del rayo	C₅
Continuidad de los servicios de las instalaciones no es necesario, sin impacto ambiental	1,00
Continuidad de los servicios de las instalaciones se requiere, sin impacto ambiental	5,00
Consecuencias para el medio ambiente	10,00

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 189.

El valor para C₅, corresponde a 10,00, debido a que por los equipos instalados habrá consecuencias para el medio ambiente en caso de daño por impacto de relámpago hacia el edificio.

5.8.2. Selección del nivel de protección

La frecuencia del rayo tolerable (N_c) se compara con la frecuencia del rayo exceptuado (N_d). El resultado de esta comparación se utilizará para decidir si el sistema se necesita de alguna protección contra los rayos.

- Si $N_d \leq N_c$, un sistema de protección contra los rayos puede no ser necesario por lo tanto será opcional.
- Si $N_d \geq N_c$, se requiere la implementación de un sistema de protección contra el rayo de eficacia.

El sistema de protección contra el rayo de eficacia está dando por la fórmula:

$$E \geq 1 - \left(\frac{Nc}{Nd}\right)$$

$$E \geq 1 - \left(\frac{0,0000125}{0,567}\right) = 0,99$$

De acuerdo con la información anterior, se tienen los siguientes valores: $Nd = 0,567$ y $Nc = 0,0000125$. Entonces $0,537 \geq 0,0000125$, razón por la cual se utilizará sistemas de protección contra el rayo. El nivel de protección por utilizar será 1 de acuerdo con la tabla LXI.

El nivel de protección determina el radio de protección de los pararrayos, la distancia de seguridad (interconexión de las masas) y la periodicidad de las verificaciones. Para determinar el nivel se utilizará la siguiente tabla:

Tabla LXI. Selección del nivel de protección del pararrayos

Eficacia calculada	Nivel de protección	Descripción
$E > 0,98$	Nivel 1 + medidas complementarias	Nivel 1 + medidas complementarias
$0,95 < E < 0,98$	Nivel 1	Estructuras de muy alto riesgo
$0,90 < E < 0,95$	Nivel 2	Estructuras de alto riesgo
$0,80 < E < 0,90$	Nivel 3	Estructuras de mediano riesgo
$0,00 < E < 0,80$	Nivel 4	Estructuras de bajo riesgo

Fuente: Norma NFPA 780, 2004. *Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos*. p. 189.

Esta información se utiliza para determinar la ubicación y espaciado adecuados de los terminales aéreos. El procedimiento para la selección del pararrayos toma como base la altura del edificio y el grado de protección, razón

por la cual se utilizará el nivel de protección tipo 1 de acuerdo con la tabla anterior, para construcciones de alto riesgo que alojan contenidos de alto valor o que requieren protección especial por aglomeración de personas.

La norma NFPA 780 establece los requisitos de instalación del sistema de protección contra rayos para proteger a las personas y los bienes de peligro de incendio y riesgos relacionados asociados con la exposición del rayo.

De acuerdo con el área de construcción que se deberá proteger en el centro hospitalario el radio para la zona de protección será de 79 metros (260 pies), razón por la cual en la selección del tipo de terminal aérea para la protección se utilizó la norma IEC 62305-3, donde el pararrayos del tipo cebado cumple con el radio de protección seleccionado, en la cual la zona de cobertura es mucho mayor que con cualquier otro dispositivo de protección.

Se ha seleccionado el pararrayos de la marca HELITA modelo "PULSAR", el cual se base de una metodología que le permite dar una señal de alto voltaje con frecuencia de amplitud definidas y especificados que admite la formación temprana del trazador ascendente en su extremo y su propagación de forma constante hacia el trazador descendente.

En el momento de que el rayo se acerca a la superficie, se forma una descarga encima de la estructura conductora. El instrumento de cebado pulsar le tolera disminuir el tiempo adecuado para su formación y prolongación constante de la descarga ascendente y le garantiza así una mejor eficacia en la captura del rayo. Los pararrayos pulsar son absolutamente independientes desde la perspectiva energética; agarran la energía eléctrica precisa para la generación de los pulsos de alto voltaje del entorno ambiente, que hay en el momento de la tormenta.

El instrumento de cebado solo funciona en cuanto el entorno ambiental sobrepasa un dato correspondiente al riesgo menor del rayo. Para la selección de este sistema se utilizará la tabla LXII. Es una condición del fabricante que la punta del pararrayo tenga que quedar a una longitud ≥ 2 metros sobre la superficie por resguardar.

Tabla LXII. Radios de protección del pararrayos PULSAR de HELITA

Radios de protección de pararrayos Pulsar, según norma NF C 17-102									
	NIVEL I. D = 20 metros			NIVEL II. D = 45 metros			NIVEL III. D = 60 metros		
Pulsar	30	45	60	30	45	60	30	45	60
h(m)	Radio de protección RP (m)								
2	19	25	32	25	32	40	28	36	44
3	28	38	48	38	48	59	42	57	65
4	38	51	64	50	65	78	57	72	87
5	48	63	79	63	81	97	71	89	107
6	48	63	79	64	81	97	72	90	107
8	49	64	79	65	82	98	73	91	108
10	49	64	79	66	83	99	75	92	109
15	50	65	80	69	85	101	78	95	111
20	50	65	80	71	86	102	81	97	113
45	50	65	80	75	90	105	89	104	119
60	50	65	80	75	90	105	90	105	120

Fuente: Catálogo HELITA. *Protección contra el rayo*. <https://pdfslide.tips/documents/6catalogo-gral-helita-55b9bf934483.html>. Consulta: 11 de octubre de 2019.

El concepto de cebado implementado en el pararrayos pulsar proporciona una ganancia única en la eficiencia: anticipando la formación natural de un rayo ascendente, el pulsar genera una descarga que se propaga rápidamente para capturar el rayo y conducirlo hacia el suelo. Éxito demostrado en condiciones de laboratorio, este tiempo de activación, en comparación con simples pararrayos de la barra, ofrece una protección adicional crítica.

En el caso de los conductores bajantes se deberá cumplir con lo establecido en la norma NFPA 780-14. El cable deberá ser perfectamente estirado para evitar secciones flojas y las puntas se apretarán firmemente para eliminar bolsas en V o en U.

Las bajadas deberán ser perpendiculares y se harán con cable plano de cobre estañado debido a sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas. De 30 mm de ancho por 2 mm de espesor fijado en tres puntos por cada metro.

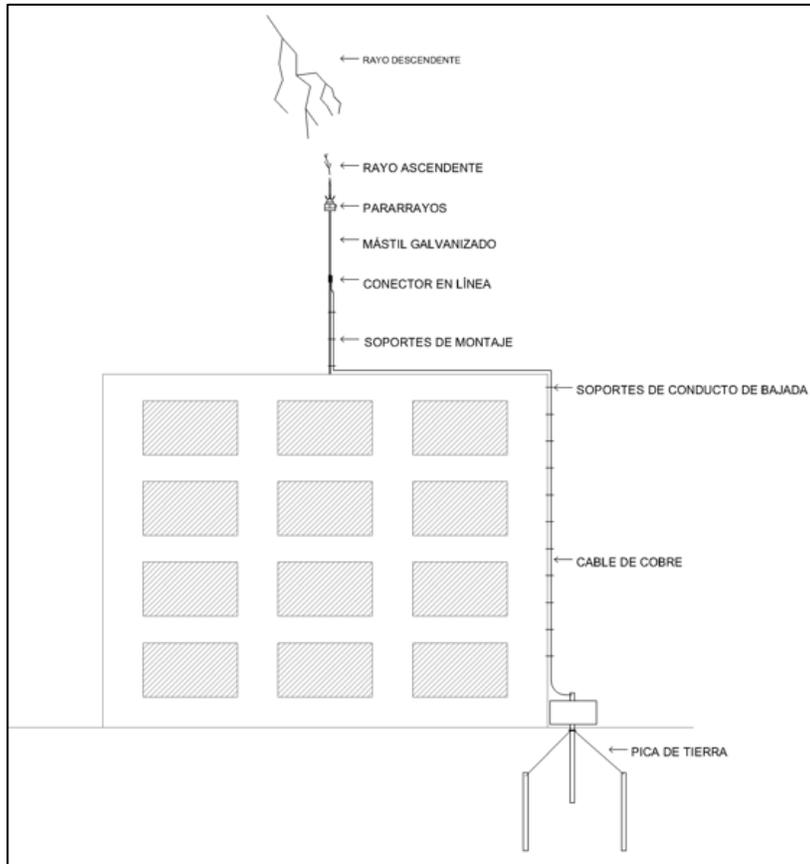
Llega hasta las barras de cobre separadas de la base del edificio a una distancia mínima de 6 pies y enterradas de tal forma que el extremo superior quede a una distancia máxima de 2 pies del nivel de piso terminado.

Los materiales por utilizar, por ser una estructura mayor de 23 metros, deberán ser clase II para los pararrayos, los terminales aéreos, electrodos de puesta a tierra y accesorios asociados.

Para el pulsar 60, el límite $60 \mu s$ adoptado para la ganancia en el tiempo T de cebado utilizado para calcular el radio de protección ha sido validado en condiciones de laboratorio por Gimelec, de los equipos eléctricos y electrónicos fabricados por la asociación francesa.

La altura de montaje sobre la parte más alta del edificio será de 5,50 metros del mástil más 2,00 metros del pararrayos, para un total de 7,50 metros. En la sección para el cálculo del sistema para pararrayos se realizó el procedimiento para la selección. Los valores obtenidos indican que el pararrayos con dispositivo de cebado seleccionado, será el Pulsar 60 con nivel de protección I.

Figura 56. Diagrama instalación de pararrayos



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

CONCLUSIONES

1. Por medio del analizador de redes, se determina que la calidad de la energía suministrada por la empresa distribuidora al edificio cumple en un porcentaje aceptable con los límites permisibles por norma. Dichos resultados podemos observar en la figura 34 y tabla VII.
2. Las protecciones y los conductores se encuentran dimensionados apropiadamente, no presentan sobrecarga alguna. Los resultados de los cálculos y pruebas realizadas podemos observar en las tablas XIII, XXXV, XXXVI, XXXVII, XLII, XLIII y XLIV.
3. Derivado del inventario de iluminación y equipos eléctricos realizado en el edificio, se logró determinar que los equipos con mayor consumo eléctrico son aquellos utilizados en el sistema de esterilización, el calentador de agua y por el equipo de cómputo. En las tablas XVI, XVII, XIX y XX se detalla los resultados del inventario.
4. Se determinó un nivel de iluminación deficiente en cada ambiente del edificio, esto como resultado de la medición que se realizó con el luxómetro AEMX CA813, según lo estipula la norma UNE-EN 12464-1 (anexo 4). Dichos resultados podemos observar en la tabla XVIII y figura 14.
5. Según la normativa NSTD de la CNEE los usuarios superiores a 11 kW deben de tener un factor de potencia mínimo de 0,90 (tabla VII); cómo podemos observar en la tabla LII y en la figura 51, el factor de potencia

teórico obtenido siempre se encuentra sobre el mínimo permitido según la norma. Se concluye que el edificio no necesita de ningún banco de capacitores por el momento.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un interruptor principal monofásico para el tablero principal, esto como protección general para el Centro de Atención Permanente, actualmente no se cuenta con la protección.
2. Implementar un programa de mantenimiento para garantizar un funcionamiento eficiente y que se mantenga en buen estado el sistema eléctrico del Centro de Atención Permanente y los dispositivos electrónicos en óptimas condiciones.
3. Planificar una remodelación total al sistema de iluminación, actualmente más del 90 % de las áreas del Centro de Atención Permanente no cumplen con el requerimiento mínimo de iluminación indicado por la norma UNE-EN 12464-1:2003.
4. Implementar un mantenimiento preventivo y correctivo a la red de tierra física (solo se cuenta con una varilla de cobre aterrizada) para proteger al personal y los recursos con que cuenta el inmueble; actualmente no cuenta con una malla de protección lo cual es necesario implementar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Catálogo HELITA. *Protección contra el rayo*. [en línea]. <<https://pdfslide.tips/documents/6catalogo-gral-helita-55b9fbf934483.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2019].
2. Celectric. *Cargadores convencionales y de alta frecuencia, monofásicos y trifásicos para tracción*. [en línea]. <<http://www.bureaubaterias.com/traccion/es/sector/plataformas-elevadoras/celectric-cargadores.php>>. [Consulta: 20 de octubre de 2020].
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución, NTSD*. Guatemala: CNEE, 1999. 114 p.
4. DUCHE ZABALA, Emerson; MIÑÁN MANRIQUE, Willy. *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2013. 123 p.
5. ESTÁNDAR IEEE 1159. *Monitoreo de la Calidad de la Energía*. Estados Unidos. 2008. 145 p.
6. GÓMEZ MARCIAL, Daniel. *Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. 161 p.

7. HARPER, Enrique. *Manual de instalaciones residenciales*. México: Limusa, 1989. 86 p.
8. LÓPEZ PAIZ, Gerardo Antonio. *Corrección del factor de potencia y diseño e implementación óptimo de banco de capacitores bajo el efecto de distorsión armónica en la industria de producción de cloro*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 202 p.
9. Norma IEC 61000-3-2. *Límites de Armónicos de Corriente*. Estados Unidos. 2005. 36 p.
10. Norma NEC. *Código Eléctrico Nacional*. Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008. 895 p.
11. Norma UNE-EN 12464-1. *Iluminación de los lugares de trabajo*. España: Normativa Info, 2003. 15 p.
12. SAJQUIM HERNÁNDEZ, William Ernesto. *Diseño de un sistema eléctrico en media y baja tensión de un centro hospitalario, con capacidad de 2250 KVA bajo normas y estándares: Código Nacional Eléctrico con énfasis en el artículo 517 y Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. 574 p.

13. VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ, Carlos Roberto. *Estudio eléctrico del Centro Universitario San Marcos, de la Universidad San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 155 p.

14. ZAPATA MINERA, Edwin Haroldo. *Estudio eléctrico de las instalaciones del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 226 p.

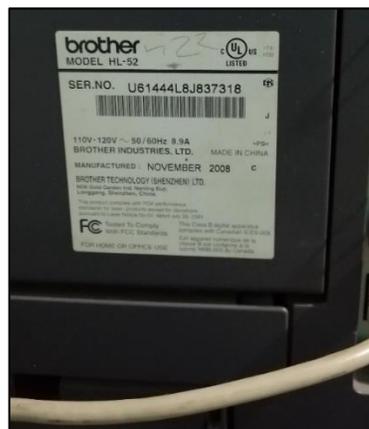
APÉNDICES

Apéndice 1. Placa de datos del esterilizador



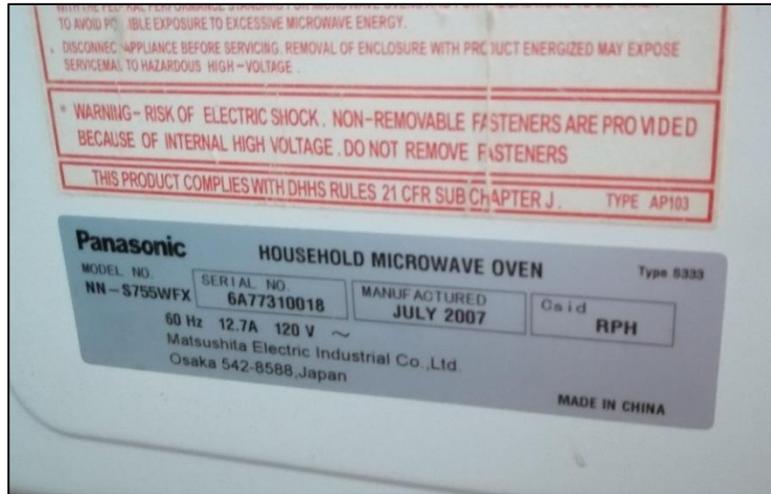
Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

Apéndice 2 Placa de datos de la fotocopidora



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

Apéndice 3. Placa de datos del microondas



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

Apéndice 4. Placa de datos del calentador de agua



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

Apéndice 5. **Medidor del Centro de Atención Permanente**



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

Apéndice 6. **Medición del nivel de iluminación**



Fuente: elaboración propia, Centro de Atención Permanente (CAP), Sumpango, Sacatepéquez.

ANEXOS

Anexo 1. Capacidad de conductores

Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal		Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal	
	CM	Mm ²		CM	mm ²
14	4110	2,1	350		177,0
12	6530	3,3	400		203,0
10	10380	5,3	450		228,0
8	16510	8,4	500		253,0
6	26240	13,3	550		279,0
4	41740	21,2	600		304,0
2	66360	33,6	650		329,0
1/0	105600	53,5	700		355,0
2/0	133100	67,4	750		380,0
3/0	167800	85,0	800		405,0
4/0	211600	107,2	900		456,0
250		127,0	1000		507,0
300		152,0			

Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)		Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)	
	60 °C	75 °C		60 °C	75 °C
	TW	THW		TW	THW
14	20	20	250	215	255
12	25	25	300	240	285
10	30	35	350	260	310
8	40	50	400	280	335
6	55	65	500	320	380
4	70	85	600	355	420
2	95	115	700	385	460
1/0	125	150	750	400	475
2/0	145	175	800	410	490
3/0	165	200	900	435	520
4/0	195	230	1000	455	545

Fuente: ARRIAGA, Carlos. *Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas*. p. 92.

Anexo 2. **Tabla de lámparas fluorescentes**

TABLA DE LÁMPARAS FLUORESCENTES				
Producto	Largo		Watts	Lúmenes
F20T12/CW	24"	609.6 mm	20	1240
F20T112/WW	24"	609.6 mm	20	1260
F20T12/D	24"	609.6 mm	20	1075
F30T12/D	24"	609.6 mm	20	1900
F40CW	48"	1219.2 mm	40	3100
F40D	48"	1219.2 mm	40	2700
F40CW/RS/SS	48"	1219.2 mm	34	2775
F40WW/RS/SS	48"	1219.2 mm	34	2825
F40D/RS/DD	48"	1219.2 mm	34	2350
F48T12/CW	48"	1219.2 mm	39	2940
F48T12/D	48"	1219.2 mm	39	2500
F48T12/CW/SS	48"	1219.2 mm	32	2550
F72T12/CW	72"	1828.8 mm	55	4500
F72T12/D	72"	1828.8 mm	55	3900
F96T12/CW	96"	2438.4 mm	75	6300
F96T12/WW	96"	2438.4 mm	75	6400
F96T12/D	96"	2438.4 mm	75	5400
F96T12/CW/SS	96"	2438.4 mm	60	5400
F96T12/WW/SS	96"	2438.4 mm	60	5500
F96T12/D/SS	96"	2438.4 mm	60	4700

Fuente: ARRIAGA, Carlos. *Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas*. p. 93.

Anexo 3. **Tabla de coeficiente de utilización K**

DISTR. TÍPICA	TECHO	CLARO		SEMICLARO		CLARO	
	Pared	Claro	Semi claro	Claro	Oscuro	Claro	Oscuro
	Piso	Oscuro		Claro		Semiclaro	
	RR						
Luz indirecta I	0.6	0.27	0.21	0.17	0.11	0.28	0.22
	1.0	0.39	0.33	0.26	0.28	0.42	0.35
	2.0	0.55	0.49	0.36	0.29	0.60	0.52
	3.0	0.61	0.56	0.40	0.34	0.69	0.62
	5.0	0.68	0.64	0.44	0.39	0.78	0.72
Luz Semi-indirecta SI	0.6	0.24	0.19	0.17	0.11	0.24	0.19
	1.0	0.35	0.30	0.26	0.19	0.37	0.31
	2.0	0.49	0.44	0.36	0.29	0.53	0.47
	3.0	0.55	0.50	0.40	0.34	0.61	0.55
	5.0	0.60	0.57	0.45	0.39	0.68	0.63
Luz Semi-directa SD	0.6	0.34	0.28	0.31	0.24	0.35	0.29
	1.0	0.48	0.42	0.44	0.36	0.50	0.43
	2.0	0.64	0.59	0.58	0.51	0.69	0.62
	3.0	0.70	0.66	0.63	0.57	0.78	0.72
	5.0	0.75	0.72	0.68	0.63	0.86	0.81
Luz Difusión general G	0.6	0.26	0.21	0.23	0.16	0.27	0.22
	1.0	0.38	0.33	0.33	0.26	0.40	0.34
	2.0	0.53	0.48	0.44	0.38	0.57	0.51
	3.0	0.59	0.55	0.49	0.44	0.65	0.59
	5.0	0.64	0.61	0.54	0.49	0.73	0.68
Luz Directa D	0.6	0.34	0.28	0.33	0.24	0.35	0.28
	1.0	0.49	0.42	0.47	0.37	0.51	0.43
	2.0	0.65	0.60	0.63	0.55	0.71	0.64
	3.0	0.72	0.67	0.69	0.63	0.80	0.74
	5.0	0.78	0.75	0.75	0.71	0.89	0.85

Fuente: ARRIAGA, Carlos. *Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas*. p. 94.

Anexo 4. Norma UNE-EN 12464-1

7.1. Salas para uso general					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
			–	–	Todas las iluminancias a nivel del suelo
7.1.1	Salas de espera	200	22	80	
7.1.2	Pasillos, durante el día	200	22	80	
7.1.3	Pasillos, durante la noche	50	22	80	
7.1.4	Salas de día	200	22	80	
7.2. Salas de personal					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
7.2.1	Oficina de personal	500	19	80	
7.2.2	Salas de personal	300	19	80	
7.3. Salas de guardias, salas de maternidad					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
			–	–	Debe impedirse luminancias demasiado elevadas en el campo de visión de los pacientes
7.3.1	Alumbrado general	300	19	80	Iluminancia a nivel del suelo
7.3.2	Alumbrado de lectura	300	19	80	
7.3.3	Exámenes simples	300	19	80	
7.3.4	Examen y tratamiento	1 000	19	90	
7.3.5	Alumbrado nocturno, alumbrado de observación	5	–	80	
7.3.6	Cuartos de baño y servicios para pacientes	200	22	80	
7.4. Salas de examen (general)					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
7.4.1	Alumbrado general	500	19	90	
7.4.2	Examen y tratamiento	1 000	19	90	
7.5. Salas de examen ocular					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
7.5.1	Alumbrado general	300	19	80	
7.5.2	Examen ocular externo	1 000	–	90	
7.5.3	Pruebas de lectura y visión cromática con diagramas de visión	500	16	90	
7.6. Salas de examen auditivo					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
7.6.1	Alumbrado general	500	19	80	
7.6.2	Examen auditivo	1 000	–	90	
7.8. Salas de parto					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR ₁	R _a	Observaciones
7.8.1	Alumbrado general	300	19	80	
7.8.2	Examen y tratamiento	1 000	19	80	

Continuación de anexo 4.

7.9 Salas de tratamiento (general)					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.9.1	Dialisis	500	19	80	La iluminación debe ser controlable
7.9.2	Dermatología	500	19	90	
7.9.3	Salas de endoscopia	300	19	80	
7.9.4	Salas de yesos	500	19	80	
7.9.5	Baños médicos	300	19	80	
7.9.6	Masaje y radioterapia	300	19	80	
7.10 Áreas de operación					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.10.1	Salas preoperatorias y de recuperación	500	19	90	
7.10.2	Salas de operación	1 000	19	90	
7.10.3	Quirófano				\bar{E}_{m} : 10 000 a 100 000 lux
7.11 Unidad de cuidados intensivos					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.11.1	Alumbrado general	100	19	90	A nivel del suelo
7.11.2	Exámenes simples	300	19	90	A nivel de cama
7.11.3	Examen y tratamiento	1 000	19	90	A nivel de cama
7.11.4	Vigilancia nocturna	20	19	90	
7.12 Dentistas					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.12.1	Alumbrado general	500	19	90	El alumbrado debe estar libre de deslumbramiento para el paciente
7.12.2	En el paciente	1 000	—	90	
7.12.3	Quirófano	5 000	—	90	Pueden ser necesarios valores mayores de 5 000 lux
7.12.4	Emparejado del blanco dental	5 000	—	90	T _{CP} ≥ 6 000 K
7.13 Laboratorios y farmacias					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.13.1	Alumbrado general	500	19	80	
7.13.2	Inspección de colonas	1 000	10	90	T _{CP} ≥ 6 000 K
7.14 Salas de descontaminación					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_{m} lux	UGR _s	R _s	Observaciones
7.14.1	Salas de esterilización	300	22	80	
7.14.2	Salas de desinfección	300	22	80	

Fuente: Norma UNE-EN 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo. p. 7.

Anexo 5. Factura eléctrica abril de 2018

Autorizado según resolución No. 2002-1-1-84581 de 31/05/02 No. 2015-1-53-24 de 27/02/15 82-60,000,001 a 120,000,000
 Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR). Agente de retención Dto.20-2006 (No retener IVA)
 Documento bajo resguardo electrónico


EEGSA
 Grupo-epry

Centro de Salud
EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.
 6a. Avenida B-14 Zona 1 Guatemala, C.A.
 NIT 32644-5 · www.eegsa.com | f t @

MUNICIPALIDAD DE SUMPANGO, S.P.C.
 ESTRUCTURA PRESUPUESTARIA DEL GASTO

FACTURA CAMBIARIA No.
 BZ-113964417

MUNICIPALIDAD DE SUMPANGO
 SUMPANGO, 7 CALLE 6-27 Zona 01
 Sumpango, Sacatepéquez
 NIT: 619553-9

PROGRAMA	13
SUB PROGRAMA	002
PROYECTO	001
ACTIVIDAD	Baja Tensión
OBRA	000
ETAPAS	002
ACTIVIDAD	0101
ACTIVIDAD	0001
ACTIVIDAD	111

CORRELATIVO 794104 ✓ **CONTADOR** S01502

Dem Fuera de Punta - BTDFP / Feb - Abr 18

TOTAL A PAGAR
Q 2,461.95

Fecha de emisión: 23/04/2018

Si cancela después del 23/05/2018 tendrá un recargo de mora de Q 24.85

Detalle de cargos	Precios Q	Consumos	Total Q
Cargo fijo por cliente (Sin IVA)	240.846937		240.95
Energía (Sin IVA)	0.717595	1,792 kWh	1,285.91
Permiso registrada (Sin IVA)	22.814424	10.5 kW	239.55
Potencia contratada (Sin IVA)	29.406222	13.9 kW	408.75
Total cargo (Sin IVA)			2,175.16
Total cargo (Con IVA)			2,436.18
Tasa Municipal A.P. (cobro cta. de terceros) (Sin IVA)			0.00
Total de esta factura.			2,436.18
Saldo anterior de 00 meses)			0.00
Mora por saldo anterior (Con IVA)	1.02%		25.77
Total a pagar			2,461.95

Factor de potencia 0.9347

Lecturas

Actual	Mar	Feb	Ene
69,384	67,592 kWh	1,792	1,927
16,432	16,247 kWh	1,810	1,709

Fuente: municipalidad de Sumpango Sacatepéquez, con fecha 10 de abril de 2020.

Anexo 6. **Cotización cambio de lámparas**

CELECTRIC DE TODO EN MATERIALES ELECTRICOS Y FERRETERIA NIT: 2360289-9 0 CALLE 4-15 Y 0 CALLE 8-27 ZONA 3 SUMPANGO SACATEPEQUEZ TELS: 73361067/78331245			
NOMBRE: ERICK ROBERTO GALLINA RUCAL			
CANT	DESCRIPCION	PRECIO UNIT	VALOR
113	BASE PARA LAMPARA LED DOBLE	Q 300.00	Q 11,300.00
226	TUBO LED SYLVANIA 18"	Q 45.00	Q 10,170.00
113	SERVICIO TECNICO POR CAMBIO DE LAMPARAS	Q 125.00	Q 14,125.00
			Q -
			Q -
			Q -
		TOTAL	Q 35,595.00

NOTA: EL CAMBIO DE LA MISMA SE ESTIPULA EN 2 MESES HABILES



Fuente: Celectric. *Cargadores convencionales y de alta frecuencia, monofásicos y trifásicos para tracción.* <http://www.bureaubaterias.com/traccion/es/sector/plataformas-elevadoras/celectric-cargadores.php>. Consulta: 20 de octubre de 2020.

