



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería mecánica eléctrica

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO  
DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**José Danilo Ochoa López**

Asesorado por el Ing. Julio Edgardo Ajanel León

Guatemala, noviembre de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO  
DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ DANILO OCHOA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. JULIO EDGARDO AJANEL LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. 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**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO  
DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 24 de marzo de 2022.



**José Danilo Ochoa López**



Guatemala, 8 de agosto de 2023

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio le informo que como Asesor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) del estudiante **JOSÉ DANILO OCHOA LÓPEZ** de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. 201504137 y CUI 3015 56814 0101, procedí a revisar el informe final, cuyo título es "ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS".

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

  
Ing. Julio Ajanel  
ASESOR





Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 17 de agosto de 2023.  
REF.EPS.DOC.351.08.2023.

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 **José Danilo Ochoa López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201504137** y CUI **3015 56814 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS”**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

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



c.c. Archivo  
KIER/ra



Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala 28 de agosto de 2023.  
REF.EPS.D.253.08.2023.

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

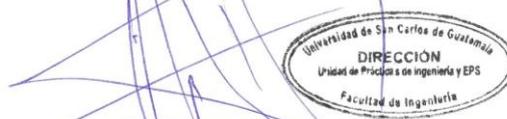
Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **José Danilo Ochoa López**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Julio Edgardo Ajanel y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor 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 45.2023.

El director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del director de EPS, del asesor, con el Visto Bueno del coordinador de área, al Informe final de EPS del estudiante José Danilo Ochoa López: **"ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS "**, procede a la autorización correspondiente.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 6 de septiembre de 2023.



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

LNG.DECANATO.OI.733.2023



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por: **José Danilo Ochoa López**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, noviembre de 2023

JFGR/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y permitirme despertar cada mañana.
<b>Mis padres</b>	María López y José Luis Ochoa, por brindarme su apoyo incondicional.
<b>Mis hermanos</b>	Por los buenos momentos que pasamos, y alentarme a seguir superándome.
<b>Mis amigos</b>	Noé Ramírez, Jonatan García, Hugo Gabriel y Johanam Abdalla, por los alegres momentos compartidos.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme formarme en sus aulas para ser un hombre de provecho.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente.
<b>Hospital General San Juan de Dios</b>	Por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo en sus instalaciones.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo y compañerismo demostrado en el día a día.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XVII
GLOSARIO .....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. ANTECEDENTES DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS .....	1
1.1. Reseña histórica.....	2
1.2. Misión .....	2
1.3. Visión.....	3
1.4. Ubicación.....	3
1.5. Organigrama.....	4
1.6. Edificio de Servicios de Apoyo .....	6
1.6.1. Ubicación .....	7
1.6.2. Áreas y servicios.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Infraestructura de potencia eléctrica de edificios .....	15
2.1.1. Cargas eléctricas .....	15
2.1.1.1. Clasificación.....	15
2.1.1.2. Caracterización de cargas .....	17
2.1.2. Acometida eléctrica .....	18
2.1.2.1. Clasificación.....	19

	2.1.2.1.1.	Según niveles de voltaje.....	19
	2.1.2.1.2.	Según su conexión.....	19
2.1.3.	Conductores.....		21
	2.1.3.1.	Materiales de fabricación del alma del conductor.....	22
	2.1.3.2.	Tipos de revestimiento .....	22
	2.1.3.3.	Código de colores .....	23
	2.1.3.4.	Instalación y valoración del estado.....	24
	2.1.3.5.	Métodos de cálculo del calibre .....	29
		2.1.3.5.1. Por capacidad de corriente .....	29
		2.1.3.5.2. Por caída de voltaje .....	56
2.1.4.	Canalización eléctrica .....		58
	2.1.4.1.	Tipos de canalizaciones .....	58
	2.1.4.2.	Criterios de diseño y selección.....	63
2.1.5.	Protecciones eléctricas.....		65
	2.1.5.1.	Tipos de protecciones eléctricas .....	66
		2.1.5.1.1. Interruptor termomagnético .....	66
		2.1.5.1.2. Fusibles.....	71
		2.1.5.1.3. Interruptor diferencial ...	73
		2.1.5.1.4. Relé térmico .....	73
		2.1.5.1.5. Monitor de voltaje.....	75
	2.1.5.2.	Criterios de selección de termomagnéticos.....	75
2.1.6.	Tableros eléctricos .....		76
	2.1.6.1.	Tipos de tableros eléctricos.....	76

	2.1.6.2.	Criterios de selección de tablero de distribución.....	77
	2.1.6.3.	Instalación y valoración del estado de tableros .....	78
2.1.7.		Transformador eléctrico .....	79
	2.1.7.1.	Clasificación.....	79
	2.1.7.2.	Valoración del estado y mantenimiento .....	80
	2.1.7.3.	Criterios de selección .....	82
2.2.		Red de tierras físicas .....	83
	2.2.1.	Diseño de red de tierras físicas .....	84
	2.2.2.	Resistividad del suelo .....	90
	2.2.3.	Resistencia de puesta a tierra .....	93
2.3.		Sistema de protección contra rayos .....	95
	2.3.1.	¿Cómo determinar si es necesaria la instalación de un sistema contra rayos?.....	96
	2.3.2.	Tipos de sistema de captación de rayos existentes .....	99
	2.3.3.	Criterios de diseño y cálculo .....	100
2.4.		Supresores de transientes.....	106
2.5.		Iluminación de interiores.....	108
	2.5.1.	Niveles de iluminación recomendados .....	108
	2.5.2.	Diseño de alumbrado de interiores .....	110
2.6.		Sistema de alimentación de emergencia .....	115
	2.6.1.	Planta eléctrica de emergencia.....	115
	2.6.2.	Sistema de transferencia .....	119
2.7.		Instrumentos de diagnóstico y medición eléctrica .....	120
	2.7.1.	Multímetro digital .....	121
	2.7.2.	Medidor de calidad de energía .....	121

2.7.3.	Cámara termográfica.....	123
2.7.4.	Medidor de puesta a tierra física .....	124
2.7.5.	Medidor de niveles de iluminación .....	125
2.8.	Diagrama unifilar .....	125
2.9.	Instalaciones especiales .....	126
2.9.1.	Equipo electrónico sensible y crítico .....	126
2.10.	Calidad de energía.....	126
2.10.1.	Voltaje .....	127
2.10.2.	Corriente.....	133
2.10.3.	Factor de potencia.....	135
2.10.3.1.	Banco de capacitores.....	137
2.10.3.1.1.	Diseño y cálculo de un banco de capacitores.....	138
2.10.4.	Potencia .....	139
2.10.4.1.	Potencia activa .....	140
2.10.4.2.	Potencia reactiva.....	140
2.10.4.3.	Potencia aparente .....	140
2.10.5.	Factor k del transformador .....	141
2.10.6.	Análisis de armónicos .....	142
2.10.6.1.	Distorsión armónica total de la tensión THDV .....	143
2.10.6.2.	Distorsión armónica de la corriente ...	143
2.10.7.	Desbalance de voltaje .....	145
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	147
3.1.	Delimitación del campo de estudio.....	147
3.2.	Metodología para el levantamiento de la instalación eléctrica actual .....	147

3.2.1.	Levantamiento de cargas eléctricas .....	147
3.2.2.	Levantamiento de circuitos .....	149
3.2.3.	Levantamiento de tableros eléctricos .....	150
3.2.4.	Levantamiento de transformadores .....	150
3.2.5.	Elaboración de diagrama unifilar .....	151
3.3.	Método de evaluación termográfica.....	151
3.4.	Criterios de selección y evaluación de elementos de potencia.....	151
3.4.1.	Conductores eléctricos .....	152
3.4.2.	Canalizaciones .....	152
3.4.3.	Protecciones eléctricas .....	153
3.4.4.	Tableros eléctricos.....	153
3.4.5.	Transformadores eléctricos .....	154
3.5.	Método de evaluación de la caída de voltaje.....	155
3.6.	Método de evaluación del sistema de puesta a tierra física ..	155
3.7.	Método de evaluación de plantas eléctricas y su transferencia.....	155
3.8.	Método para la evaluación de la calidad de energía .....	156
3.9.	Método para la evaluación y diseño de iluminación .....	156
3.10.	Método para evaluación del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.....	157
4.	LEVANTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA ACTUAL.....	159
4.1.	Levantamiento de cargas eléctricas .....	159
4.1.1.	Diagrama de ubicación de cargas eléctricas .....	166
4.2.	Levantamiento de circuitos eléctricos.....	166
4.3.	Levantamiento de tableros eléctricos .....	167
4.3.1.	Diagrama de ubicación de tableros eléctricos .....	171
4.4.	Levantamiento de transformadores eléctricos .....	171

4.4.1.	Diagrama de ubicación de transformadores.....	172
4.5.	Diagramas unifilares.....	172
5.	EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	173
5.1.	Hallazgos generales.....	173
5.2.	Análisis termográfico .....	174
5.3.	Verificación de la existencia de sobrecarga en componentes.....	178
5.4.	Verificación de la caída de voltaje .....	179
5.5.	Evaluación del sistema de puesta a tierra.....	181
5.6.	Evaluación de planta eléctrica y transferencia automática ....	182
5.7.	Análisis de calidad de energía .....	186
5.7.1.	Voltaje .....	187
5.7.2.	Corriente.....	191
5.7.3.	Factor de potencia.....	193
5.7.4.	Potencia .....	194
5.7.5.	Factor K.....	197
5.7.6.	Desbalance de voltaje .....	198
5.7.7.	Distorsión armónica.....	199
5.8.	Evaluación de los niveles de iluminación .....	202
5.9.	Resumen de problemas encontrados.....	205
6.	DISEÑO TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO .....	209
6.1.	Elementos de distribución de potencia eléctrica .....	209
6.1.1.	Conductores eléctricos.....	209
6.1.2.	Canalizaciones eléctricas.....	213
6.1.3.	Protecciones eléctricas.....	215

6.1.4.	Tableros eléctricos.....	216
6.1.5.	Transformadores eléctricos .....	218
6.2.	Iluminación .....	220
6.3.	Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas .....	225
6.4.	Sistema de puesta a tierra física .....	226
6.5.	Sistema de alimentación eléctrica de emergencia.....	228
6.6.	Diseño de un sistema de generación fotovoltaica .....	229
7.	COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO TEÓRICO Y EL DISEÑO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO.....	235
7.1.	Elementos de distribución de potencia eléctrica.....	235
7.1.1.	Conductores eléctricos .....	235
7.1.2.	Canalizaciones eléctricas .....	237
7.1.3.	Protecciones eléctricas .....	237
7.1.4.	Tableros eléctricos.....	239
7.1.5.	Transformadores eléctricos .....	240
7.2.	Iluminación .....	241
7.3.	Sistema de protección contra descargas atmosféricas .....	242
7.4.	Sistema de puesta a tierra física .....	242
7.5.	Sistema de alimentación eléctrica de emergencia.....	242
8.	ANÁLISIS DE COSTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES.....	245
	CONCLUSIONES .....	249
	RECOMENDACIONES.....	251
	REFERENCIAS .....	253

APÉNDICES..... 259

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Fachada del hospital.....	1
<b>Figura 2.</b>	Ubicación geográfica del Hospital General San Juan de Dios.....	4
<b>Figura 3.</b>	Organigrama del Hospital General San Juan de Dios .....	5
<b>Figura 4.</b>	Edificio de Servicios de Apoyo.....	6
<b>Figura 5.</b>	Ubicación del Edificio de Servicios de Apoyo .....	7
<b>Figura 6.</b>	Áreas y servicios del sótano .....	10
<b>Figura 7.</b>	Áreas y servicios del primer nivel .....	14
<b>Figura 8.</b>	Acometida aérea residencial en baja tensión .....	20
<b>Figura 9.</b>	Acometida subterránea en media tensión.....	21
<b>Figura 10.</b>	Apariencia común de un cable quemado.....	27
<b>Figura 11.</b>	Placa de características de motor de inducción.....	45
<b>Figura 12.</b>	Placa de características de aire acondicionado.....	47
<b>Figura 13.</b>	Esquema de un ascensor eléctrico.....	49
<b>Figura 14.</b>	Esquema de un ascensor hidráulico .....	50
<b>Figura 15.</b>	Placa de controlador de montacargas hidráulico .....	51
<b>Figura 16.</b>	Alimentador.....	52
<b>Figura 17.</b>	Ducto eléctrico .....	59
<b>Figura 18.</b>	Tubo corrugado .....	60
<b>Figura 19.</b>	Canaleta .....	61
<b>Figura 20.</b>	Bandejas porta-cable .....	62
<b>Figura 21.</b>	Canalización subterránea .....	63
<b>Figura 22.</b>	Curva tipo C.....	68
<b>Figura 23.</b>	Curva del fusible .....	72

<b>Figura 24.</b>	Fusibles .....	72
<b>Figura 25.</b>	Diagrama de interruptor diferencial .....	73
<b>Figura 26.</b>	Relé térmico .....	74
<b>Figura 27.</b>	Monitor de voltaje .....	75
<b>Figura 28.</b>	Tipos de tableros .....	77
<b>Figura 29.</b>	Sistema de conexión a tierra física.....	85
<b>Figura 30.</b>	Kit electrodo total ground.....	88
<b>Figura 31.</b>	Esquemas de conexión de tierra .....	89
<b>Figura 32.</b>	Esquema TN-C-S .....	90
<b>Figura 33.</b>	Método Wenner.....	92
<b>Figura 34.</b>	Medición de resistencia de puesta a tierra por caída de potencial.....	93
<b>Figura 35.</b>	Medición de resistencia de puesta a tierra con medición selectiva .....	94
<b>Figura 36.</b>	Medición de resistencia de puesta a tierra sin electrodos .....	95
<b>Figura 37.</b>	Mapa de niveles isocerámicos en la República de Guatemala.....	98
<b>Figura 38.</b>	Sistemas de protección contra rayos.....	100
<b>Figura 39.</b>	Protección brindada por un PDC.....	102
<b>Figura 40.</b>	Método del ángulo de protección .....	103
<b>Figura 41.</b>	Esquema del método de la esfera rodante.....	104
<b>Figura 42.</b>	Método de la malla .....	105
<b>Figura 43.</b>	Diagrama de conexión típico de un SPD trifásico de clase A o B (50kA) .....	108
<b>Figura 44.</b>	Guía para cálculo del índice del local.....	111
<b>Figura 45.</b>	Apertura de una luminaria .....	114
<b>Figura 46.</b>	Grupo electrógeno.....	116
<b>Figura 47.</b>	Principales elementos de una planta eléctrica .....	117
<b>Figura 48.</b>	Configuración típica.....	119

<b>Figura 49.</b>	Multímetro de gancho Fluke 323 .....	121
<b>Figura 50.</b>	Analizador de red FLUKE 435-2 .....	122
<b>Figura 51.</b>	Ejemplo de imagen térmica .....	123
<b>Figura 52.</b>	Medición de resistencia de puesta a tierra.....	124
<b>Figura 53.</b>	Luxómetro.....	125
<b>Figura 54.</b>	Representación de eventos de tensión según EN-50160 y IEEE 1159-1995 .....	130
<b>Figura 55.</b>	Curva ITIC .....	131
<b>Figura 56.</b>	Triángulo de potencia y el factor de potencia .....	136
<b>Figura 57.</b>	Termografías tablero TA0 .....	175
<b>Figura 58.</b>	Termografías tablero TA7 .....	176
<b>Figura 59.</b>	Termografías tablero TA6 .....	177
<b>Figura 60.</b>	Termografías tablero TA11 .....	178
<b>Figura 61.</b>	Puestas a tierra encontradas en el Edificio de Servicios de Apoyo.....	182
<b>Figura 62.</b>	Planta Caterpillar .....	183
<b>Figura 63.</b>	Planta Kohler .....	184
<b>Figura 64.</b>	Panel de transferencia automática .....	185
<b>Figura 65.</b>	Voltaje por fase .....	187
<b>Figura 66.</b>	Índice PST .....	189
<b>Figura 67.</b>	Índice PLT.....	190
<b>Figura 68.</b>	Corriente por fase .....	191
<b>Figura 69.</b>	Desbalance de corriente .....	192
<b>Figura 70.</b>	Factor de potencia trifásico FP .....	194
<b>Figura 71.</b>	Potencia trifásica activa, reactiva y aparente.....	195
<b>Figura 72.</b>	Potencia activa por fase.....	195
<b>Figura 73.</b>	Potencia reactiva por fase .....	196
<b>Figura 74.</b>	Potencia aparente por fase.....	196
<b>Figura 75.</b>	Factor K .....	197

<b>Figura 76.</b>	Desbalance de voltaje .....	198
<b>Figura 77.</b>	THDV.....	199
<b>Figura 78.</b>	THDI .....	200
<b>Figura 79.</b>	Corrientes armónicas individuales orden impar n=3 a n=13.....	201
<b>Figura 80.</b>	Corrientes armónicas individuales orden impar n=15 a n=25.....	201
<b>Figura 81.</b>	Corrientes armónicas individuales orden par n=2 a n=12 .....	202
<b>Figura 82.</b>	Áreas donde se midió la iluminancia media $E_M$ .....	203
<b>Figura 83.</b>	Dimensiones del local del área de Calderas .....	222
<b>Figura 84.</b>	Ubicación y radio de protección de PDC en el Edificio de Servicios de Apoyo.....	225
<b>Figura 85.</b>	Esquema instalación PDC propuesto en Edificio de Servicios de Apoyo .....	226
<b>Figura 86.</b>	Esquema del sistema de puesta a tierra física propuesto .....	227
<b>Figura 87.</b>	Esquema de sistema solar híbrido propuesto .....	230
<b>Figura 88.</b>	Área de Instalación de Paneles Solares.....	231

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Código de colores según región.....	24
<b>Tabla 2.</b>	Ampacidad (A) de conductores según norma NEC .....	30
<b>Tabla 3.</b>	Factores de corrección por temperatura ambiental .....	31
<b>Tabla 4.</b>	Factor de ajuste de una misma corriente .....	32
<b>Tabla 5.</b>	Factor de ajuste por número de conductores .....	33
<b>Tabla 6.</b>	Carga por unidad de área de Alumbrado General por Tipo de Ocupación .....	38
<b>Tabla 7.</b>	Carga por unidad de área de Alumbrado General por Tipo de Ocupación .....	39
<b>Tabla 8.</b>	Factores de potencia típicos de distintos tipos de luminaria.....	41
<b>Tabla 9.</b>	Factores de demanda para cargas de alumbrado.....	53

<b>Tabla 10.</b>	Factores de demanda para tomacorrientes en viviendas .....	54
<b>Tabla 11.</b>	Factores de demanda del alimentador para ascensores .....	54
<b>Tabla 12.</b>	Factores de demanda adicionales .....	55
<b>Tabla 13.</b>	Sección de conductores THHN.....	57
<b>Tabla 14.</b>	Factores de relleno en por ciento .....	64
<b>Tabla 15.</b>	Sección de conductores THHN.....	64
<b>Tabla 16.</b>	Número máximo de conductores según diámetro de tubo (Conduit) .....	65
<b>Tabla 17.</b>	Impedancias porcentuales típicas de transformadores.....	70
<b>Tabla 18.</b>	Resistividad de suelos y resistencia de una varilla .....	86
<b>Tabla 19.</b>	Conductor del electrodo de puesta a tierra .....	87
<b>Tabla 20.</b>	Efecto del contenido de humedad en la resistividad del suelo.....	91
<b>Tabla 21.</b>	Efecto de la temperatura en resistividad de suelo .....	91
<b>Tabla 22.</b>	Radio de protección $R_P$ .....	101
<b>Tabla 23.</b>	Tiempos de avance ( $\Delta T$ ) DAT CONTROLER® PLUS .....	102
<b>Tabla 24.</b>	Valores de radio de esfera rodante según nivel de protección ..	105
<b>Tabla 25.</b>	Iluminancias medias recomendadas según tipo de ocupación ..	109
<b>Tabla 26.</b>	Ejemplo de tabla de factor de utilización.....	111
<b>Tabla 27.</b>	Factores de reflexión de referencia .....	112
<b>Tabla 28.</b>	Factores de mantenimiento .....	113
<b>Tabla 29.</b>	Distancias máximas entre luminarias según tipo de luminaria y altura de local.....	114
<b>Tabla 30.</b>	Definiciones de algunas de las variaciones de tensión según EN-50160.....	128
<b>Tabla 31.</b>	Definición de algunas de las variaciones de tensión según IEEE 1159-1995 .....	129
<b>Tabla 32.</b>	Desbalance de corriente en el punto de acometida según CFE L0000-45.....	134
<b>Tabla 33.</b>	Factor multiplicador k.....	139

<b>Tabla 34.</b>	Factor k del transformador de acuerdo al tipo de carga .....	141
<b>Tabla 35.</b>	Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga .....	144
<b>Tabla 36.</b>	Cargas fuerza normal lavandería (TA11) .....	160
<b>Tabla 37.</b>	Cargas fuerza normal almacén suministros (TA24).....	161
<b>Tabla 38.</b>	Cargas iluminación normal todas las áreas (TA6).....	161
<b>Tabla 39.</b>	Cargas fuerza normal cocina (TA29).....	162
<b>Tabla 40.</b>	Cargas fuerza normal caldera (TA5) .....	162
<b>Tabla 41.</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería (TA15).....	163
<b>Tabla 42.</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas (TA8) .....	163
<b>Tabla 43.</b>	Cargas fuerza emergencia calderas (TA1).....	164
<b>Tabla 44.</b>	Cargas fuerza emergencia cocina (TA31) .....	165
<b>Tabla 45.</b>	Cargas emergencia montacargas (TA7).....	166
<b>Tabla 46.</b>	Circuitos eléctricos principales del Edificio de Servicios de Apoyo .....	167
<b>Tabla 47.</b>	Tableros Edificio de Servicios de Apoyo .....	168
<b>Tabla 48.</b>	Transformadores Edificio de Servicios de Apoyo .....	172
<b>Tabla 49.</b>	Voltaje en tableros.....	180
<b>Tabla 50.</b>	Sags y swells registrados .....	188
<b>Tabla 51.</b>	Energías totales consumidas .....	193
<b>Tabla 52.</b>	Comparación de iluminancia media real vs teórica en áreas del edificio de apoyo.....	203
<b>Tabla 53.</b>	Calibre de conductores teórico por ampacidad y por caída de voltaje .....	212
<b>Tabla 54.</b>	Factores de relleno en canalizaciones de alimentadores principales .....	214
<b>Tabla 55.</b>	Corriente nominal de protecciones termomagnéticas.....	216
<b>Tabla 56.</b>	Corriente de barras sugerida de tableros principales .....	218

<b>Tabla 57.</b>	Potencia nominal sugerida de transformadores, Edificio de Servicios de Apoyo .....	219
<b>Tabla 58.</b>	Factor de utilización para lámparas de 2 tubos .....	221
<b>Tabla 59.</b>	Factores de reflexión de techo y paredes del área de Calderas .....	222
<b>Tabla 60.</b>	Número de luminarias mínima requerida en áreas consideradas .....	224
<b>Tabla 61.</b>	Cargas de emergencia del Edificio de Servicios de Apoyo .....	229
<b>Tabla 62.</b>	Comparación conductores propuestos vs instalados.....	236
<b>Tabla 63.</b>	Evaluación de canalizaciones.....	237
<b>Tabla 64.</b>	Comparación corriente nominal de protecciones propuesto vs instalado .....	238
<b>Tabla 65.</b>	Comparación, corriente de barras de tableros propuesta vs instalada .....	239
<b>Tabla 66.</b>	Comparación potencia nominal de transformadores propuesto vs real .....	240
<b>Tabla 67.</b>	Número de lámparas (5000 lm c/u) faltantes por área.....	241
<b>Tabla 68.</b>	Costos para reemplazo alimentador TA34.....	245
<b>Tabla 69.</b>	Costos por corrección de todos los alimentadores de tablero puestos en paralelo .....	245
<b>Tabla 70.</b>	Costos por independización del circuito de lavandería.....	246
<b>Tabla 71.</b>	Costos por corrección de protección circuito TA7-P1 y TA0-P2 .....	246
<b>Tabla 72.</b>	Costos estimados por sustitución de transformadores TR2 y TR11 .....	247
<b>Tabla 73.</b>	Costos estimados, instalación de pararrayos, conductores de bajada y electrodos.....	247
<b>Tabla 74.</b>	Costos estimados por suministro e instalación de sistema de puesta a tierra.....	248

**Tabla 75.** Costos de suministro e instalación de luminarias .....248

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>HP</b>	Caballo de potencia
<b>I</b>	Corriente
<b>THDI</b>	Distorsión armónica total de la corriente
<b>THDV</b>	Distorsión armónica total de la tensión
<b><math>\Phi_T</math></b>	Flujo luminoso
<b>kVA</b>	Kilo voltio-amperio
<b>kVA<sub>r</sub></b>	Kilo voltio-amperio reactivo
<b>kW</b>	Kilo watt
<b>LPL</b>	Nivel de protección contra rayos
<b>S</b>	Potencia aparente
<b>Q</b>	Potencia reactiva
<b>P</b>	Potencia real
<b>LPS</b>	Sistema de protección contra rayos
<b>THHN</b>	Termoplástico recubierto de nylon, alta resistencia al calor.
<b>V</b>	Voltaje



## GLOSARIO

<b>Aislamiento</b>	Es la resistencia eléctrica entre un conductor y su material envolvente. Se mide en MΩ.
<b>Ampacidad</b>	Corriente eléctrica que un conductor es capaz de conducir sin presentar calentamiento excesivo.
<b>Armónico de corriente</b>	Es una componente de corriente con frecuencia distinta y superpuesta a la onda de corriente fundamental de 60Hz.
<b>Armónico de voltaje</b>	Es una componente de voltaje con frecuencia distinta y superpuesta a la onda de voltaje fundamental de 60Hz.
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge</i> (estándar de tamaño de conductores).
<b>Bajante</b>	Conductor de considerable calibre que en un extremo va conectado a un pararrayos y en el otro a una toma a tierra para drenar la energía proveniente de un rayo.
<b>Banco de capacitores</b>	Conjunto de capacitores que se conectan a una carga o tablero para corregir el factor de potencia cuando el mismo es muy bajo.

<b>Calidad de energía</b>	Se refiere a la forma de la onda de voltaje y su continuidad. La misma es de mayor calidad en cuanto más se asemeje a una onda sinusoidal perfecta y con el menor número de interrupciones posible.
<b>Corto circuito</b>	Es un fenómeno eléctrico donde la corriente aumenta de forma desmedida cuando los polos opuestos de una fuente de voltaje son conectados sin impedancia.
<b>Eficiencia</b>	Es la relación entre la energía aprovechada y la energía requerida en un proceso de conversión o transferencia de energía.
<b>Factor de potencia</b>	Es la relación entre la potencia real y la potencia aparente demandada por una carga eléctrica.
<b>Grupo electrógeno</b>	Es el conjunto de elementos electromecánicos destinados a transformar un combustible fósil en energía eléctrica.
<b>Iluminancia</b>	También conocida como “nivel de iluminación”. Mide qué tan iluminado se encuentra un espacio por unidad de superficie, se mide en Lux.
<b>Inversor</b>	Es un aparato electrónico que transforma la corriente directa en corriente alterna.
<b>Luminaria</b>	Es la unidad de iluminación básica, puede estar conformada por uno o más tubos fluorescentes o led.

<b>Pararrayos</b>	Es un aparato, generalmente una varilla de cobre, que tiene la finalidad de captar los rayos y conducirlos por un camino seguro para protección de las personas.
<b>PDC</b>	Pararrayos con Dispositivo de Cebado. Es un pararrayos cuya tecnología le permite un mayor radio de protección que una varilla simple contra la caída de rayos.
<b>PLT</b>	Long Term Perceptibility.
<b>Potencia activa</b>	Es la componente de la potencia aparente que se transforma en trabajo u otra forma de energía aprovechable.
<b>Potencia aparente</b>	Es la potencia eléctrica total transferida hacia una carga.
<b>Potencia reactiva</b>	Es la componente de la potencia aparente que no se transforma en trabajo u otra forma de energía aprovechable y es devuelta hacia la fuente.
<b>PST</b>	Short Term Perceptibility.
<b>Resistividad del suelo</b>	Es la oposición que ofrece el suelo al paso de corriente a través del mismo.
<b>Sag</b>	Es una caída de tensión temporal en una red eléctrica.

<b>Sobrecarga</b>	Es un estado en el cual un componente eléctrico está siendo sometido a una mayor corriente que la que está diseñado a soportar.
<b><i>Swell</i></b>	Es una sobretensión temporal en una red eléctrica.
<b>Telurómetro</b>	Es un aparato que sirve para medir la resistividad del suelo.
<b>Termografía</b>	Es una imagen bidimensional que arroja la temperatura de un determinado objeto(s) sin contacto físico a través de la radiación infrarroja emitida por estos.
<b>Termomagnético</b>	Se refiere a la capacidad combinada de una protección eléctrica de abrir un circuito cuando se produce una sobrecarga prolongada o corto circuito.
<b>Transferencia</b>	En el campo de las instalaciones eléctricas, se refiere a un aparato conmutador de tres vías que permite abastecer una carga desde dos fuentes diferentes.
<b>UPS</b>	Uninterruptable Power Supply. Es un aparato electrónico que posee un inversor interno, con la finalidad de alimentar por tiempo limitado una carga cuando el suministro eléctrico general es interrumpido.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un levantamiento y evaluación del estado actual de los diversos elementos que componen la infraestructura y equipamiento eléctrico del Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios.

Se realizó una revisión a través del marco teórico de todos los conceptos y normativas relacionadas al diseño de una instalación eléctrica para emplazamientos comerciales y hospitalarios para poder aplicarlos en la evaluación del edificio.

Se recopiló datos de todas las cargas, circuitos, tableros, protecciones, transformadores, generadores, sistemas de puesta a tierra física y pararrayos. Luego se dejó el registro de los mismos mediante diversas tablas y planos.

Se evaluó cada uno de estos sistemas de acuerdo a las directrices establecidas en las diversas normativas, mediante herramientas de medición y diagnóstico. Se identificó riesgos y se propuso un camino a seguir para solucionarlos.

Se rediseñó diversos elementos del sistema según normativa y condiciones de operación actuales para luego comparar el diseño teórico resultante con el diseño actual. Con esto se logró establecer la presencia de elementos sobrecargados o que están propensos a sufrir daño.

Se estimó los costos implicados para dar solución a una buena parte de los problemas encontrados.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio eléctrico de las instalaciones del Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios, ubicado en la Zona 1 de la Ciudad de Guatemala, con el propósito de identificar riesgos y proponer soluciones.

### **Específicos**

1. Recabar información actualizada del equipo e infraestructura eléctrica existente y plasmarla en tablas y planos.
2. Evaluar el estado físico de las instalaciones eléctricas, así como sus diversos parámetros eléctricos por medio de instrumentos de diagnóstico en concordancia con normativa aplicable.
3. Obtener un diseño teórico de diversos aspectos del sistema eléctrico para compararlo con el diseño actual a manera de identificar elementos sobrecargados o con un diseño inapropiado.
4. Elaborar un presupuesto del costo estimado para solucionar los problemas encontrados.



## INTRODUCCIÓN

El Hospital General San Juan de Dios ha tenido diversas ubicaciones desde su fundación en el año de 1778. Las instalaciones que actualmente se conocen fueron puestas en servicio desde 1981, lo que les da una antigüedad de ya más de cuatro décadas. Por ello y por su importancia como hospital general de referencia a nivel nacional, se justifica que su cuidado y mantenimiento sean una labor de gran importancia a escala nacional.

En el trabajo a continuación, se tomó la labor de recabar y actualizar la información concerniente a las instalaciones eléctricas específicamente del Edificio de Servicios de Apoyo del hospital, en el cual se prestan servicios generales a todo el hospital y que son de vital importancia como: plantas eléctricas, calderas, bombas de agua, cocina, lavandería, almacenes, entre otros.

Se realizó una evaluación del estado físico de los elementos que componen la instalación, a la vez que se determinó, con base en un análisis teórico y normativa vigente, los elementos constructivos que presentan sobrecarga o que tienen algún defecto en su diseño actual o en última instancia, son inexistentes. Además, se realizó la medición de parámetros eléctricos de la red con lo cual se identificó factores de riesgo que pueden dañar a las personas, equipos o infraestructura, así como generar un impacto negativo sobre la red de distribución y sufrir la aplicación de penalizaciones por parte del distribuidor.

Como producto de este estudio, se obtuvo una serie de tablas y diagramas de la infraestructura eléctrica. También un resumen general de problemas y

riesgos encontrados, así como una ruta sugerida para solucionarlos y los costos estimados para su implementación.

## 1. ANTECEDENTES DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS

El Hospital General San Juan de Dios es el segundo hospital público más importante del país. Cuenta con servicios diversos como: consulta externa de pediatría y adultos, emergencia de pediatría y adultos, ginecología y obstetricia, entre muchos otros.

### Figura 1.

*Fachada del hospital*



*Nota.* Ingreso a emergencias, Hospital San Juan de Dios. Elaboración propia.

## **1.1. Reseña histórica**

El origen del nombre del Hospital General San Juan de Dios se remonta al año 1630 cuando, procedentes de México, arribaron a la ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, los hermanos hospitalarios de la Orden San Juan de Dios, bajo la dirección del Padre Fray Carlos Cívico de la Cerda con el objetivo de administrar el hospital de la ciudad.

Tras la devastación causada por los terremotos de Santa María en los años 1773 y 1774 en Santiago de los Caballeros, se tuvo que trasladar la capital hacia la Nueva Guatemala de la Asunción, en el Valle de la Ermita. Misma que supondría la creación de un nuevo hospital general.

Así surge entonces por primera vez el nombre de Hospital General San Juan de Dios tras ser puesto al servicio público en octubre de 1778 en la actual Ciudad de Guatemala, aunque no precisamente en la ubicación donde actualmente se encuentra.

Ya en épocas recientes y tras el desastre del terremoto del 4 de febrero de 1976, el hospital se vio en la necesidad de trasladar varios de sus servicios al Parque de la Industria. Lo que concluyó con el traslado final del Hospital a sus actuales instalaciones en el año 1981.

## **1.2. Misión**

Somos un hospital general nacional, docente asistencial, de referencia y cobertura nacional, dependencia del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, responsable de brindar atención integral

de salud, con calidez y calidad, mediante la promoción de la salud, prevención de enfermedades, recuperación y rehabilitación de usuarias y usuarios, contando con recurso humano calificado y tecnología moderna para el mejoramiento de la calidad de vida. (Hospital General San Juan de Dios, s.f., párr. 1)

### **1.3. Visión**

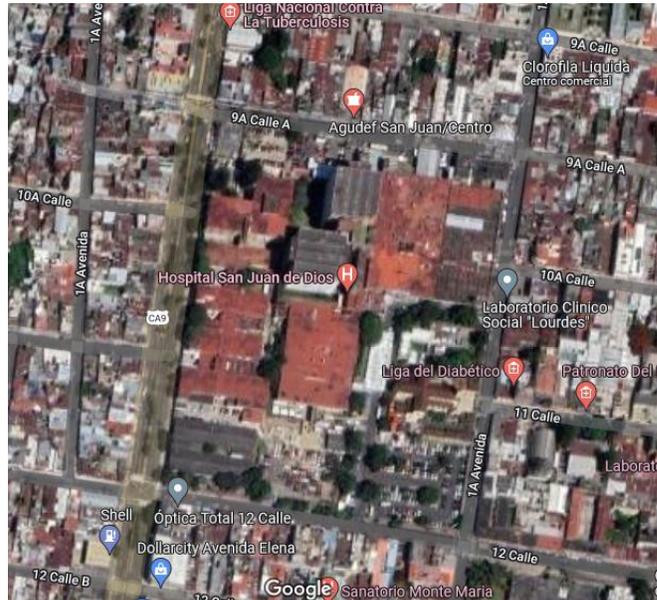
Ser el hospital líder a nivel nacional, comprometido a brindar atención especializada e integral de servicios de salud, mediante un sistema certificado de gestión de calidad apoyado con personal calificado, tecnología moderna y pertinente, orientada a satisfacer las necesidades y expectativas de usuarias y usuarios. (Hospital General San Juan de Dios, s.f., párr. 2)

### **1.4. Ubicación**

El hospital General San Juan de Dios se encuentra ubicado en la zona 1 de la Ciudad de Guatemala, ocupa tres cuadras y está limitado al norte por la 9ª Calle A, al sur por la 12 Calle, al este por la 1ª Avenida y al Oeste por la Avenida Elena. Su ubicación geográfica puede verse en la figura 2.

## Figura 2.

*Ubicación geográfica del Hospital General San Juan de Dios*



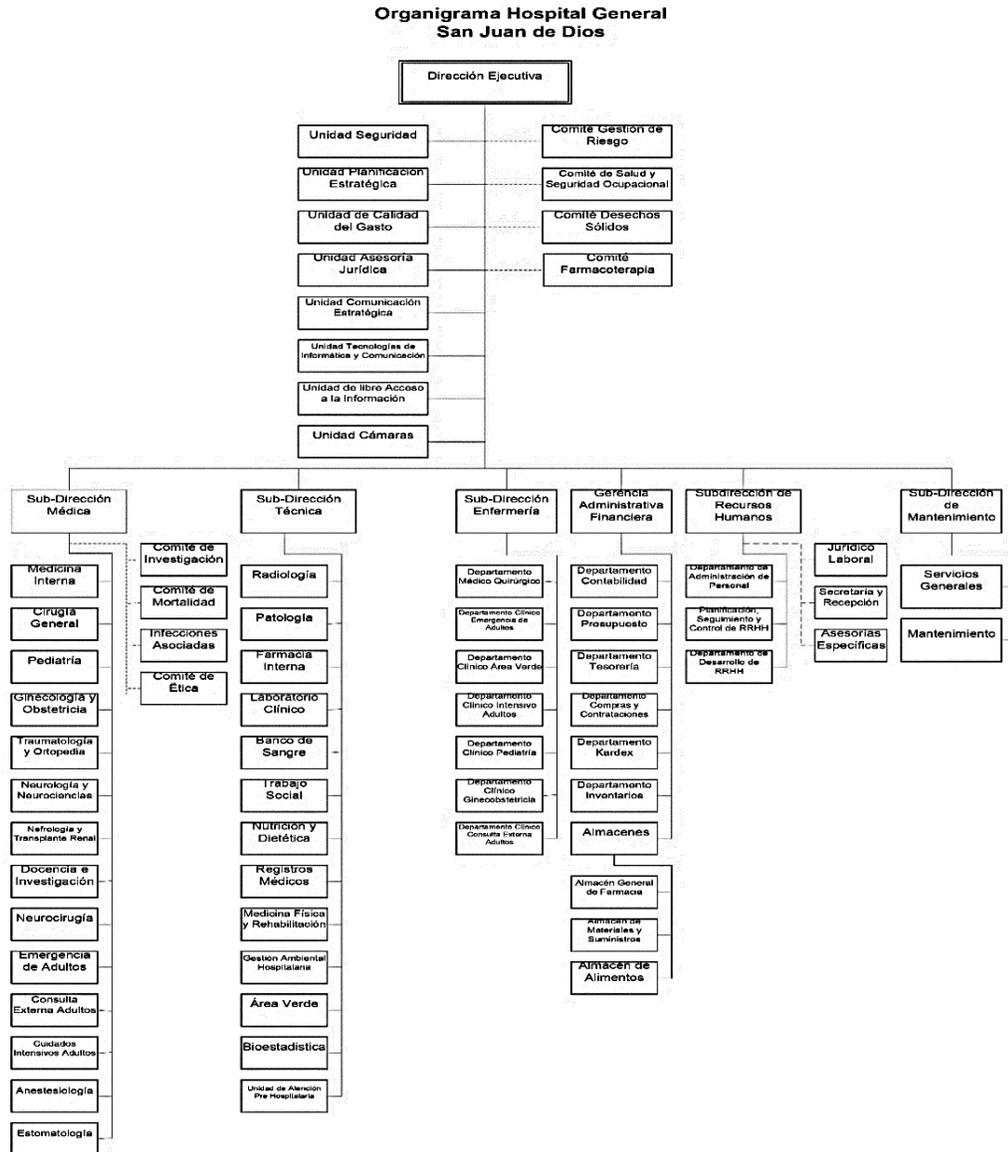
*Nota.* La imagen permite visualizar la ubicación del Hospital General San Juan de Dios. Adaptado de Google Earth. (s.f.). *Ubicación.* (<https://www.google.com.mx/maps/@14.639799,-90.5211789,468m/data=!3m1!1e3>), consultado el 5 de abril de 2022. De dominio público.

## 1.5. Organigrama

La organización institucional está representada en el siguiente organigrama:

**Figura 3.**

*Organigrama del Hospital General San Juan de Dios*



Nota. La figura muestra la jerarquía dentro del hospital. Adaptado de Hospital General San Juan de Dios. (s.f.). Organigrama. (<https://hospitalsanjuandedios.mspas.gov.gt/transparencia/informacion-publica/send/72-2020/748-organigrama-hospital-general-san-juan-de-dios.html>), consultado el 5 de abril de 2022. De dominio público.

## 1.6. Edificio de Servicios de Apoyo

El edificio no cuenta con servicios de atención a pacientes, sin embargo, es en sus instalaciones donde tiene lugar la elaboración de alimentos, lavado de indumentaria y almacenamiento de suministros de diversa índole. Así mismo es ahí donde se encuentran equipos de vital importancia que abastecen todo el hospital, como las calderas de vapor, generadores de emergencia, subestación eléctrica, entre otros.

Tiene una extensión territorial de 3,254 metros cuadrados y cuenta con 2 niveles que son el sótano y el primer nivel.

### Figura 4.

*Edificio de Servicios de Apoyo*



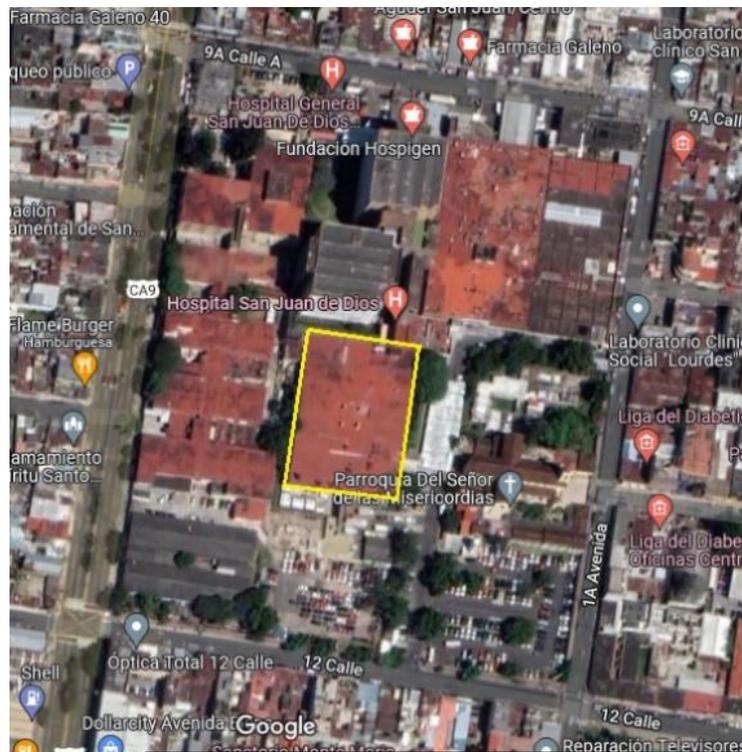
*Nota.* En él se llevan a cabo diversidad de actividades, y posee equipos de vital importancia para el hospital. Elaboración propia.

### 1.6.1. Ubicación

El edificio se encuentra ubicado en la parte central del complejo de edificios del hospital. En la figura 5 se puede apreciar de manera gráfica y delimitada por líneas amarillas la región que ocupa dicho edificio.

**Figura 5.**

*Ubicación del Edificio de Servicios de Apoyo*



*Nota.* La imagen muestra la localización del edificio. Elaboración propia.

### 1.6.2. Áreas y servicios

Conocer los servicios que se prestan dentro del Edificio de Servicios de Apoyo, permite determinar las características y capacidades con las que debe contar su infraestructura de modo que las actividades que se desarrollen dentro del mismo se puedan llevar a cabo de manera óptima.

- Sótano
  - Almacén General de Farmacia: en este lugar se ingresan, almacenan y despachan a los diferentes servicios todos los medicamentos suministrados en el hospital, así como insumos médicos, indumentaria de bioseguridad, equipos médicos, entre otros. La demanda energética en esta área es relativamente pequeña dado que las mayores cargas eléctricas las constituyen equipos de refrigeración y aire acondicionado, más allá de eso solo hay equipo de cómputo e impresión.
  - Lavandería: en esta área se realiza el lavado y secado de toda clase de indumentaria hospitalaria tanto de pacientes como de personal de salud de prácticamente todos los servicios del hospital. Entre los tipos de prendas que se lavan se puede mencionar: prendas para vestir como filipinas, pantalones, camisones y overoles; prendas especiales como compresas, batas quirúrgicas, campos hendidos y campos enteros; así como prendas de abrigo y encamado como sábanas, colchas, ponchos y sobrefundas. En total, el peso de prendas lavadas asciende en promedio a 11,000 libras diarias. Esta área tiene un impacto significativo sobre la red eléctrica del edificio, no solo por el volumen de trabajo efectuado sino también porque

los varios equipos que aquí se operan (lavadoras y secadoras industriales), funcionan mediante motores eléctricos de potencia considerable, rondando los 5 HP.

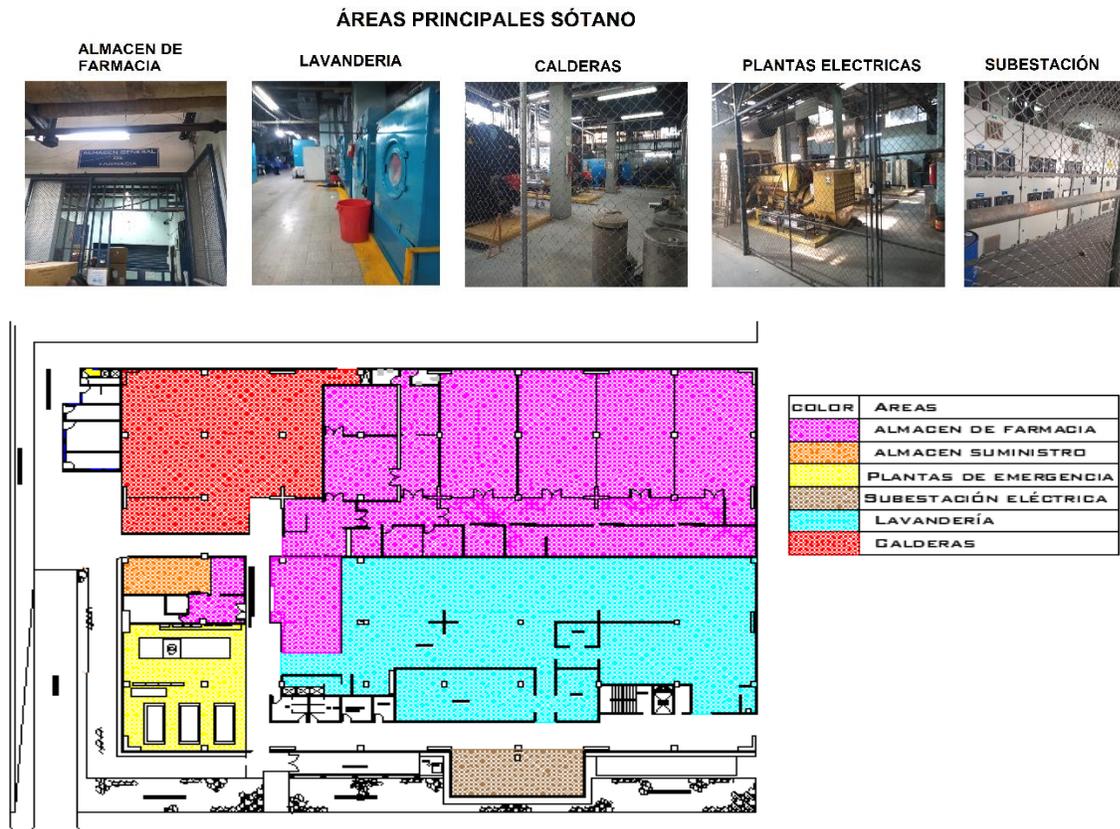
- Área de Calderas: aquí se encuentran instalados los equipos de generación de vapor y sus equipos auxiliares, así como también los equipos de suministro de agua caliente. Mismos equipos que abastecen con vapor y agua caliente a toda la red del hospital. La importancia del suministro de vapor en el hospital radica en que existen varios equipos que emplean este mismo para poder operar. Entre los cuales se tienen: secadoras industriales, usadas en lavandería para secar la ropa; marmitas (ollas a vapor), esenciales en la cocina para hervir agua; calentadores de agua, inoperables a falta de vapor; autoclaves, utilizados para esterilizar instrumental médico; entre otros. Las cargas eléctricas más importantes de esta área son los potentes ventiladores de las calderas y varias bombas de agua repartidas entre calderas y calentadores de agua.
- Área de Plantas Eléctricas: los principales equipos que se sitúan en esta área son los dos generadores de emergencia, tablero de transferencia y tableros principales del edificio. Por lo tanto, esta área, más que constituir un centro de carga, es un centro de maniobra. No existen cargas eléctricas realmente significativas más que la iluminación del área y tomacorrientes de uso general, algunos de estos utilizados para la recarga de las baterías de los generadores.
- Área de Subestación Eléctrica: en esta área se sitúa el transformador principal de 3.5 MVA que reduce el voltaje de

13.8 kV a 480/277 V. Acá también se encuentra el tablero principal de distribución del hospital. Por lo tanto, no es un área de gran consumo sino de maniobra.

En el sótano de este edificio, también se encuentra un área ocupada para almacén de suministro, sin embargo, es un área muy poco frecuentada. El área principal de almacén de suministro se encuentra en el primer nivel.

**Figura 6.**

*Áreas y servicios del sótano*



*Nota.* Localización y organización de las áreas del sótano. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

- Primer nivel
  - Almacén de alimentos: en este lugar se ingresan, almacenan y despachan alimentos perecederos y de larga duración para surtir a los varios servicios que hacen uso de ellos entre los cuales se puede mencionar: cocina, panadería y lactarios. Se almacenan ya sea en estanterías o cuartos fríos dependiendo si necesitan o no refrigeración. Entre los productos que se almacenan acá se puede mencionar: frutas, verduras, legumbres, granos, carnes, cereales, pastas, especias, alimentos empacados, leche en polvo, entre otros. El área cuenta con tres cuartos fríos, los cuales constituyen las mayores cargas eléctricas del área.
  - Almacén de suministro: acá se ingresan, almacenan y despachan suministros de oficina como papel bond, carpetas, lápices, lapiceros, entre otros. Así como suministros de limpieza e higiene. El área no cuenta con una demanda eléctrica muy grande, ya que solamente se cuenta con tomacorrientes de uso general, tomacorrientes especiales, equipo básico de cómputo e impresión, así como iluminación.
  - Cocina: en esta área tiene lugar la elaboración de alimentos. Se producen en promedio unos 1,000 platos por tiempo de comida, dirigidos principalmente a los pacientes encamados, aunque también se sirve almuerzo y cena gratuito al personal del hospital y público en general en un área de comedor adyacente a la cocina. El consumo eléctrico en esta área es grande, las cargas eléctricas más importantes son los hornos eléctricos de la panadería, pero

también diversos equipos rotativos para la preparación de alimentos.

La cocina cuenta con diversas sub-áreas afines adyacentes listadas a continuación:

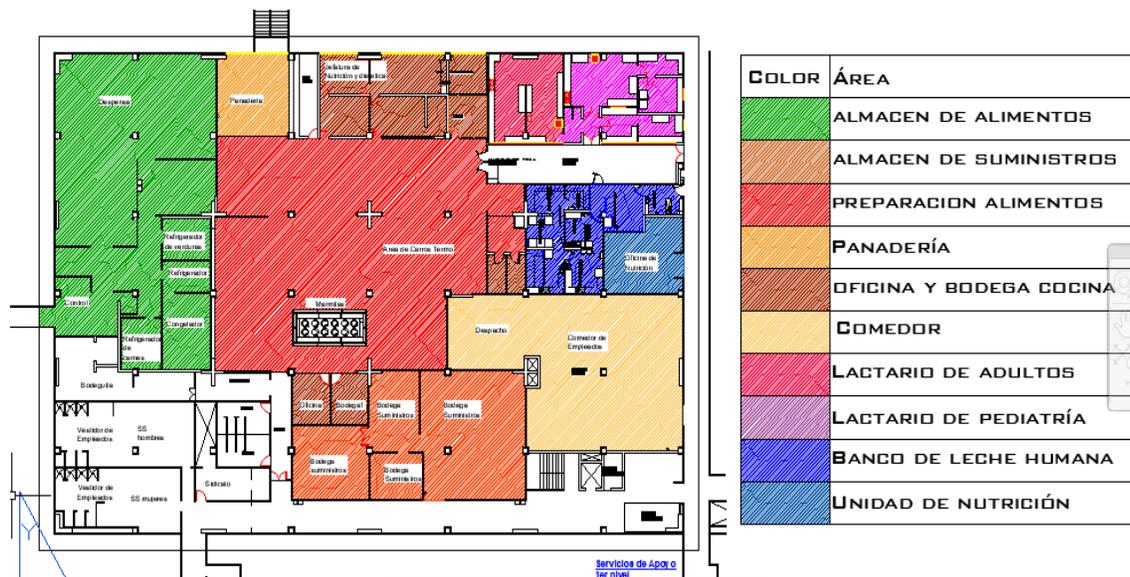
- Área de Preparación de Alimentos
  - Panadería
  - Oficinas administrativas y bodegas
  - Comedor
- 
- Lactarios de adultos: en esta área se preparan fórmulas alimenticias en forma de ponches o líquidos claros para la alimentación de pacientes con dietas especiales o con trastornos que ameritan alimentación por sonda. Se puede tratar de pacientes con enfermedades renales, insuficiencia hepática, lesiones de cabeza o cuello, quemados, en coma, entre otros. En esta área no hay cargas eléctricas muy grandes más que aire acondicionado y tomacorrientes de uso general.
  
  - Lactario de pediatría: acá tiene lugar la preparación de fórmulas lácteas para la alimentación de infantes que, por causas diversas como muerte materna o enfermedades transmisibles por la leche materna, no pueden recibir leche directamente de la madre. El tipo de fórmula se prepara de acuerdo con una dieta establecida según la edad y condición médica del niño. También se preparan papillas e incaparinas. Es un área apartada de especial importancia debido a que la dieta de, por ejemplo, un recién nacido, es muy delicada en cuanto al aporte nutricional que debe contener, así como por el

alto nivel de inocuidad que se debe procurar en su preparación. El volumen de producción en esta área asciende a un aproximado de 800 biberones diarios. En cuanto a la demanda eléctrica del área, si bien no es una demanda muy alta, es importante la continuidad del servicio dado que se trabajan equipos indispensables como purificadores de agua y equipos de esterilizado de instrumentos, sin los cuales el servicio no puede darse.

- Banco de leche humana: en esta área se extrae la leche materna de donantes. La misma pasa por un proceso de evaluación microbiológica para comprobar que no contenga gérmenes patógenos y posteriormente se almacena y refrigera en condiciones de inocuidad para luego ser suministrada a bebés recién nacidos en el área de Cuidados Intensivos de Neonatología (recién nacidos) como parte crucial del tratamiento en prematuros. El área posee una carga eléctrica importante a causa de los numerosos equipos frigoríficos de gran capacidad presentes, así como potentes aparatos de aire acondicionado que extraen el calor generado por los refrigeradores. La continuidad del servicio también es vital, ya que un apagón puede acarrear la pérdida de la leche almacenada.
- Unidad de nutrición clínica: es un área de carácter académico en la cual se realiza el cálculo de soportes nutricionales como dietas y fórmulas de los pacientes. En esta área solo existe iluminación y tomacorrientes de uso general, así como computadoras e impresoras.

**Figura 7.**

*Áreas y servicios del primer nivel*



*Nota.* El plano muestra la localización de las áreas del 1er. nivel. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Infraestructura de potencia eléctrica de edificios**

Esto se refiere a los equipos y materiales sin los cuales el suministro eléctrico no podría llegar a cada área en donde se le necesita, así como los equipos en sí mismos que requieren del suministro, que se conocen como cargas eléctricas. En un edificio la distribución de energía se realiza en baja tensión. Los equipos y materiales principales que conforman la infraestructura eléctrica de potencia de un edificio son los siguientes:

#### **2.1.1. Cargas eléctricas**

Las cargas eléctricas son todos aquellos equipos que consumen energía eléctrica, es decir, que realizan un trabajo o que la transforman a otros tipos de energía como, por ejemplo, lumínica, mecánica o térmica para cumplir una determinada tarea.

##### **2.1.1.1. Clasificación**

Las cargas eléctricas en el contexto de un hospital se pueden clasificar así:

- Por su importancia: clasificar las cargas por su importancia puede ayudar a establecer las cargas que deberían ser conectadas a un sistema de alimentación ininterrumpida. La clasificación es la siguiente:

- Vitales: ventiladores mecánicos, desfibriladores, todas las cargas de quirófanos, equipos de diálisis, incubadoras, equipos de soporte vital.
  - Esenciales: elevadores, equipos de refrigeración, iluminación de pasillos y salones, bombas de agua, calderas de vapor, monitores de gas médico.
  - No esenciales: iluminación de cuartos de encamado y baños, aire acondicionado general, tomacorrientes de uso general.
- Por el tipo de potencia eléctrica que consume: no siempre toda la potencia que una carga demanda es consumida, existen cargas en que parte de la potencia que demandan es solamente prestada y luego devuelta al sistema. Esta potencia prestada se conoce como “potencia reactiva”. Y la potencia que se consume por completo se conoce como “potencia real” o “potencia resistiva”. A su vez la potencia reactiva puede ser del tipo inductiva o capacitiva, que se contrarrestan entre sí. El exceso de demanda de potencia reactiva es penalizado por provocar un bajo factor de potencia, mismo del que se profundizará más adelante en el trabajo. Entonces, según el tipo de potencia que consumen, las cargas pueden ser:
    - Resistivas: calentadores de resistencia, hornos eléctricos, bombillas incandescentes, entre otros.
    - Inductivas: lavadoras, secadoras, ventiladores, extractores, bombas, balastos, entre otros.

- Capacitivas: banco de capacitores.
- Por su linealidad: esto se refiere a que existen cargas cuya impedancia es constante con el voltaje aplicado en cuyo caso se denominan cargas lineales, y aquellas en que la impedancia cambia según el voltaje se denominan cargas no lineales. La no linealidad provoca la existencia de armónicos, es decir, superposición de ondas sinusoidales a frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental de la red. Esto acarrea diversos problemas que serán estudiados más adelante. En este contexto, las cargas pueden ser:
  - Lineales: calentadores de resistencia, hornos eléctricos, bombillas incandescentes, motores de inducción, bancos de capacitores, entre otros.
  - No lineales: fuentes conmutadas de computadoras, monitores, impresoras, así como variadores de velocidad, UPS, balastos, entre otros.

#### **2.1.1.2. Caracterización de cargas**

El dimensionado y características de una instalación eléctrica debe responder a la demanda y características de las cargas a conectar. Una carga cuenta con las siguientes características:

- Voltaje: los voltajes más comunes son 120 VAC, 208 VAC, 240 VAC, 277 VAC, 380 VAC, 460 VAC. La necesidad de voltajes diversos hace necesario la adquisición de transformadores.

- Potencia: es la tasa a la que se consume energía, puede estar dada en kW, kVA, y HP. La potencia de las cargas determina el tamaño de la subestación, así como el costo por concepto de energía eléctrica.
- Número de fases: existen cargas monofásicas (una fase) y trifásicas (tres fases). La mayoría de maquinaria grande requiere una alimentación trifásica.
- Factor de potencia: puede tener valores de 0 a 1. El factor de potencia global determina la potencia en kVAR del banco de capacitores a instalar para mejorar el factor de potencia global.
- Corriente: se expresa en Amperios [A]. El calibre de los conductores, y varios componentes más se dimensionan en función de este valor.
- Eficiencia: en valores de porcentaje de 0 a 100 %. Expresa cuanta energía de la demandada es realmente aprovechada.

### **2.1.2. Acometida eléctrica**

La acometida eléctrica de una instalación es la interconexión entre la red de distribución de la empresa suministradora de energía y el tablero de protección principal del establecimiento. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2004), contempla la resolución CNEE-61-2004 que describe las normas constructivas de acometidas en alta, media y baja tensión de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

### **2.1.2.1. Clasificación**

Las acometidas eléctricas en Guatemala se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### **2.1.2.1.1. Según niveles de voltaje**

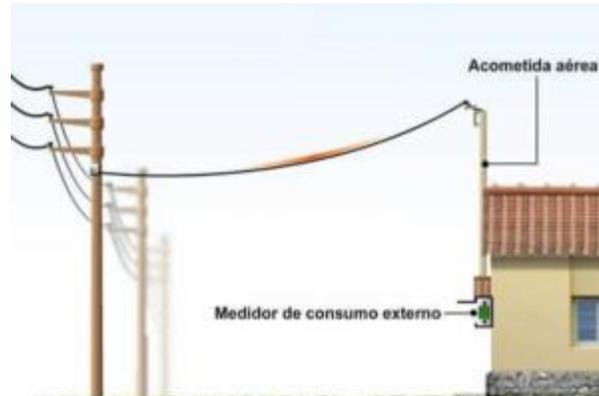
- Alta tensión: voltajes mayores a 60 kV, normalmente 69 kV
- Media tensión: de 1000V a 60kV, normalmente 13.2 kV
- Baja tensión: diversos servicios, la Empresa Eléctrica suministra los siguientes:
  - 120/240 Voltios 1 fase 3 Alambres
  - 120/208 Voltios 1 fase 3 Alambres
  - 120/240 Voltios 3 fases 4 Alambres
  - 120/208 Voltios 3 fases 4 Alambres
  - 240/480 Voltios 3 fases 4 Alambres

#### **2.1.2.1.2. Según su conexión**

- Aérea: es empleada en la interconexión a la red de grandes usuarios en alta tensión que cuentan con una subestación al aire libre, así también es muy común en zonas residenciales y comerciales a baja tensión.

## Figura 8.

### *Acometida aérea residencial en baja tensión*

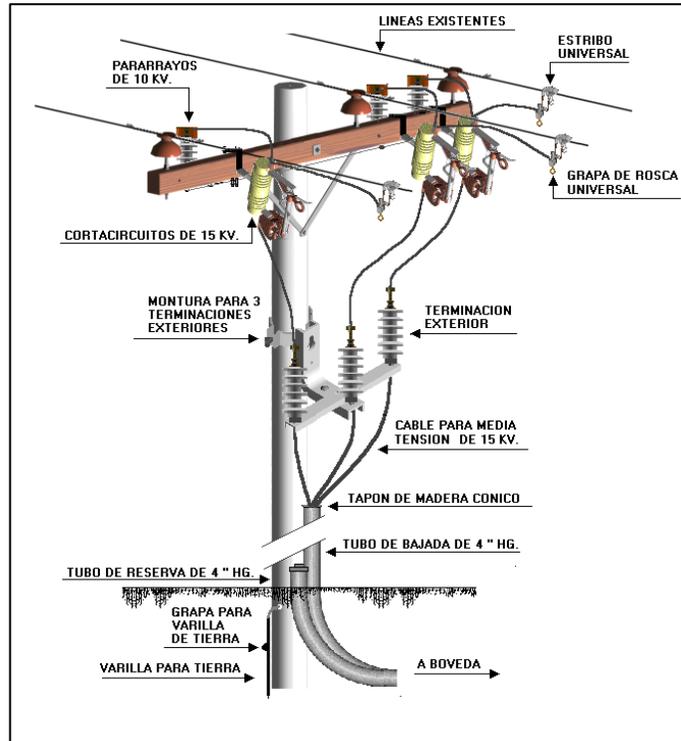


*Nota.* Elementos que componen las acometidas eléctricas. Obtenido de Electricasas. (s.f.). *Acometidas eléctricas domiciliarias.* (<https://www.electricasas.com/acometidas-electricas-domiciliarias-simples-aereas/>), consultado el 22 de abril de 2022. De dominio público.

- Subterránea: prolifera en acometidas de media tensión donde la energía se toma desde un poste y entra por el piso hacia un transformador *pad mounted* dentro del establecimiento. Aunque también se puede encontrar en otras instancias dependiendo qué tan lejos se encuentre el tablero de protección principal de la vía pública.

**Figura 9.**

*Acometida subterránea en media tensión*



*Nota.* Partes que conforman una acometida subterránea en media tensión. Adaptado de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2004). *Normas Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (Acometidas).* (p.11). CNEE.

### 2.1.3. Conductores

Los conductores son el medio a través del cual la energía eléctrica se transporta desde un sitio a otro. Están conformados principalmente por un alma metálica con buena capacidad de conducción eléctrica y un revestimiento no metálico encargado de aislar eléctricamente y proteger contra la corrosión, golpes y ataques químicos. La capacidad de un conductor está limitada por la temperatura máxima que puede experimentar su aislante antes de sufrir daños

irreversibles en su estructura molecular. El calor puede provenir del ambiente o bien del mismo conductor a causa del efecto Joule, el cual se expresa como una potencia que es directamente proporcional al cuadrado de la corriente que circula por él.

#### **2.1.3.1. Materiales de fabricación del alma del conductor**

- Cobre: es el material más utilizado en la industria eléctrica. Es el material casi exclusivo para la construcción de motores, transformadores y conductores de redes en baja tensión, por su buena resistencia mecánica y su alta conductividad, solo superada por la plata. Lamentablemente no es el más barato y está lejos de ser el más abundante en la corteza terrestre.
- Aluminio: en la industria eléctrica, se emplea principalmente para la elaboración de líneas de transmisión, ya que es muy liviano comparado con el cobre. Así mismo es un material muy barato por su abundancia, siendo el metal más abundante en la corteza terrestre.

#### **2.1.3.2. Tipos de revestimiento**

- Termoplásticos: ejemplos de estos son los conductores THHN (Termoplástico recubierto de nailon, alta resistencia al calor) y el THWN (termoplástico recubierto de nailon, resistente al calor y al agua) que son los más comunes en la actualidad para instalaciones en baja tensión. Estos están fabricados en PVC (policloruro de vinilo), polietileno lineal o teflón, y tienen una cubierta de nailon con alta resistencia química a

grasas, aceites e hidrocarburos. Tienen buena resistencia al calor, pudiendo operar hasta un límite máximo de 90 °C.

- Termoestables: un ejemplo de estos son los conductores XLPE (polietileno reticulado). Son superiores a los termoplásticos ya que tienen mejores prestaciones contra el calor. Permiten transmitir mayores corrientes a un mismo calibre, lo que puede ayudar a reducir el espacio ocupado y optimizar los costos en aplicaciones particulares.

### **2.1.3.3. Código de colores**

El código de colores es la estandarización de los colores de los conductores que conforman una instalación eléctrica, a modo de identificarlos según su función, por ejemplo, diferenciar cables vivos del neutro. Esto con el propósito de reducir accidentes como consecuencia de confusiones a la hora de manipular cables (Código de colores, s.f.).

El código de colores puede variar de país en país. Por ejemplo, en Europa la norma IEC 60446 establece detalladamente el código de colores a utilizar en dicha región. Mientras que, en Estados Unidos, las instituciones que se encargan de ello son en conjunto la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y la ANSI (American National Standards Development), cuyo código de colores difiere significativamente del europeo.

En Guatemala, a raíz de que no existe una norma propia, es común la aplicación de la norma estadounidense.

**Tabla 1.**

*Código de colores según región*

País o ciudad	Fase	Neutral	Protección a tierra
Unión Europea incluida Ucrania. Desde el 2004	 Gris		
Estados Unidos	 120/208/240 V  277/480 V	 120/208/240 V  277/480 V	  

*Nota.* Código de colores de la electricidad por país. Adaptado de Código de color. (s.f.). *¿Cómo saber el Código de colores de electricidad por país?* (<https://codigodecolor.com/codigo-de-colores-de-cables-electricos-por-pais/>), consultado el 24 de abril de 2022. De dominio público.

#### **2.1.3.4. Instalación y valoración del estado**

- **Instalación**

Durante el proyecto de instalación de conductores es importante que se tengan en cuenta las siguientes medidas:

- Como primera regla, el calibre y protección del conductor a instalar debe ser seleccionado en base a cálculos y criterios establecidos de acuerdo a la carga o futuras cargas que se conectarán para de esta manera, evitar sobrecargas. Posteriormente se ahondará en este tema.

- Respetar el código de colores para evitar accidentes causados por motivo de confusión de colores.
  - El cable debe estar protegido mediante una debida canalización en toda su extensión para evitar ser dañado por factores externos como golpes, contacto con hidrocarburos, humedad o roedores.
  - No utilizar ninguna clase de aceite o lubricante a la hora de hacer pasar los conductores por las canalizaciones ya que estos disminuyen el límite de temperatura del aislante.
  - Evitar, en la medida de lo posible, realizar dobleces bruscos del conductor puesto que esto daña su estructura granular incrementando puntos calientes.
  - Reducir al mínimo el número de empalmes, ya que los mismos provocan resistencia eléctrica y tendencia a calentarse. Al mismo tiempo, asegurarse de colocar cinta aislante de calidad.
  - Apretar adecuadamente todos los tornillos de sujeción de los conductores, de no hacerlo, pueden suceder “chisporroteos” que calientan excesivamente el conductor hasta quemar el aislante.
- Valoración del estado de un conductor

La duración de un conductor depende fundamentalmente de dos factores: el tipo de trabajo al que son sometidos y si el diseño e instalación fue correctamente ejecutado. El primero se refiere a que, si los conductores están trabajando permanentemente, su deterioro será mayor. El segundo punto se

refiere a que siempre y cuando se hayan tomado en cuenta las medidas descritas en la sección anterior respecto del diseño e instalación, el conductor podrá durar por un tiempo prolongado. En condiciones ideales, es comúnmente recomendado un cambio de conductores a los 25 años de operación.

A continuación, se describen dos aspectos a evaluar para determinar las condiciones de un conductor:

- Corriente de trabajo: esta no debe superar el valor nominal para el calibre de conductor instalado. En otras palabras, si la corriente supera dicho valor, el conductor se encuentra “sobrecargado”, lo cual resultará en un acelerado deterioro del aislante y posteriormente una falla de aislamiento o corto circuito. La causa más común de sobrecargas es la adición desmedida de cargas eléctricas sin hacer ningún estudio previo. Esta evaluación se puede hacer anualmente. Si se llegase a encontrar sobrecarga y ésta ha sido prolongada, hay que reemplazar y rediseñar el conductor inmediatamente.
  
- Estado físico: este se puede evaluar por simple inspección visual, si se encuentra alguna de las condiciones presentadas abajo, es señal de que el conductor ha sido expuesto a un calor excesivo, probablemente por un corto circuito, sobrecarga, tornillos flojos u otras causas. En cuyo caso el problema debe ser resuelto y el conductor reemplazado.
  - Aislante agrietado
  - Aislante tostado
  - Aislante desprendido

- Óxido de cobre de color verde

**Figura 10.**

*Apariencia común de un cable quemado*



*Nota.* Cables en mal estado. Adaptado de Forocoches (2015). *Presentación Mini 1275 GT.* (<https://forocoches.com/foro/showthread.php?t=4250865>), consultado el 28 de abril de 2022. De dominio público.

La desventaja de usar el método visual es que solo permite detectar fallas que ya han ocurrido. Para aplicar una evaluación más eficaz, se puede emplear una *cámara termográfica* que permite localizar puntos calientes y así poder aplicar medidas correctivas antes que la falla ocurra o se extienda. Más adelante se ahondará en ese tema.

Además de los dos aspectos ya mencionados para evaluar conductores eléctricos, se puede considerar un tercer aspecto denominado “resistencia de aislamiento”, pero su evaluación es impráctica después de la puesta en operación de la edificación, dado que implica invariablemente la interrupción parcial o total del suministro eléctrico, por lo que su aplicación es posible solo en cierto tipo de

establecimientos más no en industrias de operación continua ni mucho menos en hospitales.

- Mantenimiento

Hasta ahora, los métodos de evaluación mencionados constituyen un mantenimiento “reactivo” pues solo han permitido detectar conductores ya dañados, lo cual conduce al cambio de los mismos. Y es que las fallas en un conductor por lo general se dan por eventos destructivos concretos como golpes o cortos circuitos, o por un mal diseño o sobrecarga. Sin embargo, es posible aplicar un mantenimiento preventivo mensual que pueda ayudar a prevenir estos eventos y prolongar su vida útil. Entre las acciones preventivas a poner en práctica se puede mencionar:

- Verificar que cajas de registro, tableros y puntos de acceso a los conductores y sus conexiones se encuentren limpios, secos y herméticos. Esto evitará su contaminación y mantendrá a los roedores al margen.
- Verificar que los conductores en toda su trayectoria estén protegidos por una debida canalización, no debe haber conductores expuestos.
- Revisar y ajustar si fuera necesario el apriete de tornillos.
- Limitar el uso de extensiones eléctricas.

- Todo trabajo eléctrico de mantenimiento, operación o ampliación debe llevarse a cabo por personal altamente calificado, ya que una buena parte de los accidentes son causados por un error humano.
- Verificar la calidad de energía. Puede hacerse anualmente. La presencia de armónicos ejerce un esfuerzo adicional en conductores eléctricos. Más adelante se ampliará sobre este tema.

#### **2.1.3.5. Métodos de cálculo del calibre**

Es necesario seleccionar un calibre óptimo, si el mismo es menor que el requerido, se pone en riesgo la seguridad de la instalación, y si es mayor, se gastan recursos en vano. Para encontrar un calibre adecuado, existen criterios diversos, idealmente se debe escoger el criterio aplicable que devuelva el calibre más grueso. Entre los criterios de selección de calibre de conductores se encuentran:

##### **2.1.3.5.1. Por capacidad de corriente**

Un conductor tiene un límite definido de corriente máxima que puede conducir antes de ocurrir sobrecalentamiento. La norma NEC establece la siguiente tabla de límites máximos de corriente según el calibre, material del núcleo y tipo de revestimiento.

**Tabla 2.**

*Ampacidad (A) de conductores según norma NEC*

Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]							
Calibre AWG o kcmil	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	Calibre AWG o kcmil
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW- 2, THHN, THWN-2, USE- 2, THHW, THW-2, THWN- 2, USE-2, XHHW, XHHW- 2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THWN-2, USE-2, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO o ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	--	--	14	--	--	--	--
16	--	--	18	--	--	--	--
14*	20	20	25	--	--	--	--
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. Ambiente (° C)	Para temperaturas ambiente distintas de 30° C (86° F), multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						Temp. Ambiente (° F)
21-25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70-77
26-30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78-86
31-35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87-95
36-40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96-104
41-45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105-113
46-50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114-122
51-55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123-131
56-60	--	0.58	0.71	--	0.58	0.71	132-140
61-70	--	0.33	0.58	--	0.33	0.58	141-158
71-80	--	--	0.41	--	--	0.41	159-176

*Nota.* Ampacidad para conductores con tensión nominal de 0-2000 voltios. Adaptado de Asociación Nacional de Protección contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 260). NFPA.

- Factores de corrección

Los valores de ampacidad de conductores de la Tabla 2 son aplicables para voltajes de 0-2000V a temperatura ambiente de 30 °C y no más de 3 conductores portadores de corriente en una canalización. En condiciones diferentes, estos valores serán modificados como sigue:

- Factor por temperatura

Para temperaturas distintas a 30 °C, los valores de ampacidad permisible de cada calibre de conductor de la tabla se verán alterados multiplicando dichos valores por el factor de corrección indicado en la Tabla 3, la cual es un extracto de la tabla 2. La tendencia es disminuir su ampacidad conforme crece la temperatura lo que obligará al proyectista a usar calibres más gruesos para compensar esa adición de calor ambiental. Este factor se aplica para conductores de ramal y de alimentadores.

**Tabla 3.**

*Factores de corrección por temperatura ambiental*

FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. Ambiente (° C)	Para temperaturas ambiente distintas de 30° C (86° F), multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						Temp. Ambiente (° F)
21-25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70-77
26-30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78-86
31-35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87-95
36-40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96-104
41-45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105-113
46-50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114-122
51-55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123-131
56-60	--	0.58	0.71	--	0.58	0.71	132-140
61-70	--	0.33	0.58	--	0.33	0.58	141-158
71-80	--	--	0.41	--	--	0.41	159-176

*Nota.* Factores de corrección para conductores de ramal y de alimentadores. Adaptado de Asociación Nacional de Protección contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 260). NFPA.

- Factor por número de conductores en canalización

El número de conductores portadores de corriente en una misma canalización también altera la capacidad de conducción de los conductores. Si se trata de conductores de una misma carga se emplearán los siguientes factores de ajuste:

**Tabla 4.**

*Factor de ajuste de una misma corriente*

<b>Número de conductores portadores de corriente</b>	<b>Porcentaje de los valores en las Tablas 310.16 a 310.19, ajustadas para temperatura ambiente, si es necesario.</b>
<b>4 - 6</b>	<b>80</b>
<b>7 - 9</b>	<b>70</b>
<b>10 - 20</b>	<b>50</b>
<b>21 - 30</b>	<b>45</b>
<b>31 - 40</b>	<b>40</b>
<b>41 y en adelante</b>	<b>35</b>

*Nota.* Por número de conductores portadores de corriente en una misma canalización, una misma carga. Adaptado de Asociación Nacional de Protección contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 256). NFPA.

Cuando se trata de conductores portadores de corriente de diferentes cargas dentro de una misma canalización se utiliza esta otra tabla.

**Tabla 5.**

*Factor de ajuste por número de conductores*

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje de los valores de las tablas ajustados según la temperatura ambiente, si fuera necesario
4 - 6	80
7 - 9	70
10 - 24	70*
25 - 42	60*
43 - 85	50*

\* Estos factores incluyen los efectos de una diversidad de carga del 50%.

*Nota.* Portadores de corriente en una misma canalización, cargas diferentes. Adaptado de Asociación Nacional de Protección contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 256). NFPA.

Este factor se aplica tanto para conductores de ramales como para alimentadores. Tomar en cuenta que la norma NEC en sus secciones 366.23 (A) y 376.22 (B), establece que estos factores de corrección no deben ser aplicados a conductores en canales de lámina metálica, sea esta con cubierta o no, cuando la cantidad de conductores portadores de corriente dentro del canal no pase de 30.

- Factor por material de entubado

Cuando la canalización es de tubo PVC se aplicará un factor de 0.8 y cuando sea de metal o HG (hierro galvanizado), no aplica ningún factor o factor de 1.0. Se aplica en conductores de ramales y alimentadores.

- Factor por servicio continuo

En el artículo 100 de la norma NEC/NTC2050 se define una carga continua como una carga que trabaja a su máxima corriente por periodos continuos superiores a 3 horas. En estos casos, la carga debe ser asumida al 125 % del valor nominal debido al calor adicional producido. También se puede interpretar como un factor de 0.8 de la ampacidad normalizada de los conductores.

Para evitar la labor de multiplicar por esos factores todos los valores de ampacidad de la tabla 2, se puede emplear la siguiente ecuación:

$$I_v = \frac{I_N}{F_T * F_{NCC} * F_{MT} * F_{SC}} \quad (1)$$

Donde:

$I_v$  = Corriente virtual [A].

$I_N$  = Corriente nominal [A].

$F_T$  = Factor por temperatura [adimensional].

$F_{NCC}$  = Factor número de conductores por canalización [adimensional].

$F_{MT}$  = Factor por material de entubado [adimensional].

$F_{SC}$  = Factor por servicio continuo [adimensional].

De esta forma, el calibre a utilizar será aquel en la tabla 2 con la ampacidad inmediatamente mayor al valor de corriente virtual obtenido, sin modificar los valores de la tabla.

Los factores por temperatura, por número de conductores en canalización y material de entubado siempre serán aplicados en el diseño de cualquier conductor, sin importar de qué tipo de carga se trate o si éste sea ramal o alimentador. Adicional y como complemento se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones para encontrar el calibre adecuado para distintos casos:

- Ramales

Un ramal se refiere al circuito (conjunto conductor-protección), que llega a la carga final de consumo, la cual puede tratarse -en la mayoría de casos- de: agrupación de tomacorrientes de uso general, agrupación de luminarias o cargas especiales.

- Tomacorrientes de uso general

Los tomacorrientes de uso general son aquellos en los que se conectan cargas pequeñas monofásicas como televisores, computadoras, cargadores, impresoras pequeñas, dispensadores de agua, equipos de sonido pequeños, ventiladores domésticos, pesas, luces de mesa, barrenos de mano, licuadoras básicas, entre otros. También pueden encontrarse en áreas donde no tienen un uso definido pero que por no dejar sin suministro se colocan, generalmente se usarán por periodos cortos y de carga pequeña.

De acuerdo con el artículo 220.14 de la norma NEC, la carga asignada a un tomacorriente de uso general debe ser como mínimo 180 VA y se pueden agrupar en circuitos de 15 o 20 A. Las cargas conectadas a dicho tomacorriente no deben superar el 80 por ciento del valor nominal de dicho tomacorriente. Por ejemplo, en un circuito de 15 A, y un único tomacorriente del mismo valor conectado a dicho circuito, no deberá conectarse ninguna carga que consuma más de 12 A.

También, a partir de esta premisa, se puede determinar el número máximo de tomacorrientes monofásicos por circuito como sigue:

$$No. \text{ tomas/circuito} = \frac{\text{Corriente del circuito}[A] * \text{Voltaje monofásico}[V]}{180 [VA] * 1.25} \quad (2)$$

Ejemplo de cálculo de calibre de conductor de circuito de tomacorrientes de uso general.

Se tiene un área con 40 tomacorrientes de uso general a 120 VAC cada uno. La temperatura ambiental máxima es de 40 °C, canalizado en tubo PVC de 3/4", un máximo de 5 conductores portadores de corriente en canalización. Determinar el calibre de conductor y el valor de la protección termomagnética:

Primero se define circuitos ramales con protección termomagnética de 20 A cada uno, obteniendo el número de tomacorrientes por circuito:

$$\begin{aligned} \text{No. máximo de tomas por circuito} &= \frac{20A * 120V}{180VA * 1.25} = 10.66 \\ &\simeq 10 \text{ tomas/circuito} \end{aligned}$$

Posteriormente se obtiene el número de circuitos de 20 A cada uno para cubrir los 40 tomacorrientes:

$$\text{No. de circuitos} = \frac{40}{10} \simeq 4 \text{ circuitos}$$

El número de tomacorrientes por circuito no debe ser aproximado al siguiente número, y el número de circuitos siempre debe aproximarse al número inmediato superior siempre que tenga decimales. Como se tienen 4 circuitos, se pondrán 10 tomas por circuito, la corriente se calcula como sigue:

$$I_N = \frac{10 * 180VA}{120V} = 15A$$

Para determinar el calibre de conductor primero se definirá un conductor THHN 90 °C. El factor de temperatura según la tabla 3 es de 0.91, el factor por número de conductores es obtenido de la tabla 5 por tratarse de cargas distintas, siendo este de 0.8, el factor por entubado es 0.8 por tratarse de pvc y el factor por uso continuo no aplica para tomacorrientes de uso general, por lo tanto, la corriente virtual queda:

$$I_v = \frac{15A}{0.91 * 0.8 * 0.8} = 25.76 A$$

Consultando la tabla 2 en la columna para conductores de cobre THHN a 90 °C y en la fila con el calibre que indique la corriente inmediata superior da un calibre para fase y neutro (por ser un circuito monofásico, el neutro portará la misma corriente), de 12 AWG.

- Luminarias

La norma NEC establece la siguiente tabla para el cálculo de la potencia eléctrica por concepto de iluminación de una instalación de acuerdo con el tipo de ocupación.

**Tabla 6.***Carga por unidad de área de Alumbrado General por Tipo de Ocupación*

Tipo de ocupación	Carga unitaria	
	Volt-Ampere por metro cuadrado	Volt-Ampere por pie cuadrado
Cuarteles y auditorios	11	1
Bancos	39 <sup>b</sup>	3½ <sup>b</sup>
Barberías y salones de belleza	33	3
Iglesias	11	1
Clubes	22	2
Juzgados	22	2
Unidades de vivienda <sup>a</sup>	33	3
Garajes comerciales (almacenamiento)	6	½
Hospitales	22	2
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos <sup>a</sup>	22	2
Edificios industriales y comerciales (áticos)	22	2
Casas de huéspedes	17	1½
Edificios de oficinas	39 <sup>b</sup>	3½
Restaurantes	22	2
Escuelas	33	3
Tiendas	33	3
Depósitos (almacenamiento)	3	¼
En cualquiera de las ocupaciones anteriores, excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares Lugares de reunión y auditorios	11	1
Recibidores, pasillos, armarios, escalera	6	½
Espacios de almacenamiento	3	¼

*Nota.* Cargas asignadas de acuerdo con el tipo de ocupación. Adaptado de Asociación Nacional de Protección contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p.77). NFPA.

Es importante notar que estos valores al día de hoy resultan muy altos, debido a que están calculados en base a focos incandescentes que solo convierten en luz el 5 % de la energía eléctrica que consumen, esto según un artículo online del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), de España. Este artículo también indica que los tubos fluorescentes consumen un 80 % menos de electricidad que los focos incandescentes para la misma emisión luminosa, es decir, las luminarias fluorescentes consumen un 20 % de la

energía que consumen las luminarias incandescentes. Tomando estos valores como referencia se puede elaborar una tabla con valores de carga por unidad de área con base en luminarias fluorescentes:

**Tabla 7.**

*Carga por unidad de área de Alumbrado General por Tipo de Ocupación*

Tipo de ocupación	Carga unitaria	
	Volt-Ampere por metro cuadrado	Volt-Ampere por pie cuadrado
<b>Cuarteles y auditorios</b>	2.2	0.21
<b>Bancos</b>	8	0.74
<b>Barberías y salones de belleza</b>	6.6	0.61
<b>Iglesias</b>	2.2	0.21
<b>Clubes</b>	4.4	0.42
<b>Juzgados</b>	4.4	0.42
<b>Unidades de vivienda</b>	6.6	0.62
<b>Garajes comerciales (almacenamiento)</b>	1.2	0.11
<b>Hospitales</b>	4.4	0.42
<b>Hoteles y moteles</b>	4.4	0.42
<b>Edificios industriales y comerciales (áticos)</b>	4.4	0.42
<b>Casas de huéspedes</b>	3.4	0.32
<b>Edificios de oficinas</b>	8	0.74
<b>Restaurantes</b>	4.4	0.42
<b>Escuelas</b>	4.4	0.42
<b>Tiendas</b>	6.6	0.62
<b>Depósitos (almacenamiento)</b>	0.6	0.06
<b>Recibidores, pasillos, armarios, escaleras.</b>	1.2	0.11
<b>Espacios de almacenamiento</b>	0.6	0.06

*Nota.* Con base en luminarias fluorescentes. Elaboración propia, realizado con Excel.

Un circuito ramal de iluminación es recomendable que sea separado de otro tipo de carga, incluso en instalaciones mayores es recomendable separar los circuitos de iluminación en tableros y transformadores aparte.

El valor de los circuitos ramales de iluminación es recomendable que no supere los 50 A de acuerdo con la sección 210.3 de la norma NEC. Para determinar el número máximo de luminarias por circuito ramal a conectar se

puede usar la siguiente ecuación si se cuenta con la potencia aparente de las luminarias:

$$No. \text{ luminarias por circuito} = \frac{\text{Corriente circuito [A]} * \text{Voltaje [V]}}{\text{Potencia aparente luminaria [VA]} * 1.25} \quad (3)$$

Se puede notar la presencia de la constante de 1.25 que se coloca para dar un margen por si se llegaran a encender todas las luces al mismo tiempo y no ocurra una sobrecarga.

La potencia de las luminarias suele ser indicada por el fabricante en unidades de *Watts*. Para determinar su valor en Voltio-Amperios (VA) se debe emplear la ecuación siguiente:

$$\text{Potencia aparente [VA]} = \frac{\text{Potencia real [W]}}{FP[adim]} \quad (4)$$

Donde:

FP = Factor de potencia [adim].

El valor de factor de potencia de las luminarias varía de acuerdo con diversos factores. Las luminarias incandescentes por ser cargas resistivas tienen un FP de 1.0, las fluorescentes según un artículo sobre lámparas fluorescentes de la página online [www.emb.cl](http://www.emb.cl) tienen un factor de 0.5 aproximadamente y de las LED no hay información. Esos valores son muy bajos, por lo mismo, las compañías fabricantes corrigen esos valores mediante componentes adicionales en sus *drivers* y balastos. Por ejemplo, el factor de potencia del balastro EB-C 114 TL5 para lámparas fluorescentes Philips TL5 HE Essential en su ficha técnica se indica de un valor mínimo de 0.95, y para luminaria led, esta misma marca ofrece el *driver Xitanium* con un factor de potencia igual o mayor a 0.9 para

lámparas Essential ledtube. Tomando como referencia esos valores, se puede definir los valores típicos de factor de potencia de luminarias según su tipo como sigue:

**Tabla 8.**

*Factores de potencia típicos de distintos tipos de luminaria*

<b>Tipo</b>	<b>Factor de potencia</b>
Incandescente	1.0
Fluorescente	0.95
Led	0.9

*Nota.* Factores que intervienen en tipos de luminarias. Elaboración propia, realizado con Excel.

Ejemplo de cálculo de calibre de conductor de circuito de luminarias.

Se tiene un pequeño hospital de 50 m x 70 m con una alimentación de 120 VAC. Determinar la cantidad de circuitos, la corriente de la protección termomagnética y el calibre de conductor de cada circuito si se tiene una temperatura máxima en la zona de 30 °C, no más de 6 conductores portadores de corriente por canalización y entubado de pvc.

Primero se definen circuitos de 20 A, y luminarias tipo lámpara fluorescente de 2 tubos cada uno, 4 pies de largo y 36W cada tubo, por lo tanto, cada lámpara tendrá una potencia de 72 W. Calculando la potencia en VA con un factor de potencia de 0.95 de acuerdo con la tabla 8 da como resultado:

$$Potencia\ aparente\ por\ lámpara = \frac{72W}{0.95} = 75.79VA \approx 76VA$$

Ahora se calcula la potencia aparente requerida por la instalación tomando en cuenta que se trata de un hospital, el cual tiene un consumo por metro cuadrado de 4.4 VA según la tabla 7.

$$Potencia\ aparente\ total\ por\ iluminación = 4.4 \frac{VA}{m^2} * 50m * 70m = 15400VA$$

Ahora se calculará la cantidad máxima de lámparas por circuito de 20 A y el número de lámparas a instalar.

$$No.\ máximo\ de\ lámparas\ por\ circuito = \frac{20A * 120V}{76VA * 1.25} = 25.26$$
$$\simeq 25\ lámparas/circuito$$

$$No.\ de\ lámparas\ total = \frac{15400VA}{76VA} = 202.63 \simeq 200\ lámparas$$

Y sacando el número de circuitos no da:

$$No.\ de\ circuitos = \frac{200}{25} = 8\ circuitos$$

Ahora se obtiene la corriente nominal de cada circuito como sigue:

$$I_N = \frac{25 * 76VA}{120V} = 15.83\ A$$

Ahora, para determinar el calibre de conductor se definirá un conductor THHN 90 °C. El factor de temperatura según la tabla 3 es de 1.0, el factor por número de conductores es obtenido de la tabla 5 por tratarse de cargas distintas,

siendo este de 0.8, el factor por entubado es 0.8 por tratarse de PVC y el factor por uso continuo no aplica para luminarias, por lo tanto, la corriente virtual queda:

$$I_V = \frac{15.83 A}{1.0 * 0.8 * 0.8} = 24.73 A$$

Consultando la tabla 2 en la columna para conductores de cobre THHN a 90 °C y en la fila con el calibre que indique la corriente inmediata superior da un calibre para fase y neutro (por ser un circuito monofásico, el neutro portará la misma corriente), de 12 AWG.

- Cargas especiales

Las cargas especiales son dispositivos con protección y conductor individual, no están agrupados debido a que controlan un dispositivo de uso especial y por lo general con una potencia considerablemente mayor. Pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos. En instalaciones comerciales, las cargas especiales que se pueden encontrar se clasifican como sigue:

- Calefacción por resistencia eléctrica

Acá se pueden encontrar: horno eléctrico, estufas eléctricas, autoclave eléctrica, calentadores de agua, microondas, planchas, secadoras eléctricas, entre otros. Todos estos dispositivos deben tener en su placa de características su valor de potencia de entrada en W. Se les puede asignar un valor de factor de potencia de 1.0 por tratarse de cargas resistivas lo que significa que los *watts* pueden pasarse a VA directamente. El cálculo de la corriente nominal para una carga monofásica o bifásica de este tipo es:

$$I_{Nominal}[A] = \frac{Potencia\ en\ placa\ [W]}{Voltaje[V]} \quad (5)$$

Cuando la carga es trifásica, y en la placa de características se proporciona el valor de potencia total trifásica del dispositivo, la corriente se encuentra como sigue:

$$I_{Nominal}[A] = \frac{Potencia\ trifásica[W]}{\sqrt{3} * Voltaje [V]} \quad (6)$$

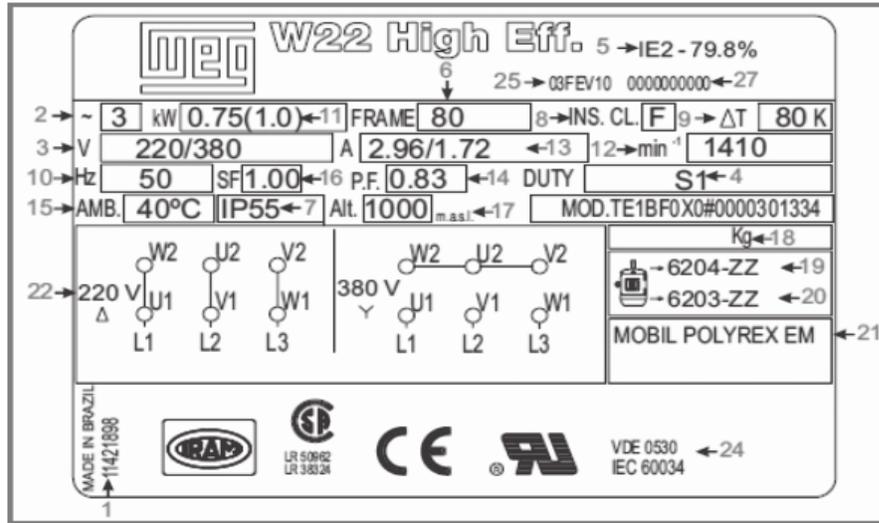
- Motores

Son muchos los dispositivos que utilizan motores eléctricos para su funcionamiento, en el área comercial se puede mencionar: bombas, extractores, calderas a gas, lavadoras, secadoras y en cocinas hay batidoras industriales, pelador de papas, picadores, amasadores, licuadoras, entre otros.

Una placa típica de un motor de inducción puede verse en la siguiente imagen:

**Figura 11.**

*Placa de características de motor de inducción*



*Nota.* Modelo de una placa de características para un motor de inducción trifásico. Adaptado de J. Carrillo y J. Rojas. El variador de velocidad como método de arranque ideal para motores eléctricos de inducción. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*. 13(1). p.35. <https://www.researchgate.net/publication/307555508> El variador de velocidad como metodo de arranque ideal para motores electricos de induccion

Para determinar la corriente nominal de un motor de inducción se debe consultar su placa de características. También es posible determinarla mediante su potencia de salida en HP, eficiencia, factor de potencia, voltaje y número de fases como sigue:

En motores monofásicos:

$$I_N \text{ motor inducción } 1\phi = \frac{HP * 746}{ef * FP * V_{1\phi}} \quad (7)$$

Donde:

HP: potencia de salida a plena carga del motor [HP].

ef: eficiencia del motor expresada en valores de 0-1 [adimensional].

FP ó  $\cos\phi$ : factor de potencia [adimensional].

V1 $\phi$ : voltaje monofásico [V].

Y en motores trifásicos:

$$I_{N \text{ motor inducción } 3\phi} [A] = \frac{HP*746}{\sqrt{3}*V_{l-l}*ef*FP} \quad (8)$$

Donde:

Vl-l: voltaje línea a línea trifásico [V].

Según la norma NEC en su artículo 430.22, la ampacidad del conductor de un motor en régimen de servicio continuo no debe ser menor al 125 % del valor nominal de corriente de plena carga del motor. Lo que también se puede expresar como un factor de corrección por servicio continuo mencionado en párrafos anteriores de 0.8. Cuando se trata de equipos que conllevan varios motores integrados, la ampacidad del conductor del equipo será la suma de las corrientes de cada uno de los motores, aplicando el factor de 125 % solo en el motor de mayor tamaño más la ampacidad exigida por el resto de cargas que lo conformen. Estas consideraciones aplican tanto para el conductor como para la protección termomagnética.

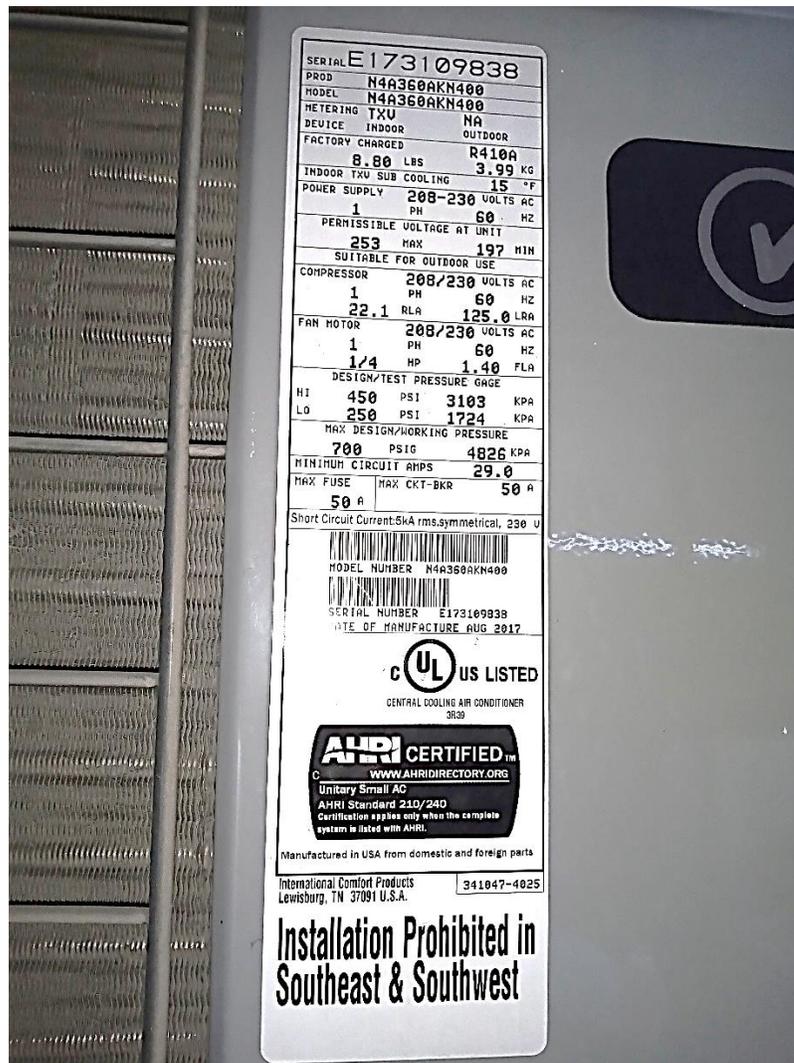
- Equipos de aire acondicionado y de refrigeración

Pueden llegar a representar una porción importante de la carga de una instalación comercial. Pueden ser sistemas de aire acondicionado, bombas de calor, refrigeradores, cuartos fríos, entre otros. Los equipos de consumo eléctrico

que los conforman son principalmente el motor compresor hermético y un ventilador. Una placa típica puede verse a continuación:

**Figura 12.**

*Placa de características de aire acondicionado*



Nota. Parámetros. Elaboración propia.

- Se pueden ver los siguientes términos
  - ✓ *RLA (Running Load Amps)*: corriente de carga plena o nominal.
  - ✓ *LRA (Locked Rotor Amps)*: corriente de rotor bloqueado, aproximadamente 7 veces el RLA.
  - ✓ *Fan FLA*: corriente del ventilador.
  - ✓ *Minimum circuit amps*: ampacidad mínima del conductor.
  - ✓ *Max ckt-bkr (maximum circuit breaker)*: máxima corriente de interruptor termomagnético.

De acuerdo con la norma NEC en su sección 440.32 si la placa del equipo no indica el valor de ampacidad mínima del conductor, entonces esta se calculará como el 125 % del RLA más la corriente del resto de cargas (ventilador en la mayoría de casos), además de la aplicación de los factores de corrección correspondientes (no aplica factor de servicio continuo).

En el caso de la protección termomagnética, la norma NEC en su sección 440.22 establece que el valor de la corriente nominal del dispositivo de desconexión termomagnético no debe superar el 225 % del RLA.

- Ascensores y montacargas

El diseño de ascensores es un campo muy amplio, el proyectista de la instalación eléctrica no será responsable de determinar el tipo, cuántos se instalarán ni de qué capacidad será cada uno, esa información debe ser proporcionada por la empresa encargada de la instalación de los ascensores, así mismo las dimensiones, ubicación de los huecos y ubicación de cuartos de

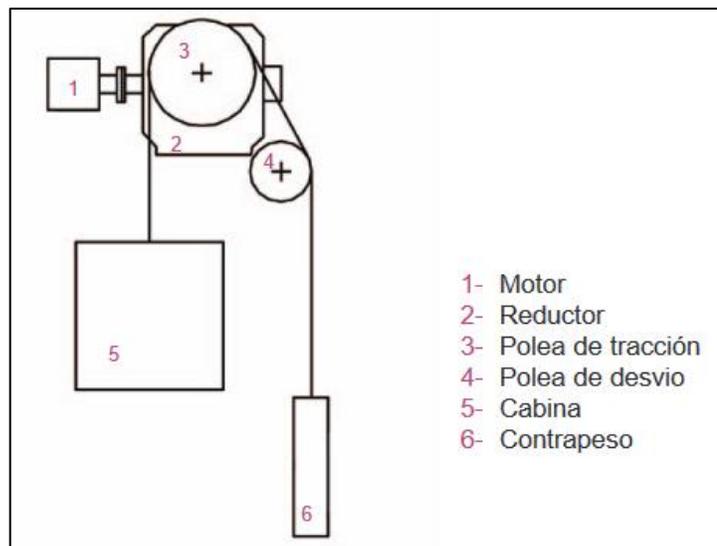
máquinas debe ser proporcionada por la empresa constructora a través de planos de obra civil. La responsabilidad del proyectista de instalación eléctrica será brindar el equipamiento eléctrico adecuado para fuerza e iluminación en el hueco, fosa y cuarto de máquinas de acuerdo con la información que haya sido proporcionada. Por su modo de accionamiento, se puede mencionar dos tipos de elevadores:

✓ Eléctricos

También llamados electromecánicos, son accionados por un motor eléctrico acoplado a una polea que transfiere el movimiento a los cables que sostienen la cabina.

**Figura 13.**

*Esquema de un ascensor eléctrico*



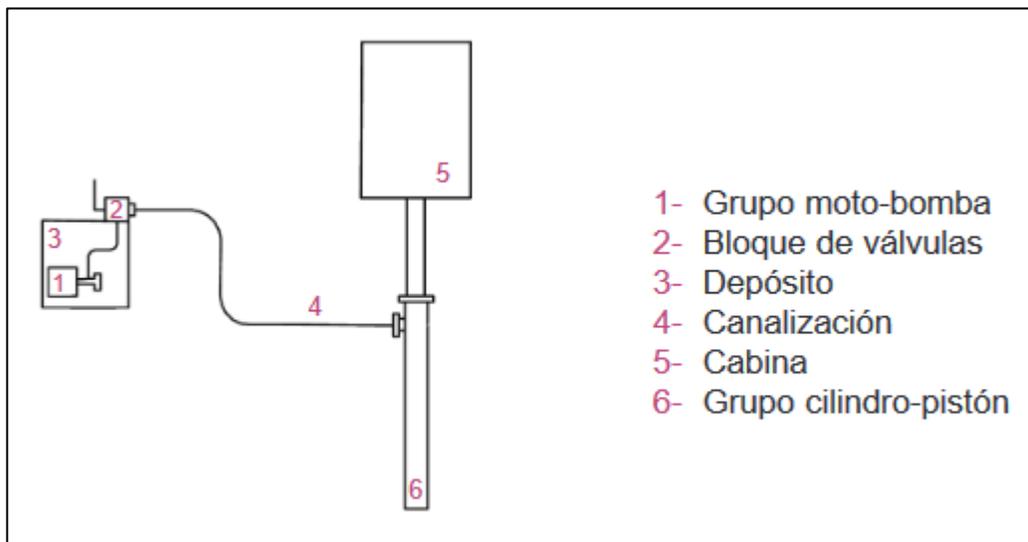
*Nota.* También se les llama ascensores de tracción. Obtenido de MP Ascensores (s.f.). *Transporte vertical: información técnica general.* (p. 10). MP Ascensores.

✓ Hidráulicos

Constan de un motor y bomba que proporcionan presión a un aceite especial, el cual es usado para desplazar un émbolo ligado a la cabina directamente o a través de cables metálicos.

**Figura 14.**

*Esquema de un ascensor hidráulico*



*Nota.* También se les conoce como ascensores oleodinámicos. Obtenido de MP Ascensores (s.f.).  
*Transporte vertical: información técnica general.* (p. 12). MP Ascensores.

Como se ha observado, los ascensores y montacargas tienen como elemento principal de consumo un motor eléctrico. El cual en algunos casos será gobernado por un variador de frecuencia.

Para calcular el calibre de conductor, se debe basar en las características proporcionadas por el fabricante del equipo y aplicar los factores de corrección

correspondientes. Una etiqueta típica lucirá como la que se presenta a continuación:

**Figura 15.**

*Placa de controlador de montacargas hidráulico*

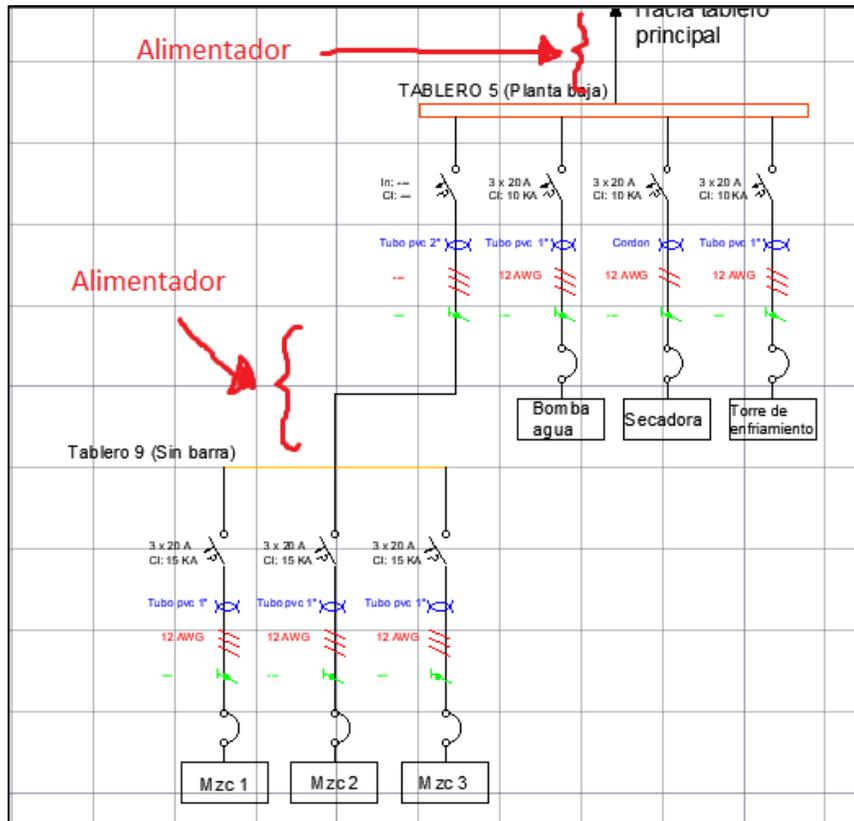


*Nota.* Parámetros. Elaboración propia.

- Alimentadores

Se refiere a los conductores que alimentan un tablero eléctrico principal o secundario y conducen la corriente de múltiples cargas.

**Figura 16.**  
*Alimentador*



*Nota.* Diagrama de alimentación. Elaboración propia, realizado con PC Wizard.

Dado que un alimentador puede dar suministro a muchas cargas con régimen de trabajo alternativo, sucede que es muy raro o improbable que todas las cargas enciendan al mismo tiempo, lo que significa que no es necesario dimensionar dicho alimentador para la sumatoria de todas las cargas sino un porcentaje de las mismas. Es así como se introduce el concepto de *factor de demanda* que es un valor porcentual que se aplica a ciertas cargas según su tipo y número.

La norma NEC establece los valores típicos de factor de demanda para ciertos establecimientos y ciertos tipos de carga.

**Tabla 9.**

*Factores de demanda para cargas de alumbrado*

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (Volt-amperios)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Primeros 3,000 o menos	100
	De 3,001 a 120,000	35
	A partir de 120,000	25
Hospitales *	Primeros 50,000 o menos	40
	A partir de 50,000	20
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos*	Primeros 20,000 o menos	50
	De 20,001 a 100,000	40
	A partir de 100,000	30
Depósitos (almacenamiento)	Primeros 12,500 o menos	100
	A partir de 12,500	50
Todos los demás	Volt-amperios totales	100

\* Los factores de demanda de esta Tabla no se deben aplicar a la carga calculada de los alimentadores o acometidas que dan suministro a áreas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar toda la iluminación al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile

*Nota.* Valores típicos de factor de demanda. Adaptado de Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 80). NFPA.

**Tabla 10.**

*Factores de demanda para tomacorrientes en viviendas*

<b>Parte de la carga del receptáculo a la que se aplica el factor de demanda (volt-amperios)</b>	<b>Factor de demanda (%)</b>
Primeros 10 KVA o menos	100
A partir de 10 KVA	50

*Nota.* Valores típicos de factor de demanda. Adaptado de Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 81). NFPA.

**Tabla 11.**

*Factores de demanda del alimentador para ascensores*

<b>Número de ascensores conectados al mismo alimentador</b>	<b>Factor de demanda</b>
1	1
2	0.95
3	0.9
4	0.85
5	0.82
6	0.79
7	0.77
8	0.75
9	0.73
De 10 en adelante	0.72

*Nota.* Valores típicos de factor de demanda. Adaptado de Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 1030). NFPA.

La norma NEC establece otros tantos factores de demanda para diversidad de tipos de carga como secadores, estufas eléctricas, viviendas multifamiliares, entre otros. Los cuales van más allá del alcance de este trabajo.

Hay muchos tipos de carga cuyo factor de demanda no ha sido establecido y que se pueden resumir en la siguiente tabla:

**Tabla 12.**

*Factores de demanda adicionales*

CARGA CALCULADA	FACTOR DE DEMANDA
1. Alumbrado (continuo).	1.25
2. Contactos. Los primeros 10 kVA al 100%, el resto al 50%.	1.00
3. Motores de aire acondicionado.	1.00 ó 0.00 <sup>(1)</sup>
4. Motores.	1.00 ó 1.25 si son de operación continua
5. Cocinas.	0.65 ó 1.00 <sup>(2)</sup>
6. Calefactores eléctricos.	1.00 ó 0.00 <sup>(3)</sup>
7. Calentadores eléctricos de agua.	1.00
8. Otras cargas.	1.00
Notas:	
(1) En la mayoría de los edificios, la calefacción y el aire acondicionado no operan simultáneamente, de manera que el tablero de carga o centro de carga debe tener la capacidad para alimentar a la más grande de las dos. Se asigna 1.0 a la mayor y /o a la menor.	
(2) Las cargas para cocinas eléctricas tienen un factor de demanda que varía entre 0 y 1, dependiendo de conceptos o aparatos individuales que maneja la cocina.	
(3) Calefactores eléctricos. Cabe la misma mención aplicada al aire acondicionado.	

*Nota.* Factores de demanda en instalaciones grandes. Adaptado de G. Enríquez (2005). *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales.* (p. 416). Limusa.

También existen factores de demanda para otras ocupaciones que han sido determinados por terceros que pueden usarse a criterio del proyectista. La suma de la potencia aparente de todas las cargas de un tablero ya aplicado el factor de demanda se conoce como demanda máxima estimada o DME por sus siglas.

#### **2.1.3.5.2. Por caída de voltaje**

La norma NEC en su artículo 210.19(A)(1) recomienda que la caída de tensión en ramal no supere el 3 % y no más de 5 % para el conjunto alimentador(es)-ramal.

Basado en la ley de ohm, la forma de determinar la sección del conductor para un valor de caída de voltaje, corriente y longitud dado es la siguiente:

$$S = \rho \frac{c * L * I}{e * V} * 100 \quad (9)$$

Donde:

S = Sección transversal de cobre en mm<sup>2</sup>

$\rho$  = Resistividad específica del material conductor en  $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$

I = Corriente de carga en A

L = Longitud del conductor en m

e = Caída de voltaje en (%)

V = Voltaje aplicado en Voltios (voltaje de línea a línea si es trifásico)

c = Constante con valor de 2 para circuitos bifilares y 1.732 para trifásicos

La norma UNE 20003 (IEC 28) establece un valor de resistividad del cobre recocido para aplicaciones eléctricas de  $1/58 \Omega * \text{mm}^2/\text{m}$  a 20 °C y por otra parte

la resistividad del aluminio según la norma UNE 21096 (IEC 121), es de  $1/35.71 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  también a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Una vez hallada la sección transversal se puede entonces seleccionar el calibre de acuerdo con la sección del cobre de distintos calibres de conductor de la tabla siguiente:

**Tabla 13.**

*Sección de conductores THHN*

Cal AWG ó MCM	Sección del cobre	
	MCM	mm <sup>2</sup>
14	1.107	2.08
12	6.530	3.31
10	10.38	5.26
8	16.51	8.37
6	26.50	13.30
4	41.74	21.15
2	66.37	33.63
1/0	105.5	53.48
2/0	133.1	67.43
3/0	167.8	85.05
4/0	211.6	107.2
250	250	126.7
300	300	152.2
350	350	177.6
400	400	202.6
500	500	253.1
600	600	303.7
750	750	379.3
1000	1000	506.7

*Nota.* Conductores TW y TWH en mm<sup>2</sup>. Adaptado de N. Bratu y E. Campero (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño.* (p. 103). Alfaomega.

#### **2.1.4. Canalización eléctrica**

El cable eléctrico deberá estar protegido en toda su trayectoria por canalización. Esta cumple varias funciones: protección mecánica, protección química, orden y soporte del cableado.

##### **2.1.4.1. Tipos de canalizaciones**

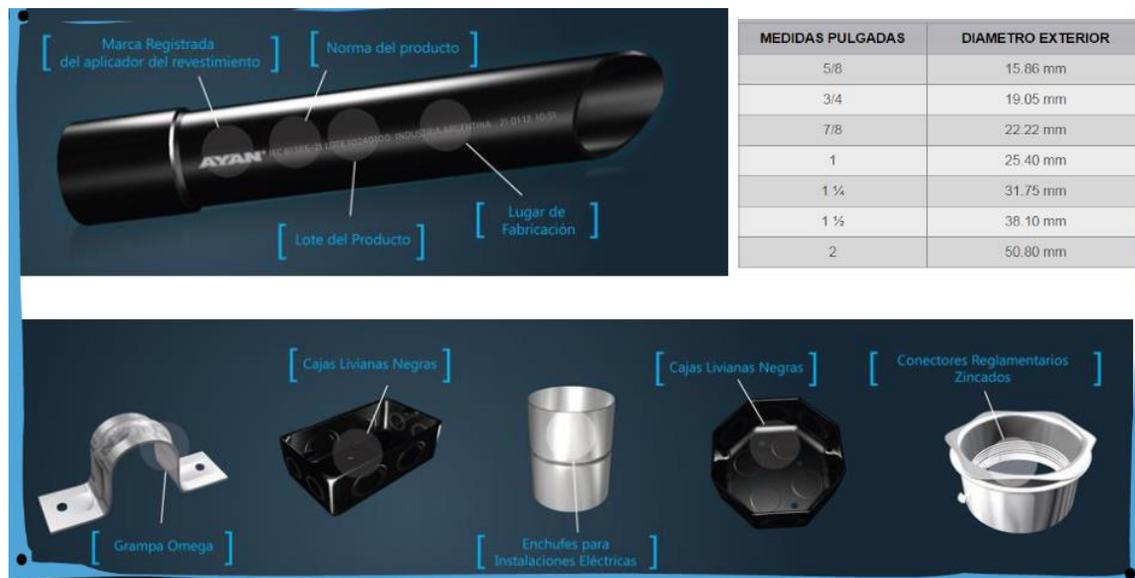
Existen una gran diversidad de tipos de canalización, entre las más importantes se puede mencionar:

- Tubería conduit

Se puede encontrar en PVC y metálico. No suele usarse en diámetros muy grandes por aspectos estéticos y se emplea principalmente para alimentar cargas de iluminación y tomacorrientes en centros comerciales, escuelas, hospitales, estacionamientos, industria, entre otros.

**Figura 17.**

*Ducto eléctrico*



*Nota.* Caños metálicos y accesorios: serie liviano y semipesado. Adaptado de Universidad Nacional de la Plata (s.f.). *Canalizaciones eléctricas*. <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>), consultado el 25 de septiembre de 2022. De dominio público.

- Tubo flexible

Puede encontrarse en pvc corrugado y también en metal. En ambos casos permite ser curvado. Se usa para facilitar la canalización hacia ciertos equipos en posiciones complicadas y evitar el uso de muchas vueltas. El de metal es idóneo en aplicaciones industriales ya que protege los conductores de ser pisados o golpeados.

**Figura 18.**

*Tubo corrugado*

Caño corrugado Pesado - PVC uso en hormigón Resistencia 125Kg Normas IEC 61386		Código	Descripción Diámetro	Caño corrugado Liviano - PVC Resistencia 50kg Norma IEC 61386 Sello de calidad IRAM		Código	Descripción Diámetro
	CPV1925	3/4"	CLV1625	5/8"			
	CPV2225	7/8"	CLV1925	3/4"			
	CPV2525	1"	CLV2225	7/8"			
	CPV3225	1 1/4"	CLV2525	1"			
	CPV3825	1 1/2"	CLV3225	1 1/4"			
	CPV5025	2"	CLV3825	1 1/2"			
			CLV5025	2"			

*Nota.* Caños metálicos y accesorios: serie liviano y semipesado. Adaptado de Universidad Nacional de la Plata (s.f.). *Canalizaciones eléctricas.* <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>), consultado el 25 de septiembre de 2022. De dominio público.

- **Canaleta PVC**

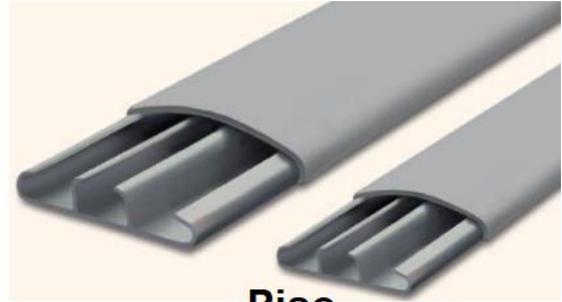
Usado en recintos habitacionales, salones, cuartos de hotel, salones de cómputo, entre otros. Se usan como alternativa más estética que el tubo redondo cuando la canalización no se llevó dentro de la pared y debe llevarse a la vista empotrada sobre la pared o el piso en interiores. Existe rectangular para pared y media luna para piso. Cuentan con accesorios de bifurcación y vueltas.

## Figura 19.

### *Canaleta*



**Rectangular**



**Piso**

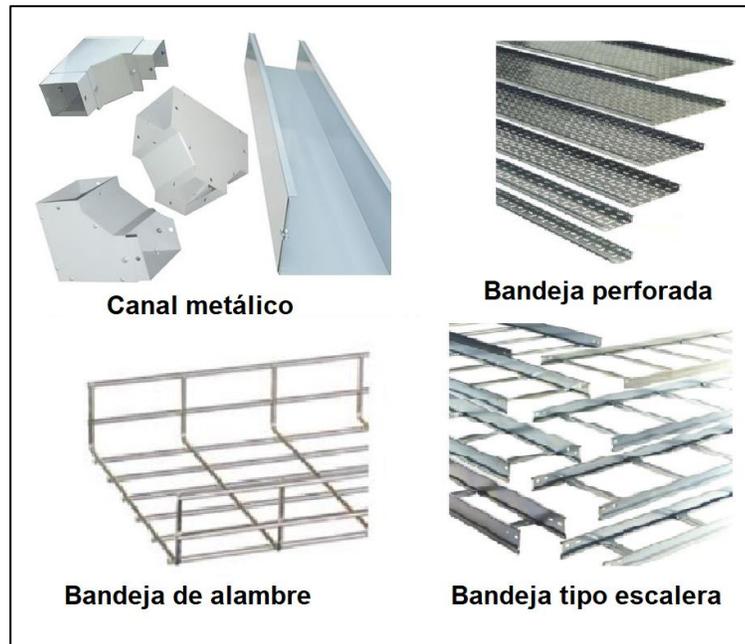
*Nota.* Caños metálicos y accesorios: serie liviano y semipesado. Adaptado de Universidad Nacional de la Plata (s.f.). *Canalizaciones eléctricas.* <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>), consultado el 25 de septiembre de 2022. De dominio público.

- Bandejas porta-cables

Se utilizan en instalaciones relativamente grandes como edificios e industrias para el transporte de conductores de numerosos circuitos tanto de ramales como alimentadores de tableros y transformadores. Se pueden encontrar de varios tipos: canal de lámina metálica abierta o cerrada, bandeja perforada, bandeja tipo escalera y bandeja de alambre.

## Figura 20.

### *Bandejas porta-cable*



*Nota.* Caños metálicos y accesorios: serie liviano y semipesado. Adaptado de Universidad Nacional de la Plata (s.f.). *Canalizaciones eléctricas.* <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>), consultado el 25 de septiembre de 2022. De dominio público.

- Subterránea

En el ámbito comercial e industrial, se suele emplear en la acometida en media tensión hacia la subestación del establecimiento y también de esta hacia el tablero principal. También suele instalarse cables subterráneos con propósitos estéticos en parques y avenidas. Pueden estar enterrados o entubados.

## Figura 21.

### Canalización subterránea



Nota. Caños metálicos y accesorios: serie liviano y semipesado. Adaptado de Universidad Nacional de la Plata (s.f.). *Canalizaciones eléctricas*. <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>, consultado el 25 de septiembre de 2022. De dominio público.

#### 2.1.4.2. Criterios de diseño y selección

Agrupar conductores en una canalización dificulta la ventilación de los mismos. La relación entre el área transversal ocupada por los conductores y el área transversal interna disponible de la tubería se denomina factor de relleno. Este se debe mantener a un valor menor a 0.4 para garantizar una adecuada ventilación. La norma mexicana NOM-001-SEDE vigente establece en su tabla 10-1 los valores del factor de relleno porcentual según el número de conductores en el interior del tubo (Conduit).

**Tabla 14.***Factores de relleno en por ciento*

Número de conductores	Uno	Dos	Más de dos
Todos los tipos de conductores	53	31	40

*Nota.* Tomar en cuenta el factor de relleno. Adaptado de Instalaciones eléctricas residenciales (2013). *El factor de relleno.* (<https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2013/05/el-factor-de-relleno-parte-i.html>), consultado el 2 de octubre de 2022. De dominio público.

Los valores de sección de conductores (tomando en cuenta aislante) se puede encontrar en la tabla siguiente.

**Tabla 15.***Sección de conductores THHN*

Cal AWG ó MCM	Sección del cobre		Diam. del conduc mm	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores				
	MCM	mm <sup>2</sup>		1	2	3	4	5
14	1.107	2.08	3.43	9.2	18.5	27.7	37.0	46.2
12	6.530	3.31	3.91	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0
10	10.38	5.26	4.52	16.1	32.1	48.1	64.2	80.2
8	16.51	8.37	6.10	29.2	58.5	87.7	116.9	146.1
6	26.50	13.30	7.82	48.0	96.1	144.1	192.1	240.1
4	41.74	21.15	9.04	64.2	128.4	192.6	256.7	321.9
2	66.37	33.63	10.57	87.8	175.5	263.3	351.0	438.7
1/0	105.5	53.48	13.44	142	284	425.6	567.5	709.3
2/0	133.1	67.43	14.61	168	335	502.9	670.6	838.2
3/0	167.8	85.05	15.90	199	397	595.7	794.2	992.8
4/0	211.6	107.2	17.37	237	474	710.9	947.9	1185
250	250	126.7	19.38	295	590	885	1180	1475
300	300	152.2	20.78	339	678	1017	1357	1696
350	350	177.6	22.07	383	765	1148	1530	1913
400	400	202.6	23.27	425	851	1276	1701	2127
500	500	253.1	25.43	508	1016	1524	2032	2540
600	600	303.7	28.22	626	1251	1876	2502	3127
750	750	379.3	30.89	749	1499	2248	2998	3747
1000	1000	506.7	34.80	951	1902	2853	3805	4756

*Nota.* Sección de conductores TW y TWH en mm<sup>2</sup>. Adaptado de N. Bratu y E. Campero (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño.* (p. 103). Alfaomega.

Para facilitar el trabajo al proyectista también se puede basar en la tabla siguiente:

**Tabla 16.** *Número máximo de conductores según diámetro de tubo (Conduit)*

Tipo de aislamiento	Tamaño y calibre del cable (con aislamiento)		Diámetro nominal de tubo conduit en mm				
	mm <sup>2</sup>	AWG kcmil	13 (1/2")	19 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	38 (1 1/2")
TW, THW, THHW, THW-2	9.51	14	6	12	21	34	48
	12.32	12	4	9	16	26	37
	16.40	10	3	7	12	20	28
	29.70	8	2	4	7	11	15
RHH, RHW, RHW-2	9.51	14	6	12	21	34	48
	12.32	12	4	9	16	26	37
	16.40	10	3	7	12	20	28
	29.70	8	2	4	7	11	15
RHH, RHW, RHW-2, TW, THW, THHW, THW-2	49.26	6	1	2	4	7	9
	65.61	4	1	2	3	5	7
	89.42	2	1	1	2	4	5
	143.99	1/0	-	1	1	2	3
	169.72	2/0	-	1	1	2	3
	201.06	3/0	-	1	1	2	2
	293.98	4/0	-	-	1	1	2
	298.65	250	-	-	1	1	2
	343.07	300	-	-	1	1	1
430.05	400	-	-	-	1	1	
514.72	500	-	-	-	1	1	

*Nota.* Dimensiones de la tubería de relleno. Adaptado de Instalaciones eléctricas residenciales (2013). *El factor de relleno.* (<https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2013/05/el-factor-de-relleno-parte-i.html>), consultado el 2 de octubre de 2022. De dominio público.

### 2.1.5. Protecciones eléctricas

La electricidad puede llegar a representar un peligro para los seres humanos, instalaciones y equipos. Por lo tanto, debe existir dispositivos destinados a interrumpir la corriente cuando ocurra un fenómeno eléctrico anormal. Así mismo se debe elegir adecuadamente el tipo de protección y sus

capacidades de manera que se proteja con precisión de los peligros a los que se está expuestos.

### **2.1.5.1. Tipos de protecciones eléctricas**

Una protección eléctrica se diseña en función del tipo de riesgo eléctrico del que protege. Los riesgos más habituales son: sobrecargas, cortocircuitos, electrocución, pérdida de fase, desbalance de voltaje, bajo voltaje, picos de voltaje y descargas eléctricas atmosféricas.

#### **2.1.5.1.1. Interruptor termomagnético**

También conocido como disyuntor, *breaker* o *flip-on*. Es la protección más básica, están normados para un valor de voltaje, corriente nominal y capacidad interruptiva. Abrirán el circuito cuando la corriente en el circuito supere la corriente nominal. Pueden ser de uno hasta tres polos.

- Protección brindada por el interruptor termomagnético
  - Sobrecarga: ocurre cuando por adicionar más cargas se supera el límite de corriente soportado por los componentes, conductores y alimentadores. También puede deberse a una anomalía en un equipo como una falla a tierra con impedancia o un motor defectuoso. En estos eventos la corriente no supera por mucho el valor nominal del interruptor y entra en funcionamiento la parte térmica del mismo cuyo tiempo de desconexión puede ir de algunos segundos hasta fracción de horas dependiendo qué tan elevada sea la corriente y el tipo de curva del dispositivo.

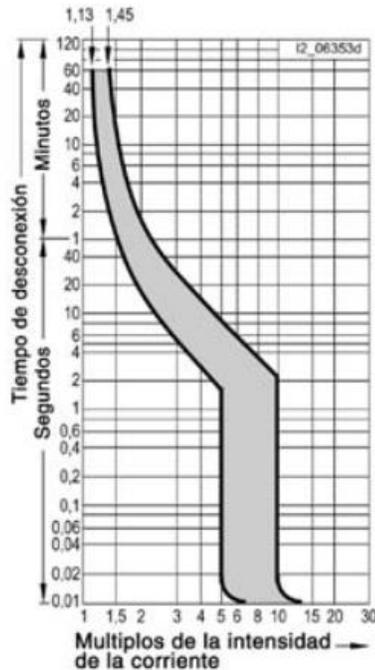
- Cortocircuito: cuando una fase entra en contacto directo con neutro, tierra u otra fase, se produce un aumento desmedido de corriente del orden de los miles de amperios, lo cual puede destruir equipos, transformadores e incendiar los conductores. En estos casos la corriente supera por mucho el valor nominal del interruptor y entra en funcionamiento la parte magnética del mismo cuyo tiempo de desconexión suele estar entre 10 y 20 milisegundos.
- Curvas de desconexión termomagnética

Los múltiplos de corriente nominal de desconexión por cortocircuito están determinados por el tipo de curva. Los tipos de curva estándar son:

- Curva B:  $3-5 \times I_n$
- Curva C:  $5-10 \times I_n$
- Curva D:  $10-20 \times I_n$
- Curva K:  $8-12 \times I_n$
- Curva S:  $13-17 \times I_n$
- Curva Z:  $2-3 \times I_n$

El tipo de curva a seleccionar dependerá del tipo de carga a conectar, la más habitual es la tipo C que es ideal para manejar la elevada corriente de arranque de lámparas y motores.

**Figura 22.**  
*Curva tipo C*



*Nota.* Curva característica de desconexión C. Adaptado de Siemens (2008). *Catálogo de material eléctrico para la construcción 2008.* ([https://siemensmexico.com.mx/descargables/Instalaciones\\_Electricas\\_Residenciales.pdf](https://siemensmexico.com.mx/descargables/Instalaciones_Electricas_Residenciales.pdf)), consultado el 3 de octubre de 2022. De dominio público.

- Corriente de cortocircuito

Un interruptor termomagnético tiene un límite de corriente de cortocircuito que es capaz de soportar conocido como capacidad interruptiva. Si en el evento de un corto circuito dicho valor es superado, el interruptor puede llegar a estallar.

En las instalaciones cuya acometida sea en baja tensión no se justifica el cálculo de corriente de cortocircuito debido a que:

- La presencia de elementos cuya resistencia es alta hace que el nivel de cortocircuito sea relativamente bajo.
- Los aparatos y equipos normalizados están diseñados para las corrientes que pueden ocurrir en este tipo de instalaciones.
- En la mayoría de los casos la compañía no puede proveer un valor de potencia de cortocircuito en su red de baja tensión.

El cálculo de la corriente de cortocircuito para redes en media tensión o acometida en media tensión involucra tener la potencia de cortocircuito de la red, impedancia de transformadores, conductores y el aporte de corriente de máquinas rotativas. Otros factores que determinan el valor de corriente de cortocircuito es la topología de la falla, si la falla es simétrica o asimétrica, si la desconexión se da en su periodo subtransitorio, transitorio o permanente, entre otros.

En el presente trabajo se ofrece un método de cálculo muy aproximado que puede resultar versátil en aplicaciones de baja tensión con subestación. Es importante tomar en cuenta que el valor de corriente resultante de esta operación dará la corriente en las condiciones más desfavorables posible, la mayoría de fallas darán una corriente menor.

$$I_{cca3\phi} = \frac{U_L * f_a}{\sqrt{3} * (Z_T + Z_{LF})} \quad (10)$$

Donde:

$I_{cca3\phi}$  = Corriente de cortocircuito asimétrica secundario falla trifásica en kA

$U_L$  = Voltaje de línea secundario en Voltios

$f_a$  = factor de asimetría (con fines prácticos con valor de 1.6)

$Z_T$  = Impedancia del transformador en m $\Omega$

$Z_{LF}$  = Impedancia de la línea de fase en m $\Omega$

La impedancia del transformador suele estar indicada en la placa en valores porcentuales. Algunos valores típicos de impedancia de transformadores son los siguientes:

**Tabla 17.**

*Impedancias porcentuales típicas de transformadores*

Rango de potencia (kVA)	Z%
$5 \leq S_T \leq 100$ kVA	3,5%
$100 < S_T \leq 400$ kVA	4,0%
$400 < S_T \leq 1000$ kVA	4,6%
$S_T > 1000$ kVA	5,0 %

*Nota.* En el caso de desconocer la impedancia se pueden utilizar estos parámetros. Adaptado de C. González (2001). *Cálculo de corrientes de cortocircuito en baja tensión.* (<https://www.oocities.org/stselectricos/clase3.pdf>), consultado el 25 de octubre de 2022. De dominio público.

El valor de impedancia  $Z_T$  en  $m\Omega$  se puede obtener así:

$$Z_T = 10 * Z_{\%} * \frac{U_L^2}{S_T} \quad (11)$$

Donde:

$Z_{\%}$  = Impedancia porcentual en placa de transformador

$U_L$  = Voltaje de línea en secundario transformador en Voltios

$S_T$  = Potencia aparente nominal de transformador en VA

Y el valor de la impedancia de la línea de fase  $Z_{LF}$  en  $m\Omega$  es:

$$Z_{LF} = \sqrt{\left(\frac{\rho_{CC} * L_C}{S_C}\right)^2 + (k * L_C)^2} \quad (12)$$

Donde:

$\rho_{CC}$  = Resistividad del cobre a 82.5 °C (22.5 mΩ\*mm<sup>2</sup>/m)

$L_C$  = Longitud de conductor en m

$S_C$  = Sección de conductor(es) por fase en mm<sup>2</sup>

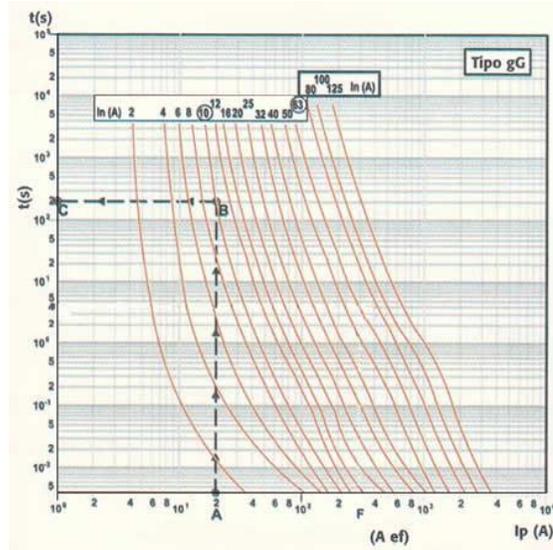
$k$  = constante con valor de 0.12 para conductores unipolares en mΩ/m

El valor de corriente de cortocircuito ha de compararse con el valor de capacidad interruptiva y si el primero es menor entonces está correctamente dimensionado. El método anteriormente descrito no toma en cuenta la potencia de corto circuito la cual es representada como una impedancia en serie adicional a la impedancia de línea, tampoco se ha considerado la impedancia de la falla ni del arco, las cuales son muy variables, pero contribuyen a la disminución de la corriente de falla.

#### 2.1.5.1.2. Fusibles

El fusible es un dispositivo que protege contra sobrecarga y cortocircuito. Está compuesto de un soporte y un filamento con bajo punto de fusión de manera que se funde con el aumento de la corriente. Es de un solo accionamiento, se puede llegar a fundir por sobrecarga con corrientes entre 2 y 3 veces la nominal y tiene un tiempo de desconexión de cortocircuito de aproximadamente 2 milisegundos, por lo que es más veloz que un interruptor termomagnético. Se encuentran en derivaciones para acometidas en media tensión, fusibles ultrarrápidos para protección de variadores de frecuencia, fusibles para dispositivos electrónicos, automóviles, entre otros. Un ejemplo de curvas típicas se puede ver a continuación:

**Figura 23.**  
*Curva del fusible*



*Nota.* IEI04 dispositivos de mando y protección. Elaboración propia, realizado con Latex.

**Figura 24.**  
*Fusibles*



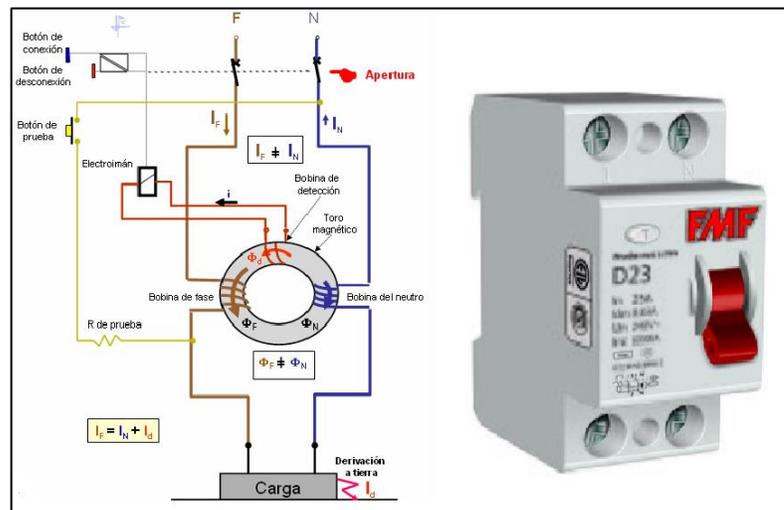
*Nota.* Tipos de fusibles. Elaboración propia, realizado con Word.

### 2.1.5.1.3. Interruptor diferencial

Proporciona protección a las personas. Abrirá el circuito en caso de detectar una diferencia de corriente igual o mayor de 30mA entre la línea neutral y la línea fase. De esta manera puede detectar e interrumpir las descargas a tierra ocasionadas por falla de aislamiento de equipos o por electrocución.

**Figura 25.**

*Diagrama de interruptor diferencial*



*Nota.* Importante elemento de seguridad en electricidad ya que corta el paso de la corriente y protege a las personas. Adaptado de J. Ramírez (s.f.). *Cómo funciona un interruptor diferencial (disyuntor)*. (<https://como funciona.co/un-interruptor-diferencial-disyuntor/>), consultado el 30 de octubre de 2022. De dominio público.

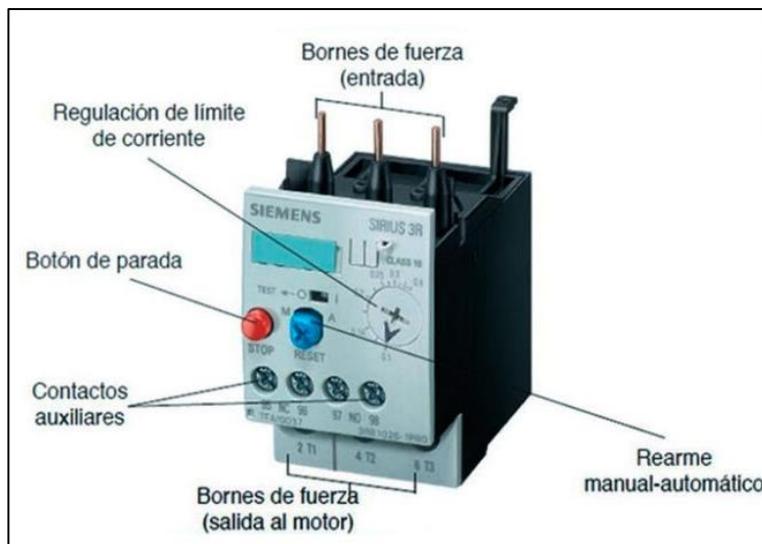
### 2.1.5.1.4. Relé térmico

Está destinado a proteger motores eléctricos contra sobrecargas de larga duración y amperaje bajo, no brinda protección contra cortocircuitos. Su montaje

se realiza en conjunto con un contactor ya que al detectar sobrecarga abrirá un contacto normalmente cerrado que interrumpirá el paso de corriente a la bobina del contactor. Su valor de disparo térmico se puede ajustar dentro de un rango establecido cubriendo todos los valores comerciales. Tiene opción de *auto-reset* mediante un botón integrado. Suele reemplazarse por el guardamotor, que no necesita contacto auxiliar para desconectar la carga y además de protección contra sobrecarga también brinda protección contra cortocircuito, no obstante, el relé térmico es más ampliamente utilizado.

**Figura 26.**

*Relé térmico*



*Nota.* Son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Adaptado de Sector Electricidad (2022). *Relé térmico.* (<https://www.sectorelectricidad.com/36661/rele-termico/>), consultado el 30 de octubre de 2022. De dominio público.

### 2.1.5.1.5. Monitor de voltaje

Proporciona protección contra sobrevoltaje, bajo voltaje, pérdida de fase, inversión de fase y desbalance de voltaje. Dependiendo el modelo, es posible ajustar los rangos de tolerancia y tiempos de reset. Se utiliza para proteger equipos de alto valor como motores de calderas, bombas sumergibles, compresores, entre otros.

**Figura 27.**

*Monitor de voltaje*



*Nota.* Permite la protección de maquinaria y equipo eléctrico mediante una desconexión automática del sistema. Adaptado de Copper Group (s.f.). *Monitor de voltaje trifásico.* (<https://cr.coppergroupint.com/producto/monitor-de-voltaje-trifasico/>), consultado el 2 de noviembre de 2022. De dominio público.

### 2.1.5.2. Criterios de selección de termomagnéticos

Los criterios de selección de un termomagnético son: corriente nominal, voltaje, número de fases, corriente de cortocircuito, tipo de montaje y tipo de curva de disparo. La corriente nominal del termomagnético a elegir se sugiere según la NEC para la mayoría de casos como el 125 % de la corriente a plena

carga del dispositivo conectado, sea este un tablero, transformador o carga. La corriente nominal del interruptor no debe superar la ampacidad del conductor individual.

### **2.1.6. Tableros eléctricos**

También se conocen como centros de carga o cuadros eléctricos. Es un nodo del que se derivan y realizan maniobras de conexión y desconexión de múltiples circuitos, todos conectados a un conjunto de barras con un valor de corriente máximo.

#### **2.1.6.1. Tipos de tableros eléctricos**

- Centros de carga QP 1”

Son los más habituales en domicilios y también usados como tableros secundarios en edificios, comercios e industria. Pueden tener capacidades desde 1 polo hasta 42 polos y corrientes desde 70 A hasta 225 A. Las protecciones son de fácil conexión por enchufe. Para circuitos monofásicos, bifásicos y trifásicos.

- Tableros autoportados

Se utilizan como tableros principales de edificios, establecimientos comerciales e industriales. Se aplican para distribución en instalaciones de mayor potencia ya que las corrientes en barras pueden ir de los 800 hasta los 6300A. Permiten la colocación de aparatos de medición y ventilación. No admiten protecciones enchufables.

- Centro de control de motores

Permite proteger, maniobrar y monitorear múltiples motores desde una central. Contienen principalmente contactores y guadamotores. Son muy usados en industrias donde los procesos de manufactura son efectuados a través de diversos motores.

### Figura 28.

*Tipos de tableros*



*Nota.* El tablero es el encargado de contener los dispositivos eléctricos. Elaboración propia, realizado con Word.

#### 2.1.6.2. Criterios de selección de tablero de distribución

Un tablero se selecciona según estos aspectos:

- Capacidad de corriente de barras
- Número de fases
- Voltaje

- Número de polos
- Tipo de montaje de protecciones

La capacidad de corriente de barras se toma como 1.2 veces la corriente de demanda máxima estimada del tablero y para el número de polos se considera que debe distribuirse en un 70 % para circuitos ya ocupados y el 30 % restante libre para futuro crecimiento, es decir que el número de polos del tablero debe ser  $1/0.7$  veces la cantidad a ocupar, recordar que cargas trifásicas ocupan 3 polos. El resto de aspectos está claro que dependerá de los requerimientos y características de la instalación.

### **2.1.6.3. Instalación y valoración del estado de tableros**

Los aspectos a evaluar para determinar el estado de un tablero son:

- Visualmente: verificar presencia de golpes, oxidación, tornillos flojos, conductores carbonizados, aislamiento desprendido o barras decoloradas.
- Corriente: medición de corriente del alimentador debe mantenerse debajo del valor máximo permisible de barras de tablero en momentos del día de mayor demanda, así mismo el voltaje debe tener un valor por debajo del máximo permisible y balanceado.
- Temperatura: las barras deben mantenerse por debajo de los 65 °C y la temperatura ambiente a no más de 35 °C. A temperaturas mayores, la corriente máxima permisible se determinará aplicando un factor por temperatura según indique el fabricante. El mejor método para medir la

temperatura de tableros es mediante cámara termográfica, que ofrece una visión completa de la temperatura en todos los puntos de las barras.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en tableros trifásicos es el balance de cargas. Se debe asignar carga tan similar como sea posible a cada una de las barras, esto es especialmente importante cuando se instalan cargas monofásicas o bifásicas en tableros trifásicos. El desbalance se debe mantener inferior al 5 %, para calcularlo se puede usar la fórmula siguiente:

$$Desbalance = \frac{S_M - S_m}{S_p} * 100 \quad (13)$$

Donde:

$S_M$  = Volt-amperes de la fase más cargada.

$S_m$  = Voltamperes de la fase menos cargada.

$S_p$  = Voltamperes por fase promedio (carga total entre tres).

## **2.1.7. Transformador eléctrico**

Su función principal es reducir o elevar el voltaje del suministro eléctrico a niveles adecuados para su transmisión, distribución o uso final.

### **2.1.7.1. Clasificación**

Los transformadores eléctricos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Según red de suministro
  - Distribución (hasta 150kVA relación 132kV/240-120 V)

- Tipo subestación (225-2000 KVA hasta 34.5kV).
- Potencia (mayores a 2000kVA hasta 115kV).
- Según medio aislante y refrigerante
  - Sumergidos en aceite (ventilación forzada para 2,000 kVA en adelante).
  - Seco (para ambientes cerrados, ventilación natural o forzada).
- Para aplicaciones especiales
  - De instrumentación (ct y pt)
  - *Pad mounted* (de intemperie y circulación de personas)
  - Autotransformador (para aumentar o disminuir levemente el voltaje).

### **2.1.7.2. Valoración del estado y mantenimiento**

Un transformador es un componente estacionario, por lo que no sufre desgaste por rozamiento mecánico. El mantenimiento que reciba debe ser acorde a las recomendaciones del fabricante. A continuación, se describen aspectos importantes sobre transformadores de baja tensión:

- Aspectos sobre su instalación
  - Las características del transformador seleccionado deben obedecer a las necesidades encontradas en el proyecto. Entre las características se encuentra: potencia, voltaje, tipo de ventilación, tipo de aislante, tipo de montaje, método de regulación, entre otros.

- La protección termomagnética en el primario debe ser de una corriente nominal igual al 125 % de la corriente nominal del transformador para voltajes menores a 600V de acuerdo al artículo 450 de la norma NEC.
  - Los conductores en primario y secundario no deben en ningún caso ser de una ampacidad menor a la corriente a plena carga del transformador del lado correspondiente.
  - Acceso restringido, solo personal calificado debe tener acceso a estos equipos.
  - Ventilación adecuada que responda a las recomendaciones del fabricante para asegurar la disipación del calor generado y prolongar la vida útil del equipo.
  - Ubicación limpia, que esté debidamente señalizado, lejos de agentes corrosivos y cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso.
- Valoración de su estado
    - Visualmente sin golpes, limpio, seco, no debe emitir ruido ni vibración excesiva, así como temperatura al tacto tolerable.
    - Mediciones de corriente no deben sobrepasar el valor nominal en los horarios de mayor demanda.
    - Voltaje a la entrada y salida debe ser acorde a los valores en placa según el *tap* conectado.
    - La temperatura debe mantenerse dentro de los rangos establecidos por el fabricante, por lo general los transformadores secos deben instalarse en recintos con temperatura ambiente menor a 40 °C en cuyo caso la temperatura en los devanados no debe superar los 120 °C a plena carga. Esta evaluación se puede realizar con la

ayuda de una cámara termográfica que además puede ayudar a encontrar anomalías como puntos calientes en conexiones, por ejemplo.

- El aceite, en transformadores lubricados por aceite, debe tener una temperatura de operación no mayor a 60 °C.
  - El aceite debe presentar niveles adecuados de varias propiedades como: contenido de humedad, tensión interfacial, número de neutralización, rigidez dieléctrica, factor de potencia, color y gases disueltos. Estos valores se obtienen a través de ensayos que deben practicarse con una frecuencia acorde a las indicaciones del fabricante y los resultados deben ser analizados con pericia.
- **Mantenimiento.**
    - Inspección semanal de la corriente, temperatura y aspecto físico del transformador.
    - Limpieza mensual de polvo, grasas y humedad.
    - Verificación trimestral del apriete de tornillos y conexiones.
    - En transformadores con aceite dieléctrico, los ensayos deben ser realizados con la frecuencia recomendada por el fabricante y según los resultados arrojados se pueden llevar a cabo acciones correctivas como la regeneración del aceite o su definitivo reemplazo.

### **2.1.7.3. Criterios de selección**

Características como el voltaje, número de fases, tipo de refrigeración y aislamiento del transformador dependerán de las necesidades de la carga y lugar de montaje. El grupo de conexión solo es importante cuando se desea conectar

transformadores en paralelo, cuidando mantener el mismo desfase entre las líneas primaria y secundaria. La potencia y tipo de conexión son otras características que se deben seleccionar de acuerdo con criterios especiales. Algunos de esos criterios se definen a continuación:

- **Potencia**

La potencia se debe seleccionar de acuerdo con la demanda máxima estimada que suministrará el transformador multiplicado por un factor de holgura-crecimiento del 125 %.

- Tipo de conexión en el secundario de transformadores trifásicos en baja tensión.
  - Estrella: es utilizado en instalaciones comerciales y residenciales donde predominan las cargas monofásicas, ya que facilita el balanceo de cargas.
  - Delta: es más utilizado en establecimientos industriales donde predominan las cargas trifásicas por el uso de motores.

## **2.2. Red de tierras físicas**

La puesta a tierra es una conexión eléctrica de baja impedancia al suelo a través de elementos como varillas de acero cobrizadas, conductores horizontales desnudos o placas metálicas. La puesta a tierra cumple varios propósitos, entre ellos se puede mencionar:

- Protección de las personas: las carcasas metálicas de todo equipo eléctrico deben conectarse a tierra para que, en caso de falla de

aislamiento, la corriente tenga un camino al suelo y no pase a través de las personas al tocar la carcasa.

- Protección de las instalaciones: los pararrayos deben estar conectados a puestas a tierra para brindar al rayo un camino directo al suelo y disipar toda esa energía en el mismo, evitando así daños a la infraestructura.
- Referencia 0: el neutro de los transformadores se aterriza con el objetivo de fijar el potencial del suelo como el potencial de referencia 0. Se le denomina puesta a tierra de servicio.
- Protección de equipos: muchos equipos requieren de una conexión a tierra para que las protecciones por sobrevoltaje u otros fenómenos funcionen adecuadamente y no se estropeen sus componentes internos.

### **2.2.1. Diseño de red de tierras físicas**

- Mínimos aceptables de resistencia de puesta a tierra.

De acuerdo con la norma NEC en su artículo 250.56, la resistencia de puesta a tierra no debe superar en ningún caso los  $25\Omega$  en época seca, aunque en la actualidad hay industrias como la de telecomunicaciones que exigen valores menores a  $5\Omega$  y otras en las que se deben respetar lineamientos específicos como es el caso de las subestaciones eléctricas que van más allá del alcance de este trabajo. Por otra parte, hay autores que recomiendan para la mayoría de las aplicaciones comerciales valores entre 5 y  $10\Omega$ . (Bratu y Campero, 1995, p. 188).

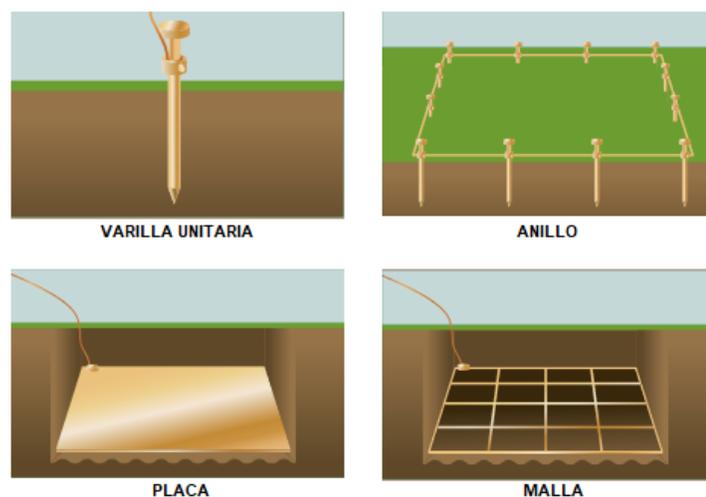
- Configuración y diseño de puesta a tierra.

El diseño de una red de tierras comercial está encaminado en alcanzar el valor deseado de resistencia, entre menor sea mejor. En muchos casos solamente bastará con una varilla para alcanzar dicho valor, pero en otros casos donde la resistividad del suelo es alta será necesario colocar más varillas interconectadas en paralelo para reducir la resistencia, entre más lejos estén entre ellas mejor será su efecto reductor. La norma NEC establece en su artículo 250.53 una distancia mínima de 6 pies de separación entre varillas, un largo de varilla no menor a 8 pies y una profundidad de cable desnudo de interconexión de 750 mm respecto de la superficie.

El diseño de un sistema de tierras puede ser de una sola varilla, anillo, placa o malla. Para un sistema comercial se suele emplear el de anillo.

### Figura 29.

*Sistema de conexión a tierra física*



Nota. Diferentes tipos de conexiones puestas a tierra. Elaboración propia, realizado con Illustrator.

- Cálculo del sistema de puesta a tierra.

El número de varillas y la longitud del cable desnudo necesario para alcanzar un valor determinado de resistencia de puesta a tierra puede calcularse a través de complejas fórmulas, pero resulta muy engorroso por el número de variables implicadas como la resistividad del suelo, dimensiones y cantidad de varillas, longitud de cable horizontal, distancias, entre otros. Por lo que se puede optar por métodos digitales y software especializado, no obstante, puede resultar inexacto ya que existen muchos factores que afectan este valor entre los cuales están: la características y configuración de la red, la homogeneidad del suelo, contenido de humedad, temperatura, entre otros. Por lo que se recomienda medir constantemente hasta alcanzar un valor adecuado. La tabla a continuación puede servir como referencia general:

**Tabla 18.**

*Resistividad de suelos y resistencia de una varilla*

Tipo de suelo	Resistividad ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )			Resistencia de una varilla de 5/8" (16mm) x 10 pies (3m) ( $\Omega$ )		
	Prom	Mín	Máx	Prom	Mín	Máx
Relleno de: ceniza, carbón, residuos de salmuera, agua salada	2370	590	7000	8	2	23
Arcilla, pizarra, barro, tierra negra - mezclado con grava y arena	4060	340	16300	13	1.1	54
Grava, arena o piedras con arcilla o tierra negra	15800	1020	135000	52	4	447
	94000	59000	458000	311	195	1516

*Nota.* Resistividad al suelo. Adaptado de N. Bratu y E. Campero (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño.* (p. 191). Alfaomega.

El calibre de conductor de varilla de puesta a tierra debe seleccionarse según indicaciones de la norma NEC, artículo 250.66.

**Tabla 19.**

*Conductor del electrodo de puesta a tierra*

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo <sup>a</sup> (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre <sup>b</sup>	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre <sup>b</sup>
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1,100	Más de 900 hasta 1,750	2/0	4/0
Más de 1,100	Más de 1,750	3/0	250

*Nota.* Valores típicos del electrodo puesto a tierra. Adaptado de Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (2011). *Norma NEC.* (p. 181). NFPA.

- Electrodo de puesta a tierra *total ground*.

Existen, además, otros sistemas de puesta a tierra. Uno muy difundido es el electrodo *total ground* empleado para puesta a tierra de neutro de transformadores, *racks*, pararrayos, puesta a tierra de protección, entre otros. Esta marca ofrece también un kit conformado por un acoplador y un material de relleno denominado *H2O<sub>hm</sub>* que si se instala de acuerdo con las indicaciones ofrece una resistencia de puesta a tierra menor o igual a 2Ω.

### Figura 30.

#### *Kit electrodo total ground*



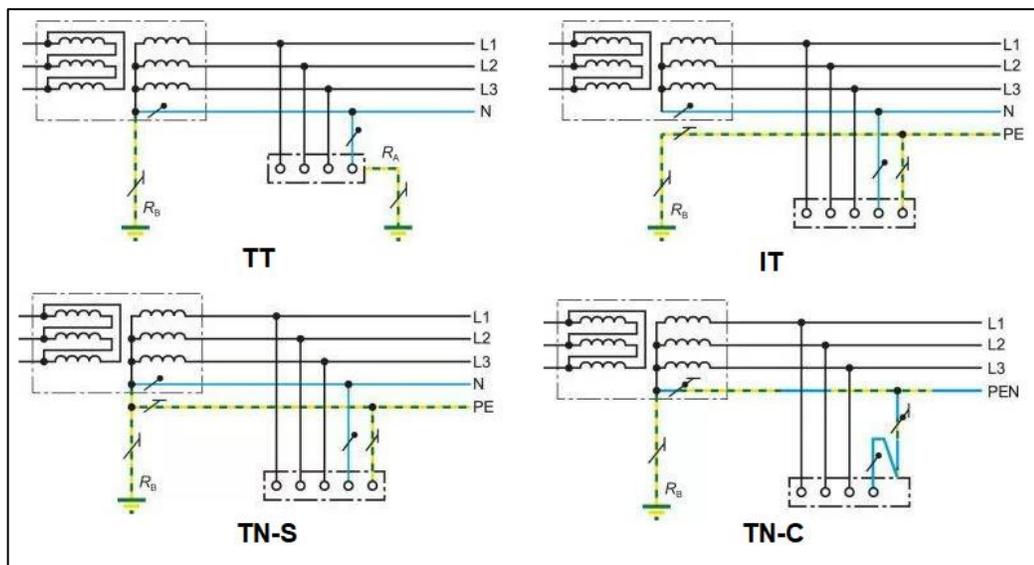
*Nota.* Electrodo TG-100K. Adaptado de Pro Electric, S.A. (s.f.). *Kit tierra física 100amp con acoplador TG100K.* (<https://www.proelectric.com.gt/producto/kit-tierra-fisica-100amp-con-acoplador-tg100k-2/>), consultado el 29 de noviembre de 2022. De dominio público.

- Esquemas de conexión.

Describen el modo de distribución y conexión de la línea de tierra para protección. Reciben los nombres de TT, IT y TN. La primera letra designa la situación de la alimentación y la segunda designa la situación de las masas metálicas. Los esquemas se pueden apreciar gráficamente a continuación:

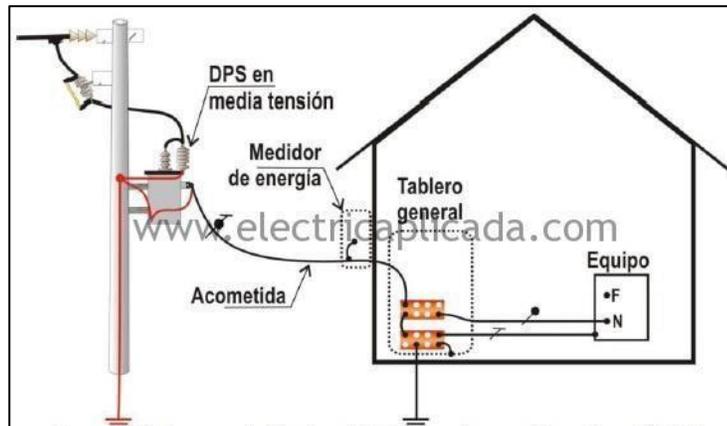
**Figura 31.**

*Esquemas de conexión de tierra*



*Nota.* Comparación de la puesta a tierra en el sistema IT y el sistema TN. Adaptado de BENDER. (s.f.). *Los sistemas IT en el espejo de las normas.* (<https://www.bender.es/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it/los-sistemas-it-en-el-espejo-de-las-normas/>), consultado el 4 de diciembre de 2022. De dominio público.

**Figura 32.**  
*Esquema TN-C-S*



*Nota.* Ejemplo de conexión de puesta a tierra. Adaptado de Andres (s.f.). *Correcta conexión de sistemas de puesta a tierra.* (<https://www.electricaplicada.com/conexion-correcta-de-sistemas-de-puesta-a-tierra/>), consultado el 4 de diciembre de 2022. De dominio público.

### 2.2.2. Resistividad del suelo

La resistividad del suelo es directamente proporcional a la resistencia de puesta a tierra, por lo que valores pequeños de ésta favorece que la red de tierras no requiera de muchas varillas. Existen dos factores importantes que afectan la resistividad: el contenido de humedad y la temperatura.

**Tabla 20.**

*Efecto del contenido de humedad en la resistividad del suelo*

Contenido de humedad (% del peso)	Resistividad ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	
	Tierra arenosa	Arcilla con arena y marga.
0	$>10^9$	$>10^9$
2.5	250000	150000
5	165000	43000
10	53000	18500
15	19000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

*Nota.* Humedad del suelo. Adaptado de N. Bratu y E. Campero (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño.* (p. 192). Alfaomega.

**Tabla 21.**

*Efecto de la temperatura en resistividad de suelo*

Temperatura		Resistividad ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
20	68	7200
10	50	9900
0 (agua)	32	13800
0 (hielo)	32	30000
-5	23	79000
-15	14	330000

*Nota.* Arcilla con arena con 15.2 % contenido de humedad. Adaptado de N. Bratu y E. Campero (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño.* (p. 192). Alfaomega.

- Método Wenner para la medición de la resistividad del suelo

La resistividad del suelo puede medirse a través del método Wenner. Consiste en introducir en el suelo 4 picas alineadas a una profundidad “b” y distancia “a” que satisfaga la relación  $a > 20b$ . Mediante las picas exteriores se inyecta una corriente conocida, y a su vez se mide la caída de potencial entre las

dos picas centrales. Entonces a través de la ley de ohm se determina la resistencia “R” en  $\Omega$  para luego determinar la resistividad aparente a una profundidad “a” mediante la fórmula:

$$\rho_a = 2\pi * a * R \quad (14)$$

Donde:

$\rho_a$  = Resistividad aparente a una profundidad “a” en  $\Omega$ -m.

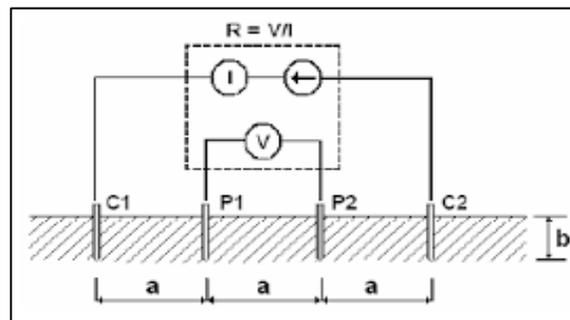
a = Distancia entre varillas en m.

R = Resistencia en  $\Omega$ .

El aparato utilizado se conoce como *telurómetro* y arroja el valor R directamente. Tomar en cuenta que puede ser necesario tomar más de una medida a diferentes distancias y ángulos. Además de que si la condición  $a > 20b$  no se cumple, debe usarse otra fórmula.

### Figura 33.

*Método Wenner*



*Nota.* Ejemplo de método Wenner. Adaptado de BirthLH (s.f.). IEI05.-Montaje de las puestas a tierra.

([https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es\\_IEA\\_IEI05\\_Contenidos/\\_website\\_index.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/_website_index.html)), consultado el 30 de noviembre de 2022. De dominio público.

### 2.2.3. Resistencia de puesta a tierra

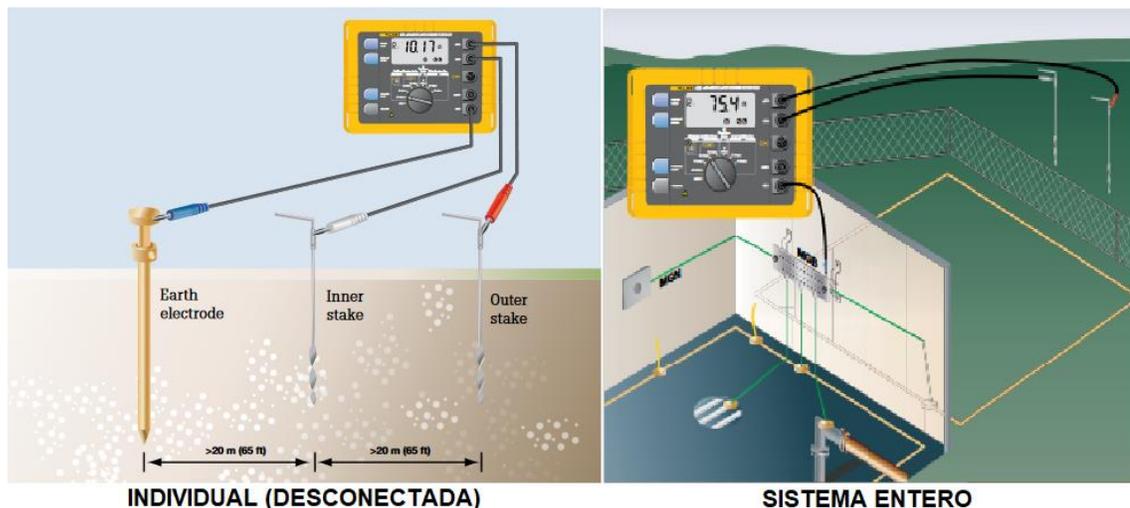
Para determinar su valor existen al menos 3 métodos descritos a continuación:

- Por caída de potencial

Consiste en colocar dos electrodos alineados con la puesta a tierra que se desea medir a una distancia mínima de 20 metros entre cada punto. El electrodo exterior inyecta una corriente conocida mientras se mide la caída de potencial entre el central y la varilla de puesta a tierra. Si no se desconecta el conductor de la puesta a tierra en prueba entonces se está midiendo la resistencia de todo el sistema.

**Figura 34.**

*Medición de resistencia de puesta a tierra por caída de potencial*



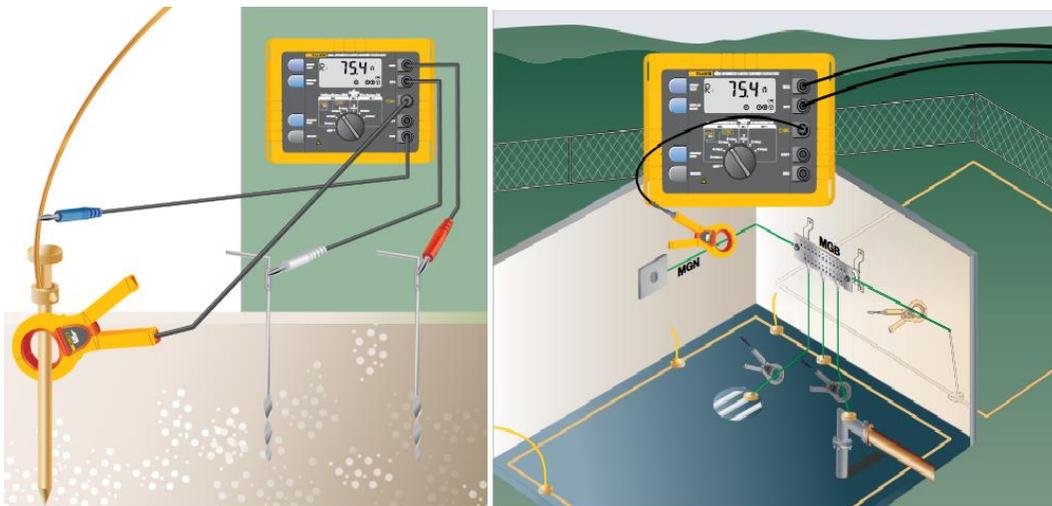
*Nota.* Ejemplo de medición de puesta a tierra. Adaptado de FLUKE (2006). *Earth/Ground Tester 1625*. (p. 8). FLUKE.

- Medición selectiva

En principio es igual al método anterior con la ventaja que permite medir la resistencia de puesta a tierra de una sola varilla sin necesidad de desconectar su conductor de tierra. Para esto se emplea una pinza que mide la corriente que circula específicamente en la varilla de interés.

**Figura 35.**

*Medición de resistencia de puesta a tierra con medición selectiva*



*Nota.* Ejemplo de medición de puesta a tierra. Adaptado de FLUKE (2006). *Earth/Ground Tester 1625.* (p. 9). Fluke.

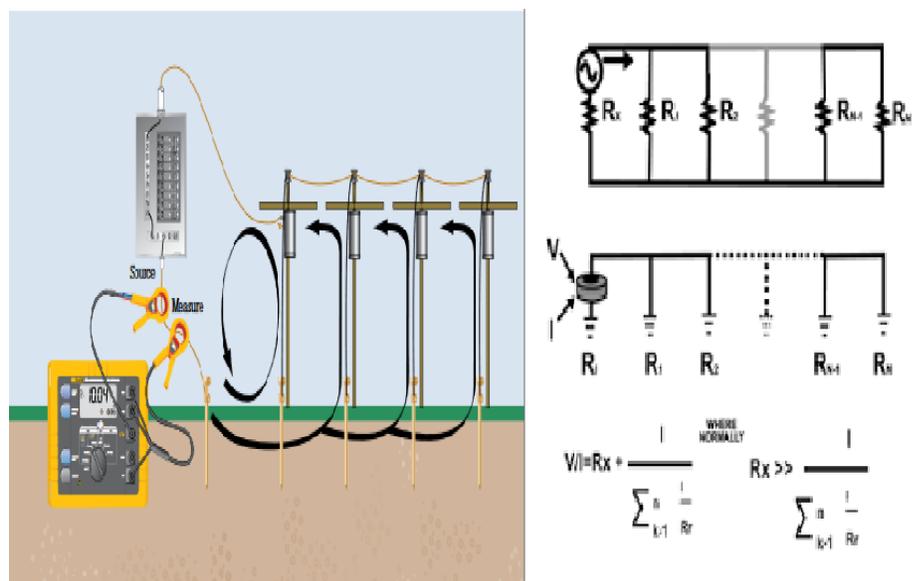
- Medición sin electrodos

Con este método se omiten por completo los electrodos, lo que puede resultar muy versátil en el interior de edificios. Utiliza dos bobinas situadas ya sea en una pinza individual o en dos, una de las bobinas induce un voltaje en el conductor de tierra y la otra bobina mide la corriente de bucle. Permite medir la

resistencia de puesta a tierra de cualquier instalación donde pueda generarse un bucle de corriente. Es más efectivo cuando existen múltiples caminos a tierra, de lo contrario si solo hay un camino a tierra, este método no será efectivo y en su lugar debería usarse el de caída de potencial. También puede verse afectada la lectura si se forma un bucle entre el mismo conductor por lo que se debe prestar atención de que no exista una de esas condiciones.

**Figura 36.**

*Medición de resistencia de puesta a tierra sin electrodos*



*Nota.* Ejemplo de medición de puesta a tierra. Adaptado de FLUKE (2006). *Earth/Ground Tester 1625.* (p. 10). FLUKE.

### 2.3. Sistema de protección contra rayos

Un rayo puede alcanzar corrientes, voltajes y temperaturas muy elevadas, por ello puede dañar a las personas, infraestructura y equipos.

No se puede evitar la caída del rayo, pero si se puede captar y canalizar por una vía controlada hacia tierra donde pueda disiparse. Para ello todo sistema de protección contra rayos cuenta con los siguientes elementos:

- Sistema de captación
- Dos o más conductores de bajada
- Un sistema de toma a tierra

### **2.3.1. ¿Cómo determinar si es necesaria la instalación de un sistema contra rayos?**

De acuerdo con la norma francesa NF C 17-102: 1995 las estructuras donde puede ser necesaria la instalación de pararrayos son:

- Edificios públicos
- Construcciones elevadas (pilares, depósitos de agua, faros, antenas, entre otros).
- Chimeneas de fábricas
- Depósitos con materiales peligrosos (explosivos, inflamables, tóxicos, entre otros).
- Edificios que contienen equipos o archivos digitales vulnerables o valiosos (por ejemplo, instalaciones de telecomunicaciones, ordenadores, monumentos históricos, entre otros).

Por otra parte, la norma internacional IEC 62305-2:2010 ofrece un método para dictaminar si es necesario la aplicación de medidas de protección y el *nivel de protección contra rayos* (LPL), requerido del *sistema de protección contra rayos* (LPS), a instalar. Los niveles de protección son cuatro: nivel I, II, III y IV.

La norma indica que para determinar el nivel de protección requerido del LPS a instalar en una edificación se debe empezar por calcular los cuatro índices de riesgo  $R_n$  siguientes:

- R1. Riesgo de pérdida de vidas humanas
- R2. Riesgo de pérdida de servicios públicos
- R3. Riesgo de pérdida de patrimonio cultural
- R4. Riesgo de pérdidas económicas

Cada tipo de riesgo tiene un valor  $R_T$  (riesgo tolerable), de referencia que debe compararse con el valor del índice de riesgo  $R_n$  obtenido. Si  $R_n \leq R_T$ , entonces no es necesario implementar protección adicional o no es necesario implementar protección en absoluto, y en caso contrario si  $R_n > R_T$ , entonces se debe implementar protección si es que no hubiere o aumentar el nivel de protección del LPS hasta cumplir con la condición en todas las categorías de riesgo. El método de cálculo de cada índice de riesgo y su valor límite se definen en la norma y se pueden aplicar a mano o también mediante software, por ejemplo, *CALCULUS*, de la compañía *INGESCO*. Entre los valores a introducir se encuentra la densidad de rayos (No. de rayos/año/km<sup>2</sup>) de la zona, el cual se puede determinar a través de la siguiente fórmula simplificada:

$$N_G \approx 0.1T_D \quad (15)$$

Donde:

$N_G$  = Densidad de rayos (No. de rayos/año/km<sup>2</sup>)

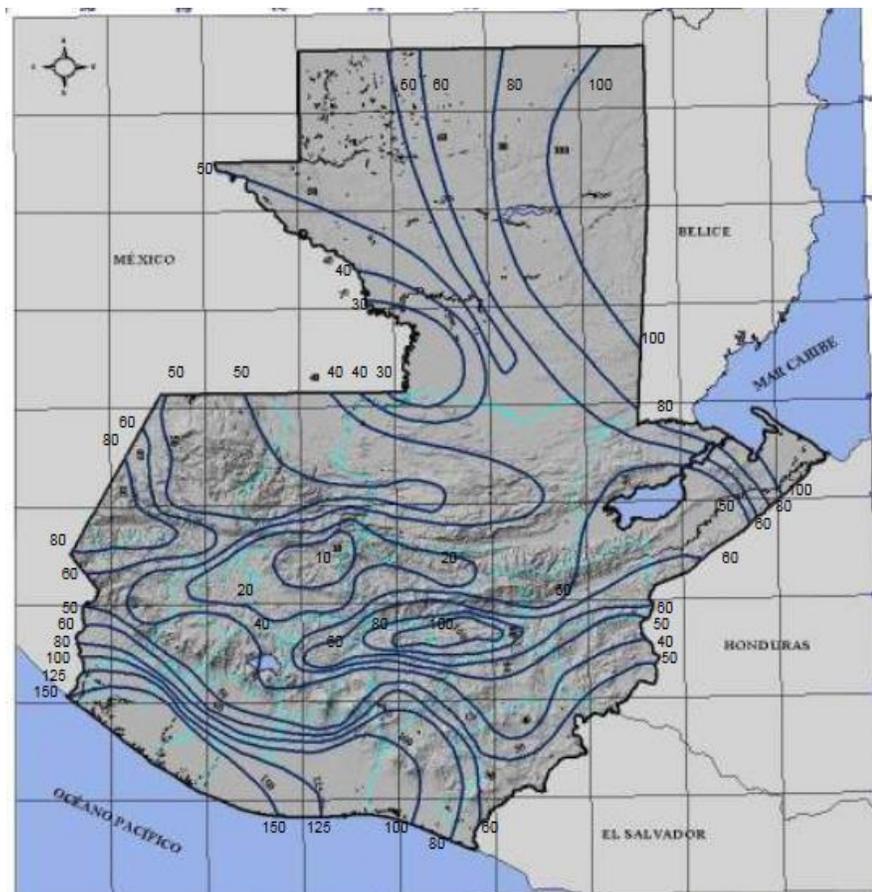
$T_D$  = Nivel cerámico de la zona (Número de días de tormentas eléctricas en la zona al año).

El  $T_D$  se puede encontrar en un mapa de líneas isocerámicas. A continuación, se muestra un mapa isocerámico de la República de Guatemala

del 2004 extraído del repertorio de tesis de la Facultad de Ingeniería, USAC, donde se puede apreciar que en la ciudad capital el valor de  $T_D$  se encuentra entre 40 y 60.

**Figura 37.**

*Mapa de niveles isoceráunicos en la República de Guatemala*



*Nota.* Las regiones tropicales son las que presentan mayor actividad atmosférica. Adaptado de G. Tomas (2004). *Actualización del mapa isoceráunico de Guatemala y su influencia en el diseño de líneas de transmisión.* ([http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0518\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0518_EA.pdf)), consultado el 26 de diciembre de 2022. De dominio público.

### 2.3.2. Tipos de sistema de captación de rayos existentes

Hay al menos tres tipos de sistemas captadores que pueden usarse individualmente o en conjunto, los cuales se describen a continuación:

- Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

También denominado pararrayos ionizante o pararrayos activo. Este tipo de pararrayos basa su funcionamiento en las características eléctricas de la formación del rayo, emitiendo un trazador ascendente continuo con un tiempo de avance  $\Delta T$  para anticiparse al descenso del rayo y captarlo antes que cualquier otro objeto dentro de su radio de protección  $R_P$ . El radio de protección dependerá del tiempo de avance  $\Delta T$  del PDC, entre mayor sea el  $\Delta T$ , mayor será el radio de protección. Ofrecen una captación de rayo con mayor cobertura sobre un área determinada que una punta simple. Entre sus ventajas se puede mencionar la reducción del tiempo de implementación y que es menos invasivo, sin embargo, son más caros que una punta captadora simple.

- Puntas captadoras simples

También denominados puntas *Franklin*. Este tipo de puntas no realizan ninguna acción especial. Su protección está basada en su posición, forma y la reacción física que se realiza en el campo electrostático. La carga positiva asciende del suelo a través de la toma a tierra hasta la punta del pararrayos y al situarse en un punto alto se convierte en un punto favorable de caída del rayo. Su cobertura de protección es menor pero su simplicidad y bajo costo son un punto a su favor, no obstante, no son convenientes para áreas muy amplias por su bajo radio de protección.

- Puntas captadoras con enmallado

Es un sistema captador con enmallado también conocido como Jaula Faraday. Consiste en una cuadrícula de conductor desnudo unido en todas sus intersecciones y conectado a un conjunto de bajadas a tierra y puntas Franklin en las orillas de la estructura. Es un método muy utilizado para protección de superficies planas como techos y terrazas. Si existen objetos prominentes, estos deberán protegerse con puntas simples. Todo objeto metálico y puntas captadoras deben conectarse a la malla.

### Figura 38.

*Sistemas de protección contra rayos.*



*Nota.* La malla de una jaula se define según el nivel de protección necesario. Adaptado de Franklin France (s.f.). *Jaula enmallada.* (<https://franklin-france.com/es/foudre/cage-maillee/>), consultado el 26 de diciembre de 2022. De dominio público.

### 2.3.3. Criterios de diseño y cálculo

Para realizar el diseño del sistema de protección contra rayo primero se debe saber el nivel de protección del mismo, el cual se obtiene a través de la

evaluación de riesgo definida anteriormente. El nivel IV proporciona una seguridad liviana y el nivel I la protección más rigurosa, esto se refleja en que los sistemas con nivel de protección I tendrán más puntas captoras para una misma área o una malla con cuadrícula más pequeña. Los métodos de diseño y sus lineamientos de acuerdo con el nivel de protección se describen a continuación:

- Método de diseño para PDC's

El número y posición de los PDC a instalar en un proyecto se puede determinar con la ayuda de la tabla de *radios de protección*  $R_P$  del fabricante del PDC. La misma indicará cuál es el radio de protección en función de: la altura del PDC respecto de la superficie a proteger, el nivel de protección requerido y el tiempo de avance del dispositivo. Un ejemplo de esta tabla se encuentra a continuación.

**Tabla 22.**

*Radios de protección  $R_P$*

Ref. →	NIVEL DE PROTECCIÓN I (D=20 m)				NIVEL DE PROTECCIÓN II (D=30 m)				NIVEL DE PROTECCIÓN III (D=45 m)				NIVEL DE PROTECCIÓN IV (D=60 m)				
	AT-1515 AT-2515	AT-1530 AT-2530	AT-1545 AT-2545	AT-1560 AT-2560	AT-1515 AT-2515	AT-1530 AT-2530	AT-1545 AT-2545	AT-1560 AT-2560	AT-1515 AT-2515	AT-1530 AT-2530	AT-1545 AT-2545	AT-1560 AT-2560	AT-1515 AT-2515	AT-1530 AT-2530	AT-1545 AT-2545	AT-1560 AT-2560	
h (m)	2	13	19	25	31	15	22	28	35	18	25	32	39	20	28	36	43
	4	25	38	51	63	30	44	57	69	36	51	64	78	41	57	72	85
	6	32	48	63	79	38	55	71	87	46	64	81	97	52	72	90	107
	8	33	49	64	79	39	56	72	87	47	65	82	98	54	73	91	108
	10	34	49	64	79	40	57	72	88	49	66	83	99	56	75	92	109
	20	35	50	65	80	44	59	74	89	55	71	86	102	63	81	97	113
	60	35	50	65	80	45	60	75	90	60	75	90	105	75	90	105	120

*Nota.* Metros de PDC de la marca DAT CONTROLER® PLUS. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas (s.f.). *Pararrayos.* ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

En la segunda fila de la tabla 22 se encuentran los códigos de referencia del fabricante que se corresponden con un tiempo de avance según la tabla siguiente.

**Tabla 23.**

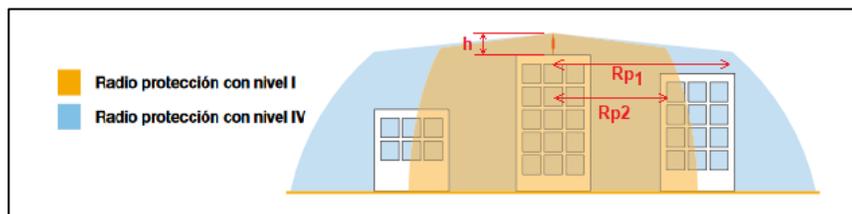
*Tiempos de avance ( $\Delta T$ ) DAT CONTROLLER® PLUS*

Ref.	Modelo	$\Delta T$ certificado
AT-1515	DAT CONTROLLER® PLUS 15	15 $\mu s$
AT-1530	DAT CONTROLLER® PLUS 30	30 $\mu s$
AT-1545	DAT CONTROLLER® PLUS 45	45 $\mu s$
AT-1560	DAT CONTROLLER® PLUS 60	60 $\mu s$

*Nota.* Por seguridad y facilidad de cálculo se ha aplicado un redondeo a la baja de los resultados obtenidos, certificándose los siguientes tiempos de avance ( $\Delta T$ ) en microsegundos. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas (s.f.). Pararrayos. ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

**Figura 39.**

*Protección brindada por un PDC*



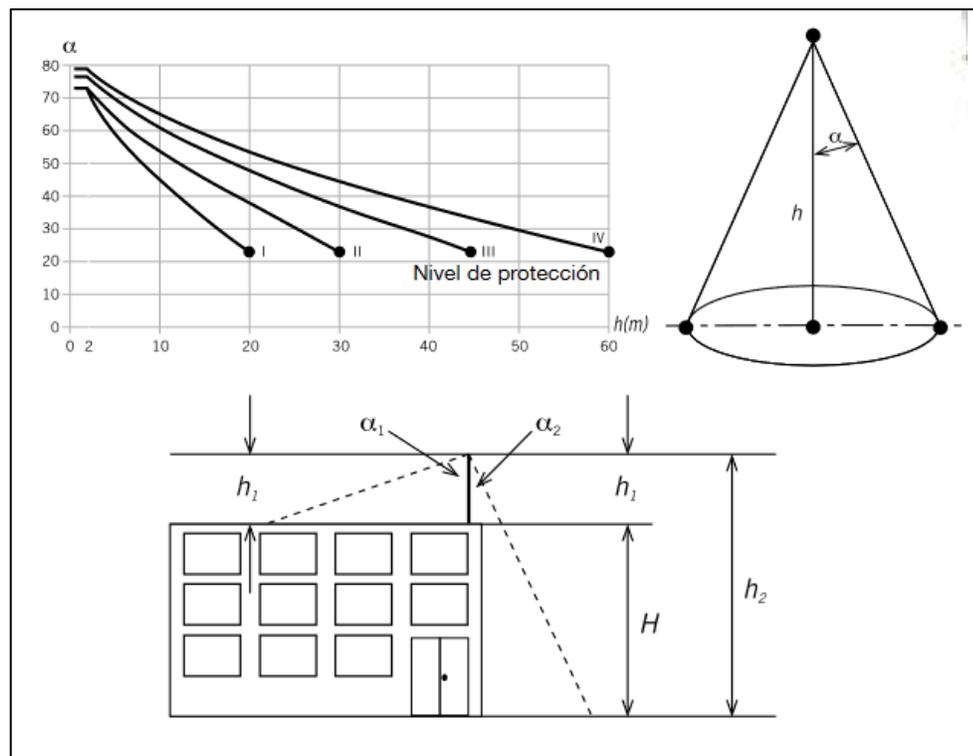
*Nota.* Radios de protección. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas (s.f.). Pararrayos. ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

- Método del ángulo de protección

Según este método el volumen protegido por una punta captadora simple sería el situado en el interior de un cono cuyo vértice es el extremo del captador por una línea con origen en el captador y con un ángulo respecto la vertical  $\alpha$  que depende de la altura  $h$  y del nivel de protección.

**Figura 40.**

*Método del ángulo de protección*



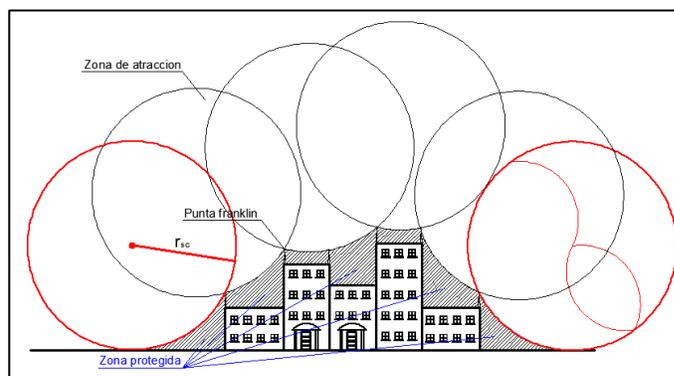
*Nota.* Según este método el volumen protegido por una punta Franklin sería el situado en el interior de un cono. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas (s.f.). Pararrayos. ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

- Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante se basa en una esfera imaginaria de radio  $r_{sc}$  (no es lo mismo que el radio de protección) que, si se hace rodar sobre una estructura, todos aquellos puntos en contacto con la esfera son susceptibles de ser alcanzados también por un rayo. Entonces se instalan pararrayos de punta captadora simple distribuidos de tal forma que al hacer rodar la esfera nuevamente, ésta solo toque las puntas captoras sin llegar en ningún momento a tocar la estructura, entonces se logrará la protección de toda la estructura en cuestión. El radio de la esfera considerada en el cálculo está determinado por el nivel de protección requerido del sistema. Entre más pequeño sea el radio de la esfera, menor podrá ser la distancia necesaria entre puntas captadoras, lo que resulta en un mayor nivel de protección, siendo el nivel I el que tiene el radio de esfera rodante más pequeño.

#### Figura 41.

*Esquema del método de la esfera rodante*



*Nota.* Según este método el volumen protegido por una punta Franklin sería el situado en el interior de un cono. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas (s.f.). *Pararrayos.* ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

**Tabla 24.**

*Valores de radio de esfera rodante según nivel de protección*

Nivel de protección (LPL)	Radio de la esfera rodante ( $r_{sc}$ ) en metros
I	20
II	30
III	45
IV	60

*Nota.* La ubicación de los captadores depende del modelo físico usado para describir el comportamiento del rayo. Adaptado de F. Amores (s.f.). *Métodos de ubicación de los captadores de rayo.* (<https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/metodos-ubicacion-captadores-rayo/metodos-ubicacion-captadores-rayo>), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

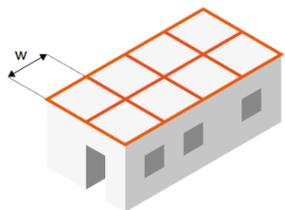
- Método de la malla

El diseño de una malla de protección debe realizarse de acuerdo con la siguiente figura:

**Figura 42.**

*Método de la malla*

Nivel de protección	w	Distancia entre bajantes
I	5 m	10 m
II	10 m	10 m
III	15 m	15 m
IV	20 m	20 m



*Nota.* Según este método se debe instalar una retícula de conductores sobre la estructura con una separación que dependerá del nivel de protección. Adaptado de Aplicaciones Tecnológicas. (s.f.). *Pararrayos.* ([https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)), consultado el 27 de diciembre de 2022. De dominio público.

Además de lo anterior, un diseño de pararrayos adecuado debe cumplir lo siguiente:

- El pararrayos debe tener su punta a dos metros por encima de cualquier elemento en su radio de protección.
- Cada pararrayos debe estar unido a dos bajantes en direcciones opuestas.
- El recorrido de los bajantes debe ser lo más corto y recto posible.
- El conductor de bajada debe tener una sección mínima de 50 mm<sup>2</sup>.
- Debe haber una toma a tierra por cada bajante.
- La resistencia de la toma a tierra debe ser igual o menor a 10 Ω.

#### **2.4. Supresores de transientes**

Un transiente o también conocido como tensión transitoria, es un pico de voltaje de corta duración (microsegundos) en las líneas de distribución eléctrica. Se puede originar por varias causas, la más importantes son:

- Impacto directo de rayo: el rayo cae directamente sobre una línea aérea energizada. Una corriente y voltaje muy elevados se propagan hasta el domicilio o instalación comercial.
- Impacto indirecto de rayo: el impacto sobre la estructura o pararrayos produce un campo electromagnético muy elevado que induce un voltaje peligroso en las líneas eléctricas de distribución cercanas.
- Corte brusco de energía: cuando hay apagones, estos pueden traer consigo transientes.
- Conexión y desconexión de equipos de gran consumo: por ejemplo, equipos de a/c, ascensores, soldadoras, motores industriales, entre otros.
- Conmutación en líneas de transmisión.
- Corto circuitos y entrada de bancos de capacitores.

Las consecuencias de los transientes son las siguientes:

- Desprogramación y pérdida de datos en equipos electrónicos.
- Daño permanente en motores.
- Reducción de la vida útil de motores, transformadores y toda clase de equipos.
- Sobrecalentamiento de equipos.

Para proteger una instalación de los efectos nocivos de los transientes, se utiliza los supresores de transientes, o también conocidos como SPD (*Surge Protection Device*) por sus siglas en inglés. Su principio de funcionamiento está basado en los varistores de óxido metálico (MOV), que son conectados en un extremo a una línea viva y en el extremo opuesto a la puesta a tierra (con un valor de resistencia de puesta a tierra menor o igual a  $10 \Omega$  según NOM-001-SEDE-2012). En condiciones normales, el varistor presentará una alta resistencia, pero en presencia de un transitorio que exceda su valor de voltaje nominal (típicamente en un 125 %), su valor de resistencia caerá bruscamente en cuestión de unos cuantos nanosegundos proporcionando así un camino fácil a tierra para las altas corrientes y recortando las altas tensiones transitorias.

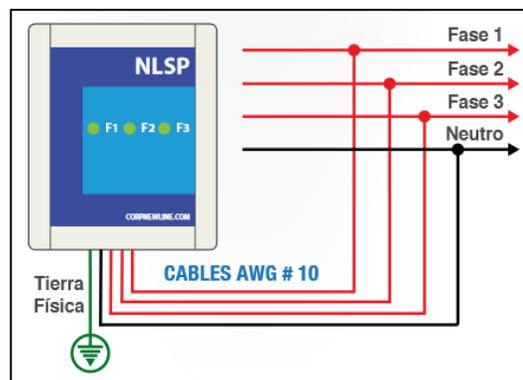
De acuerdo a la norma IEC 61643-11, una instalación apropiada de supresores de debe hacer de forma escalonada. Para lo cual existen tres clases de supresores de transientes descritos a continuación:

- Clase A: instalación contigua al equipo a proteger. Capacidad de descarga típica de 50 kA.
- Clase B: instalación en tableros secundarios o de distribución. La capacidad de descarga típica es de 200 kA.

- Clase C: instalación en tablero principal o acometida principal. Con capacidad de descarga de hasta 400 kA, pueden brindar protección contra descargas directas de rayos.

### Figura 43.

Diagrama de conexión típico de un SPD trifásico de clase A o B (50kA)



*Nota.* La conexión del supresor se realiza en paralelo a la carga / circuito a proteger. Adaptado de Corporación Tecnológica New Line (s.f.). *Supresor de transientes: trifásico 400/480VCA de 50kA.* (<https://corpnewline.com/assets/ft-supresor-3f-400v-50ka.pdf>), consultado el 28 de diciembre de 2022. De dominio público.

## 2.5. Iluminación de interiores

Un ambiente debe estar iluminado de acuerdo con el tipo de actividades que se vaya a desarrollar para garantizar el confort de las personas, la correcta ejecución de sus labores y la seguridad.

### 2.5.1. Niveles de iluminación recomendados

De acuerdo con la norma europea UNE 12464.1, para dictaminar si la iluminación es adecuada se evalúa la iluminancia media  $E_m$  que se mide en

unidades de *Lux* que es igual al flujo luminoso (*Lumen*), por unidad de área (1 Lux = 1 lumen/m<sup>2</sup>). La iluminancia media no debe caer por debajo de los valores en tablas definidas por la misma norma, independientemente de la edad y estado de la instalación. La tabla ofrecida a continuación está basada en dicha norma, y se muestran las iluminancias medias recomendadas en áreas como las encontradas en el Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios.

**Tabla 25.**

*Iluminancias medias recomendadas según tipo de ocupación*

<b>No. Ref</b>	<b>Tipo de interior y actividad</b>	<b>Em (Lux)</b>
1	Áreas de circulación y pasillos en general	100
2	Escaleras	100
3	Ascensores, montacargas	100
4	Cuartos de baño y servicio	200
5	Salas de examen y tratamiento médico	1000
6	Aulas, aulas de tutoría	300
7	Oficina de archivos, copias, entre otros.	300
8	Oficia de lectura y tratamiento de datos	500
9	Cocinas	500
10	Restaurante autoservicio	200
11	Salones comunes	200
12	Panaderías, áreas de preparación y hornos de cocción	300
13	Marcado y clasificación de artículos en lavanderías	300
14	Lavado, planchado	300
15	Sala caldera	100
16	Sala de máquinas (motores, generadores)	200
17	Salas laterales (de bombas, de condensadores, entre otros.)	200
18	Salas de descanso	100
19	Vestuarios	200
20	Enfermería	500
21	Almacenes y cuarto de almacén	100
22	Manipulación de paquetes y expedición	300
23	Alumbrado general de laboratorios y farmacias	500

*Nota.* Tabla de iluminación para hospitales y centros de atención. Adaptado de Asociación Española de Normalización (2003). *UNE 12464.1. Norma europea sobre la iluminación para interiores.* (<https://www.saltoki.com/iluminacion/docs/03-UNE-12464.1.pdf>), consultado el 31 de diciembre de 2022. De dominio público.

## 2.5.2. Diseño de alumbrado de interiores

Para el alumbrado de interiores se utiliza el método de los lúmenes por su simplicidad y versatilidad. Consiste en determinar el flujo luminoso total  $\Phi_T$  que deben emitir todas las luminarias a instalar en un local determinado para alcanzar o superar la iluminancia media mínima recomendada para el tipo de ocupación o actividad. Para determinar el flujo luminoso total necesario se utiliza la fórmula siguiente:

$$\Phi_T = \frac{E * S}{\eta * f_m} \quad (16)$$

Donde:

$\Phi_T$  = Flujo luminoso total en lúmenes.

E = Iluminancia media deseada en Lux.

S = Superficie del plano de trabajo en m<sup>2</sup>.

$\eta$  = Factor de utilización (adimensional).

$f_m$  = Factor de mantenimiento (adimensional).

- Cálculo del factor de utilización.

No todo el flujo luminoso emitido por las luminarias se transmitirá hacia el plano de trabajo, parte de la energía es absorbida por las paredes, el techo y el piso. La medida de qué tanta iluminación puede ser aprovechada se denomina *factor de utilización*, el cual depende del fabricante, tipo de luminaria, índice de local  $k$  y factores de reflexión  $\rho$  del local. A continuación, se presenta un ejemplo de una tabla de factores de utilización de un tipo de luminaria.

**Tabla 26.**

*Ejemplo de tabla de factor de utilización*

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (??)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0.3		0	
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
$\frac{D_{max}}{f_m} = 1.0 \frac{H_m}{f_m}$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

$H_m$ : altura luminaria-plano de trabajo

*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado.* (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

Para determinar el índice de local, se puede utilizar la guía siguiente:

**Figura 44.**

*Guía para cálculo del índice del local*

	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado.* (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

Y para elegir los coeficientes de reflexión se ofrece la tabla a continuación:

**Tabla 27.**

*Factores de reflexión de referencia*

	<b>Color</b>	<b>Factor de reflexión (<math>\rho</math>)</b>
<b>Techo</b>	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
<b>Paredes</b>	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
<b>Suelo</b>	claro	0.3
	oscuro	0.1

*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

- Coeficiente de mantenimiento

Este valor depende del grado de suciedad y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual se pueden tomar los siguientes valores:

**Tabla 28.**

*Factores de mantenimiento*

Ambiente	Factor de mantenimiento ( $f_m$ )
Limpio	0.8
Sucio	0.6

*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado.* (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

Una vez determinado el flujo luminoso total necesario del local, se debe determinar el número de luminarias  $N$  a instalar en función del flujo luminoso individual de cada lámpara  $\Phi_L$  y el número de lámparas por luminaria  $n$  como sigue:

$$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (17)$$

Donde:

$N$  = Número mínimo de luminarias necesarias.

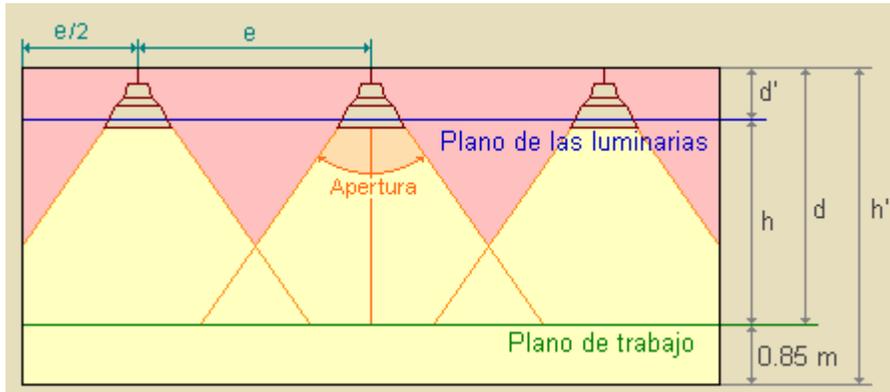
$\Phi_L$  = Flujo luminoso por lámpara en lúmenes.

$n$  = Número de lámparas por luminaria.

Una vez que se conozca la cantidad de luminarias a instalar en el local, se debe establecer cómo distribuir las. La distancia máxima entre ellas dependerá de la apertura del haz de luz y la altura total  $h'$  del local.

**Figura 45.**

*Apertura de una luminaria*



*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado.* (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

Donde para encontrar  $e$ , se puede tomar como guía la tabla mostrada a continuación:

**Tabla 29.**

*Distancias máximas entre luminarias según tipo de luminaria y altura de local*

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	$\leq 4$ m	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

*Nota.* Tipo de aparato de alumbrado. Adaptado de J. García (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado.* (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

Es importante tomar en cuenta que existe software que puede ayudar al proyectista a realizar el diseño de sistemas de iluminación de una manera muy rápida y precisa. Ejemplo de estos son: AGi32, Dialux, Relux, entre otros.

## **2.6. Sistema de alimentación de emergencia**

Los sistemas de alimentación de respaldo garantizan la continuidad del suministro eléctrico en instancias donde la interrupción del mismo supone un riesgo para la vida o riesgo de pérdidas económicas importantes.

Entre los sectores donde es usual encontrar estos sistemas están:

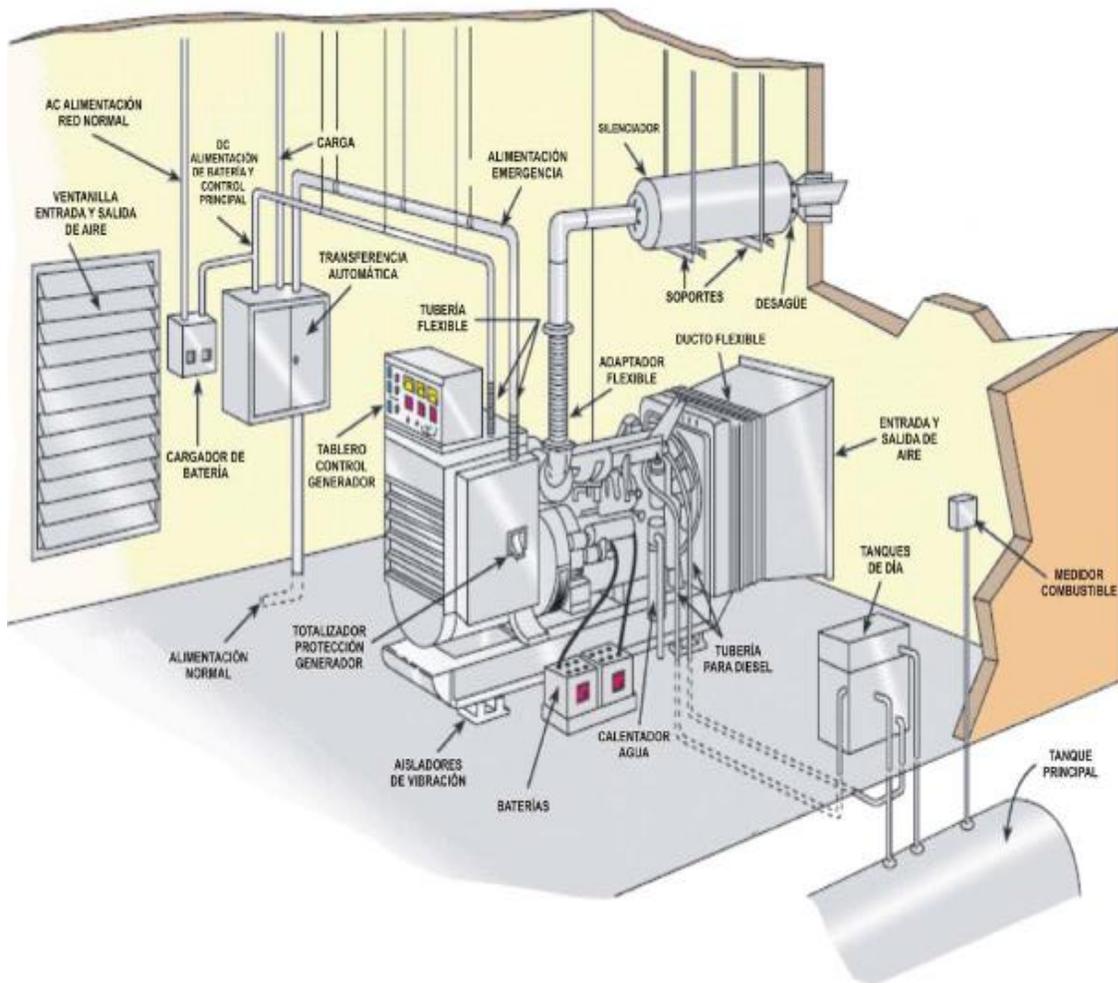
- Hospitales y laboratorios
- Industria farmacéutica
- Centros comerciales
- Data centers
- Edificios con elevadores
- Plantas de tratamiento
- Pozos de agua
- Industria minera
- Industria de procesos ininterrumpidos

### **2.6.1. Planta eléctrica de emergencia**

También conocidos como “grupos electrógenos”, transforman la energía química proveniente de hidrocarburos (gasolina, diésel, gas licuado, entre otros), en energía eléctrica. Esencialmente están conformados por un motor y un generador acoplados. En condiciones de operación y mantenimiento correctas, pueden entrar en funcionamiento en un tiempo de 8 a 15 segundos. Según el

tipo, pueden ser utilizadas por periodos cortos o de forma permanente. En la figura siguiente se observa una instalación típica de un grupo electrógeno.

**Figura 46.**  
*Grupo electrógeno*



*Nota.* Ejemplo de un grupo electrógeno. Obtenido de F. Hartwell, J. McPartland & B. McPartland (2017). *National Electrical Code 2017 Handbook*. (p. 118). McGraw-Hill.

- Componentes de una planta eléctrica

Una planta eléctrica está conformada por varios sistemas integrados. Mismos que deben someterse a rutinas de mantenimiento periódico y pruebas de funcionamiento en concordancia con las indicaciones del fabricante para garantizar su correcto funcionamiento a la hora de un apagón. Los principales elementos que componen una planta eléctrica se muestran en la figura siguiente:

**Figura 47.**

*Principales elementos de una planta eléctrica*



1. Motor.	5. Sistema de control.
2. Depósito de combustible y bancada.	6. Interruptor automático de salida.
3. Sistema de refrigeración.	7. Silenciador y sistema de escape.
4. Alternador o generador.	8. Aislamiento de la vibración.

*Nota.* Un grupo electrógeno consta de los elementos mencionados anteriormente. Adaptado de E. Mendoza y D. Simancas (2008). *Sistemas eléctricos de emergencia.* (<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0050087.pdf>), consultado el 1 de enero de 2023. De dominio público.

- Selección de una planta eléctrica

Se eligen en función de:

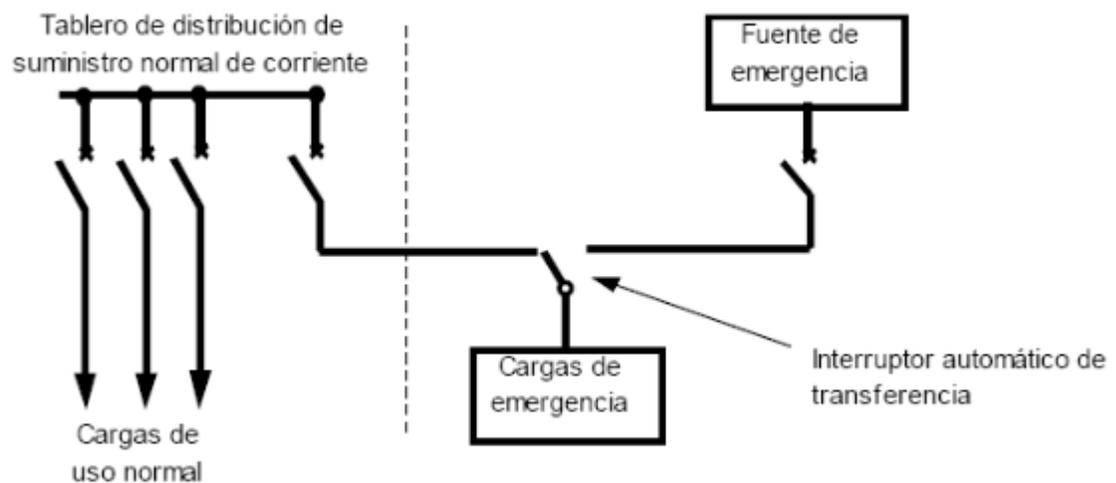
- Potencia: La potencia de un generador se diseña en función de todas las cargas que estén conectadas al sistema de alimentación de respaldo a través de una transferencia tomando en cuenta que la potencia de motores y cargas con una elevada corriente de arranque se calcula como tres veces su potencia nominal. El factor de potencia mínimo de las cargas debe ser 0.8. Adicional diversos fabricantes sugieren sumar a la carga total un 20 % adicional por concepto de holgura. Es importante tomar en cuenta que existe la potencia continua y potencia máxima del grupo electrógeno, las cuales corresponden a la potencia que se puede mantener permanentemente y la que solo se puede mantener por un periodo limitado de tiempo respectivamente.
- Tipo de combustible: Los grupos electrógenos a gasolina permiten ahorrar espacio y están disponibles en baja potencia y son relativamente silenciosos; los de diésel suelen ser de uso prolongado, hay gamas de alta potencia y salen más económicos que los de gasolina; finalmente los de gas LP son económicos y sencillos, aunque no tan versátiles por el manejo del gas.
- Número de fases, voltaje, corriente, frecuencia, velocidad, eficiencia, factor de potencia, tipo de regulación de tensión, movilidad, entre otros: Todas estas características se eligen de acuerdo con aspectos muy concretos del recinto donde se instalará el equipo.

## 2.6.2. Sistema de transferencia

Un sistema de transferencia permite que una carga o grupo de cargas puedan ser alimentadas tanto desde el suministro normal de energía como desde una o más plantas eléctricas sin riesgo de que se entrelacen ambas fuentes de energía.

**Figura 48.**

*Configuración típica*



*Nota.* Sistema de generación auxiliar simple con transferencia. Adaptado de E. Mendoza y D. Simancas (2008). *Sistemas eléctricos de emergencia*. (<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0050087.pdf>), consultado el 4 de enero de 2023. De dominio público.

Una tarea importante a la hora de diseñar un sistema eléctrico de distribución con planta de emergencia es clasificar y separar las cargas normales de las cargas críticas. Estas últimas han de conectarse a la transferencia automática a modo que no se tenga que diseñar la potencia de la planta para

cargas no esenciales. Entre las cargas que se pueden considerar como esenciales están:

- Iluminación de emergencia
- Bombas contra incendio y sistemas de alarma contra incendios
- Ascensores y motores críticos
- Equipos médicos de soporte de vida

Es importante tomar en cuenta que a una planta de emergencia le toma en promedio 10 segundos para arrancar y entrar en operación, tiempo que resulta inconcebible para ciertas actividades dentro del campo de la medicina o industria tecnológica. Para esos sectores, suele usarse, además de la planta, un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS por sus siglas en inglés), que ofrece tiempos de conexión cercanos a 1 milisegundo con la desventaja de que tienen un tiempo limitado de autonomía por lo que deben usarse en conjunto con una planta eléctrica.

## **2.7. Instrumentos de diagnóstico y medición eléctrica**

El estado de una instalación eléctrica debe monitorearse continuamente para prevenir situaciones que pongan en riesgo la integridad de las personas o de activos. Para realizar un diagnóstico de forma rápida y precisa, existen equipos que ayudan a identificar riesgos potenciales y, por ende, aplicar las medidas correctivas pertinentes.

### 2.7.1. Multímetro digital

Es un instrumento que permite medir voltaje, corriente, resistencia, entre otros. Conocer estos valores resulta indispensable a la hora de realizar el diagnóstico de un equipo o instalación eléctrica.

#### Figura 49.

*Multímetro de gancho Fluke 323*



*Nota.* Sirve para medir el voltaje, resistencia de un cableado. Adaptado de FLUKE (s.f.). *Pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz Fluke 323.* (<https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-323>), consultado el 4 de enero de 2023. De dominio público.

### 2.7.2. Medidor de calidad de energía

Es una versión ampliamente mejorada de un multímetro, permite medir voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, desbalance, armónicos de corriente, armónicos de voltaje, entre otros. Usualmente tiene integrada una memoria de alta capacidad que permite almacenar un gran número de

mediciones a lo largo de un tiempo definido, lo que permite tabular con posteridad los datos recabados para su análisis a través de gráficas. Están conformados por una tarjeta madre, módulos de instrumentación, pinzas para medición de voltaje y sondas para medición de corriente sin realizar ninguna desconexión. Se puede detectar y cuantificar lo siguiente:

- Armónicos
- Sobretensiones y transitorios
- Caídas y subidas de voltaje
- Factor de potencia
- Análisis de carga
- Parpadeo
- Otros

**Figura 50.**

*Analizador de red FLUKE 435-2*



*Nota.* Sirve para medir el voltaje, resistencia de un cableado. Adaptado de FLUKE (s.f.). *Pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz Fluke 323.* (<https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-323>), consultado el 4 de enero de 2023. De dominio público.

### 2.7.3. Cámara termográfica

Es un instrumento que despliega una imagen térmica completa sin contacto. Es usado en diversos sectores, entre ellos la industria eléctrica ya que permite medir de forma rápida y segura la temperatura de: conductores, tableros eléctricos, transformadores, generadores, electrónica de potencia, entre otros. A través de una cámara termográfica se puede identificar:

- Desbalance de corriente
- Sobrecorriente en conductores y barras
- Falsos contactos
- Sobrecarga de equipos
- Entre otros

#### Figura 51.

*Ejemplo de imagen térmica*



*Nota.* Cámara termográfica, para ver las áreas con carencias de aislamiento. Adaptado de Teldyne Flir (2019). *¿Cómo puede saberse si en su casa hay carencias de aislamiento?* (<https://www.flir.es/discover/professional-tools/how-can-you-tell-if-you-have-missing-insulation/>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

#### 2.7.4. Medidor de puesta a tierra física

Una puesta a tierra debe tener una resistencia muy baja para su buen funcionamiento. Si su valor no es lo suficientemente bajo, las personas y equipos pueden estar expuestos a potenciales peligros. Por lo tanto, se debe medir su valor con frecuencia ya que el mismo puede variar por efecto de la humedad y la temperatura ambiente, así como por la oxidación o anulación de las varillas enterradas. Para realizar la medición de resistencia de puesta a tierra existen al menos tres equipos distintos mencionados en la sección 2.2.3 cada uno con una aplicación particular que podría o no implicar desconectar elementos del sistema.

#### Figura 52.

*Medición de resistencia de puesta a tierra*



*Nota.* En una instalación podrá existir una puesta a tierra de servicio y una puesta a tierra de protección. Obtenido de Electricistas.cl. (s.f.). *Puesta a tierra: Extracto SEC NCH Elec. 4/2003.* (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra-extracto-sec-nch-elec-4-2003/>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

### 2.7.5. Medidor de niveles de iluminación

Se utiliza un luxómetro, el cual mide la iluminancia de un recinto, típicamente en unidades de lux. Esta medición permitirá evaluar si se cumple con estándares mínimos de iluminación para asegurar el confort, desempeño y seguridad de los usuarios.

#### Figura 53.

*Luxómetro*



*Nota.* Ejemplo de luxómetro. Obtenido de Steren (s.f.). *Medidor digital de luminosidad.* (<https://www.steren.com.gt/medidor-digital-de-luminosidad-luxometro-her-408.html>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

### 2.8. Diagrama unifilar

Un diagrama unifilar eléctrico está conformado por un conjunto de símbolos y líneas a través de los cuales se pueden representar los elementos más importantes que conforman una instalación eléctrica.

## **2.9. Instalaciones especiales**

En un hospital son muchas las instalaciones y equipos que se pueden considerar especiales, entre equipos eléctricos, electrónicos y electromecánicos de tratamiento, diagnóstico y soporte de vida.

### **2.9.1. Equipo electrónico sensible y crítico**

Entre los equipos que se pueden mencionar como altamente sensibles y críticos en un hospital están:

- Equipo de tomografía
- Máquina de ultrasonido
- Rayos X
- Endoscopia
- Desfibrilador
- Respirador mecánico
- Equipo de diálisis
- Entre otros

Es importante que se cuente con una buena calidad de energía para garantizar el correcto funcionamiento y cuidado de estos equipos.

### **2.10. Calidad de energía**

Una mala calidad del suministro eléctrico puede provocar:

- Reducción del tiempo de vida de equipos
- Calentamiento de equipos

- Reducción de la vida útil de la infraestructura eléctrica
- Baja eficiencia y pérdidas energéticas
- Operación incorrecta de equipos y pérdida de datos
- Problemas de transmisión de datos
- Falla de equipos electrónicos y de telecomunicaciones
- Entre otros

Una mala calidad de energía puede ser causada por el proveedor de energía o por el usuario mismo. Son varios los parámetros que determinan la calidad de energía, de los cuales se tratará a continuación.

### **2.10.1. Voltaje**

Las variaciones y perturbaciones de la onda de voltaje de suministro son el principal objeto de estudio para determinar la calidad de energía. Se pueden clasificar como sigue:

- Variaciones de estado estable
  - Variaciones lentas de voltaje (Regulación de tensión)
  - Armónicos
  - Flicker
  - Desbalance
- Perturbaciones
  - Interrupciones
  - Huecos/Sags/Dips
  - Elevaciones/Swells
  - Transitorios

- Variaciones lentas de voltaje, interrupciones, sags y swells

Existen varias normas que definen y establecen los valores permisibles de variaciones en el voltaje. Una de ellas es la norma EN-50160 cuya definición de estos valores se muestra a continuación:

**Tabla 30.**

*Definiciones de algunas de las variaciones de tensión según EN-50160*

<i>Evento en la tensión de suministro</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Duración</i>
<i>Hueco de tensión</i>	90% < 1%	10 ms < 1 minuto
<i>Bajada de tensión</i>	90% < 1%	> 1 minuto
<i>Interrupción del suministro</i>	< 1%	< 3 minutos (breve) > 3 minutos (larga)
<i>Sobretensión temporal</i>	> 110%	relativamente larga
<i>Sobretensión transitoria</i>	> 110%	algunos milisegundos

Nota. Variaciones de tensión. Adaptado de E. Pérez (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado Wavelets-Filtro de Kalman extendido.* (<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

El estándar IEEE 1159-1995 por su parte, define las variaciones de larga duración, interrupciones, sags y swells como sigue:

**Tabla 31.**

*Definición de algunas de las variaciones de tensión según IEEE 1159-1995*

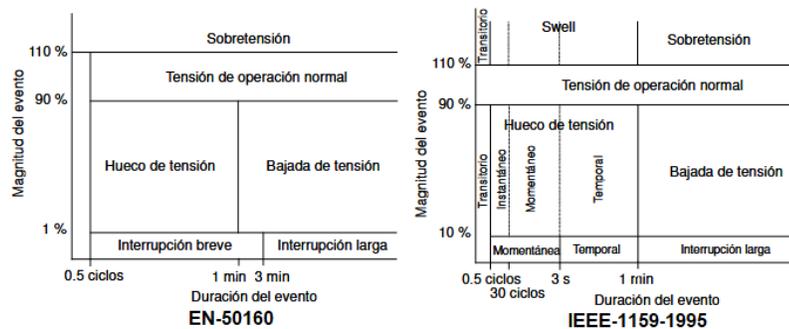
<i>Categorías</i>	<i>Duración típica</i>	<i>Magnitud típica de la tensión</i>
<b>2.0 Variaciones de corta duración</b>		
<b>2.1 Instantánea</b>		
2.1.1 Hueco	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
2.1.2 Swell	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
<b>2.2 Momentánea</b>		
2.2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u.
2.2.2 Hueco	30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
2.2.3 Swell	30 ciclos – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
<b>2.3 Temporal</b>		
2.2.1 Interrupción	3 s – 1 min	< 0.1 p.u.
2.2.2 Hueco	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
2.2.3 Swell	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
<b>3.0 Variaciones de larga duración</b>		
3.1 Interrupción sostenida	> 1 min	0.0 p.u.
3.2 Bajada de tensión	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
3.3 Sobretenión	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

Nota. Variaciones de tensión. Adaptado de E. Pérez (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado Wavelets-Filtro de Kalman extendido.* (<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

Estas definiciones varían en algunos aspectos según la norma. A modo de comparación, se ven representadas gráficamente en la figura siguiente:

## Figura 54.

Representación de eventos de tensión según EN-50160 y IEEE 1159-1995



Nota. Representación gráfica. Adaptado de E. Pérez (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado Wavelets-Filtro de Kalman extendido.* (<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>), consultado el 6 de enero de 2023. De dominio público.

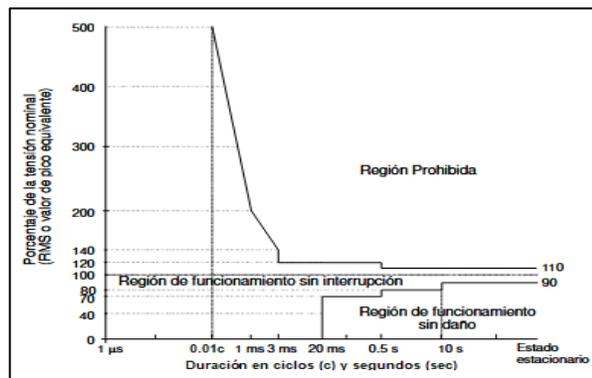
Para evaluar si la magnitud de variación de la tensión es tolerable o no existen distintos criterios. El estándar europeo EN-50160 establece lo siguiente:

- Para cada periodo de una semana, el 95 % de los valores eficaces de la tensión suministrada promediados en 10 min, debe situarse en  $\pm 10$  % de la tensión nominal.
- Para todos los valores de 10 minutos, los valores promediados del valor eficaz de la tensión deben situarse en el intervalo de +10 % / -15 % de la tensión nominal.
- El número de huecos de tensión esperado en un año puede ir de algunas decenas a un millar y que la mayor parte de los huecos tiene una duración de menos de un segundo y una profundidad inferior al 60 %.

- El número esperable de interrupciones breves de la tensión puede variar de algunas decenas a varias centenas al año, siendo la duración de aproximadamente el 70 % de las interrupciones breves inferior a 1 segundo. En cuanto a las interrupciones de larga duración, la frecuencia anual esperable puede ser inferior a 10 o alcanzar hasta 50 según las regiones.

Otra forma de evaluar la severidad y tolerancia de las variaciones de tensión es a través de las *curvas de tolerancia*, las cuales representan la variación de la tensión en una línea, expresada en tanto por ciento de la tensión nominal, frente al tiempo de duración de esa variación. Un ejemplo de estas es la curva ITIC (*Information Technology Industry Council* por sus siglas en inglés), mostrada a continuación:

**Figura 55.**  
*Curva ITIC*



Nota. Representación gráfica de la curva. Adaptado de E. Pérez (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado Wavelets-Filtro de Kalman extendido.* (<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>), consultado el 16 de enero de 2023. De dominio público.

En la curva anterior es posible notar tres regiones:

- Región de funcionamiento sin interrupción: Todas las variaciones de tensión dentro de esta región serán perjudiciales si son muy frecuentes, más no provocarán malfuncionamiento ni interrupción en equipos de motores, electrónica y telecomunicaciones.
- Región de funcionamiento sin daño: En esta región, pueden ocurrir malfuncionamientos o interrupciones de equipos, no obstante, no provocarán un daño permanente en los equipos de forma inmediata.
- Región prohibida: En esta región, se pueden producir daños permanentes y averías a los equipos.

La curva ITIC puede ser útil para determinar tolerancias de variaciones de tensión en circuitos en baja tensión de 120VAC, 120/208VAC y 120/240VAC monofásicos, pero no necesariamente se puede aplicar para circuitos trifásicos ya que en este tipo de circuitos entra en juego otros eventos como por ejemplo el desbalance.

- *Flicker*

El *flicker* o parpadeo, es una fluctuación leve del voltaje de suministro que causa variaciones en la intensidad de luz emitida por todo tipo de luminaria, provocando estrés y cansancio prematuro a los usuarios expuestos. Se considera que la operación de hornos de arco eléctrico son el principal causante de este fenómeno. El *flicker* se puede medir con dispositivos de medición de calidad de energía mediante los índices PST (Short Term Perceptibility) y PLT (Long Term Perceptibility). La norma EN 50160 describe como realizar correctamente la medición del PST y PLT, y a su vez indica los valores límite que deben obtenerse

para garantizar la comodidad del usuario. Siendo que el valor de PST debe ser menor a 1 y el PLT menor a 0.65.

Las NTSD de Guatemala establecen para el PST un límite de tolerancia igual que el establecido por la norma EN 50160 ( $PST \leq 1$ ) y a su vez estipulan que:

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en el periodo de medición, dichas mediciones muestran que el flicker ha excedido el rango de tolerancias establecidas. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 8)

Respecto de los transitorios, ya se tocó el tema en la sección 2.4. También hay otras variaciones de voltaje de estado estable como los armónicos y el desbalance que se tratará más adelante.

### **2.10.2. Corriente**

El análisis de la corriente en un estudio de calidad de energía permite identificar:

- Desbalance de corriente
- Sobrecarga de componentes
- Equipos defectuosos

Para calcular el desbalance de corriente se utiliza la fórmula siguiente:

$$Desbalance(\%) = \frac{I_{desv\ max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100 \quad (18)$$

Donde:

$I_{desv\ max}$  = Corriente efectiva de línea más alejada del valor promedio de corrientes en A.

$I_{prom}$  = Media aritmética de las corrientes efectivas de las 3 líneas ( $(I_A + I_B + I_C)/3$ ) en A.

Los valores máximos aceptables de desbalance de corriente entre fases, según la especificación CFE-L0000-45, dependen de la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente máxima de carga  $I_{cc}/I_L$  y el nivel de voltaje de acuerdo con tabla siguiente:

**Tabla 32.**

*Desbalance de corriente en el punto de acometida según CFE L0000-45*

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Desbalance (%)		
	Menor a 1 kV	De 1 kV a 35 kV	Mayor a 35 kV
$I_{cc}/I_L < 20$	5.0	2.5	2.5
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	8.0	4.0	3.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	12.0	6.0	3.75
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	15.0	7.5	4.0
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	20.0	10.0	5.0

*Nota.* Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica. Obtenido de R. Martínez (2021). *Ojo al desbalance, tiene su costo.* (<https://www.konverter.com.mx/post/ojo-al-desbalance-tiene-su-costo>), consultado el 16 de enero de 2023. De dominio público.

A manera de simplificar, en redes de baja tensión se suele tomar un valor de referencia de desbalance de corriente máximo permisible del 10 %.

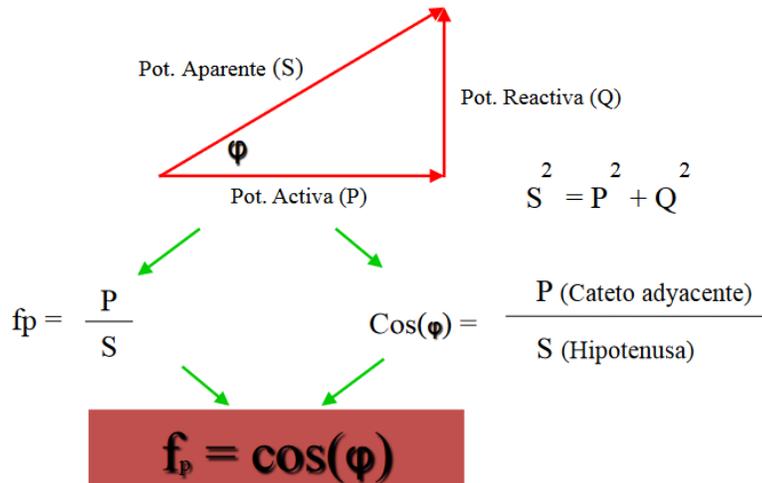
### **2.10.3. Factor de potencia**

Para comprender el significado del factor de potencia  $F_P$ , se debe conocer los tipos de potencia que existen en un suministro de corriente alterna. Estos son tres: potencia aparente (VA), potencia real (W) y potencia reactiva (VAR). La potencia aparente es la potencia eléctrica total transferida hacia una carga y es igual a la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva. La potencia activa o real, es aquella que se convierte en trabajo u otro tipo de energía mientras que la potencia reactiva no es convertida en trabajo, más bien es “prestada” por la carga y luego devuelta hacia la fuente.

La relación entre la potencia real y la potencia aparente de una carga es lo que se conoce como factor de potencia. Una carga con factor de potencia de valor unitario transformará el 100 % de la potencia eléctrica que recibe en otro tipo de energía. A continuación, se presenta el triángulo de potencia, el cual representa la relación entre los distintos tipos de potencia eléctrica en corriente alterna.

**Figura 56.**

*Triángulo de potencia y el factor de potencia*



*Nota.* Factor de potencia. Elaboración propia, realizado con Power Point.

Un bajo valor de factor de potencia indica que existe un flujo muy alto de potencia reactiva que no es aprovechada, y que provoca el sobredimensionamiento de generadores, transformadores, líneas de transmisión, aumento de pérdidas por la elevada corriente, entre otros.

Por ello, la normativa guatemalteca NTSD (Normas Técnicas del Servicio de distribución) establece un valor mínimo permisible de factor de potencia de 0.85 para usuarios con potencias de hasta 11 kW y de 0.9 para usuarios con potencias superiores a 11 kW.

Para evaluar si se incurre en penalización por factor de potencia, las NTSD establecen que se debe medir la energía activa total  $E_A$  y la energía reactiva total  $E_R$  durante un periodo continuo no menor a una semana y aplicar la fórmula siguiente para hallar el factor de potencia:

$$F_P = \frac{E_A}{\sqrt{E_A^2 + E_R^2}} \quad (19)$$

Donde:

$F_P$  = Factor de potencia (Adimensional)

$E_A$  = Energía activa total (kWh)

$E_R$  = Energía reactiva total (kVARh)

Además del factor de potencia (FP) existe lo que se denomina el *FPD* (Factor de Potencia de Desplazamiento según sus siglas en español), el cual no considera las corrientes armónicas sino solo la onda fundamental de corriente y voltaje. Por lo general el  $FP < FPD$ . Por lo que un análisis de factor de potencia se debe hacer empleando el FP en vez del FPD.

Un estudio de calidad de energía, generalmente deberá incluir la medición del factor de potencia.

#### **2.10.3.1. Banco de capacitores**

Un capacitor es capaz de suministrar la potencia reactiva que una carga demande, evitando así que esta potencia deba ser suministrada desde la red eléctrica. Por ello, se crearon los bancos de capacitores que consisten en un panel con varios capacitores trifásicos en su interior que se conectan en paralelo a las barras de un tablero de distribución de manera controlada mediante contactores con el fin de mejorar el factor de potencia en atraso de la instalación y prevenir las penalizaciones por parte del proveedor del suministro eléctrico.

### 2.10.3.1.1. Diseño y cálculo de un banco de capacitores

Para calcular la potencia reactiva total en kVAR del banco de capacitores necesario de una instalación se utiliza la fórmula siguiente:

$$Q_c = k * P \quad (20)$$

Donde:

$Q_c$  = Potencia reactiva total del banco de capacitores en kVAR.

$k$  = factor multiplicador (según tabla).

$P$  = Potencia real total de la instalación en kW.

El valor  $k$  se puede conseguir a través de la siguiente tabla:

**Tabla 33.**

*Factor multiplicador k*

Factor de potencia original	Factor de potencia deseado																				
	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,76	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,77	0,079	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,236	0,262	0,289	0,317	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,686	0,829
0,78	0,053	0,079	0,105	0,131	0,157	0,183	0,210	0,236	0,263	0,291	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,562	0,594	0,661	0,803
0,79	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,153	0,183	0,209	0,236	0,264	0,292	0,320	0,347	0,381	0,403	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,80	0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,264	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,81		0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,295	0,329	0,351	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,82			0,000	0,026	0,062	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,269	0,303	0,325	0,369	0,407	0,447	0,496	0,556	0,696
0,83				0,000	0,026	0,062	0,079	0,105	0,132	0,160	0,188	0,216	0,244	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,536	0,672
0,84					0,000	0,026	0,053	0,079	0,106	0,14	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,85						0,000	0,027	0,053	0,080	0,108	0,136	0,164	0,194	0,225	0,257	0,191	0,229	0,369	0,417	0,476	0,620
0,86							0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,265	0,301	0,343	0,390	0,451	0,593
0,87								0,027	0,055	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,228	0,275	0,317	0,364	0,425	0,567	
0,88									0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,290	0,337	0,398	0,540	
0,89										0,028	0,056	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,370	0,512	
0,90											0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,342	0,484	
0,91												0,030	0,061	0,093	0,127	0,164	0,206	0,253	0,314	0,456	
0,92													0,031	0,063	0,097	0,134	0,176	0,223	0,284	0,426	
0,93														0,032	0,068	0,103	0,145	0,192	0,253	0,395	
0,94															0,034	0,071	0,113	0,160	0,221	0,363	
0,95																0,037	0,079	0,126	0,187	0,328	
0,96																	0,042	0,089	0,149	0,292	
0,97																		0,047	0,108	0,251	
0,98																			0,061	0,203	
0,99																				0,142	

Nota. Determinación del factor multiplicador K. Obtenido de Electrotec (s.f.). *Potencia reactiva*. (<https://electrotec.pe/blog/CalculoDeBancoDeCondensadores>), consultado el 17 de enero de 2023. De dominio público.

Se propone que, para instalaciones nuevas, se utilice un valor de factor de potencia original de 0.8 y factor de potencia deseado de 0.95 (k=0.421).

#### 2.10.4. Potencia

En un análisis de calidad de energía también se obtienen las potencias aparente, real y reactiva. Estos valores pueden ser útiles para:

- Detectar potencias pico que puedan derivar en penalizaciones por sobrepasar la potencia máxima contratada.
- Detectar si existen equipos sobrecargados.

- Puede dar una idea de los costos energéticos y el factor de potencia.
- Otros.

La potencia eléctrica en redes de corriente alterna está conformada por tres tipos de potencia, los cuales se describen a continuación:

#### **2.10.4.1. Potencia activa**

Se mide en kW. Es la potencia eléctrica que se está convirtiendo en otra forma de energía, como energía lumínica, mecánica, térmica, entre otros. Parte de esta energía no es aprovechada debido a pérdidas en cargas, conductores, transformadores, motores, entre otros.

#### **2.10.4.2. Potencia reactiva**

Se mide en kVAR. Es la potencia eléctrica que cierto tipo de cargas demandan para poder funcionar pero que luego es devuelta nuevamente a la fuente. Un valor excesivo de potencia reactiva es contraproducente para la infraestructura eléctrica de la red de suministro ya que obliga a que se deba sobredimensionar equipos, provoca problemas en generadores, aumento de la corriente y disminución de la eficiencia.

#### **2.10.4.3. Potencia aparente**

Se mide en kVA. Es la transferencia de potencia eléctrica en un circuito eléctrico de corriente alterna. Se puede expresar como la suma vectorial de la potencia activa y reactiva.

### 2.10.5. Factor k del transformador

El factor k es un valor que permite estimar la capacidad que tiene un transformador de soportar los efectos de los armónicos de corriente existentes.

Un estudio de calidad de energía, dependiendo el aparato, puede desplegar el factor k real que se está manifestando en un transformador que ya se encuentre trabajando y de esa forma compararlo con el factor k en placa de dicho transformador para evaluar si el mismo está capacitado para las condiciones de trabajo.

Para elegir el factor k indicado del transformador de una instalación nueva, se puede emplear la tabla a continuación:

**Tabla 34.**

*Factor k del transformador de acuerdo al tipo de carga*

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

*Nota.* Clasificación del factor K para transformadores de distribución. Obtenido de J. Astorga, R. Aróstica e Y. Iriarte. Estimación del factor K en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal. *Tecnura*. 20(48). p.32.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2016000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000200003)

### **2.10.6. Análisis de armónicos**

Los armónicos son señales de voltaje o corriente superpuestas a la onda sinusoidal fundamental que ocasionan su distorsión o deformación, lo que provoca una serie de consecuencias para la red eléctrica interna y externa. Algunos de los inconvenientes ocasionados son:

- Mayor estrés en aislamiento de cableado de distribución
- Aumento del factor de potencia
- Daño de banco de capacitores
- Sobrecalentamiento en motores y transformadores
- Reducción de la vida útil de equipos
- Presencia de corriente en el neutro
- Entre otros

Los armónicos son causados por la presencia de cargas no lineales, es decir cargas cuya impedancia cambia con el voltaje aplicado, como computadoras, balastos, variadores de velocidad, inversores, fuentes conmutadas, entre otros.

Los armónicos tienen una frecuencia que es un múltiplo de la frecuencia fundamental de la red es decir  $n \cdot 60$  Hz donde “n” representa el orden del armónico. Típicamente, los armónicos de orden 5, 7, 9 y 11 son los más perjudiciales por tener mayor amplitud que el resto.

También existen los denominados inter-armónicos y los infra-armónicos, que también pueden ser perjudiciales, pero son muy raros en la mayoría de las instalaciones.

### **2.10.6.1. Distorsión armónica total de la tensión THDV**

El THDV (Total Harmonic Distortion for Voltage por sus siglas en inglés), que en español se denomina DATT (Distorsión Armónica Total de la Tensión) es el valor en porcentaje tomado como referencia general para medir el grado de distorsión armónica de voltaje proveniente de la red.

Las NTSD (Normas técnicas del Servicio de Distribución) de Guatemala, establecen un valor máximo de THDV de 8 %, el cual se puede medir a través de la mayoría de medidores de calidad de energía. La misma norma en su artículo 42 indica que la energía se considera de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al periodo de medición, dichas mediciones muestran que la THDV ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Por otra parte, la norma IEEE 519 establece un valor límite máximo de THDV de 5 % para una tensión de acometida menor o igual a 69 kV.

### **2.10.6.2. Distorsión armónica de la corriente**

La distorsión armónica de la corriente es una de las causas de la distorsión de la onda de voltaje, es provocada por el usuario. Las normas NTSD, mencionadas anteriormente, establecen los valores máximos permisibles como se ve en la tabla siguiente:

**Tabla 35.***Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga*

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	P ≤ 10 kW V ≤ 1kV	P > 10Kw 1kV < V ≤ 60kV	P > 50kW v > 60kV
	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA (AMP)	DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DAII, EN %	
<b>IMPARES NO MULTIPLOS DE 3</b>			
5	2.28	12.0	6.0
7	1.54	8.5	5.1
11	0.66	4.3	2.9
13	0.42	3.0	2.2
17	0.26	2.7	1.8
19	0.24	1.9	1.7
23	0.20	1.6	1.1
25	0.18	1.6	1.1
> 25	4.5/n	0.2 + 0.8*25/n	0.4
<b>IMPARES MULTIPLOS DE 3</b>			
3	4.60	16.6	7.5
9	0.80	2.2	2.2
15	0.30	0.6	0.8
21	0.21	0.4	0.4
> 21	4.5/n	0.3	0.4
<b>PARES</b>			
2	2.16	10.0	10.0
4	0.86	2.5	3.8
6	0.60	1.0	1.5
8	0.46	0.8	0.5
10	0.37	0.8	0.5
12	0.31	0.4	0.5
> 12	3.68/n	0.3	0.5
<b>DISTORSION ARMONICA TOTAL DE CORRIENTE DATI, EN %</b>	--	20	12

*Nota.* Intensidad y distorsión armónica. Adaptado de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2004). *Normas Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (Acometidas)*. (p. 31). CNEE.

Donde se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del empleado en las mediciones en el periodo de medición, dichas mediciones muestran que la distorsión armónica de corriente de carga ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### 2.10.7. Desbalance de voltaje

En la sección 2.10.2 ya se trató el tema sobre el desbalance de corriente. Para el cálculo del desbalance de voltaje en suministro trifásico, las NTSD establecen la fórmula siguiente:

$$\Delta DTD(\%) = \frac{3*(V_{max}-V_{min})}{V_a+V_b+V_c} * 100 \quad (21)$$

Donde:

$\Delta DTD$  = Porcentaje de desbalance de tensión por parte del distribuidor.

$V_{max}$  = Tensión máxima de cualquiera de las fases en Voltios.

$V_{min}$  = Tensión mínima de cualquiera de las fases en Voltios.

$V_a$  = Tensión de la fase a en Voltios.

$V_b$  = Tensión de la fase b en Voltios.

$V_c$  = Tensión de la fase c en Voltios.

De acuerdo con las NTSD, el valor máximo de desbalance en acometidas de baja y media tensión es del 3 % y se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al total de medición, dichas mediciones muestran que el desbalance de la tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Un desbalance pronunciado puede provocar sobrecalentamiento de terminales, protecciones disparadas, reducción de tiempo de vida de motores, circulación de corriente en el neutro, entre otros.



### **3. MARCO METODOLÓGICO**

En esta sección se describirá la metodología concreta utilizada para la recopilación de datos, inspección de equipos, instrumentos de medición utilizados y criterios empleados para el diagnóstico y evaluación de la infraestructura eléctrica de las instalaciones del Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios.

#### **3.1. Delimitación del campo de estudio**

El estudio está limitado a la infraestructura de distribución eléctrica en baja tensión en el Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios, incluyendo el cuarto de bombeo aledaño al mismo.

#### **3.2. Metodología para el levantamiento de la instalación eléctrica actual**

A continuación, se describe la metodología utilizada para realizar el levantamiento de una parte de los elementos que componen la instalación eléctrica del área en estudio.

##### **3.2.1. Levantamiento de cargas eléctricas**

Para el levantamiento de cargas eléctricas se realizó un recorrido y se contabilizó cada una de las luminarias, tomacorrientes y cargas especiales en todas las áreas del edificio.

- Luminarias

Para el caso de las luminarias, sus características de potencia, voltaje y flujo luminoso se asumieron según los valores típicos encontrados en instalaciones similares. Su ubicación y características se muestran en el plano 3/5 y 4/5 del apéndice 2. Las cargas completas incluyendo iluminación se pueden consultar en la sección 4.1.

- Tomacorrientes

Para el caso de los tomacorrientes, todos fueron considerados como de uso general por lo que la carga se asignó de 180 VA independientemente del voltaje o número de fases del mismo. Esto debido a que las cargas especiales se les asignó una potencia aparte, aunque estuvieran conectadas a dichos tomacorrientes. Al igual que las luminarias, la ubicación de los tomacorrientes se puede observar en los planos 3/5 y 4/5 del apéndice 2. Las cargas completas incluyendo tomacorrientes se pueden consultar en la sección 4.1.

- Cargas especiales

Finalmente, para el caso de las cargas especiales, sus características eléctricas de potencia, voltaje, número de fases y factor de potencia fueron obtenidas de su placa directamente o en caso de carecer de la misma, se asumieron los valores tomando como referencia los valores típicos encontrados de cargas iguales o similares. Para los equipos que están compuestos por varias cargas, se definió la potencia del equipo como la sumatoria de las potencias de las cargas que lo componen. No se consideraron como cargas especiales los siguientes equipos: computadoras, impresoras sencillas, televisores, ventiladores sencillos, radios, cargadores de celular, dispensadores de agua

fría/caliente ni pesas electrónicas, los cuales se asumirá cargados en los tomacorrientes de uso general. La ubicación física de las cargas especiales se puede encontrar en los planos 3/5 y 4/5 del apéndice 2. Las cargas completas incluyendo cargas especiales se pueden consultar en la sección 4.1.

### **3.2.2. Levantamiento de circuitos**

Un circuito ramal, como ya se definió en la sección 2.1.3.5.1, es el conjunto protección-conductor-carga encontrados en un tablero que alimentan una carga final. Por lo que no se consideró como circuito ramal al conjunto alimentador-protección que alimente a un tablero principal, tablero secundario o transformadores.

Los circuitos principales del sistema eléctrico del Edificio de Servicios de Apoyo se presentan en la tabla 4.2. En las tablas se especifican las siguientes características de los circuitos: referencia, descripción de la carga, tablero, número de polos, corriente nominal de protección termomagnética, calibre de conductor, posición en el tablero, número de fases, voltaje, corriente nominal de su *breaker*, cantidad de conductores por fase y calibre, y DME.

- Convención usada para definir la posición de un circuito en un tablero

Los polos del tablero se numeran de tal forma que el primero corresponde al que se encuentra en la parte más alta a la izquierda, el segundo el que se encuentra a su derecha, el tercero el que se encuentra inmediatamente abajo del primer polo y así sucesivamente. Se definió la posición del circuito en el tablero como el número del polo más pequeño abarcado por la protección termomagnética. Por ejemplo, un circuito trifásico ubicado en la parte más alta a la derecha en el tablero tendrá la posición “2”.

### **3.2.3. Levantamiento de tableros eléctricos**

Para el levantamiento de tableros, se realizó un recorrido en todas las áreas del edificio. La ubicación de todos los tableros encontrados se muestra en los planos 3/5 y 4/5 del apéndice 2. Posteriormente se tabuló la información de los tableros en la tabla 48 de la sección 4.3. con los siguientes campos: ref. circuito, etiqueta, descripción (del área o cargas que alimenta), sector designado, marca, número fases, número de polos, voltaje, corriente nominal de barras, calibre de alimentador y *breaker* principal.

- Determinación del DME (VA) del tablero

Para determinar este valor, se sumó algebraicamente la potencia aparente de todos los circuitos ramales conectados al tablero en cuestión, así como la potencia aparente total de todos los subtableros conectados a dicho tablero, habiendo aplicado los factores de demanda correspondiente.

### **3.2.4. Levantamiento de transformadores**

Se localizaron todos los transformadores del edificio, la ubicación de los mismos se indica en los planos 3/5 y 4/5 del apéndice 2. Posteriormente se tabularon en la tabla 49 de la sección 4.4, incluyendo los siguientes datos: No. de referencia, nombre o código de identificación (según etiqueta), descripción, número de fases, voltajes, tipo de conexión (delta-estrella, estrella-estrella, entre otros), calibre alimentador, corriente nominal de protección termomagnética en primario y potencia nominal del mismo.

### **3.2.5. Elaboración de diagrama unifilar**

El diagrama unifilar de la instalación eléctrica de distribución en baja tensión se muestra en los planos 1/5 y 2/5 del apéndice 2. Se incluyó información útil como el nombre o código de los tableros, corriente nominal de barras, corriente nominal de termomagnéticos, número de fases del circuito, el calibre de conductor, número de conductores por fase, potencia de transformadores, entre otros. Así mismo en los planos se incluye la nomenclatura utilizada.

### **3.3. Método de evaluación termográfica**

Para la evaluación termográfica se utilizó la cámara Fluke PTi 120. Se tomó un total de 12 termografías repartidas en los 4 tableros de mayor importancia del edificio (3 termografías por tablero).

Para evaluar los resultados se aplicará los criterios establecidos por la NETA (International Electrical Testing Association), los cuales indican que, si existe una diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares de más de 15 °C, el componente requiere atención o un posible cambio. Si esa comparación no fuera posible, se considerará lo mismo para aquellos casos en que la diferencia de temperatura entre el objeto de estudio y la del aire sea mayor a los 40 °C. Las termografías y el análisis de las mismas se pueden encontrar en la sección 5.2.

### **3.4. Criterios de selección y evaluación de elementos de potencia**

En esta sección se describe la metodología usada para determinar si se hizo o no una correcta selección de las capacidades de los elementos de potencia instalados en el edificio tal que soporten la carga y condiciones de trabajo actual,

es decir, las pautas para dictaminar si su diseño aún cumple con las solicitudes a las que está siendo sometido. Así mismo, se especifican los criterios usados para evaluar el aspecto físico.

### **3.4.1. Conductores eléctricos**

- Criterios de evaluación del diseño

El único aspecto de diseño (y más importante), que se evaluó de conductores eléctricos fue el calibre del mismo. El calibre se calculó tanto por ampacidad como por caída de voltaje. En la sección 6.1.1 se incluyen dos ejemplos de cálculo de calibre de conductor alimentador: uno por criterio de corriente y otro por criterio de caída de voltaje. Luego en la sección 7.1.1, se realiza la comparación entre los calibres calculados y los calibres instalados de conductores de alimentadores más importantes del edificio.

- Criterios de evaluación física

Los criterios de evaluación física de conductores se describen en la sección 2.1.3.4, los cuales fueron puestos en práctica durante el ejercicio profesional supervisado. Todos los hallazgos de carácter físico encontrados durante la inspección y que se deben corregir se resumen en la sección 5.1 de “Hallazgos generales”.

### **3.4.2. Canalizaciones**

Solo se evaluó las canalizaciones de los alimentadores de tableros. Su evaluación consistió en determinar si tiene el diámetro adecuado tal que el área transversal ocupada por los conductores no supere el 40 % del área interior total

del tubo como se vio en la sección 2.1.4.2. De no cumplirse, significa que no hay suficiente ventilación dentro del mismo y la canalización debe sustituirse por una de mayor diámetro. Una muestra de cálculo se encuentra en la sección 6.1.2 y la comparación de los diámetros calculados vs el diámetro instalado se puede encontrar en la Tabla 63 de la sección 7.1.2.

### **3.4.3. Protecciones eléctricas**

Solo se evaluó que la corriente nominal de las protecciones termomagnéticas de circuitos ramales, alimentadores de tableros y alimentadores de transformadores haya sido correctamente dimensionada atendiendo a los criterios establecidos en la sección 2.1.5.2. Posteriormente en la sección 6.1.3 se puede encontrar una muestra de cálculo por cada tipo de elemento y en la sección 7.1.3 se realiza una comparación de la corriente nominal de protecciones calculada vs la corriente nominal de protección instalada.

### **3.4.4. Tableros eléctricos**

- Criterios de evaluación del diseño

El único aspecto de diseño de tableros eléctricos que se evaluó fue la corriente de barras. En la sección 6.1.4 se puede encontrar una muestra de cálculo del mismo tomando en cuenta las directrices definidas en la sección 2.1.6.2. Luego en la tabla 65 de la sección 7.1.4 se compara la corriente de barras calculada vs la corriente de barras de tableros reales instalados. Determinando así cuales están sobrecargados si es que los hubiere.

- Criterios de evaluación física

La evaluación física de los tableros se hizo de acuerdo a las directrices definidas en la sección 2.1.6.3. Luego, los hallazgos importantes, si es hubiere, se recopilaron en la sección 5.1.

### **3.4.5. Transformadores eléctricos**

- Criterios de evaluación del diseño

El único aspecto de diseño de transformadores que se evaluó fue su potencia aparente nominal. En la sección 6.1.5 se puede encontrar una muestra de cálculo del mismo tomando en cuenta las directrices definidas en la sección 2.1.7.3. Luego en la tabla 66 de la sección 7.1.5 se compara la potencia aparente nominal calculada vs la potencia aparente nominal instalada de todos los transformadores del Edificio de Servicios de Apoyo (exceptuando el transformador de acometida principal, por alimentar cargas de otros edificios). A partir de dicha comparación, se estableció en esa misma sección las correcciones necesarias al sistema si es que las hubiere.

- Criterios de evaluación física

La evaluación física de los transformadores se hizo de acuerdo con las directrices definidas en la sección 2.1.7.2. Luego, los hallazgos importantes, si es hubiere, se recopilaron en la sección 5.1.

### **3.5. Método de evaluación de la caída de voltaje**

Se realizó mediciones de voltaje efectivo a la entrada de tableros mediante el multímetro digital MUL-605. En el caso de tableros monofásicos, se hizo una sola medición en un momento del día al azar, y en el caso de tableros trifásicos, se hicieron tres mediciones, una por cada combinación de líneas y se sacó su promedio también en un momento al azar del día. Por la magnitud del edificio no fue posible realizar las mediciones en la carga final. Los valores de voltaje se presentan en la tabla 50 de la sección 5.4. En esa misma tabla también se define el porcentaje de desviación obtenido. Para dictaminar si la caída de voltaje está en el rango óptimo se utilizó el criterio descrito en la sección 2.1.3.5.2. Donde se estableció un límite máximo de desviación para tableros secundarios del 2 %.

### **3.6. Método de evaluación del sistema de puesta a tierra física**

Se realizó una búsqueda de las cajas de registro del sistema de puesta a tierra, pero no se logró encontrar ninguna, tampoco hay información histórica del mismo. Por lo que no se pudo evaluar su estado. No obstante, en la sección 6.4 se sugiere un diseño de sistema de puesta a tierra física para el edificio.

### **3.7. Método de evaluación de plantas eléctricas y su transferencia**

En la sección 5.6 se realizó una descripción y levantamiento del sistema de generación de emergencia. También en la misma sección se evalúa aspectos de su estado físico, instalación y diseño. La evaluación de si la capacidad de potencia de los generadores es adecuada no se hará debido a que se tendría que determinar la carga de emergencia total en todos los edificios del hospital lo cual está fuera del alcance de este trabajo. En la sección 6.5 se presentan, a excepción de la potencia, criterios de diseño requeridos del grupo electrógeno y

luego en la sección 7.5 se realiza una comparación del diseño teórico requerido y el real del grupo electrógeno, así como las medidas para corregir problemas encontrados si es que los hubiere.

### **3.8. Método para la evaluación de la calidad de energía**

Se utilizó un analizador de red Unipower Unilyzer 902. El cual se configuró para realizar promedios de mediciones en periodos de 10 min. Se colocó en el secundario del transformador de acometida principal durante un periodo continuo de 8 días. Se inició el 22 de marzo de 2022 a las 14:20 hrs y se retiró el 30 de marzo de 2022 a las 15:40 hrs. De este estudio se obtuvieron una serie de gráficas y eventos de tensión que serán presentados y analizados en la sección 5.7 tomando como base las directrices de la sección 2.10.

### **3.9. Método para la evaluación y diseño de iluminación**

- Evaluación de la iluminación actual

Para evaluar la iluminación de las distintas áreas del Edificio de Servicios de Apoyo se hicieron mediciones de la iluminancia media  $E_m$  mediante el luxómetro STEREN HER-408. En la tabla 53 de la sección 5.8 se presenta una comparación entre los valores medidos y los valores recomendados por área tomando como referencia la tabla 25 de la sección 2.5.1 la cual fue elaborada a partir de la norma UNE 12464.1.

- Metodología para el diseño de iluminación

Se elaboró un diseño de iluminación de las áreas que no cumplieron con el nivel de iluminación recomendada según las directrices definidas en la

sección 2.5.2. Dicho diseño se presenta en la sección 6.2. Posteriormente en la sección 7.2 se realizó una comparación entre dicho diseño nuevo y el diseño real para determinar el número de luminarias faltantes, también en esta sección se define las medidas necesarias para corregir los problemas encontrados si es que los hubiere.

### **3.10. Método para evaluación del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas**

De acuerdo con la sección 2.3.1 de este trabajo (basada en la norma NF C 17-102: 1995), los edificios públicos, como el Hospital General San Juan de Dios, deben contar con protección antidescargas. Esta y otras consideraciones, así como el nivel de protección, se discutió en la sección 5.9. Posteriormente en la sección 6.6 se propone un diseño para dicho sistema y en la sección 7.6 se compara con el sistema instalado actualmente.



## **4. LEVANTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA ACTUAL**

En este capítulo se presenta, por medio de tablas y planos, la información recolectada de los elementos que componen la infraestructura de distribución de potencia eléctrica del Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios. Se debe tener presente que esta información está sujeta a actualizaciones debido al crecimiento o remodelación de las instalaciones.

### **4.1. Levantamiento de cargas eléctricas**

Las cargas del edificio se distribuyen según su tablero principal en los siguientes sectores:

- Alimentación normal (no emergencia) (TA0)
  - Fuerza normal lavandería (TA15)
  - Fuerza normal almacén suministro (TA24)
  - Iluminación normal todas las áreas (TA6)
  - Fuerza normal cocina (TA29)
  - Fuerza normal calderas (TA5)
  
- Alimentación emergencia (TA7)
  - Fuerza emergencia lavandería (TA11)
  - Iluminación emergencia todas las áreas (TA8)
  - Montacargas lavandería (MC1)
  - Fuerza emergencia calderas (TA1)
  - Fuerza emergencia cocina (TA31)

- Montacargas almacén farmacia (MC2)

A continuación, se presenta una serie de tablas que recopilan todas las cargas del Edificio de Servicios de Apoyo:

**Tabla 36.**

*Cargas fuerza normal lavandería (TA11)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
J4	Secadora a vapor huebsch I-44kd42s	240	3	0.5	1650	825
J10	Secadora electrica speed queen	208	3	0.5	30000	15000
J11	Lavadora washex warning 46/76 flap2	480	3	1	20000	20000
J12	Lavadora extractora industrial 40nedp-3	480	3	1	20000	20000
J13	Lavadora renzacci lx-55	208	3	1	2500	2500
J14	Lavadora renzacci lx-55	208	3	1	2500	2500
J15	Lavadora renzacci lx-55	208	3	1	2500	2500
J17	Extractor gases	208	3	1	4600	4600
J18	Extractor gases	208	3	1	4600	4600
J19	Extractor gases	208	3	1	4600	4600
N/A	8 tomacorrientes uso general	120	1	1	1440	1440
					DME (VA)	78565

*Nota.* Dispositivos en área de Lavandería. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 37.***Cargas fuerza normal almacén suministros (TA24)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
A1	Microondas	120	1	1	1000	1000
A2	Microondas	120	1	1	1000	1000
A3	Congelador	120	1	1	500	500
A4	Congelador	120	1	1	500	500
A5	Congelador	120	1	1	800	800
C1	Microondas	120	1	1	1000	1000
C2	Refrigerador	120	1	1	500	500
D1	Impresora Workcentre	120	1	1	800	800
D2	A/C Tempblue	120	1	1	1200	1200
E1	Congelador	120	1	1	800	800
E2	Horno de resistencia	120	1	1	1000	1000
N/A	39 tomacorrientes uso general 180va c/u	120	1	1	7020	7020
N/A	1 tomacorriente trifásico	208	1	1	180	180
					DME (VA)	13800

*Nota.* Dispositivos en almacén de suministros. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 38.***Cargas iluminación normal todas las áreas (TA6)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
N/A	Iluminación normal todas las áreas	120	1	1	12825	12825
F1	Cafetera eléctrica	120	1	1	500	500
F2	Pesa digital	120	1	1	50	50
F3	Impresora 2575	120	1	1	800	800
F4	Impresora hp laser jet pro	120	1	1	450	450
K1	A/C n4a360akn400	208	2	1	8000	8000
K2	A/C n4a360akn400	208	2	1	8000	8000
K3	Impresora Canon Dadf-ag1	120	1	1	500	500
K4	Microondas mediano	120	1	1	800	800
K5	Dispensador frigidaire	120	1	1	420	420
N/A	71 tomacorrientes uso general 180va c/u	120	1	1	12780	12780
N/A	4 tomacorrientes 208v 180va c/u	208	2	1	720	720
					DME (VA)	45845

*Nota.* Dispositivos de iluminación en todas las áreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 39.***Cargas fuerza normal cocina (TA29)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
G1	Amasadora	208	3	1	1000	1000
G2	Licuada grande	120	1	1	500	500
G5	Licuator/picadora Hobart	208	3	1	3200	3200
G6	Licuada/picadora Hobart	208	3	1	2700	2700
G7	Pelapapas Hobart	115	1	1	2000	2000
G8	Esmeril Bench Grinder	110	1	1	900	900
G9	Refrigerador Parker	115	1	1	600	600
G11	Cortadora sandwich	110	1	1	250	250
G12	G. Paniz	110	1	1	250	250
G13	Batidora industrial Hobart	208	3	1	3600	3600
G14	Revolvedora alexander Werk	208	3	1	3600	3600
G17	Horno gas Venancio	110	1	1	1000	1000
G18	Licuada Croydon	110	1	1	1500	1500
G22	Picadora Venancio	110	1	1	650	650
G24	Mezcladora Grupo Alfa	220	3	1	6000	6000
G26	Horno de pan eléctrico Doyon	208	3	1	25000	25000
G27	Horno de pan eléctrico Zuchelli-Alpha	208	3	1	25000	25000
H1	Microondas pequeño	120	1	1	600	600
H2	Autoclave a vapor	208	3	1	500	500
H3	Refrigerador grande	110	1	1	800	800
H4	Congelador Grigidaire	110	1	1	800	800
N/A	32 tomacorrientes uso general 180va c/u	120	1	1	5760	5760
N/A	2 tomacorrientes bifásico 180va c/u	208	2	1	360	360
N/A	1 tomacorrientes trifásico 180va c/u	208	3	1	180	180
					DME (VA)	86750

Nota. Dispositivos en área de Cocina. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 40.***Cargas fuerza normal caldera (TA5)*

Ref carga	descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
N/A	9 tomacorrientes uso general 180va c/u	120	1	1	1620	1620
	Bomba planta de tratamiento	208	1	1	2580	2580
	Bomba planta de tratamiento	208	1	1	2580	2580
	Calentador eléctrico	208	1	1	1000	1000
					DME (VA)	7780

Nota. Dispositivos en área de Caldera. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 41.***Cargas fuerza emergencia lavandería (TA15)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
J1	Secadora a vapor Wasco 150-cs	240	3	0.5	1650	825
J2	Secadora a vapor Wasco 150-cs	240	3	0.5	1650	825
J3	Secadora a vapor Wasco 150-cs	240	3	0.5	1650	825
J5	Secadora a vapor Baldor Super Drynomic	460	3	0.5	10500	5250
J6	Secadora a vapor Poensgen-Sulzmann	460	3	0.5	6000	3000
J7	Secadora ADC d-190	208	3	0.5	1650	825
J8	Secadora ADC d-190	208	3	0.5	1650	825
J9	Secadora ADC d-190	208	3	0.5	1650	825
J16	Compresor 7100e15-v	240	3	1	14500	14500
N/A	7 tomacorrientes emergencia 180va c/u	120	1	1	1260	1260
					DME (VA)	28960

*Nota.* Dispositivos en área de Lavandería. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 42.***Cargas iluminación emergencia todas las áreas (TA8)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
N/A	Iluminación emergencia todas las áreas	120	1	1	6170	6170
N/A	13 tomacorrientes emergencia 180va c/u	120	1	1	2340	2340
N/A	3 tomacorrientes 3F emergencia 180va c/u	120	1	1	540	540
M1	Congelador Histomático arf-49	120	1	1	1600	1600
M2	Cuarto frio 1f 120v 1700va	120	1	1	1700	1700
M3	Cuarto frio 1f 120v 1700va	208	3	1	1700	1700
					DME (VA)	14050

*Nota.* Dispositivos de iluminación en todas las áreas. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 43.***Cargas fuerza emergencia calderas (TA1)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
N1	Bombas agua caliente	480	3	1	4500	4500
N2	Bombas agua caliente	480	3	1	4500	4500
N3	Caldera ICI Caldae gsx4000p	480	3	1	22000	22000
N4	Caldera ICI Caldae gsx4000p	480	3	1	22000	22000
N5	Caldera Keewanee	480	3	1	7000	7000
N6	Bomba	460	3	1	15500	15500
N7	Bomba	460	3	1	8600	8600
N8	Bomba	460	3	1	15500	15500
N9	Filtro carbón activado	120	1	1	150	150
N10	Filtro de sal	120	1	1	150	150
N11	Filtro de sal	120	1	1	150	150
N12	Filtro de sal	120	1	1	150	150
N13	Bomba químico	120	1	1	120	120
N/A	2 tomacorrientes emergencia 180va c/u	120	1	1	120	240
					DME (VA)	100560

*Nota.* Dispositivos de emergencia en el área de Calderas. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 44.***Cargas fuerza emergencia cocina (TA31)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
G3	Horno a gas	110	1	1	500	500
G4	Estufa plancha a gas	110	1	1	500	500
G10	Moledora defrijol	208	1	1	3100	3100
G15	Moledora de carne Hobart 3+a2:b2f	110	1	1	3100	3100
G16	Horno gas venancio	110	1	1	1000	1000
G19	Teflón o plancha Vulcan	120	1	1	360	360
G20	Teflón o plancha Vulcan	120	1	1	360	360
G21	Teflón o plancha Vulcan	120	1	1	360	360
G23	Moledora de carne Hobart	220	3	1	3100	3100
G25	Amasadora G.Paniz	220	1	1	800	800
G28	Horno eléctrico Fagor industrial	480	3	1	8200	8200
G29	Refrigerador grande Fogel	120	1	1	1000	1000
G30	Campana extracción	120	1	1	800	800
G31	Campana extracción	120	1	1	800	800
G32	Campana extracción	120	1	1	800	800
G33	Campana extracción	120	1	1	800	800
G34	Cuarto frío	120	1	1	1700	1700
N/A	3 tomacorrientes trifásicos eme 180va c/u	208	3	1	540	540
N/A	28 tomacorrientes emergencia 180va c/u	208	1	1	5040	5040
N/A	4 tomacorrientes bifásicos 180va c/u	208	1	1	720	720
I1	Congelador Durabrand	120	1	1	150	150
I2	Refrigerador Fogel	120	1	1	800	800
I3	Refrigerador GRS	115	1	1	250	250
I4	Refrigerador Fogel	115	1	1	800	800
I5	Refrigerador Asber	115	1	1	1600	1600
I6	Refrigerador reseo	115	1	1	250	250
I7-I12	Micro hematocrito Entrifuge	115	1	1	5400	5400
I13-I14	Pasteurizador ABL-65	208	1	1	7400	7400
I15	Pasteurizador RBL-65	208	1	1	3700	3700
I16	A/c innovar Vortex	208	1	1	7000	7000
I17	Pasteurizador abm-65	208	1	1	3700	3700
I18	Refrigerador Lg	115	1	1	800	800
I19	Incubadora	120	1	1	400	400
I20	Hoya All American	120	1	1	1800	1800
I21	Refrigeradora Lg	115	1	1	800	800
I22	Refrigerador Mabe	115	1	1	800	800
I23	Refrigerador Whirpool	115	1	1	800	800
					DME (VA)	70030

Nota. Dispositivos de emergencia en área de Cocina. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 45.***Cargas emergencia montacargas (TA7)*

Ref carga	Descripción	Voltaje (V)	No. fases	Factor de demanda FD	Potencia aparente (VA)	Potencia aparente FD aplicado (VA)
<b>MC1</b>	Montacargas Pixel Hydro lavandería	480	3	1	49000	49000
<b>MC2</b>	Montacargas Pixel Hydro almacen sum	480	3	1	49000	49000
					DME (VA)	98000

*Nota.* Dispositivos de emergencia en área de Montacargas. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### **4.1.1. Diagrama de ubicación de cargas eléctricas**

Ver plano 3/5 y 4/5 del apéndice 2.

#### **4.2. Levantamiento de circuitos eléctricos**

Los circuitos principales correspondientes al Edificio de Servicios de Apoyo se presentan en la tabla a continuación:

**Tabla 46.***Circuitos eléctricos principales del Edificio de Servicios de Apoyo*

Ref circuito	Descripción	Tablero origen	Posición en tablero	No. fases	Voltaje (V)	Corriente nominal breaker (A)	Calibre de conductor de línea	DME (VA)
<b>Alim-TA0</b>	Principal alimentación normal servicios de apoyo	Tablero principal servicio normal	N/A	3	480	567 (Ajuste)	2x250MCM	232740
<b>TA0-P1-1</b>	Cargas fuerza normal lavandería	TA0	1	3	480	225	2x4 AWG	78565
<b>TA0-P1-2</b>	Cargas fuerza normal almacén suministros	TA0	1	3	480	225	1x2 AWG	13800
<b>TA0-P7</b>	Cargas iluminación normal todas las áreas	TA0	7	3	480	125	1x1/0	45845
<b>TA0-P2</b>	Cargas fuerza normal cocina	TA0	2	3	480	225	1x3/0 + 1x2AWG	86750
<b>TA0-P14</b>	Cargas fuerza normal calderas	TA0	14	3	480	40	1x2AWG	7780
<b>Alim-TA7</b>	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	TE2-1-101	N/A	3	480	800	2x350MCM	311600
<b>TA7-P1</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería	TA7	1	3	480	225	1x2AWG	28960
<b>TA7-P7</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	TA7	7	3	480	150	1x1/0	14050
<b>TA7-P13</b>	Montacargas Pixel Hydro lavandería (MC1)	TA7	13	3	480	100	1x2AWG	49000
<b>TA7-P2</b>	Cargas fuerza emergencia calderas	TA7	2	3	480	225	2x2AWG	100560
<b>TA7-P8</b>	Cargas fuerza emergencia cocina	TA7	8	3	480	225	3x4AWG	70030
<b>TA7-P14</b>	Montacargas Almacén Sumi (MC2)	TA7	14	3	480	100	1x2AWG	49000

*Nota.* La nomenclatura da las indicaciones de que se trata, si de un alimentador o de un circuito. Elaboración propia, realizado con Excel.

Nota: la nomenclatura del circuito indica si se trata de alimentador de un tablero o de un circuito derivado y a la vez la posición dentro del mismo según el número de polo.

### 4.3. Levantamiento de tableros eléctricos

A continuación, se presenta una tabla que describe las características de todos los tableros encontrados en el Edificio de Servicios de Apoyo:

**Tabla 47.**

*Tableros Edificio de Servicios de Apoyo*

Ref. tablero	Etiqueta	Descripción	Ubicación	Sector	Marca	No. fases	No. polos	Voltaje (V)	Corriente nominal barras (A)	Calibre alimentador	Breaker principal
TA0	CDP1-101	Principal alimentación normal servicios de apoyo	Sótano: cuarto plantas eléctricas	N/A	Federa I.P.	3	24	480/277	800	2x250MCM	3x800A
TA1	TTFE1-102	General área calderas emergencia	Sótano: cuarto calderas	Fuerza emergencia calderas	Federa I.P.	3	42	480/277	225	2x2AWG	3x225A
TA2	Tablero 2 (T2) ICI Caldae	Calderas ICI Caldae	Sótano: cuarto calderas	Fuerza emergencia calderas	G.E.	3	24	208/120	150	1x1/0	3x150A
TA3	Tablero 3 (T3)	Calderas compresor	Sótano: cuarto calderas	Fuerza emergencia calderas	G.E.	3	12	208/120	125	1x10AWG	N/T
TA4	TTFE1-102	Calderas emergencia tomas	Sótano: cuarto calderas	Fuerza emergencia calderas	Federa I.P.	3	24	208/120	175	1x3/0	3x175A
TA5	TF1-102	General área calderas normal	Sótano: cuarto calderas	Fuerza normal calderas	Federa I.P.	3	30	208/120	125	1x2AWG	3x100A
TA6	CPI1-101	General iluminación normal todas áreas	Sótano: cuarto plantas eléctricas	Iluminación normal todas las áreas	Federa I.P.	3	30	208/120	225	1x4/0	3x225A
TA7	CDPE1-101	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	Sótano: cuarto plantas eléctricas	N/A	Federa I.P.	3	30	480/277	600	2x350MCM	3x600A
TA8	CDPE1-101	General iluminación emergencia todas áreas	Sótano: cuarto plantas eléctricas	Iluminación emergencia todas las áreas	Federa I.P.	3	26	208/120	225	1x4/0	3x200A
TA9	TI1-101	Iluminación normal plantas eléctricas y alrededores	Sótano: cuarto plantas eléctricas	Iluminación normal todas las áreas	Federa I.P.	2	8	208/120	125	1x6AWG	N/T
TA10	TIE1-101	Iluminación emergencia plantas eléctricas y alrededores	Sótano: cuarto plantas eléctricas	Iluminación emergencia todas las areas	Federa I.P.	1	8	120	125	1x6AWG	N/T
TA11	TTF1-106	General área lavandería normal	Sótano: área lavandería	Fuerza normal lavandería	Federa I.P.	3	24	480/277	225	1x2AWG	3x225A
TA12	Renazacci 1.2.3	Lavadoras renazacci	Sótano: área lavandería	Fuerza normal lavandería	G.E.	3	12	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA13	Tablero secadoras	Secadoras WASCO	Sótano: área lavandería	Fuerza emergencia lavandería	Federa I.P.	3	30	240/120	150	1x4AWG	N/T
TA14	TF1-106	Tomacorrientes normal lavandería	Sótano: área lavandería	Fuerza normal lavandería	Federa I.P.	3	42	208/120	225	1x4/0	3x225A
TA15	TTFE1-106	General área lavandería emergencia	Sótano: área lavandería	Fuerza emergencia lavandería	Federa I.P.	3	24	480/277	225	2x4AWG	3x225A
TA16	No tiene	Tomacorrientes emergencia lavandería	Sótano: área lavandería	Fuerza emergencia lavandería	Federa I.P.	3	30	208/120	150	1x8AWG	3x100A

Continuación de la tabla 47.

Ref. tablero	Etiqueta	Descripción	Ubicación	Sector	Marca	No. fases	No. polos	Volt (V)	Corriente nominal barras (A)	Calibre alimentador	Breaker principal
TA17	TIE1-106	Iluminación de emergencia área lavandería	Sótano: área lavandería	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	125	1x6AWG	N/T
TA18	TI1-106	Iluminación normal área lavandería	Sótano: área lavandería	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	24	208/120	225	1x1/0	N/T
TA19	TIE1-104	Iluminación emergencia área almacén farmacia	Sótano: área almacén farmacia	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x6AWG	N/T
TA20	TI1-104	Iluminación normal área almacén farmacia	Sótano: área almacén farmacia	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	12	208/120	100	1x4AWG	N/T
TA21	No tiene	Iluminación y fuerza almacén y oficina farmacia	Sótano: área almacén farmacia	Iluminación normal todas las áreas	G.E.	2	8	208/120	125	1x6AWG	N/T
TA22	No tiene	Tomacorrientes 208v centro almacén farmacia	Sótano: área almacén farmacia	Iluminación normal todas las áreas	G.E.	2	8	208/120	125	1x8AWG	N/T
TA23	No tiene	Cuartos fríos almacén farmacia	Sótano: área almacén farmacia	Iluminación emergencia todas las áreas	G.E.	2	4	208/120	125	1x8AWG	N/T
TA24	TTF1-217	General área almacén suministros normal	1er Nivel: área almacén suministros	Fuerza normal almacén suministros	Federal P.	3	24	480/277	225	1x2AWG	3x100A
TA25	TF1-217	Tomacorrientes normal almacén suministros, corredor y comedor	1er Nivel: área almacén suministros	Fuerza normal almacén suministros	Federal P.	3	28	208/120	175	1x3/0	3x175A
TA26	TFE1-217	Tomacorrientes emergencia almacén suministros	1er Nivel: área almacén suministros	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	3	18	208/120	100	1x2AWG	3x100A
TA27	TI1-217	Iluminación normal área almacén suministros	1er Nivel: área almacén suministros	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x4AWG	N/T
TA28	TIE1-217	Iluminación emergencia área almacén suministros	1er Nivel: área almacén suministros	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x4AWG	N/T
TA29	TTF1-209	General área cocina normal	1er Nivel: cuarto eléctrico cocina	Fuerza normal cocina	Federal P.	3	32	480/277	225	1x3/0 + 1x2AWG	N/T
TA30	TF1-209	Cargas normal cocina	1er Nivel: cuarto eléctrico cocina	Fuerza normal cocina	Federal P.	3	42	208/120	225	1x4/0	3x225A
TA31	TTFE1-209	General área cocina emergencia	1er Nivel: cuarto eléctrico cocina	Fuerza emergencia cocina	Federal P.	3	32	480/277	225	3x4AWG	3x225A
TA32	TFE1-209-1	Cargas emergencia cocina	1er Nivel: cuarto eléctrico cocina	Fuerza emergencia cocina	Federal P.	3	42	208/120	150	1x1/0	3x150A
TA33	TFE1-209-2	Cargas emergencia cocina	1er Nivel: cuarto eléctrico cocina	Fuerza emergencia cocina	Federal P.	3	42	208/120	150	1x1/0	3x150A

Continuación de la tabla 47.

Ref. tablero	Etiqueta	Descripción	Ubicación	Sector	Marca	No. fases	No. polos	Voltaje (V)	Corriente nominal barras (A)	Calibre alimentador	Breaker principal
TA34	TTRFE1-209	Principal cuartos fríos almacén cocina	1er Nivel: cuartos fríos almacén cocina	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	3	36	208/120	225	1x2AWG	3x100A
TA35	No tiene	Cuartos fríos almacén cocina.	1er Nivel: cuartos fríos almacén cocina	Iluminación emergencia todas las áreas	G.E.	2	8	208/120	125	1x2AWG	N/T
TA36	TFE1-207	Cargas emergencia almacén cocina.	1er Nivel: entrada sur almacén cocina	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	3	12	208/120	100	1x6AWG	3x50A
TA37	TF1-207	Cargas normal almacén cocina, área montacargas y cambiadores.	1er Nivel: entrada sur almacén cocina	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	3	12	208/120	100	1x6AWG	3x50A
TA38	TIE1-207	Iluminación emergencia almacén cocina, área montacargas y cambiadores.	1er Nivel: entrada sur almacén cocina	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x6AWG	N/T
TA39	T11-207	Iluminación normal almacén cocina, área montacargas y cambiadores 1er nivel.	1er Nivel: entrada sur almacén cocina	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	12	208/120	100	1x4AWG	N/T
TA40	T11-209A	Iluminación normal área jefatura nutrición y dietética, panadería y parcial cocina.	1er Nivel: área jefatura nutrición y dietética	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x4AWG	N/T
TA41	TIE1-209A	Iluminación emergencia área jefatura nutrición y dietética, panadería y parcial cocina.	1er Nivel: área jefatura nutrición y dietética	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x6AWG	N/T
TA42	TFCAR-213	Cargas normal lactario pediatría y adultos	1er Nivel: área lactario adultos	Fuerza normal cocina	Federal P.	3	24	208/120	225	2x2AWG	3x225A
TA43	No tiene	Tomacorrientes normal área lactario pediatría y adultos	1er Nivel: área lactario adultos	Fuerza normal cocina	G.E.	2	18	208/120	125	1x6AWG	N/T
TA44	No tiene	Secadoras ADC	Sótano: área lavandería	Fuerza emergencia lavandería	G.E.	3	12	208/120	125	1x1/0	N/T
TA45	No tiene	Lavadoras renazacci	Sótano: área lavandería	Fuerza normal lavandería	G.E.	3	12	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA46	No tiene	Carga compresor y reflectores emergencia	Sótano: área lavandería	Fuerza emergencia lavandería	G.E.	3	12	208/120	125	1x6AWG	N/T
TA47	No tiene	Carga compresor y reflectores emergencia	Sótano: costado este de edificio	Fuerza emergencia lavandería	G.E.	3	12	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA48	No tiene	Cargas fuerza e iluminación área de Subestación	Sótano: área de Subestación	Fuerza emergencia lavandería	SIEMENS	2	8	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA49	No tiene	Cargas fuerza e iluminación oficina almacén farmacia	Sótano: área oficina almacén farmacia	Iluminación normal todas las áreas	G.E.	3	18	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA50	No tiene	Cargas tienda sindicato	1er nivel: tienda sindicato salida norte	Fuerza normal almacén suministros	G.E.	2	4	208/120	125	1x4AWG	N/T
TA51	No tiene	Cargas fuerza e iluminación cambiador de mujeres lavandería	Sótano: cambiador de mujeres lavandería	Iluminación normal todas las áreas	G.E. THQP	1	8	208/120	125	2x10AWG	N/T
TA52	No tiene	Iluminación normal cocina	1er Nivel: Salón cocina	Iluminación normal todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x6AWG	N/T

Continuación de la tabla 47.

Ref. tablero	Etiqueta	Descripción	Ubicación	Sector	Marca	No. fases	No. polos	Voltaje (V)	Corriente nominal barras (A)	Calibre alimentador	Breaker principal
TA53	No tiene	Iluminación emergencia cocina	1er Nivel: Salón cocina	Iluminación emergencia todas las áreas	Federal P.	2	8	208/120	100	1x6AWG	N/T
TA54	No tiene	Esterilizador (desuso)	1er Nivel: área lactario pediatría	Fuerza normal cocina	Desconoc	3	N/A	208/120	Sin barras	1x2AWG	3x100A
TA55	No tiene	Fuerza e iluminación banco de leche humana	1er Nivel: área banco de leche humana	Fuerza emergencia cocina	G.E.	3	24	208/120	125	1x2AWG	N/T
TA56	Caterpillar, Kohler	Breaker plantas eléctricas	Sótano: cuarto plantas eléctricas	Iluminación emergencia todas las áreas	Cutler-Hammer	2	8	208/120	125	Desconocido	N/T

*Nota.* Dispositivos conectados en diferentes áreas de los tableros. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 4.3.1. Diagrama de ubicación de tableros eléctricos

Ver plano 3/5 y 4/5 del apéndice 2.

#### 4.4. Levantamiento de transformadores eléctricos

Las características de los transformadores encontrados en el Edificio de Servicios de Apoyo se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 48.***Transformadores Edificio de Servicios de Apoyo*

No. Referencia transformador	Etiqueta	Descripción	No. fases	Voltaje (V)	Tipo conexión	Calibre alimentador	Breaker aguas arriba	Potencia nominal (kVA)
<b>Transformador principal</b>	No tiene	Subestación principal Hospital General San Juan de Dios	3	13.2k/480-277	Delta-estrella	2x35mm <sup>2</sup>	3x400A	3500
TR1	TRE1-102	Cargas fuerza emergencia área calderas	3	480/208-120	Delta-estrella	1x4AWG	3x70A	50
TR2	ICI CALDAE	Calderas ICI CALDAE	3	480/240-120	Delta-delta	1x1/0	3x100A	50
TR3	TRI-102	Cargas fuerza normal área calderas	3	480/208-120	Delta-estrella	1x2AWG	3x40A	30
TR4	TRI-101	Iluminación normal todas las áreas	3	480/208-120	Delta-estrella	1x1/0	3x125A	112.5
TR5	TRE1-101	Iluminación emergencia todas las áreas	3	480/208-120	Delta-estrella	1x1/0	3x150A	112.5
TR6	TR1-106	Cargas fuerza normal área lavandería	3	480/208-120	Delta-estrella	1x2AWG	3x100A	75
TR7	TRE1-106	Tomacorrientes y secadoras ADC fuerza emergencia área lavandería	3	480/208-120	Delta-estrella	1x8AWG	3x40A	30
TR8	No tiene	Desconocido	3	480/240-120	Delta-delta	1x1/0	Barras TA15	45
TR9	TRI-217	Cargas fuerza normal almacén suministros	3	480/208-120	Delta-estrella	1x3/0	3x70A	50
TR10	TRI-209	Cargas fuerza normal área cocina	3	480/208-120	Delta-estrella	1x3/0	3x100A	112.5
TR11	TRE1-209	Cargas fuerza emergencia área cocina	3	480/208-120	Delta-estrella	1x4AWG	2x70A	50
TM1/TM2	No tiene	Cargas emergencia secadoras Wasco y compresor lavandería	2 monofásicos (delta abierta)	480/240-120	Delta-delta	1x4AWG	3x100A	53

*Nota.* Distribución de los transformadores en las diferentes partes del edificio. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 4.4.1. Diagrama de ubicación de transformadores

Ver plano 3/5 y 4/5 del apéndice 2.

#### 4.5. Diagramas unifilares

Ver plano 1/5 y 2/5 del apéndice 2.

## **5. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

En este capítulo se evalúan varios aspectos de la instalación eléctrica del Edificio de Servicios de Apoyo del Hospital General San Juan de Dios.

### **5.1. Hallazgos generales**

Los hallazgos de índole general son los siguientes:

- La marca de la mayoría de los tableros eléctricos de este edificio (Federal Pacific) está discontinuada.
- Se encontró que no se respetó el código de colores de conductores en ninguno de los alimentadores de tableros.
- Los tableros TA12, TA30, TA42, TA20, TA15, TA13, TA16, TA4 y TA32 tienen su entrada de alimentación en paralelo con otros circuitos, lo cual es una práctica insegura.
- El conductor de la carga J10 (secadora eléctrica), en el área de Lavandería no tiene ninguna canalización en gran parte de su trayecto.
- El cuarto eléctrico de cocina se ocupa como almacén de papelería desechada, cuando debería estar completamente despejada para facilitar el acceso y evitar peligro de incendio.

- Una buena parte de los conductores es cable rígido (unipolar), el cual ya está obsoleto.
- El alimentador de tablero TA34 debe ser reemplazado debido a que el mismo se nota quemado a simple vista.

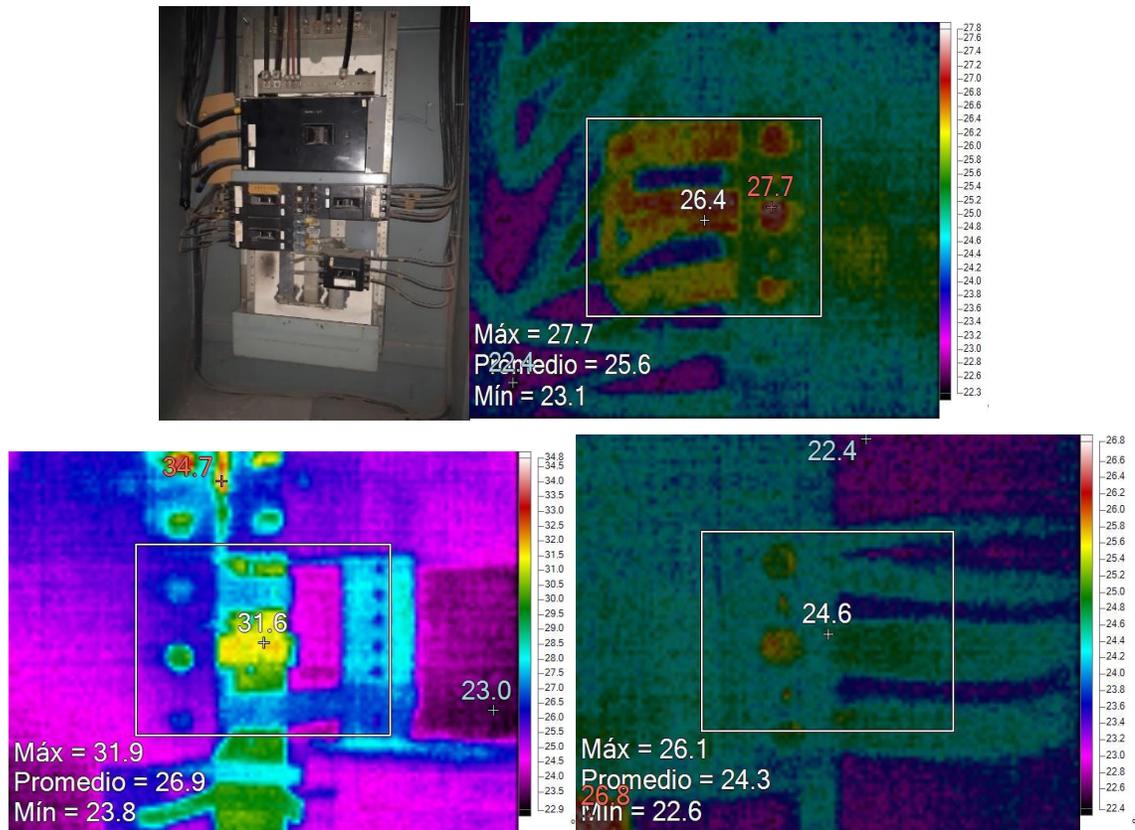
## **5.2. Análisis termográfico**

Se realizó un análisis termográfico a los tableros eléctricos más significativos, siendo estos: TA0, TA7, TA6 y TA11.

- TA0 (Tablero principal alimentación normal servicios de apoyo)

**Figura 57.**

*Termografías tablero TA0*



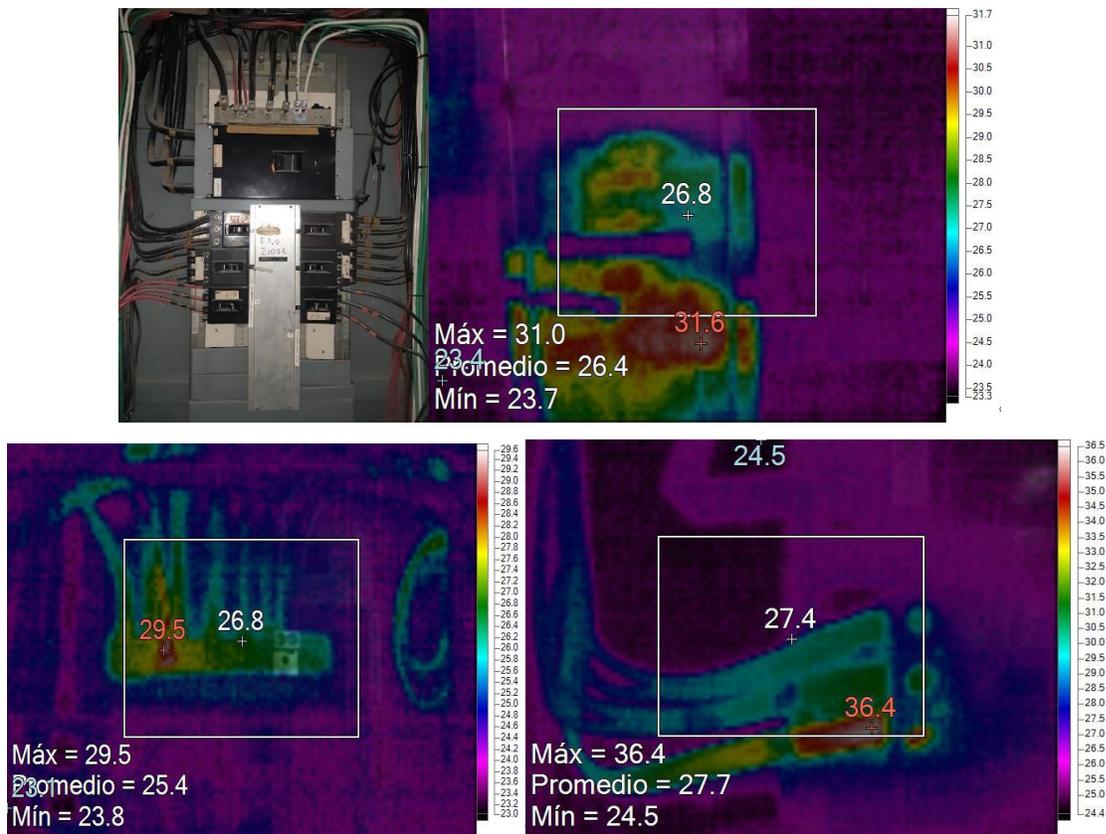
*Nota.* Termografía en el área del Sótano. Elaboración propia, realizado con cámara termográfica.

En estas imágenes se puede apreciar que, como es de esperarse, existe una mayor temperatura en barras y conductores comparado con su periferia, no obstante, no hay presencia de puntos calientes ni temperatura excesiva, siendo la temperatura más alta encontrada de 34.7 °C.

- TA7 (Tablero principal alimentación emergencia servicios de apoyo)

**Figura 58.**

*Termografías tablero TA7*



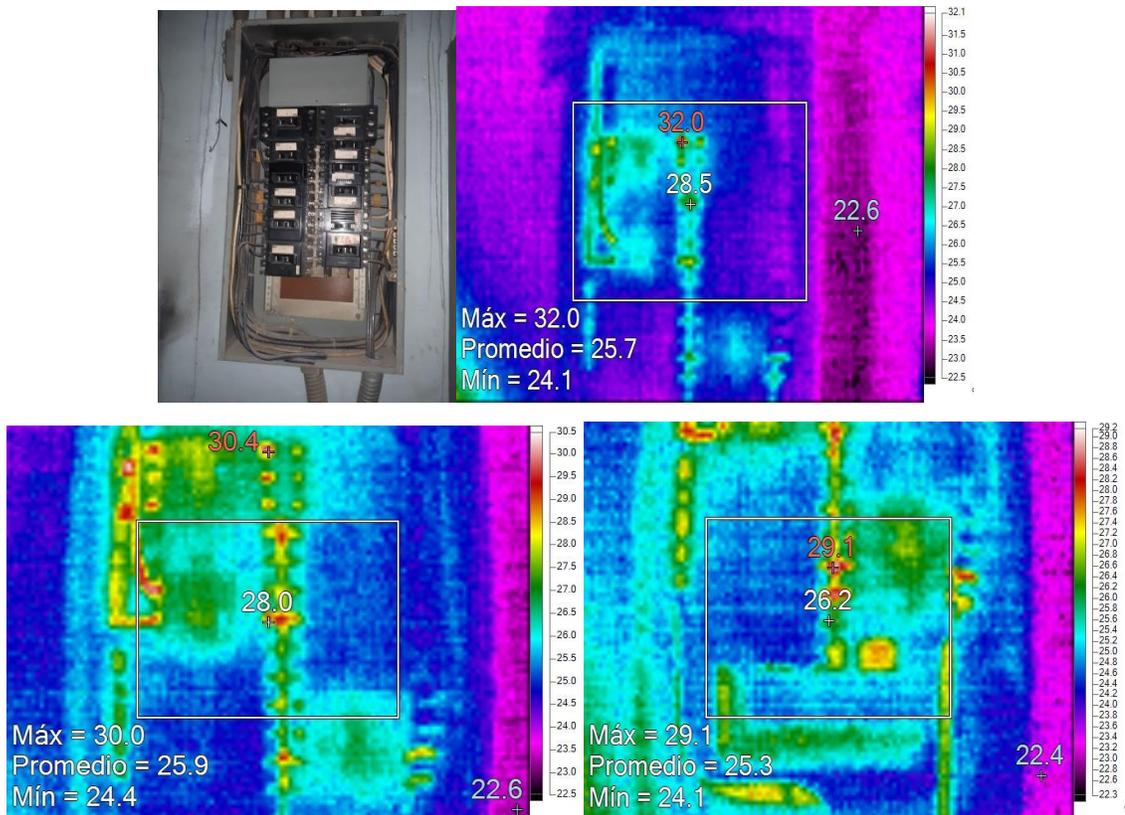
*Nota.* Termografía en el área del Sótano. Elaboración propia, realizado con cámara termográfica.

Las termografías de este tablero arrojan que existe una diferencia de aproximadamente 5 °C en las líneas del *breaker* en la posición 1 así como un aparente punto caliente en la barra de neutro. Se recomienda verificar la causa, en ambos casos puede deberse a un desbalance en la carga del circuito, cable deteriorado o un tornillo flojo.

- TA6 (Tablero general iluminación normal todas las áreas)

**Figura 59.**

*Termografías tablero TA6*



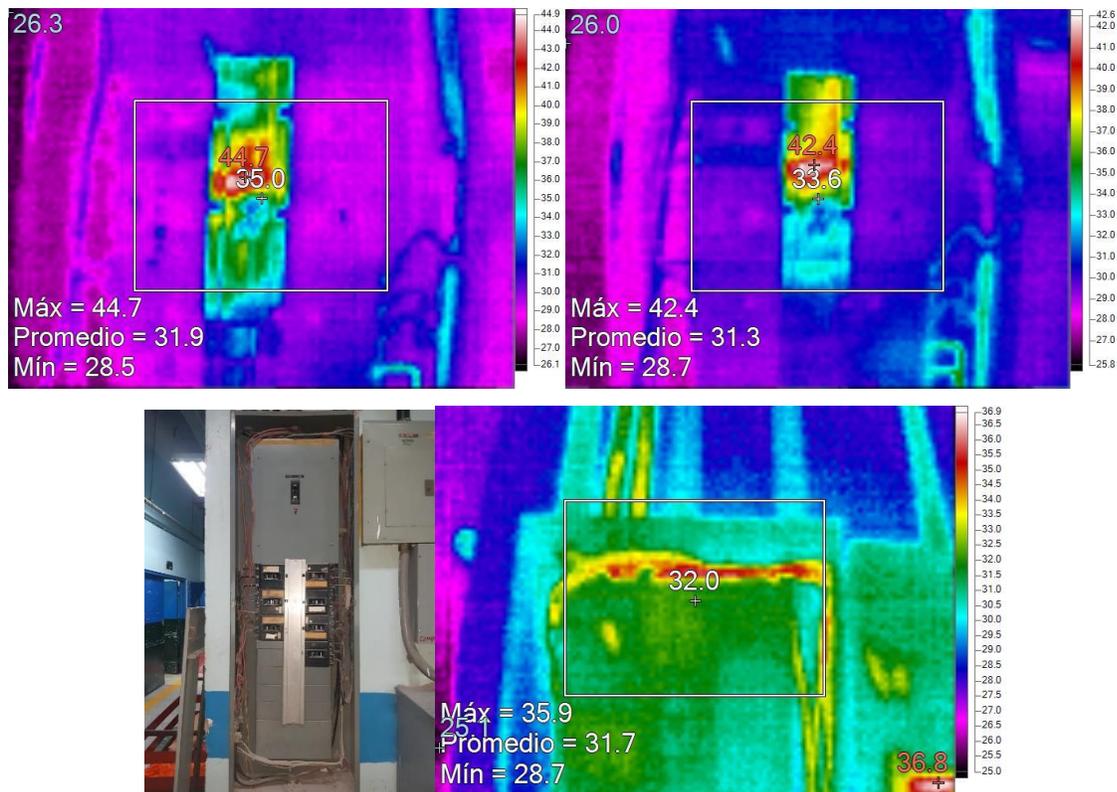
*Nota.* Termografía en el área del Sótano. Elaboración propia, realizado con cámara termográfica.

En este tablero no existe ningún tipo de anomalía térmica. No hay puntos calientes, ni temperatura excesiva en barras ni conductores. Siendo la temperatura más alta registrada de 32 °C.

- TA11 (Tablero general fuerza normal lavandería)

**Figura 60.**

*Termografías tablero TA11*



*Nota.* Termografía en el área del Sótano. Elaboración propia, realizado con cámara termográfica.

En las imágenes se evidencia la existencia de una región caliente en la tapa metálica central de los disyuntores, llegando a los 44.7 °C. Se debe inspeccionar el apriete y estado general de las barras en esa zona.

### 5.3. Verificación de la existencia de sobrecarga en componentes

En general, los componentes principales de distribución de potencia eléctrica del Edificio de Servicios de Apoyo cuentan con capacidad sobrada, con

algunas excepciones. A continuación, se resumen los hallazgos realizados en la sección 7.1:

- Conductores: de todos los conductores analizados, no se encontró riesgo de sobrecarga en ninguno.
- Protecciones: las protecciones de los circuitos Alim-A0, TA0-P7, TA0-P14, Alim-TA7 y TA7-P8 deben ser evaluadas, y las protecciones de los circuitos TA0-P1-2, TA0-P2, TA7-P1 requieren una acción correctiva (véase sección 7.1.3).
- Tableros: de todos los tableros analizados, no se encontró riesgo de sobrecarga en ninguno.
- Transformadores: se encontró riesgo de sobrecarga en los transformadores TA2 y TA11 (véase sección 7.1.5).

#### **5.4. Verificación de la caída de voltaje**

Los voltajes promedio encontrados en tableros, así como el porcentaje de desviación respecto del voltaje base (480, 240, 208 y 120V), se presentan en la tabla continuación:

**Tabla 49.***Voltaje en tableros*

<b>Ref. Tablero</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Caída de voltaje porcentual</b>
TA0	468	2.5
TA1	465	3.1
TA2	236	1.7
TA3	207	0.5
TA4	206	1.0
TA5	209	-0.5
TA6	211	-1.4
TA7	465	3.1
TA8	214	-2.9
TA9	214	-2.9
TA10	124	-3.3
TA11	474	1.3
TA12	220	-5.8
TA13	232	3.3
TA14	219	-5.3
TA15	467	2.7
TA16	219	-5.3
TA17	209	-0.5
TA18	212	-1.9
TA19	210	-1.0
TA20	208	0.0
TA21	207	0.5
TA22	207	0.5
TA23	202	2.9
TA24	459	4.4
TA25	212	-1.9
TA26	210	-1.0
TA27	210	-1.0
TA28	210	-1.0
TA29	466	2.9
TA30	212	-1.9
TA31	467	2.7
TA32	211	-1.4
TA33	208	0.0
TA34	211	-1.4
TA35	209	-0.5
TA36	214	-2.9
TA37	211	-1.4
TA38	213	-2.4

Continuación de la tabla 49.

<b>Ref. Tablero</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Caída de voltaje porcentual</b>
TA39	215	-3.4
TA40	208	0.0
TA41	208	0.0
TA42	208	0.0
TA43	208	0.0
TA44	208	0.0
TA45	209	-0.5
TA46	207	0.5
TA47	208	0.0
TA48	214	-2.9
TA49	204	1.9
TA50	210	-1.0
TA51	209	-0.5
TA52	207	0.5
TA53	207	0.5
TA54	207	0.5
TA55	206	1.0
TA56	208	0.0

Nota. La tabla muestra la caída de voltaje porcentual. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla anterior se puede observar la existencia de algunos valores negativos, los cuales indican que en vez de una caída de voltaje hay un voltaje mayor al voltaje base. Por otra parte, se puede observar que no hay ningún tablero con caída de voltaje mayor al 5 %, pero sí hay algunos con caída mayor al 2 %, siendo estos: TA0, TA1, TA7, TA7, TA13, TA15, TA23, TA24, TA29 y TA31.

## **5.5. Evaluación del sistema de puesta a tierra**

A continuación, se muestran las únicas dos puestas a tierras que se logró encontrar:

## **Figura 61.**

*Puestas a tierra encontradas en el Edificio de Servicios de Apoyo*



*Nota.* Puesta a tierra en la subestación del edificio. Elaboración propia.

La imagen de la izquierda muestra una conexión lateral del transformador TR1, la cual va hacia una varilla de puesta a tierra y en la imagen de la derecha se puede apreciar el conductor de puesta a tierra del panel de la subestación principal del edificio, pero se desconoce la ubicación de la caja de registro en ambos casos y tampoco hay registros de la misma, por lo que la medición de resistencia de puesta a tierra fue inviable.

### **5.6. Evaluación de planta eléctrica y transferencia automática**

A continuación, se evalúan aspectos importantes del sistema de generación de emergencia:

- Levantamiento

El sistema principal de generación de emergencia del Hospital General San Juan de Dios está compuesto por los siguientes elementos:

- Planta Caterpillar

Potencia aparente: 938 KVA

Voltaje: 277/480V

FP: 0.8

Combustible: Diesel

**Figura 62.**

*Planta Caterpillar*



*Nota.* Cuarto de máquinas, Hospital General San Juan de Dios. Elaboración propia.

- Planta Kohler

Potencia aparente: 750 KVA

Voltaje: 277/480V

FP: 0.8

Tipo de servicio: Alternativo

Combustible: Diesel

**Figura 63.**

*Planta Kohler*



*Nota.* Cuarto de máquinas, Hospital General San Juan de Dios. Elaboración propia.

- Panel de transferencia automática
  - 1 Panel de tres celdas SIEMENS

- 1 Juego de barras trifásicas 1200 A más barras de neutro y tierra.
- 4 Interruptores de 1600A WL I 1600 S.
- 1 Sistema de control gobernado por microcontrolador LOGO.

Nota: el diagrama del mismo está representado en el plano 1/5 del apéndice 2.

**Figura 64.**

*Panel de transferencia automática*



*Nota.* Sistema principal de generación de emergencia del Hospital General San Juan de Dios.  
Elaboración propia.

- Evaluación general del sistema

Se hizo una inspección física del estado operativo, así como de aspectos de diseño e instalación. Los hallazgos realizados son los siguientes:

- La planta Caterpillar está inoperativa, debe rehabilitarse lo antes posible.
- La planta Kohler tiene fuga de aceite.
- Se debe mejorar la iluminación del área.
- Se debe mejorar la limpieza del área ya que esto puede ser perjudicial para el funcionamiento de los generadores.
- Se debe evaluar el sistema de control, ya que se reporta que en una ocasión no encendió automáticamente ninguna planta cuando hubo pérdida de una fase en la acometida de EEGSA.
- Se debe reemplazar un calentador de bloque de la planta Kohler. Se ha reportado malfuncionamiento del mismo.

### **5.7. Análisis de calidad de energía**

Se utilizó un analizador de red Unipower Unilyzer 902. El cual se configuró para realizar promedios de mediciones en periodos de 10 min. Se colocó en el secundario del transformador de acometida principal del hospital durante un periodo continuo de 8 días. Se inició el 22 de marzo de 2022 a las 14:20 hrs y se retiró el 30 de marzo de 2022 a las 15:40 hrs.

Las gráficas y eventos obtenidos se evalúan en las secciones a continuación:

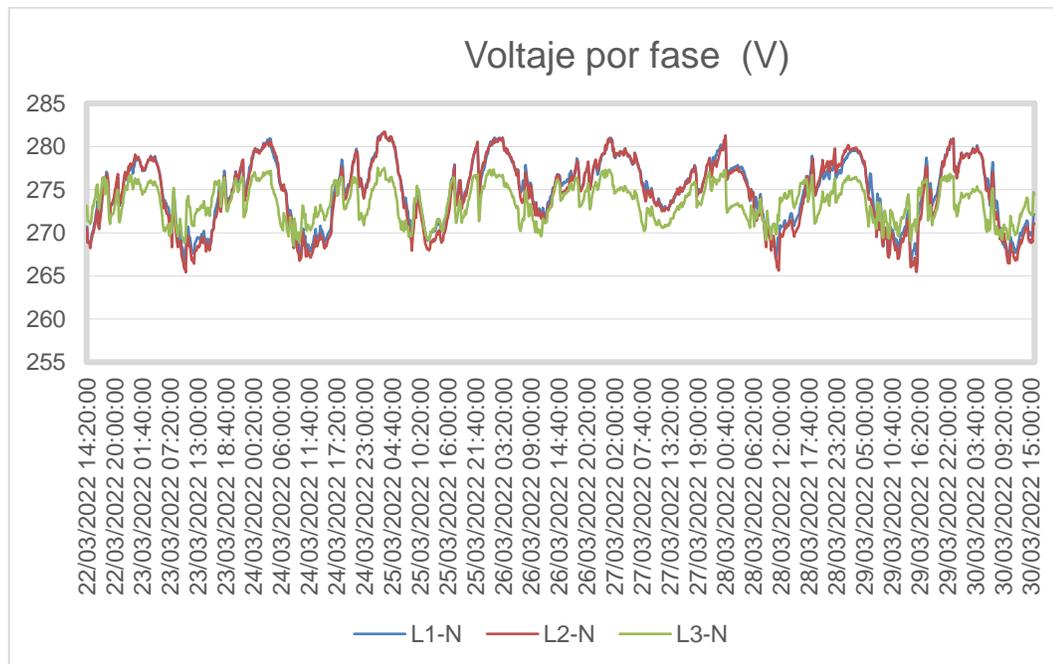
### 5.7.1. Voltaje

Potencia o fuerza eléctrica que se expresa en voltios

- Voltaje por fase

**Figura 65.**

*Voltaje por fase*



*Nota.* Voltaje de fase tomado en fechas y tiempos. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la gráfica anterior se puede notar que la línea 3 tiene un valor consistentemente menos variable y desviado del resto de líneas. Por su parte, las líneas 1 y 2 tienen una oscilación considerablemente mayor, teniendo un valor mínimo registrado de 266 V (96 % del nominal de 277 V) y un máximo de 282 V aproximadamente (102 %).

- *Sags y swells*

**Tabla 50.**

*Sags y swells registrados*

Fecha y hora	Fase	Valor porcentual	Voltaje (V)	Voltaje base (V)	Duración (ms)
<b>26/03/2022 07:16:05.592</b>	U1	82.29	227.94	277	66.719
26/03/2022 16:39:24.025	U2	80.8	223.82	277	66.693
29/03/2022 06:16:29.020	U3	87.99	243.74	277	50

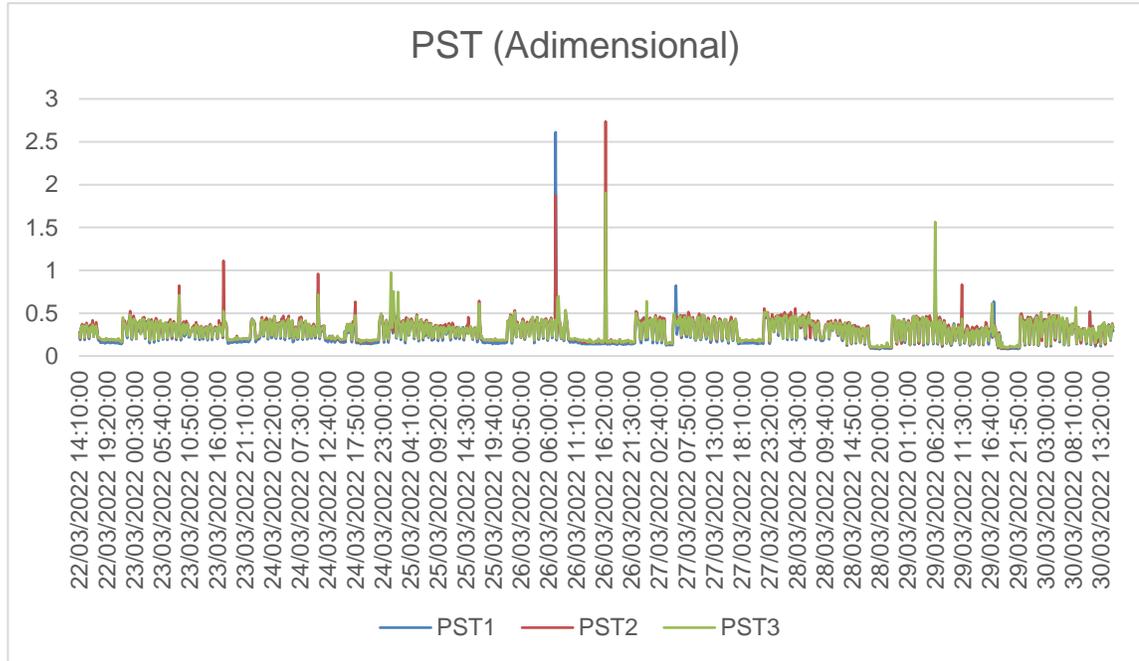
*Nota.* Huecos registrados en diferentes fechas y tiempos registrados. Elaboración propia, realizado con Excel.

Se presentaron, durante el intervalo de medición, un total de tres sags (huecos), cada uno en una fase distinta. Considerando la norma EN-50160 mencionada en la sección 2.10.1 que expresa que el número de huecos de tensión esperado en un año puede ir de algunas decenas a un millar y que la mayor parte de los huecos tiene una duración de menos de un segundo. Se puede decir entonces que los resultados obtenidos están dentro de lo que se puede considerar tolerable.

- *Flicker*

**Figura 66.**

*Índice PST*

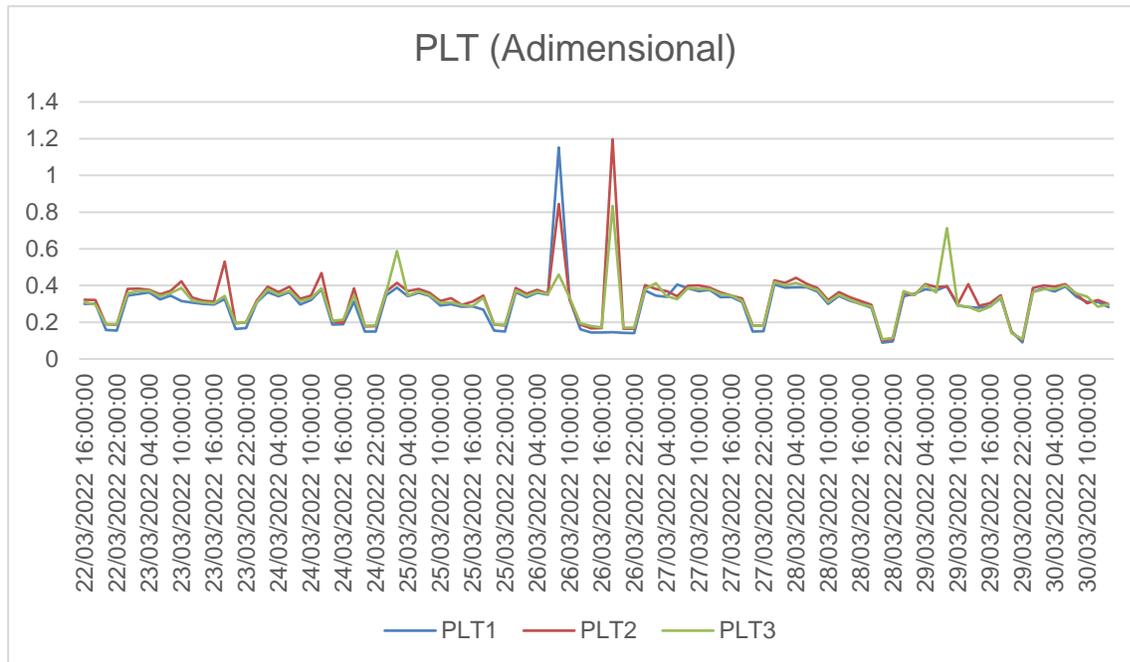


*Nota.* PST del *flicker*. Elaboración propia, realizado con Excel.

De acuerdo con la norma EN 50160 discutida en la sección 2.10.1, se considera que el *flicker* de corto plazo es perjudicial cuando el PST tiene un valor mayor a 1 en más del 5 % del tiempo total empleado en el periodo de medición. Dicho valor se superó en unas pocas ocasiones (menos del 1 % del tiempo total de medición). Por lo tanto, los resultados reflejan que no existe problema de *flicker* de corto plazo en base al PST medido en la instalación.

**Figura 67.**

Índice PLT



*Nota.* PLT del *flicker*. Elaboración propia, realizado con Excel.

De acuerdo con la norma EN 50160 discutida en la sección 2.10.1, se considera que el *flicker* de largo plazo es perjudicial cuando el PLT tiene un valor mayor a 0.65 en más del 5 % del tiempo total empleado en el periodo de medición.

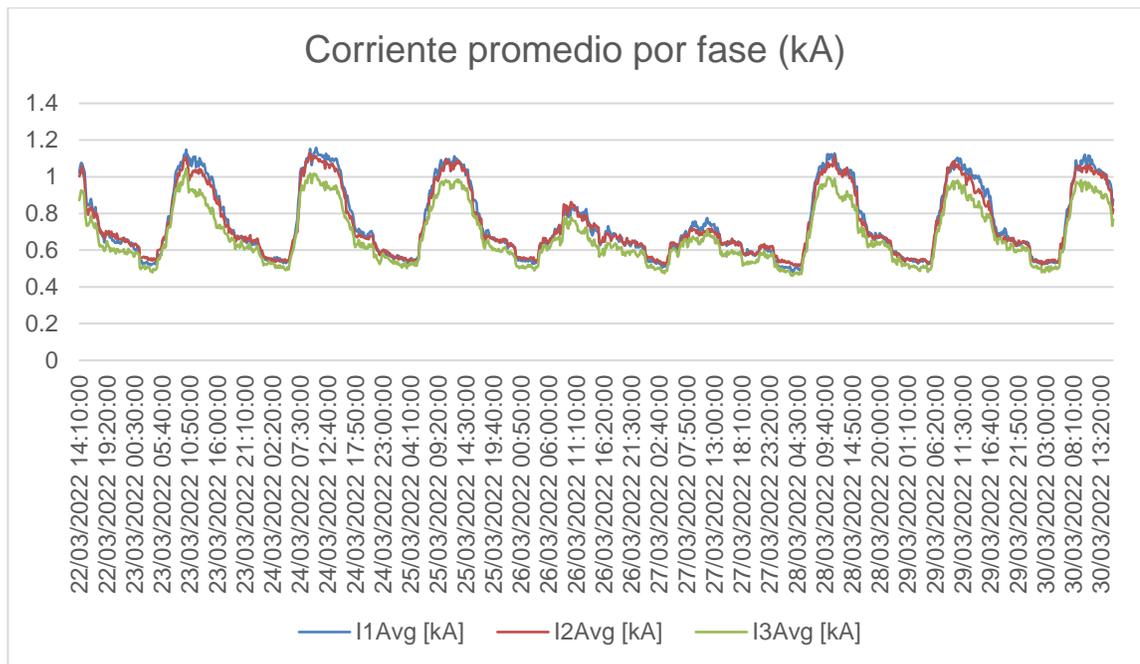
En la gráfica se puede observar que el PLT tiene un valor mayor a 0.65 en aproximadamente 2 ocasiones en todo el lapso de medición por cada fase. Sumando un aproximado de 6 hrs en total por fase. Lo cual representa un 3.6 % del tiempo total de medición (una semana), por lo tanto, el *flicker* de largo plazo según el índice PLT medidos no es perjudicial en la instalación.

### 5.7.2. Corriente

Flujo de carga eléctrica que recorre materiales conductores. En la Figura 68 se presenta la corriente del *flicker*.

**Figura 68.**

*Corriente por fase*

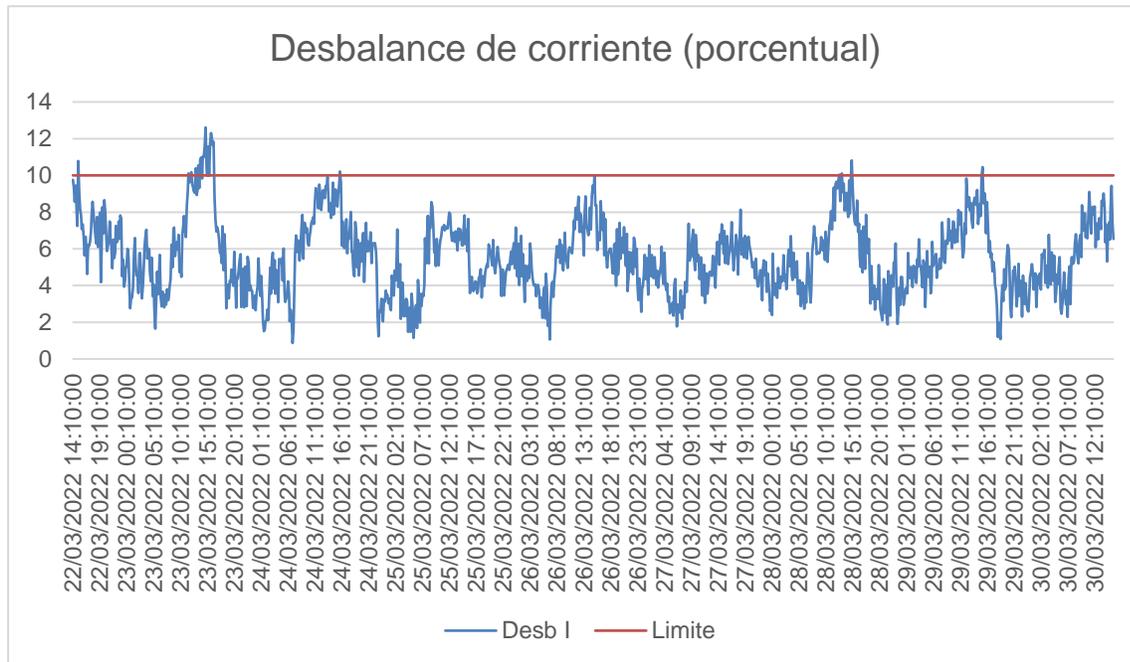


*Nota.* Corriente del *flicker*. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la gráfica anterior se puede notar que la corriente tiene un patrón diario bien definido en días entre semana, y un patrón a la baja en sábado y domingo (26 y 27 de marzo de 2022). Los valores de corriente van de 500 amperios pasado la media noche a 1100 amperios a las 11:00 AM aproximadamente en días hábiles. Se puede notar también que la línea 3 mantiene valores notoriamente inferiores de corriente, lo que derivará en desbalance de corriente.

**Figura 69.**

*Desbalance de corriente*



*Nota.* Desbalance del flicker. Elaboración propia, realizado con Excel.

Basado en la sección 2.10.2 de este trabajo, el límite máximo de desbalance de corriente se estableció en 10 %, en esta misma sección también se estableció el método para su cálculo a partir del cual se generó la gráfica de la figura 69. En dicha gráfica se puede ver que este valor fue superado en algunos momentos durante el periodo de medición, más concretamente, se estableció que el desbalance de corriente superó el límite de 10 % en un tiempo equivalente al 1.97 % del tiempo total del periodo de medición. En términos generales, se debe averiguar la causa de dicho desbalance que, aunque no supere el límite máximo en la mayor parte del tiempo, sí tiene un valor anormal, fácilmente distinguible en la figura 69. Una posible causa es una distribución no uniforme de cargas monofásicas en el hospital.

### 5.7.3. Factor de potencia

Mediante el análisis de calidad de energía, se obtuvo los siguientes valores de energía total consumida en un período continuo de 8 días y fracción:

**Tabla 51.**

*Energías totales consumidas*

<b>Energía activa (kWh)</b>	<b>Energía reactiva (kVARh)</b>	<b>Energía aparente (kVAh)</b>
103731.0	47758.17	115118.20

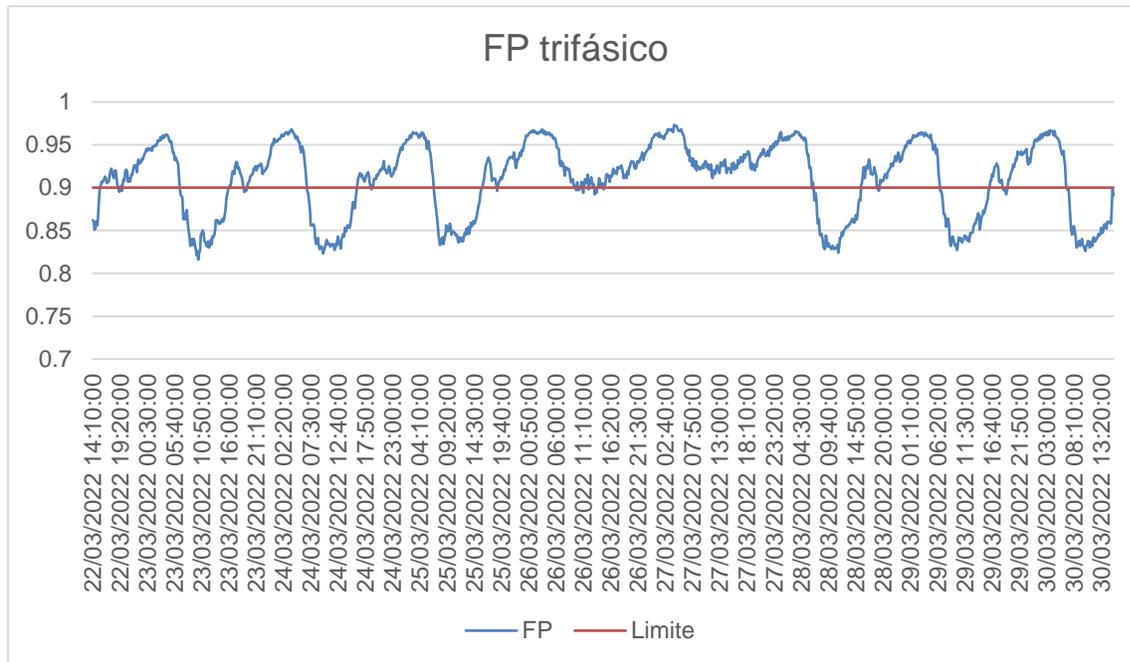
*Nota.* Energía consumida de todo el edificio. Elaboración propia, realizado con Excel.

A partir de los datos de esta tabla y siguiendo el procedimiento indicado en la sección 2.7.3 de este trabajo (con base en las NTSD), se obtuvo un factor de potencia de 0.908, que por ser mayor a 0.9 no incurrió en ninguna penalización (potencias > 11 KW). Aunque está al borde de la penalización; un valor adecuado de factor de potencia debería estar alrededor de 0.95.

Por otra parte, se midió el factor de potencia trifásico en periodos cortos, obteniendo la gráfica a continuación:

**Figura 70.**

*Factor de potencia trifásico FP*



*Nota.* Comportamiento del factor de potencia FP. Elaboración propia, realizado con Excel.

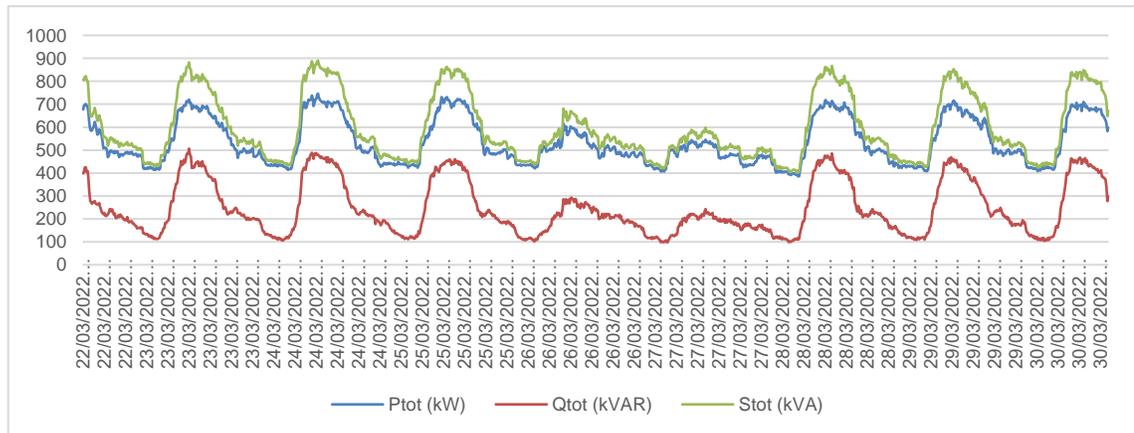
El promedio de todos los valores de la gráfica anterior es de 0.910. Esto nuevamente comprueba que el factor de potencia acumulado del hospital está a punto de ser penalizado y que el banco de capacitores automatizado no está cumpliendo su función debido a que el factor de potencia ha disminuido a valores debajo del límite mínimo en múltiples ocasiones.

#### **5.7.4. Potencia**

Los valores de potencia del hospital se representan mediante los gráficos a continuación:

**Figura 71.**

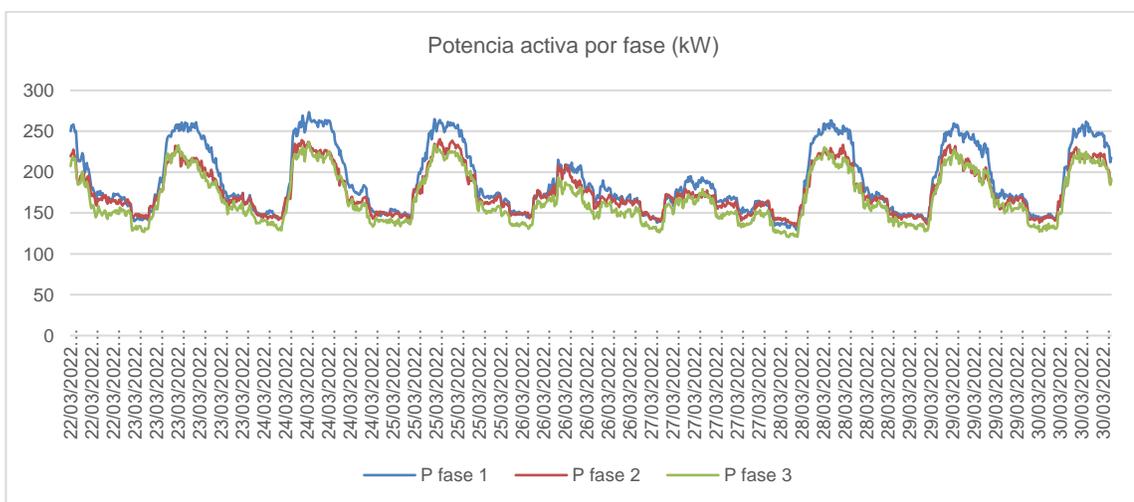
*Potencia trifásica activa, reactiva y aparente*



*Nota.* Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 72.**

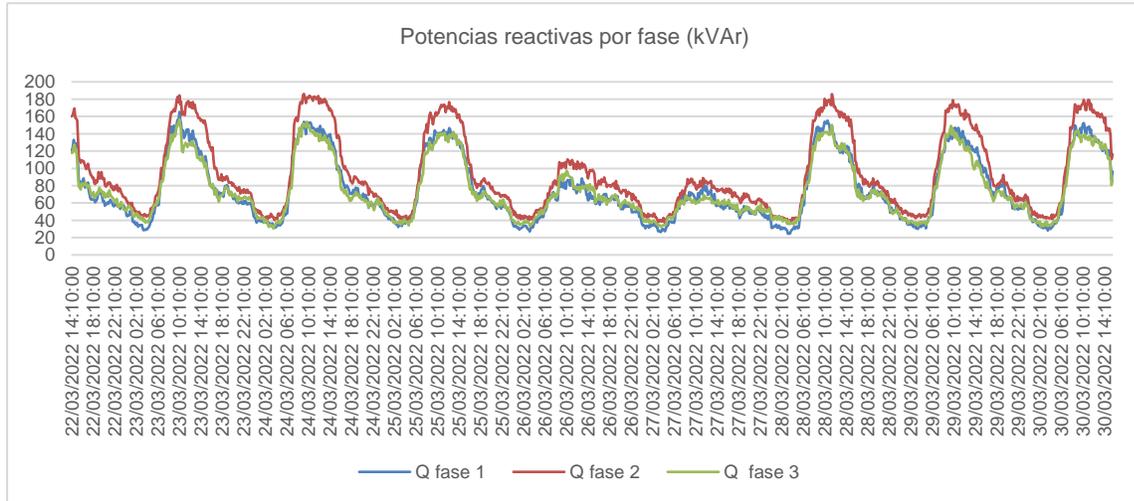
*Potencia activa por fase*



*Nota.* Comportamiento de la potencia activa. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 73.**

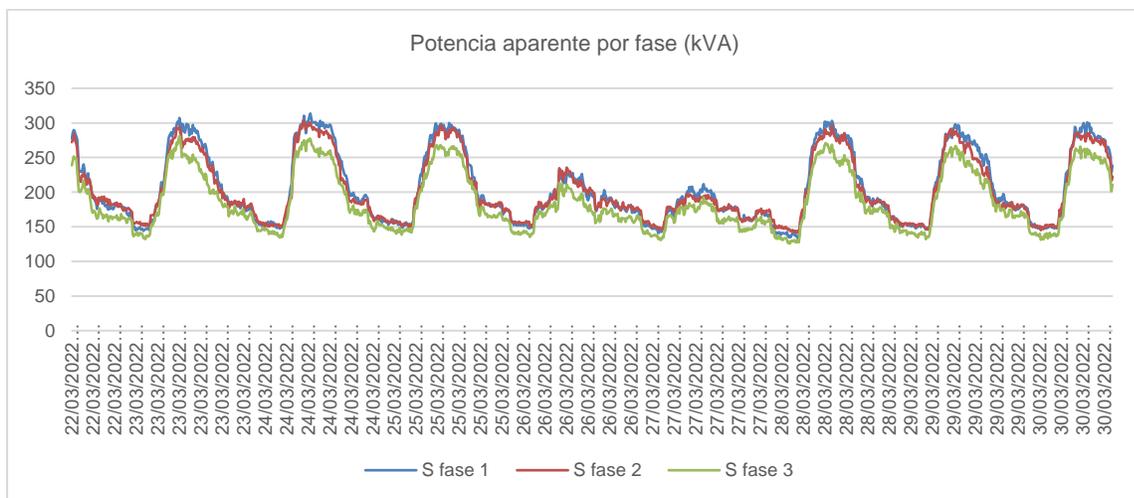
*Potencia reactiva por fase*



*Nota.* Comportamiento de la potencia reactiva. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 74.**

*Potencia aparente por fase*



*Nota.* Comportamiento de la potencia aparente. Elaboración propia, realizado con Excel.

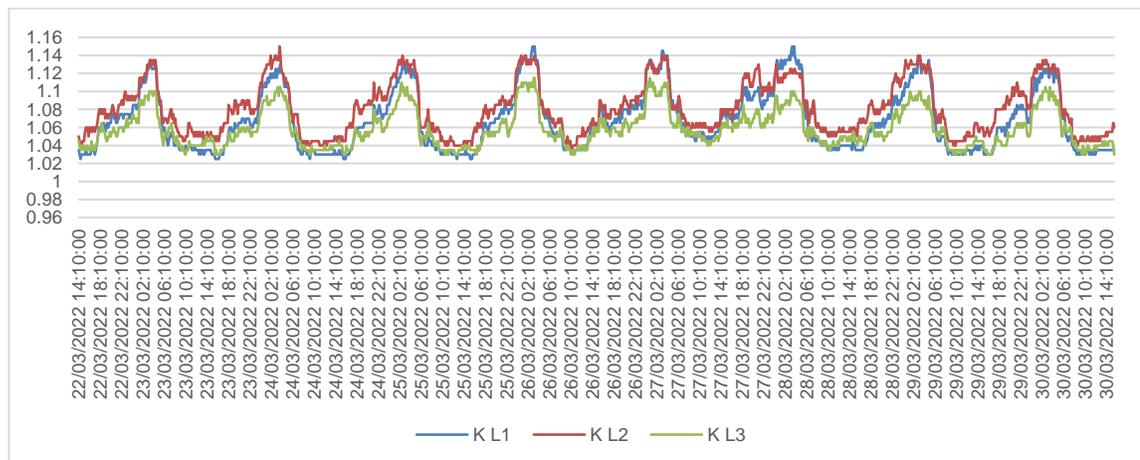
En la gráfica de la figura 71, se puede notar que la potencia reactiva es considerablemente grande, aunque sigue siendo menor que la potencia activa. Por otro lado, de la gráfica de la figura 72 se puede constatar que la carga activa instalada en la fase 1 es mayor que en el resto de fases. En la gráfica de la figura 73 se puede notar que la carga reactiva de la fase 2 es mayor que en el resto de las fases. Finalmente, en la gráfica de la figura 74 se puede notar que la fase 3 transfiere menos potencia aparente que el resto. Con estos resultados se comprueba que las cargas no están uniformemente distribuidas entre las 3 fases lo que puede ocasionar problemas de desbalance de corriente y desbalance de voltaje.

### 5.7.5. Factor K

Indicador que permite valorar la capacidad de un transformador para soportar efectos térmicos que producen las corrientes armónicas.

**Figura 75.**

*Factor K*



*Nota.* Comportamiento del factor K. Elaboración propia, realizado con Excel.

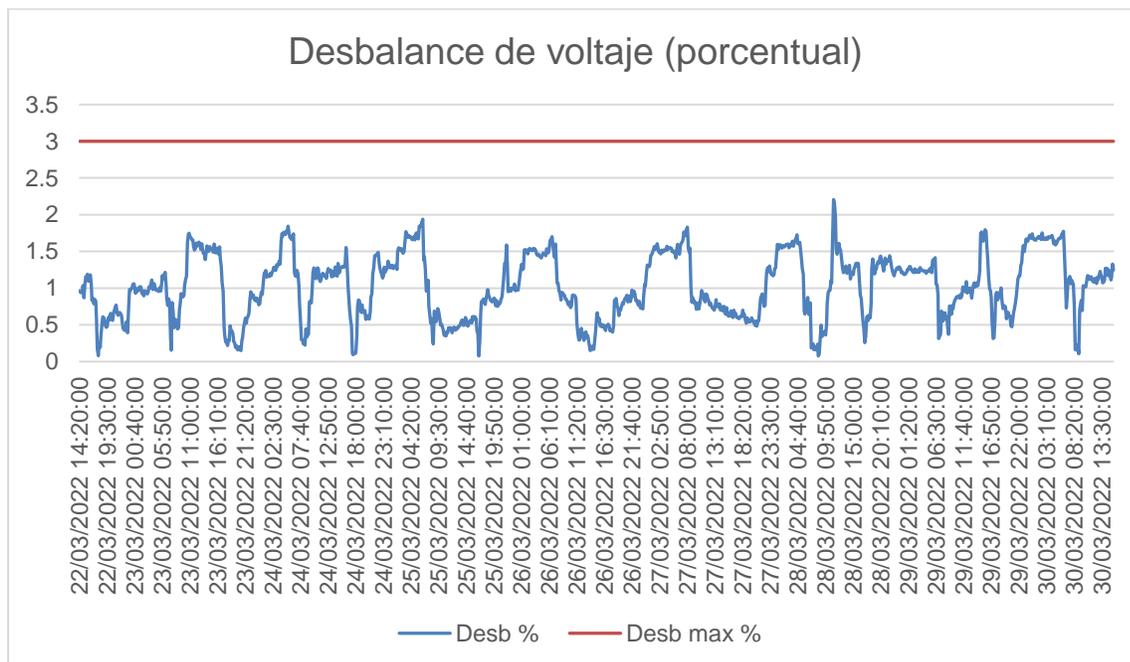
En la gráfica anterior se puede ver que el factor k de la instalación no pasa de 1.16 lo cual es un valor normal que no levanta ningún tipo de alarma de malfuncionamiento. Esto quiere decir que el transformador no sufrirá deterioro por tema de factor k.

### 5.7.6. Desbalance de voltaje

Anteriormente en la sección 2.10.7 se presentó la fórmula para el cálculo del desbalance de voltaje, la cual se empleó para generar la gráfica a continuación:

**Figura 76.**

*Desbalance de voltaje*



*Nota.* Comportamiento del desbalance de voltaje. Elaboración propia, realizado con Excel.

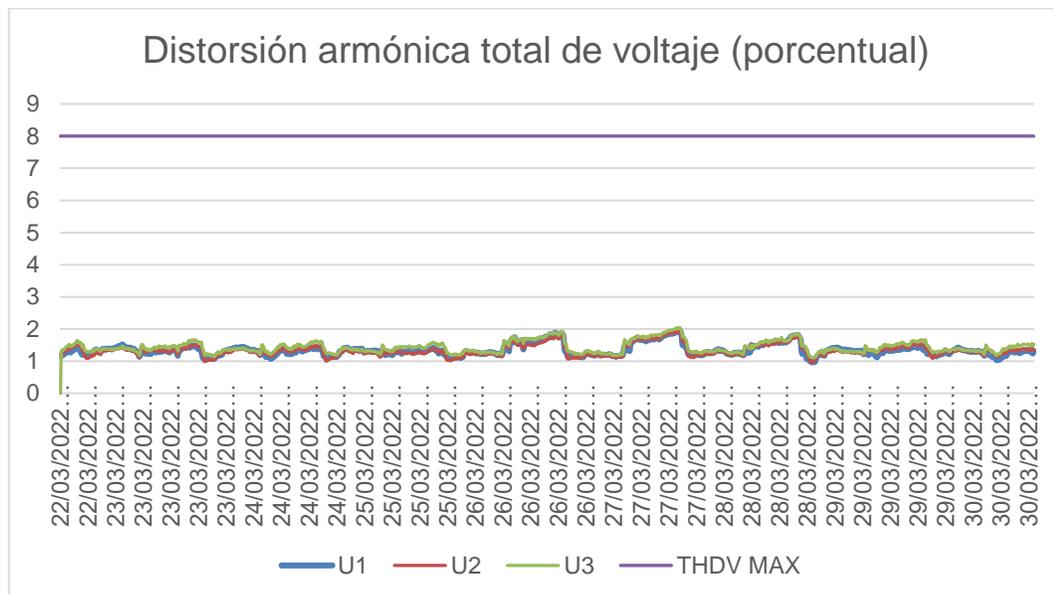
Existe cierto desbalance como se puede notar en la figura 76, no obstante, el mismo nunca superó el límite máximo del 3 % establecido por las NTSD. Por lo que no se puede hablar de un problema de desbalance de voltaje en las instalaciones del Edificio de Servicios de Apoyo.

### 5.7.7. Distorsión armónica

- Distorsión armónica total en tensión (*THDV*)

**Figura 77.**

*THDV*



*Nota.* Comportamiento del THDV. Elaboración propia, realizado con Excel.

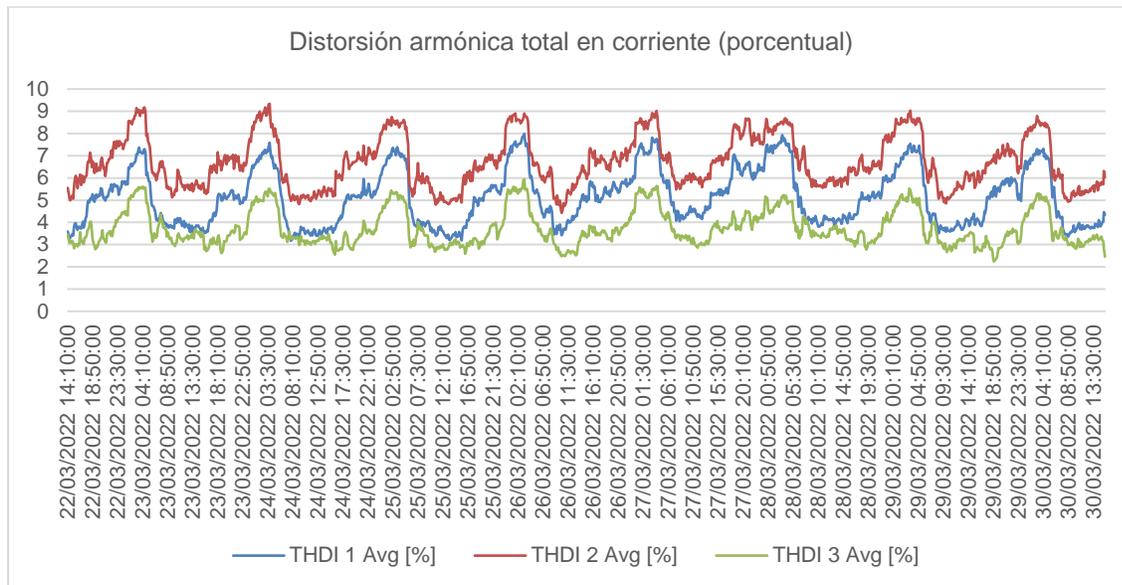
En la gráfica anterior se comprueba que la distorsión armónica total de voltaje en ningún momento superó el límite máximo del 8 % establecido por las NTSD, ni el límite máximo de 5 % establecido por la IEEE 519. Por lo que se

dictamina que no hay problemas relacionados a la distorsión armónica de voltaje proveniente de la red eléctrica.

- Distorsión armónica total en corriente (*THDI*)

**Figura 78.**

*THDI*



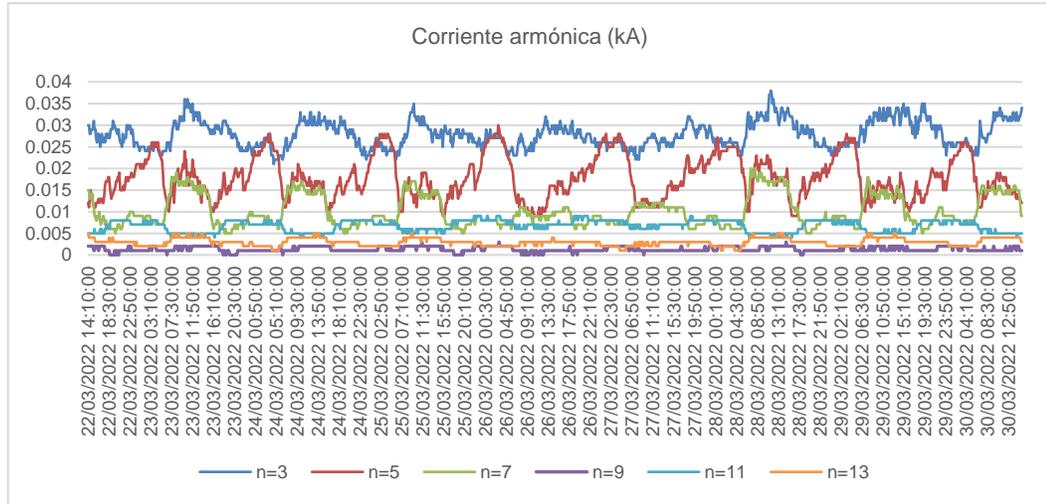
*Nota.* Comportamiento del THDI. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 35 mostrada en la sección 2.10.6.2 de este trabajo, la cual fue extraída de las NTSD, en su columna para voltaje entre 1 kV y 60 kV y potencia mayor a 10 kW, muestra que el límite máximo del THDI es 20 %. Este valor no es superado como se puede ver en la gráfica de la figura 78, por lo que la instalación está dentro del rango permisible.

- Corrientes armónicas individuales por orden (n)

**Figura 79.**

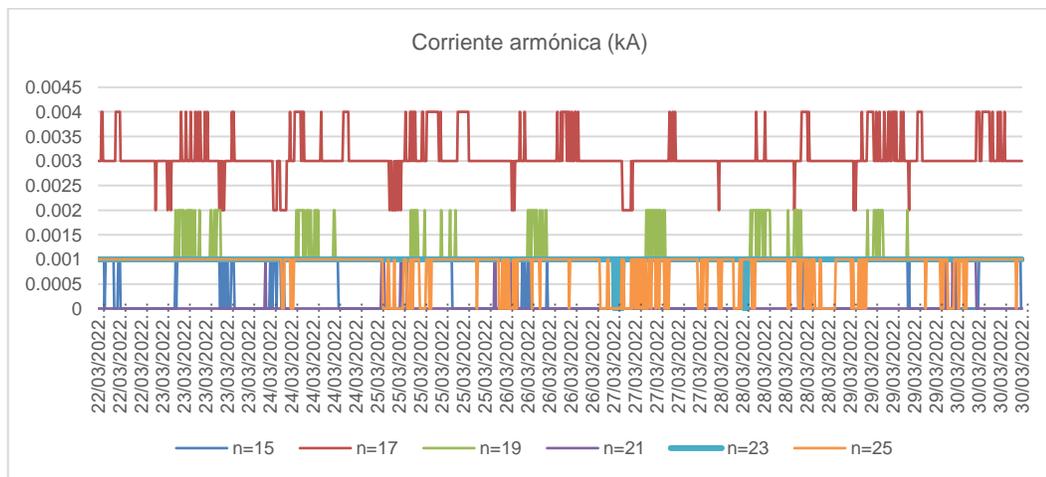
*Corrientes armónicas individuales orden impar n=3 a n=13*



*Nota.* Comportamiento de las CAI impares. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 80.**

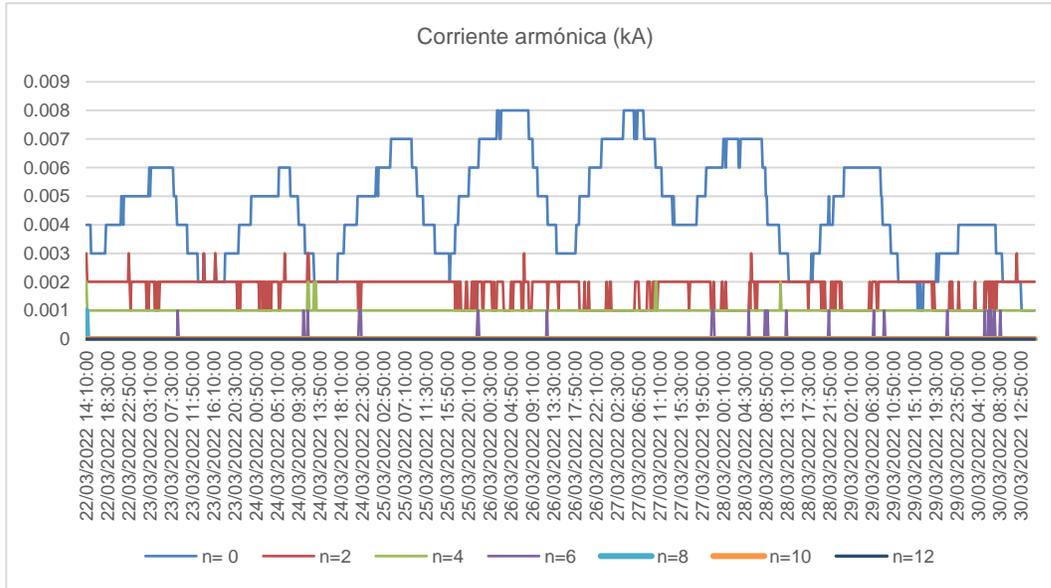
*Corrientes armónicas individuales orden impar n=15 a n=25*



*Nota.* Comportamiento de las CAI impares. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 81.**

*Corrientes armónicas individuales orden par n=2 a n=12*



*Nota.* Comportamiento de las CAI pares. Elaboración propia, realizado con Excel.

Aunque el THDI haya salido bien, en las gráficas de las figuras 79 y 80 se puede apreciar que la mayoría de las corrientes armónicas de orden impar se salieron de las tolerancias establecidas por las NTSD (véase tabla 25), por lo que sí existe un problema que debe ser corregido. En cambio, las corrientes armónicas de orden par mostradas en la figura 81, tienen un valor por debajo de los límites máximos establecidos.

## 5.8. Evaluación de los niveles de iluminación

La imagen a continuación muestra la ubicación, dentro del Edificio de Servicios de Apoyo, de las 27 áreas donde se midió la iluminancia media  $E_M$  y a su vez a cada área se le asigna un número de referencia.

**Figura 82.**

*Áreas donde se midió la iluminancia media  $E_M$*



*Nota.* Diagrama de medición de la iluminación. Elaboración propia, realizado con PowerPoint.

En la tabla a continuación se presentan los valores de iluminancia media obtenida por cada área designada siendo comparadas con la iluminancia media sugerida por la norma UNE12464.1 para áreas de uso similar recolectadas en la tabla 25 de este trabajo.

**Tabla 52.**

*Comparación de iluminancia media real vs teórica en áreas del edificio de apoyo*

Ref área	Uso	Categoría aplicable en UNE 12464.1 (véase Tabla XXV)	Iluminancia media teórica (Lux)	Iluminancia media real (Lux)
1	Área calderas	Sala calderas	100	60
2	Almacén de farmacia: cuarto sur.	Almacén y cuarto de almacén	100	100
3	Almacén de farmacia: racks principales	Almacén y cuarto de almacén	100	180
4	Almacén de farmacia: entrada.	Almacén y cuarto de almacén	100	100

Continuación de la tabla 52.

Ref área	Uso	Categoría aplicable en UNE 12464.1 (véase Tabla 25)	Iluminancia media teórica (Lux)	Iluminancia media real (Lux)
5	Almacén de farmacia: corredor principal.	Área de Circulación y Pasillos en General	100	130
	Oficina de almacén de farmacia.	Oficina de archivos, copias, entre otros.	300	310
7	Área principal de lavandería.	Lavado y planchado	300	170
8	Cuarto de generadores.	Sala de máquinas (motores, generadores).	200	15
9	Ropería	Marcado y clasificación de artículos en lavanderías	300	150
10	Pasillo principal sótano Este	Área de Circulación y Pasillos en General	100	60
11	Gradas hacia 1er nivel	Escaleras	100	220
12	Área subestación	Sala de máquinas (motores, generadores).	200	210
13	Área principal de lavandería Este	Lavado y planchado	300	170
14	Almacén alimentos	Almacén y cuarto de almacén	100	45
15	Panadería	Panaderías, áreas de preparación y hornos de cocción.	300	170
16	Jefatura de nutrición y dietética	Oficina de lectura y tratamiento de datos.	500	300
17	Lactario adultos	Cocinas	500	350
18	Lactario pediatría	Cocinas	500	140
19	Cambiador y baño hombres	Vestuarios	200	140
20	Cambiador y baño mujeres	Vestuarios	200	140
21	Área cocina	Cocinas	500	130
22	Pasillo Este cocina	Área de Circulación y Pasillos en General	100	210
23	Almacén suministros	Almacén y cuarto de almacén	100	215
24	Pasillo Este 1er Nivel	Área de Circulación y Pasillos en General	100	320
25	Comedor	Restaurante autoservicio	200	160
26	Cuarto de leche humana	Alumbrado general de laboratorios y farmacias	500	430
27	Oficina de cocina	Oficina de archivos, copias, entre otros.	300	80

Nota. 17 áreas de luminarias no cumplen con la teórica. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla anterior, se marca en rojo las áreas donde la iluminancia obtenida fue menor que la recomendada para dicha área. La causa puede ser: lámparas inservibles, suciedad de la luminaria o luminarias insuficientes. En este último caso, se debe determinar el número necesario mediante una metodología adecuada.

## 5.9. Resumen de problemas encontrados

A lo largo del estudio se hicieron diversos hallazgos y se identificó oportunidades de mejora, algunos más serios que otros. Los problemas que se pueden considerar de mayor importancia y por lo tanto deberían corregirse son:

- Alimentador de tablero TA34 se encuentra quemado, el mismo debe ser reemplazado.
- Existen numerosos tableros cuya entrada de alimentador se encuentra en paralelo con otros tableros o circuitos. Para corregirlo se recomienda lo siguiente:
  - Instalación de flipón de 3x125 A y 3x100 A en tablero TA14 para alimentar tablero TA12 y carga J10 respectivamente. La protección de 160 A instalada actualmente para la carga J10 no está correctamente dimensionada.
  - Instalación de tablero THQL G.E. 24X125A con 9 flipones 1x20A, 3 de 1x30 A, 1 de 2x50 A y 1 de 2x70 A. Esto para redistribuir los circuitos y colocar su respectiva protección a los tableros TA21 y TA49.
  - Colocación de disyuntor trifásico de 3x80A en tablero TA30 para alimentar carga G26.
  - Colocación de 1 flipón de 2x80A en tablero TA42 para alimentar el tablero TA43.

- Colocación de un flipón de 3x60A en tablero TA15 para alimentar transformador TR8.
- Colocación de un flipón de 3x40A en tablero TA16 para alimentar el tablero TA44.
- Colocación de un flipón de 3x70A en tablero TA13 para alimentar el tablero TA46.
- Colocación de un flipón de 3x30A en tablero TA4 para alimentar el tablero TA3.
- Reemplazo de alimentador de tablero TA32 para que tenga un calibre de 3/0 por fase (también se requiere reemplazo de transformador TR11 por uno de 75 KVA como mínimo), instalación de dos flipones de 3x100A en tablero TA32 para alimentar tableros TA33 y TA55.
- Existencia de puntos calientes en tablero TA7 y TA11 (véase sección 5.2), por lo que se requiere un mantenimiento completo de dichos tableros incluyendo toma de mediciones, re-embornado y apriete de tornillos.
- La protección en la posición 1 del tablero TA0 lleva conectado dos circuitos: lavandería (circuito TA0-P1-2) y bodega de suministro (circuito TA0-P1-1). Deben independizarse utilizando la protección instalada de 3x225A para lavandería y colocando una nueva protección de 3x125A para bodega de suministro.

- La protección del circuito TA7-P1 tiene un valor muy grande, se debe sustituir por uno de 3x125A. El circuito TA0-P2 está conformado por un cable 3/0 y otro de 2AWG en paralelo, esta acción es incorrecta. Se recomienda desconectar el cable 2 AWG y dejar únicamente el de 3/0.
- Los transformadores TR2 y TR11, ambos de 50 KVA, están sobrecargados. Se requiere el reemplazo de los mismos por otros de 75 KVA.
- No existe protección contra descargas eléctricas atmosféricas, por lo que se recomienda la instalación del sistema propuesto en la sección 6.3.
- No se encontraron cajas de registro de las varillas de puesta a tierra. Se recomienda colocar el sistema de puesta a tierra propuesto en la sección 6.4.
- Se encontró que uno de los dos generadores (*Caterpillar*), está inhabilitado. Se recomienda realizar un trabajo de rehabilitación o reemplazo parcial o total del mismo. A su vez se sugiere hacer un diagnóstico y mantenimiento completo del generador *Kohler* ya que presenta fuga de aceite y uno de sus calentadores no funciona.
- Existencia de desbalance de corriente en la subestación principal, se recomienda realizar una evaluación de las cargas y medición de corriente en cada circuito derivado del tablero principal del hospital para identificar el origen y corregirlo.

- Bajo factor de potencia. El mismo presentó un valor promedio de 0.908 durante el periodo de medición (8 días y fracción), y un valor mínimo de 0.82. Se insta a realizar una inspección exhaustiva del sistema de compensación reactiva tan pronto como sea posible.
- Se determinó que 17 áreas de las 27 analizadas presentan un nivel de iluminación por debajo del valor recomendado. Se recomienda instalar un total de 410 luminarias repartidas en todas las áreas con iluminación deficiente (detalles en la sección 6.2 y 7.2).

## **6. DISEÑO TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO**

En este capítulo se realizará el diseño teórico de diversos elementos que componen la instalación eléctrica del Edificio de Servicios de Apoyo, con el fin de compararlo posteriormente en el capítulo 7 con el diseño actual, de manera que se pueda determinar si existen elementos sobrecargados o que no cumplan con las prestaciones mínimas requeridas.

### **6.1. Elementos de distribución de potencia eléctrica**

Los elementos de distribución de potencia que se tratarán en esta sección son: conductores, canalizaciones, protecciones, tableros y transformadores.

#### **6.1.1. Conductores eléctricos**

Se calculará el calibre de los alimentadores de tableros más importantes del Edificio de Servicios de Apoyo por criterio de ampacidad y por criterio de caída de voltaje. En este edificio los tableros más importantes son: TA0, TA11, TA24, TA6, TA29, TA5, TA7, TA15, TA8, MC1, TA1, TA31 y MC2.

- Muestra de cálculo de calibre de alimentador de tablero TA0
  - Por ampacidad

Datos:

$DME = \text{Sumatoria } DME's \text{ de TA11, TA24, TA6, TA29 y TA5.}$

Voltaje=480V

Número de fases=3

Temperatura ambiental de conductor=30°C

Número de conductores en canalización < 30

Tipo de canalización: bandeja metálica.

Calculando el DME: los valores de DME de todos los tableros que alimenta el tablero TA0 se encuentran en la Tabla 47, haciendo la sumatoria:

$$DME_{TA0} = DME_{TA11} + DME_{TA24} + DME_{TA6} + DME_{TA29} + DME_{TA5}$$

$$DME_{TA0} = (78565 + 13800 + 45845 + 86750 + 7780)VA = 232740VA$$

Ahora se calcula la corriente de línea como sigue:

$$I_{TA0} = \frac{DME_{TA0}}{\sqrt{3} * V} = \frac{232740VA}{\sqrt{3} * 480V} = 279.94A$$

Ahora se debe aplicar los factores de corrección y obtener la corriente virtual: en alimentadores no aplica el factor de servicio continuo; la temperatura se toma de 30 °C (Ciudad de Guatemala) la cual según la Tabla 3 corresponde a un factor de temperatura igual a 1.0 para cualquier tipo de conductor; el factor por número de conductores por canalización corresponde a 1.0 como lo explica la NEC en sus secciones 366.23 (A) y 376.22 (B), para canales de lámina metálica con menos de 30 conductores, lo cual ya fue tratado en la sección 2.1.3.5.1; finalmente, el factor de corrección por tipo de canalización es 1.0 por tratarse de canaleta de lámina metálica.

Por lo tanto, el cálculo de la corriente virtual queda como sigue:

$$I_V = \frac{I_{TA0}}{F_T * F_{NCC} * F_{MT}} = \frac{279.94A}{1.0 * 1.0 * 1.0} = 279.94A$$

Respuesta: Con este dato, se busca en la Tabla 2 (NEC, Tabla 310.15), en la columna de conductores THHN cobre (o el que aplique) el calibre con el valor de corriente inmediatamente superior. En este caso el calibre es 250MCM.

- Por caída de voltaje

Datos:

Corriente=279.94 A (se obtuvo con anterioridad)

Voltaje=480 V

Número de fases=3

Longitud de alimentador=60 m

Resistividad del cobre  $\rho=1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Se calcula la sección total mínima necesaria por fase para obtener una caída de voltaje igual o menor al 2 % (alimentador) mediante la Ecuación 9 de la sección 2.1.3.5.2 del marco teórico como sigue:

$$S = \rho \frac{c * L * I}{e * V} * 100 = \frac{1}{58} \Omega - \text{mm}^2/\text{m} * \frac{1.732 * 60\text{m} * 279.94A}{2 * 480V} * 100 = 52.2 \text{mm}^2$$

Posterior a ello se verifica en la Tabla 13 del marco teórico que el calibre con una sección inmediata superior es el calibre 1/0 con una sección de 53 mm<sup>2</sup>.

Respuesta: el calibre del alimentador del tablero TA0 (1 conductor por fase), es crítico por ampacidad, el calibre mínimo a utilizar es 250 MCM un conductor por fase como se obtuvo por ampacidad.

A continuación, se presentan los calibres de conductor teóricos obtenidos para todos los alimentadores considerados por ambos métodos:

**Tabla 53.**

*Calibre de conductores teórico por ampacidad y por caída de voltaje*

Tablero	Descripción	Voltaje línea-línea (V)	No. Fases	DME (VA)	In (A)	FT	FNCC	FMT	Iv (A)	Longitud (m)	Sección total conductor por fase apropiado (mm <sup>2</sup> )	Calibre conductor fase apropiado (ampacidad)	Calibre conductor por fase apropiado (caída voltaje e<2%)
TA0	Principal alimentación normal servicios de apoyo	480	3	232740	279.94	1	1	1	279.94	60	52	1x250M CM o 2x1/0	1x1/0
TA1 1	Cargas fuerza normal lavandería	480	3	78565	94.50	1	1	1	94.50	90	26	1x2AWG o 2x8AWG	1x2 AWG
TA2 4	Cargas fuerza normal almacén suministros	480	3	13800	16.60	1	1	1	16.60	95	5	1x12AWG	1x10 AWG
TA6	Cargas iluminación normal todas las áreas	208	3	45845	127.25	1	1	1	127.25	65	26	1x2AWG	1x2 AWG
TA2 9	Cargas fuerza normal cocina	480	3	86750	104.34	1	1	1	104.34	100	32	1x2AWG	1x2 AWG
TA5	Cargas fuerza normal calderas	208	3	7780	21.60	1	1	1	21.60	95	6	1x12AWG	1x8AWG
TA7	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	480	3	311600	374.80	1	1	1	374.80	65	76	1x400M CM o 2x2/0	1x3/0
TA1 5	Cargas fuerza emergencia lavandería	480	3	28960	34.83	1	1	1	34.83	90	10	1x10AWG	1x6 AWG
TA8	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	208	3	14050	39.00	1	1	1	39.00	65	8	1x10AWG	1x8 AWG
MC 1	Montacargas pixel hidro lavandería (MC1)	480	3	49000	58.94	1	1	1	58.94	100	18	1x6AWG	1x4 AWG
TA1	Cargas fuerza emergencia calderas	480	3	100560	120.95	1	1	1	120.95	95	36	1x2AWG	1x2 AWG
TA3 1	Cargas fuerza emergencia cocina	480	3	70030	84.23	1	1	1	84.23	100	26	1x4AWG	1x2 AWG
MC 2	Montacargas almacén sumi (MC2)	480	3	49000	58.94	1	1	1	58.94	70	13	1x6AWG	1x6 AWG

*Nota.* Alimentadores de tableros más importantes. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 6.1.2. Canalizaciones eléctricas

Se determinará si las canalizaciones de los tableros más importantes del Edificio de Servicios de Apoyo cumplen con los criterios de holgura que garantice su correcta ventilación. Para esto se calculará el factor de relleno, y aquellas canalizaciones cuyo factor de relleno sea mayor que 0.4 (véase la sección 2.1.4.2), se considerarán deficientes. Las canalizaciones de los tableros a evaluar por su importancia son los siguientes: TA11, TA24, TA6, TA29, TA5, TA15, TA8, MC1, TA1, TA31 y MC2.

- Muestra de cálculo para factor de relleno de canalización alimentador TA15.

Datos:

Número de cables y su calibre en canalización: 6 cables 4 AWG

Diámetro canalización=2" HG

Primero se calculará la sección ocupada por los 6 cables. De la Tabla 15 se sabe que la sección (incluyendo aislante) de un cable 4AWG es 64.2 mm<sup>2</sup>, entonces el área total queda:

$$S_{cables} = 6 * S_{cable} = 6 * 64.2mm^2 = 385.2mm^2$$

A continuación, se calculará la sección interna de la canalización. Como tiene una sección circular, el cálculo queda:

$$S_{tubo} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (2 in)^2}{4} = 3.1416 in^2$$

Realizando la conversión a mm<sup>2</sup>:

$$S_{tubo} = 3.1416 \text{ in}^2 * \left(\frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}}\right)^2 = 2026.83 \text{ mm}^2$$

Entonces el factor de relleno queda:

$$F_r = \frac{S_{cables}}{S_{tubo}} = \frac{385.2 \text{ mm}^2}{2026.83 \text{ mm}^2} = 0.19$$

A continuación, se presentan los factores de relleno para todas las canalizaciones consideradas:

**Tabla 54.**

*Factores de relleno en canalizaciones de alimentadores principales*

Canalización en tablero	Diámetro canalización de alimentador (in)	Conductores en canalización	sección conductores (mm <sup>2</sup> )	Sección canalización (mm <sup>2</sup> )	Factor de relleno (adim)
TA11	2	6x4AWG	385.2	2026.83	0.19
TA24	2	3x2AWG	263.4	2026.83	0.13
TA6	2	3x4/0	711	2026.83	0.35
TA29	2	3x3/0 + 3x2AWG	860.4	2026.83	0.42
TA5	1.5	3x2AWG	263.4	1140.09	0.23
TA15	2	3x2AWG	263.4	2026.83	0.13
TA8	1.5	3x4/0	711	1140.09	0.62
MC1	1.5	3x2AWG	263.4	1140.09	0.23
TA1	2	6x2AWG	526.8	2026.83	0.26
TA31	2	9x4AWG	577.8	2026.83	0.29
MC2	1.5	3x2AWG	263.4	1140.09	0.23

*Nota.* Edificio de Servicios de Apoyo. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **6.1.3. Protecciones eléctricas**

Según el NEC, el valor de corriente nominal de una protección no debe superar el valor de corriente nominal del conductor aguas abajo de la protección. Tomando en cuenta esta directriz, se diseñará la corriente nominal de protecciones eléctricas en función de la ampacidad del conductor aguas abajo y no de la carga. Con esto se garantiza que la protección proteja el conductor, incluso si la corriente de la carga supera la ampacidad del mismo.

La tabla muestra la corriente nominal sugerida de las protecciones eléctricas de los circuitos principales vistos en la sección 4.2.

**Tabla 55.***Corriente nominal de protecciones termomagnéticas*

Ref circuito	Descripción	Tablero	Posición en tablero	No. fases	Calibre de conductor	Corriente nominal máxima de protección sugerida (A)
<b>Alim-TA0</b>	Principal alimentación normal servicios de apoyo	Tablero principal servicio normal	N/A	3	2x250MCM	500
<b>TA0-P1-1</b>	Cargas fuerza normal lavandería	TA0	1	3	2x4 AWG	200
<b>TA0-P1-2</b>	Cargas fuerza normal almacén suministros	TA0	1	3	1x2 AWG	125
<b>TA0-P7</b>	Cargas iluminación normal todas las áreas	TA0	7	3	1x1/0	175
<b>TA0-P2</b>	Cargas fuerza normal cocina	TA0	2	3	1x3/0 + 1x2AWG	125 (en base a 1x2AWG)
<b>TA0-P14</b>	Cargas fuerza normal calderas	TA0	14	3	1x2AWG	125
<b>Alim-TA7</b>	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	TE2-1-101	N/A	3	2x350MCM	700
<b>TA7-P1</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería	TA7	1	3	1x2AWG	125
<b>TA7-P7</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	TA7	7	3	1x1/0	175
<b>TA7-P13</b>	Montacargas pixel hydro lavandería (MC1)	TA7	13	3	1x2AWG	125
<b>TA7-P2</b>	Cargas fuerza emergencia calderas	TA7	2	3	2x2AWG	250
<b>TA7-P8</b>	Cargas fuerza emergencia cocina	TA7	8	3	3x4AWG	300
<b>TA7-P14</b>	Montacargas almacén sumi (MC2)	TA7	14	3	1x2AWG	125

*Nota.* Sugerida para los circuitos principales del Edificio de Servicios de Apoyo. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 6.1.4. Tableros eléctricos

En esta sección se determinará la corriente de barras de tableros idónea en función de la carga que tienen conectada. Los tableros del Edificio de Servicios de Apoyo a considerar, por su importancia, son los siguientes: TA11, TA24, TA6, TA29, TA5, TA15, TA8, MC1, TA1, TA31 y MC2.

- Muestra de cálculo de corriente de barras de tablero TA11

Datos:

DME = 78565 VA

No. Fases = 3

Voltaje línea-línea = 480V

Primero se calcula la corriente de línea como sigue:

$$I = \frac{DME_{TA11}}{\sqrt{3} * V} = \frac{78565 VA}{\sqrt{3} * 480 V} = 94.5 A$$

Posteriormente, se multiplica dicho valor por un factor de holgura de 1.2, quedando como sigue:

$$I_{BARRA} = 1.2 * I = 1.2 * 94.5A = 113.4 A$$

Por ende, la corriente de barras indicada para dicha carga es de 125A (valor comercial).

La tabla a continuación muestra la corriente de barras calculada de acuerdo a su carga de los tableros más importantes del edificio.

**Tabla 56.***Corriente de barras sugerida de tableros principales*

Tablero	Descripción	No. polos	No. fases	Voltaje (V)	DME (VA)	Corriente de barras arreglada I*1.2 (A)	Corriente de barras comercial de diseño (A)
TA0	Principal alimentación normal servicios de apoyo	24	3	480	232740	335.93	400
TA11	Cargas fuerza normal lavandería	24	3	480	78565	113.40	125
TA24	Cargas fuerza normal almacén suministros	24	3	480	13800	19.92	125
TA6	Cargas iluminación normal todas las áreas	30	3	480	45845	152.70	200
TA29	Cargas fuerza normal cocina	32	3	480	86750	125.21	150
TA5	Cargas fuerza normal calderas	30	3	480	7780	25.91	125
TA7	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	30	3	480	311600	449.76	600
TA15	Cargas fuerza emergencia lavandería	24	3	480	28960	41.80	125
TA8	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	26	3	480	14050	46.80	125
TA1	Cargas fuerza emergencia calderas	42	3	480	100560	145.15	150
TA31	Cargas fuerza emergencia cocina	32	3	480	70030	101.0795984	125

*Nota.* Edificio de Servicios de Apoyo. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 6.1.5. Transformadores eléctricos

La potencia nominal de todos los transformadores se diseñará de acuerdo con el DME de su carga conectada multiplicada por un factor de holgura-crecimiento de 1.25 como se indica en la sección 2.1.7.3. Este cálculo se realizará para todos los transformadores del edificio, exceptuando la subestación principal (Transformador principal 3.5 MVA).

- Muestra de cálculo para la potencia nominal de transformador TR2

Datos:

DME = 44000 VA (2 calderas de 22kVA c/u)

Se calcula la potencia mínima del transformador como sigue:

$$P_{TRAFO} = DME * 1.25 = 44000 VA * 1.25 = 55000 VA$$

Una vez hallado este valor, se selecciona la potencia nominal disponible en el mercado inmediatamente mayor. Los valores de potencia nominales en el mercado para transformadores son: 15, 30, 45, 75, 112.5, 150 kVA, entre otras.

Por tanto, el valor de potencia de diseño del transformador TR2 debe ser 75KVA.

En la tabla a continuación se muestran los resultados de potencia sugerida de los transformadores del edificio.

**Tabla 57.**

*Potencia nominal sugerida de transformadores, Edificio de Servicios de Apoyo*

No. Referencia transformador	Descripción	No. fases	Voltaje [V]	Tipo conexión	DME [VA]	Potencia mínima requerida del trafo (125 %) [VA]	Potencia nominal diseño trafo [KVA]
TR1	Cargas fuerza emergencia área calderas	3	480/208-120	Delta-estrella	6000	7500	15
TR2	Calderas ICI CALDAE	3	480/240-120	Delta-delta	44000	55000	75
TR3	Cargas fuerza normal área calderas	3	480/208-120	Delta-estrella	7780	9725	15
TR4	Iluminación normal todas las áreas	3	480/208-120	Delta-estrella	45845	57306.25	75
TR5	Iluminación emergencia todas las áreas	3	480/208-120	Delta-estrella	14050	17562.5	30
TR6	Cargas fuerza normal área lavandería	3	480/208-120	Delta-estrella	38565	48206.25	75

Continuación de la tabla 57.

No. Referencia transformador	Descripción	No. fases	Voltaje [V]	Tipo conexión	DME [VA]	Potencia mínima requerida del trafo (125%) [VA]	Potencia nominal diseño trafo [KVA]
TR7	Tomacorrientes y secadoras ADC fuerza emergencia área lavandería	3	480/208-120	Delta-estrella	6390	7987.5	15
TR8	Desconocido	3	480/240-120	Delta-delta	Desconocido	--	--
TR9	Cargas fuerza normal almacén suministros	3	480/208-120	Delta-estrella	16120	20150	30
TR10	Cargas fuerza normal área cocina	3	480/208-120	Delta-estrella	86750	108437.5	112.5
TR11	Cargas fuerza emergencia área cocina	3	480/208-120	Delta-estrella	61830	77287.5	75
TM1/TM2	Cargas emergencia secadoras wasco y compresor lavandería	2 monofásicos (delta abierta)	480/240-120	Delta-delta	19450	24312.5	30

*Nota.* Después del estudio realizado, la tabla muestra la potencia sugerida. Elaboración propia, realizado con Excel.

## 6.2. Iluminación

En esta sección se realizará el cálculo del número de luminarias necesaria en las áreas evaluadas en la sección 5.8 mediante la metodología expuesta en la sección 2.5.2.

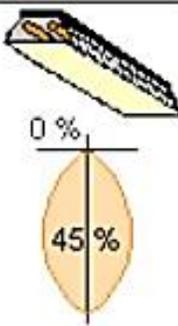
- Muestra de cálculo del número de luminarias del Área Calderas (área No. 1).

Datos:

- Tipo de luminaria: se tomará para los cálculos los tubos Phillips MAS ledtube 1200 mm UE 13.5 W 840 T8 con un valor de flujo luminoso de 2500 lúmenes por tubo.
- Iluminancia media deseada E: previamente se fijó en 100 Lux de acuerdo con la tabla 53 para este tipo de ocupación.
- Factor de utilización: se usará la siguiente tabla como referencia del valor de factor de utilización para lámparas de 2 tubos:

**Tabla 58.**

*Factor de utilización para lámparas de 2 tubos*

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización ( $\eta$ )														
		Factor de reflexión del techo														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Factor de reflexión de las paredes														
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0			
	0.6	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.20	.19	.18			
	0.8	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.28	.26	.24	.26	.24	.23			
	1.0	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.29	.27	.26			
	1.25	.36	.32	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.32	.30	.29			
	1.5	.38	.35	.33	.38	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.32			
	2.0	.41	.38	.37	.40	.38	.36	.39	.38	.36	.37	.36	.35			
	2.5	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.41	.39	.38	.39	.38	.37			
	3.0	.44	.42	.40	.43	.42	.40	.42	.41	.39	.40	.39	.38			
$D_{max} = 0.6 H_m$	4.0	.45	.44	.42	.45	.43	.42	.44	.43	.42	.42	.41	.40			
$f_m$ .65 .70 .75	5.0	.47	.45	.44	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.43	.42	.41			

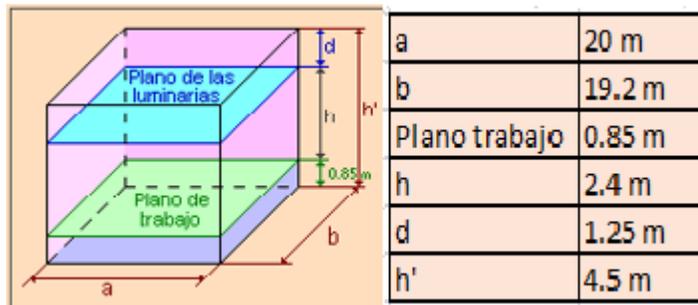
$H_m$ : altura luminaria-plano de trabajo

Nota. Método de lúmenes. Obtenido de Ingenieros Industriales (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. ([https://issuu.com/bryansala/docs/factor\\_de\\_utilizacion\\_-\\_iluminacion](https://issuu.com/bryansala/docs/factor_de_utilizacion_-_iluminacion)), consultado el 3 de mayo de 2023. De dominio público.

Las dimensiones del local del área de Calderas se presentan en la figura siguiente:

**Figura 83.**

*Dimensiones del local del área de Calderas*



*Nota.* La figura muestra las dimensiones a contemplar para el diseño. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Los colores y factores de reflexión de techo y paredes del área de Calderas tomando de referencia la tabla 16 de este trabajo se presentan en la tabla a continuación:

**Tabla 59.**

*Factores de reflexión de techo y paredes del área de Calderas*

Superficie	Color	Factor de reflexión
Techo	Gris oscuro	0.3
Paredes	Celeste oscuro	0.3

*Nota.* El factor de reflexión describe la cantidad de suciedad del lugar. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Factor de mantenimiento: el área de Calderas se encuentra bastante sucia, por lo que el factor de mantenimiento  $f_m$  se considerará de 0.6 (sucio).

Lo primero que se hará es hallar el factor de utilización, pero antes de poder calcularlo se debe obtener el factor  $k$ , que de acuerdo con las fórmulas de la figura 44 da:

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)} = \frac{20m * 19.2m}{2.4m * (20m + 19.2m)} = 4.08$$

Una vez teniendo el factor  $k$  y factores de reflexión en techo y paredes, se busca en la tabla 58 el factor de utilización  $\eta$ , siendo para este caso de 0.42.

A continuación, se halla el flujo luminoso total requerido para el local del área de Calderas:

$$\Phi_{Tcalderas} = \frac{E_{cald} * S_{cald}}{\eta_{cald} * f_m} = \frac{100Lux * 20m * 19.2m}{0.42 * 0.6} = 152380.95 \text{ lm}$$

Para obtener el número de luminarias (2 tubos por luminaria) se aplica la fórmula siguiente:

$$N = \frac{\Phi_{Tcalderas}}{n * \Phi_L} = \frac{152380.95 \text{ lm}}{2 * 2500 \text{ lm}} = 30.47 \text{ lm} \approx 31 \text{ lm}$$

Por lo tanto, para tener una iluminación adecuada en el área de Calderas, se deben colocar al menos 31 lámparas de 2 tubos *Phillips MAS* ledtube 1200 mm UE 13.5W 840 T8 cada una.

En la tabla a continuación se presentan los resultados del número de luminarias de diseño para las 27 áreas consideradas del Edificio de Servicios de Apoyo.

**Tabla 60.**

*Número de luminarias mínima requerida en áreas consideradas*

Ref área	Uso	Factor k del local	Factor de utilización $\eta$	Iluminancia media objetivo (Lux)	Factor de mantto. Fm	No. luminarias diseño (2 tubos 2500lm c/u)
1	Área calderas	4.08	0.42	100	0.6	30
2	Almacén de farmacia: cuarto sur.	2.45	0.41	100	0.8	6
3	Almacén de farmacia: racks principales	4.20	0.42	100	0.8	28
4	Almacén de farmacia: entrada.	1.60	0.34	100	0.8	3
5	Almacén de farmacia: corredor principal.	1.15	0.32	100	0.8	8
6	Oficina de almacén de farmacia.	2.64	0.43	300	0.8	13
7	Área Principal de Lavandería.	5.16	0.43	300	0.6	99
8	Cuarto de generadores.	3.34	0.4	200	0.6	30
9	Ropería	2.09	0.39	300	0.8	16
10	Pasillo principal sótano Este	1.54	0.34	100	0.6	16
11	Gradas hacia 1er nivel	0.99	0.29	100	0.8	1
12	Área Subestación	2.13	0.39	200	0.8	9
13	Área Principal de Lavandería Este	2.67	0.39	300	0.6	33
14	Almacén alimentos	4.62	0.45	100	0.8	19
15	Panadería	1.81	0.39	300	0.8	10
16	Jefatura de nutrición y dietética	1.65	0.37	500	0.8	20
17	Lactario adultos	2.40	0.42	500	0.8	18
18	Lactario pediatría	3.57	0.45	500	0.8	44
19	Cambiador y baño hombres	2.31	0.41	200	0.8	10
20	Cambiador y baño mujeres	2.11	0.39	200	0.8	9
21	Área Cocina	5.70	0.45	500	0.8	148
22	Pasillo Este cocina	0.83	0.28	100	0.8	2
23	Almacén suministros	3.28	0.4	100	0.6	15
24	Pasillo Este 1er Nivel	1.29	0.32	100	0.8	12
25	Comedor	3.46	0.42	200	0.8	32
26	Cuarto de leche humana	3.71	0.45	500	0.8	42
27	Oficina de cocina	1.71	0.38	300	0.6	9

Nota. Edificio de Servicios de Apoyo. Elaboración propia, realizado con Excel.

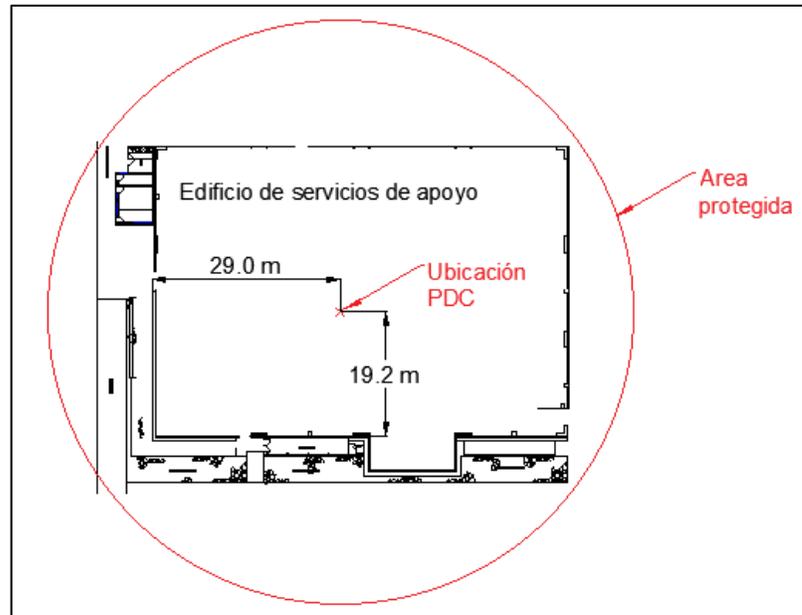
### 6.3. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas

El Edificio de Servicios de Apoyo entra en la categoría de “edificio público” como se menciona en la sección 2.3.1. Además, cuenta con suministro de gas licuado de petróleo para el abastecimiento de las calderas, esto hace que la protección por descargas eléctricas atmosféricas sea obligatoria.

Se propone la colocación de un pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) modelo AT-1545 de la marca DAT CONTROLLER® PLUS, el cual, colocado a una altura de 6 m sobre el techo del edificio, ofrece un radio de protección de 45m (nivel de protección IV). Su ubicación en vista de planta y el radio de protección se muestra en la figura a continuación:

**Figura 84.**

*Ubicación y radio de protección de PDC en el Edificio de Servicios de Apoyo*

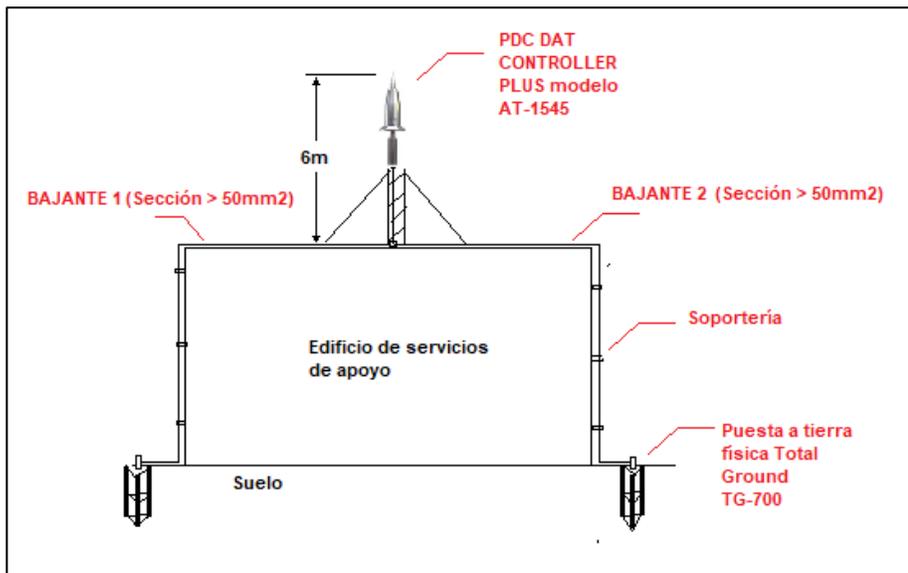


*Nota.* Área de influencia del pararrayos. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Además del PDC, se debe realizar la instalación de dos bajantes de una sección no menor a  $50\text{mm}^2$  en direcciones opuestas hacia el exterior del edificio, donde se instalará varillas de puesta a tierra *total ground* modelo TG-700 cuya resistencia de puesta a tierra resultante se debe comprobar no mayor a  $10\ \Omega$  c/u.

### Figura 85.

Esquema instalación PDC propuesto en Edificio de Servicios de Apoyo



*Nota.* Demostración gráfica de la instalación del pararrayos. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

#### 6.4. Sistema de puesta a tierra física

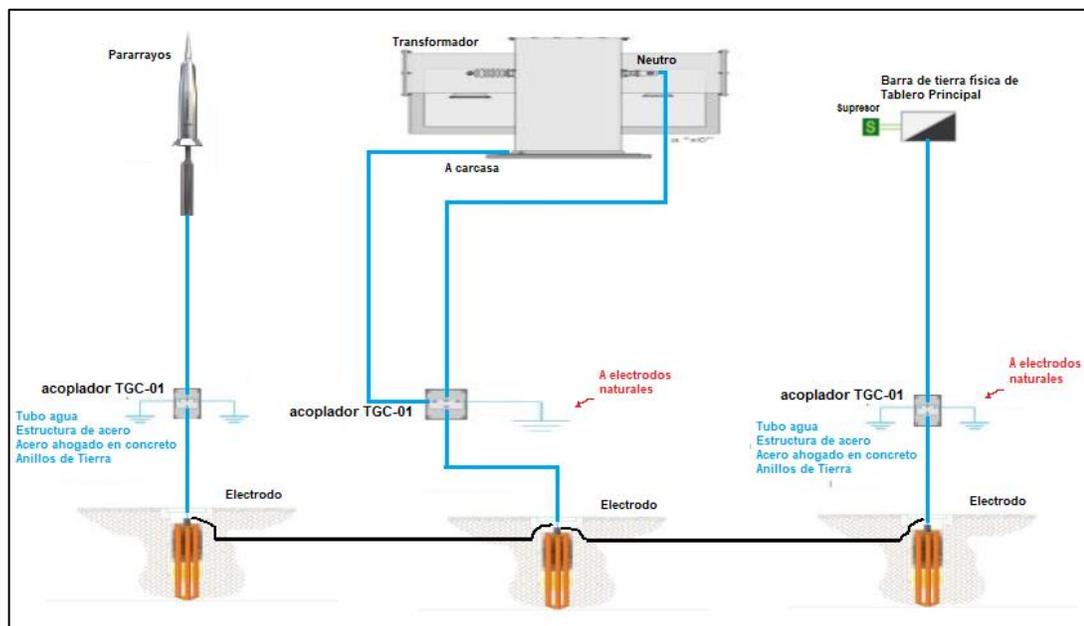
Se propone la instalación de dos electrodos de puesta a tierra *total ground* modelo TG-2500 junto con la aplicación de material de relleno  $H_2O_{hm}$ , uno para puesta a tierra de servicio (neutro), del transformador principal y otro para la puesta a tierra de protección, dispuestos a una separación no menor de 6 pies (1.8 m), entre ellas, idealmente lo más separados posible. Este fabricante ofrece

una resistencia de puesta a tierra de los electrodos menor a  $2 \Omega$  lo cual cumple con la normativa NEC. Los conductores principales del sistema de puesta a tierra serán de calibre 3/0 y el conductor desnudo de interconexión de electrodos deberá estar a una profundidad de 0.75 m debajo del suelo. La ubicación de dichas puestas a tierra será en el exterior del edificio y en cercanías del cuarto de la subestación principal en el sótano del edificio.

A su vez, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se instalará acopladores TGC-01 para cada uno de los electrodos. Un esquema del sistema de puesta a tierra propuesto para el edificio se encuentra en la figura a continuación:

**Figura 86.**

*Esquema del sistema de puesta a tierra física propuesto*



*Nota.* Edificio de Servicios de Apoyo. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

## **6.5. Sistema de alimentación eléctrica de emergencia**

Para el Hospital General San Juan de Dios, los aspectos de diseño del sistema de generación de emergencia que se definirán son:

- Sistema de combustible: el tipo de combustible más adecuado para generadores en instalaciones comerciales y hospitales es el diésel, por su disponibilidad y relativa seguridad de manipulación y almacenamiento comparado con el GLP (Gas Licuado de Petróleo). A su vez, para garantizar una autonomía de combustible de al menos 2 horas se debe contar con un tanque de un mínimo de capacidad de 100 galones (para un generador de 600 kW trabajando al 100 % de su carga nominal que consume aproximadamente 40 gal/h).
- Número de generadores: para un hospital de semejante importancia como el Hospital General San Juan de Dios, se recomienda contar con al menos dos generadores en buenas condiciones como plan de contingencia en caso de que uno de los generadores falle.
- Potencia: la potencia de los generadores se puede calcular siempre y cuando se conozca la totalidad de las cargas a conectar. En este caso, no se cuenta con dicha información, solamente se limitarán a calcular la carga de emergencia total del edificio.

**Tabla 61.**

*Cargas de emergencia del Edificio de Servicios de Apoyo*

<b>TABLERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARGA (VA)</b>
<b>TA15</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería	28960
<b>TA8</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	14050
<b>TA1</b>	Cargas fuerza emergencia calderas	100560
<b>TA31</b>	Cargas fuerza emergencia cocina	70030
<b>MC1</b>	Montacargas pixel hydro lavandería	49000
<b>MC2</b>	Montacargas pixel hydro almacén sum	49000
	SUMATORIA	311600
	P*1.2=	373920

*Nota.* La sumatoria muestra el tipo de generador que se necesita. Elaboración propia, realizado con Excel.

Esto significa que se necesita un generador de al menos 375 KVA de potencia para alimentar las cargas de emergencia del edificio.

## **6.6. Diseño de un sistema de generación fotovoltaica**

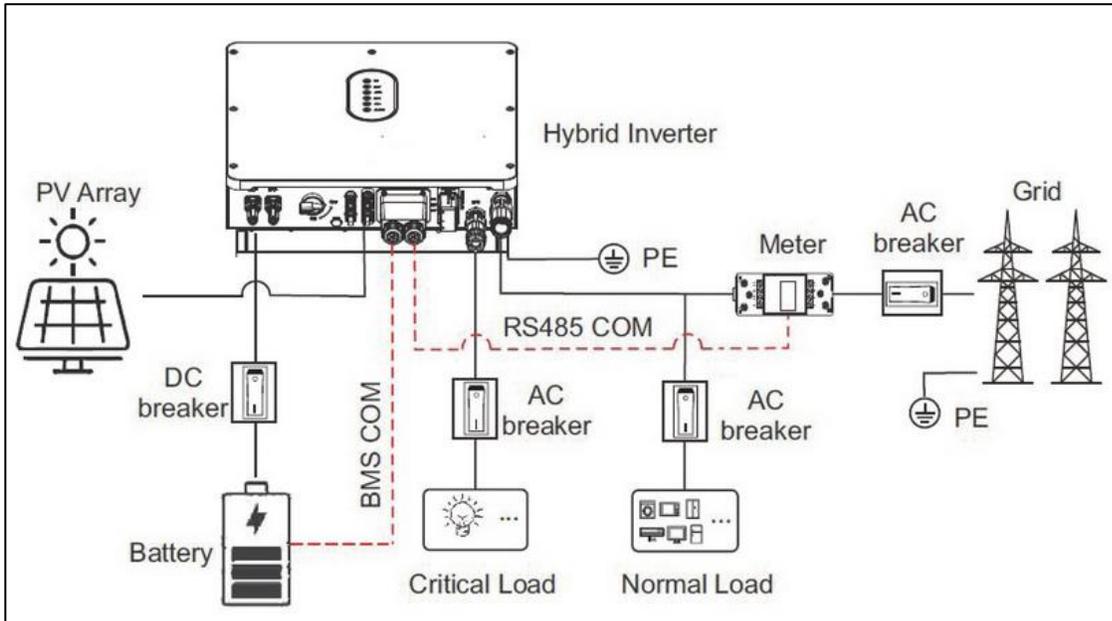
La implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio ayudaría significativamente a un mediano plazo a disminuir costos en materia de energía y reducir el impacto ambiental.

- Tipo de sistema

Se eligió un sistema de generación fotovoltaica del tipo híbrido, el cual permite alimentar una carga desde al menos dos fuentes de energía: paneles solares o de la red eléctrica. Este tipo de sistema permitirá garantizar la continuidad del suministro eléctrico cuando la generación fotovoltaica no esté funcionando o no se dé abasto.

**Figura 87.**

*Esquema de sistema solar híbrido propuesto*



*Nota.* Inversor solar. Obtenido de ONESTO (s.f.). *5kw 6kw 8kw 10kw Three Phase Solar Hybrid Inverter.* (<https://www.onestosolar.com/product/11118/>), consultado el 18 de mayo de 2023. De dominio público.

- Área elegida

La carga máxima para cubrir está limitada por el área de Instalación de Paneles Solares Disponible. El área ideal para utilizar, por estar libre y por su cercanía, es una región oeste de la azotea del edificio, la cual cuenta con un área de 25m x 15m (375 m<sup>2</sup>).

## Figura 88.

### Área de Instalación de Paneles Solares



*Nota.* El recuadro magenta muestra el área en donde se debe instalar el PDC. Elaboración propia.

- Componentes
  - Paneles solares
    - Modelo: Trinasolar TSM-DE09R.05
    - Voltaje: 39.1V
    - Potencia máxima: 425W
    - Dimensiones: 1762x1134x33mm
    - Peso: 21.8kg
    - Costo: Q1850.00 (solarguat.com)
    - Cantidad: 98 unidades

La cantidad de paneles propuesta está calculada en base a la carga total de iluminación normal del Edificio de servicios de Apoyo (TA6), la cual corresponde a 45845 VA o 41260W (FP=0.90) dando 98 unidades ( $41260W/425W=97.08$  u).

- Baterías

- Marca: SolarGuat 6-CNF-100
- Voltaje: 12V
- Capacidad: 100 Ah
- Costo unidad: Q1800.00 (solarguat.com)
- Cantidad: 35 unidades

La cantidad de baterías se calcula multiplicando la potencia de la carga promedio durante las horas sin sol (50 % de 41260W en la noche) por las horas de autonomía deseada (se consideró de 2hrs), dando 41260 Wh ( $41260W \cdot 0.5 \cdot 2h$ ). Posteriormente se divide entre el voltaje de las baterías para obtener los Ah totales necesarios ( $41260Wh / 12V = 3438.33 \text{ Ah}$ ) que luego se divide entre la capacidad de las baterías ( $3438.3Ah / 100Ah = 34.38$ ).

- Inversor

- Marca: OST 10000 HB-T
- Tipo: Híbrido
- Capacidad: 10KW
- No. fases: 3
- Voltaje red: hasta 550V.
- Voltaje salido: 277-520V (Ajustable)
- Costo unidad: Q12985.00 (solarguat.com)
- Cantidad: 5

Estos inversores híbridos están capacitados para alimentar las cargas tanto desde los paneles, baterías y en última instancia de la red. Se requieren 5

para cubrir la demanda máxima (41260W), y un factor de 1.1 de holgura (41260W\*1.1=45386W).

Los costos de los materiales anteriormente expuestos ascienden a Q309225.00, lo cual no incluye gastos de accesorios adicionales ni de mano de obra por instalación; sumándolo, el costo total ronda los cuatrocientos mil quetzales.



## **7. COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO TEÓRICO Y EL DISEÑO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO**

En este capítulo se realizará la comparación del diseño teórico de los diversos elementos que componen la instalación eléctrica realizado en el capítulo 6 con el diseño real instalado para determinar la presencia de elementos sobrecargados o que no cumplan con las prestaciones mínimas requeridas.

### **7.1. Elementos de distribución de potencia eléctrica**

En esta sección se analizará los componentes eléctricos que transportan directamente la potencia eléctrica hasta su punto de consumo.

#### **7.1.1. Conductores eléctricos**

La tabla a continuación muestra el calibre de conductor mínimo propuesto, tanto por ampacidad como por caída de voltaje, de los diversos alimentadores de tableros más importantes del edificio y su comparación con el calibre real instalado.

**Tabla 62.***Comparación conductores propuestos vs instalados*

<b>Tablero</b>	<b>Descripción</b>	<b>Calibre conductor fase apropiado (ampacidad)</b>	<b>Calibre conductor fase apropiado (caída voltaje)</b>	<b>Calibre conductor por fase instalado</b>
<b>TA0</b>	Principal alimentación normal servicios de apoyo	1x250MCM o 2x1/0	1x1/0	2x250MCM
<b>TA11</b>	Cargas fuerza normal lavandería	1x2AWG o 2x8AWG	1x2 AWG	1x2AWG
<b>TA24</b>	Cargas fuerza normal almacén suministros	1x12AWG	1x10 AWG	1x2AWG
<b>TA6</b>	Cargas iluminación normal todas las áreas	1x2AWG	1x2 AWG	1x4/0
<b>TA29</b>	Cargas fuerza normal cocina	1x2AWG	1x2 AWG	1x3/0 + 1x2AWG
<b>TA5</b>	Cargas fuerza normal calderas	1x12AWG	1x8AWG	1x2AWG
<b>TA7</b>	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	1x400MCM o 2x2/0	1x3/0	2x350MCM
<b>TA15</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería	1x10AWG	1x6 AWG	2x4AWG
<b>TA8</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	1x10AWG	1x8 AWG	1x4/0
<b>MC1</b>	Montacargas pixel hydro lavandería (MC1)	1x6AWG	1x4 AWG	1x2AWG
<b>TA1</b>	Cargas fuerza emergencia calderas	1x2AWG	1x2 AWG	2x2AWG
<b>TA31</b>	Cargas fuerza emergencia cocina	1x4AWG	1x2 AWG	3x4AWG
<b>MC2</b>	Montacargas almacén sumi (MC2)	1x6AWG	1x6 AWG	1x2AWG

*Nota.* Todos los conductores instalados son adecuados. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla anterior muestra que los alimentadores más importantes del edificio fueron diseñados correctamente.

### 7.1.2. Canalizaciones eléctricas

Se compararon las canalizaciones de alimentadores más importantes en el edificio.

**Tabla 63.**

*Evaluación de canalizaciones*

Tablero	Diámetro canalización alimentador (in)	Conductores en canalización	Factor de relleno (adim)
TA11	2	6x4AWG	0.19
TA24	2	3x2AWG	0.13
TA6	2	3x4/0	0.35
TA29	2	3x3/0 + 3x2AWG	0.42
TA5	1.5	3x2AWG	0.23
TA15	2	3x2AWG	0.13
TA8	1.5	3x4/0	0.62
MC1	1.5	3x2AWG	0.23
TA1	2	6x2AWG	0.26
TA31	2	9x4AWG	0.29
MC2	1.5	3x2AWG	0.23

*Nota.* Dos canalizaciones no están dentro de los parámetros. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla se marcan en rojo las canalizaciones cuyo factor de relleno es muy grande (mayor a 0.40), lo que indica que no hay suficiente espacio libre de ventilación dentro de la canalización. Esto se puede solucionar colocando parte de los conductores en otra canalización o aumentar el tamaño de la misma.

### 7.1.3. Protecciones eléctricas

Se evalúa los valores de corriente nominal de las protecciones eléctricas de los circuitos más importantes del edificio.

**Tabla 64.***Comparación corriente nominal de protecciones propuesto vs instalado*

Ref circuito	Descripción	Tablero origen	Corriente nominal máxima de protección sugerida (A)	Corriente nominal de protección instalada (A)
<b>Alim-TA0</b>	Principal alimentación normal servicios de apoyo	TABLERO PRINCIPAL SERVICIO NORMAL	500	567 (Ajuste)
<b>TA0-P1-1</b>	Cargas fuerza normal lavandería	TA0	200	225
<b>TA0-P1-2</b>	Cargas fuerza normal almacen suministros	TA0	125	225
<b>TA0-P7</b>	Cargas iluminación normal todas las áreas	TA0	175	125
<b>TA0-P2</b>	Cargas fuerza normal cocina	TA0	125 (en base a 1x2AWG)	225
<b>TA0-P14</b>	Cargas fuerza normal calderas	TA0	125	40
<b>Alim-TA7</b>	Principal alimentación emergencia servicios de apoyo	TE2-1-101	700	800
<b>TA7-P1</b>	Cargas fuerza emergencia lavandería	TA7	125	225
<b>TA7-P7</b>	Cargas iluminación emergencia todas las áreas	TA7	175	150
<b>TA7-P13</b>	Montacargas pixel hydro lavandería (MC1)	TA7	125	100
<b>TA7-P2</b>	Cargas fuerza emergencia calderas	TA7	250	225
<b>TA7-P8</b>	Cargas fuerza emergencia cocina	TA7	300	225
<b>TA7-P14</b>	Montacargas almacen sumi (MC2)	TA7	125	100

*Nota.* Tres de las protecciones no cumplen con los parámetros. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla anterior, los valores en naranja representan que hay que prestar atención a esas protecciones ya sea porque su corriente nominal es ligeramente superior al mínimo recomendado o por el contrario porque es menor

y podrían presentarse disparos no deseados. Sin embargo, no representan un riesgo demasiado alto. En cambio, los valores en rojo indican que se debe tomar medidas correctivas como el reemplazo de la protección por una del valor de corriente nominal propuesta. A manera de ejemplo, en el circuito TA0-P1-2 se recomienda una protección que no supere los 125 A nominales, pero hay instalada una de 225 A, lo cual puede representar un riesgo ya que si se diera una sobrecarga la protección no se activaría a tiempo o no se activaría nunca dependiendo la severidad de la sobrecarga con el riesgo de incendio que esto acarrea.

#### 7.1.4. Tableros eléctricos

Se analiza la capacidad de barras de los tableros más importantes del edificio.

**Tabla 65.**

*Comparación, corriente de barras de tableros propuesta vs instalada*

Tablero	Corriente de barras comercial mínimo sugerido (A)	Corriente de barras instalado (A)
TA0	400	800
TA11	125	225
TA24	125	225
TA6	200	225
TA29	150	225
TA5	125	125
TA7	600	600
TA15	125	225
TA8	125	225
TA1	150	225
TA31	125	225

*Nota.* Todos los tableros cumplen con los parámetros. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla anterior se aprecia que la capacidad de corriente de barras de todos los tableros más importantes del edificio está correctamente dimensionada para la carga que tienen conectada.

### 7.1.5. Transformadores eléctricos

Se evalúa la potencia de los transformadores del Edificio de Servicios de Apoyo.

**Tabla 66.**

*Comparación potencia nominal de transformadores propuesto vs real*

No. Referencia transformador	Potencia nominal diseño trafo [KVA]	Potencia nominal real trafo [KVA]
TR1	15	50
TR2	75	50
TR3	15	30
TR4	75	112.5
TR5	30	112.5
TR6	75	75
TR7	15	30
TR8	--	45
TR9	30	50
TR10	112.5	112.5
TR11	75	50
TM1/TM2	30	53

*Nota.* Dos transformadores no cumplen con los parámetros. Elaboración propia, realizado con Excel.

Se recomienda reemplazar el transformador TR2 y el TR11 por otros de mayor potencia, o si es posible distribuir la carga de otra forma para evitar sobrecarga. El transformador TR8 no se puede evaluar por motivo que se desconoce la carga que tiene conectada.

## 7.2. Iluminación

En la sección 5.8 se determinó las áreas que tienen una iluminación deficiente, luego en la sección 6.2 se determinó el número total de luminarias requeridas por área para alcanzar el nivel de iluminación adecuado (lámparas de 2 tubos *Phillips* 1200mm 13.5W 2500 lúmenes c/u). A continuación, se determina la cantidad de lámparas que hacen falta en las áreas con iluminación deficiente.

**Tabla 67.**

*Número de lámparas (5000 lm c/u) faltantes por área*

Ref área	Uso	No. luminarias diseño (2 tubos 2500lm c/u)	No. luminarias instaladas	No. luminarias faltantes
1	Área calderas	30	19	11
7	Área principal de lavandería.	99	23	76
8	Cuarto de generadores.	30	2	28
9	Ropería	16	4	12
10	Pasillo principal sótano Este	16	5	11
13	Área principal de lavandería Este	33	8	25
14	Almacén alimentos	19	15	4
15	Panadería	10	4	6
16	Jefatura de nutrición y dietética	20	12	8
17	Lactario adultos	18	6	12
18	Lactario pediatría	44	15	29
19	Cambiador y baño hombres	10	3	7
20	Cambiador y baño mujeres	9	4	6
21	Área cocina	148	30	118
25	Comedor	32	11	21
26	Cuarto de leche humana	42	11	31
27	Oficina de cocina	9	4	5
			TOTAL	410

*Nota.* Con esas lámparas faltantes se puede alcanzar la iluminación recomendada. Elaboración propia, realizado con Excel.

Se recomienda la instalación de un total de 410 luminarias cada una de 2 tubos led 13.5 W 2500 lm para alcanzar un nivel adecuado de iluminación en todas las áreas del edificio.

### **7.3. Sistema de protección contra descargas atmosféricas**

Actualmente no existe ningún tipo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en el edificio, ni en las torres aledañas, por ende, no se puede hacer ningún tipo de comparación. Se recomienda instalar el sistema propuesto en la sección 6.3.

### **7.4. Sistema de puesta a tierra física**

Como se discutió en la sección 5.5, no hay registro ni documentos que especifiquen el diseño y ubicación de las tomas a tierra del edificio y tampoco se lograron encontrar durante la inspección de las instalaciones. Es posible que las cajas de registro hayan sido fundidas por desconocimiento. Se propone realizar una evaluación específicamente de este sistema, así mismo se propone instalar el sistema propuesto en la sección 6.4.

### **7.5. Sistema de alimentación eléctrica de emergencia**

El sistema de generación de emergencia con que se cuenta en el Hospital General san Juan de Dios, descrito en la sección 5.6, cumple en diseño estos requerimientos:

- Sistema de combustible: el sistema de combustible cumple con los requerimientos del tipo de combustible (Diesel), y autonomía (tanque de almacenamiento).

- Número de generadores: el sistema cuenta con dos generadores, lo cual es el número mínimo recomendado considerando que se trata de un hospital estatal. No obstante, uno de los dos equipos (*Caterpillar*), se encuentra fuera de servicio, por lo que se recomienda su rehabilitación o reemplazo de forma urgente.
- Potencia: la potencia de emergencia mínima requerida en el Edificio de Servicios de Apoyo es de 373.92KVA. Se cuenta con un generador marca *Kohler* de 750 KVA y otro de la marca *Caterpillar* de 938 KVA, por lo que sí se cumple al menos con la carga de emergencia de dicho edificio. No obstante, estos generadores abastecen todo el hospital, por lo que se recomienda un estudio integral para poder dar un dictamen definitivo.



## 8. ANÁLISIS DE COSTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

En este capítulo se realizará una estimación del costo de la implementación de soluciones a los problemas identificados a lo largo del trabajo y recopilados en la sección 5.9.

**Tabla 68.**

*Costos para reemplazo alimentador TA34*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
<b>Metro cable THHN 2AWG</b>	120	84.29	10114.80
<b>Cincho plástico</b>	25	1.00	25.00
<b>Mano de obra</b>	1	2400.00	2400.00
		<b>TOTAL</b>	<b>12539.80</b>

*Nota.* La tabla demuestra el valor necesario para el reemplazo del alimentador. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 69.**

*Costos por corrección de todos los alimentadores de tablero puestos en paralelo*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Flipón 3X125A FPE NA	1	1561.15	1561.15
Flipón 3x100A FPE NA	3	783.64	2350.92
Tablero 30x150A G.E. THQL 3F	1	2159.72	2159.72
Flipón 1x20A G.E. QP	9	48.48	436.32
Flipón 1x30A G.E. QP	3	50.50	151.5
Flipón 1x50A G.E. QP	1	58.36	58.36
Flipón 1x70A G.E. QP	1	284.99	284.99
Flipón 3x80A FPE NA	1	378.00	378.00
Flipón 2x80A FPE NA	1	306.75	306.75
Flipón 3x60A FPE NA	1	589.76	589.76

Continuación de la tabla 69.

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Flipón 3x40A FPE NA	1	537.20	537.20
Flipón 3x70A FPE NA	1	730.61	730.61
Flipón 3x30A FPE NA	1	589.94	589.94
Metro cable 3/0 THHN	15	89.59	1348.35
Mano obra	1	6375.00	6375.00
		<b>TOTAL</b>	<b>17858.57</b>

*Nota.* Valor necesario para el remplazo del alimentador. Elaboración propia, realizado con Excel.

### Tabla 70.

*Costos por independización del circuito de lavandería*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
<b>Flipón 3x125A</b>	1	1650.00	1650.00
<b>Mano de obra</b>	1	950.00	950.00
		<b>TOTAL</b>	<b>2600.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el remplazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

### Tabla 71.

*Costos por corrección de protección circuito TA7-P1 y TA0-P2*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
<b>Flipón 3x125A</b>	1	1650.00	1650.00
<b>Mano de obra</b>	1	800.00	800.00
		<b>TOTAL</b>	<b>2450.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el remplazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 72.***Costos estimados por sustitución de transformadores TR2 y TR11*

<b>Descripción</b>	<b>Cdad. Necesaria</b>	<b>Valor unitario (Q)</b>	<b>Valor total (Q)</b>
Transf. Seco. 75KVA 3F 480/240D con taps	1	45595.00	45595.00
Transf. Seco. 75KVA 3F 480D-208Y/120V con taps	1	45595.00	45595.00
Mano obra instalación	1	4000.00	4000.00
<b>TOTAL</b>			<b>95190.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el remplazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 73.***Costos estimados, instalación de pararrayos, conductores de bajada y electrodos*

<b>Descripción</b>	<b>Cdad. Necesaria</b>	<b>Valor unitario (Q)</b>	<b>Valor total (Q)</b>
Pararrayos DAT controller plus AT-1545	1	16424.00	16424.00
Kit Varilla de puesta a tierra Total Ground AT-700	2	7840.00	15680.00
Torre 6m completa	1	8000.00	8000.00
Accesorios, cable, entre otros	N/A	20000.00	20000.00
Mano de obra	1	9500.00	9500.00
<b>TOTAL</b>			<b>69604.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el remplazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 74.***Costos estimados por suministro e instalación de sistema de puesta a tierra*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Kit Varilla de puesta a tierra Total Ground AT-700	2	7840.00	15680.00
Accesorios, cable, entre otros.	N/A	10000.00	10000.00
Mano de obra	1	4500.00	4500.00
		<b>TOTAL</b>	<b>30180.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el replazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 75.***Costos de suministro e instalación de luminarias*

Descripción	Cdad. Necesaria	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Lámpara 2 tubos led 48 pulg 16W completa	410	290.00	118900.00
Metro cable THHN 14AWG	6150	4.37	26875.50
Ducto, accesorios, soportes, entre otros	N/A	41000.00	41000.00
Mano de obra	1	41000.00	41000.00
		<b>TOTAL</b>	<b>227775.00</b>

*Nota.* Valor necesario para el replazo. Elaboración propia, realizado con Excel.

En las tablas anteriores se estiman los costos para la solución de una parte de los problemas encontrados en el edificio. No se incluyó costos para solucionar el problema en el sistema de generación ni del banco de capacitores ya que los mismos requieren de un diagnóstico previo mediante equipo y personal especializado.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el levantamiento de la infraestructura eléctrica del edificio. El cual contempla cargas, tableros, transformadores, generadores, sistema de puesta a tierra, entre otros. Los datos se recopilaron en una serie de tablas y planos en el capítulo 4 y apéndices.
2. Se llevó a cabo una inspección física de los componentes del sistema, registrando debidamente aquellos aspectos que requieren atención. También se empleó instrumentos especiales para realizar los siguientes análisis:
  - Análisis termográfico: se evaluó el aspecto térmico de varios tableros críticos del edificio.
  - Análisis de calidad de energía: se midió los parámetros eléctricos más importantes del suministro eléctrico y se identificó aquellos aspectos que requieren corrección.
  - Medición de niveles de iluminación: se midió los niveles de iluminación en diversas áreas y se identificó aquellas áreas con iluminación deficiente.
3. Se realizó el rediseño de diversos componentes y se comparó los resultados con el diseño actual. Con esto se determinó la existencia de elementos sobrecargados o con un diseño deficiente. Entre los elementos rediseñados está: conductores, protecciones eléctricas, tableros,

transformadores, pararrayos, sistema de puesta a tierra, iluminación, entre otros.

4. Se realizó una estimación del costo para implementar las soluciones propuestas a los problemas encontrados o ya sea para implementar los sistemas nuevos que actualmente no existen y que se recomienda implementar para incrementar la seguridad y desempeño de la instalación.

## RECOMENDACIONES

1. Establecer una rutina de mantenimiento preventivo a los diversos componentes eléctricos como tableros y transformadores, ya que muchos de ellos presentan polvo, la mayoría no tiene rotulación ni orden y otros perdieron su tapa frontal.
2. Sustituir gradualmente los tableros de la marca Federal Pacific, ya que esta marca se encuentra actualmente descontinuada lo que puede provocar dificultades a la hora de tener que sustituir protecciones de manera urgente.
3. Solucionar los problemas de sobrecarga más críticos. De los cuales se puede destacar el transformador TR11, que es el elemento que más riesgo corre actualmente por presentar una demanda máxima estimada mayor a su valor de potencia nominal.
4. Realizar un diagnóstico urgente del banco de capacitores debido a que el factor de potencia ha presentado valores hasta de 0.82 lo cual indica que el banco no está funcionando correctamente.
5. Diagnosticar a profundidad el grupo electrógeno *Caterpillar* ya que el mismo está deshabilitado y debería ponerse en servicio lo antes posible. Actualmente la confiabilidad del sistema es baja por haber únicamente un generador en servicio, sin contar que este es de una potencia menor.

6. Evaluar las propuestas y su presupuesto presentadas en el presente trabajo para garantizar que las instalaciones funcionen en óptimas condiciones.

## REFERENCIAS

- Amores, F. (s.f.). *Métodos de ubicación de los captadores de rayo*. Monografías.  
<https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/metodos-ubicación-captadores-rayo/metodos-ubicacion-captadores-rayo>
- Andres. (s.f.). *Correcta conexión de sistemas de puesta a tierra*. ELECTRICAPLICADA. <https://www.electricaplicada.com/conexion-correcta-de-sistemas-de-puesta-a-tierra/>
- Aplicaciones Tecnológicas. (s.f.). *Pararrayos*. AT.  
[https://at3w.com/upload/ficheros/02\\_pararrayos\\_y\\_accesorios\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/02_pararrayos_y_accesorios_es.pdf)
- Asociación Española de Normalización (2003). *UNE 12464.1. Norma europea sobre la iluminación para interiores*. UNE.  
<https://www.saltoki.com/iluminacion/docs/03-UNE-12464.1.pdf>
- Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (2011). *Norma NEC*. NFPA.
- Astorga, J., Aróstica, R., e Iriarte, Y. (2016). Estimación del factor K en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal. *Tecnura*, 20(48), 32. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2016000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000200003)

BENDER. (s.f.). *Los sistemas IT en el espejo de las normas*. BR.  
<https://www.bender.es/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it/los-sistemas-it-en-el-espejo-de-las-normas/>

BirthLH. (s.f.). *IEI05.-Montaje de las puestas a tierra*. BLH.  
[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es IEA IEI05 Contenidos/website\\_index.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es IEA IEI05 Contenidos/website_index.html)

Bratu, N., y Campero, E. (1995). *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño*. Alfaomega.

Carrillo, J. y Rojas, J. (2013). El variador de velocidad como método de arranque ideal para motores eléctricos de inducción. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 13(1), 34-39. [https://www.researchgate.net/publication/307555508\\_El\\_variador\\_de\\_velocidad\\_como\\_metodo\\_de\\_arranque\\_ideal\\_para\\_motores\\_electricos\\_de\\_induccion](https://www.researchgate.net/publication/307555508_El_variador_de_velocidad_como_metodo_de_arranque_ideal_para_motores_electricos_de_induccion)

Código de color. (s.f.). *¿Cómo saber el Código de colores de electricidad por país?* CC. <https://codigodecolor.com/codigo-de-colores-de-cables-electricos-por-pais/>

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2004). *Normas Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (Acometidas)*. CNEE.

Copper Group. (s.f.). *Monitor de voltaje trifásico*. CG.  
<https://cr.coppergroupint.com/producto/monitor-de-voltaje-trifasico/>

Corporación Tecnológica New Line. (s.f.). *Supresor de transientes: trifásico 400/480VCA de 50kA*. CTNL. <https://corpnewline.com/assets/ft-supresor-3f-400v-50ka.pdf>

Electricasas. (s.f.). *Acometidas eléctricas domiciliarias*. EC. <https://www.electricasas.com/acometidas-electricas-domiciliarias-simples-aereas/>

Electricistas.cl. (s.f.). *Puesta a tierra: Extracto SEC NCH Elec. 4/2003*. EP. <https://electricistas.cl/puesta-a-tierra-extracto-sec-nch-elec-4-2003/>

Electrotec (s.f.). *Potencia reactiva*. ETEC. <https://electrotec.pe/blog/CalculoDeBancoDeCondensadores>

Enríquez, G. (2005). *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales*. Limusa.

FLUKE. (2006). *Earth/Ground Tester 1625*. FE.

FLUKE. (s.f.). *Medidor digital de luminosidad*. FE. <https://www.steren.com.gt/medidor-digital-de-luminosidad-luxometro-her-408.html>

FLUKE. (s.f.). *Pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz Fluke 323*. FE. <https://www.fluke.com/es-gt/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-323>

Forocoches. (13 de abril de 2015). *Presentación Mini 1275 GT*. Ruk206fr. <https://forocoches.com/foro/showthread.php?t=4250865>

Franklin France. (s.f.). *Jaula enmallada*. FF. <https://franklin-france.com/es/foudre/cage-maillee/>

García, J. (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. (<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>)

González, C. (2001). *Cálculo de corrientes de cortocircuito en baja tensión*. INACAP. <https://www.oocities.org/stselectricos/clase3.pdf>

Google Earth. (s.f.). *Ubicación*. Google. <https://www.google.com.mx/maps/@14.639799,90.5211789,468m/data=!3m1!1e3>

Hartwell, F., McPartland, J. & McPartland, B. (2017). *National Electrical Code 2017 Handbook* [Manual del Código Eléctrico Nacional 2017]. McGraw-Hill.

Hospital General San Juan de Dios, (s.f.). *Hospital General San Juan de Dios*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. <https://hospitalsanjuandedios.mspas.gob.gt/hospital/mision-y-vision.html>

Hospital General San Juan de Dios. (s.f.). *Organigrama*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. <https://hospitalsanjuandedios.mspas.gob.gt/transparencia/informacion-publica/send/72-2020/748-organigrama-hospital-general-san-juan-de-dios.html>

Ingenieros Industriales. (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. II. ([https://issuu.com/bryansala/docs/factor de utilizaci n - iluminaci](https://issuu.com/bryansala/docs/factor_de_utilizaci_n_-_iluminaci))

- Instalaciones Eléctricas Residenciales. (5 de mayo de 2013). *El factor de relleno*. IER. <https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2013/05/el-factor-de-relleno-parte-i.html>
- Martínez, R. (2021). *Ojo al desbalance, tiene su costo*. Konverter. <https://www.konverter.com.mx/post/ojo-al-desbalance-tiene-su-costo>
- Mendoza, E., y Simancas, D. (2008). *Sistemas eléctricos de emergencia*. [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Archivo digital. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0050087.pdf>
- MP Ascensores. (s.f.). *Transporte vertical: información técnica general*. MP Ascensores.
- ONESTO (s.f.). *5kw 6kw 8kw 10kw Three Phase Solar Hybrid Inverter* [Inversor híbrido solar trifásico de 5kw 6kw 8kw 10kw]. ONESTO Solar. <https://www.onestosolar.com/product/11118/>
- Pérez, E. (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado Wavelets-Filtro de Kalman extendido*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Cantabria]. Archivo digital. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>
- Pro Electric, S.A. (s.f.). *Kit tierra física 100amp con acoplador TG100K*. PESA. <https://www.proelectric.com.gt/producto/kit-tierra-fisica-100amp-con-acoplador-tg100k-2/>

Ramírez, J. (s.f.). *Cómo funciona un interruptor diferencial (disyuntor)*. Como funciona. <https://como-funciona.co/un-interruptor-diferencial-disyuntor/>

Sector Electricidad. (6 de febrero de 2022). *Relé térmico*. SE. <https://www.sectorelectricidad.com/36661/rele-termico/>

Siemens. (2008). *Catálogo de material eléctrico para la construcción 2008*. Siemens. [https://siemensmexico.com.mx/descargables/Instalaciones\\_Electricas\\_Residenciales.pdf](https://siemensmexico.com.mx/descargables/Instalaciones_Electricas_Residenciales.pdf)

Teldyne Flir (30 de agosto de 2019). *¿Cómo puede saberse si en su casa hay carencias de aislamiento?* TF. <https://www.flir.es/discover/professional-tools/how-can-you-tell-if-you-have-missing-insulation/>

Tomas, G. (2004). *Actualización del mapa isocerámico de Guatemala y su influencia en el diseño de líneas de transmisión*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0518\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0518_EA.pdf)

Universidad Nacional de la Plata. (s.f.). *Canalizaciones eléctricas*. UNLP. <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/57/29557/9822eaec17bfc985b1a018231b4e0a3f.pdf>

## APÉNDICES

### Apéndice 1.

*Instalación de analizador de redes en subestación*



*Nota.* La figura muestra la instalación que se realizó en la subestación del Hospital San Juan de Dios. Elaboración propia.

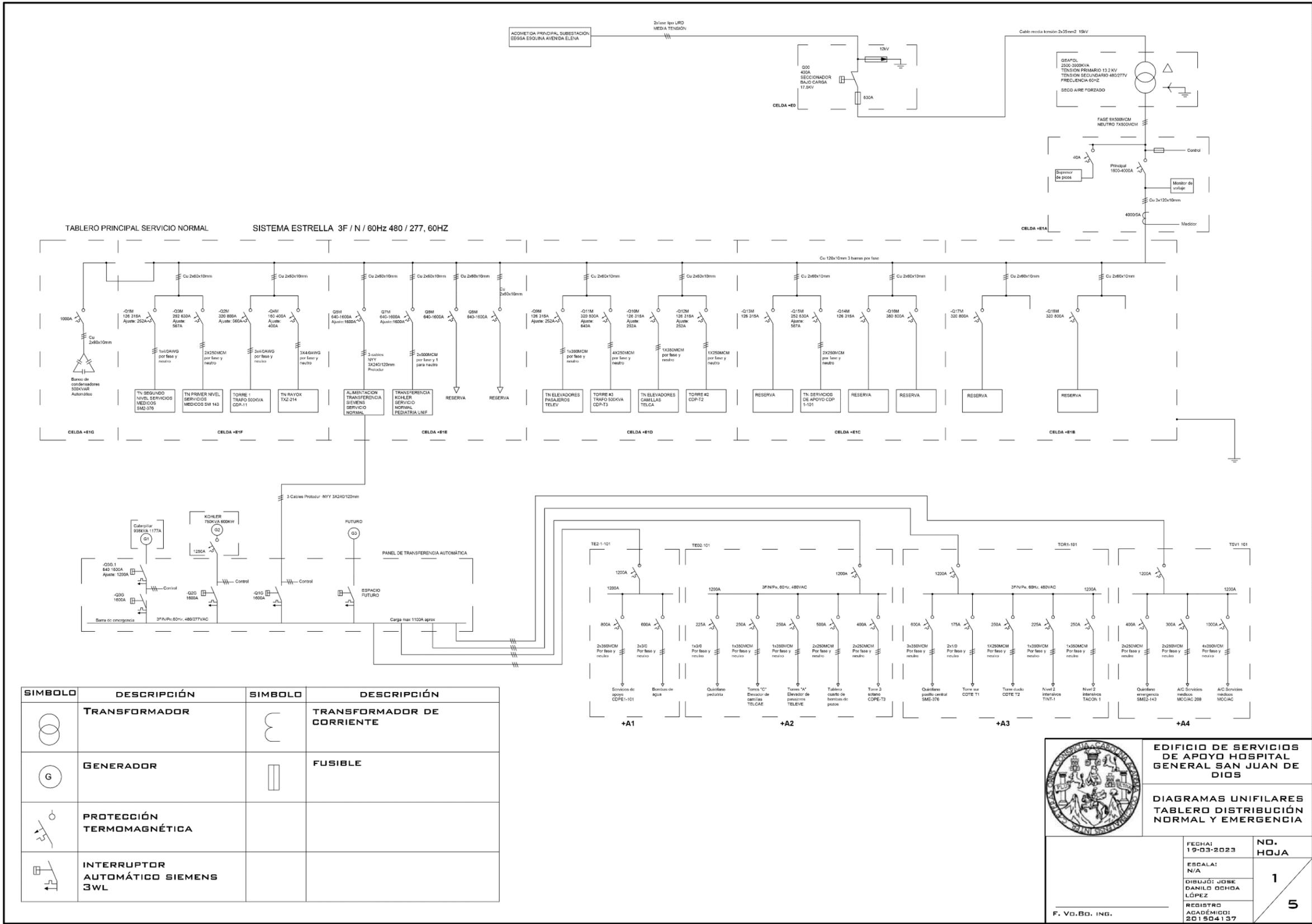


## **Apéndice 2.**

### *Planos eléctricos del edificio de servicios de apoyo*

*Nota.* Se presentan los 5 planos de fuerza e iluminación del Hospital San Juan de Dios.  
Elaboración propia, realizado con AutoCAD.





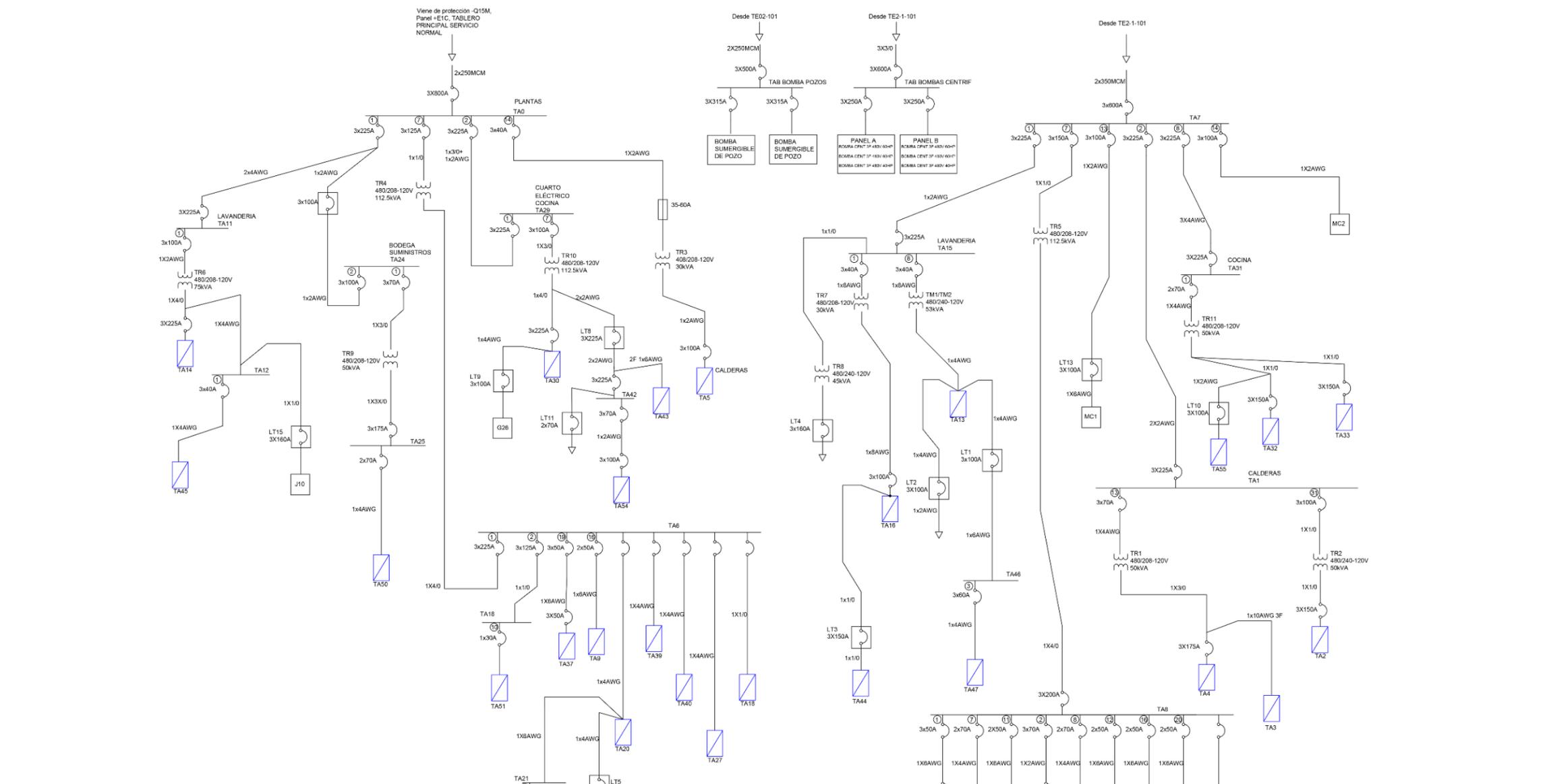
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	GENERADOR		FUSIBLE
	PROTECCIÓN TERMOMAGNÉTICA		
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO SIEMENS 3WL		

**EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**DIAGRAMAS UNIFILARES TABLERO DISTRIBUCIÓN NORMAL Y EMERGENCIA**

FECHA: 19-03-2023	NO. HOJA
ESCALA: N/A	<b>1</b>
DIBUJÓ: JOSE DANILO OCHOA LÓPEZ	
REGISTRO ACADÉMICO: 201504137	<b>5</b>

F. Vo.Bo. ING.



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TRANSFORMADOR
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	CAJA CON UN SOLO BREAKER MONOFÁSICO, BIFÁSICO O TRIFÁSICO
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN

**NOTA:**  
 1- POSICIÓN DE BREAKER DENTRO DEL TABLERO SE INDICA CON EL NÚMERO A LA IZQUIERDA DEL SÍMBOLO DE BREAKER, EL CUAL TOMA EL NÚMERO 1 EL POLO QUE ESTÁ EN LA ESQUINA SUPERIOR IZQUIERDA, EL 2 EL QUE ESTÁ EN ESQUINA SUPERIOR DERECHA, EL 3 EL POLO QUE ESTÁ INMEDIATAMENTE DEBAJO DEL 1 Y ASÍ CONSECUTIVAMENTE.



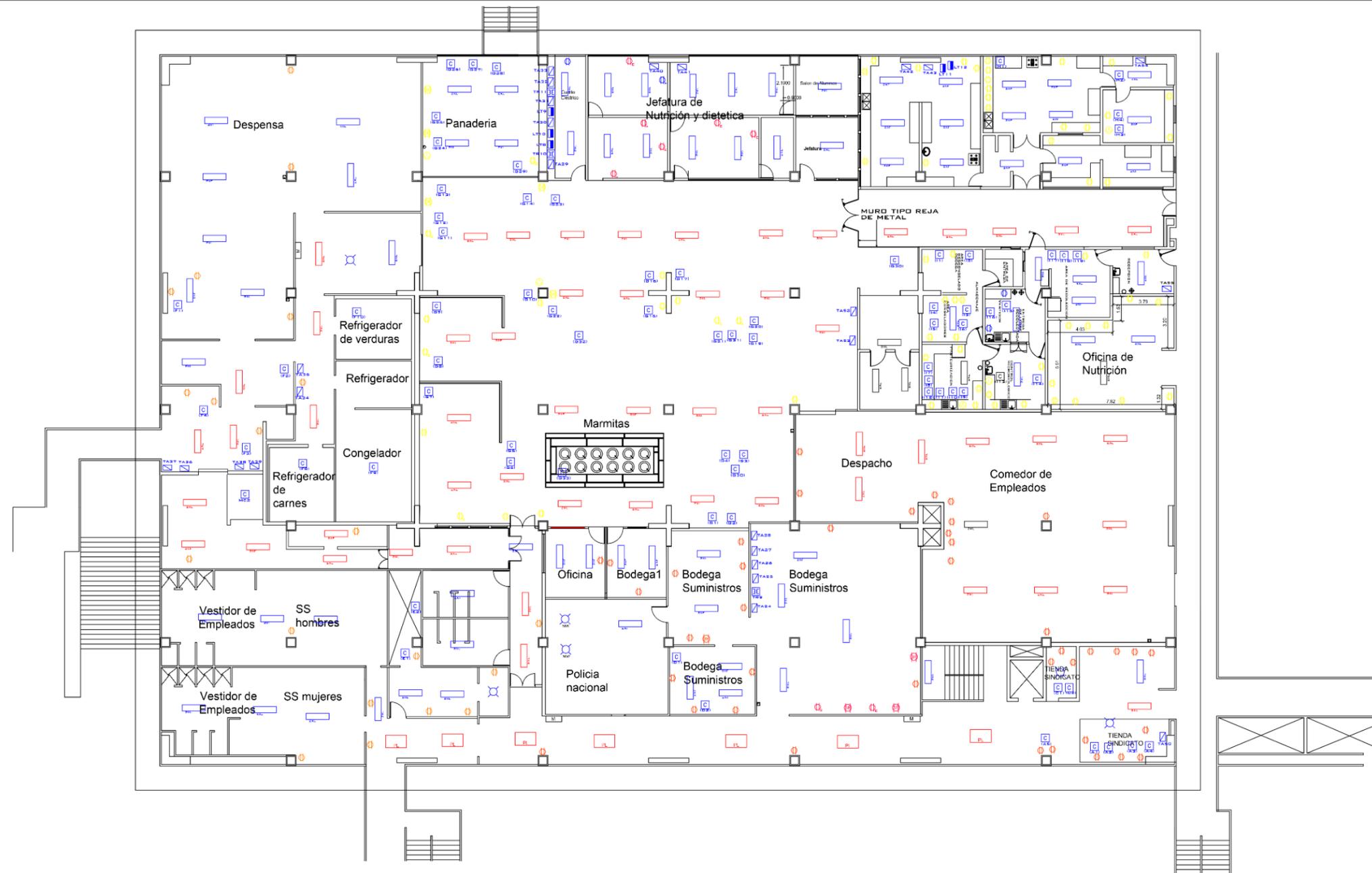
**EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**DIAGRAMAS UNIFILARES TABLEROS PRINCIPALES DE EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO**

FECHA: 19-03-2023	NO. HOJA
ESCALA: N/A	<b>2</b>
DIBUJÓ: JOSE DANILLO OCHOA LÓPEZ	
REGISTRO ACADÉMICO: 201504137	<b>5</b>

F. Vd.Bo. ING.





**NOTA:**

1- ESPECIFICACIONES DE TRANSFORMADORES, TABLEROS Y CARGAS SE ENCUENTRAN EN PLANO NO. 5

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMACORRIENTE USO GENERAL MONOFÁSICO 120V		TOMACORRIENTE EMERGENCIA MONOFÁSICO 120V		TOMACORRIENTE TRIFÁSICO 208V
	CARGA		TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR BIFÁSICO 240V
	BOMBILLO		TABLERO DE DISTRIBUCIÓN		PANEL LED
	LUMINARIA DE 2 TUBOS FLUORESCENTES DE 1.2M DE LARGO		CAJA CON UN SOLO BREAKER MONOFÁSICO, BIFÁSICO O TRIFÁSICO		



EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS

PLANO DE PLANTA DE NIVEL 1, UBICACIÓN DE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

FECHA: 19-03-2023	NO. HOJA
ESCALA: N/A	4
DIBUJÓ: JOSE DANILLO OCHOA LÓPEZ	
REGISTRO ACADÉMICO: 201504137	5

F. Va.Bo. ING.

**TRANSFORMADORES**

-TR1: TRE1-102 SECO 3F 50KVA 480/208-120V  
 -TR2: ICI CALDAE SECO 3F 50KVA 480/220V  
 -TR3: TRI-102 SECO 3F 30KVA 480/208-120V  
 -TR4: TRI-101 SECO 3F 112.5KVA 480/208-120V  
 -TR5: TRE1-101 SECO 3F 112.5KVA 480/208-120V  
 -TR6: TRI-106 SECO 3F 75KVA 480/208-120V  
 -TR7: TRE1-106 SECO 3F 30KVA 480/208-120V  
 -TR8: SIN NOMBRE SECO 3F 45KVA 480/208-120V  
 -TR9: TRI-217 SECO 3F POT NO INDICADA 480/208-120V  
 -TR10: TRI-209 SECO 3F 112.5KVA 480/208-120V  
 -TR11: TRE1-209 SECO 3F 50KVA 480/208-120V  
 -TM1: SIN NOMBRE SECO 1F 25KVA 480/240V  
 -TM2: SIN NOMBRE SECO 1F 25KVA 480/240V  
 -TRANSFORMADOR PRINCIPAL SERVICIO NORMAL: GEAFOL SECO 3F DELTA/ESTRELLA NEUTRO ATERRIZADO 3.5MVA 13.2KV/480-277V

**TABLEROS**

-TABLERO PRINCIPAL SERVICIO NORMAL: SIEMENS  
 -TA0: CDP1-101 FPE 3F 600A 30 POLOS 600V  
 -TA1: TTFE1-102 FPE 3F 225A 40 POLOS 600V  
 -TA2: ICI CALDAE GE 3F 125A 24 POLOS 240V  
 -TA3: TABLERO (T2) GE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA4: TTFE1-102 FPE 3F 175A 24 POLOS 240V  
 -TA5: TFI1-102 FPE 3F 125A 30 POLOS 240V  
 -TA6: CPI1-101 FPE 3F 225A 30 POLOS 240V  
 -TA7: CDPEI-101 FPE 3F 600A 30 POLOS 600V  
 -TA8: CDPEI1-101 FPE 3F 225A 26 POLOS 240V  
 -TA9: TI1-101 FPE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA10: TIE1-101 FPE 1F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA11: TTFE1-106 FPE 3F 125A 36 POLOS 240V  
 -TA12: RENAZACCI 1.2.3 FPE 3F 125A 30 POLOS 240V  
 -TA13: SECADORAS FPE 3F 125A 36 POLOS 240V  
 -TA14: TFI-106 FPE 3F 225A 42 POLOS 240V  
 -TA15: TTF1-106 3F 225A 24 POLOS 240V  
 -TA16: SIN NOMBRE FPE 3F 125A 30 POLOS 240V  
 -TA17: TIE1-106 FPE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA18: TI1-106 FPE 2F 225A 30 POLOS 240V  
 -TA19: TIE1-104 FPE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA20: TI1-104 FPE 2F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA21: SIN NOMBRE GE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA22: SIN NOMBRE GE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA23: SIN NOMBRE GE 2F 125 4 POLOS 240V  
 -TA24: TTF1-217 FPE 3F 225A 24 POLOS 600V  
 -TA25: TFI-217 FPE 3F 225A 28 POLOS 240V  
 -TA26: TFE1-217 FPE 3F 225A 18 POLOS 240V  
 -TA27: TI1-217 FPE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA28: TIE1-217 FPE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA29: TTF1-209 FPE 3F 225A 32 POLOS 600V  
 -TA30: TFI-209 FPE 3F 225A 42 POLOS 240V  
 -TA31: TTFE1-209 FPE 3F 225A 32 POLOS 600V  
 -TA32: TFE1-209-1 FPE 3F 225A 42 POLOS 240V  
 -TA33: TFE1-209-2 FPE 3F 225A 42 POLOS 240V  
 -TA34: TTRFE1-209 FPE 3F 225A 30 POLOS 240V  
 -TA35: SIN NOMBRE GE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA36: TFE1-207 FPE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA37: TFI-207 FPE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA38: TIE1-207 FPE 2F 100A 8 POLOS 240V  
 -TA39: TI1-207 FPE 2F 100A 12 POLOS 240V  
 -TA40: TI1-209A FPE 2F 100A 8 POLOS 240V  
 -TA41: TIE1-209A FPE 2F 100A 8 POLOS 240V  
 -TA42: TFCAR-213 FPE 3F 225A 30 POLOS 240V  
 -TA43: SIN NOMBRE GE 2F 125A 16 POLOS 240V  
 -TA44: SIN NOMBRE GE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA45: SIN NOMBRE GE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA46: SIN NOMBRE GE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA47: SIN NOMBRE GE 3F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA48: SIN NOMBRE SIEMENS 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA49: SIN NOMBRE GE 2F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA50: SINDICATO GE 2F 125A 4 POLOS 240V  
 -TA51: CAMB MUJERES GE 2F 125A 8 POLOS 240V  
 -TA52: COCINA FPE 2F 125A 12 POLOS 240V  
 -TA53: COCINA ILUM FPE 2F 125 12 POLOS 240V  
 -TA54: SIN NOMBRE SIN BARRAS 3F 240V  
 -TA55: (BANCO LECHE) GE 3F 24 POLOS 240V

**CARGAS**

A1: MICROONDAS 1F 120V 1000VA  
 A2: MICROONDAS 1F 120V 1000VA  
 A3: CONGELADOR 1F 120V 500VA  
 A4: CONGELADOR 1F 120V 500VA  
 A5: CONGELADOR 1F 120V 800VA  
 C1: MICROONDAS 1F 120V 1000VA  
 C2: REFRIGERADOR 1F 120V 500VA  
 D1: IMPRESORA WORKCENTRE 800VA  
 D2: A/C TEMPBLUE 1F 120V 1200VA  
 E1: CONGELADOR 1F 120V 800VA  
 E2: HORNO DE RESISTENCIA 1F 120V 1000VA  
 F1: CAFETERA 1F 120V 500VA  
 F2: PESA 1F 120V 0.2A  
 F3: IMPRESORA 2575 1F 120V 800VA  
 F4: IMPRESORA HP LASER JET PRO 120V 450VA

G1: AMASADORA 3F 208V 1000VA  
 G2: LICUADORA GRANDE 1F 120V 500VA  
 G3: HORNO A GAS 110V 500VA  
 G4: ESTUFA LANCHAS A GAS 110V 500VA  
 G5: LICUADOR/PICADORA HOBART 3F 208V 3200VA  
 G6: LICUADORA/PICADORA HOBART 3F 208V 2700VA  
 G7: PELAPAPAS HOBART 1F 115V 2000VA  
 G8: ESMERIL BENCH GRINDER 1F 110V 900VA  
 G9: REFRIGERADOR PARKER 1F 115V 600VA  
 G10: MOLEDDORA FRIJOL APARENT 1F 208V  
 G11: CORTADORA SANDWICH 1F 110V 250VA  
 G12: G. PANIZ 1F 110V 250VA  
 G13: BATIDORA INDUSTRIAL HOBART 3F 208V 3600VA  
 G14: REVOLVEDORA ALEXANDER WERK  
 G15: HORNO VULCAN 1F 110V 1000VA  
 G16: HORNO GAS VENANCIO 1F 110V 1000VA  
 G17: HORNO GAS VENANCIO 1F 110V 1000VA  
 G18: LICUADORA CROYDON 1F 110V 1500VA  
 G19-G21: TEFLÓN O PLANCHA VULCAN 1F 120V 360VA  
 G22: PICADORA VENANCIO 1F 110V 650VA  
 G23: MOLEDDORA DE CARNE HOBART 3F 220V 3100VA  
 G24: MEZCLADORA GRUPO ALFA 3F 220V 6000VA  
 G25: AMASADORA G.PANIZ 1F 220V 800VA  
 G26: HORNO DE PAN ELECTRICO DOYON 3F 208V 25KVA  
 G27: HORNO DE PAN ELECTRICO ZUCHELLI-ALPHA 3F 208V 25KVA  
 G28: HORNO ELECTRICO FAGOR INDUSTRIAL 3F 480V 8.2KVA  
 G29: REFRIGERADOR GRANDE FOGEL 1F 120V 1000VA  
 G30: EXTRACTOR 1F 120V 800VA  
 G31: EXTRACTOR 1F 120V 800VA  
 G32: EXTRACTOR 1F 120V 800VA  
 G33: EXTRACTOR 1F 120V 800VA  
 G34: CUARTO FRIO 1F 120V 1700VA

H1: MICROONDAS PEQUEÑO 600VA  
 H2: AUTOCLAVE A VAPOR 3F 208V 500VA  
 H3: REFRIGERADOR GRANDE 1F 110V 800VA  
 H4: CONGELADOR GRIGIDAIRE 1F 110V 800VA

I1: CONGELADOR DURABRAND 1F 120V 150VA  
 I2: REFRIGERADOR FOGEL 1F 120V 800VA  
 I3: REFRIGERADOR GRS 1F 115V 250VA  
 I4: REFRIGERADOR FOGEL 1F 115V 800VA  
 I5: REFRIGERADOR ASBER 1F 115V 1600VA  
 I6: REFRIGERADOR REVED 1F 115V 250VA  
 I7-I12: MICRO HEMATOCRITO ENTRIFUGE 1F 115V 900VA  
 I13-I14: PASTEURIZADOR ABL-65 1F 208-220V 3700VA  
 I15: PASTEURIZADOR RBL-65 1F 208-220V 3700VA  
 I16: A/C INNOVAR VORTEX 1F 208V 7KVA  
 I17: PASTEURIZADOR ABM-65 208-220V 3700VA  
 I18: REFRIGERADOR LG 1F 115V 800VA  
 I19: INCUBADORA 1F 120V 400VA  
 I20: HOYA ALL AMERICAN 1F 120V 1800VA  
 I21: REFRIGERADORA LG 1F 115V 800VA  
 I22: REFRIGERADOR MABE 1F 115V 800VA  
 I23: REFRIGERADOR WHIRPOOL 1F 115V 800VA

J1-J3: SECADORA A VAPOR WASCO 150-CS 3F 240V 1650VA  
 J4: SECADORA A VAPOR HUEBSCH L-44KD42S 3F 240V 1650VA  
 J5: SECADORA A VAPOR BALDOR SUPER DRYNOMIC 3F 460V 10.5 KVA  
 J6: SECADORA A VAPOR POENSGEN-SULZMANN 3F 460V 6KVA  
 J7-J9: SECADORA ADC D-190 3F 240V 1650VA  
 J10: SECADORA ELECTRICA SPEED QUEEN 3F 208V 30KVA  
 J11: LAVADORA WASH EX WARNING 46/76 FLAP2 1F 480V 20KVA  
 J12: LAVADORA EXTRACTORA INDUSTRIAL 40NEDP-3 480V 20KVA  
 J13-J15: LAVADORA RENZACCI LX-55 3F 208V 2.5KVA  
 J16: COMPRESOR 7100E15-V 3F 240V14.5KVA  
 J17-J19: EXTRACTOR 3F 208V 4.6KVA

K1-K2: A/C N4A360AKN400 2F 208V 8KVA  
 K3: IMPRESORA CANON DADF-AG1 1F 120V 500VA  
 K4: MICROONDAS MEDIANO 1F 120V 800VA  
 K5: DISPENSADOR FRIGIDAIRE 420VA

M1: CONGELADOR HISTOMÁTICO ARF-49 1F 120V 1.6KVA  
 M2-M3: CUARTO FRIO 1F 120V 1700VA

N1-N2: BOMBAS AGUA CALIENTE 3F 480V 4.5KVA  
 N3-N4: CALDERA ICI CALDAE GSX4000P 3F 480V 22KVA  
 N5: CALDERA KEEWANEE 3F 480V 7KVA  
 N6: BOMBA 3F 460V 15.5KVA  
 N7: BOMBA 3F 460V 8.6KVA  
 N8: BOMBA 3F 460V 15.5KVA  
 N9: FILTRO CARBÓN ACTIVADO 1F 120V 150VA  
 N10-N12: FILTRO DE SAL 1F 120V 150VA  
 N13: BOMBA QUIMICO 1F 120V 120VA



EDIFICIO DE SERVICIOS DE APOYO, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS

REFERENCIA DE TRANSFORMADORES, TABLEROS Y CARGAS

F. Va.Bo. ING.	FECHA: 19-03-2023	NO. HOJA
	ESCALA: N/A	5
	DIBUJÓ: JOSE DANILO OCHOA LÓPEZ	5
	REGISTRO ACADÉMICO: 201504137	