



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

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL  
HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA  
EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Carlos Alberto López Peralta**

Asesorado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez

Guatemala, septiembre de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL  
HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ALBERTO LÓPEZ PERALTA**

ASESORADO POR EL ING. NATANAEL JONATHAN REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL  
HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN  
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 23 de enero de 2018.

  
Carlos Alberto Lopez Perafa



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 08 de mayo de 2019.  
Ref.EPS.DOC.398.05.19.

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

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Alberto Lopez Peralta** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **7913048** y **CUI 2416 18185 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Nathaniel León Requena  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica  
Unidad de Prácticas de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería

c.c. Archivo  
NJRJ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 27. 2019.  
11 de MARZO 2019.

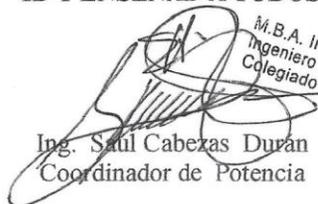
Señor Director  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA  
EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE  
ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA,** del estudiante; Carlos Alberto López Peralta,  
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

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





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala 08 de mayo de 2019.  
Ref.EPS.D.180.05.19.

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

Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Carlos Alberto Lopez Peralta**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanuel Jonathan Requena Gómez.

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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 27. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de el estudiante: **CARLOS ALBERTO LÓPEZ PERALTA** titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Otto Fernando Andriño González



GUATEMALA, 20 DE MAYO 2019.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 388.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alberto López Peralta**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, septiembre de 2019

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el centro de mi vida, sin ti nada soy y nada me interesa.
- Mis padres** Carlos Alberto López Marroquín y Carlota Peralta de López, por su apoyo siempre incondicional, ánimo, abnegación y amor a toda prueba. Ambos serán eternamente lo mejor de mi vida.
- Hermanos** Miriam Lucrecia, Ludwington y Evelin López Peralta, gracias por su amor fraterno y desinteresado.
- Esposa** Por tu alegría y amor, gracias. Te deseo que estés ahora con tu príncipe Jesús y la Virgen María.
- Hijos** Sandra Lissette, Carlos Alexis y Luis Alberto López, por ser los motores que accionaron mi vida; ustedes son ejemplo para mí de lucha, esfuerzo, dignidad y honradez. Gracias mis hijos.
- Sobrino** Edwin Salinas López, siempre te he admirado por tu entereza al afrontar tu vida. La vida te sonreirá porque Dios está contigo.

**Lisette Sosa Leonardo**

Por tu esfuerzo lleno de dignidad y amor por cada niño tan comprometido de su salud que atiendes en tu clínica. Gracias en nombre de cada angelito que tú cuidas.

**Amigos**

A todos los amigos que he conocido a lo largo del camino de la vida y que han sido sal y luz de este mundo, muy especialmente a Carlos Cay, David Pacheco, Juan Carlos Maldonado, Marco Antonio Jiménez, Rodolfo Guillen, Víctor Salomón López, Alex Galicia, Oswaldo López.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme permitido ser parte de tan prestigiosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por los conocimientos adquiridos en sus aulas.
<b>Doctor Roberto López Contreras</b>	Por su autorización para la realización de este trabajo de graduación dentro de las instalaciones del hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica.
<b>Ing. Hugo de la Cruz</b>	Por su apoyo y directrices para la elaboración de este trabajo.
<b>Ing. Martin Chávez</b>	Por su aporte para la obtención de información y datos técnicos propios del Hospital de UNOP, utilizados en este trabajo.
<b>Ing. Natanael Requena</b>	Por su apoyo, tiempo y dedicación para la elaboración de este trabajo.
<b>Ing. Juan José Navas</b>	Por su aporte teórico para el soporte de este proyecto.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Misión .....	2
1.1.3. Visión.....	3
1.1.4. Servicios que presta .....	3
1.2. Organismos que desarrollan normas relacionadas con instalaciones eléctricas y calidad de la energía usadas en este trabajo.....	3
1.2.1. Normas CNEE .....	4
1.2.2. Normas EEGSA.....	4
1.2.3. Normas NEC.....	5
1.2.4. Normas IEEE .....	5
1.2.5. Normas ANSI.....	5
1.2.6. Normas IEC .....	6
1.2.7. Normas CENELEC .....	6
1.3. Fenómenos y perturbaciones eléctricas relacionadas con la calidad de la energía y forma de onda.....	7

1.3.1.	Calidad de la energía eléctrica.....	7
1.3.2.	Regulación de tensión.....	8
1.3.3.	Desbalance de tensión.....	10
1.3.4.	Distorsión armónica total.....	11
1.3.4.1.	Distorsión armónica total de tensión ....	12
1.3.4.1.1.	Norma IEEE Std 519-2014 .....	12
1.3.4.1.2.	Norma NTSD.....	13
1.3.4.2.	Distorsión armónica total de corriente .....	14
1.3.5.	<i>Flicker</i> .....	17
1.3.6.	Factor de potencia.....	18
1.3.7.	Variaciones de tensión de larga duración .....	19
1.3.8.	<i>Sags</i> .....	20
1.3.9.	<i>Swells</i> .....	20
1.3.10.	Interrupciones.....	21
1.3.11.	Transitorios.....	21
1.3.12.	Tormentas eléctricas .....	22
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	25
2.1.	Levantamiento de la red eléctrica interna actual del hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.....	25
2.1.1.	Diagrama unifilar .....	26
2.2.	Acometida eléctrica .....	26
2.2.1.	Descripción de la acometida eléctrica. ....	26
2.3.	Transformador.....	29
2.3.1.	Transformador monofásico.....	29
2.3.2.	Transformador trifásico .....	29

2.3.3.	Tipos de conexión de los transformadores en un sistema trifásico .....	30
2.3.4.	Sistema de refrigeración del transformador .....	30
2.3.5.	Mantenimiento y pruebas para el transformador ....	31
2.3.6.	Datos del transformador .....	33
2.4.	Planta eléctrica de emergencia .....	34
2.4.1.	Generador eléctrico. ....	35
2.4.2.	Motor de combustión interna. ....	36
2.5.	Tableros, cables, <i>breakers</i> y barras. ....	36
2.5.1.	Tableros eléctricos.....	36
2.5.2.	Cables .....	36
2.5.2.1.	Conductor de aluminio.....	37
2.5.2.2.	Conductor de cobre .....	38
2.5.2.3.	Comparación entre conductores de cobre y aluminio.....	38
2.5.2.4.	Calibre de los conductores .....	39
2.5.2.5.	Aislamiento de los cables eléctricos ....	39
2.5.2.6.	Cubierta de los cables eléctricos .....	40
2.5.3.	<i>Breakers</i> o interruptores termomagnéticos.....	40
2.5.3.1.	Cortocircuitos.....	41
2.5.3.2.	Sobrecarga .....	42
2.5.4.	Barras .....	42
2.6.	Ductos y tuberías.....	43
2.7.	Supresor de picos o transitorios .....	43
2.8.	Situación actual de la red eléctrica interna del hospital .....	44
2.8.1.	características de tableros, cables, <i>breakers</i> y barras instalados .....	45
2.8.2.	Cálculo teórico de conductores y protecciones.....	60
2.9.	Evaluación del sistema de Iluminación.....	73

2.9.1.	Observaciones generales del sistema de iluminación. ....	84
3.	MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA DEL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA. ....	87
3.1.	Equipos utilizados para las mediciones. ....	87
3.1.1.	Analizadores de redes. ....	88
3.1.2.	Cámara termográfica. ....	90
3.1.3.	Medidor de luminosidad. ....	90
3.1.4.	Voltímetro / amperímetro. ....	91
3.1.5.	Medidor de resistencias de tierra. ....	91
3.2.	Toma de mediciones, datos obtenidos y su análisis. ....	92
3.2.1.	Evaluación de la calidad de la energía. ....	92
3.2.2.	Voltaje. ....	93
3.2.3.	Corriente. ....	94
3.2.4.	Potencia. ....	95
3.2.5.	Factor de potencia. ....	95
3.2.6.	<i>Flicker</i> . ....	96
3.2.7.	Distorsión total de voltaje. ....	99
3.2.8.	Distorsión armónica total de corriente. ....	100
3.2.9.	Cálculos relacionados a índices de calidad de la energía. ....	102
3.2.9.1.	Índice de regulación de la tensión. ....	103
3.2.9.2.	Índice de desbalance de tensión. ....	104
3.2.9.3.	Índice factor de potencia. ....	104
3.3.	Evaluación de la red eléctrica bajo los parámetros obtenidos en el estudio de calidad de la energía. ....	105
3.3.1.	Evaluación del desbalance de corriente. ....	106

3.3.1.1.	Calculo de desbalance de corriente...	107
3.3.2.	Evaluación de la acometida eléctrica y tablero principal TPPCE .....	108
3.4.	Evaluación del sistema de la planta eléctrica de emergencia.....	111
3.5.	Evaluación técnica de los tableros secundarios. ....	113
3.5.1.	Tablero TP S1 D1 .....	113
3.5.2.	Tablero TP S2 lobby D2 .....	115
3.5.3.	Tablero TP S3 CE.....	117
3.5.4.	Tablero TP S4 CE.....	119
3.5.5.	Tablero TP regulado CE .....	121
3.6.	Evaluación técnica termográfica.....	123
3.6.1.	Artículos aplicados para el estudio termográfico de acuerdo al NEC 2017 .....	124
3.7.	Evaluación del sistema de puesta a tierra .....	128
3.7.1.	Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución NTDOID .....	128
3.7.2.	Situación actual del sistema de tierras del hospital .....	129
3.7.3.	Medición de la impedancia de los polos de aterrizado de neutral y aterrizado de equipos.....	132
3.7.3.1.	Polo de aterrizado cable neutral .....	133
3.7.3.2.	Polo de aterrizado de equipos .....	134
3.8.	Medición de la resistividad de la tierra.....	135
3.8.1.	Cálculo de la resistividad del terreno .....	137
3.9.	Diseño del sistema de malla de tierra.....	137
3.9.1.1.	Cálculo de la corriente de cortocircuito máximo:.....	138
3.9.1.2.	Cálculo del conductor .....	139

	3.9.1.3.	Cálculo de la malla de tierra .....	140
	3.9.1.4.	Límite de tensiones peligrosas .....	141
	3.9.1.5.	Cálculo de la resistencia de malla .....	143
	3.9.1.6.	Cálculo del gradiente de potencial .....	145
	3.9.1.7.	Cálculo de la tensión de malla en caso de falla .....	146
	3.9.1.8.	Cálculo de la tensión de paso en caso de falla .....	150
3.10.		Pararrayos.....	153
	3.10.1.	Diseño del sistema de protección contra descargas electroatmosféricas.....	154
	3.10.2.	Cálculo del pararrayos .....	159
3.11.		diseño de unidad de potencia ininterrumpida UPS .....	163
	3.11.1.	Caracterización de la carga.....	164
	3.11.2.	Cálculo de la unidad de UPS.....	166
	3.11.3.	Resumen de características del UPS necesario ...	167
3.12.		Trabajos necesarios para mejorar o remodelar la instalación eléctrica del hospital con referencia a normas NEC 2017.....	167
	3.12.1.	Transformadores y bóvedas para transformadores .....	167
	3.12.2.	Sistema eléctrico esencial .....	169
		3.12.2.1. Panel de transferencia .....	169
	3.12.3.	Planta eléctrica de emergencia .....	171
	3.12.4.	Tableros eléctricos .....	172
	3.12.5.	Unidad de potencia interrumpible.....	173
	3.12.6.	Sistema de tierras .....	174
	3.12.7.	Protectores de sobretensión.....	176

4.	CÁLCULO PARA VERIFICACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE LA INCORPORACIÓN DEL HOSPITAL NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA COMO GRAN USUARIO Y PARTICIPAR EN EL MERCADO MAYORISTA.....	179
4.1.	Tarifas eléctricas. ....	179
4.2.	Conformación de la tarifa aplicada al hospital. ....	179
4.2.1.	Definiciones de los cargos.....	179
4.3.	Requisitos para calificar como gran usuario y participar en el mercado mayorista. ....	180
4.4.	Datos obtenidos por medio de facturas. ....	180
4.4.1.	Simulación de participación en el mercado mayorista .....	180
4.4.2.	Consumo .....	182
4.4.3.	Potencia máxima demandada .....	183
4.4.4.	Precio monómico.....	183
	CONCLUSIONES .....	185
	RECOMENDACIONES.....	187
	BIBLIOGRAFÍA.....	189
	APÉNDICES .....	191
	ANEXOS.....	193



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Acometida principal.....	27
2.	Punto de medición.....	28
3.	Planta de emergencia. ....	34
4.	Curva característica de un interruptor termomagnético.....	41
5.	Supresor de transitorios instalado en el hospital.....	44
6.	Diagrama unifilar tablero TPP CE .....	49
7.	Diagrama unifilar tablero secundario TP S1 D1 .....	51
8.	Diagrama unifilar tablero TP S2 LOBBY D2.....	53
9.	Diagrama unifilar TP S3 CE .....	55
10.	Diagrama unifilar TP S4 CE .....	57
11.	Diagrama unifilar TP REGULADO CE.....	59
12.	Compresor instalado en cuarto de máquinas, Hospital UNOP.....	62
13.	Placa de motor Baldor instalado en compresores.....	63
14.	Clínica integral 1 .....	75
15.	Luminaria prismática 2x4 para tubos led.....	77
16.	Tubos led para luminaria prismática.....	79
17.	Ubicación de luminarias .....	84
18.	Analizador <i>Unipower</i> modelo Unilyzer 902.....	88
19.	Analizador marca Metrum modelo SC.....	89
20.	Cámara termográfica marca <i>Fluke</i> modelo VT04.....	90
21.	Medidor de luminosidad .....	90
22.	Voltímetro marca <i>Fluke</i> .....	91
23.	Telurómetro marca AEMC.....	91
24.	Gráfica de voltaje y desbalance de voltaje .....	93
25.	Gráfica de corriente.....	94

26.	Gráfica de potencia.....	95
27.	Gráfica de factor de potencia.....	96
28.	Gráfica de <i>flicker</i> de corta duración PST.....	97
29.	Gráfica de <i>flicker</i> de larga duración PLT.....	97
30.	Gráfica de voltajes mínimos.....	98
31.	Gráfica de <i>flicker</i> Pst en porcentaje de tiempo del estudio.....	98
32.	Gráfica de distorsión armónica total de voltaje.....	99
33.	Gráfica de distorsión total de corriente.....	100
34.	Gráfica de armónicos individuales.....	102
35.	Gráfica de desbalance de corriente porcentual.....	108
36.	Planta eléctrica.....	111
37.	Gráfica de corriente tablero TP S1 D1.....	113
38.	Gráfica de corriente tablero TP S2 LOBBY D2.....	115
39.	Gráfica de corriente tablero TP S3 CE.....	117
40.	Gráfica de corriente tablero TP S4 CE.....	119
41.	Gráfica de corriente tablero TP REGULADO CE.....	121
42.	Termografía de varios elementos de la instalación eléctrica.....	126
43.	Termografía de cables y terminales del transformador.....	127
44.	Termografía de elementos con alta temperatura.....	128
45.	Varilla de polo de tierra de aterrizado de equipos.....	130
46.	Esquema de conexión de tierras actual del hospital.....	131
47.	método de caída de potencial para medición de resistencia de polos de tierra.....	132
48.	Medición de resistencia del polo de aterrizado del cable neutral.....	133
49.	Medición de resistencia del polo de tierra de aterrizado de equipos...	134
50.	Método de Wenner para la medición de la resistividad de la tierra.....	135
51.	Medición de la resistividad del terreno.....	136
52.	Malla propuesta de tierra.....	140
53.	Sistema de tierra propuesto.....	152

54.	Área protegida por la acción del pararrayos propuesto.....	162
55.	Diagrama de UPS en línea doble conversión.....	164
56.	Tablero de transferencia .....	170
57.	Diagrama para cargas mayores a 150 kVA.....	171
58.	Colocación de supresores dentro de una instalación .....	177
59.	Gráfica meses vrs. consumo kWh.....	182
60.	Gráfica meses vrs. potencia máxima kW .....	183
61.	Gráfica meses vrs. monómico .....	184

## TABLAS

I.	Valores de índice de regulación permitidos para voltaje según Norma NTSD articulo 24 .....	9
II.	Valores recomendados de desbalance según Norma NTSD .....	11
III.	Límite de distorsión de voltaje, IEEE 519-2014.....	13
IV.	Tolerancia de la distorsión armónica de voltaje, NTSD.....	14
V.	Tolerancias de la distorsión armónica de la corriente, NTSD.....	15
VI.	Tolerancias para el <i>Flicker</i> generado por el usuario, NTSD.....	17
VII.	Factor de potencia mínimo permitido según Norma NTSD .....	19
VIII.	Características del transformador .....	33
IX.	Características eléctricas del aluminio .....	37
X.	Características eléctricas del cobre.....	38
XI.	Tableros y sus circuitos de alimentación.....	46
XII.	Planilla tablero principal TPPCE .....	50
XIII.	Planilla tablero secundario TP S1 D1 .....	52
XIV.	Planilla tablero secundario TP S2 lobby D2 .....	54
XV.	Planilla tablero secundario TP S3 CE .....	56
XVI.	Planilla tablero secundario TP S4 CE .....	58
XVII.	Planilla de tablero secundario TP regulado CE.....	60

XVIII.	Corriente a plena carga motores trifásicos NEC 430.250 .....	64
XIX.	Corrientes normalizadas para <i>breaker</i> y fusibles .....	65
XX.	Conductores para cableado general .....	66
XXI.	Propiedades de los conductores.....	68
XXII.	<i>Breakers</i> y conductores calculados acometida eléctrica.....	69
XXIII.	<i>Breakers</i> y conductores calculados planta eléctrica. ....	69
XXIV.	<i>Breakers</i> y conductores calculados tablero TPP-CE. ....	70
XXV.	<i>Breakers</i> y conductores calculados tablero TPS1 D1.....	70
XXVI.	<i>Breakers</i> y conductores calculados tablero TPS2 lobby-D2. ....	71
XXVII.	<i>Breaker</i> y conductores calculados tablero TPS3-CE. ....	71
XXVIII.	<i>Breakers</i> y conductores calculados tablero TPS4-CE. ....	72
XXIX.	<i>Breaker</i> y conductores calculados tablero TP regulado CE.....	72
XXX.	Valores recomendados de iluminancia .....	74
XXXI.	Características de la luminaria prismática 2x4.....	77
XXXII.	Tubos led frost de 18 Watts .....	78
XXXIII.	Cuadro de cálculos para iluminación clínica integral 1 .....	83
XXXIV.	Datos medidos del sistema de iluminación.....	85
XXXV.	Índices de calidad de la energía para distribuidor o usuario final .....	87
XXXVI.	Características del analizador marca Unipower modelo 902 .....	88
XXXVII.	Características del analizador Metrum.....	89
XXXVIII.	Datos el estudio de calidad de la energía .....	92
XXXIX.	análisis armónicos individuales de corriente, Norma NTSD .....	101
XL.	Valores para el cálculo de los índices de calidad de la energía.....	103
XLI.	Voltajes máximos según estudio de calidad de la energía. ....	105
XLII.	Corrientes máximas según estudio de calidad de la energía.....	105
XLIII.	Análisis de la acometida eléctrica .....	109
XLIV.	Análisis del tablero eléctrico TPP CE.....	110
XLV.	Análisis del tablero planta eléctrica de emergencia .....	112
XLVI.	Valores críticos de corrientes para tablero TP S1 D1. ....	114

XLVII.	Análisis del tablero TP S1 D1.....	114
XLVIII.	Valores críticos de corriente para tablero TP S2 lobby D2.....	115
XLIX.	Análisis del tablero TP S2 LOBBY D2.....	116
L.	Valores críticos de corriente para tablero TP S3 CE .....	118
LI.	Análisis del tablero TP S3 CE .....	118
LII.	Valores críticos de corriente para tablero TP S4 CE .....	119
LIII.	análisis del tablero TP S4 CE.....	120
LIV.	Valores críticos de corriente para tablero TP regulado CE .....	121
LV.	Análisis de tablero TP REGULADO CE .....	122
LVI.	Temperatura máxima de operación a 30 grados.....	125
LVII.	Valores máximos permitidos de resistencia de red de tierras de una subestación en función de su capacidad.....	129
LVIII.	Valores nominales para el diseño del sistema de tierra .....	138
LIX.	Comparación voltaje de contacto tolerable vrs. GPR.....	146
LX.	Valores para el cálculo de tensión de malla bajo falla.....	146
LXI.	Comparación voltaje tolerable vrs. tensión bajo falla .....	151
LXII.	Coeficiente ambiental C1 .....	155
LXIII.	Coeficiente estructural C2 .....	156
LXIV.	Coeficiente de contenido de estructura C3 .....	157
LXV.	Coeficiente de ocupación de estructura C4.....	157
LXVI.	Coeficiente de consecuencias de la caída de un rayo C5.....	158
LXVII.	Valores críticos de E correspondientes al nivel de protección .....	158
LXVIII.	Caracterización de la carga del equipo médico regulado.....	165
LXIX.	Simulación de pago por consumo de energía eléctrica.....	181



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>A</b>	Amperio
<b>Hz</b>	Hertz
<b>k</b>	Kilo
<b>m</b>	Metro
<b><math>\Omega</math></b>	Ohms
<b><math>\rho</math></b>	Resistividad del terreno $\Omega$ -m
<b><math>\rho_s</math></b>	Resistividad de la capa superficial del terreno
<b>V</b>	Voltio



## GLOSARIO

<b><i>ANSI</i></b>	American National Standards Institute
<b><i>ASTM</i></b>	American Society for Testing and Materials
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Comercializador</b>	Es la persona individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo.
<b>Distorsión armónica</b>	Es la distorsión de la onda senoidal de la corriente o del voltaje eléctrico de frecuencia nominal, ocasionada por la presencia de señales eléctricas, senoidales de frecuencias diferentes y múltiples de dicha frecuencia.
<b>Distribuidor</b>	Persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
<b><i>Flicker</i></b>	Es una variación rápida y cíclica de la tensión que causa una fluctuación rápida correspondiente en la

luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

<b>Frecuencia nominal</b>	Es la frecuencia nominal del sistema eléctrico nacional, con un valor de 60 Hz.
<b>Gran usuario</b>	Es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la ley general de electricidad.
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>NEC</b>	National Electrical Code
<b>NFPA</b>	National Fire Protection Association
<b>NTCSTS</b>	Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones.
<b>NTDOID</b>	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
<b>Sistema de tierra</b>	Es un sistema de conductores, de los cuales uno de ellos o un punto de los mismos esta efectivamente

aterizado, ya sea en forma sólida o a través de un dispositivo limitador de corriente no interrumpible.

**Tensión nominal**

Es el valor eficaz de la tensión eléctrica, en sus diferentes niveles de tensión, que sirve como base para calcular las desviaciones de los parámetros eléctricos que controlarán para medir la calidad del servicio eléctrico de distribución.

**Usuario**

Es el titular o poseedor del bien inmueble que recibe el suministro de energía eléctrica



## RESUMEN

En este trabajo de graduación se realiza un estudio para la evaluación técnica de la red eléctrica interna en el Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica ubicado en la ciudad de Guatemala.

En el capítulo inicial se describe la historia de cómo nace la UNOP y su desarrollo. También se hace mención a algunos de los organismos nacionales e internacionales que publican normas relacionadas con las instalaciones eléctricas y de calidad de energía y que son usadas en la elaboración de este trabajo. Las comparaciones se realizan con respecto a normas, primordialmente las emitidas por instituciones guatemaltecas.

En el capítulo 2 se desarrolla el levantamiento de la instalación eléctrica interna existente haciendo referencia a la parte teórica y llegando a la situación actual de la forma en que se encuentran los distintos elementos que conforman la red eléctrica.

En el capítulo 3 se describe el equipo de medición utilizado y se muestran gráficas y tablas que fueron obtenidos por medio de dichos instrumentos. Se analizan los datos obtenidos. Se presenta el diseño de una malla de tierra, un sistema de pararrayos y una unidad de potencia ininterrumpida. También se analiza la red con base en NEC 2017

En el capítulo 4 se estudia la posibilidad de inscribir a la institución como gran usuario, a fin de abaratar los costos por el consumo de energía eléctrica.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la instalación eléctrica interna en el Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica, bajo las exigencias cotidianas de su uso.

### **Específicos**

1. Revisar visualmente las partes que componen la instalación eléctrica del hospital, en busca de problemas que afecten el buen desempeño de la red.
2. Hacer mediciones en la instalación eléctrica interna del Hospital durante las operaciones cotidianas.
3. Comparar las medidas obtenidas con parámetros nacionales e internacionales aceptados como estándares.
4. Analizar con base en los datos obtenidos, los trabajos necesarios para mejorar o remodelar la instalación eléctrica interna y la posibilidad de futuras ampliaciones de la misma.
5. Evaluar la conveniencia de inscribir al Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica, como gran usuario, tomando como base el análisis de facturas por consumo de energía eléctrica.



## INTRODUCCIÓN

Uno de los derechos humanos que tiene el hombre y es inherente a la vida, es el derecho a la salud, formándose alrededor de este derecho una cadena de actividades y necesidades que hay que satisfacer.

La tecnología ha avanzado en el campo de la medicina introduciendo equipos eléctricos y electrónicos, cada vez más precisos, para el diagnóstico y soporte vital para la vida de los pacientes que se encuentran aquejados, lo que ha originado una situación en la que, al haber cargas eléctricas y equipos indispensables, sea necesaria una buena calidad de la energía eléctrica, pero en contraposición el mismo equipo conectado degrada la calidad eléctrica.

El presente documento contiene la ejecución del proyecto, para la evaluación técnica de la red eléctrica interna del Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica (UNOP), esto será efectuado revisando y cuantificando, el comportamiento real de la instalación bajo su trabajo normal cotidiano y comparándolo con normas nacionales e internacionales que apliquen.



# **1. LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA**

## **1.1. Antecedentes**

Hasta antes de 1997, era el Hospital Roosevelt el encargado de los cuidados de niños con cáncer. Las estadísticas eran alarmantes, pues solo dos de cada diez diagnosticados con cáncer, lograba sobrevivir sin incluir en estas cifras niños que nunca fueron diagnosticados y sus casos nunca se conocieron.

En ese año se reúnen un grupo de damas voluntarias creando la asociación ayúdame a vivir AYUVI, e inician las gestiones ante el gobierno de Guatemala para la formación de una unidad especializada encargada del cuidado de pacientes pediátricos afectados de cáncer.

### **1.1.1. Reseña histórica**

Constituida según Acuerdo Gubernativo núm. 908-98 del 9 de diciembre de 1998, nace la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica (UNOP) siendo su domicilio la 9 avenida 8-00 zona 11 de la ciudad de Guatemala.

El ministerio de salud pública, después de varias solicitudes, cede un espacio en un sótano del Hospital Roosevelt iniciándose las labores de la unidad con un equipo de médicos especializados en el extranjero y que voluntariamente decidieron apoyar el proyecto.

En ese periodo de tiempo las estadísticas demostraron que más del 46 % de los niños diagnosticados, no terminaban con sus terapias y el motivo era que

la mayoría de padres de familia no tenían los medios necesarios para cubrir los gastos que significa el traslado de los niños desde las áreas rurales.

En el 2000 el gobierno de Guatemala realiza los primeros aportes presupuestarios a UNOP, quedando el presupuesto corto con respecto a los gastos necesarios, de tal manera que se acude a la solicitar apoyo empresarial naciendo la campaña UNETE para salvar niños con cáncer, que promueve el aporte ciudadano, pues el funcionamiento alcanza a la fecha más Q128 millones anuales.

Actualmente se atienden el 46 % de los niños que tienen cáncer en el país, según estimaciones mundiales acerca de la incidencia de esta enfermedad refiere que 12 de cada 100 niños desarrollan anualmente algún tipo de cáncer, trasladando este estudio a la realidad de Guatemala da como resultado que anualmente más de mil niños deberían diagnosticarse, la realidad es que solamente 500 son diagnosticados, es decir, que más de la mitad se queda sin ningún tratamiento.

Lamentablemente 30 % de los niños que son diagnosticados llegan cuando el cáncer está avanzado y no responden al tratamiento; en estos casos la unidad cuenta con el apoyo del Hogar Estuardo Minie, que se especializa en cuidados paliativos para ayudar a los pequeños pacientes en su etapa final.

### **1.1.2. Misión**

“Ser la mejor y más eficiente organización para el tratamiento de cáncer pediátrico en Latinoamérica.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Unidad de Oncología Pediátrica en la ciudad de Guatemala.

### **1.1.3. Visión**

“Brindar servicios y tratamientos de calidad a los pacientes con cáncer pediátrico que atendemos.”<sup>2</sup>

### **1.1.4. Servicios que presta**

- Trabajo social.
- Terapia respiratoria.
- Psicología.
- Nutrición.
- Control de infecciones.
- Laboratorio.
- Hospital de día.
- Hospital de emergencia.
- Farmacia.
- Encamamiento.
- Medicina paliativa.

## **1.2. Organismos que desarrollan normas relacionadas con instalaciones eléctricas y calidad de la energía usadas en este trabajo**

Las normas técnicas son un conjunto de prescripciones con cuales deben diseñarse, fabricarse y ensayarse los equipos, materiales, máquinas e instalaciones para garantizar un funcionamiento correcto y seguro, además que facilita la comercialización de productos eléctricos tales como tableros, aisladores, cables, electrodomésticos entre otros, ya que al cumplir con las

---

<sup>2</sup> Unidad de Oncología Pediátrica en la ciudad de Guatemala.

normas los productos son aceptados por buena calidad en otros países. Las normas técnicas, publicadas por organismos nacionales e internacionales, están redactadas de modo muy detallado y pueden adquirir relevancia jurídica cuando ésta les es atribuida.

En el caso de Guatemala y para propósito de este estudio, es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica quien norma la actividad en el subsector eléctrico y por lo tanto se hará uso en todo lo posible de las normas nacionales.

#### **1.2.1. Normas CNEE**

La CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica), es un agente estatal del gobierno de Guatemala, dedicado a normar, regular y dirigir el desarrollo de las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el país. En este estudio se hace uso de las siguientes normas: NTDOID, NTSD y NTCSTS.

#### **1.2.2. Normas EEGSA**

La EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima) es una empresa Comercializadora de Energía Eléctrica, sus normas definen y regulan las características técnicas de las nuevas acometidas eléctricas que han de conectarse a la red, con el propósito de conciliar y armonizar aspectos de construcción y del servicio, dentro del área de responsabilidad de cada parte, distribuidor y usuario.

En este estudio se hace referencia a la Norma MT.2.60.02, que dicta la forma de construcción para acometidas en media tensión.

### **1.2.3. Normas NEC**

El Código Eléctrico Nacional NEC® (National Electrical Code®) sienta las bases para la seguridad eléctrica en ocupaciones residenciales, comerciales e industriales. Este código presenta las normas integrales para cableado eléctrico, protección contra sobre corriente, conexión a tierra e instalación eléctrica de equipos en instalaciones u ocupaciones especiales

### **1.2.4. Normas IEEE**

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) es una organización profesional a nivel mundial dedicada a avance tecnológico al servicio de la humanidad.

Entre sus objetivos está el compartir y disseminar los conocimientos en el campo de ingeniería eléctrica, computación, comunicaciones, electrónica y otros campos de la ingeniería, basado en el voluntariado de sus asociados.

### **1.2.5. Normas ANSI**

El Instituto Nacional de Estándares Americanos, ANSI (American National Standard Institute) faculta a sus miembros y constituyentes para fortalecer la posición del mercado estadounidense en la economía global y ayudar a garantizar la seguridad y salud de los consumidores y la protección del ambiente.

El instituto supervisa la creación, promulgación y uso de miles de normas y directrices que afectan directamente a las empresas en casi todos los sectores: desde dispositivos acústicos hasta equipos de construcción, desde

productos lácteos y ganaderos hasta la distribución de energía, y muchos más. ANSI también participa activamente en la acreditación, evaluando la competencia de las organizaciones que determinan la conformidad con los estándares.

#### **1.2.6. Normas IEC**

Fundada en 1906, IEC (International Electrotechnical Commission) es la organización líder mundial en la preparación y publicación de estándares Internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Estos se conocen colectivamente como electrotecnología.

IEC proporciona una plataforma a empresas, industrias y gobiernos para reunirse, debatir y desarrollar los estándares internacionales que requieren.

Todos los Estándares Internacionales de IEC están completamente basados en el consenso y representan las necesidades de los interesados, de cada nación que participa en el trabajo de IEC. Cada país miembro, sin importar cuán grande o pequeño, tiene un voto y una opinión sobre lo que se incluye en un Estándar Internacional de IEC.

#### **1.2.7. Normas CENELEC**

El CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) desarrolla normas europeas para ingeniería eléctrica. El comité representa los intereses de 33 países miembros y 13 países miembros afiliados para el mercado europeo. Sus normas siguen aquellas desarrolladas por la International Electrotechnical Commission (IEC).

### **1.3. Fenómenos y perturbaciones eléctricas relacionadas con la calidad de la energía y forma de onda**

A continuación se enumeran algunas de las perturbaciones eléctricas que pueden dañar la calidad del servicio de energía en forma y onda.

#### **1.3.1. Calidad de la energía eléctrica**

La energía eléctrica es un producto que debe cumplir como tal, con la calidad necesaria para satisfacer a los consumidores. Si el producto no es confiable puede originar fallas en los equipos que se calculan anualmente en miles de millones de quetzales.

Las fallas pueden ir desde desconexiones de equipos sin explicación alguna, es decir, fallas en los sistemas de protección, daños en cargas susceptibles por ejemplo computadores originado pérdidas de información y puede llegar incluso a cobrar la vida de las personas que hacen uso de una instalación afectada por una mala calidad de energía eléctrica.

La CNEE ha desarrollado las normas para Guatemala en cuanto a la calidad de la energía eléctrica y están contenidas en las normas técnicas de servicio de distribución NTSD, NTDOID Y NTCSTS.

En ellas se detallan los parámetros que han de ser medidos y los rangos permisibles a fin de mantener un estándar alto de calidad. Se ha demostrado que actualmente, la mayor incidencia en la calidad de la energía ocurre dentro de las instalaciones del usuario final. Debido a que este trabajo está enfocado en el funcionamiento de la red eléctrica interna del Hospital de la Unidad de

Oncología Pediátrica, los datos obtenidos en el presente estudio serán comparados con los parámetros que exige la CNEE para los usuarios finales.

Según las Normas de la CNEE para calificar la calidad de la energía de parte del distribuidor, los indicadores son:

- Regulación de tensión.
- Desbalance de tensión.
- Distorsión armónica total de voltaje.
- *Flicker*.

Mientras que la misma norma dice que para medir la incidencia del usuario en la calidad de la energía los indicadores para el usuario son:

- Distorsión armónica total de corriente.
- *Flicker*.
- Factor de potencia.

También cabe mencionar que los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Deformaciones en la forma de onda.
- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.

### **1.3.2. Regulación de tensión**

Artículo 23 numeral 1. Norma NTSD. El índice para calcular la calidad de la regulación de tensión, en el punto de entrega al usuario en un intervalo de

medición (k) será el valor absoluto de la diferencia entre la media de los valores eficaces de tensión  $V_k$  y el valor de la tensión nominal  $V_n$ , medidos en el mismo punto expresados como un porcentaje de la tensión normal.

La siguiente relación es usada para calcular el índice de regulación de tensión.

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

Tabla I. **Valores de índice de regulación permitidos para voltaje según Norma NTSD artículo 24**

Tolerancia admisible respecto del valor nominal, en %		
Tensión	Régimen a partir del mes 13	
	Servicio urbano	Servicio rural
Baja	8	10
Media	6	7
Alta	5	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución*.

p. 37.

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 del período de medición, dichas mediciones muestran que el regulador de la tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### 1.3.3. Desbalance de tensión

En un sistema trifásico balanceado ideal, las tres tensiones son iguales y los tres ángulos de desfase de los fasores de voltaje son iguales entre sí, con un valor de  $2\pi/3$ .

En la realidad no existen sistemas balanceados, dado a que las cargas monofásicas conectadas no son iguales en cada ramal. El desbalance de tensión en un sistema eléctrico, se presenta cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales entre sí.

Artículo 27. Norma NTSD. El índice para evaluar el desbalance de tensión en servicios trifásicos, se determina sobre la base de comparación de los valores eficaces (RMS) de tensión de cada fase, medidos en el punto de entrega y registrados en cada intervalo de medición (k). Este índice está expresado como un porcentaje:

$$\Delta DTD(\%) = \left[ \frac{3(V_{max} - V_{min})}{V_a + V_b + V_c} \right] * 100$$

Donde:

- $\Delta DTD(\%)$  = porcentaje de desbalance de tensión por parte del distribuidor.
- $V_{max}$  = es la tensión máxima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo de medición K.
- $V_{min}$  = es la tensión mínima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo de medición K.
- $V_a$  = es la tensión de la fase a, registrada en el intervalo de medición k.

Vb = es la tensión de la fase b, registrada en el intervalo de medición k.

Vc = es la tensión de la fase c, registrada en el intervalo de medición k.

Tabla II. **Valores recomendados de desbalance según Norma NTSD**

TENSIÓN	Desbalance de Tensión, $\Delta$ DTD, en %
	Etapa de régimen A partir del mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución*. p. 39.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5 % del total del período de medición, dichas mediciones muestran que el desbalance de la tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

#### **1.3.4. Distorsión armónica total**

Los armónicos son ondas senoidales de distinto valor tanto en amplitud como en frecuencia a la onda original de voltaje y corriente. La frecuencia de los armónicos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de 60Hz.

Estas ondas se superponen a la onda de frecuencia fundamental y originan una distorsión de la onda originalmente senoidal pura, generando una onda completamente distorsionada.

Los armónicos son generados por cargas no lineales conectadas a la red de servicio a la cual contaminan, pudiendo extenderse más allá del terreno del usuario que las genera. La tercera armónica puede incrementar la corriente que circula en el neutro de una instalación.

Los armónicos provocan efectos tales como:

- Calentamiento de motores.
- Calentamiento de transformadores.
- Operación errática de los sistemas de protección.
- Aumento de la corriente en los circuitos.
- Errores en los circuitos de medición.
- Daños a equipos electrónicos.
- Calentamiento de cables neutrales.

#### **1.3.4.1. Distorsión armónica total de tensión**

La distorsión total armónica de tensión comúnmente conocida por sus siglas en inglés como THDv, es utilizada para evaluar la importancia del contenido armónico en una onda de voltaje alterno, en este caso con respecto a una onda fundamental sinodal pura a la frecuencia de 60Hz.

La expresión para efectuar este cálculo está dada por

$$THDv = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{v_h^2}}{v_1} * 100 \%$$

##### **1.3.4.1.1. Norma IEEE Std 519-2014**

La distorsión armónica de tensión, en el punto común de acople está dada por la tabla III. Los valores están dados en porcentaje y aplican a voltajes

armónicos cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Tabla III. **Límite de distorsión de voltaje, IEEE 519-2014**

Voltaje en la barra en el punto común de acople	Distorsión armónica individual %	Distorsión total armónica %
V ≤ 1kV	5	8

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución*. p. 41.

#### 1.3.4.1.2. Norma NTSD

Artículo 31. Norma NTSD. El índice de distorsión armónica de la tensión expresado como un porcentaje, se calcula utilizando las fórmulas indicada a continuación:

$$DATT (\%) = \left( \sqrt{\sum V_i^2 / V_1^2} \right) * 100$$

$$DAIT(\%) = \left( \frac{V_i}{V_1} \right)$$

Donde:

DATT= distorsión armónica total de voltaje

DAIT = distorsión armónica individual de voltaje

$V_i$  = componente de tensión de la armónica de orden  $i$

$V_1$  = componente de tensión de la frecuencia fundamental

Artículo 32. Norma NTSD. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5 % del correspondiente

al período de medición, las mediciones muestran que la distorsión armónica de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Una medición de distorsión armónica de tensión es considerada fuera de las tolerancias establecidas, si se excede el valor de la distorsión armónica Individual o el valor de la distorsión armónica total. Para propósitos de evaluación de estas normas se considerará inclusive, hasta la armónica de orden 40.

Tabla IV. **Tolerancia de la distorsión armónica de voltaje, NTSD**

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSIÓN, DAIT%	
	BAJA Y MEDIA TENSIÓN V ≤ 60 KV	ALTA TENSIÓN 60 kV < V ≤ 230 kV
IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3		
5	6,00	2,0
7	5,00	2,0
11	3,50	1,5
13	3,00	1,5
17	2,00	1,0
19	1,50	1,0
23	1,50	0,7
25	1,50	0,7
>25	0,2 +3*25/N	0,6*25/N
IMPARES MÚLTIPLOS DE 3		
3	5,00	2,0
9	1,50	1,0
15	0,30	0,3
21	0,20	0,2
>21	0,20	0,2
PARES		
2	2,00	2,0
4	1,00	1,0
6	0,50	0,5
8	0,50	0,4
10	0,20	0,4
12	0,20	0,2
>12	0,20	0,2
DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE TENSIÓN DATT, EN %	8	3

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

### 1.3.4.2. Distorsión armónica total de corriente

De acuerdo a la Norma NTSD de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la distorsión armónica producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado y el orden de la armónica, por lo que en la tabla V se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

Artículo 42. Norma NTSD. La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica, por lo que en la tabla siguiente se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

Tabla V. Tolerancias de la distorsión armónica de la corriente, NTSD

ORDEN DE LA ARMÓNICA (N)	$P \leq 10 \text{ kW}$ $V \leq 1 \text{ Kv}$	$P > 10 \text{ kW}$ $1 \text{ Kv} < V \leq 60 \text{ kV}$	$P > 50 \text{ kW}$ $V > 60 \text{ kV}$
	INTENSIDAD ARMÓNICA MÁXIMA (AMP)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DAI, EN %	
IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1

Continuación de la tabla V.

11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,20	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
>25	4,5/N	0,2+0,8*25/N	0,4
IMPARES DE 3	MÚLTIPLOS		
3	4,60	16,6	7,5
9	0,80	2,2	2,2
15	0,30	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
>21	4,5/N	0,3	0,4
PARES			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
>12	3,68/N	0,3	0,5

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

p. 48.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso mayor al 5 % del tiempo empleado en el periodo de medición, las mediciones muestren que la distorsión armónica de la corriente de carga ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### 1.3.5. *Flicker*

Según la definición de la CNEE es una variación rápida o cíclica de la tensión que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

Tabla VI. **Tolerancias para el *flicker* generado por el usuario, NTSD**

Carga (SI) kW	Pst
<b>Tensión: (<math>\leq 1</math> kV)</b>	
<b>SI <math>\leq 20</math></b>	<b>1.00</b>
<b>20 &lt; SI <math>\leq 30</math></b>	<b>1.26</b>
<b>30 &lt; SI <math>\leq 50</math></b>	<b>1.58</b>
<b>SI &gt; 50</b>	<b>1.86</b>
<b>Tensión: (<math>1\text{kV} &lt; V \leq 230</math> kV)</b>	
<b>SI / Scc <math>\leq 0.005</math></b>	<b>0.37</b>
<b>0.005 &lt; SI / Scc <math>\leq 0.02</math></b>	<b>0.58</b>
<b>0.02 &lt; SI / Scc <math>\leq 0.04</math></b>	<b>0.74</b>
<b>SI / Scc &gt; 0.04</b>	<b>0.80</b>

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución*.

p. 43.

Scc: capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del *flicker* [kVA].

Es generado por una variación rápida de tensión repetida y permanente; su magnitud oscila entre 0,9Pu a 1.10Pu del voltaje nominal. La severidad del *Flicker* se puede expresar en función de dos números adimensionales:

El Pst. que es el parámetro de corta duración

El Plt. que es el parámetro de larga duración

Artículo 45. Norma NTSD. El índice de *flicker* generado por el usuario se determina por el índice de severidad de *flicker* de corto plazo (Pst) y este deberá ser menor o igual a 1.

Artículo 46. Norma NTSD. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al 5 %, del empleado en las mediciones en el período de medición, dichas mediciones muestran que el *Flicker* ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### **1.3.6. Factor de potencia**

El factor de potencia es una relación que indica que tanta energía que suministra la empresa de servicio eléctrico se está convirtiendo en trabajo útil.

La carga siempre será predominantemente inductiva, transformadores, balastos, motores eléctricos son infaltables en la vida actual y son el origen que el factor de potencia sea bajo y de ser así se producirán problemas en la red eléctrica pues a menor factor de potencia, la corriente incrementa produciéndose sobrecargas en las redes, desbalances de voltaje, calentamiento en equipos y por ende deterioro de los aislamientos internos de los mismos así como la necesidad de equipos sobre diseñados para que puedan soportar el exceso de corriente.

Artículo 49. Norma NTSD. El valor mínimo admitido para el factor de potencia, según la norma de servicio de distribución NTSD, se discrimina de acuerdo a la potencia del usuario, de la siguiente forma:

Tabla VII. **Factor de potencia mínimo permitido según Norma NTSD**

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

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución*. 45 p.

Artículo 50. Norma NTSD. El factor de potencia se determinará, efectuando mediciones tanto en el periodo horario de punta como en el resto del día, de acuerdo a lo indicado a continuación.

$$F_{pot_p} = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{(EnergAct_p^2 + EnerReact_p^2)}}$$

Donde:

$F_{pot_p}$  = factor de potencia para el periodo p

$EnergAct_p$  = energía activa registrada para el periodo p

$EnerReact_p$ : Energía reactiva registrada para el periodo p

### 1.3.7. Variaciones de tensión de larga duración

Son aquellas desviaciones del valor eficaz de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto, definiéndose de la siguiente manera:

- Sobretensión : 1,1p.u a 1,2p.u, por más de un minuto
- Baja tensión: 0,8p.u. a 0,9p.u, por más de un minuto

### **1.3.8. Sags**

Conocidos como huecos de tensión son decrementos en el voltaje o corriente que ocurren a la frecuencia fundamental con magnitudes el 0,10 p.u al 0,9 p.u del valor nominal con una duración de 0,5 ciclos a 1 minuto, generalmente son causados por la conexión de cargas grandes que exigen corrientes de arranques altas.

Se pueden definir los Sags de la siguiente forma:

- Instantáneos: 05 a 30 ciclos
- Momentáneos: 30 ciclos a 3 segundos
- Temporales: 3 segundos a 1 minuto

### **1.3.9. Swells**

También conocidos como crestas son incrementos temporales del valor RMS del voltaje de más del 1,1p.u hasta 1,8 p.u. del valor nominal con una duración de 0,5 ciclos a 1 minuto, se puede clasificar como:

- Instantáneos: 05 a 30 ciclos
- Momentáneos: 30 ciclos a 3 segundos
- Temporales: 3 segundos a 1 minuto

### **1.3.10. Interrupciones**

Una interrupción es un evento durante el cual el voltaje, en el punto de conexión del usuario cae a 0 p.u y no retorna a sus valores automáticamente.

Se clasifican de la siguiente forma

- Momentáneos: que son menores a 3 segundos.
- Temporales: entre 3 segundos a 1 minuto.
- Colapso: mayores a 1 minuto.

Si el tiempo es menor a 3 minutos se le denomina corta interrupción, si es más de tres minutos se le denomina larga interrupción.

Según su origen pueden ser de dos tipos:

- Las interrupciones programadas, es decir, las que se le comunica a los clientes con suficiente anticipación y que están definidas dentro de los marcos regulatorios.
- Interrupciones imprevistas, son aquellas que ocurren aleatoriamente como consecuencia de mala calidad de la energía eléctrica.

### **1.3.11. Transitorios**

Los transitorios son picos de voltaje e involucran un incremento repentino de gran magnitud en el nivel de voltaje y de corta duración que van de los nanosegundos a los microsegundos, normalmente causados por fallas en la red eléctrica de la compañía eléctrica, descargas atmosféricas, conexiones de bancos de capacitores.

- Se clasifican en:

Transitorios impulsivo: es un cambio súbito y en una sola dirección ya sea creciendo o decreciendo en la condición de estado estable de tensión o la corriente o ambos y son de frecuencia distinta a la del sistema, siendo de moderada a elevada magnitud pero de duración muy corta. Normalmente su tiempo de ascenso es de 1 a 10 microsegundos y su descenso de 20 a 150 microsegundos.

Transitorios oscilatorios: su principal característica es que cambia rápidamente de polaridad, se pueden clasificar en tres categorías dependiendo de su frecuencia y duración.

- Transitorios de alta frecuencia: son aquellos transitorios tienen una frecuencia mayor de 500kHz con una duración de microsegundos.
- Transitorio de media frecuencia: son aquellos en los que su frecuencia es de 5 a 500 kHz.
- Transitorios de baja frecuencia: son los transitorios que tienen una frecuencia inferior a 5kHz y una duración de 0,3ns a 50ms.

### **1.3.12. Tormentas eléctricas**

La electricidad en la atmósfera del planeta es un hecho real y aunque hay descargas eléctricas que salen de la tierra y descargan en las nubes, es más común que la descarga se origine de las nubes y se descargue hacia la tierra. Sucede cuando en presencia de lluvia o condiciones de humedad alta, el aire se vuelve mucho más conductor.

Para propósito de este estudio el fenómeno que interesa es el rayo que se produce entre la nube y tierra. La incidencia de los rayos sobre una determinada área está influenciada por muchos factores, por ejemplo: elevación con respecto al nivel del mar, latitud, vientos prevalecientes, proximidad a cuerpos de agua calientes o fríos.

La nasa ha trazado, dependiendo de la cantidad de rayos y truenos en un área lo que se conoce como mapa ceráunico. Se refiere a la cantidad de días al año en que al menos un trueno es escuchado. La densidad de rayos a tierra se refiere a la cantidad de rayos por kilómetro cuadrado.

La corriente de pico de una descarga, es considerada a nivel mundial estadísticamente en 30kA.



## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Levantamiento de la red eléctrica interna actual del Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica**

El levantamiento de las instalaciones eléctricas corresponde al proceso durante el cual se realiza trabajo de campo con la finalidad de identificar todos los elementos de la red eléctrica interna.

El trabajo inicia con el estudio de la acometida eléctrica , pasando a través del transformador, tablero de transferencia, tablero primario, tableros secundarios y finalizando en los tableros de distribución ubicados en cada servicio del hospital, por ejemplo aislamiento, intensivo, hospital de día, entre otros.

Durante el proceso de inspección de cada circuito que compone la red eléctrica, se aprovechó para la verificación de cada uno de los tableros en cuanto a su estado en búsqueda de óxido, cables dañados en su aislamiento, apretado de terminales o bornes de cada uno de los tableros y *breakers*, revisión del estado de las barras de cada tablero, además, toma de información en cuanto a su voltaje, número de fases, numero de hilos, toma de corrientes en cada circuito, revisión de ductos y tuberías, para finalizar estudiando con cámara termo gráfica cada uno de los tableros, motores y cables de la instalación.

En este documento se hace una diferenciación entre dos clases de tableros: los normales y regulados. Los tableros normales son aquellos que

reciben directamente energía eléctrica ya sea de la generada por la empresa suministradora o de la planta eléctrica de emergencia y deben trabajar siempre con dichas fuentes de alimentación y los tableros regulados que se encuentran en un ramal separado que actualmente existe en el hospital y que deben recibir energía eléctrica de un sistema de energía regulado ininterrumpido, es decir, de una unidad de potencia ininterrumpida conocido como UPS, por sus siglas en inglés.

### **2.1.1. Diagrama unifilar**

Para la elaboración del diagrama unifilar se solicitó al departamento de ingeniería y mantenimiento del hospital la información que estuviera disponible para encontrar la lógica del cableado, la información disponible era muy poca y no actualizada. ( ver diagrama unifilar antes del proceso en anexo).

## **2.2. Acometida eléctrica**

De acuerdo al código nacional eléctrico NEC 2017. Artículo 100 definiciones:

- Acometida (*service*): los conductores y el equipo para entrega de energía eléctrica desde la red local de servicio público, hasta el sistema de cableado del inmueble servido.

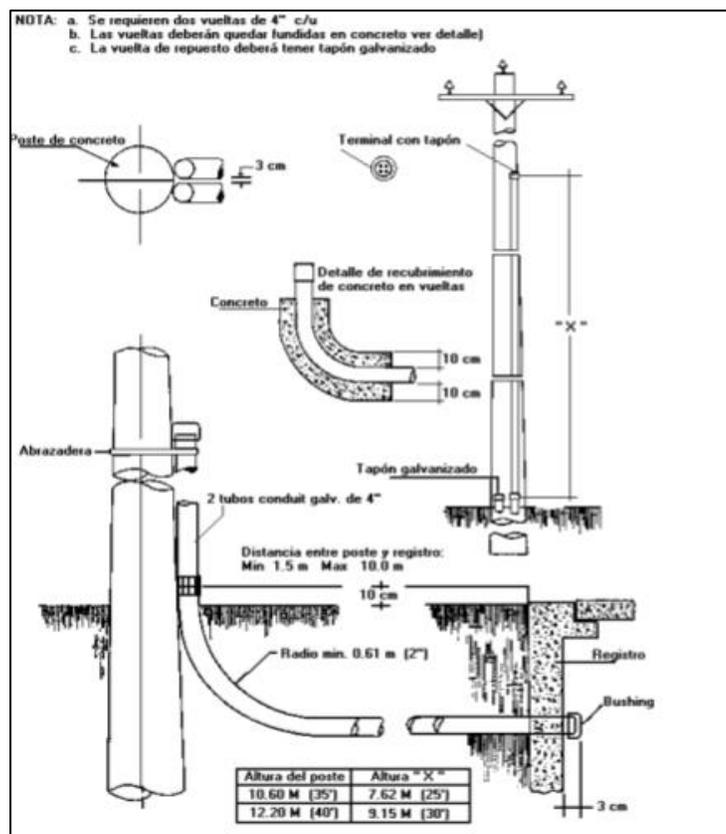
### **2.2.1. Descripción de la acometida eléctrica**

La empresa suministradora del servicio eléctrico es la empresa eléctrica de Guatemala y cumple con las normas que dicta la comisión nacional de

energía eléctrica para acometidas de servicio en mediana tensión siendo el número de Norma la MT 2.60.02.

El alcance de la norma aplica para todos servicios a usuarios que son propietarios del centro de transformación y cuya tensión de suministro, en el punto de entrega sea de 13,2kV.

Figura 1. **Acometida principal**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

El Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica es el propietario del transformador de energía, el cual se encuentra instalado dentro de la propiedad del mismo, en un recinto abierto.

El equipo de medición está instalado en un poste propiedad de la empresa eléctrica en la vía pública, para su lectura, inspección y verificación; la medición es indirecta, para lo cual están instalados en el poste los respectivos transformadores de voltaje y corriente además del contador de energía.

Figura 2. **Punto de medición**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

La alimentación en media tensión entra a las instalaciones en tubería conduit de 4 pulgadas de diámetro en forma subterránea.

El punto de entrega de la energía eléctrica está ubicado en el poste número 183236, ubicado en la 9 avenida 8-00 zona 11.

### **2.3. Transformador**

Un transformador es una máquina estática que idealmente cambia una potencia eléctrica alterna de una tensión a otro nivel de voltaje manteniendo la misma potencia, mediante la acción de un campo magnético.

#### **2.3.1. Transformador monofásico**

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna normalmente a dos fases mientras el o los devanados secundarios suministran energía eléctrica a las cargas, el devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o devanado de entrada y el devanado que se conecta a las cargas se llama devanado secundario.

#### **2.3.2. Transformador trifásico**

Los bancos de transformadores para circuitos trifásicos se suelen construir de dos maneras. Una de estas consiste simplemente en tomar tres transformadores monofásicos y conectarlos en un banco trifásico. Otra alternativa es construir un transformador trifásico que consta de tres conjuntos de devanados enrollados sobre un núcleo común. Desde el punto de vista económico resulta más barato instalar un transformador tipo pedestal o *pad*

*mounted* trifásico, que montar un sistema de tres transformadores conectados entre sí.

### **2.3.3. Tipos de conexión de los transformadores en un sistema trifásico**

Un transformador trifásico consta de tres transformadores, separados o combinados sobre un mismo núcleo. Los primarios y secundarios de todo transformador trifásico pueden ser conectados de muchas formas, siendo algunas de estas conexiones las siguientes:

- Conexión estrella- estrella.
- Conexión estrella- delta.
- Conexión delta- estrella.
- Conexión delta-delta.

Teóricamente cuando se conecta un transformador trifásico con la configuración de sus bobinas en estrella-estrella, los voltajes estarán desfasados entre sí por 120 voltios.

En la realidad no existen sistemas totalmente balanceados lo que provoca corrientes que deben ser drenadas por medio del cable de neutro. La solución a este inconveniente es aterrizar sólidamente el neutro de la instalación y el neutro de los transformadores.

### **2.3.4. Sistema de refrigeración del transformador**

Uno de los factores que afectan la vida útil de un transformador es la elevación de la temperatura. Lo que causa que se degeneren los aislamientos

del mismo. Existen varias formas de eliminar el calor generado ya sea por conducción, por convección o por radiación.

En el caso del transformador instalado en el hospital, este es sumergido en aceite con enfriamiento natural, es decir, el aceite circula por convección natural dentro del tanque.

### **2.3.5. Mantenimiento y pruebas para el transformador**

El tiempo, sobre-temperaturas debido a operaciones que sobrecargan el transformador, la humedad, la contaminación del aceite dieléctrico por celulosa, descargas eléctricas, cortocircuitos entre otros esfuerzos eléctricos, tienen como consecuencia la alteración y deterioro del transformador.

Por tal motivo es necesario hacer una primera prueba del transformador en el inicio de puesta en operación y a partir de esto anualmente con el fin de poder, de acuerdo a los resultados obtenidos, marcar la tendencia y anticipar sobre posibles fallas e iniciar cuanto antes con los procedimientos de mantenimiento correctivo y con ello alargar la vida del transformador.

Análisis estadísticos de empresas aseguradoras de equipos eléctricos muestran que el promedio de vida útil de un transformador es de 12 años, pero fueron diseñados para 25 años.

Las pruebas que se recomiendan al transformador son:

- Pruebas eléctricas
  - Resistencia de aislamiento.
  - Pruebas de factor de potencia del aislamiento.
  - Prueba de corriente de excitación.
  - Resistencia óhmica del devanado.
  - Prueba de relación de transformación.
  - Prueba de barrido de frecuencia.
  
- Pruebas del aceite dieléctrico.
  - Apariencia visual.
  - Color.
  - Tensión interfacial.
  - Factor de potencia.
  - Rigidez dieléctrica.
  - Contenido de humedad
  - Número de neutralización
  
- Cromatografía del aceite del transformador.

El análisis debe ser efectuado por un laboratorio de prestigio y acreditado.

Los productos así obtenidos pueden ser

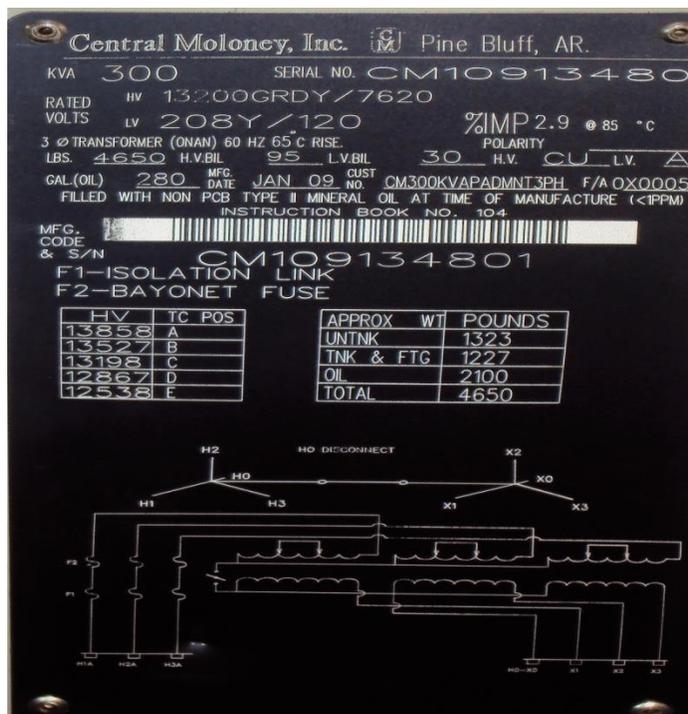
- Hidrógeno—H<sub>2</sub>
- Oxígeno—O<sub>2</sub>
- Nitrógeno—N<sub>2</sub>
- Monóxido de carbono —CO

- Dióxido de carbono —CO<sub>2</sub>
- Metano —CH<sub>4</sub>
- Etano—C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>
- Etileno—C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>
- Acetileno—C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>
- Propano—C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>
- Propileno—C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>

### 2.3.6. Datos del transformador

Los datos que nos suministra el fabricante para el transformador instalado en el Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica son los siguientes:

Tabla VIII. Características del transformador



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Cuando se instaló el transformador se realizaron las respectivas pruebas, después no se ha realizado ninguna prueba eléctrica o físico química al mismo. El tiempo de estar instalado es 4 años.

#### 2.4. Planta eléctrica de emergencia

El grupo electrógeno está conectado por medio de una acometida subterránea al panel de transferencia automática, es marca Caterpillar modelo GEH 188.

Figura 3. **Planta de emergencia**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Cuenta con un panel de instrumentos para verificación del funcionamiento del grupo con lo que se puede medir:

- Voltaje entre línea y línea.
- Voltaje entre líneas y neutro.
- Horómetro.
- Corriente en cada línea.
- Grados de temperatura del motor.
- Carga de los acumuladores.
- Presión de aceite del motor.
- Botón de parada de emergencia.
- Selector de parada- automático- marcha.

#### **2.4.1. Generador eléctrico**

El generador eléctrico es marca Olimpian, trifásico, conexión estrella, sus datos son los siguientes:

- Modelo GEH 188.
- Año de fabricación 2013.
- Potencia máxima: 188 kVA.
- $\cos \varnothing = 0,8$ .
- Número de fases: 3.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Corriente máxima: 521,9 amperios.
- Revoluciones por minuto: 1800.
- Conexión del alternador: estrella.
- Voltaje de salida 208/ 120 voltios.

#### **2.4.2. Motor de combustión interna**

Se cuenta con un motor diesel, los datos de placa siguientes:

- Motor marca: Perkins serie 1 300 modelo GDC 325.
- Potencia la freno BHP= 325 @ 1 800 RPM.
- Potencia de trabajo HP= 300 @ 1 500 RPM.
- Tipo de combustible: diesel.

#### **2.5. Tableros, cables, *breakers* y barras**

A continuación se describe en detalle el significado de estos accesorios.

##### **2.5.1. Tableros eléctricos**

Definición tablero de distribución (*Switchgear*) *NEC2017*. Ensamble completamente encerrado en todos los laterales y en su parte superior con láminas de metal (excepto aberturas de ventilación y ventanas de inspección) y que contiene los dispositivos de conmutación o interrupción de los circuitos de energía principales, o ambos, con barras colectoras y conexiones. Este ensamble puede incluir dispositivos de control y auxiliares. Se accede al interior del envolvente mediante puertas, cubiertas removibles, o ambas.

##### **2.5.2. Cables**

Los cables eléctricos están compuestos básicamente de tres partes:

- Conductor.
- Aislante.
- Cubierta protectora.

### 2.5.2.1. Conductor de aluminio

El conductor de aluminio ha ganado mucho auge en los últimos años, pues el precio del cobre ha hecho que los conductores elaborados de este material tengan un precio demasiado elevado, colocando sin menospreciar sus cualidades eléctricas al aluminio como un sustituto idóneo para las instalaciones de baja tensión.

Tabla IX. Características eléctricas del aluminio

Propiedades	Valores
Color	Blanco plata
Densidad	2 699 g/cc
Punto de fusión	660,2 °C
Punto de ebullición	2 057 °C / 2480°C
Resistividad eléctrica	$2,82 \times 10^{-8} \Omega\text{-m}$

Fuente elaboración propia.

Tomando siempre las medidas pertinentes, pues tiene características físicas y químicas particulares, muchas instalaciones hoy son hechas completamente usando al aluminio en los conductores.

### 2.5.2.2. Conductor de cobre

El cobre posee una conductividad eléctrica alta y tiene características mecánicas y físicas que lo hacen ser la mejor elección para la elaboración de los conductores eléctricos.

Tabla X. Características eléctricas del cobre

Propiedades	valores
Color	Rojizo brillante
Densidad	8,96 g/cc
Punto de fusión	1 085,2 °C
Punto de ebullición	2 562 °C
Resistividad eléctrica	$1,71 \cdot 10^{-8} \Omega\text{-m}$

Fuente elaboración propia.

### 2.5.2.3. Comparación entre conductores de cobre y aluminio

La conductividad eléctrica del cobre es mayor, de tal manera que para una corriente dada, el calibre de cable de aluminio es mayor, lo que hace que sea necesario incrementar el diámetro de los ductos, cajas de registro, conectores para cajas aumentando el espacio necesario para realizar la instalación.

Mecánicamente el cobre es mucho más resistente a la tensión, reducción de secciones, y más flexible para las vueltas.

Debido a las características físicas y químicas del aluminio se presentan problemas en las conexiones, pues bajo presión y calor, se dilata y contrae provocando aflojamiento en las conexiones.

#### **2.5.2.4. Calibre de los conductores**

Dado que existe una relación entre el diámetro del conductor y el área del mismo, se estableció un método para la clasificación de los cables en función de los diámetros, a esta escala se le conoce como AWG por sus siglas en inglés.

Comienza clasificando el cable más grueso como 4/0 disminuyendo hasta 1/0 pasando posteriormente al calibre 2, 4, entre otros.

Para cables mayores en diámetro de 4/0 se establece la escala en función del área en pulgadas o circular mil, siguiendo el 250 KCM, 300KCM hasta 1 000 KCM.

#### **2.5.2.5. Aislamiento de los cables eléctricos**

Los cables eléctricos para que puedan cumplir con su función necesitan poseer un recubrimiento externo que los aisle completamente de otros cables, que los proteja del medio ambiente al que están expuestos, aparte de otras características como el que sean retardantes a la flama, que puedan ser expuestos al calor, a la humedad, a los rayos directos del sol, baja emisión de humos.

Existen dos grupos de aislamientos distintos para cables, los aislamientos termoplásticos y los aislamientos termoestables, siendo la diferencia que los materiales termoplásticos se deforman con el calor y los termoestables no se deforman tal es el caso del polietileno reticulado.

#### **2.5.2.6. Cubierta de los cables eléctricos**

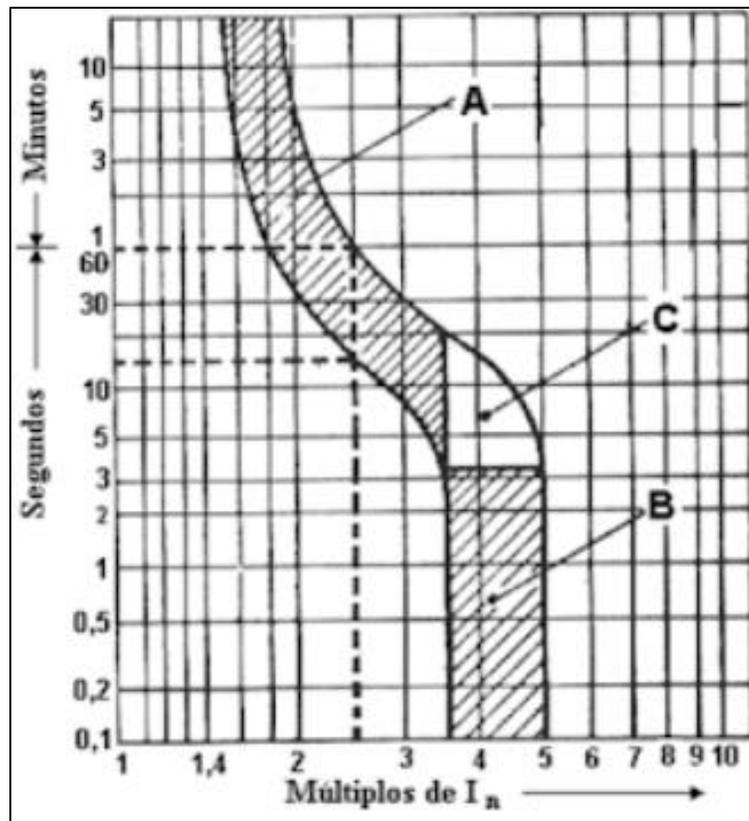
Aunque no todos los cables eléctricos tienen está cubierta, algunos sí; generalmente son fabricados en nylon y tienen como función, proteger el aislamiento de los cables contra elementos físicos y químicos que pueden dañar el aislamiento destruyendo por completo el cable.

#### **2.5.3. Breakers o interruptores termomagnéticos**

Los *breaker* o interruptores termomagnéticos constan básicamente de dos partes que protegen el circuito al que están colocados, la parte térmica protege contra la sobrecarga y la parte magnética protege contra los cortocircuitos.

Cada tipo de *breaker* tiene su curva característica de operación. En la figura 4, se muestran tres zonas marcadas como A, B y C. El área A es la zona de operación térmica, el área B es la zona de operación magnética, finalmente el área marcada como C es la zona de mixta donde puede el breaker operar por efecto térmico o magnético.

Figura 4. **Curva característica de un interruptor termomagnético**



Fuente: Curva característica de un interruptor termomagnético. [ingmecafenix.com](http://ingmecafenix.com). Consulta: febrero de 2018.

Al observar la figura se puede ver claramente que la protección térmica actúa a una corriente más baja, mientras su zona de corte en el tiempo es alta. Contrariamente sucede para un cortocircuito en el que el tiempo de operación de la protección es rápido, pero sus niveles de corriente son más altos.

### 2.5.3.1. Cortocircuitos

En una instalación eléctrica se da un corto circuito cuando uno o más conductores energizados, con su aislamiento dañado, entra en contacto con

otra fase o con el cable neutro o una estructura metálica como lo puede ser una tubería, ducto entre otros, lo que ocasiona que la impedancia del circuito tome un valor muy pequeño, cercano a cero, produciéndose un incremento en la corriente.

Cuando esta falla se presenta y debido a corrientes grandes se genera una elevada temperatura en los cables eléctricos pudiéndose generar una falla fatal en la instalación produciéndose una destrucción que puede ir desde la fundición del aislamiento de los conductores eléctricos, o incendios que pudieran cobrar la vida de las personas usuarias.

#### **2.5.3.2. Sobrecarga**

Una sobrecarga se origina cuando un circuito eléctrico que fue diseñado para cumplir con cierta potencia máxima e irresponsablemente se conecta más carga, demandándose una mayor corriente eléctrica produciéndose una elevación de la temperatura, haciendo que los *breaker* que protegen el circuito se disparen.

La característica de la sobrecarga es que si bien la corriente no es tan grande como en un cortocircuito, el tiempo de exposición a la falla es sostenido.

#### **2.5.4. Barras**

Colocadas dentro de los tableros eléctricos y también llamadas barras colectoras sirven para recibir energía de una fuente de alimentación y distribuirla a varios circuitos derivados.

La capacidad en la barras define la energía que el tablero es capaz de manejar en condiciones seguras, sin provocar sobrecargas o elevación de la temperatura. En el caso de las barras, es la temperatura la que finalmente define la capacidad de corriente a la que puede funcionar; las corrientes de corto circuito afectan a la barras pues son sometidas a fuerzas electrodinámicas pudiendo destruirlas por completo.

Los cables aislados no deben descansar sobre superficies desnudas sujetas a tensión por lo que se hace necesario la instalación de conectores curvos o rectos según sea la colocación de las barras dentro de los tableros y además los conductores aislados deben estar sujetos y separados de las barras.

## **2.6. Ductos y tuberías**

Los ductos y tuberías o más bien las canalizaciones eléctricas sirven para proporcionar protección a los conductores de daños físicos causados el medio ambiente que los rodea a la vez que si hay falla de los conductores por cualquier motivo, los efectos que se produzcan tales como chispazos o calentamiento queden contenidos dentro de la canalización.

## **2.7. Supresor de picos o transitorios**

El hospital cuenta con un supresor de picos o transitorios que se encuentra instalado en el tablero de transferencia, estando conectados los cables del protector a cada una de las fases, el neutro y la tierra, siendo su función minimizar los efectos indeseables de los transitorios de voltaje o corriente.

El supresor con que cuenta el hospital tiene los siguientes datos de placa.

Modelo: rayvoss-120-2S-MSB1-3-03-A-NS

Máximo amperaje: 100 amperios

Voltaje: 110/220 volts

Figura 5. **Supresor de transitorios instalado en el hospital**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

## **2.8. Situación actual de la red eléctrica interna del hospital**

Después de estudiar y revisar cada uno de los circuitos que componen la red eléctrica interna del hospital se obtuvieron datos que aparecen tabulados en las tablas de la XI a la XVI de planillas de los tableros principales, secundarios y primario regulado.

Las ampacidades nominales de los cables fueron tomadas de la tabla 310.15(B)(16) antes tabla 310.16 del NEC 2017 y se muestra en el anexo de este trabajo.

### **2.8.1. Características de tableros, cables, *breakers* y barras instalados**

A continuación se presenta una serie de observaciones generales a fin de tener una mejor comprensión del estado actual de la red eléctrica interna del Hospital de Oncología Pediátrica:

- Todos los tableros son trifásicos y tienen cables de fase, neutro y tierra.
- Los tomacorrientes en todas las salas, corredores, y oficinas son del tipo polarizado y cuentan con fase, neutro y tierra.
- Existen dos puntos de aterrizado dentro de la instalación, uno para el neutro y el otro para el aterrizado de equipos, ambos polos son eléctricamente independientes, es decir, no existe un puente eléctrico entre ellos.
- Existe solamente un tablero de transferencia para toda la carga eléctrica.
- La instalación eléctrica esta cableada con conductores de aluminio cuando los calibres son mayores al AWG 6; para calibres inferiores está cableada con conductores de cobre.

Tabla XI. **Tableros y sus circuitos de alimentación**

TABLEROS INSTALADOS EN EL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGIA PEDIATRICA					
NOMBRE	CARACTERISTICAS TECNICAS DEL TABLERO		Circuito de alimentacion		
	UBICACIÓN	CAPACIDAD EN BARRAS	NOMBRE	UBICACIÓN	BREAKER
TABLERO GENERAL BAJA TENSIÓN	CUARTO ELECTRICO	1200	TRANSFORMADOR DE POTENCIA	BOVEDA DE TRANSFORMADOR	N/A
PLANTA DE EMERGENCIA	BOVEDA DE PLANTA DE EMERGENCIA	800	N/A	N/A	N/A
PANEL DE TRANSFERENCIA	CUARTO ELECTRICO	1200	TABLERO GENERAL DE BAJA TENSION O PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA	CUARTO ELECTRICO	1200 / 630
TPP CE		1800	PANEL DE TRANSFERENCIA		1200/630
TP S1 D1	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	400	TPP CE		400
TP S2 LOBBY D2	DUCTO 2 PRIMER NIVEL	400			400
TP S3 CE	CUARTO ELECTRICO	400			250
TP S4 CE		800			300
A/C SOTANO	SOTANO DUCTO 1	200			125
A/C TERRAZA	COMEDOR TERCER NIVEL	200			125
INTENSIVO	SALA INTENSIVO	200			150
INTENSIVO 1		200	INTENSIVO		SALA DE INTENSIVO
AISLAMIENTO	SALA DE AISLAMIENTO	200	TPP CE	CUARTO ELECTRICO	100

Continuación de la tabla IX.

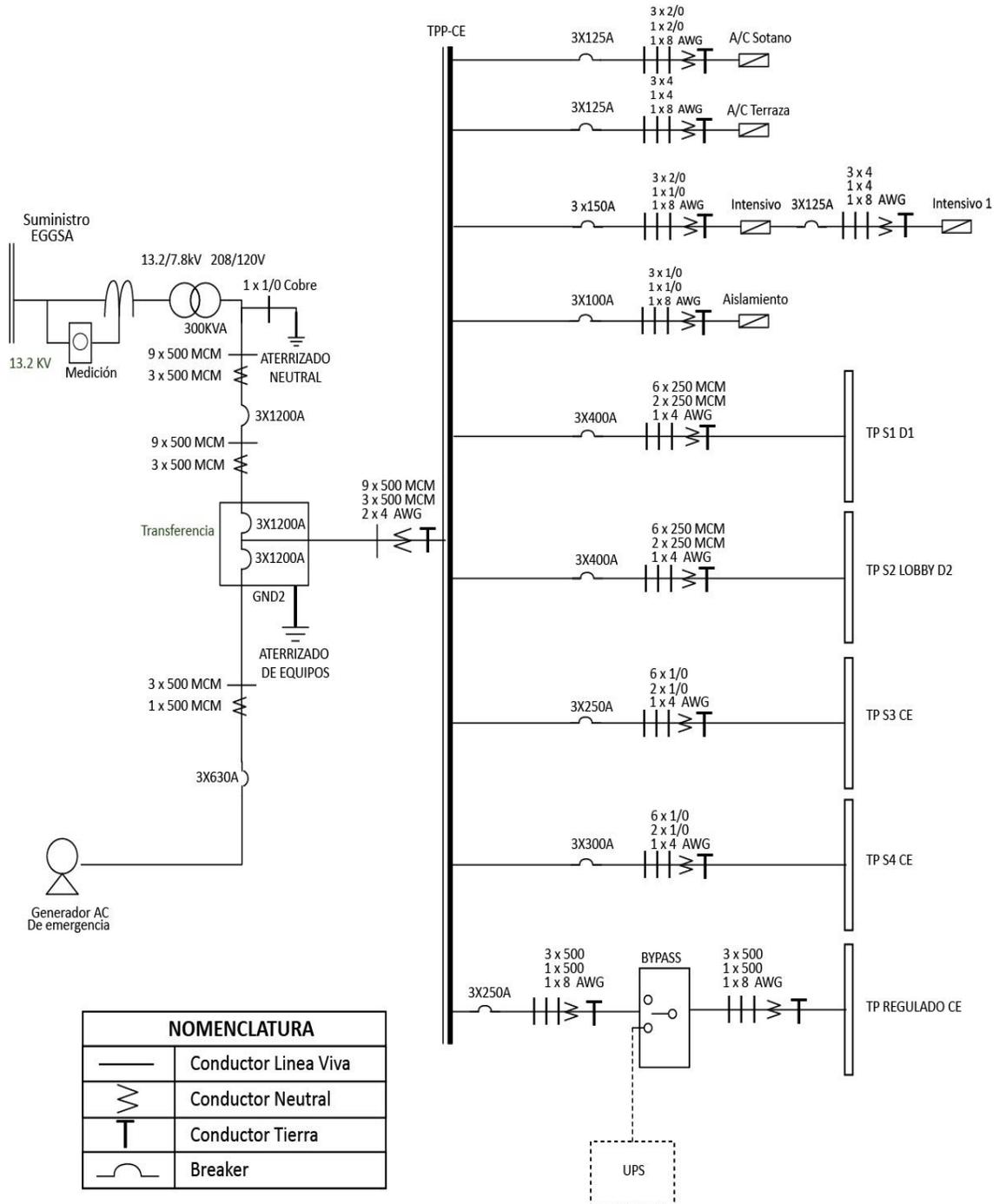
T.BOMBAS	CUARTO DE BOMBAS	125	TPS1D1	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	100
TXR	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	200			150
COMEDOR SEGURO	COMEDOR SEGURO	125	TXR		70
LAVANDERIA	LAVANDERIA	125	COMEDOR SEGURO		70
T. 1er NIVEL D1	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	200	TPS1 D1		100
T. 2do NIVEL D1	DUCTO 1 SEGUNDO NIVEL	200			70
T. 3er NIVEL D1	DUCTO 1 TERCER NIVEL	200			100
ELEVADOR CAMILLERO	DUCTO ELEVADOR 4 NIVEL	125			100
COCINA	COCINA	200			70
T. SOTANO	SOTANO DUCTO 1	200			125
T. MATERIALES SOTANO	MATERIALES SOTANO	200		TABLERO SOTANO	DUCTO 1 SOTANO
T. LABORATORIO	SOTANO DUCTO 1	200	40		
T. AREA TALLER	CUARTO ELECTRICO	200	TPS3 CE	CUARTO ELECTRICO	125
T. ILUMINACION INTERMEDIOS	SALA INTERMEDIOS	200			100
T. CUARTO DE MAQUINAS	CUARTO DE MAQUINAS	200			100
ASCENSOR LOBBY	DUCTO ASCENSOR LOBBY	125	TPS2 LOBBY D2	DUCTO 2 PRIMER NIVEL	70
PLANTA DE TRATAMIENTO	PLANTA DE TRANTAMIENTO	125			125
HOSPITAL DE DIA	HOSPITAL DE DIA SEGUNDO NIVEL	200			70
T. CONSULTA EXTERNA	DUCTO 2 SEGUNDO NIVEL	200			125

Continuación de tabla IX.

T. CONSULTA EXTERNA 1	DUCTO 2 SEGUNDO NIVEL	125	T. CONSULTA EXTERNA	DUCTO 2 SEGUNDO NIVEL	100
T. A/C HOSPITAL DE DIA	HOSPITAL DE DIA SEGUNDO NIVEL	200	TPS2 LOBBY D2		70
T. LOBBY	DUCTO 2 PRIMER NIVEL	200		DUCTO 2 PRIMER NIVEL	60
T. ENCAMAMIENTO 1	SALA DE ENCAMAMIENTO	200	TPS4 CE		200
T. ENCAMAMIENTO 2	SALA DE ENCAMAMIENTO	200	T. ENCAMAMIENTO 1	SALA DE ENCAMAMIENTO	70
CENTRAL DE EQUIPOS	CENTRAL DE EQUIPOS	200	TPS4 CE	CUARTO ELECTRICO	125
FUERZA INTERMEDIOS	SALA DE INTERMEDIOS	200			150
TP2	CUARTO ELECTRICO	200			100
TERRAZA	COMEDOR 4 NIVEL	125			100
T. BYPASS	CUARTO ELECTRICO	600	TPP CE		250
TP. REGULADO CE	CUARTO ELECTRICO	400	BY PASS		N/A
TPR1 D1	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	125	TP REGULADO CE	CUARTO ELECTRICO	225
T. REGULADO INTENSIVO	SALA DE INTENSIVO	125			150
T. REGULADO INTERMEDIO	SALA DE INTERMEDIOS	125	TP REGULADO CE	DUCTO 1 PRIMER NIVEL	60
T. REGULADO ENCAMAMIENTO	SALA DE ENCAMAMIENTO	125			40
T. REGULADO CONSULTA EXTERNA D2	CONSULTA EXTERNA DUCTO 2 SEGUNDO NIVEL	125			40
T. REGULADO HOSPITAL DE DIA	HOSPITAL DE DIA SEGUNDO NIVEL	125			60
T. REGULADO SOTANO D1	DUCTO 1 SOTANO	125			40
T. REGULADO 2do NIVEL D1	DUCTO 1 SEGUNDO NIVEL	125			30

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Figura 6. Diagrama unifilar tablero TPP CE



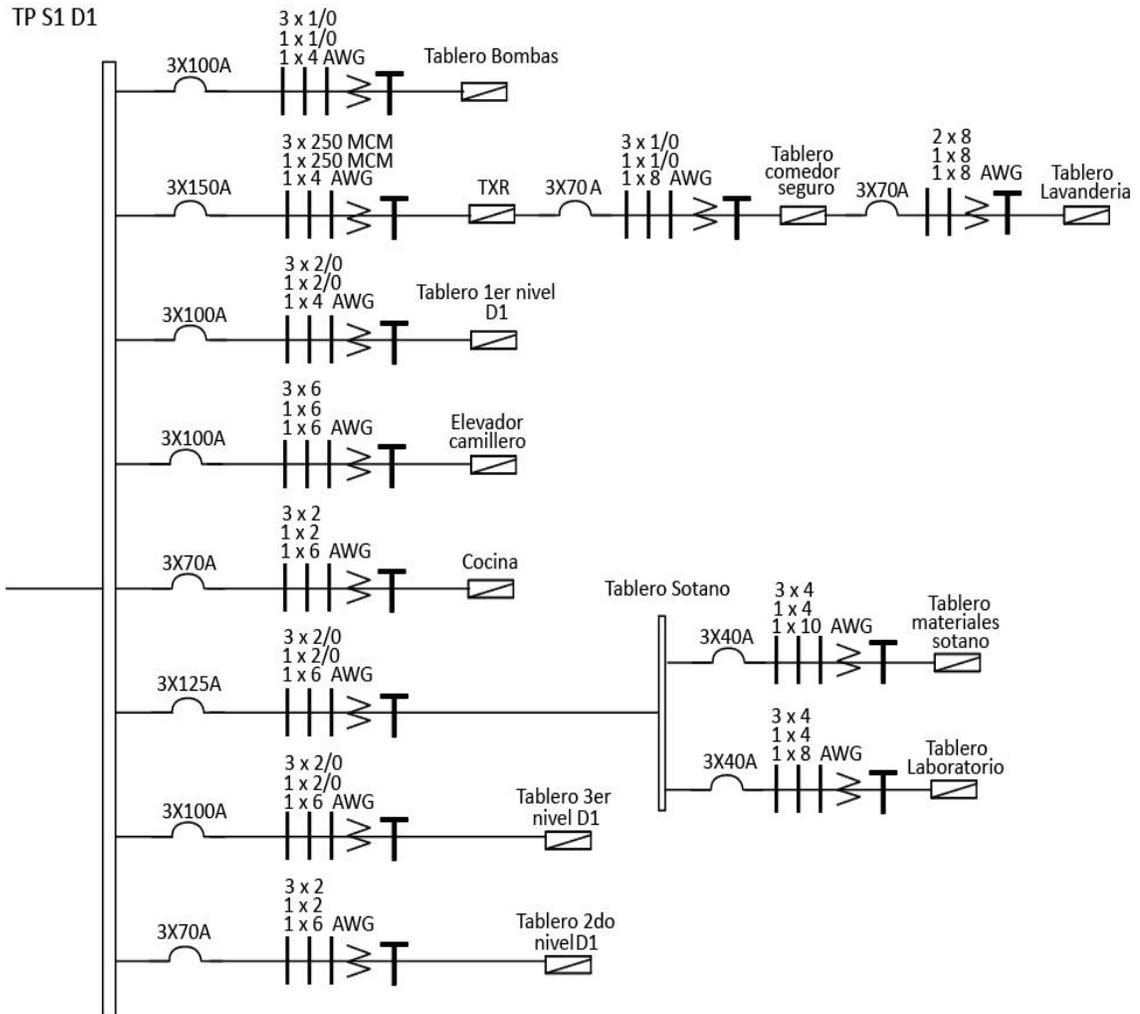
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Tabla XII. Planilla tablero principal TPPCE

PLANILLA TABLERO PRINCIPAL TPP CE									
Nombre del tablero:	TPP CE				fecha:	11-jun-18			
ubicación:	Cuarto eléctrico								
marca del tablero:	Eaton								
Voltaje de fase	208 Volt								
capacidad de barras:	1 200 Amp								
capacidad del <i>breaker</i>	1 200 Amp								
Alimentador principal:				Corrientes medidas:					
calibre	capacidad de corriente	conductores por fase	capacidad total	L1	L2	L3			
500	350	3	1 050	326	310	293			
Porcentaje de uso del alimentador principal				Porcentaje de uso de las barras %					
L1	L2	L3				L1	L2	L3	
31,05	29,5	27,9				27,2	25,8	24,4	
Porcentaje de uso del <i>breaker</i> %									
L1	L2	L3							
27,2	25,8	24,4							
Carga instantánea Amp.	Descripción	Fases	<i>Breaker</i> instalado	conductor	número de hilos por fase	Ampacidad por línea	Ampacidad total disponible por línea	% uso del conductor	% uso del <i>breaker</i>
45,7	A/C sótano	3X	125	2/0	1	130	130	35,2	36,6
43,6	A/C sótano	3X	125	2/0	1	130	130	33,5	34,9
46,2	A/C sótano	3X	125	2/0	1	130	130	35,5	37,0
9,6	A/C terraza	3X	125	4	1	55	55	17,5	7,7
13,2	A/C terraza	3X	125	4	1	55	55	24,0	10,6
7,8	A/C terraza	3X	125	4	1	55	55	14,2	6,2
12,5	Intensivo	3X	150	2/0	1	130	130	9,6	8,3
8,4	Intensivo	3X	150	2/0	1	130	130	6,5	5,6
3,8	Intensivo	3X	150	2/0	1	130	130	2,9	2,5
3,4	Aislamiento	3X	100	1/0	1	100	100	3,4	3,4
2,7	Aislamiento	3X	100	1/0	1	100	100	2,7	2,7
1,8	Aislamiento	3X	100	1/0	1	100	100	1,8	1,8
14,1	TP S3 CE	3X	250	250	2	170	170	8,3	5,6
10,2	TP S3 CE	3X	250	250	2	170	170	6,0	4,1
22,7	TP S3 CE	3X	250	250	2	170	170	13,4	9,1
34,8	<i>By pass</i>	3X	250	500	1	260	260	13,4	13,1
24,5	<i>By pass</i>	3X	250	500	1	260	260	9,4	9,8
12,65	<i>By pass</i>	3X	250	500	1	260	260	4,9	5,1
46,5	TP S2 Lobby D2	3X	400	250	2	270	270	17,2	11,6
61,7	TP S2 Lobby D2	3X	400	250	2	270	270	22,9	15,4
37,4	TP S2 Lobby D2	3X	400	250	2	270	270	13,9	9,4
117,6	TP S1 D1	3X	400	250	2	270	270	43,6	29,4
100,4	TP S1 D1	3X	400	250	2	270	270	37,2	25,1
88,8	TP S1 D1	3X	400	250	2	270	270	32,9	22,2
62,0	TP S4 CE	3X	300	1/0	2	120	120	51,7	20,7
54,0	TP S4 CE	3X	300	1/0	2	120	120	45,0	18,0
56,4	TP S4 CE	3X	300	1/0	2	120	120	47,0	18,8

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Diagrama unifilar tablero secundario TP S1 D1



NOMENCLATURA	
	Conductor Linea Viva
	Conductor Neutral
	Conductor Tierra
	Breaker

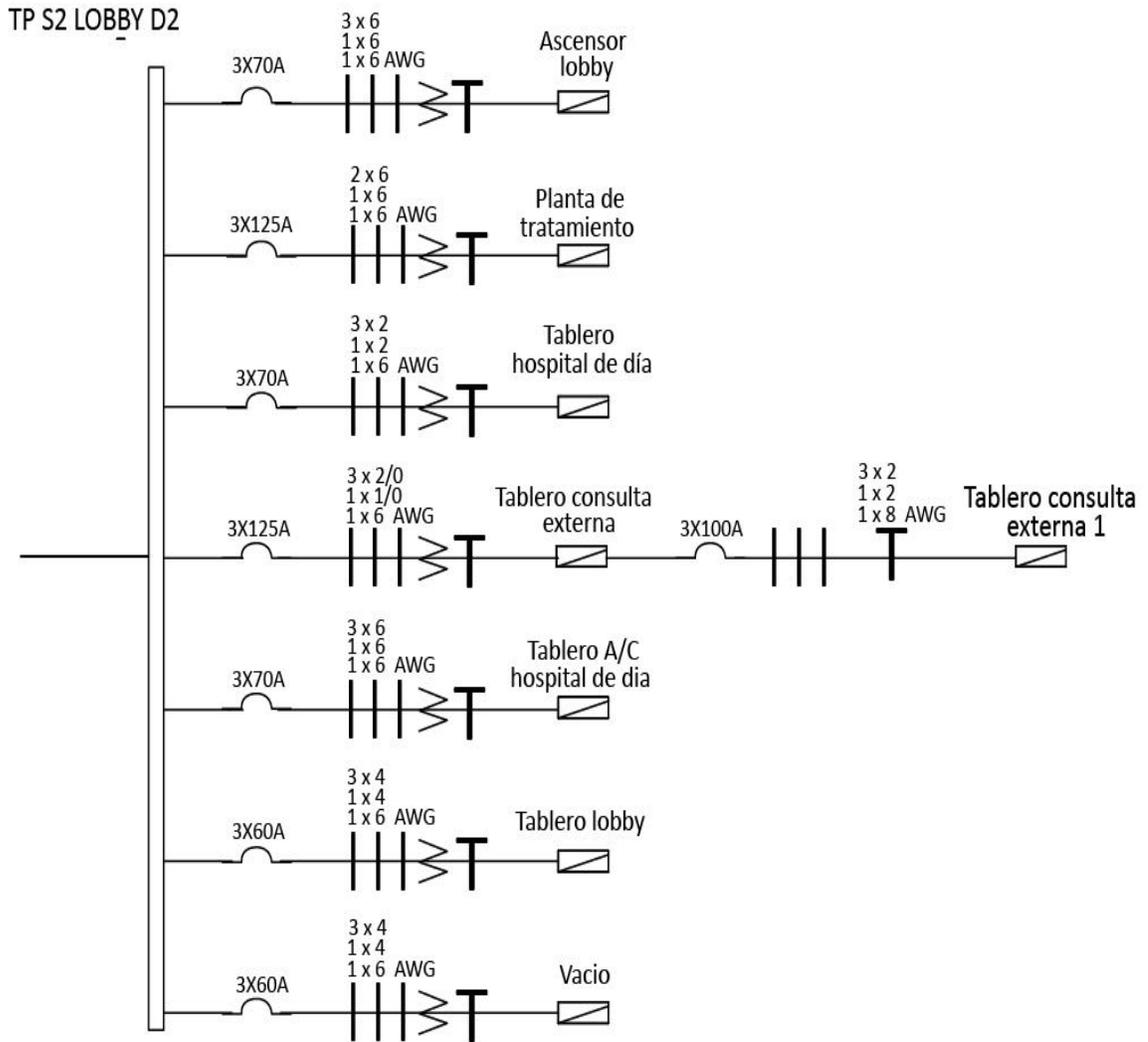
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Tabla XIII. Planilla tablero secundario TP S1 D1

PLANILLA TABLERO SECUNDARIO TP S1 D1									
Nombre del tablero:		TP S1 D1		fecha:		11-jun-18			
Ubicación:		DUCTO 1							
Marca del tablero:		Eaton							
Voltaje de fase		208 Volt							
Capacidad de barras:		400 Amp							
Capacidad del breaker:		400 Amp							
Alimentador principal:				Corrientes medidas:					
calibre	capacidad de corriente	conductores por fase	capacidad total	L1	L2	L3			
250	230	2	460	117,6	100,4	88,8			
Porcentaje de uso del alimentador principal %				Porcentaje de uso de las barras %					
L1	L2	L3							
25,6	21,8	19,3	L1	L2	L3				
			29,4	25,1	22,2				
Porcentaje de uso del breaker %									
L1	L2	L3							
29,4	25,1	22,2							
Carga instantánea Amp.	Descripción	Fases	Breaker instalado	Conductor	Número de hilos por fase	Ampacidad por línea	Ampacidad total disponible por línea	% uso del conductor	% uso del breaker
10,0	BOMBAS	3X	100	1/0	1	100	100	10,0	10,0
9,1	BOMBAS	3X	100	1/0	1	100	100	9,1	9,1
9,3	BOMBAS	3X	100	1/0	1	100	100	9,3	9,3
18,8	TXR	3X	150	250	1	170	170	11,1	12,5
9,3	TXR	3X	150	250	1	170	170	5,5	6,2
17,7	TXR	3X	150	250	1	170	170	10,4	11,8
19,2	T. 1ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	16,7	19,2
24,1	T. 1ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	21,0	24,1
16,3	T. 1ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	14,2	16,3
21,9	ELEVADOR C.	3X	100	6	1	40	40	54,8	21,9
17,2	ELEVADOR C.	3X	100	6	1	40	40	43,0	17,2
21,1	ELEVADOR C.	3X	100	6	1	40	40	52,8	21,1
15,2	COCINA	3X	70	2	1	75	75	20,3	21,7
6,4	COCINA	3X	70	2	1	75	75	88,5	9,1
6,4	COCINA	3X	70	2	1	75	75	8,5	9,1
26,9	T. SOTANO	3X	125	2/0	1	115	115	23,4	21,5
46,1	T. SOTANO	3X	125	2/0	1	115	115	40,1	36,9
26,2	T. SOTANO	3X	125	2/0	1	115	115	22,8	21,0
23,7	T. 3ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	20,6	23,7
4,7	T. 3ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	4,1	4,7
6,8	T. 3ER NIVEL D1	3X	100	2/0	1	115	115	5,9	6,8
2,3	T. 2DO NIVEL D1	3X	70	2	1	75	75	3,1	3,3
0,8	T. 2DO NIVEL D1	3X	70	2	1	75	75	1,1	1,1
5,0	T. 2DO NIVEL D1	3X	70	2	1	75	75	6,7	7,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Diagrama unifilar tablero TP S2 LOBBY D2



NOMENCLATURA	
	Conductor Linea Viva
	Conductor Neutral
	Conductor Tierra
	Breaker

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

**Tabla XIV. Planilla tablero secundario TP S2 LOBBY D2**

PLANILLA TABLERO SECUNDARIO S2 D2

Nombre del tablero: TP S2 LOBBY D2      fecha: 11-jun-18  
 ubicación: LOBBY  
 marca del tablero: Eaton  
 Voltaje de fase: 208 Volt  
 capacidad de barras: 400 Amp  
 capacidad del breaker: 400 Amp

Alimentador principal:			
calibre	capacidad de corriente	conductores por fase	capacidad total
250	230	2	460

Corrientes medidas:		
L1	L2	L3
46.5	61.7	37.4

Porcentaje de uso del alimentador principal %		
L1	L2	L3
10.11	13.4	8.1

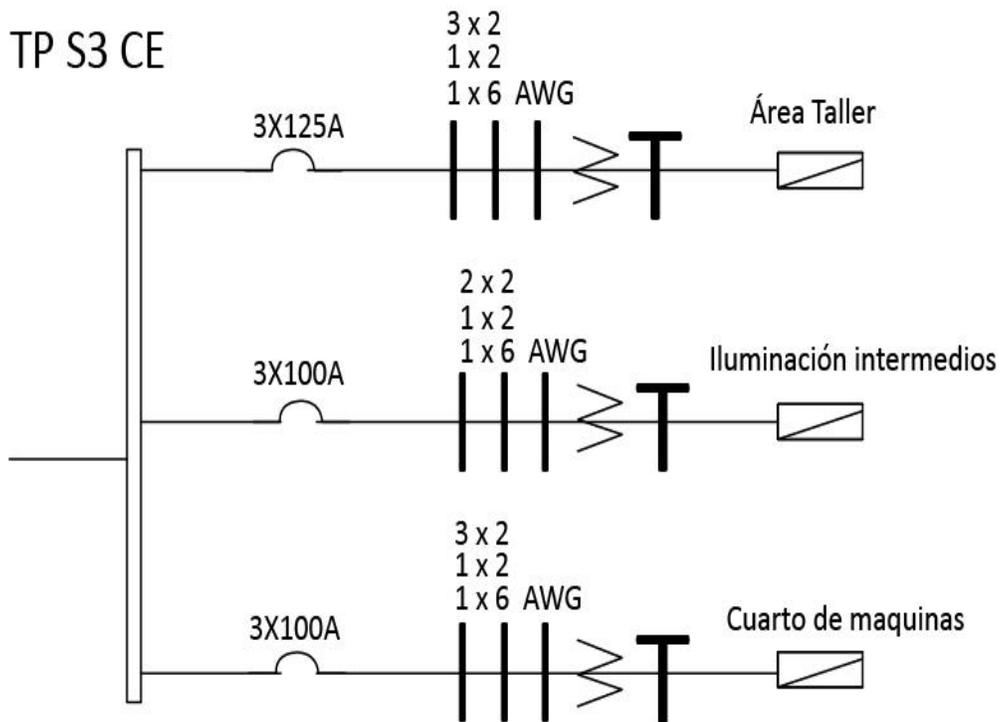
Porcentaje de uso de las barras %		
L1	L2	L3
11.6	15.4	9.4

Porcentaje de uso del Breaker %		
L1	L2	L3
11.6	15.4	9.4

Corriente	descripcion	fases	breaker	conductor	numero de hilos por fase	ampacidad por linea	ampacidad total	% uso del conductor	% uso del breaker
22.9	ELEVADOR	3X	70	6	1	40	40	57.3	32.7
15.1	ELEVADOR	3X	70	6	1	40	40	37.8	21.6
22.6	ELEVADOR	3X	70	6	1	40	40	56.5	32.3
0.4	P. DE TRATAMIENTO	3X	125	6	1	40	40	1.0	0.3
	P. DE TRATAMIENTO	3X	125	6	1	40	40	0.0	0.0
0.4	P. DE TRATAMIENTO	3X	125	6	1	40	40	1.0	0.3
4.6	T. HOSPITAL DE DIA	3X	70	2	1	75	75	6.1	6.6
1.9	T. HOSPITAL DE DIA	3X	70	2	1	75	75	2.5	2.7
0.8	T. HOSPITAL DE DIA	3X	70	2	1	75	75	1.1	1.1
11.4	T. CONSULTA EXTERNA	3X	125	1/0	1	100	100	11.4	9.1
11.2	T. CONSULTA EXTERNA	3X	125	1/0	1	100	100	11.2	9.0
9.0	T. CONSULTA EXTERNA	3X	125	1/0	1	100	100	9.0	7.2
0.3	A/C HOSPITAL DE DIA	3X	70	6	1	40	40	0.8	0.4
0.2	A/C HOSPITAL DE DIA	3X	70	6	1	40	40	0.5	0.3
0.2	A/C HOSPITAL DE DIA	3X	70	6	1	40	40	0.5	0.3
6.3	T. LOBBY	3X	60	4	1	55	55	11.5	10.5
3.9	T. LOBBY	3X	60	4	1	55	55	7.1	6.5
6.3	T. LOBBY	3X	60	4	1	55	55	11.5	10.5

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Diagrama unifilar TP S3 CE



NOMENCLATURA	
	Conductor Línea Viva
	Conductor Neutral
	Conductor Tierra
	Breaker

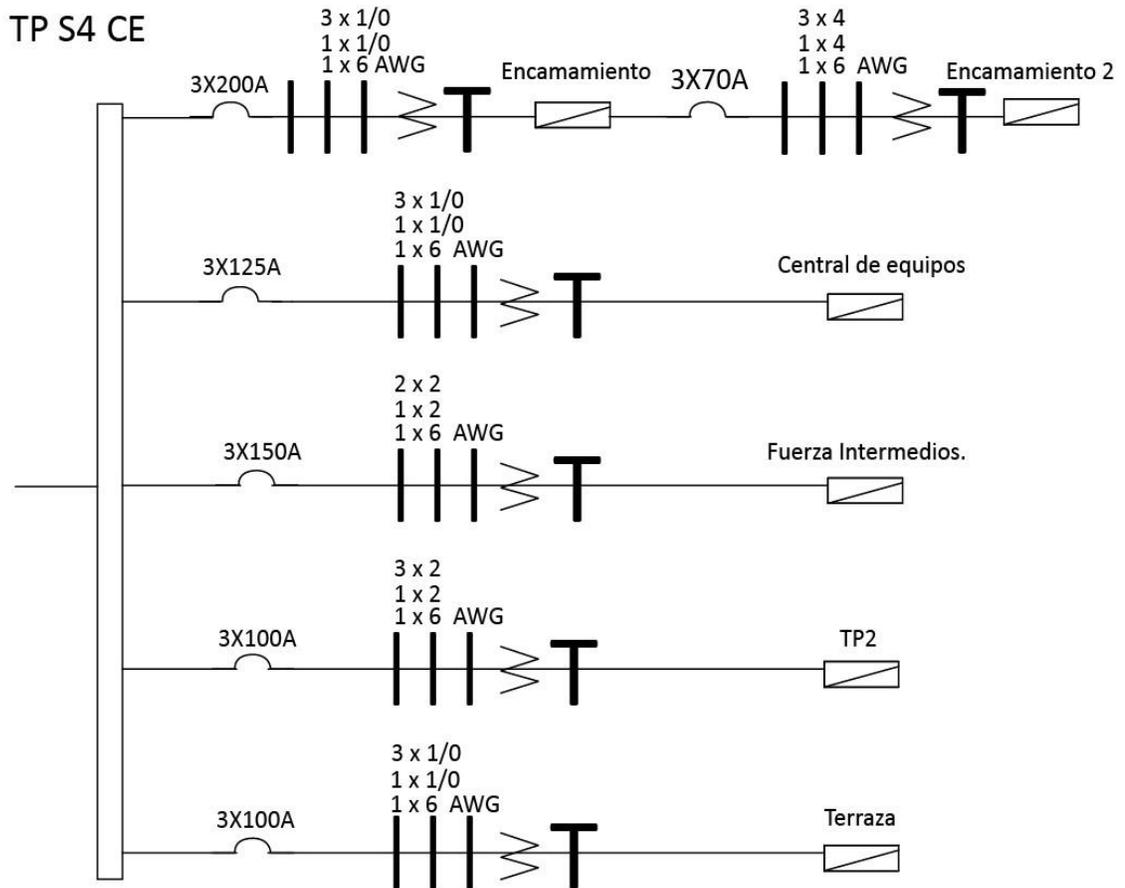
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

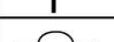
Tabla XV. Planilla tablero secundario TP S3 CE

PLANILLA TABLERO SECUNDARIO S3 CE									
Nombre del tablero:		TPP S3 CE			fecha:		11-jun-18		
Ubicación:		CUARTO ELÉCTRICO							
Marca del tablero:		GENERAL ELECTRIC							
Voltaje de fase		208 Volt							
Capacidad de barras:		400 Amp							
Capacidad del <i>breaker</i> :		250 Amp							
Alimentador principal:					Corrientes medidas:				
Calibre	Capacidad de corriente	Conductores por fase	Capacidad total	L1	L2	L3	L1	L2	L3
1/0	135	2	270	14,1	10,2	22,7			
Porcentaje de uso del alimentador principal %					Porcentaje de uso de las barras %				
L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
5,22	3,8	8,4	3,5	2,6	5,7				
Porcentaje de uso del <i>breaker</i> %									
L1	L2	L3	L1	L2	L3				
5,6	4,1	9,1							
Carga instantánea Amp.	Descripción	Fases	<i>Breaker</i> instalado	Conductor	Número de hilos por fase	Ampacidad por línea	Ampacidad total disponible por línea	% Uso del conductor	% Uso del <i>breaker</i>
0,4	ÁREA TALLER	2X	125	2	1	75	75	0,5	0,3
11,1	ÁREA TALLER	2X	125	2	1	75	75	14,8	8,9
5,5	ILUMINACIÓN INTERMEDIOS	2X	100	2	1	95	95	5,8	5,5
3,5	ILUMINACIÓN INTERMEDIOS	2X	100	2	1	95	95	3,7	3,5
13,5	CUARTO DE MÁQUINAS	3X	100	2	1	75	75	18,0	13,5
13,5	CUARTO DE MÁQUINAS	3X	100	2	1	75	75	18,0	13,5
13,5	CUARTO DE MÁQUINAS	3X	100	2	1	75	75	18,0	13,

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Diagrama unifilar TP S4 CE



NOMENCLATURA	
	Conductor Linea Viva
	Conductor Neutral
	Conductor Tierra
	Breaker

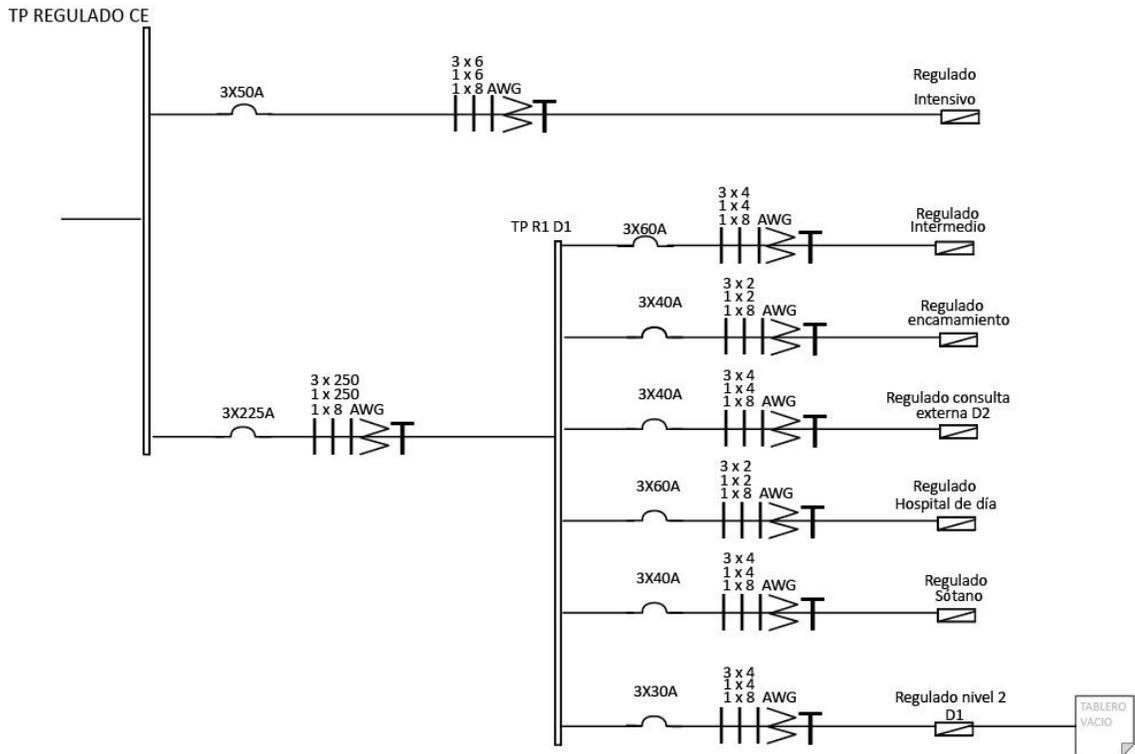
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Tabla XVI. Planilla tablero secundario TP S4 CE

PLANILLA TABLERO SECUNDARIO TP S4 CE									
Nombre del tablero:		TP S4 CE			fecha:		11-jun-18		
ubicación:		CUARTO ELÉCTRICO							
Marca del tablero:		SIEMENS							
Voltaje de fase		208 Volt							
Capacidad de barras:		800 Amp							
Capacidad del <i>breaker</i> :		300 Amp							
Alimentador principal:				Corrientes medidas:					
Calibre	Capacidad de corriente	Conductores por fase	Capacidad total	L1	L2	L3			
1/0	135	2	270	62,0	54,0	56,4			
Porcentaje de uso del alimentador principal %			Porcentaje de uso de las barras %						
L1	L2	L3	L1	L2	L3				
23,0	20,0	20,9	7,8	6,8	7,1				
Porcentaje de uso del <i>breaker</i> %									
L1	L2	L3							
20,7	18,0	18,8							
Carga instantánea Amp.	Descripción	Fases	<i>Breaker</i> instalado	Conductor	Número de hilos por fase	Ampacidad por línea	Ampacidad total disponible por línea	% Uso del conductor	% Uso del <i>breaker</i>
4,4	ENCAMAMIENTO 1	3X	200	1/0	1	100	100	4,4	2,2
10,5	ENCAMAMIENTO 1	3X	200	1/0	1	100	100	10,5	5,3
4,8	ENCAMAMIENTO 1	3X	200	1/0	1	100	100	4,8	2,4
56,1	CENTRAL DE EQUIPOS	3X	125	1/0	1	100	100	56,1	44,9
59,9	CENTRAL DE EQUIPOS	3X	125	1/0	1	100	100	59,9	47,9
42,5	CENTRAL DE EQUIPOS	3X	125	1/0	1	100	100	42,5	34,0
16,8	FUERZA INTERMEDIOS	2X	150	2	1	95	95	17,7	11,2
16,9	FUERZA INTERMEDIOS	2X	150	2	1	95	95	17,8	11,3
0,4	TP2	3X	100	2	1	75	75	0,5	0,4
0,2	TP2	3X	100	2	1	75	75	0,3	0,2
1,2	TP2	3X	100	2	1	75	75	1,6	1,2
37,2	TERRAZA	3X	100	1/0	1	100	100	37,2	37,2
36,0	TERRAZA	3X	100	1/0	1	100	100	36,0	36,0
31,7	TERRAZA	3X	100	1/0	1	100	100	31,7	31,7

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Diagrama unifilar TP REGULADO CE



NOMENCLATURA	
	Conductor Linea Viva
	Conductor Neutral
	Conductor Tierra
	Breaker

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Tabla XVII. **Planilla de tablero secundario TP REGULADO CE**

PLANILLA DE TABLERO REGULADO TP REGULADO CE									
Nombre del tablero:		TP REGULADO CE			fecha:		11-jun-18		
Ubicación:		CUARTO ELÉCTRICO							
Marca del tablero:		EATON							
Voltaje de fase:		208 Volt							
Capacidad de barras:		400 Amp							
Capacidad del <i>breaker</i> :		250 Amp							
Alimentador principal:				Corrientes medidas:					
Calibre	Capacidad de corriente	Conductores por fase	Capacidad total	L1	L2	L3			
500	350	1	350	34,8	24,5	12,7			
Porcentaje de uso del alimentador principal %				Porcentaje de uso de las barras %					
L1	L2	L3							
9,9	7,0	3,6							
Porcentaje de uso del <i>breaker</i> %									
L1	L2	L3							
13,9	9,8	5,1							
Carga instantánea Amp.	Descripción	Fases	<i>Breaker</i> instalado	Conductor	Número de hilos por fase	Ampacidad por línea	Ampacidad total disponible por línea	% Uso del conductor	% Uso del <i>breaker</i>
28,3	TP REGULADO D1	3X	225	250	1	170	170	16,6	12,6
23,9	TP REGULADO D1	3X	225	250	1	170	170	14,1	10,6
13,0	TP REGULADO D1	3X	225	250	1	170	170	7,6	5,8
0,2	REGULADO INTENSIVO	3X	50	6	1	40	40	0,5	0,4
0,2	REGULADO INTENSIVO	3X	50	6	1	40	40	0,5	0,4
0,3	REGULADO INTENSIVO	3X	50	6	1	40	40	0,8	0,6

Fuente: elaboración propia.

### 2.8.2. Cálculo teórico de conductores y protecciones

En las siguientes secciones se calcularán los cables y protecciones de la acometida, planta eléctrica, tablero principal, tableros secundarios y tableros ramales utilizando las corrientes instantáneas tomadas durante el estudio.

También se realiza una comparación entre el cálculo efectuado de acuerdo al procedimiento y los cables y protecciones ahora instaladas.

Para diseñar una red eléctrica es necesario tener un orden predefinido a saber:

- Paso 1: cálculo de la carga a alimentar.

Para Identificar y cuantificar la carga que estará siendo alimentada por el circuito ramal, se debe conocer si la carga es continua o no continua, monofásico o trifásica, motor o alumbrado, tomacorrientes, aire acondicionado entre otros.

Hay que hacer notar que según el código NEC, una carga es continua si trabaja como mínimo tres horas ininterrumpidamente, si este fuera el caso, el valor de la corriente que consume la carga deberá ser multiplicado por un factor de corrección de 125 % pues con ello se evitará que los conductores se calienten y por ende falle el circuito, caso contrario será entonces una carga no continua y su valor de corrección será de 100 %.

- Paso 2: seleccionar el dispositivo de protección ya sea un *breaker* o un fusible.
- Paso 3: selección del conductor, utilizando el método de conducción y el método de caída de tensión.

En el caso del método de conducción, no hay que olvidar que la capacidad del conductor eléctrico se ve disminuida por los efectos de la temperatura, la cual se eleva por situaciones, tales como la temperatura del medio ambiente, número de conductores dentro de la tubería, por lo que hay que tomar en cuenta dichos factores.

En el caso del método de caída tensión el NEC pide que en los circuitos ramales no exista una caída de tensión máxima de 3 % y una caída máxima del 5 % desde la acometida hasta la carga que alimenta el circuito ramal

Ejemplo:

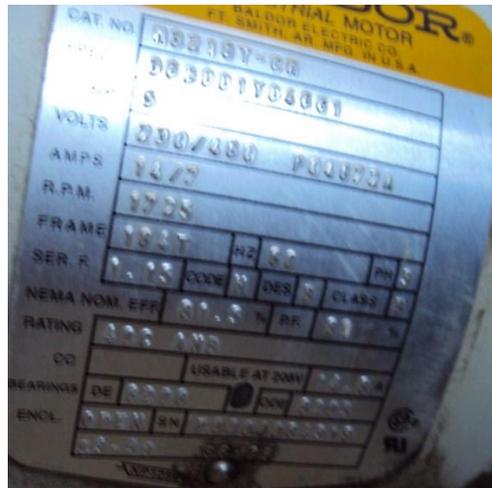
Se tiene instalado en el cuarto de máquinas un compresor de aire, tipo recíprocante, doble cabezal, con motores marca Baldor de 5HP, 230 voltios, trifásico, 1 800 rpm, factor de servicio de 1,15, los motores son activados alternativamente en cada ciclo de encendido apagado por un panel automático, el tipo de carga es no continuo, la distancia entre el panel de control y el compresor son 3 metros, temperatura ambiente 25 grados centígrados, tres conductores en tubería bx 1 de pulgada.

Figura 12. **Compresor instalado en cuarto de máquinas, Hospital UNOP**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Figura 13. **Placa de motor Baldor instalado en compresores**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

- Procedimiento
  - Paso 1: cálculo de la carga

Para calcular la carga se utiliza la tabla que relaciona los caballos de fuerza y el voltaje aplicado artículo 430 NEC 2017 tabla 430,250.

Para el caso que se ocupa se tiene 5HP, 208 voltios, factor de potencia 0,8.

Entonces la corriente de carga será de 16,7 amperios que debe ser multiplicado por 1,25 debido al factor de potencia de 0,8.

Entonces la corriente de diseño será:

$$I_{\text{carga}} = 1,25 \times 16,7 = 20,875 \text{ amperios}$$

Tabla XVIII. **Corriente a plena carga motores trifásicos NEC 430.250**

ARTÍCULO 430—MOTORES, CIRCUITOS DE MOTORES Y CONTROLADORES											430.245
<p><b>Tabla 430.250 Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna</b>                      Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas deben permitirse para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 1000 volts.</p>											
Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (Amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

\*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.1 y 1.25.

Fuente: NEC 2017.

- Paso 2: selección de la protección

Para seleccionar la protección se multiplica la I carga por un factor de corrección de 300 % para compensar la corriente de arranque del motor.

Entonces la corriente para selección de la protección será de

$$I = 3 \times I_{\text{carga}} = 3 \times 20\,875 = 62\,625 \text{ amperios.}$$

Utilizando la tabla XIX se puede encontrar el *breaker* adecuado, en el caso de motores se utilizará el inmediato inferior, pues ya fue incrementado su valor por el factor de ajuste, entonces se tendrá un CB de 60 Amperios.

Tabla XIX. **Corrientes normalizadas para *breaker* y fusibles**

**240-6. Corrientes nominales normalizadas.**

**(a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo.** Las capacidades de corriente nominal normalizadas de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 A. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con capacidades de corriente nominales no normalizadas. La capacidad de corriente nominal para fusibles se debe considerar 1, 3, 6, 10 y 601.

Fuente: NEC 2014.

- Paso 3: cálculo del conductor

De acuerdo al NEC se utiliza la tabla 310,15B, se tiene que para el conductor de cobre y una corriente de 20,875 se debe utilizar un cable 10 AWG con aislante THHW.

## Tabla XX. Conductores para cableado general

310.60

ARTICLE 310 — CONDUCTORS FOR GENERAL WIRING

Table 310.15(B)(16) (formerly Table 310.16) Allowable Ampacities of Insulated Conductors Rated Up to and Including 2000 Volts, 60°C Through 90°C (140°F Through 194°F), Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried), Based on Ambient Temperature of 30°C (86°F)\*

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).]						Size AWG or 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)	
			Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, TIRWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2				
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	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	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

\*Refer to 310.15(B)(2) for the ampacity correction factors where the ambient temperature is other than 30°C (86°F). Refer to 310.15(B)(3)(a) for more than three current-carrying conductors.

\*\*Refer to 240.4(D) for conductor overcurrent protection limitations.

Fuente: NEC 2017.

- Paso 4: caída de potencial

Para el cálculo de caída de potencial se utiliza la siguiente fórmula

$$\Delta V = \frac{F * K * D * I}{CM}$$

Donde:

$F$  = 2 para conductores monofásicos o 1 732 para conductores trifásicos

$K$  = constante de resistividad del material cobre 12,85 o aluminio 21

$D$  = distancia en pies

$I$  = corriente en amperios

$CM$  = circular mils,

$\Delta V$  = caída de voltaje máxima permitida 3 % para circuitos ramales

Entonces

$$CM = \frac{F * K * D * I}{\Delta V}$$

$$CM = \frac{1,732 * 12,85 * (3 * 3,28) * 20,875}{0,03 * 208}$$

$$CM = 732,635 \text{ circular mils}$$

Dicho valor corresponde a un calibre 20AWG según la tabla de las propiedades de los conductores.

Tabla XXI. Propiedades de los conductores

Tabla 8. Propiedades de los conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Área (Mils circulares)	Conductores				Resistencia de corriente continua a 75°C (167°F)			
		Trenzado		Total		Cobre		Aluminio	
		Cantidad	Diámetro (pulgadas)	Diámetro (pulgadas)	Área (pulgadas <sup>2</sup> )	No recubiertos (ohm/1000 pies)	Recubiertos (ohm/1000 pies)	(ohm/1000 pies)	
18	1620	1	—	0.040	0.001	7.77	8.08	12.8	
18	1620	7	0.015	0.046	0.002	7.95	8.45	13.1	
16	2580	1	—	0.051	0.002	4.89	5.08	8.05	
16	2580	7	0.019	0.058	0.003	4.99	5.29	8.21	
14	4110	1	—	0.064	0.003	3.07	3.19	5.06	
14	4110	7	0.024	0.073	0.004	3.14	3.26	5.17	
12	6530	1	—	0.081	0.005	1.93	2.01	3.18	
12	6530	7	0.030	0.092	0.006	1.98	2.05	3.25	
10	10380	1	—	0.102	0.008	1.21	1.26	2.00	
10	10380	7	0.038	0.116	0.011	1.24	1.29	2.04	
8	16510	1	—	0.128	0.013	0.764	0.786	1.26	
8	16510	7	0.049	0.146	0.017	0.778	0.809	1.28	
6	26240	7	0.061	0.184	0.027	0.491	0.510	0.808	
4	41740	7	0.077	0.232	0.042	0.308	0.321	0.508	
3	52620	7	0.087	0.260	0.053	0.245	0.254	0.403	
2	66360	7	0.097	0.292	0.067	0.194	0.201	0.319	
1	83690	19	0.066	0.332	0.087	0.154	0.160	0.253	
1/0	105600	19	0.074	0.372	0.109	0.122	0.127	0.201	
2/0	133100	19	0.084	0.418	0.137	0.0967	0.101	0.159	
3/0	167800	19	0.094	0.470	0.173	0.0766	0.0797	0.126	
4/0	211600	19	0.106	0.528	0.219	0.0608	0.0626	0.100	
250	—	37	0.082	0.575	0.260	0.0515	0.0535	0.0847	
300	—	37	0.090	0.630	0.312	0.0429	0.0446	0.0707	
350	—	37	0.097	0.681	0.364	0.0367	0.0382	0.0605	
400	—	37	0.104	0.728	0.416	0.0321	0.0331	0.0529	
500	—	37	0.116	0.813	0.519	0.0258	0.0265	0.0424	
600	—	61	0.099	0.893	0.626	0.0214	0.0223	0.0353	
700	—	61	0.107	0.964	0.730	0.0184	0.0189	0.0303	
750	—	61	0.111	0.998	0.782	0.0171	0.0176	0.0282	
800	—	61	0.114	1.030	0.834	0.0161	0.0166	0.0265	
900	—	61	0.122	1.094	0.940	0.0143	0.0147	0.0235	
1000	—	61	0.128	1.152	1.042	0.0129	0.0132	0.0212	
1250	—	91	0.117	1.289	1.305	0.0103	0.0106	0.0169	
1500	—	91	0.128	1.412	1.566	0.00858	0.00883	0.0141	
1750	—	127	0.117	1.526	1.829	0.00735	0.00756	0.0121	
2000	—	127	0.126	1.632	2.092	0.00643	0.00662	0.0106	

Fuente: National Electric Code. 2014.

Para escoger el cable adecuado calculado por el método de conducción y el método de caída de potencial, se utiliza el que sea de mayor calibre en este caso se utilizar un calibre 10 con aislamiento THNN.

Tabla XXII. **Breakers y conductores calculados acometida eléctrica**

descripcion	fases	carga instantanea en Amp	carga de diseño	Breaker instalado	breaker calculado	numero de hilos instalados por fase	calibre instalado XHWW-2	Calculo método de conducción		Calculo caída de potencial	
								numero de hilos por fase	calibre calculado aluminio XHWW-2	distancia en metros	calibre calculado
Acometida eléctrica	3X	450	562.5	1200	600	3	500	2	500	60	2x500

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Servicio de Distribución.*

Tabla XXIII. **Breakers y conductores calculados planta eléctrica**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado AMP	Breaker calculado AMP	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAIDA DE POTENCIAL	
								Número de hilos por fase	Calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia en metros	Calibre calculado
Planta eléctrica	3x	521	599	630	600	1	500	2	500	5	2x500

Fuente: elaboración propia.

Advertencia: en el caso de la planta eléctrica, usando un factor de 1,15 para la corrección de la corriente de placa según artículo NEC2017 445,13, se tiene que el cable de la acometida no es capaz de manejar la carga por lo que es urgente rediseñar dicha acometida instalando un hilo más por línea de cable de aluminio 500 mcm aislamiento XHHW-2.

Tabla XXIV. **Breakers y conductores calculados tablero TPP-CE**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado	Breaker calculado	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO DE POTENCIAL	
								Número de hilos por fase	Calibre calculado aluminio XHHW	Distancia en metros	Calibre calculado
A/C SÓTANO	3x	46,2	57,8	125	60	1	2/0	1	2	9	10
A/C TERRAZA	3X	13,2	16,5	125	20	1	4	1	10	12	14
INTENSIVO	3X	12,5	15,6	150	20	1	2/0	1	10	15	12
AISLAMIENTO	3X	3,4	4,2	100	15	1	1/0	1	10	15	20
TP S3 CE	3X	22,7	28,3	250	30	2	250	2	8	4	16
BY PASS	3X	34,8	43,5	250	50	1	500	1	4	3	16
TP S2 LOBBY D2	3X	61,7	77,2	400	80	2	250	2	1/0	17	6
TP S1 D1	3X	117,6	147,0	400	150	2	250	2	4/0	11	4
TP S4 CE	3X	62,0	77,5	300	80	2	1/0	2	1/0	4	12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Breakers y conductores calculados tablero TPS1 D1**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado AMP	Breaker calculado AMP	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAIDA DE POTENCIAL	
								Numero de hilos por fase	calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia	Calibre calculado
BOMBAS	3x	10,0	12,5	100	15	1	1/0	1	12	25	10
TXR	3X	18,8	23,5	150	20	1	250	1	10	2	18
T1 1ER NIVEL D1	3X	24,1	30,2	100	30	1	2/0	1	10	3	14
ELEVADOR CAMILLERO	3X	21,9	27,4	100	30	1	6	1	10	15	8
COCINA	3X	15,2	19,0	70	20	1	2	2	10	20	8
T. SOTANO	3X	46,1	57,6	125	50	1	2/0	1	6	3	12
T. 3ER NIVEL D1	3X	23,7	29,6	100	30	1	2/0	2	10	8	10
T. 2DO NIVEL D2	3X	5	6,3	70	15	1	2	2	12	5	16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Breakers y conductores calculados tablero TPS2 LOBBY-D2**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado AMP	Breaker calculado AMP	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAÍDA DE POTENCIAL	
								Número de hilos por fase	Calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia	Calibre calculado
ELEVADOR	3x	22,9	28,6	70	30	1	6	1	10	12	10
P. DE TRATAMIENTO	3X	0,4	0,5	125	15	1	6	1	12	25	18
T. HOSPITAL DE DÍA	3X	4,6	5,8	70	15	1	2	1	12	15	10
T. CONSULTA EXTERNA	3X	11,4	14,3	125	15	1	1/0	1	12	3	14
A/C HOSPITAL DE DÍA	3X	0,3	0,4	70	15	1	6	2	12	15	18
T. LOBBY	3X	6,3	7,9	60	15	1	4	1	12	1	18

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Breaker y conductores calculados tablero TPS3-CE**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado AMP	Breaker calculado AMP	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAIDA DE POTENCIAL	
								Número de hilos por fase	Calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia	Calibre calculado
ÁREA DE TALLER	3X	11	13,75	125	15	1	2	1	12	7	16
ILUMINACIÓN INTERMEDIOS	3X	5,5	6,9	100	15	1	2	1	12	15	16
CUARTO DE MÁQUINAS	3X	13,5	16,9	100	20	1	2	1	12	5	16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Breakers y conductores calculados tablero TPS4-CE**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado	Breaker calculado	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAIDA DE POTENCIAL	
								Número de hilos por fase	Calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia	Calibre calculado
ENCAMAMIENTO	3x	10,5	13,2	200	15	1	1/0	1	12	10	14
CENTRAL DE EQUIPOS	3X	56,1	70,2	125	100	1	1/0	1	4	8	8
FUERZA INTERMEDIOS	2X	18,9	23,6	150	30	1	2	1	10	12	10
T. P2	3X	0,4	0,5	100	20	1	2	1	12	3	20
TERRAZA	3X	38,0	47,5	100	40	1	1/0	2	6	12	1/0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Breaker y conductores calculados tablero TP REGULADO CE**

Descripción	Fases	Carga instantánea en amperios	Carga de diseño	Breaker instalado AMP	Breaker calculado AMP	Número de hilos instalados por fase	Calibre instalado XHWW2	CÁLCULO MÉTODO DE CONDUCCIÓN		CÁLCULO CAIDA DE POTENCIAL	
								Numero de hilos por fase	calibre calculado aluminio XHWW2	Distancia	Calibre calculado
TP REGULADO D1	3X	24,0	30,0	225	15	30	250	1	10	12	10
REGULADO INTENSIVO	3X	0,3	0,4	50	20	20	6	1	12	8	18

Fuente: elaboración propia.

## 2.9. Evaluación del sistema de Iluminación

Una de las aplicaciones de la energía eléctrica es la iluminación, estadísticas muestran que aproximadamente el 30 % del consumo eléctrico de una institución hospitalaria lo constituye este tipo de carga.

Si la iluminación no cumple con los niveles necesarios para el tipo de ocupación que se realiza en un espacio dado, se pueden presentar en el personal y pacientes problemas de salud que pueden incluir, dolor e inflamación de los ojos, fatiga visual, lagrimeo, dolores de cabeza, fatiga general, efectos anímicos.

Para realizar el diseño de un sistema de iluminación se debe conocer los siguientes conceptos:

- Flujo Luminoso: se define como la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, su símbolo es  $\Phi$  y su unidad es el lumen
- Iluminancia: es la cantidad de flujo luminoso que recibe una superficie, su símbolo es E y su unidad es el Lux.

Entonces

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Dentro de los establecimientos sanitarios se distinguen grupos dependiendo de le nivel de percepción o iluminación que se precisa para realizar la tarea específica; a continuación se muestra la tabla XXX de valores

de recomendados por la Norma UNE 12464.1 para iluminación de interiores de establecimientos sanitarios.

Tabla XXX. **Valores recomendados de iluminancia**

	tarea o actividad	Em. Lux	Ra	observaciones
salas para uso general	oficina de personal	500	80	todas las iluminancias a nivel de piso
	sala de espera	200	80	
	pasillos durante la noche	50	80	
	sala de personal	300	80	
sala de guardia y maternidad	alumbrado de lectura	300	80	
	alumbrado general	100	80	
	exámenes simples	300	80	
	examen y tratamiento	100	90	
	cuarto de baños y servicio	200	80	
salas de examen	alumbrado general	500	90	
	examen y tratamiento	1 000	90	
Unidad de cuidados intensivos	alumbrado general	100	90	nivel de piso
	exámenes simples	300	90	nivel de piso
	examen y tratamiento	1 000	90	nivel de cama
	vigilancia nocturna	20	90	nivel de piso
laboratorios y farmacias	alumbrado general	500	80	Tpc>6000K
	inspección de colores	1 000	90	

Fuente: Norma UNE 12464.1.

Existen varios métodos para el diseño de la iluminación, aquí se utiliza el método de lumen aplicado a la iluminación interior de una clínica de medicina integral.

- Ejemplo

Se tiene la clínica de medicina integral 1, ubicada en el área de consulta externa sus medidas son 2,50 metros x 4 metros con una altura de 2,60 metros. El cielo es falso color blanco, paredes color verde muy claro y piso color verde mediano. Días laborales: 6 horas de trabajo diarias: 8 horas de trabajo a la semana: 48 horas de trabajo mensuales: 192 horas anuales: 2 776 .

Figura 14. **Clínica integral 1**



Fuente: elaboración propia.

Para el diseño de la iluminación de este ambiente, se utilizara el método de lumen, datos disponibles

- Tipo de local:

Clínica de medicina integral

Plano de trabajo: 0,90 metros

- Datos del local:

- Ancho: 2,50 Metros
- Largo: 4,00 Metros
- Altura de cielo a piso: 2,60 metros
- Color de cielo falso: blanco
- Índice de reflexión de cielo : 0,9
- Color de paredes: verde muy claro
- Índice de reflexión de paredes: 0,7
- Color de piso: verde mediano
- Indicie de reflexión de piso: 0,54

- Ambiente:

- El ambiente es limpio, sin polvo, no hay humedad
- Factor de mantenimiento: 0,7

- Nivel de iluminación:

- Recomendado de acuerdo a tabla E= 500 Lux

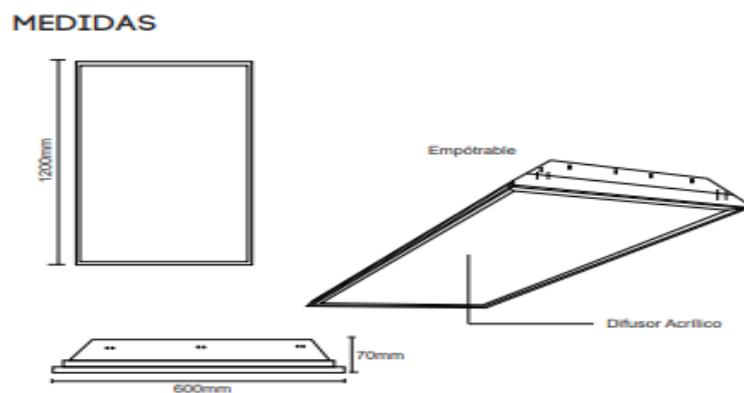
- La luminaria:
  - La luminaria seleccionada debe ser empotrada en el cielo falso. Se decide instalar en este ejemplo, la luminaria prismática 2 x 4 que tiene las siguientes características técnicas:

Tabla XXXI. **Características de la luminaria prismática 2x4**

Lámpara	Tubos led de 1 200 mm
Número máximo de tubos	Tres
Colocación	Empotrable
Material	Aluminio
Difusor	Acrílico
Uso	Oficinas, áreas comerciales, entre otros

Fuente: *Características de la luminaria prismática 2x4*. [www.light-tec.com.gt](http://www.light-tec.com.gt). Consulta: febrero de 2019.

Figura 15. **Luminaria prismática 2x4 para tubos led.**



Fuente: *Luminaria prismática 2x4 para tubos led*. [www.light-tec.com.gt](http://www.light-tec.com.gt). Consulta: febrero de 2019.

- Lámparas

Las lámparas seleccionadas son tubos led de 18 watts de potencia tipo *frost*, sus características son las siguientes:

Tabla XXXII. **Tubos led *frost* de 18 Watts**

Voltaje	85-125 V
Potencia	18 Watt
Ángulo de apertura	180°
Eficiencia	100
Flujo luminoso	2 000
Color	Luz blanca 6 000 K
Factor de potencia	>0,95
Grado de protección	IP40
Base	G13
Índice de reproducción cromática CRI	≥ 80
vida	50 000 horas

Fuente: *Tubos led frost de 18 watts*. [www.light-com.gt](http://www.light-com.gt). Consulta: febrero de 2019.

Figura 16. **Tubos led para luminaria prismática.**



Fuente: *Tubos led para luminaria prismática.* [www.light-tec.com.gt](http://www.light-tec.com.gt). Consulta: febrero de 2019.

- Índice de local

Con los datos disponibles se obtiene el índice de local que dado por la siguiente ecuación:

$$k = \frac{A * B}{h(A + B)}$$

Donde:

k = índice de local

A= ancho del local

B= largo del local

h= altura de donde están colocadas las luminarias al plano de trabajo

Entonces

$$h = H_{lum.} - H_{pt}$$

sustituyendo valores

$$h = 2,60 - 0,90$$

$$h = 1,70 \text{ metros}$$

Ahora el índice de local está dado por

$$k = \frac{2,50 * 4,00}{1,70(2,50 + 4,00)}$$

$$k = \frac{10,00}{11,05}$$

$$k = 0,90$$

- Coeficiente de utilización CU

Para una reflexión de techo de 0,9, una reflexión de paredes de 0,7 y un índice de local de 0,90 se tiene

$$CU = 0,8 - \left( \frac{1 - 0,9}{1 - 0,8} \right) * (0,8 - 0,82)$$

$$CU = 0,8 - \left( \frac{0,1}{0,2} \right) * (-0,02)$$

$$CU = 0,8 - (0,5) * (-0,02)$$

$$CU = 0,80 + 0,01$$

$$CU = 0,81$$

- Cálculo del número de luminarias

Se sabe que la iluminancia está relacionada con el flujo luminoso por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Phi_t}{S} Fm * CU \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E = es la luminosidad en lux

$\Phi_t$  = es el flujo luminoso total en lumen

S = es la superficie que se desea iluminar en metros cuadrados

Fm = es el factor de mantenimiento adimensional

CU = es el coeficiente de utilización adimensional

Se sabe que

$$S = A * B \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

A = ancho del local

B = largo del local

También se tiene la ecuación que relaciona el flujo luminoso total con el número de luminarias.

$$\Phi_t = N * n * \Phi_{lamp} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

N = es el número de luminarias

n = es el número de lámparas por luminaria

$\Phi_{lamp}$  = es el flujo luminoso por lámpara

Sustituyendo las ecuaciones 2 y 3 en la ecuación 1 se tiene

$$E = \frac{N * n * \Phi_{lamp}}{A * B} * Fm * CU$$

Entonces

$$N = \frac{E * A * B}{n * \Phi_{lamp} * Fm * CU}$$

Sustituyendo valores en esta ecuación se tiene

$$N = \frac{500 * 2,50 * 4,00}{3 * 2\ 000 * 0,7 * 0,81}$$

$$N = \frac{5\ 000}{3\ 402}$$

$$N = 1,467 \text{ luminarias}$$

En este caso se aproxima a dos luminarias y se comprueba los cálculos con la siguiente ecuación.

$$E = \frac{N * n * \Phi_{lamp}}{A * B} * Fm * CU$$

$$E = \frac{2 * 3 * 2\,000}{2,50 * 4,00} * 0,70 * 0,81$$

$$E = \frac{6\,804}{10}$$

$$E = 680,4 \text{ Luxes}$$

De donde se comprueba que es mayor que los 500 luxes de diseño por lo tanto el diseño es adecuado.

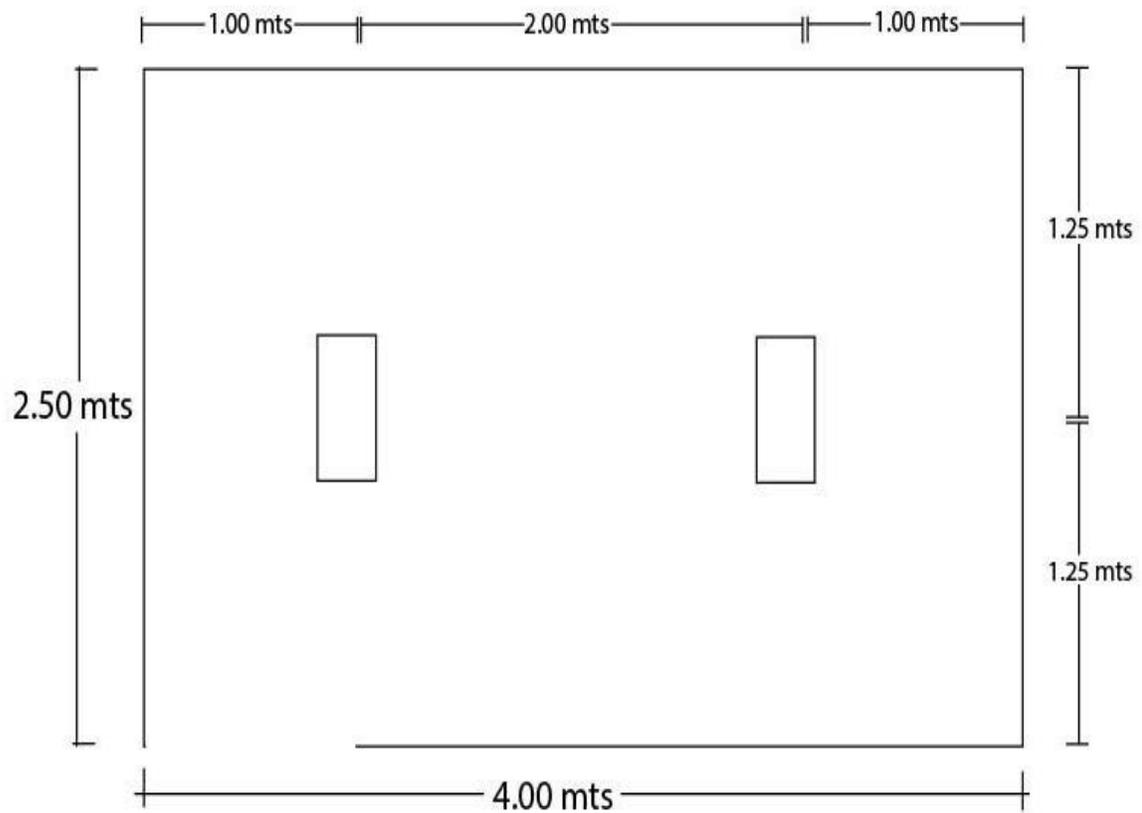
Tabla XXXIII. **Cuadro de cálculos para iluminación clínica integral 1**

Clínica integral 1	Largo mts	Ancho mts	Área metros cuadrados	Altura h metros	Índice local k	Factor de utilización CU	Tipo de iluminación	Vida Horas
		A	B	AXB	metros	k	CU	Tipo
	2,5	4,0	10,0	1,7	0,9	0,81	LED	50 000
	Nivel de iluminación	Factor de mantenimiento	Flujo total luminoso	Flujo luminoso por lámpara	Número de lámpara	Potencia	Temperatura	Observaciones
	Lux	Fm	Φ	Φ	Número	Watt	Color	
	680,4	0,7	6 804	2 000	6	108	Luz blanca 6 000 K	

Fuente: elaboración propia.

En la figura 17, se muestra la ubicación de las luminarias dentro de la clínica de medicina integral.

Figura 17. **Ubicación de luminarias**



Fuente: elaboración propia.

### 2.9.1. **Observaciones generales del sistema de iluminación**

- Existen zonas donde la iluminación natural de día es muy buena.
- Existen zonas donde es necesaria iluminación artificial las 24 horas del día.

Tabla XXXIV. **Datos medidos del sistema de iluminación**

Localizacion	medidos	recomendados
corredor	75	50-200
farmacoterapia	340	300-400
nuticion parenteral	490	400-600
soluciones	395	400-600
laboratorio clinico	608	400-600
microbiologia	583	400-600
Pre Analitico	336	400-600
Hematologia	550	400-600
salon de usos multiples	456	300-600
gradas	75	50-200
corredor nivel 1	85	50-200
corredor intermedios	70	50-200
corredor intensivo	80	50-200
enfermerias	180	300-600
medicamentos	150	300-600
oficinas administrativas	203	300-600
comedor tercer nivel	220	50-200
cuarto electrico	100	50-200
admision	65	50-200
corredor consulta externa	53	50-200
emergencia	306	400- 600
sanitarios	400	50-200
parqueo	25	50-200
luz de guardia medica	30	50-200
cuarto de maquinas	250	300-600
lobby	75	50-200
consulta externa	250	300-600
hospital de dia	290	300-600

Fuente: elaboración propia.

- El mantenimiento de las lámparas y luminarias es bueno, no encontrándose una sola lámpara quemada o faltante. La limpieza de las pantallas de las luminarias es excelente.
- Las luminarias están empotradas en cielo falso de color blanco, paredes y pisos son también de color muy claro, todos perfectamente limpios.
- la iluminación del hospital fue reacondicionada hace apenas dos años lo que fue realizado en varias etapas y por medio de una donación específica para el efecto y ejecutado por una empresa experta en el ramo.

### 3. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA RED ELÉCTRICA INTERNA DEL HOSPITAL DE LA UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA

Para calificar la calidad de la energía es necesario conocer los siguientes parámetros, según sea distribuidor o usuario final:

Tabla XXXV. **Índices de calidad de la energía para distribuidor o usuario final**

Índice	Distribuidor	Usuario final
Regulación de voltaje	✓	x
Desbalance de voltaje	✓	x
Distorsión armónica total de tensión	✓	x
Distorsión armónica total de corriente	x	✓
<i>Flicker</i>	✓	✓
Factor de potencia	x	✓

Fuente: elaboración propia.

#### 3.1. Equipos utilizados para las mediciones

Para la evaluación de la red de eléctrica interna del Hospital de la Unidad Oncología Pediátrica, se usaron distintos equipos que a continuación se

detallan para después utilizar los datos así obtenidos y realizar las comparaciones de parámetros.

### 3.1.1. Analizadores de redes

Se utilizaron dos analizadores de redes, ambos clase A.

Tabla XXXVI. **Características del analizador marca UNIPOWER modelo 902**

Analizador de redes	
Marca	Unipower
Modelo	Unilyzer 902
Clase	IEC 61000-4-30, clase A
Norma para voltajes	UNE EN 50160
Norma para armónicos	IEC 61000-4-7
Norma para <i>flicker</i>	IEC61000-4-15

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Analizador Unipower modelo Unilyzer 902**



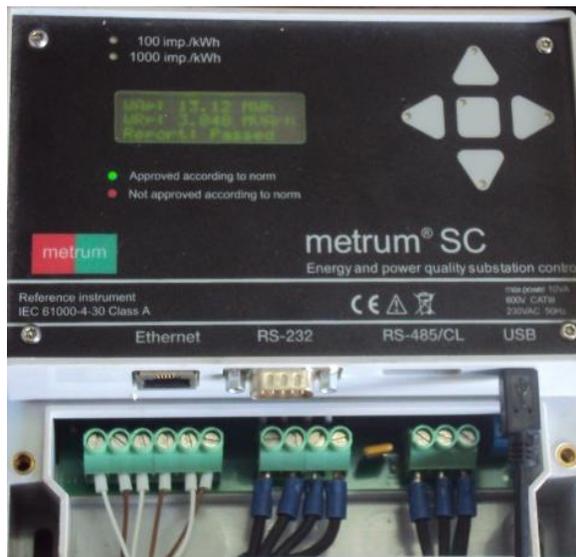
Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Unipower*,

Tabla XXXVII. **Características del analizador Metrum**

Analizador de redes	
Marca	Metrum
Modelo	SC
Clase	IEC 61000-4-30, clase A
Norma para voltajes	UNE EN 50160
Norma para armónicos	IEC 61 000-4-7
Norma para <i>flicker</i>	IEC61 000-4-15

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Analizador marca Metrum modelo SC**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. Metrum,.

### 3.1.2. Cámara termográfica

Para la medición de la temperatura en tableros, cables, motores, paneles de control de la red eléctrica, se utilizó una cámara marca fluke modelo VT04

Figura 20. **Cámara termográfica marca Fluke modelo VT04**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Fluke*.

### 3.1.3. Medidor de luminosidad

Para la medición de la luminosidad se utilizó un luxómetro modelo HER-410

Figura 21. **Medidor de luminosidad**



Fuente Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Metrum*.

### 3.1.4. Voltímetro / amperímetro

Se utilizó un voltímetro / amperímetro marca Fluke 376 de bobina flexible, calibrado para dar el valor verdadero rms de voltaje.

Figura 22. Voltímetro marca Fluke



Fuente Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Voltímetro.*

### 3.1.5. Medidor de resistencias de tierra

Para obtener las medidas de los polos de tierra y la resistividad del terreno se utilizó un instrumento tipo telurómetro marca AEMC, modelo 4620.

Figura 23. Telurómetro marca AEMC



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Telurómetro.*

### 3.2. Toma de mediciones, datos obtenidos y su análisis

En el tablero general de baja tensión, se instaló el medidor clase A marca Unipower, para realizar la evaluación técnica de calidad de la energía, así también se puede evaluar el tablero principal TPP CE y de la planta eléctrica de emergencia del hospital, debido a que en la instalación solo existe un tablero de transferencia, hacia el cual se alimenta tanto la energía proveniente de la red eléctrica normal como la de la planta de emergencia.

Tabla XXXVIII. **Datos el estudio de calidad de la energía**

Equipo utilizado	Analizador de redes Unipower modelo Unilyzer 902, clase A
Lugar de instalación	Tablero general de baja tensión
Tiempo de medición	7 días
Inicio de la medición	13 de octubre de 2017
Hora de inicio	16:20 horas
Finalización de la medición	21 de octubre de 2017
Hora de finalización	08:20

Fuente: elaboración propia.

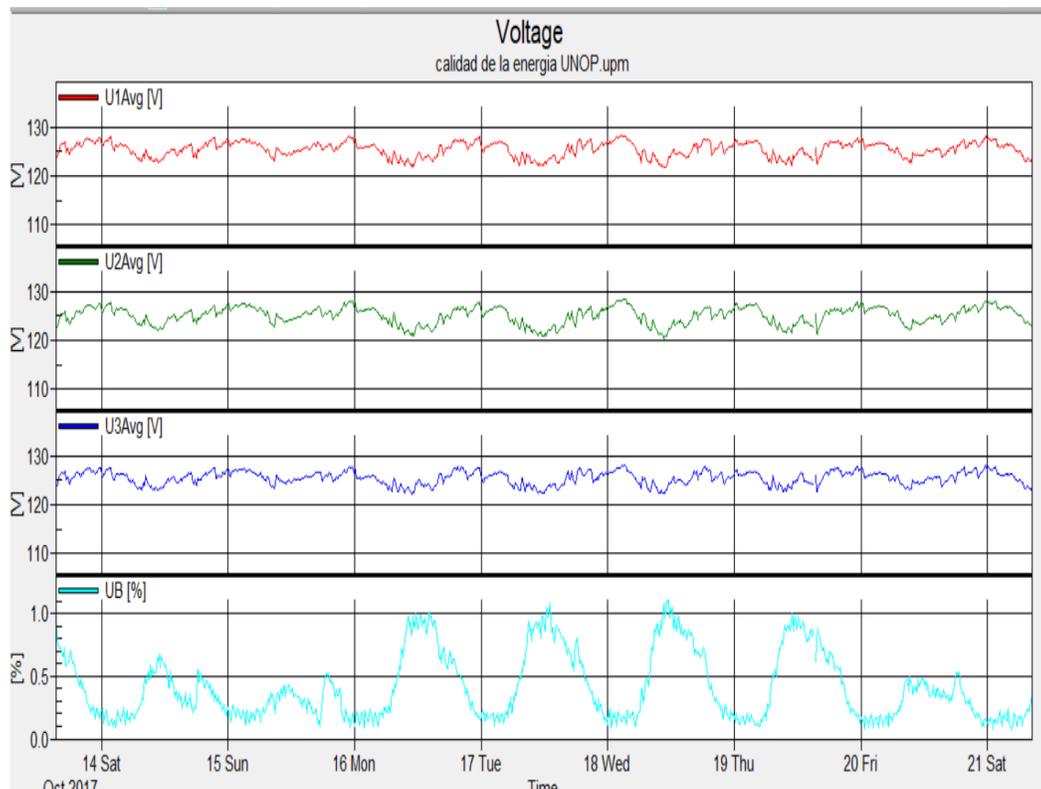
#### 3.2.1. Evaluación de la calidad de la energía

Para realizar el estudio de calidad de la energía se aplicarán los artículos correspondientes descritos en el capítulo 1 de este trabajo, bajo el subtítulo fenómenos y perturbaciones eléctricas relacionadas con la calidad de la energía y la forma de onda.

### 3.2.2. Voltaje

En la figura 24, se aprecia que el valor medio del voltaje está en aproximadamente 125V, siendo el máximo alcanzado 128 V y mínimo 122V, siendo los mismos valores en cada una de las líneas del sistema trifásico, también se observa en la figura 24, que el desbalance de voltaje a lo largo del periodo de medición no sobrepasa el 1,2 %.

Figura 24. Gráfica de voltaje y desbalance de voltaje

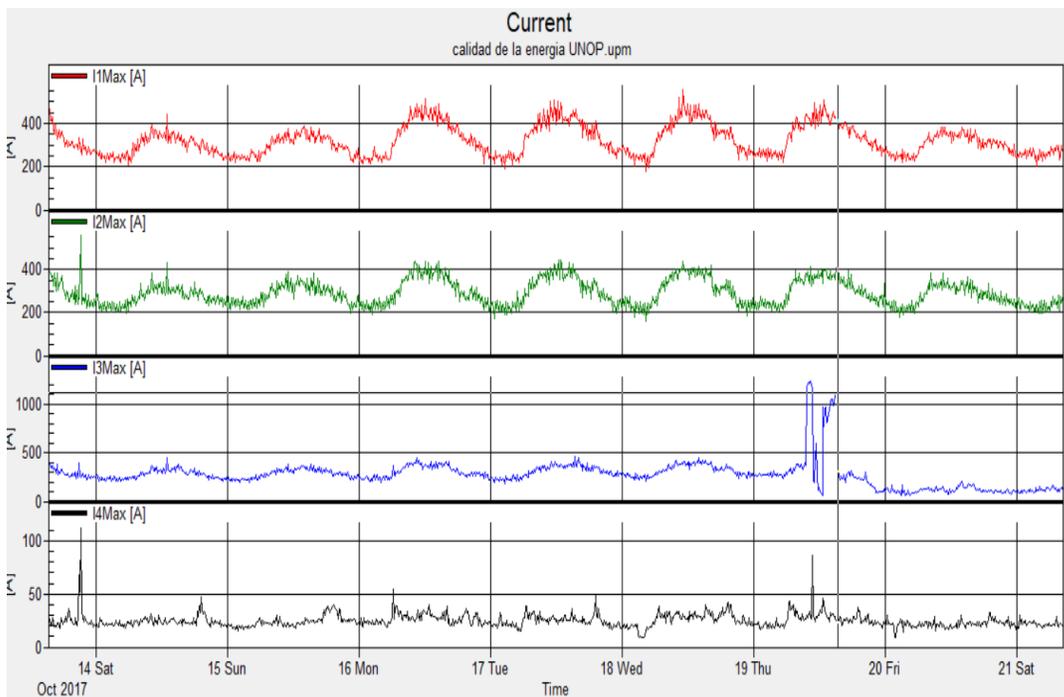


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.3. Corriente

- Los días hábiles entre 10 am y 3pm, son las horas de mayor consumo, el desbalance entre las líneas es del orden de 18 % debido al desbalance de carga monofásica conectada en cada una de las fases. Este desbalance es producido por el equipo con el cual se hacen los procedimientos médicos a los pacientes.
- En horas de la noche, no existe un desbalance de corriente significativo pues está en el orden del 2 %

Figura 25. Gráfica de corriente

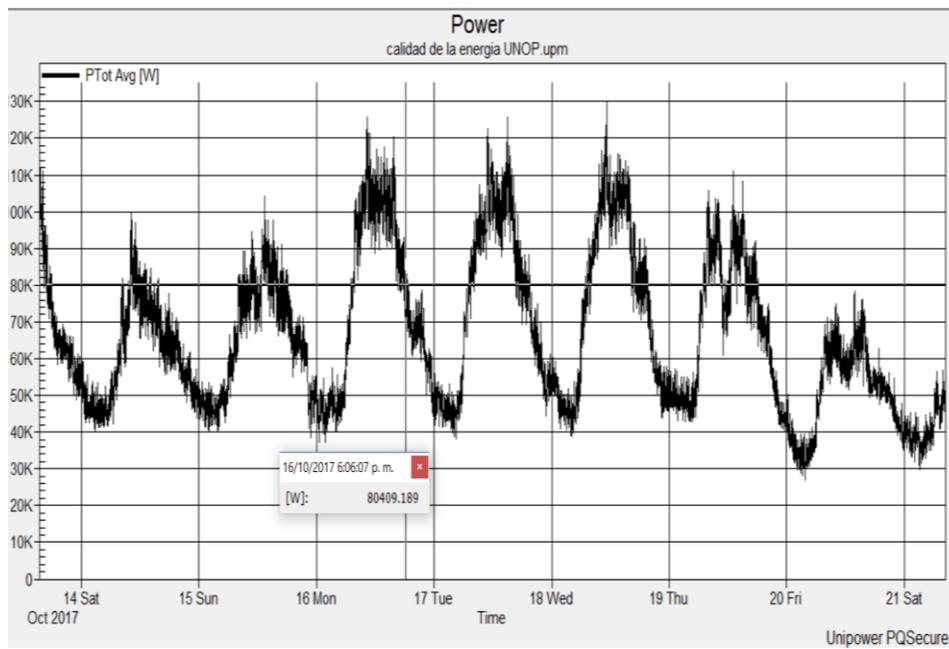


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.4. Potencia

Cerca de las 18:00 pm se tiene una demanda de 80kW, este valor es importante pues es la demanda máxima con participación en el periodo pico. También se observa que los días hábiles, la carga sobrepasa los 100kW.

Figura 26. Gráfica de potencia

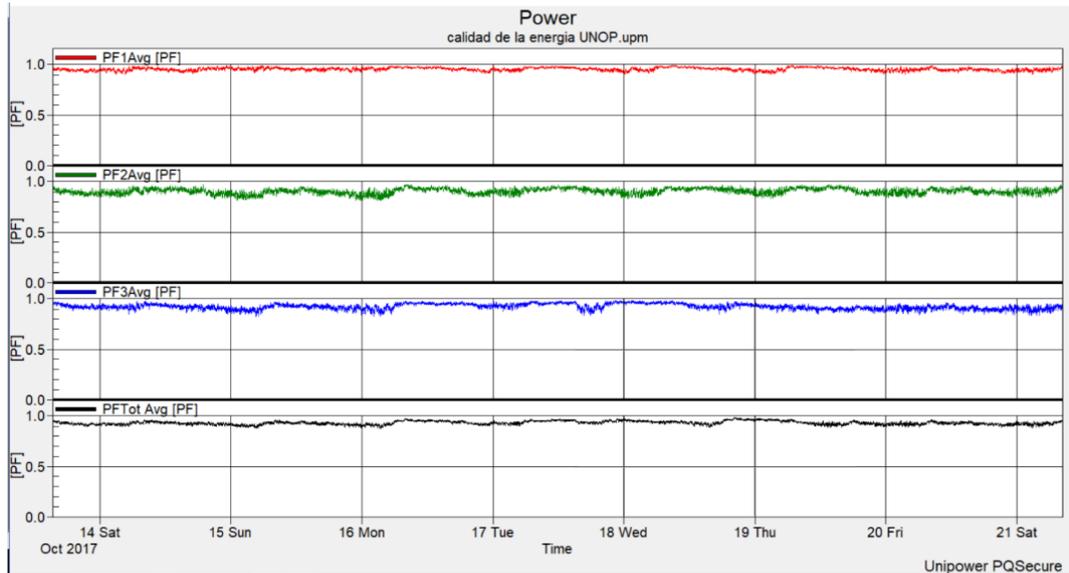


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.5. Factor de potencia

En esta gráfica se observa el factor de potencia en cada una de las líneas y el factor de potencia total del sistema trifásico del hospital, que está alrededor del 0,95.

Figura 27. Gráfica de factor de potencia



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

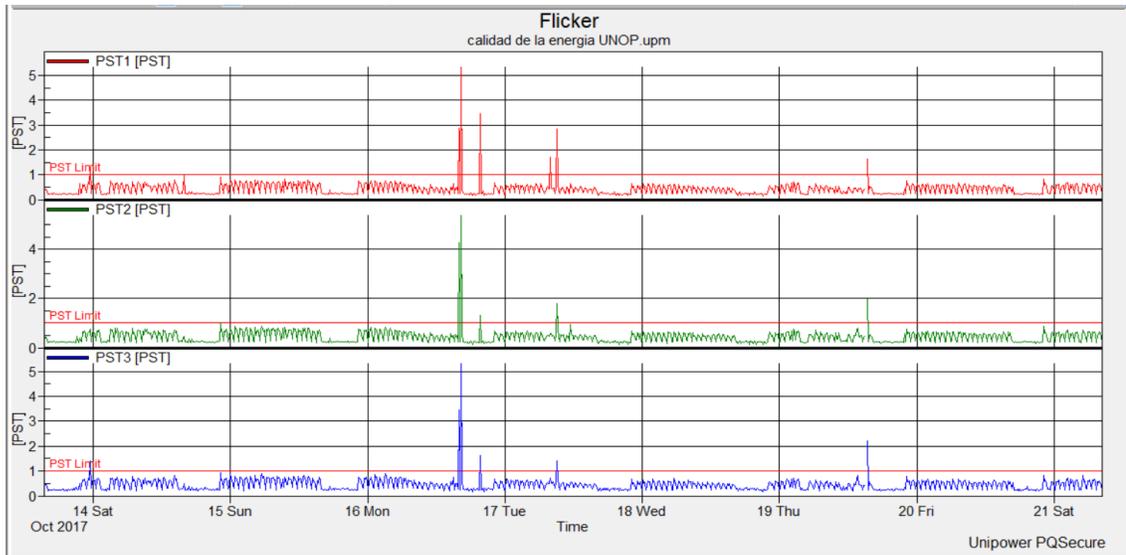
### 3.2.6. Flicker

Según las Normas NTSD el valor del índice de *flicker* de corta duración PST, debe ser  $\leq 1$ , durante el 5 % del total de tiempo de la medición.

De acuerdo a la gráficas de Pst y Plt, existe *Flicker* en algunos periodos en los que se realizó el estudio pues sobrepasa el 1 %.

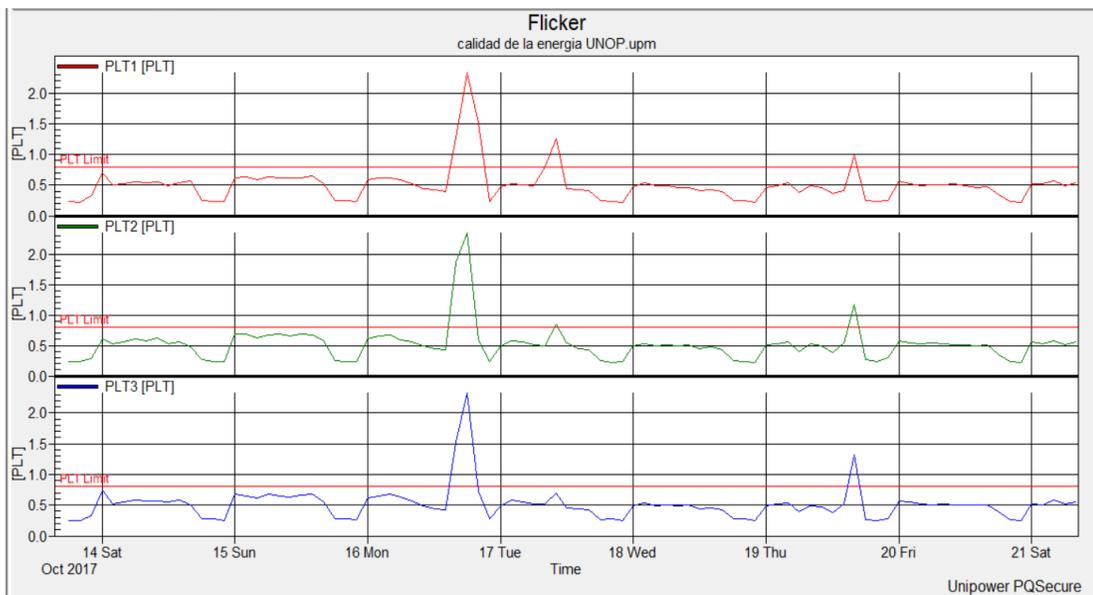
En la gráfica de voltajes mínimos se observa que en los máximos del *Flicker*, coincide cuando se presentaron eventos que hicieron que descendiera el voltaje más del 10 % de su valor nominal. En la figura 28 de Pst, en función del tiempo se observa que los parpadeos se produjeron por un período menor al 1 % del periodo total del estudio.

Figura 28. Gráfica de *Flicker* de corta duración PST



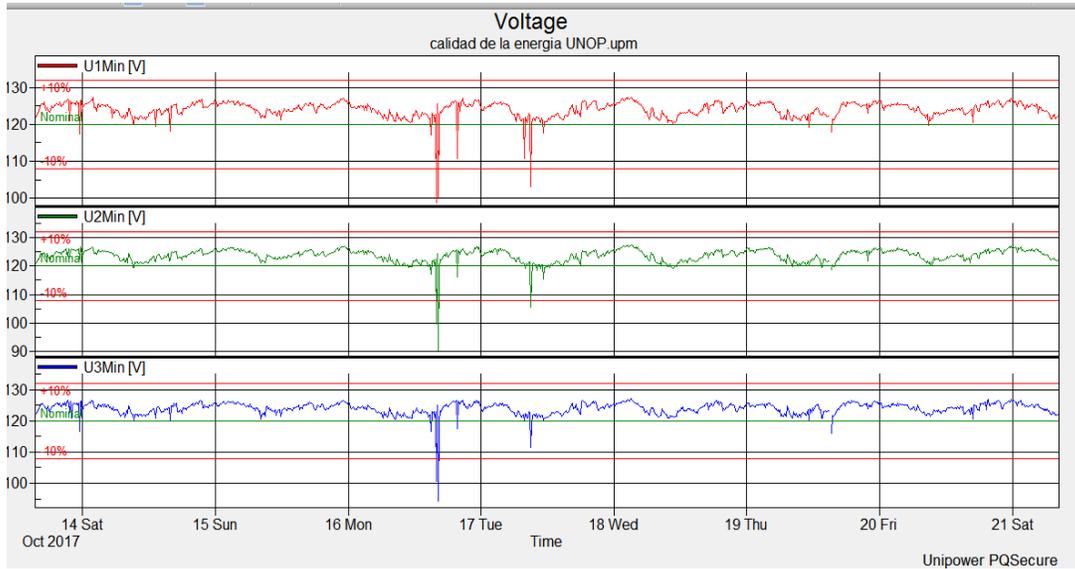
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Figura 29. Gráfica de *flicker* de larga duración PLT



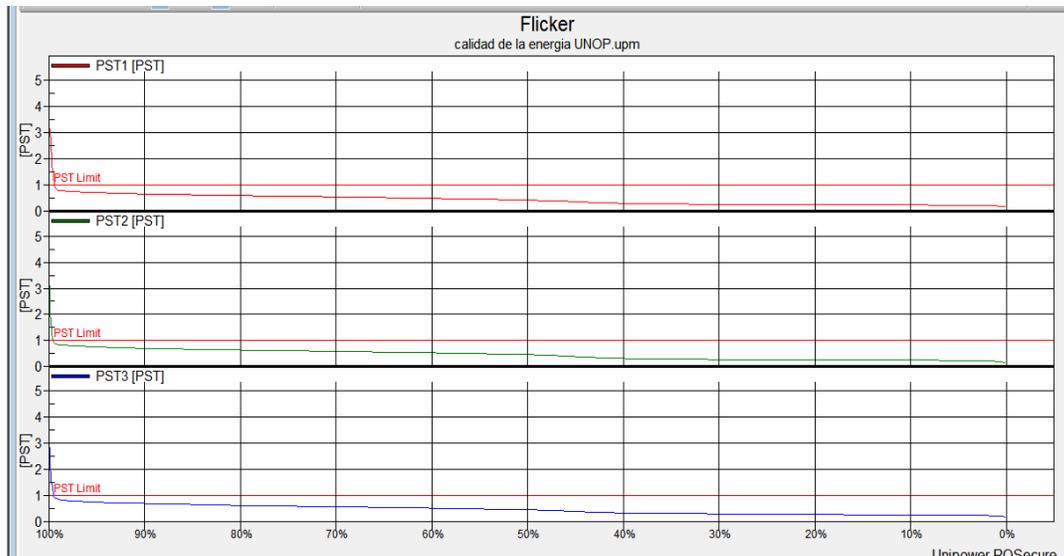
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Figura 30. Gráfica de voltajes mínimos



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Figura 31. Gráfica de flicker Pst en porcentaje de tiempo del estudio



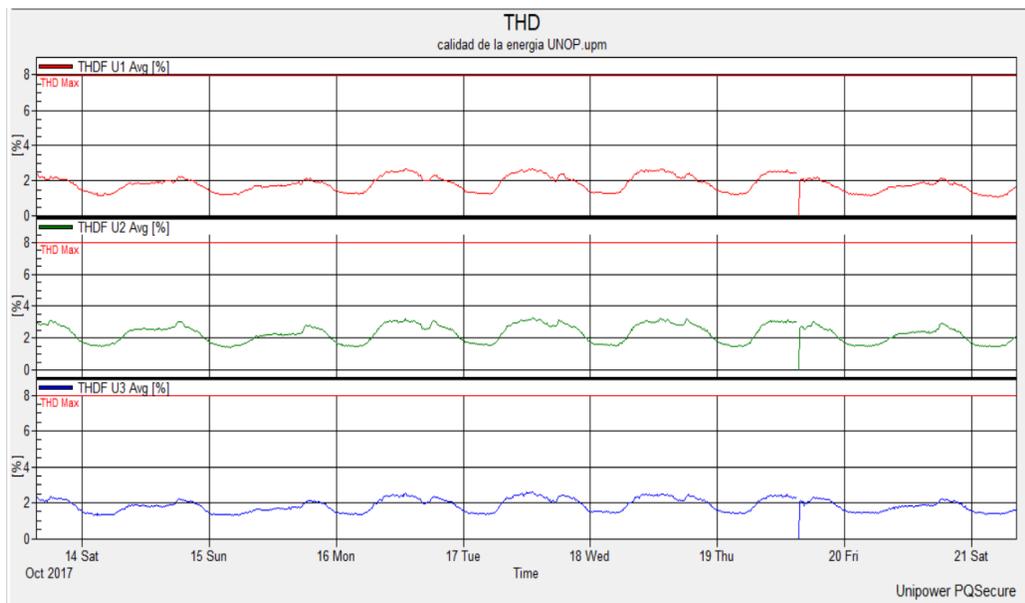
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.7. Distorsión total de voltaje

De acuerdo a la Norma NTSD el valor de la distorsión total de voltaje debe estar como máximo en 8 % para sistemas eléctricos en baja tensión. Según Norma Internacional IEEE Std 519-2014, para instalaciones especiales, en este caso un hospital, el porcentaje máximo debe ser 3 %. Según este estándar dentro de instalaciones especiales están, los aeropuertos y los hospitales.

En la figura 32, se observa claramente que la distorsión total de voltaje es menor al 3 % por lo que se cumple los estándares requeridos.

Figura 32. Gráfica de distorsión armónica total de voltaje

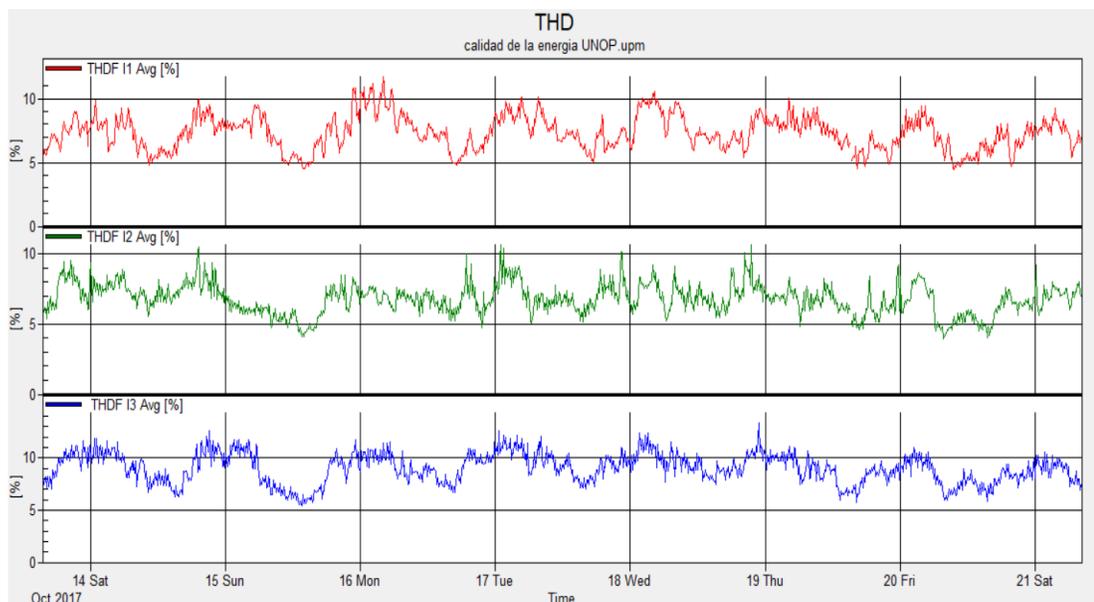


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.8. Distorsión armónica total de corriente

En la gráfica se muestra la distorsión total de la corriente en cada una de las tres fases del sistema eléctrico del hospital. Se observa que a lo largo del periodo de estudio, el porcentaje máximo que se obtuvo fue de 12 %; la Norma NTSD tiene como máximo el 20 %, por lo cual se deduce que si bien hay distorsión armónica, esta no sobrepasa el máximo permitido.

Figura 33. Gráfica de distorsión total de corriente



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

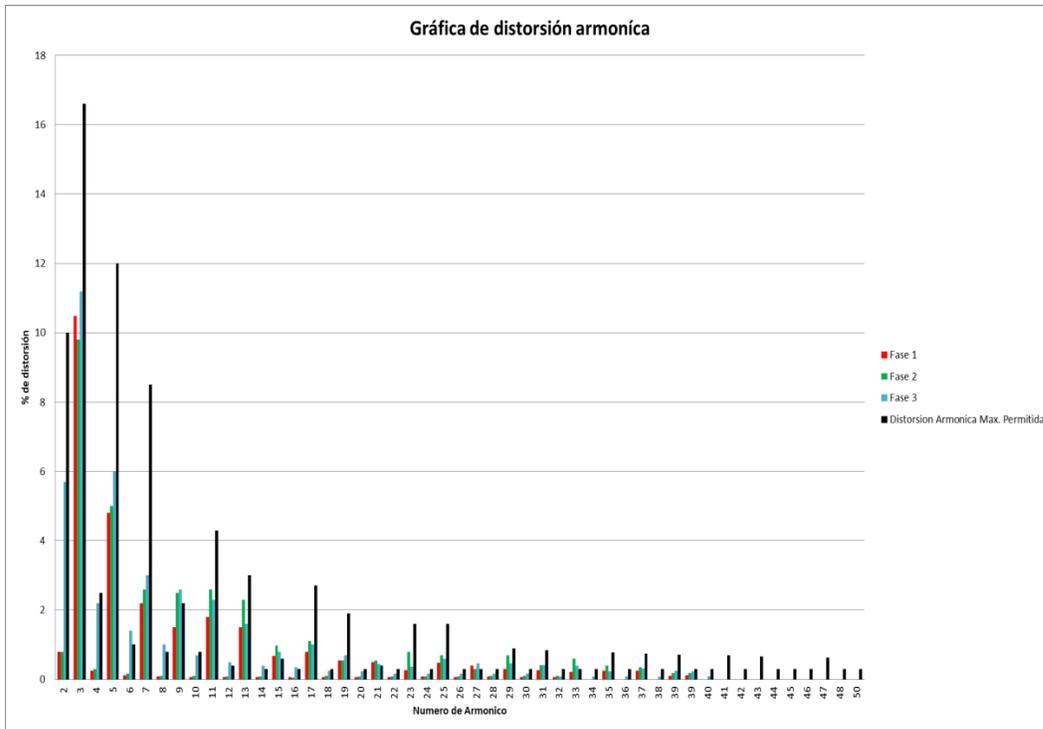
En la tabla XXXIX se analizan los armónicos individualmente y se compara con los valores aceptados por la Norma NTSD, los resultados obtenidos se presentan en la gráfica de barras figura 3,7. En la columna condición se identifica con el color verde cuando el valor está dentro del rango y color rojo cuando esta fuera del mismo.

Tabla XXXIX. **Análisis armónicos individuales de corriente, Norma NTSD**

POTENCIA >10kW							
Número de armónico	Distorsión armónica máxima permitida en %	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
		VALOR % MEDIDO	CONDICIÓN	VALOR % MEDIDO	CONDICIÓN	VALOR % MEDIDO	CONDICIÓN
2	10	0,8		0,8		5,7	
3	16,6	10,48		9,8		11,2	
4	2,5	0,25		0,3		2,2	
5	12	4,8		5		6	
6	1	0,11		0,16		1,4	
7	8,5	2,2		2,6		3	
8	0,8	0,08		0,1		1	
9	2,2	1,5		2,5		2,6	
10	0,8	0,06		0,1		0,7	
11	4,3	1,8		2,6		2,3	
12	0,4	0,06		0,09		0,5	
13	3	1,5		2,3		1,6	
14	0,3	0,07		0,08		0,39	
15	0,6	0,67		0,97		0,8	
16	0,3	0,07		0,05		0,34	
17	2,7	0,8		1,1		1	
18	0,3	0,07		0,1		0,24	
19	1,9	0,55		0,55		0,7	
20	0,3	0,07		0,09		0,23	
21	0,4	0,5		0,55		0,44	
22	0,3	0,07		0,09		0,17	
23	1,6	0,27		0,8		0,36	
24	0,3	0,09		0,09		0,16	
25	1,6	0,48		0,7		0,6	
26	0,3	0,06		0,09		0,17	
27	0,3	0,4		0,3		0,47	
28	0,3	0,08		0,1		0,16	
29	0,89	0,3		0,7		0,46	
30	0,3	0,07		0,1		0,17	
31	0,85	0,26		0,42		0,42	
32	0,3	0,07		0,1		0,08	
33	0,3	0,22		0,6		0,4	
34	0,3	0		0		0,08	
35	0,77	0,25		0,4		0,23	
36	0,3	0		0		0,08	
37	0,74	0,25		0,35		0,31	
38	0,3	0		0		0,08	
39	0,71	0,1		0,18		0,24	
39	0,3	0,11		0,18		0,23	
40	0,3	0		0		0,08	
41	0,69	0		0		0	
42	0,3	0		0		0	
43	0,67	0		0		0	
44	0,3	0		0		0	
45	0,3	0		0		0	
46	0,3	0		0		0	
47	0,63	0		0		0	
48	0,3	0		0		0	
50	0,3	0		0		0	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica de Seguridad de Distribución.*

Figura 34. **Gráfica de armónicos individuales**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

### 3.2.9. Cálculos relacionados a índices de calidad de la energía

Del estudio que se realizó con el analizador de redes, se toman los siguientes datos para realizar los cálculos de acuerdo a las normas descritas en el capítulo dos, relacionadas con los índices de calidad de la energía y que deben cumplir con los artículos allí enumerados.

Tabla XL. **Valores para el cálculo de los índices de calidad de la energía**

V <sub>k</sub>	123 voltios
V <sub>max</sub>	125 voltios
V <sub>min</sub>	122 voltios
V <sub>nominal</sub>	120 voltios
EnergAct <sub>p</sub>	12,28 MWh
EnerReact <sub>p</sub>	4 237 MWh
V1 (medio)	123 voltios
V2 (medio)	122 voltios
V3 (medio)	125 voltios

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.9.1. Índice de regulación de la tensión

Norma NTSD, capítulo II, artículo 23 inciso 1 y artículo 24 inciso 1, no debe exceder el 8 % para baja tensión en servicio urbano a partir el mes 13.

$$\Delta V_{k=} = \frac{(|V_k - V_n|)}{V_n} * 100$$

$$\Delta V_{k=} = \frac{(|123 - 120|)}{120} * 100$$

$$\Delta V_{k=} = 2,5$$

### 3.2.9.2. Índice de desbalance de tensión.

Norma NTSD, capítulo III artículo 28, no debe exceder el 3 %, a partir del mes 13.

$$\Delta DTD(\%) = \left[ \frac{3(V_{max} - V_{min})}{V_a + V_b + V_c} \right] * 100$$

$$DTD(\%) = \left[ \frac{3(125 - 123)}{123 + 123 + 123} \right] * 100$$

$$DTD(\%) = \left[ \frac{6}{371} \right] * 100$$

$$DTD(\%) = 1,61$$

### 3.2.9.3. Índice factor de potencia

Norma NTSD, capítulo III, artículos 49 y 50, no debe ser menor a 0,90

$$Fpot_p = \frac{EnerAct_p}{\sqrt{(EnerAct_p^2 + EnerReact_p^2)}}$$

$$Fpot_p = \frac{12,28}{\sqrt{(12,28^2 + 4,237^2)}}$$

$$Fpot_p = 0,945$$

Por lo que el factor de potencia está dentro de la norma y el valor corresponde al mostrado por la gráfica de factor de potencia.

### 3.3. Evaluación de la red eléctrica bajo los parámetros obtenidos en el estudio de calidad de la energía

Los valores críticos utilizados para el análisis fueron tomados de las gráficas de voltajes y corrientes son:

Tabla XLI. **Voltajes máximos según estudio de calidad de la energía**

Datos obtenidos	L1 Voltios	L2 Voltios	L3 Voltios
Voltaje máximo	223	223	225
Voltaje medio	223		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Corrientes máximas según estudio de calidad de la energía**

Datos obtenidos	L1 Amp.	L2 Amp.	L3 Amp.
Corriente máximo	450	400	400
Corriente media	417		

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1. Evaluación del desbalance de corriente

De acuerdo a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en las normas técnicas de calidad del servicio de transporte y sanciones NTCSTS, TÍTULO V, CAPITULO 1.

Artículo 31. Calidad del desbalance de corriente. El índice para evaluar el desbalance de corriente de los participantes, se determinará sobre una base de comparación de los valores de corriente de cada fase, medidos en punto de entrega y registrados en cada intervalo de medición (k). Este índice estará expresado como un porcentaje.

$$\Delta DIP (\%) = \left( 3 * \frac{(Imp)}{(Ia + Ib + Ic)} \right) * 100$$

Donde:

- $\Delta DIP (\%)$  = porcentaje de desbalance de corriente por parte del participante.
- Imp. = Máxima desviación de corriente de cualquiera de las fases, respecto al promedio de la corriente de las tres fases registrada en el intervalo de medición K.
- Ia = Corriente en la fase a registrada en el intervalo de medición k.
- Ib = Corriente en la fase b registrada en el intervalo de medición k.
- Ic = Corriente en la fase c registrada en el intervalo de medición k.

Artículo 32. Se establece una tolerancia de diez por ciento (10 %), para el desbalance de corriente.

Se considera que un participante afecta la calidad del servicio de energía eléctrica cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del

correspondiente al total del periodo de medición mensual, las mediciones muestran que el desbalance de la corriente ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### 3.3.1.1. Cálculo de desbalance de corriente

Calculando en valor medio de las corrientes medidas

$$I_{prom} = \frac{450 + 400 + 400}{3}$$
$$I_{prom} = 417 \text{ Amp.}$$

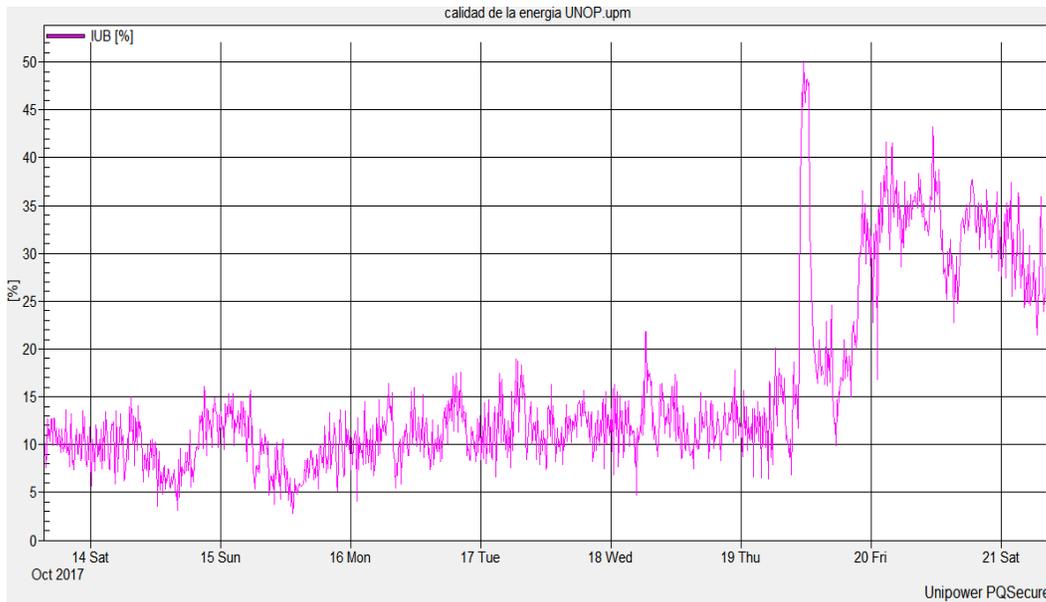
Calculando la máxima desviación de corriente con respecto al valor medio

$$Imp = I_{max} - I_{prom}$$
$$Imp = 450 - 417$$
$$Imp = 33 \text{ Amp}$$

Calculando el porcentaje de desbalance de corriente por parte del participante en el punto de máximo consumo de corriente

$$\Delta DIP (\%) = \left( 3 * \frac{(Imp)}{(Ia + Ib + Ic)} \right) * 100$$
$$\Delta DIP (\%) = \left( 3 * \frac{33}{(450 + 400 + 400)} \right) * 100$$
$$\Delta DIP (\%) = \left( 3 * \frac{33}{(1\ 282)} \right) * 100$$
$$\Delta DIP (\%) = 7,72$$

Figura 35. **Gráfica de desbalance de corriente porcentual**



Fuente: elaboración propia empleando Visio 2016.

En la gráfica de desbalance de corriente figura 35, se observa claramente que los valores sobrepasan por mucho el 10 % máximo por más del 5 % del periodo de estudio que, según la Norma de la CNEE es el máximo permitido, por lo que se concluye que es urgente hacer un estudio de cargas instaladas en el hospital y con ello lograr estar dentro de la norma, pues esto tiene una incidencia en la calidad de la energía de parte del usuario.

### **3.3.2. Evaluación de la acometida eléctrica y tablero principal TPPCE**

Para realizar la evaluación de estos elementos se toma como base los datos obtenidos del estudio de calidad de energía.

Tabla XLIII. **Análisis de la acometida eléctrica**

<b>TRANSFORMADOR</b>	
MARCA	CENTRAL MOLONEY
POTENCIA KVA	300
VOLTAJE PRIMARIO KV	13,2
VOLTAJE SECUNDARIO VOLTS	208/120
CORRIENTE NOMINAL AMPERIOS	833
NÚMERO DE FASES	3
TIPO DE TRANSFORMADOR	PAD MOUNTED
PROPIEDAD DE	UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA
TIPO DE CONEXIÓN	ESTRELLA / ESTRELLA ATERRIZADA
UBICACIÓN	PARQUEO
<b>TABLERO PRINCIPAL DE BAJA TENSIÓN</b>	
MARCA	EATON
<i>BREAKER</i>	EATON
FASES	3
CAPACIDAD AMPERIOS	1200
MODELO	ND 50K
VOLTAJE VOLTS	600
UBICACIÓN	CUARTO ELÉCTRICO
NÚMERO DE HILOS	4
<b>CABLES</b>	
CALIBRE (AWG) MCM	500
NÚMERO DE LÍNEAS POR FASE	3
MATERIAL	ALUMINIO
TIPO DE AISLAMIENTO	XHHW-2
VOLTAJE MÁXIMO VOLTS	600
AMPERAJE MÁXIMO POR LÍNEA AMP 75 ° C	310
<b>CÁLCULOS</b>	
<b>CARGAS</b>	
TABLERO PRINCIPAL DE BAJA TENSIÓN	
CALIBRE DEL CONDUCTOR (AWG) MCM	500
CAPACIDAD POR LÍNEA 90°C	310
NÚMERO DE LÍNEAS POR FASE	3
CAPACIDAD POR FASE AMP	930
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 1	48 %
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 2	43 %
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 3	43 %
PORCENTAJE DE USO DEL TRANSFORMADOR	50 %
PORCENTAJE DE USO DEL <i>BREAKER</i>	35 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Análisis del tablero eléctrico TPP CE**

Marca del tablero	Eaton prl4
Capacidad de las barras Amperios	1 200
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	Cuarto eléctrico
Cable de acometida calibre	500
Tipo de aislamiento	xhhw-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C amperios	350
Número de líneas por fase	3
tablero origen	Tablero de transferencia
Protección en el tablero origen amperios	1 200
Ubicación tablero origen	Cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	500
Capacidad por línea	350
Número de líneas por fase	3
Capacidad total por fase	1 050
Porcentaje de uso del conductor 1	43 %
Porcentaje de uso del conductor 2	38 %
Porcentaje de uso del conductor 3	38 %
Porcentaje de uso del <i>breaker</i>	35 %
Porcentaje de uso en las barras	35 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Evaluación del sistema de la planta eléctrica de emergencia

En el caso de la planta eléctrica hay que tener especial atención pues existen puntos que son urgentes de resolver y que se describen a continuación:

- Los conductores están sobrecargados. Urge cambiar dichos conductores. en la sección 3.12.3 se detalla el calibre necesario a instalar.
- No existe dentro de la instalación eléctrica hospital un sistema que separe las cargas esenciales de las cargas no críticas, de tal manera que la planta eléctrica soporta el total de la carga instalada.
- El recinto donde está instalada la planta eléctrica se utiliza como una pequeña bodega.

Figura 36. **Planta eléctrica**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica. *Planta eléctrica.*

Tabla XLV. **Análisis del tablero planta eléctrica de emergencia**

DATOS DEL GENERADOR	
MARCA	OLIMPIAN POWER SYSTEM
POTENCIA	188 KVA
TIPO DE CONEXIÓN	ESTRELLA
VOLTAJE SECUNDARIO	208/120 V
PROPIEDAD DE:	UNIDAD NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA
UBICACIÓN	CUARTO DE GENERADOR
CORRIENTE NOMINAL AMPERIOS	521
NÚMERO DE FASES	3
TABLERO PRINCIPAL	
MARCA	ABB
<i>BREAKER</i>	ABB
FASES	3
CAPACIDAD AMPERIOS	630
VOLTAJE VOLTS	600
UBICACIÓN	CUARTO DE GENERADOR
NÚMERO DE HILOS	4
CABLES	
CALIBRE ( AWG) MCM	500
NÚMERO DE LÍNEAS POR FASE	1
MATERIAL	ALUMINIO
TIPO DE AISLAMIENTO	XHHW-2
VOLTAJE MÁXIMO VOLTS	600
AMPERAJE MÁXIMO POR LÍNEA AMP 75 ° C	350
CÁLCULOS	
CALIBRE DEL CONDUCTOR MCM	500
CAPACIDAD POR LINEA	350
NÚMERO DE LÍNEAS POR FASE	1
CAPACIDAD POR FASE AMP	350
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 1	129 %
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 2	114 %
PORCENTAJE DE USO DEL CONDUCTOR FASE 3	114 %
PORCENTAJE DE USO DEL GENERADOR	80 %
PORCENTAJE DE USO DEL <i>BREAKER</i>	66 %
* SE USARON LAS MISMAS CORRIENTES OBTENIDAS EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA	

Fuente: elaboración propia.

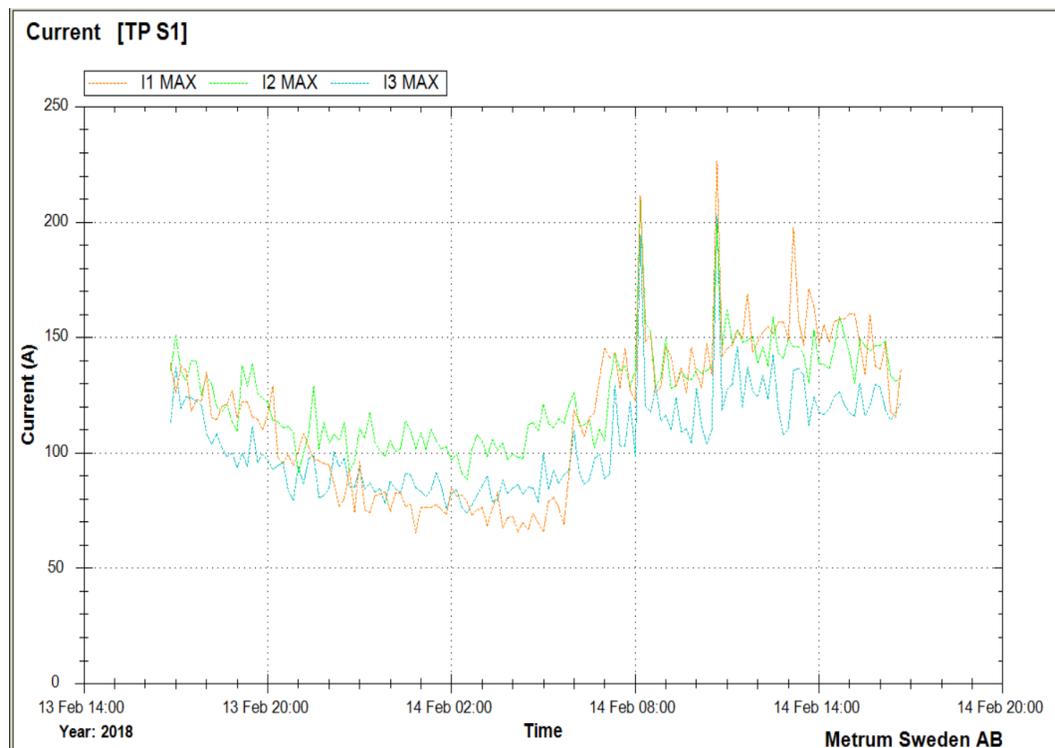
### 3.5. Evaluación técnica de los tableros secundarios

Existen en el hospital 5 tableros secundarios y se realizó un estudio de un día, a cada uno de ellos con la intención de obtener valores de corriente máxima, a continuación se muestran las gráficas obtenidas y el análisis correspondiente para cada uno.

#### 3.5.1. Tablero TP S1 D1

En la figura 37, se presenta la gráfica de corriente de un tablero TP S1 D1.

Figura 37. Gráfica de corriente tablero TP S1 D1



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Tabla XLVI. **Valores críticos de corrientes para tablero TP S1 D1**

Corrientes máximas amperios		
L1	L2	L3
210	200	200

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Análisis del tablero TP S1 D1**

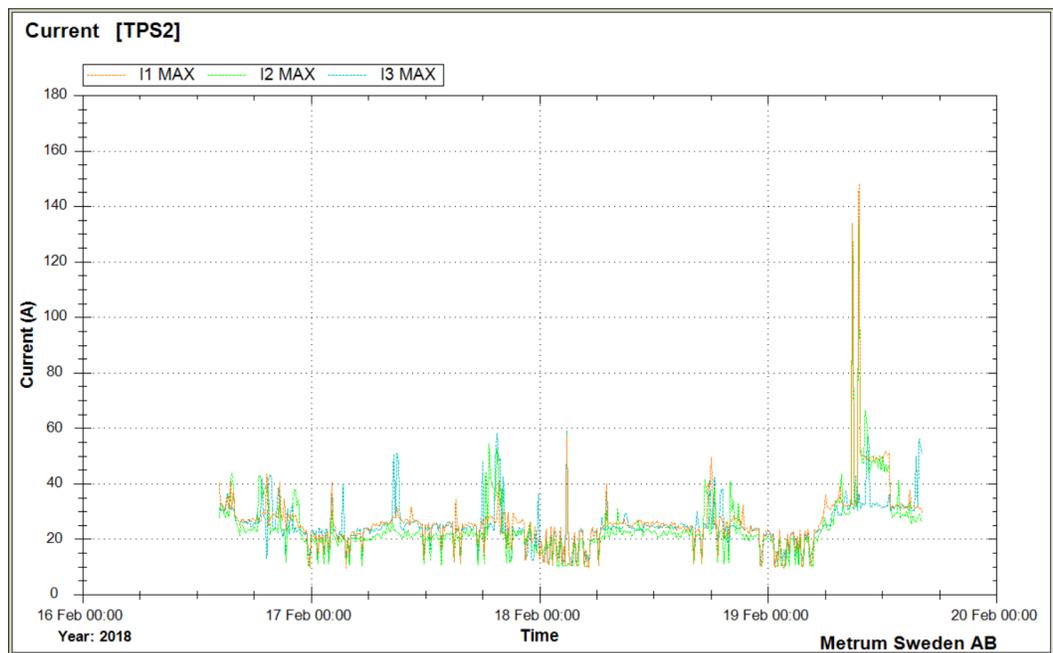
Marca del tablero	EATON
Capacidad de las barras	400
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	D1 PRIMER NIVEL
Cable de acometida calibre	250
Tipo de aislamiento	xhhw-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C Amperios	230
Número de líneas por fase	2
Tablero origen	TPP CE
Protección en el tablero origen AMP	400
Ubicación tablero origen	cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	250
Capacidad por línea	230
Número de líneas por fase	2
Capacidad total por fase	460
Porcentaje de uso del conductor 1	46 %
Porcentaje de uso del conductor 2	43 %
Porcentaje de uso del conductor 3	43 %
Porcentaje de uso del <i>breaker</i>	51 %
Porcentaje de uso en las barras	51 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Tablero TP S2 LOBBY D2

En la figura 38 se representa gráficamente la corriente del tablero TP S2 LOBBY D2.

Figura 38. Gráfica de corriente tablero TP S2 LOBBY D2



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Tabla XLVIII. Valores críticos de corriente para tablero TP S2 LOBBY D2

CORRIENTE AMPERIOS	L1	L2	L3
	140	130	130
CORRIENTE MEDIA AMPERIOS	133,3		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. Análisis del tablero TP S2 LOBBY D2

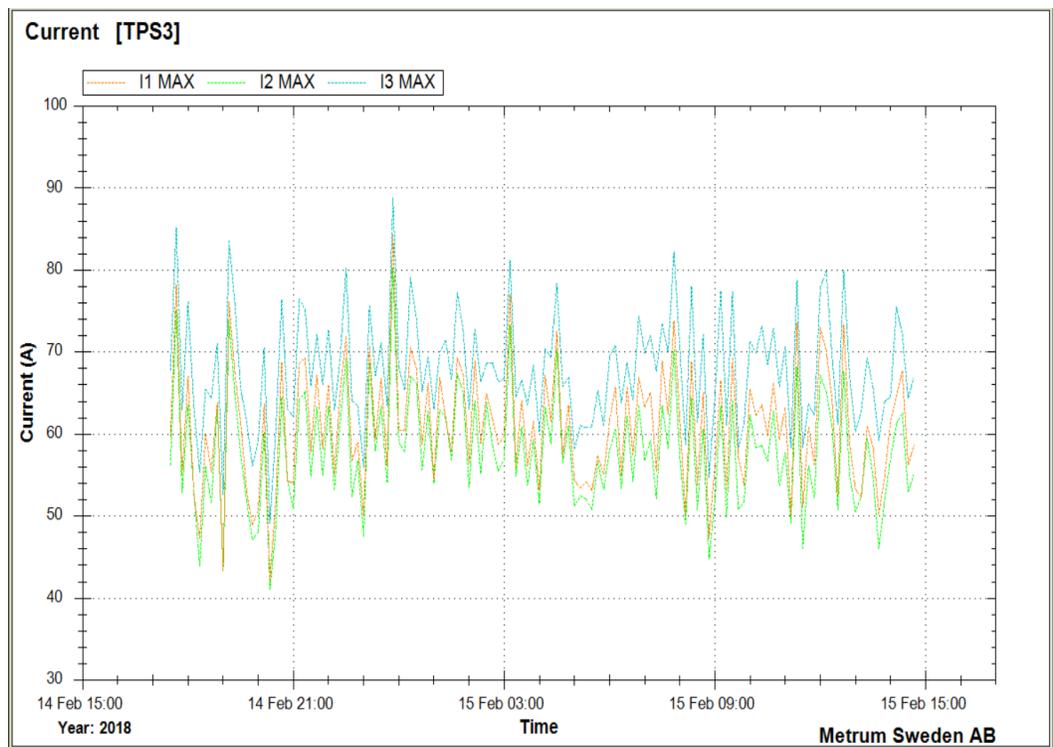
Marca del tablero	EATON
Capacidad de las barras	400
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	D1 PRIMER NIVEL
Cable de acometida calibre	250
Tipo de aislamiento	xhhw-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C Amperios	230
Número de líneas por fase	2
Tablero origen	TPP CE
Protección en el tablero origen AMP	400
Ubicación tablero origen	cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	250
Capacidad por línea	230
Número de líneas por fase	2
Capacidad total por fase	460
Porcentaje de uso del conductor 1	30 %
Porcentaje de uso del conductor 2	28 %
Porcentaje de uso del conductor 3	28 %
Porcentaje de uso del <i>breaker</i>	33 %
Porcentaje de uso en las barras	33 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.3. Tablero TP S3 CE

En la figura 39 se representa gráficamente la corriente del tablero TP S3 CE.

Figura 39. Gráfica de corriente tablero TP S3 CE



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Tabla L. **Valores críticos de corriente para tablero TP S3 CE**

CORRIENTE	L1	L2	L3
AMPERIOS	80	80	80
CORRIENTE MEDIA AMPERIOS	80		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Análisis del tablero TP S3 CE**

Marca del tablero	GENERAL ELECTRIC
Capacidad de las barras	400
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	Cuarto eléctrico
Cable de acometida calibre	1/0
Tipo de aislamiento	xhwh-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C Amperios	120
Número de líneas por fase	2
Tablero origen	TPP CE
Protección en el tablero origen AMP	250
Ubicación tablero origen	Cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	1/0
Capacidad por línea	120
Número de líneas por fase	2
Capacidad total por fase	240
Porcentaje de uso del conductor 1	33 %
Porcentaje de uso del conductor 2	33 %
Porcentaje de uso del conductor 3	33 %
Porcentaje de uso del breaker	32 %
Porcentaje de uso en las barras	20 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.4. Tablero TP S4 CE

En la figura 40 se representa gráficamente la corriente del tablero TP S4 CE.

Figura 40. Gráfica de corriente tablero TP S4 CE



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Tabla LII. Valores críticos de corriente para tablero TP S4 CE

CORRIENTE AMPERIOS	L1	L2	L3
CORRIENTE AMPERIOS	125	110	100
CORRIENTE MEDIA AMPERIOS	111,7		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. Análisis del tablero TP S4 CE

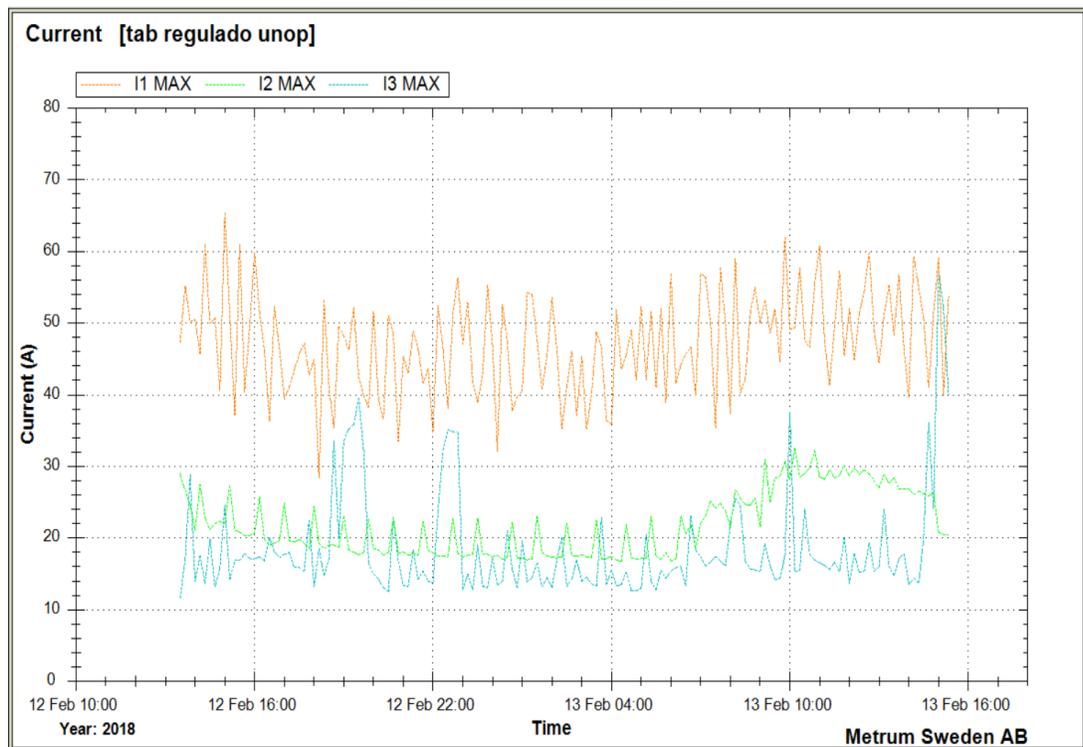
Marca del tablero	SIEMENS
Capacidad de las barras	800
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	cuarto eléctrico
Cable de acometida calibre	1/0
Tipo de aislamiento	xhhw-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C Amperios	120
Número de líneas por fase	2
Tablero origen	TPP CE
Protección en el tablero origen AMP	300
Ubicación tablero origen	cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	1/0
Capacidad por línea	120
Número de líneas por fase	2
Capacidad total por fase	240
Porcentaje de uso del conductor 1	52 %
Porcentaje de uso del conductor 2	46 %
Porcentaje de uso del conductor 3	42 %
Porcentaje de uso del <i>breaker</i>	37 %
Porcentaje de uso en las barras	14 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.5. Tablero TP REGULADO CE

En la figura 41 se representa gráficamente la corriente del tablero TP Regulado CE.

Figura 41. Gráfica de corriente tablero TP Regulado CE



Fuente elaboración propia.

Tabla LIV. Valores críticos de corriente para tablero TP REGULADO CE

CORRIENTE AMPERIOS	L1	L2	L3
	55	30	30
CORRIENTE MEDIA AMPERIOS	38,3		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Análisis de tablero TP REGULADO CE**

Marca del tablero	EATON
Capacidad de las barras	400
Número de fases	3
Número de hilos	5
Voltaje	120/240
Ubicación	cuarto eléctrico
Cable de acometida calibre	500
Tipo de aislamiento	xhhw-2
Capacidad de conducción del cable a 75°C Amperios	310
Número de líneas por fase	1
Tablero origen	TPP CE
Protección en el tablero origen AMP	250
Ubicación tablero origen	cuarto eléctrico
<b>CÁLCULOS</b>	
Calibre del conductor awg	500
Capacidad por línea	310
Número de líneas por fase	1
Capacidad total por fase	310
Porcentaje de uso del conductor 1	18 %
Porcentaje de uso del conductor 2	10 %
Porcentaje de uso del conductor 3	10 %
Porcentaje de uso del <i>breaker</i>	15 %
Porcentaje de uso en las barras	10 %

Fuente: elaboración propia.

### **3.6. Evaluación técnica termográfica**

La evaluación termográfica es de suma importancia ya que por medio de esta es posible realizar mantenimientos preventivos, pues se pueden localizar anticipadamente fallas que de no ser detectadas se presentarán al paso del tiempo pudiendo cobrar la vida de los pacientes del hospital, ya sea por falta de un equipo de soporte vital o la posibilidad de algún corto circuito y obligando en el menor de los casos a gastos no necesarios además, de los problemas que un paro representa.

La termografía aplicada es una técnica que permite hacer un diagnóstico en el mantenimiento eléctrico en instalaciones industriales así como edificios. La cámara termográfica detecta la radiación infrarroja de onda larga en el rango de 7,5 a 14 micras, todos los cuerpos a una temperatura mayor de  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  emiten energía radiante.

Las cámaras termográficas están equipadas con un detector de radiación infrarroja y por medio de algoritmos matemáticos miden la temperatura superficial, realizándose medidas rápidas, seguras, precisas y a distancia. Normalmente la temperatura que se registra sirve para hacer medidas cualitativas, de tal manera que su mejor aporte es para realizar estudios que marquen en este caso, la tendencia de los elementos de la red eléctrica del hospital.

Para realizar esta evaluación se hizo un recorrido por toda la instalación eléctrica interna del Hospital para revisar el transformador, cables, tableros eléctricos, tableros de control, motores eléctricos.

### **3.6.1. Artículos aplicados para el estudio termo gráfico de acuerdo al NEC 2017**

Artículo 110 numeral 13. Montaje y enfriamiento de los equipos. (C) Límites de temperatura. La temperatura nominal asociada a la ampacidad de un conductor se debe elegir y coordinar de modo que no supere la temperatura nominal más baja de cualquier terminal, conductor o dispositivo conectado. Debe permitirse el uso de conductores con temperatura nominal superior a la especificada para las terminales, para ajuste o corrección de su ampacidad, o ambas cosas.

Artículo 110 numeral 14. A menos que el equipo esté listado y marcado de forma diferente, la ampacidad del conductor utilizada para determinar las disposiciones para los terminales del equipo se debe basar en la tabla 310.15(B)(16) y según las modificaciones adecuadas de la sección 310.15(B)(6). (a) Las disposiciones para los terminales del equipo para circuitos de 100 amperes nominales o menos, o marcados para conductores 14 AWG a 1 AWG, se debe aplicar sólo para uno de los siguientes: (1) Conductores con valor nominal de temperatura de 60° C (140 °F). (2) Conductores con valores nominales de temperatura mayores, siempre y cuando la ampacidad de estos conductores se determine tomando como base la ampacidad a 60 °C (140 °F) del calibre del conductor usado. (3) Conductores con valores nominales de temperatura mayores, si el equipo está listado e identificado para uso con estos conductores. (4) Para motores marcados con las letras de diseño B, C, o D, debe permitirse el uso de conductores que posean un valor nominal de aislamiento de 75 °C (167 °F) o superior, siempre y cuando la ampacidad de estos conductores no exceda la ampacidad a 75 °C (167 °F). (b) Las disposiciones para los terminales del equipo para circuitos con un valor nominal superior a 100 amperes, o marcados para conductores de

tamaño mayor que 1 AWG, se deben usar solamente para uno de los siguientes: (1) conductores con temperatura nominal de 75 °C (167 °F). (2) conductores con valores nominales de temperatura más altos, siempre que la ampacidad de tales conductores no exceda la ampacidad a 75 °C (167 °F) del calibre del conductor usado, o hasta su ampacidad, si el equipo es listado e identificado para uso con estos conductores.

Del artículo anterior se obtiene la información para la elaboración de la siguiente tabla.

Tabla LVI. **Temperatura máxima de operación a 30 grados**

CORRIENTE	TEMPERATURA MAXIMA GRADOS CENTIGRADOS
< 100 AMPERIOS	40 °C
>100 AMPERIOS	60 °C

Fuente: elaboración propia.

La cámara termográfica utilizada mide la temperatura en grados Fahrenheit. Se utiliza la ecuación:

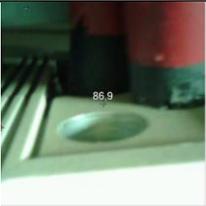
$$C = \frac{5 (F - 32)}{9}$$

Donde:

C = grados Celsius

F = grados Fahrenheit

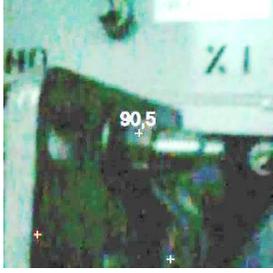
Figura 42. **Termografía de varios elementos de la instalación eléctrica**

	<p>MOTOR AIRE A/C Temp. 35 °C</p>
	<p>BORNES TABLERO Temp. 30 °C</p>
	<p>SUPRESOR DE PICOS Temp. 24 °C</p>
	<p>MOTOR A/C TERRAZA TEMP. 40 °C</p>

Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

El transformador de 300kVA, fue revisado detenidamente pues en anterior oportunidad se había detectado alta temperatura en la terminal del cable X3.

Figura 43. **Termografía de cables y terminales del transformador**

	<p>Terminal X1 Temp. 32°C</p>
	<p>Terminal X2 Temp. 34.7°C</p>
	<p>Terminal X0 Temp. 33.7°C</p>
	<p>Terminal X3 Temp. 37°C</p>

Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

En el hospital solamente se encontraron dos puntos que mostraron alta temperatura.

Figura 44. **Termografía de elementos con alta temperatura**

	<p>Motor extractor aire</p> <p>Temp. 65 °C</p>	<p>Ubicación</p> <p>Terraza</p>
	<p>Transformador</p> <p>Temp. 76,5 °C</p>	<p>Ubicación</p> <p>Panel de control Planta de emergencia</p>

Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

### 3.7. Evaluación del sistema de puesta a tierra

Para hacer la evaluación de este sistema, se toma como punto de comparación la norma dictada por la CNNE de Guatemala.

#### 3.7.1. Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución NTDROID

En el capítulo IV, métodos de puesta a tierra, artículo 33, inciso 4 dicta: los valores de la resistencia a tierra en función de la capacidad de la subestación eléctrica instalada.

Tabla LVII. **Valores máximos permitidos de resistencia de red de tierras de una subestación en función de su capacidad**

Capacidad de la subestación (MVA)	Resistencia de la red de tierras (Ohmios)
<1	3
1-10	2
10-50	1
50-100	0,5
>100	0,2

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.2. Situación actual del sistema de tierras del hospital

- Debido a que en el hospital existen dos puntos de puesta a tierra, desconectados eléctricamente, se deduce fácilmente que el esquema de conexión a tierra es T-T, es decir, que el neutro se conecta a tierra a través de un electrodo y la protección por falla de aislamiento de los equipos se conecta a través de otro electrodo independiente del primero. La distancia de un electrodo a otro es de 60 metros.
- Existe un punto de puesta a tierra en el transformador que aterriza los hilos neutros de la red eléctrica interna, el cable que sale del conector neutro del transformador y conecta con polo de puesta a tierra es calibre 2/0, de cobre, con aislamiento.
- El tablero general de baja tensión, es decir, el tablero donde está instalado el *breaker* general y que es alimentado desde el transformador, no está aterrizado, en el no existe hilo de tierra de equipos.
- En el tablero de transferencia existe cable del polo de neutro y cable del polo de tierra de equipos, pero no están conectados eléctricamente, es

decir, son independientes; en este tablero es el primero en que aparecen las dos puestas a tierra.

- En cada uno de los tableros instalados en el Hospital, existe un hilo o más de neutro y por separado un hilo de tierra.
- Los tomacorrientes son polarizados y cuentan con sus hilos de fase, neutro y tierra.

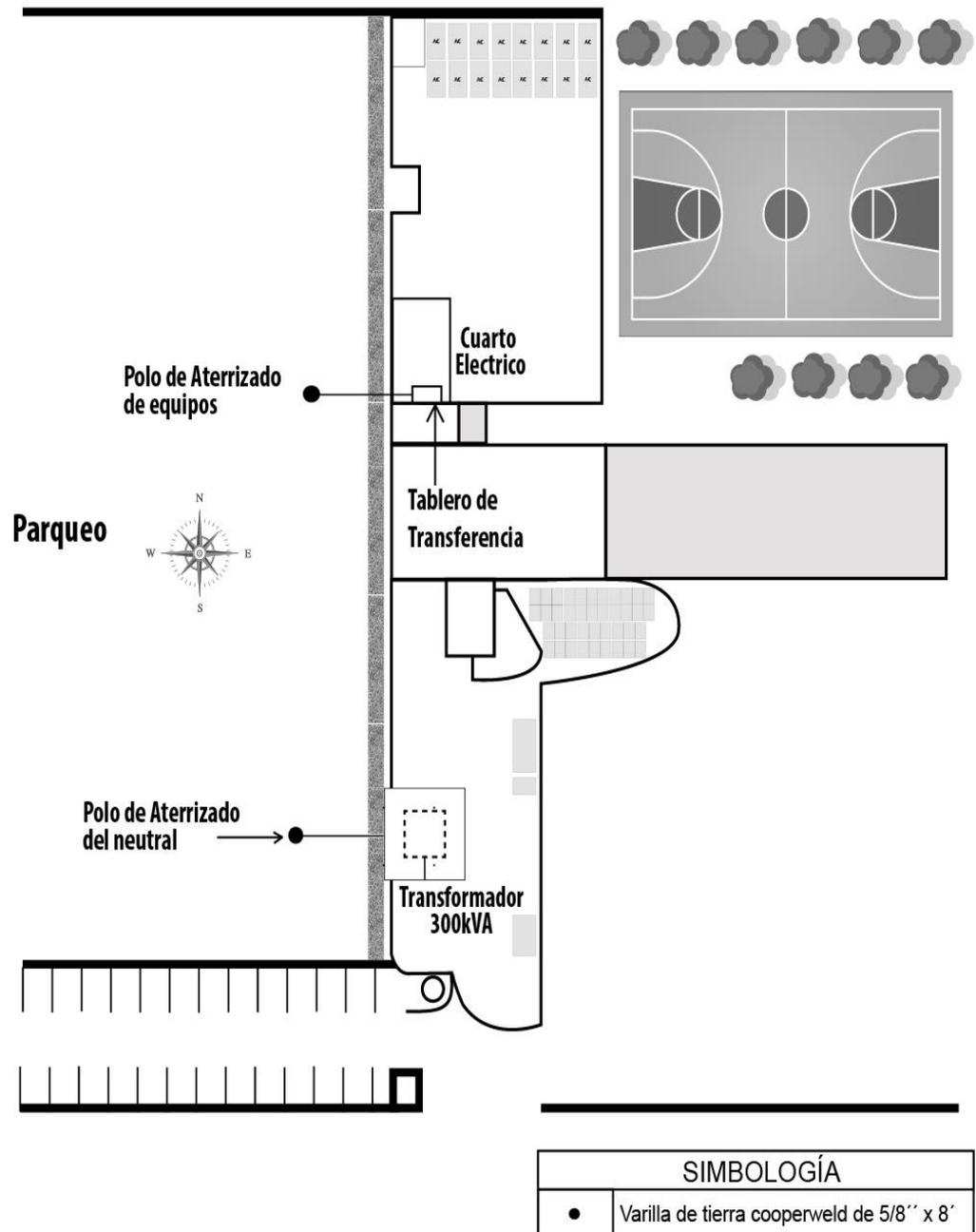
Figura 45. **Varilla de polo de tierra de aterrizado de equipos**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

- Todos los hilos de tierra de protección de equipos del hospital se unen y llegan a un punto común que es el polo de puesta a tierra de equipos, ubicado a la salida del cuarto eléctrico, paralelo a este polo de cobre se encuentra otra varilla colocada a 20 centímetros de distancia. La profundidad de estos polos, con respecto al nivel de piso es de 30 centímetros. Como se puede ver en la fotografía, la unión entre los cables y el polo de tierra se realiza con una unión mecánica.

Figura 46. Esquema de conexión de tierras actual del hospital



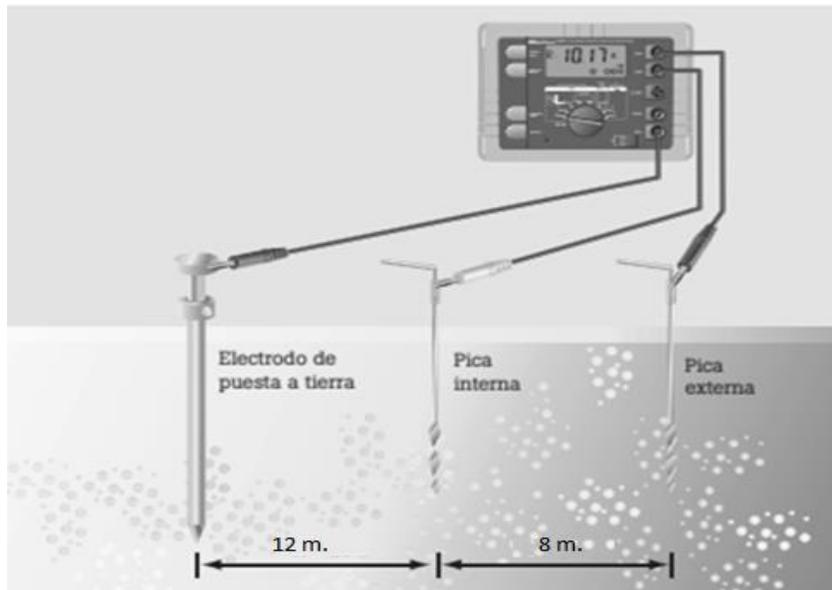
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

### 3.7.3. Medición de la impedancia de los polos de aterrizado de neutral y aterrizado de equipos

Entre los principales objetivos que debe cumplir un sistema de puesta a tierra están, limitar a niveles seguros los niveles tensión de equipos en caso de fallas, evacuar las fallas de tal manera que sean aisladas rápidamente, proveer la conducción a tierra de cargas estáticas y descargas electroatmosféricas, ofrecer un nivel de referencia estable para la toma de voltajes, servir de retorno de corrientes a través del polo de neutro.

En este trabajo se utilizó el método de caída de potencial cuya configuración se muestra en la figura 41.

Figura 47. **Método de caída de potencial para medición de resistencia de polos de tierra**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

El método consiste en inyectar una corriente entre el electrodo bajo estudio y la pica externa, y medir la caída de potencial entre el electrodo bajo estudio y la pica interna.

Para medir la impedancia a tierra de los dos polos existentes en el hospital, se utilizó el método de caída de potencial. Las distancias utilizadas por las picas con respecto al polo fueron de 12 y 20 metros respectivamente.

### 3.7.3.1. Polo de aterrizado cable neutral

Artículo 110 definiciones código NEC 2017. Punto neutro (*neutral point*). Punto común en una conexión en estrella en un sistema polifásico, o punto medio en un sistema monofásico trifilar, o punto medio de una porción monofásica de un sistema delta trifásico, o punto medio de un sistema de corriente continua trifilar. Nota informativa: en el punto neutro del sistema, la suma vectorial de las tensiones nominales de todas las otras fases dentro del sistema que utiliza el neutro, con respecto al punto neutro, tiene potencial cero.

Figura 48. **Medición de resistencia del polo de aterrizado del cable neutral**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

El punto de puesta a tierra sirve para aterrizar el neutro de la instalación eléctrica y está ubicado dentro del gabinete del transformador de potencia de 300kVA, al medir la resistencia de este polo de neutro a tierra se encontró que dicho valor es de  $R=1,43$  Ohmios.

### 3.7.3.2. Polo de aterrizado de equipos

Artículo 110 definiciones código NEC 2017. Protección contra fallas a tierra de equipos (*Ground-Fault Protection of Equipment*). Sistema destinado a proteger los equipos contra corrientes peligrosas debidas a fallas de fase a tierra. Funciona haciendo que un medio de desconexión abra todos los conductores no puestos a tierra del circuito afectado. Esta protección se brinda a niveles de corriente inferiores a los necesarios para proteger a los conductores de daños, mediante el funcionamiento de un dispositivo de sobre corriente del circuito de alimentación.

Figura 49. **Medición de resistencia del polo de tierra de aterrizado de equipos**



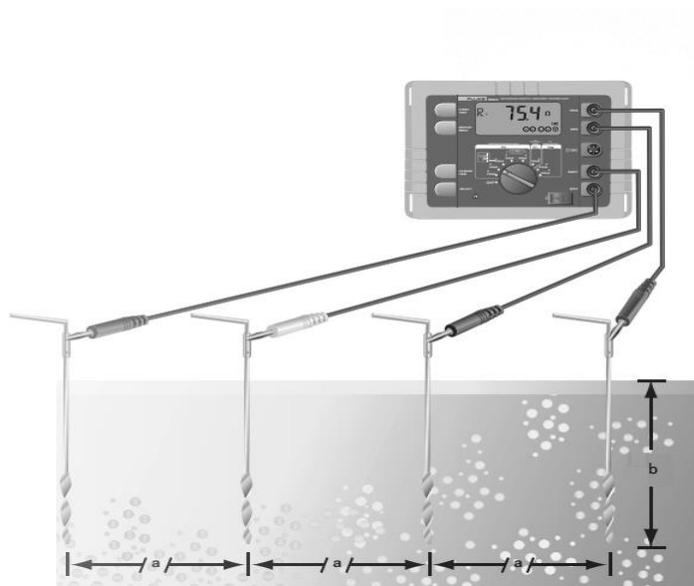
Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Este punto de aterrizaje sirve para colocar a tierra todos los tableros eléctricos y equipos eléctricos, se encuentra ubicado en el parqueo al salir del cuarto eléctrico, el valor de la resistencia obtenido es de  $R= 2,44$  Ohmios.

### 3.8. Medición de la resistividad de la tierra

Para la medición de la resistividad se utilizó el método de Wenner, el cual utiliza cuatro electrodos enterrados una profundidad  $b$  y separados una distancia  $a$ , los cuatro electrodos son colocados en línea recta.

Figura 50. **Método de Wenner para la medición de la resistividad de la tierra**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Funciona el método colocando los electrodos simétricamente respecto de un punto central debajo del cual se desea conocer la resistividad.

La medición es realizada inyectando una corriente de baja frecuencia en las dos picas externas de la configuración y midiendo la caída de potencial entre las dos picas internas del arreglo.

Por teoría electromagnética se tiene que

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

Tomando en cuenta que  $R = V/I$

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

Con la suposición de que  $a > 20b$  la expresión anterior se reduce a

$$\rho = 2\pi a R$$

Figura 51. **Medición de la resistividad del terreno**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

### 3.8.1. Cálculo de la resistividad del terreno

El cálculo de la resistividad del terreno se obtiene a través de la ecuación

$$\rho = 2\pi aR$$

Donde:

$\rho$ = resistividad del terreno en Ohmios-metro

$\pi$ = 3,1416

$a$ = distancia entre electrodos de prueba en metros, 10 metros

$R$ = resistencia en Ohmios, valor obtenido con el equipo, 1 $\Omega$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\rho = 2 \times 3,14 \times 10 \times 1 = 62,8 \text{ Ohmio-metro.}$$

### 3.9. Diseño del sistema de malla de tierra

La malla de tierra que se propone a continuación tiene como objetivo el proveer una trayectoria eficaz de la corriente de falla a tierra y una resistencia a tierra baja.

Artículo 110 definiciones código NEC 2017 Trayectoria efectiva de la corriente de falla a tierra (*Effective Ground-Fault Current Path*). Trayectoria eléctricamente conductora, intencionalmente construida, de baja impedancia, diseñada y prevista para transportar corriente en condiciones de falla a tierra desde el punto de una falla a tierra en un sistema de cableado hasta la fuente

de suministro eléctrico y que facilita el funcionamiento del dispositivo de protección contra sobrecorriente o de los detectores de fallas a tierra.

Tabla LVIII. **Valores nominales para el diseño del sistema de tierra**

Potencia nominal	300kVA
Número de fases	3
Impedancia	2,9
Voltaje primario del transformador	13,2kV
Voltaje secundario del transformador	208/120 V
Corriente primario	13,12 A
Corriente secundario	833 A
Tiempo de falla	1 seg.
Resistividad tratada	62 Ω-m
Profundidad de la malla	1,5 m
Resistividad capa superficial (arena)	3 000 Ω-m
Espesor capa superficial	0,15 m

Fuente: elaboración propia.

### 3.9.1.1. Cálculo de la corriente de cortocircuito máximo

$$I_{sec} = \frac{300\,000}{\sqrt{3} * 208} = 833\,A$$

$$I_{ccmax} = I_{sec} \times \frac{100}{Z}$$

$$I_{ccmax} = 833 \times \frac{100}{2,9} = 28724A$$

$$I_{ccmax} = 28724A$$

El factor K está dado por

$$K = V2/V1$$

$$K = \frac{208}{13\ 200}$$

$$K = 0,01575$$

La corriente de cortocircuito en el primario del transformador será

$$I_{CCprim} = I_{CC} * K$$

$$I_{CCprim} = 28\ 700 * 0,01575$$

$$I_{CCprim} = 458\text{amperios}$$

### 3.9.1.2. Cálculo del conductor

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

Donde:

$A_c$  = área del conductor en circularmil

T = es el tiempo máximo en el cual fluye la corriente de falla= 1 s

$T_m$  = temperatura máxima de fusión para el cobre = 1 084 °C

$T_a$  = temperatura de ambiente = 30 °C

$I_{cc}$  = corriente de corto circuito en el secundario

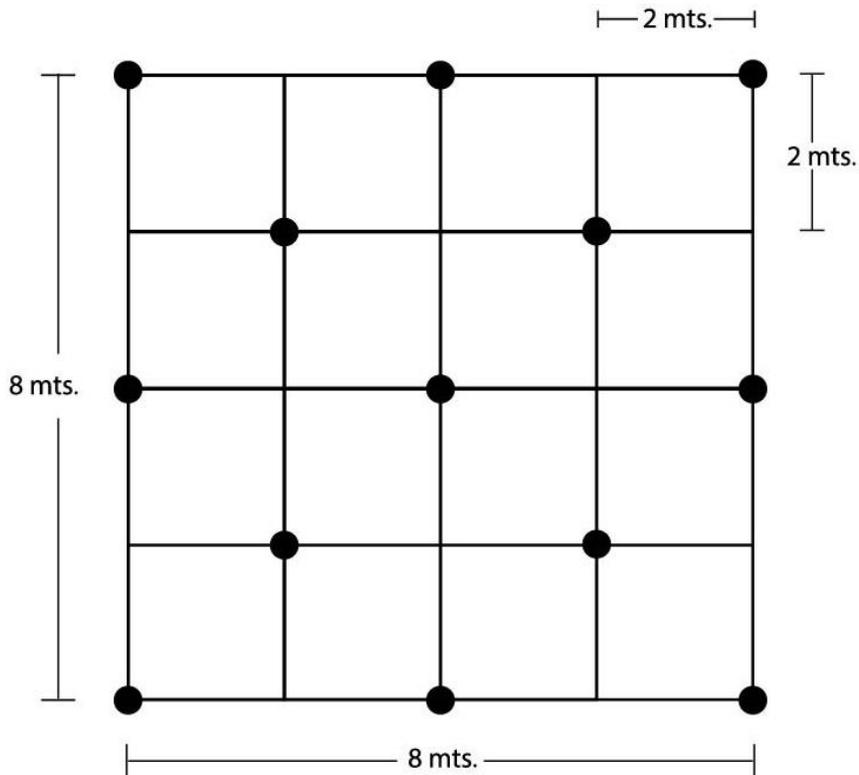
$$A_c = 28\,724 * \sqrt{\frac{33 * 1}{\log \left[ \frac{1\,084 - 30}{234 + 30} + 1 \right]}} = 124\,166 \text{ Cmils}$$

De acuerdo a lo calculado es necesario utilizar un conductor 4/0

### 3.9.1.3. Cálculo de la malla de tierra

Se propone entonces una malla de 8x8 metros, con espaciamento entre conductores de 2 metros, con una resistividad máxima y trece electrodos tipo varilla de 8 pies de largo y 5/8 de pulgada de diámetro.

Figura 52. Malla propuesta de tierra



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Se tiene entonces

$$L_c = 5 \times 8 + 5 \times 8 = 80,00 \text{ metros}$$

$$L_v = 13 \times 2,44 = 31,72 \text{ metros}$$

$$\text{Longitud total} = L_c + L_v = 111,72 \text{ metros}$$

$$D = \text{distancia entre conductores} = 2 \text{ metros}$$

### 3.9.1.4. Límite de tensiones peligrosas

Para una persona de 70Kg se tiene, que el voltaje de paso tolerable viene dado por la ecuación.

$$V_{PTol} = \frac{(1\,000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_c}}$$

Y el voltaje de contacto tolerable está dado por la ecuación

$$V_{CTol} = \frac{(1\,000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_c}}$$

Donde

$C_s$  = coeficiente en función del terreno y la capa superficial

$\rho_s$  = resistividad aparente de la capa superficial del terreno, en el caso de este diseño se usara arena = 3 000  $\Omega$ -metro

$t_c$  = tiempo de despeje de la falla = 1 seg

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 * h_s + 0,09}$$

Donde:

$\rho$  = resistividad del terreno

$\rho_s$  = resistividad de la capa superficial

$h_s$  = espesor de la capa superficial = 0,05 metros

sustituyendo valores

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \frac{62}{3000} \right)}{2 * 0,05 + 0,09}$$

$$C_s = 0,536$$

Calculando el valor del voltaje de paso tolerable

$$V_{PTol} = \frac{(1000 + 6 * 0,536 * 3000) * 0,157}{\sqrt{1}}$$

$$V_{PTol} = 1671 \text{ voltios}$$

Calculando el valor del voltaje contacto tolerable

$$V_{CTol} = \frac{(1000 + 1,5 * 0,536 * 3000) * 0,157}{\sqrt{1}}$$

$$V_{CTol} = 536 \text{ voltios}$$

### 3.9.1.5. Cálculo de la resistencia de malla

Para el cálculo de la resistencia de la malla, se utilizará las ecuaciones de Schwarz, que usa la siguiente expresión para combinar la resistencia de la parrilla, varillas y la resistencia mutua entre estas dos, para obtener  $R_g$ .

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

Dónde:

$R_1$  = resistencia de tierra de los conductores de la parrilla en Ohm.

$R_2$  = resistencia de tierra de todas las varillas en Ohm.

$R_{12}$  = resistencia mutua entre el conductores de la parrilla y varillas

Calculando la resistencia de tierra de los conductores de la parrilla.

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

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

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

Calculando  $K_1$  y  $K_2$ .

$$K_1 = -0,05 * \left( \frac{8}{8} \right) + 1,2 = 1,15$$

$$K_2 = 0,1 * \left( \frac{8}{8} \right) + 4,68 = 4,78$$

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

$$R_1 = \frac{62}{\pi * 80} \left[ \ln \left( \frac{2 * 80}{\sqrt{0,01 * 0,7}} \right) + \frac{1,15 * 80}{\sqrt{64}} - 4,78 \right]$$

$$R_1 = 3,51 \text{ ohm}$$

Calculando la resistencia de las varillas.

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

Dónde:

n = número de varillas.

L<sub>2</sub>= longitud de varilla en m.

d<sub>2</sub>= diámetro de la varilla en m.

$$R_2 = \left( \frac{62}{2 * 13 * \pi * 2,4} \right) \left[ \ln \left( \frac{8 * 2,4}{0,016} \right) - 1 + 2 * 1,15 * \left( \frac{2,4}{\sqrt{64}} \right) (\sqrt{13} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 3,26 \text{ ohm}$$

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

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

$$R_{12} = \frac{62}{80\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 * 80}{2.4} \right) + 1,15 \left( \frac{80}{\sqrt{64}} \right) - 4,78 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 2,83 \text{ Ohm}$$

Entonces

$$R_g = \frac{3,51 * 3,26 - 2,83^2}{3,51 + 3,26 - 2,83}$$

$$R_g = 0,87 \text{ Ohm}$$

### 3.9.1.6. Cálculo del gradiente de potencial

Para calcular el gradiente remoto de potencial se tiene que

$$GRP = I_g * R_g$$

Donde

Rg = el valor de la puesta a tierra calculada

Ig = corriente de falla a tierra

$$I_g = 1,2 * I_{CCprim}$$

$$I_g = 1,2 * 458$$

$$I_g = 549 \text{ amperios}$$

Entonces

$$GRP = I_g * R_g$$

$$GRP = 549 * 0,87$$

$$GRP = 470 \text{ voltios}$$

Para que el sistema sea seguro se debe cumplir que el voltaje de contacto tolerable sea mayor que el gradiente remoto de potencial.

Tabla LIX. **Comparación voltaje de contacto tolerable vrs. GPR**

	Tolerable	GPR
Voltaje de contacto	536 voltios	478 voltios

Fuente: elaboración propia.

### 3.9.1.7. Cálculo de la tensión de malla en caso de falla

Para la solución de las siguientes ecuaciones se utilizaron los valores que han sido calculados durante el desarrollo del diseño de la malla de tierra y que se resumen a continuación.

Tabla LX. **Valores para el cálculo de tensión de malla bajo falla**

Resistividad del terreno	62 Ohmios- metro
Corriente $I_g$	549 Amp-
Longitud total del cable de la parrilla	80 metros
Longitud de las varillas	2,4 metros
Número total de varillas	13
Longitud total de conductores de la malla	111,72 metros
Longitud de la parrilla lado 1	8 metros
Longitud de la parrilla lado 2	8 metros

Continuación de la tabla LX.

Área total de la parrilla	64 metros cuadrados
Profundidad del enterramiento de la parrilla	0,7 metros

Fuente: elaboración propia.

La longitud del perímetro está dada por la siguiente ecuación

$$L_p = (L_1 + L_2) * 2$$

$$L_p = (8 + 8) * 2$$

$$L_p = 32 \text{ metros}$$

El factor geométrico se calcula de

$$n = n_a + n_b + n_c$$

Siendo

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

$$n_a = \frac{2 * 80}{32}$$

$$n_a = 5$$

$$n_b = \sqrt{\left(\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}\right)}$$

$$n_b = \sqrt{\left(\frac{32}{4 * \sqrt{64}}\right)}$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = \left(\frac{L_1 * L_2}{A}\right)^{\frac{0,7A}{L_1 * L_2}}$$

$$n_c = \left(\frac{8 * 8}{64}\right)^{0,7 * \frac{64}{8 * 8}}$$

$$n_c = 1$$

De donde se tiene que

$$n = 5 + 1 + 1$$

$$n = 7$$

El factor  $K_i$  se obtiene de la siguiente ecuación

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 7$$

$$K_i = 1,68$$

El factor de corrección de profundidad se calcula a partir de

$$K_h = \sqrt{(h + 1)}$$

$$K_h = \sqrt{(0,7 + 1)}$$

$$K_h = 1,30$$

El factor de espaciamento está dado por

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln \left[ \frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right] \right]$$

Donde:

D = distancia entre electrodos, metros

H = profundidad de la parrilla, = 0,7 metros

D = diámetro del conductor, metros

Kii = 1 para mallas con electrodos

D = diámetro del conductor calibre 2/0= 0,007 metros

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left[ \ln \left[ \frac{4}{16 * 0,7 * 0,01} + \frac{(2 + 2 * 0,7)^2}{8 * 2 * 0,01} - \frac{0,7}{4 * 0,01} \right] + \frac{1}{1,30} \right. \\ \left. * \ln \left[ \frac{8}{\pi * (2 * 7 - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0,520$$

Para calcular el voltaje de malla se tiene la siguiente ecuación

$$V_{malla} = \frac{\rho * I_g * K_m * K_i}{L_c + \left[ 1,55 + 1,22 * \left( \frac{L_v}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right] * N * L_v}$$

Donde:

$\rho$  = resistividad = 62 Ohm-metro

$I_g$  = corriente de tierra = 541 amperios

$L_c$  = longitud de cable = 80 metros

$L_v$  = longitud de los electrodos tipo varilla = 2,44 metros

$N$  = número de electrodos tipo varilla = 13

$$V_{\text{malla}} = \frac{62 * 549 * 0,520 * 1,68}{80 + \left[ 1,55 + 1,22 * \left( \frac{2,44}{\sqrt{64 + 64}} \right) \right] * 13 * 2,44}$$

$$V_{\text{malla}} = 216,24 \text{ voltios}$$

### 3.9.1.8. Cálculo de la tensión de paso en caso de falla

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} * (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

Donde:

D = distancia entre conductores = 2 metros

h = profundidad de la malla = 0,7 metros

n = factor geométrico = 7

Calculando Ks

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * 0,7} + \frac{1}{2 + 0,7} + \frac{1}{2} * (1 - 0,5^{7-2}) \right]$$

$$K_s = 0,4836$$

El voltaje de paso en caso de falla esta dado

$$V_{\text{paso}} = \frac{\rho * I_g * K_s * K_i}{0,75 * L_c + 0,85 * N * L_v}$$

Ks = factor de espaciamiento para tensión de paso

Ki = factor de corrección por geometría de malla

Ig = corriente de falla a tierra, amperios

Lc = longitud del conductor horizontal, metros

N = número de electrodos tipo varilla

Lv= longitud de un electrodo tipo varilla, metros

$$V_{\text{paso}} = \frac{62 * 541 * 0,4836 * 1,68}{0,75 * 80 + 0,85 * 13 * 2,44}$$

$$V_{\text{paso}} = 200,9 \text{ voltios}$$

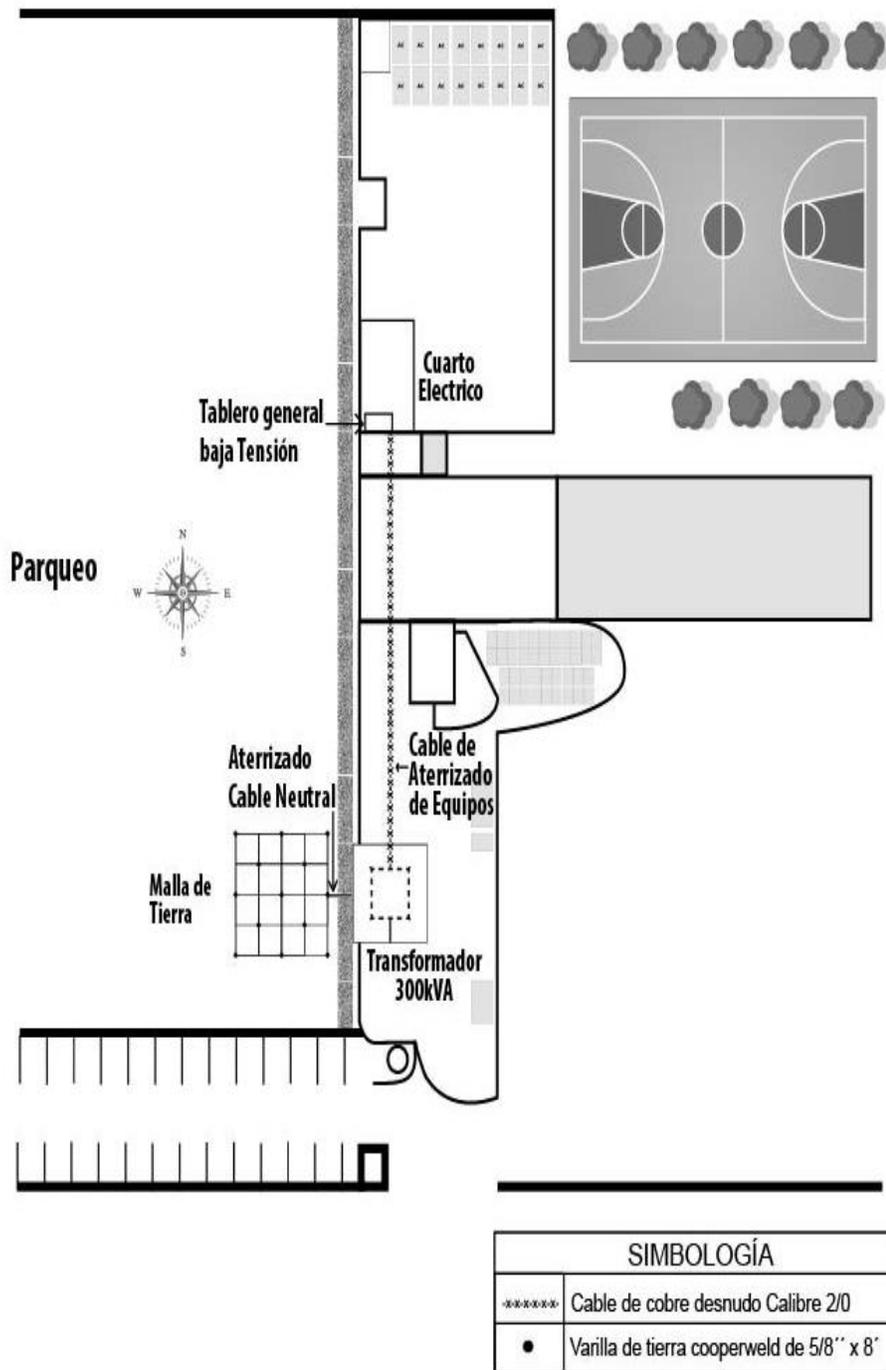
Para que el sistema sea seguro se debe cumplir que el voltaje de contacto tolerable sea mayor que el voltaje de malla bajo falla; en la siguiente tabla se comparan dichos valores:

Tabla LXI. **Comparación voltaje tolerable vrs. tensión bajo falla**

	Tolerable	Tensión bajo falla
Voltaje de contacto	536 voltios	200,9 voltios
Voltaje de paso	1 671 voltios	216,24 voltios

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Sistema de tierra propuesto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

### **3.10. Pararrayos**

El equipo de pararrayos tiene la función de resguardar la seguridad de las personas y la protección de los equipos.

Los pararrayos activos o PDC: poseen un sistema de cebado, que es activado por el mismo campo eléctrico que se forma en una tormenta. El sistema de cebado logra ionizar el aire produciendo un trazador ascendente, que se anticipa al rayo interceptándolo en su descenso para después desalojarlo por medio de los cables bajantes.

Un equipo de pararrayos PDC debe estar conectado con al menos 2 cables bajantes y conectados sólidamente al mismo circuito de puesta a tierra existente. De preferencia los cables bajantes debes ser instalados en el exterior del edificio, en caso no ser posible esto, se pueden instalar canalizados, pero deben estar solos, en ductos específicos, aislantes y no inflamables.

Es necesario colocar un contador de rayos, para llevar la cuenta si el edificio fue alcanzado por una descarga; que siendo el caso que así fuera, habrá que realizar un mantenimiento para revisar todo el sistema de pararrayos, tierras, cables bajantes, entre otros.

Finalmente, hay que hacer notar que la punta del pararrayos debe ser instalada por lo menos dos metros sobre el nivel más alto de la estructura que debe ser protegida debiendo ser todas las partes metálicas que estén sobre el edificio conectadas eléctricamente para evitar la aparición de chispas.

### 3.10.1. Diseño del sistema de protección contra descargas electro atmosféricas

Actualmente, el Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica no cuenta con un sistema de pararrayos. La frecuencia aceptable de un rayo directo sobre un edificio, se calcula usando la siguiente ecuación

$$N_d = N_{gmax} * A_e * C_1 * 10^{-6}$$

Donde:

$N_d$  = el promedio anual de la frecuencia de un rayo directo sobre un edificio

$A_e$  = área de captura del edificio

$C_1$  = coeficiente relacionado con el entorno del edificio

Se tiene también que

$$N_{gmax} = 2 * N_g$$

Donde:

$N_g$  = es la densidad anual de caída de rayos por kilómetro<sup>2</sup> en la región.

$$N_{gmax} = N_k / 10$$

Donde:

$N_k$  = nivel cerámico de la región.

El área de captura equivalente del edificio está dado por

$$A_e = L * W + 6H(L + W) + 9\pi H^2$$

Donde:

L = largo del edificio, metros

W = ancho del edificio, metros

H = altura del edificio, metros

La topografía del sitio y los objetos localizados a menos de una distancia 3H de la estructura afectan significativamente el área de captura.

El coeficiente ambiental C1, se obtiene de la tabla LXII que toma en cuenta el entorno del edificio.

Tabla LXII. **Coeficiente ambiental C1**

Localización relativa de estructuras	C1
Estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0,25
Estructuras más bajas	0,50
Sin estructuras a una distancia menor de 3H	1,00
Edificio aislado en una cumbre	22,00

Fuente: elaboración propia.

Para calcular la frecuencia aceptable de un rayo sobre un edificio se usó la siguiente ecuación.

$$N_c = \frac{5,5 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$$

Donde:

C2= coeficiente de construcción

C3= coeficiente de contenido de la estructura

C4= coeficiente de ocupación de la estructura

C5= coeficiente de consecuencias de la caída de un rayo

Tabla LXIII. **Coficiente estructural C2**

C2, Coeficiente estructural			
Techo	Metal	Común	Inflamable
Estructura			
Metal	0,5	1	2
Común	1	1	2,5
Inflamable	2	2,5	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **Coefficiente de contenido de estructura C3**

C3, Contenido de estructura	
Sin valor y no inflamable	0,5
Valor común o normalmente inflamable	1
Alto valor o particularmente inflamable	2
Valor excepcional, irremplazable o altamente inflamable, explosivo	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXV. **Coefficiente de ocupación de estructura C4**

C4, Ocupación de estructura	
Desocupada	0,5
Normalmente ocupada	1
Evacuación dificultosa o riesgo de pánico	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Coficiente de consecuencias de la caída de un rayo C5**

C5, consecuencias de la caída de un rayo	
Continuidad de servicio no requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	1
Continuidad de servicio requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	5
Consecuencias en el ambiente	10

Fuente: Coeficiente de consecuencias de la caída de un rayo. C5Tabla B8, NF C 17-102.

Tabla LXVII. **Valores críticos de E correspondientes al nivel de protección**

E Valor calculado	Nivel de protección Asociado	Corriente pico I (kA)	Distancia de Iniciación D (m)
$E > 0,98$	Nivel I + Medidas adicionales	-----	-----
$0,95 < E \leq 0,98$	Nivel I	2,8	20
$0,80 < E \leq 0,95$	Nivel II	9,5	45
$0,00 < E \leq 0,80$	Nivel III	14,7	60

Fuente: elaboración propia.

Entonces

$N_d > N_c$  indica que existe la obligación de instalar un pararrayos y el nivel de protección se calcula con la siguiente relación.

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$N_d < N_c$  no hay obligación de instalar protección contra rayos.

### 3.10.2. Cálculo del pararrayos

$$N_{gmax} = N_k / 10$$

De tabla núm. 1 en el anexo

$$N_k = 7,86 + 23 = 30,86$$

Para el cálculo se tomará  $N_k = 31$

Entonces

$$N_{gmax} = 31/10$$

$$N_{gmax} = 3,1$$

$$A_e = L * W + 6H(L + W) + 9\pi H^2$$

Para el cálculo se toman los siguientes valores obtenidos de la medición del edificio que ocupa el hospital.

$$L = 102 \text{ metros}$$

$$W = 25 \text{ metros}$$

H = 12 metros

$$A_e = 102 * 25 + 6 * 12 * (102 + 25) + 9 * \pi * 12^2$$

$$A_e = 15\,766 \text{ m}^2$$

Entonces

$$N_d = N_{gmax} * A_e * C_1 * 10^{-6}$$

$$N_d = 3,1 * 21\,154 * 0,25 * 10^{-6}$$

$$N_d = 12,2 \times 10^{-3}$$

Cálculo de  $N_c$

$$N_c = \frac{5,5 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$$

Usando las tablas para obtener los valores  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  se tiene que

$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
1	2	3	5

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

$$N_c = \frac{5,5 * 10^{-3}}{30}$$

$$N_c = 1,84 * 10^{-4}$$

Comparando los valores de  $N_d$  y  $N_c$  se observa que  $N_d$  es mayor que  $N_c$  y por lo tanto es obligatorio instalar el equipo de pararrayos

Calculando el nivel de protección necesario

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

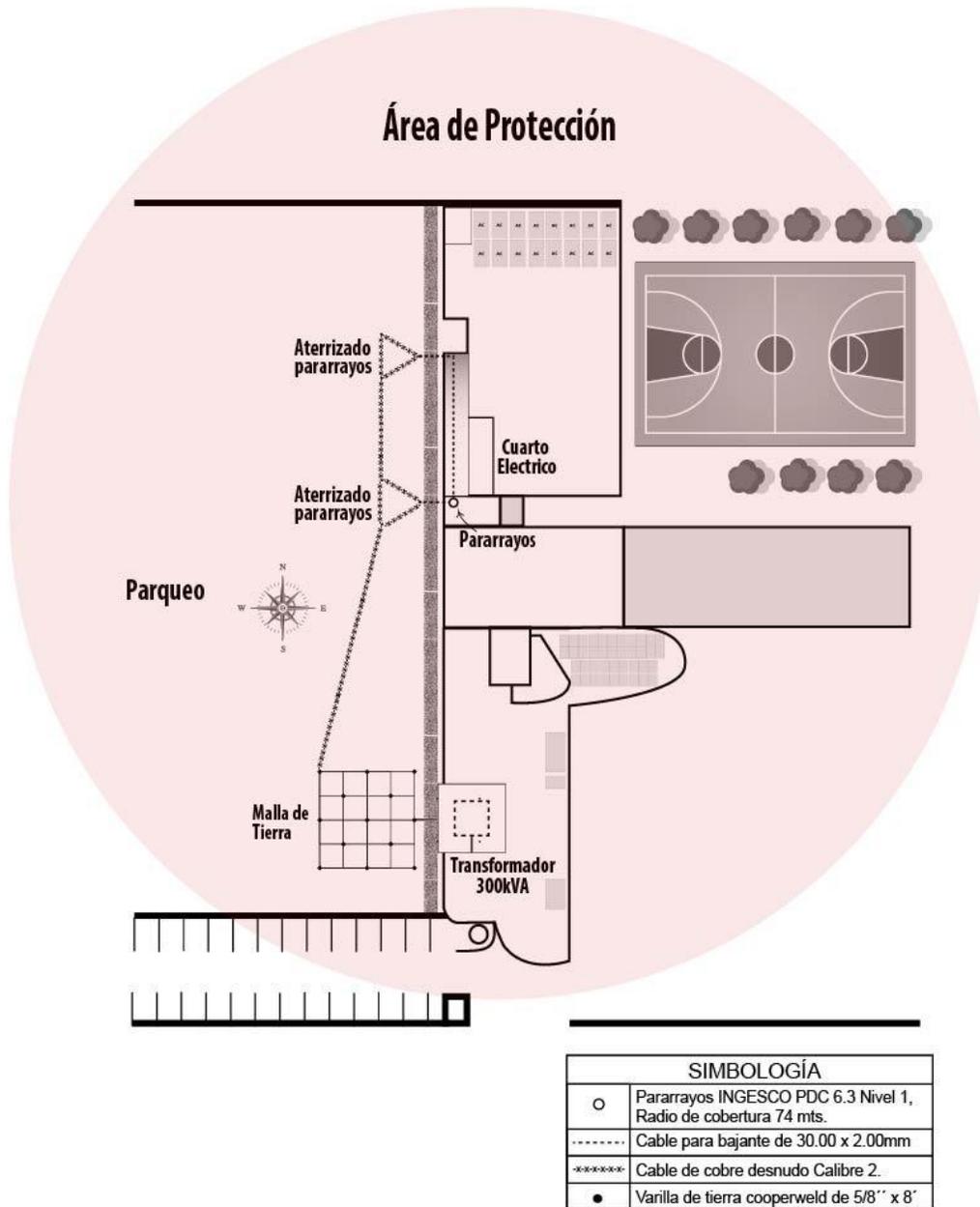
$$E \geq 1 - \frac{1,84 * 10^{-4}}{12,2 * 10^{-3}}$$

$$E \geq 0,98$$

Entonces el nivel necesario de protección, de acuerdo a la tabla de valores críticos  $E$ , será nivel I.

Se instalará un pararrayos ubicado según se muestra en el siguiente plano, la posición para instalar la punta será sobre el habitáculo de gradas a dos metros de altura sobre la loza del mismo.

Figura 54. Área protegida por la acción del pararrayos propuesto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Se recomienda dos bajantes por cada pararrayos. Para el aterrizado se instalara, por cada bajante, para la puesta a tierra, una delta de 1 varilla de cobre de 2,44 metros en cada vértice de la misma, separadas 5 metros cada una. En cada varilla de tierra se deberá tratar el suelo excavando un pozo de 0,7 metros de profundidad con un diámetro de 0,30 metros, tratando el suelo con acondicionadores químicos. Las varillas serán unidas con cable de cobre desnudo calibre 2, con una profundidad de 0,75 metros.

Se deberá dejar una caja de registro para dar mantenimiento al sistema de tierra de cada bajante, el lugar en donde la caja deberá estar instalada es en la varilla en la cual se empalma con el cable bajante; se deberá dejar una unión pernada, para poder desconectar el bajante y del punto de puesta a tierra, para hacer las mediciones necesarias del electrodo de tierra para la verificación y mantenimiento del mismo.

### **3.11. Diseño de unidad de potencia ininterrumpida UPS**

Actualmente, el Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica no cuenta con un sistema regulado y ha suplido la falta del mismo, implementando pequeñas unidades portátiles de UPS donde sea necesario.

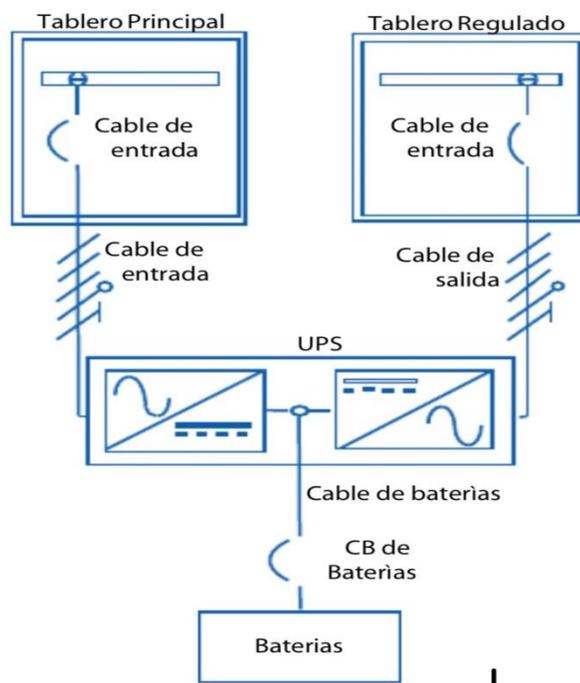
Se conocen dos tipos de unidad de potencia ininterrumpida:

- En línea.
- Fuera de línea o de respaldo.

Una unidad de potencia ininterrumpida en línea está conectada permanentemente a la red eléctrica que alimenta sus baterías y a la red que debe suministrar servicio, de tal manera que exista o no evento eléctrico que

amerite que entre en funcionamiento la unidad siempre estará disponible, por lo tanto no hay un tiempo de retardo de conmutación interna para que entre el sistema de soporte de la ups, mientras la planta de emergencia arranca, calienta y entra a funcionar.

Figura 55. **Diagrama de UPS en línea doble conversión**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.11.1. Caracterización de la carga

El Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica, cuenta con los siguientes equipos médicos que por su aplicación deben estar instalados en un circuito regulado.

Tabla LXVIII. **Caracterización de la carga del equipo médico regulado**

<b>Cantidad</b>	<b>Nombre</b>	<b>Marca</b>	<b>Voltaje</b>	<b>POTENCIA SEGUN PLACA VA</b>	<b>CARGA INSTALADA VA</b>	<b>Equipo funcionando simultaneamente</b>	<b>CARGA DEMANDADA VA</b>	
228	Bombas de infusion	JMS	120	12	2736	228	2736	
121	Perfusores de Jeringas	JMS	120	15	1815	121	1815	
47	Monitores de signos vitales	General Electric	120	150	7050	47	7050	
9	Monitores de signos vitales	Edan	120	95	855	9	855	
1	Monitor de signos vitales anestesia	General Electric	120	150	150	1	150	
10	Ventiladores convencionales	Avea	120	300	3000	10	3000	
3	Ventiladores alta frecuencia	Carfusion	120	750	2250	3	2250	
1	Reveladora de peliculas	Fisher	120	1000	1000	1	1000	
1	Equipo de Rx movil	Apelem	120	1200	1200	1	1200	
1	Desfibrilador	HP	120	200	200	1	200	
1	Desfibrilador	Phillips	120	200	200	1	200	
1	Desfibrilador	Advanced	120	150	150	1	150	
4	Electrocirugia	Erbe	120	30	120	4	120	
2	Maquina de anestesia	Penlon	120	220	440	2	440	
8	Mesas de examen	Midmark	120	440	3520	8	3520	
40	Camas Hospitalarias electricas	Stryker	120	750	30000	10	7500	
5	Campanas de flujo laminar farmacia	Thermo	120	1000	5000	5	5000	
					<b>CARGA TOTAL INSTALADA VA</b>	59686	<b>CARGA TOTAL DEMANDADA VA</b>	37186

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar el equipo permanece funcionando permanentemente en su totalidad a excepción de las camas hospitalarias eléctricas.

### 3.11.2. Cálculo de la unidad de UPS

La potencia total demandada es de aproximadamente 40 kVA. Para futuras ampliaciones se dejará un 30 % de la demanda actual, es decir, se diseñará el UPS para una demanda futura total de 57 kVA, aproximando a valores comerciales se necesita entonces una unidad de 60 kVA.

Dado que el hospital ya cuenta con el tablero que fue diseñado para el ramal regulado y este es trifásico 120/208 voltios conexión estrella, se diseñará la unidad de potencia ininterrumpida trifásica, entonces asumiendo un sistema balanceado, en cada fase se tendrá.

$$I_f = \frac{S * 1\ 000}{\sqrt{3} * V_f}$$

Donde:

S = potencia aparente 60 kVA

V<sub>f</sub> = voltaje de fase = 208 voltios

I<sub>f</sub> = corriente de fase

Entonces

$$I_f = \frac{60 * 1\ 000}{\sqrt{3} * 208}$$

$$I_f = 166,7 \text{ amperios}$$

El tablero que está instalado para el sistema regulado tiene una capacidad en barras de 400 amperios, por lo que puede manejar esta carga de diseño.

Finalmente, para no sobrecargar y calentar la unidad de potencia ininterrumpida, la potencia deberá ser de 100kVA.

### **3.11.3. Resumen de características del UPS necesario**

Unidad de potencia ininterrumpida de 100kVA, trifásica, 208/120 Voltios, tipo en línea, con sistema de baterías para un mínimo de soporte de 90 minutos al 100 % de carga.

### **3.12. Trabajos necesarios para mejorar o remodelar la instalación eléctrica del hospital con referencia a Normas NEC 2017**

En general la red eléctrica del Hospital de la Unidad Nacional de Oncología pediátrica está diseñada y operando aún por debajo de lo que es una instalación industrial, de tal manera que no cumple con muchos parámetros que calificarían, según el NEC, a la instalación eléctrica como apta para suministrar el servicio a una institución dedicada al servicio del cuidado de la salud, a continuación se detallan algunas discrepancias que se observan en la instalación eléctrica actual.

#### **3.12.1. Transformadores y bóvedas para transformadores**

Actualmente el transformador de potencia del hospital se encuentra en un lugar a semiabierto, bajo techo, ubicado en el área de parqueo y no cumple con la norma de seguridad.

Artículo 100 Definición: Subestación (*Substation*). Ensamblaje cubierto de un equipo (por ejemplo, interruptores, dispositivos de interrupción, barras colectoras y transformadores), a través del cual pasa la energía eléctrica con fines de distribución, conmutación o modificación de sus características.

Artículo 450,23: transformadores aislados con líquidos de baja inflamabilidad. Se permitirá instalar transformadores aislados con líquidos listados cuyo punto de inflamación no sea inferior a 300 °C, de acuerdo con las secciones 450,23 (A) o 450,23 (B).

(A) Instalaciones en interiores. Las instalaciones en interiores se permitirán de acuerdo con una de las siguientes:

(1) En edificios de tipo I o tipo II, en áreas donde se cumplan todos los requisitos siguientes:

- El transformador sea para 35 000 voltios nominales o menos.
- No se almacenen materiales combustibles.
- Se proporcione un área de confinamiento de líquidos.
- La instalación cumpla todas las restricciones previstas en el listado del líquido.

(2) Con un sistema automático de extinción de incendios y un área de confinamiento de líquidos, siempre que el transformador sea para 35 000 voltios nominales o menos.

### **3.12.2. Sistema eléctrico esencial**

El hospital no cuenta con un sistema eléctrico esencial tal como lo tipifica el NEC violando el siguiente artículo.

Artículo 517.25. Alcance. El sistema eléctrico esencial para estas instalaciones debe constar de un sistema capaz de alimentar un número limitado de servicios de alumbrado y fuerza, que se consideren esenciales para la seguridad de la vida y que interrumpa ordenadamente los procedimientos durante el tiempo en que el servicio eléctrico normal está interrumpido por cualquier razón.

Esto incluye clínicas, consultorios médicos y odontológicos, instalaciones de atención ambulatoria, centros de atención con enfermeras, centros de cuidados limitados, hospitales y otras instalaciones para el cuidado de la salud que atiendan pacientes.

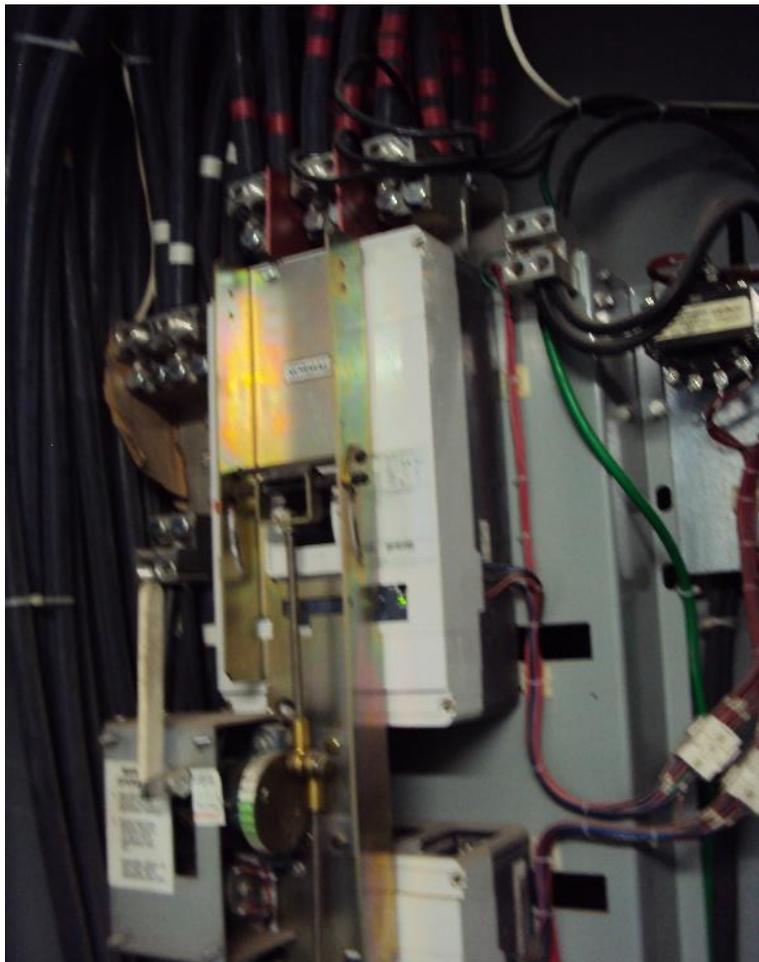
#### **3.12.2.1. Panel de transferencia**

En la actualidad no se cuenta con una instalación tal como la solicita el código y la carga esta aplicada a un solo panel de transferencia sin una separación de cargas esenciales y no esenciales lo cual es una violación al código de NEC.

El panel de transferencia ubicado en el cuarto eléctrico soporta totalmente el cambio de toda la carga instalada en el hospital. La potencia de cambio es actualmente de 150 kVA.

El armario está rebasado en capacidad en cuanto a la cantidad de conductores que puede manejar, permanece con la puerta abierta por el mismo motivo. Teniendo incluso un cartón como separador de los cables.

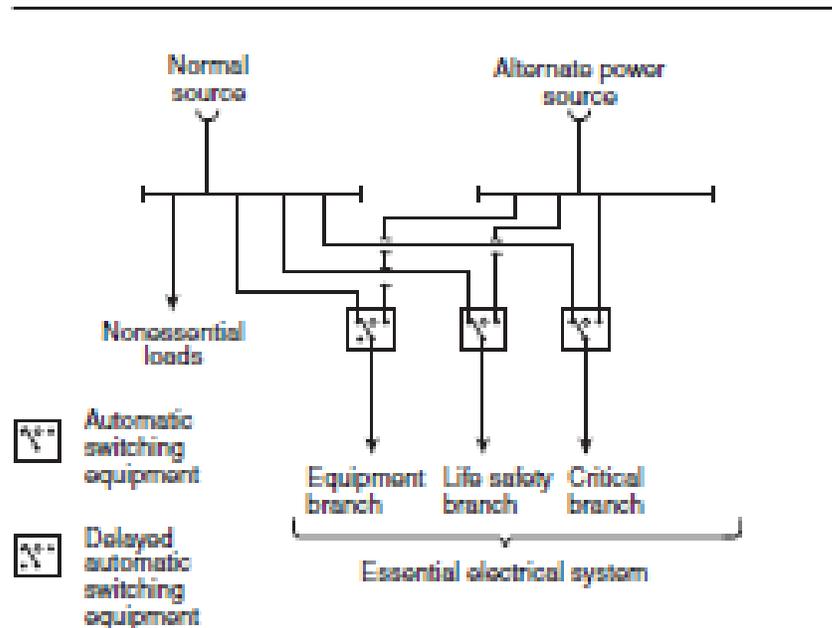
Figura 56. **Tablero de transferencia**



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

En la figura 57 se observa un diagrama propuesto por el NEC 2017 para el sistema de transferencia en instituciones al cuidado de la salud.

Figura 57. Diagrama para cargas mayores a 150 kVA



**Informational Note Figure 517.31(a) Hospital — Minimum Requirement (greater than 150 kVA) for Transfer Switch Arrangement.**

Fuente Código Eléctrico Nacional. NEC. 2017.

### 3.12.3. Planta eléctrica de emergencia

De acuerdo al estudio realizado los conductores que alimentan el panel de transferencia procedente del panel de la planta eléctrica de emergencia están trabajando sobrecargados, al respecto el NEC 2017, aclara

Artículo 445 numeral 13. Ampacidad de los conductores. La ampacidad de los conductores, desde los terminales del generador hasta el(los) primer(os) dispositivo(s) de distribución que contiene(n) protección contra sobrecorriente, no debe ser inferior al 115 % de la corriente nominal marcada en la placa de características del generador. Debe permitirse dimensionar los conductores del

neutro de acuerdo con la sección 220.61. Los conductores que deban conducir las corrientes de falla a tierra no deben ser menores de lo exigido en la sección 250,30(A). Los conductores del neutro de generadores de c.c. que deban conducir las corrientes de falla a tierra no deben tener un calibre inferior al calibre mínimo exigido al conductor más grande. Cuando el diseño y funcionamiento del generador eviten las sobrecargas, la ampacidad de los conductores no debe ser inferior al 100 % de la corriente nominal marcada en la placa de características del generador.

Sugerencia: los datos de placa del grupo de emergencia marcan una corriente de placa de 521,9 amperios, se recomienda instalar entonces 1 hilo extra por fase de cable aluminio calibre 500 MCM aislamiento XHHW-2.

#### **3.12.4. Tableros Eléctricos**

Artículo 100 :equipo del tablero de distribución (*Switchgear*). Ensamble completamente encerrado en todos los laterales y en su parte superior con láminas de metal (excepto aberturas de ventilación y ventanas de inspección) y que contiene los dispositivos de conmutación o interrupción de los circuitos de energía principales, o ambos, con barras colectoras y conexiones. Este ensamble puede incluir dispositivos de control y auxiliares. Se accede al interior del envoltorio mediante puertas, cubiertas removibles, o ambas. Nota informativa: todos los equipos de tableros de distribución sujetos a los requisitos establecidos en el NEC están cubiertos por envoltorios de metal. Los equipos de tableros de distribución de un valor nominal menor de 1 000 V o menos pueden ser identificados como tableros de distribución de interruptores automáticos de energía de baja tensión.

Artículo 408 numeral 17. Ubicación con respecto a materiales fácilmente inflamables. Los tableros de distribución y equipos de tableros de distribución se deben colocar de manera que se reduzca al mínimo la probabilidad del paso del fuego hasta materiales combustibles adyacentes. Donde se instalen sobre un piso combustible, se les debe brindar la protección adecuada

Sugerencia: colocar tapaderas a tableros, colocar tapas a las canaletas de los cables y desocupar los ductos eléctricos, pues sirven de bodega.

### **3.12.5. Unidad de potencia interrumpible**

Artículo 100. Fuente de alimentación ininterrumpible (*Uninterruptible Power Supply*). Una fuente de alimentación utilizada para brindar alimentación de corriente alterna a una carga durante un periodo de tiempo en el caso de una falla de energía. Nota informativa: además, puede brindar un mayor voltaje constante y suministro de frecuencia a la carga, reduciendo los efectos del voltaje y las variaciones de frecuencia

Artículo 700 numeral 12(A). Baterías de acumuladores. Las baterías de acumuladores que se utilicen como una fuente de alimentación para sistemas de emergencia deben ser de un valor nominal adecuado para alimentar y mantener durante 1,5 horas como mínimo la carga total, sin que la tensión aplicada a la carga caiga por debajo del 87,5 % de la tensión normal. Las baterías, tanto si son de tipo ácido como alcalino, deben estar diseñadas y construidas de modo que cumplan los requisitos del servicio de emergencia y deben ser compatibles con el cargador para esa instalación en particular. Para baterías selladas, no debe requerirse que el contenedor sea transparente. Sin embargo, las baterías de plomo ácido que necesitan adiciones de agua deben tener contenedores transparentes o translúcidos. No se deben utilizar baterías

de tipo automotriz. Se debe proporcionar un medio de carga automática de las baterías.

Sugerencia: instalar un sistema de UPS con un banco de baterías suficiente para poder brindar carga mínimo por 90 minutos

### **3.12.6. Sistema de tierras**

Artículo 250 numeral 4 NEC 2017. Requisitos generales para la puesta a tierra y la unión. Los requisitos generales siguientes identifican lo que se exige que cumplan las puestas a tierra y las uniones de los sistemas eléctricos. Se deben seguir los métodos normativos contenidos en el artículo 250 para dar cumplimiento a los requisitos de desempeño de esta sección.

- Sistemas puestos a tierra.
  - (1) Puesta a tierra de los sistemas eléctricos. Los sistemas eléctricos puestos a tierra se deben conectar a tierra de manera que limiten la tensión impuesta por descargas atmosféricas, sobretensiones en la línea, o contacto no intencional con líneas de tensión más alta, y que establezcan la tensión a tierra durante la operación normal. Nota informativa: Una consideración importante para limitar la tensión impuesta es el direccionar los conductores del electrodo de puesta a tierra y de unión, de modo tal que no sean más largos de lo necesario para completar la conexión sin perturbar las partes permanentes de la instalación, y así evitar dobleces y bucles innecesarios.

- (2) Puesta a tierra del equipo eléctrico. Los materiales conductores que normalmente no transportan corriente, que albergan conductores o equipo eléctrico, o que forman parte de dicho equipo, deben estar conectados a tierra con el fin de limitar la tensión a tierra en estos materiales.
- (3) Unión del equipo eléctrico. Los materiales conductores que normalmente no transportan corriente, albergan conductores o equipo eléctrico, o forman parte del equipo, se deben conectar entre sí y a la fuente de alimentación eléctrica de manera que establezcan una trayectoria eficaz para la corriente de falla a tierra.
- (4) Unión de materiales conductores eléctricos y otros equipos. Los materiales conductores eléctricos que normalmente no transportan corriente, que tienen probabilidad de energizarse, se deben conectar entre sí y a la fuente de alimentación eléctrica de manera que establezcan una trayectoria eficaz para la corriente de falla a tierra.
- (5) Trayectoria eficaz de la corriente de falla a tierra. Los equipos y el cableado eléctrico y otros materiales conductores eléctricos que tienen probabilidad de energizarse, se deben instalar de forma que creen un circuito de baja impedancia que facilite la operación del dispositivo de protección contra sobrecorriente o del detector de falla a tierra para sistemas de alta impedancia puestos a tierra.

Deben tener la capacidad de transportar con seguridad la corriente máxima de falla a tierra que probablemente se imponga sobre él desde cualquier punto del sistema de cableado en donde pueda ocurrir una falla a

tierra hasta la fuente de alimentación eléctrica. La tierra no se debe considerar como una trayectoria eficaz para la corriente de falla a tierra.

Sugerencia: remodelar el sistema de tierra para el aterrizado del equipo, cable neutral y del pararrayo si se llegara a instalar, realizando las uniones necesarias para tener un solo polo de tierra

### **3.12.7. Protectores de sobretensión**

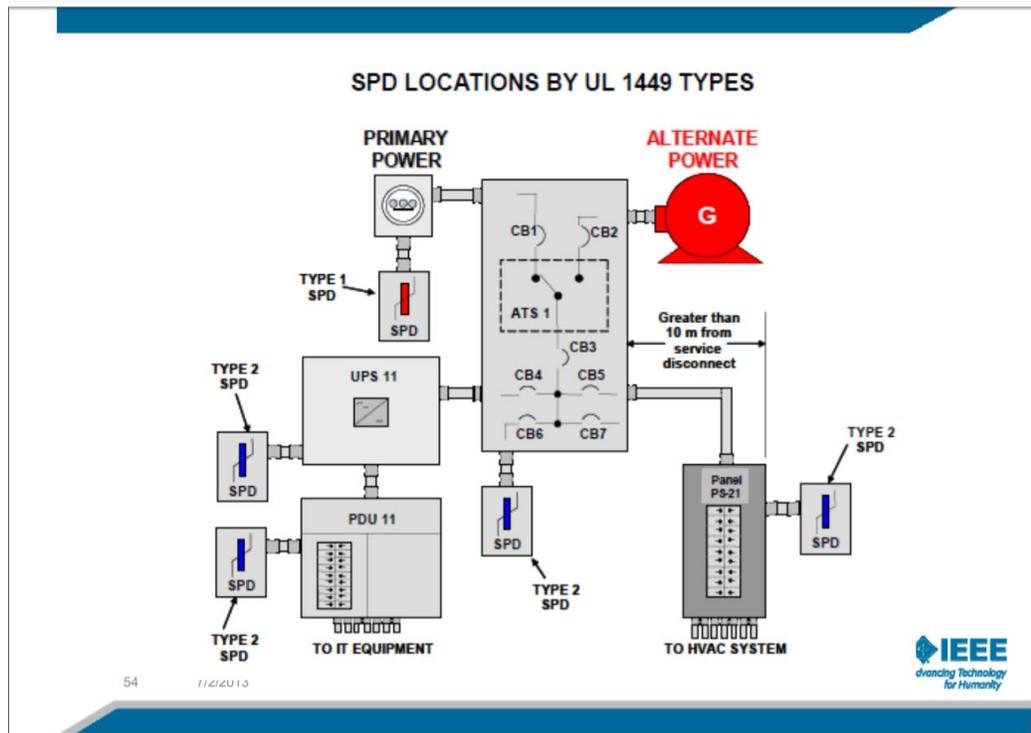
Artículo 285,1 alcance. Este artículo incluye los requisitos generales, los requisitos de instalación y los requisitos de conexión para dispositivos de protección contra sobretensión (SPD), instalados permanentemente en los sistemas de cableado del establecimiento de 1 000 volts o menos.

Artículo 700,8: se debe instalar un supresor de voltaje transitorio en todos los gabinetes y tableros de distribución de los circuitos de emergencia

Se deben instalar en todos los gabinetes y tableros del hospital, de acuerdo a la figura 58

La definición de los tipos de SPD son de acuerdo a la Norma NEC 2017

Figura 58. Colocación de supresores dentro de una instalación



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.



## **4. CÁLCULO PARA VERIFICACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE LA INCORPORACIÓN DEL HOSPITAL NACIONAL DE ONCOLOGÍA PEDIÁTRICA COMO GRAN USUARIO Y PARTICIPAR EN EL MERCADO MAYORISTA.**

### **4.1. Tarifas eléctricas**

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica es a quien le corresponde por ley definir las tarifas eléctricas de transmisión y distribución, y serán determinadas a través de integrar costos de adquisición de potencia y energía, estructurándolas de tal forma que se promueva igualdad entre los consumidores.

### **4.2. Conformación de la tarifa aplicada al hospital**

Actualmente es aplicada al hospital la tarifa de demanda mayor en punta. Las siguientes definiciones son tomadas literalmente de la RESOLUCIÓN NO. CNEE- 15-98

#### **4.2.1. Definiciones de los cargos**

- Cargo por consumidor: es un cargo correspondiente a los costos administrativos de la distribuidora, relacionados con la comercialización de la electricidad.
- Cargo unitario por energía: es un cargo relacionado directamente con el consumo de energía eléctrica del usuario.

- Cargo unitario por potencia contratada: es el cargo relacionado con a la potencia que el usuario contrate con la distribuidora.
- Cargo unitario por potencia en punta: es el cargo aplicado a la potencia demandada por el usuario en el horario de punta. Correspondientes a la potencia máxima integrada en periodos sucesivos de 15 minutos medidos en el horario de punta.

#### **4.3. Requisitos para calificar como gran usuario y participar en el mercado mayorista**

Para ser reconocido como gran usuario se necesita tener una demanda de potencia mayor de 100kW al mes, debiéndose hacer el trámite correspondiente ante el Ministerio de Energía y Minas. Después de lo cual, el usuario podrá negociar directamente con los distintos agentes del mercado mayorista los precios a los cuales podrá comprar la potencia y energía necesaria para sus actividades, en este caso el Hospital tiene una demanda contratada de 133 kW, por lo tanto califica para ser tratado como gran usuario.

#### **4.4. Datos obtenidos por medio de facturas**

Para realizar el siguiente análisis estadístico, se utilizaron las facturas de los consumos de energía eléctrica logrando con ello realizar una simulación de costos que se tendrían sí el Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica hubiera participado y comprado la energía eléctrica en el mercado mayorista.

##### **4.4.1. Simulación de participación en el mercado mayorista**

Para hacer la simulación se tomó un valor máximo demanda en firme en la hora pico DF= 80kW, este dato fue obtenido del estudio de calidad de la

energía realizado en el hospital. De acuerdo a CNEE, la hora pico es de 18:00 horas a 22:00 horas. Los datos obtenidos se tabulan en la tabla LII.

Tabla LXIX. Simulación de pago por consumo de energía eléctrica

DF (2017-2018):	80	kW	Cargos AMN	0.0095	USD/kWh	Peaje Principal:	3.07	USD/kW	Potencia contratada EEGSA	130	kW
Precio Potencia:	4	USD/kW	VAD EEGSA	3.1619	USD/kW	Peaje Secundario	2.35	USD/kW	Cargo Unit. Por pérdidas de	0.001785	kWh
FEE ENERGÍA:	3	USD/MWh									

Mes	Consumo (kWh)	Potencia max. (kW)	Potencia Máx. en el pico (kW)	Desvío de Potencia (kW)	Factor de Carga	Spot real (USD/kWh)	Cargo por Energía * SIS-DIS Y FPN (USD)	Cargos	Desvío de Potencia (USD)	Total sin IVA (USD)	Monómico (USD/kWh)
jun-17	49,700.00	126.00	80.00	-	0.53	0.0508	2,833.24	2,178.24	-	\$5,011	\$0.101
jul-17	51,100.00	119.00	80.00	-	0.58	0.0451	2,604.30	2,177.59	-	\$4,782	\$0.094
ago-17	53,900.00	126.00	80.00	-	0.57	0.0469	2,850.42	2,225.63	-	\$5,076	\$0.094
sep-17	53,200.00	126.00	80.00	-	0.57	0.0409	2,475.04	2,217.74	-	\$4,693	\$0.088
oct-17	51,100.00	126.00	80.00	-	0.55	0.0379	2,215.93	2,194.04	-	\$4,410	\$0.086
nov-17	47,600.00	119.00	80.00	-	0.56	0.0395	2,143.66	2,138.10	-	\$4,282	\$0.090
dic-17	49,700.00	119.00	80.00	-	0.56	0.0457	2,564.75	2,161.80	-	\$4,727	\$0.095
ene-18	44,100.00	105.00	80.00	-	0.56	0.0395	1,986.19	2,065.71	-	\$4,052	\$0.092
feb-18	44,800.00	119.00	80.00	-	0.51	0.0463	2,342.70	2,106.50	-	\$4,449	\$0.099
										\$41,482	\$0.093

Mes	TASA MUNICIPAL	EEGSA (MT)	TARIFA ACTUAL		
			Total actual tarifa sin IVA (USD)	Monómico Actual (USD)	Ahorro estimado
jun-17	Q4,969.51	Q42,814.24	\$5,200.95	\$0.105	\$189.48
jul-17	Q5,066.91	Q43,653.34	\$5,302.88	\$0.104	\$520.99
ago-17	Q5,337.87	Q45,987.78	\$5,586.47	\$0.104	\$510.42
sep-17	Q5,277.91	Q45,471.18	\$5,523.71	\$0.104	\$830.93
oct-17	Q5,098.02	Q43,921.38	\$5,335.44	\$0.104	\$925.48
nov-17	Q4,711.69	Q40,592.99	\$4,931.12	\$0.104	\$649.37
dic-17	Q4,888.74	Q42,118.38	\$5,116.42	\$0.103	\$389.88
ene-18	Q4,372.07	Q37,667.03	\$4,575.68	\$0.104	\$523.78
feb-18	Q4,599.34	Q39,625.04	\$4,813.54	\$0.107	\$364.33
			\$46,386	\$0.104	\$4,905

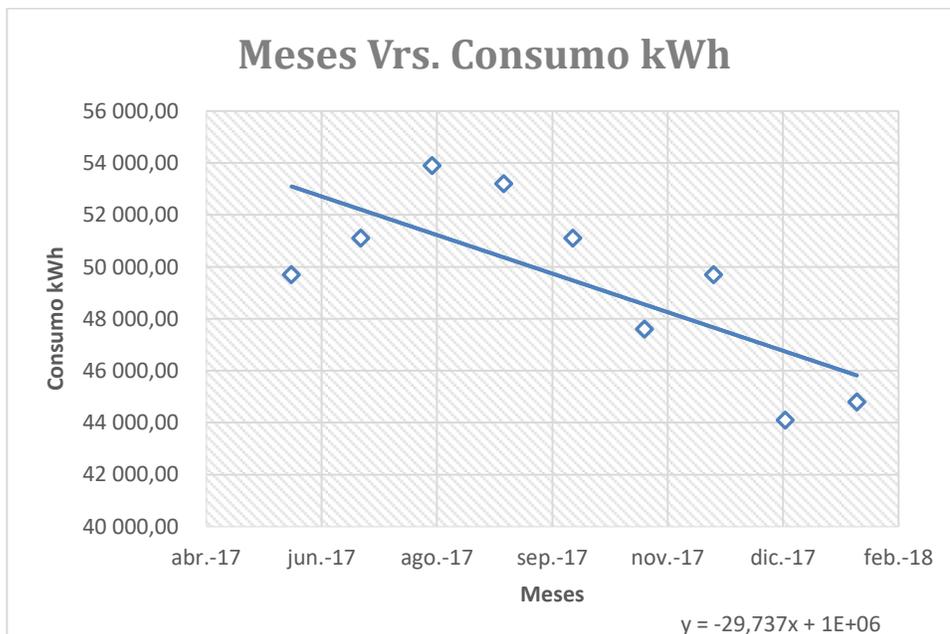
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Norma Técnica de Servicio de Distribución.

Como puede verse en la tabla anterior, se podría obtener un ahorro proyectado anualmente de aproximadamente \$7 000,00 si se participara en el mercado mayorista. Tasa de cambio utilizada \$ 1,00 = Q. 7,30

#### 4.4.2. Consumo

En la figura 59, se muestra la relación entre los meses facturados y el valor de kilovatios hora consumidos, los cuales muestran un incremento en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y bajando hasta diciembre, muy probablemente la demanda de mayor potencia se debe a que en estos meses debido a la temperatura ambiental se demanda más el sistema de aire acondicionado.

Figura 59. Gráfica meses vrs. Consumo kWh

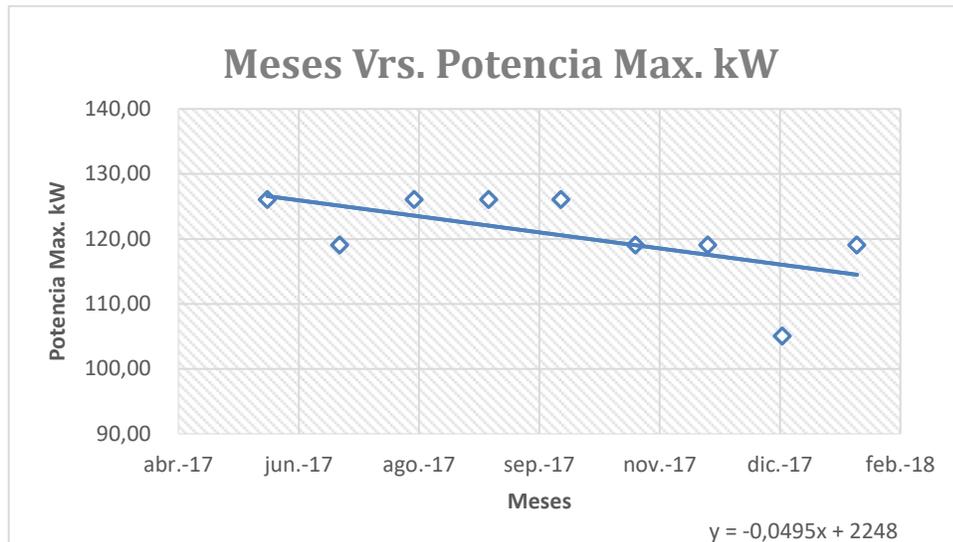


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.3. Potencia máxima demandada

En la figura 60 se muestra la relación entre los meses facturados y la potencia máxima demandada por el Hospital, en ninguno de los meses mostrados se sobrepasó la potencia contratada por el hospital que son 133 kW. También se muestra que en todos los meses la demanda sobrepasó los 100 kW mensuales, que es requisito para poder ser inscrito en el mercado mayorista.

Figura 60. Gráfica meses vrs. potencia máxima kW



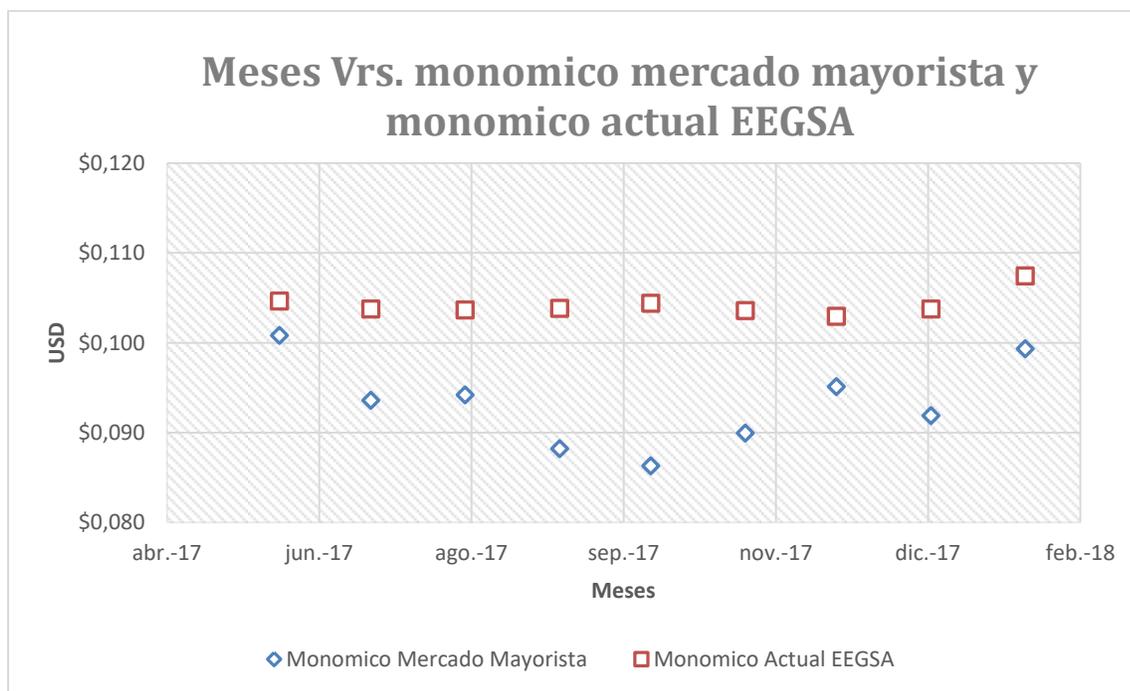
Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.4. Precio monómico.

El precio monómico es la relación de precio (dólares)/ kilovatio hora de consumo. En la figura 61 aparece graficado el precio monómico de la empresa eléctrica de Guatemala y el precio monómico de un comercializador del mercado mayorista. Puede verse como claramente el valor unitario se mantiene para la empresa eléctrica mientras que el valor en el mercado mayorista tiene

una tendencia a la baja durante los meses de agosto, septiembre y octubre, producto de ser los meses de mayor cantidad de lluvia que incide en los costos de generación de energía eléctrica. El hecho de que el valor monómico baje es lo que produce, en dado caso se contratará, el ahorro económico.

Figura 61. **Gráfica meses vrs. monómico**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. El conductor que alimenta el tablero de transferencia proveniente de la planta eléctrica de emergencia no es de calibre adecuado, siendo de urgencia modificar dicha acometida.
2. De acuerdo al estudio de calidad de energía realizado, el Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica, no cumple con lo estipulado por la NTSD, en cuanto a que existe desbalance en las cargas eléctricas conectadas.
3. El sistema de tierra no cumple con lo establecido en normas nacionales e internacionales, pues existe más de un polo de tierra.
4. La instalación eléctrica del hospital no cuenta con mantenimiento preventivo.
5. De acuerdo al estudio realizado para la protección contra descargas electro atmosféricas, existe la obligación de instalar un pararrayos en el edificio del hospital.
6. El estudio estadístico realizado por medio de las facturas por consumo de energía eléctrica y dado que la demanda de potencia sobrepasa los 100 kW, el Hospital está en condición de ser inscrito como gran usuario.



## RECOMENDACIONES

1. Para modificación de la acometida de la planta eléctrica hacia el tablero de transferencia, instalar una línea extra por fase de cable de aluminio XHHW-2, calibre 500MCM.
2. Realizar un estudio de cargas y balancear los circuitos hasta obtener un desbalance de corriente menor al 10 % solicitado por NTSD.
3. Reacondicionar el sistema de tierras existente urgentemente. No hacerlo puede provocar muerte de la o las personas que estuvieran en contacto con el equipo en el momento de producirse una falla. Se recomienda confinar tanto la bóveda del transformador como el cuarto eléctrico, pudiendo entrar solo personal calificado y entrenado.
4. Implementar un plan de mantenimiento programado a las instalaciones del hospital, instruyendo y equipando al personal con cámara termográfica, amperímetro de bobina flexible, analizador de redes y telurómetro, guantes y equipo de seguridad necesarios. En el apéndice de este trabajo se muestra un plan de mantenimiento sugerido.
5. Instalar un sistema de pararrayos no sin antes haber remodelado el sistema de tierras y manteniendo un solo polo de aterrizado.
6. Inscribir al Hospital como gran usuario, de tal manera que pueda la institución negociar el precio de la energía eléctrica que consume.

7. Remodelar la bóveda donde está ubicado el transformador de potencia, para evitar en caso de falla un posible incendio fuera de control, de acuerdo a lo descrito en NEC 2017 artículo 450 parte III bóvedas para transformadores.

## BIBLIOGRAFÍA

1. LAJ HUM, Edgar Yanuario. *Análisis y diagnóstico de las instalaciones eléctricas del antiguo Hospital de Emergencias del IGSS zona 13*, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 226 p.
2. KUMAR JENA, Ranjan *Electrical Power Quality. Biju Patnauk University of Technology Odisha*. 65 p.
3. National Electric Code. 2017.
4. RAMÍREZ CASTAÑO Samuel y CANO PLATA, Eduardo Antonio *Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia*, 2003. 371 p.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Plan de mantenimiento propuesto

Cronograma de servicios de mantenimiento para la red eléctrica interna del Hospital de la Unidad Nacional de Oncología Pediátrica en la ciudad de Guatemala				
Descripción de actividades	semanal	mensual	trimestral	anual
Pruebas eléctricas, fisicoquímicas y cromatografía del transformador de 300kVA				✓
Apretado de bornes en transformador			✓	
Apretado de bornes en tableros			✓	
Estudio de termografía en bornes del transformador			✓	
Estudio de termografía en motores eléctricos			✓	
Estudio de termografía en barras de tableros y panel de transferencia			✓	
Estudio de termografía en <i>breakers</i>			✓	
Estudio de termografía en conductores			✓	
Limpieza de transformador			✓	
Limpieza de tableros eléctricos			✓	
Limpieza de luminarias		✓		
Arranque de planta de emergencia	✓			
Revisión de motor de planta de emergencia	✓			
Revisión de baterías de la planta eléctrica de emergencia	✓			
Revisión del sistema de carga automático de baterías de planta eléctrica de emergencia	✓			
Evaluación de calidad de la energía			✓	
Medición del sistema de puesta a tierra			✓	

Fuente: elaboración propia.



# ANEXOS

## Anexo 1. Ampacidades permitidas para conductores

310.60

ARTICLE 310 — CONDUCTORS FOR GENERAL WIRING

Table 310.15(B)(16) (formerly Table 310.16) Allowable Ampacities of Insulated Conductors Rated Up to and Including 2000 Volts, 60°C Through 90°C (140°F Through 194°F), Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried), Based on Ambient Temperature of 30°C (86°F)\*

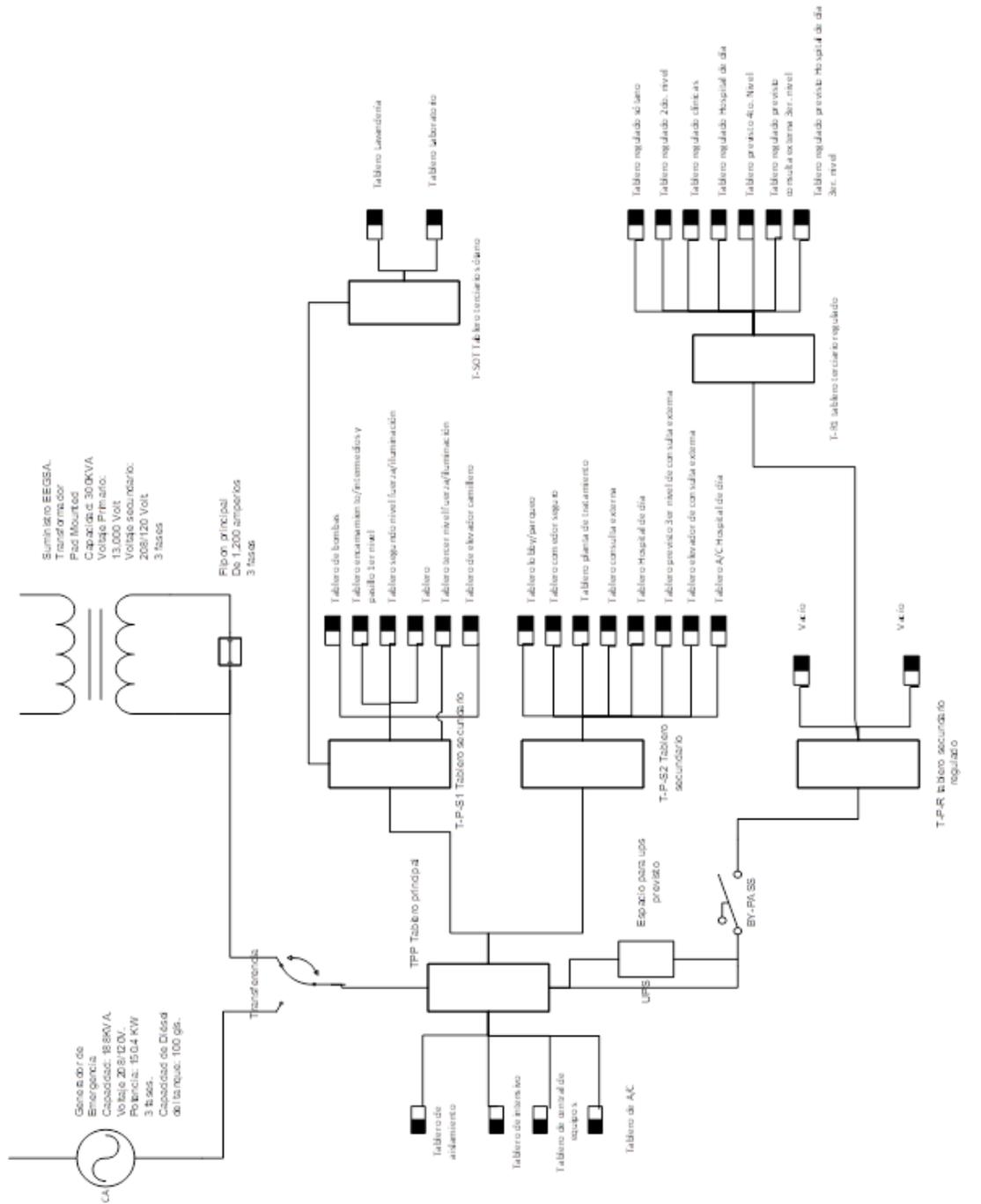
Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).]						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	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	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

\*Refer to 310.15(B)(2) for the ampacity correction factors where the ambient temperature is other than 30°C (86°F). Refer to 310.15(B)(3)(a) for more than three current-carrying conductors.

\*\*Refer to 240.4(D) for conductor overcurrent protection limitations.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

## Anexo 2. Diagrama unifilar antes de este estudio



Fuente: Hospital de la Unidad de Oncología Pediátrica.

Anexo 3. **Relámpagos y truenos por estación de INSIVUMEH**

ESTACIÓN	Relámpago	Trueno
La Ceibita, Chimaltenango	156	34
Santa Cruz, Balanya	19	56
ICTA Chimaltenango	163	66
San Martin Jilotepeque, Chimaltenango	75	58
Quezada, Jutiapa	48	46
Santiago Atitlan, Sololá	2	39
El Tablón, Sololá	35	39
Chinique, Quiche	12	16
Chixoy Chicaman, Quiche	3	15
Nebaj, Quiche	63	54
Sacapulas, Nebaj, Quiche	5	15
Chiguila, Chichicastenango, Quiche	4	18
Morazán, El Progreso	183	114
Suiza Contenta, Sacatepéquez	23	31
Los Esclavos, Santa Rosa	86	88
Pasabien Rio Hondo, Zacapa	129	11
La Unión, Zacapa	118	64
Las Vegas, Izabal	53	43
Tikal, Peten	158	107
El Porvenir, La Libertad, Peten	36	31
Sabana Grande, Escuintla	6	17
Chupadero; Escuintla	108	113
Camantulul, Escuintla	39	69
Chojola Mazatenango, Suchitepéquez	36	53
San Jerónimo, Baja Verapaz	4	14
Cubulco, Baja Verapaz	72	23
Camotan, Chiquimula	120	33
Cahabon, Alta Verapaz	34	40
San Agustín Chixoy, Alta Verapaz	49	29
Catalina, San Marcos	81	63
San Marcos, San Marcos	1	26
Cuilco, Huehuetenango	5	97

Continuación del anexo 3.

San Miguel Acatán, Huehuetenango	58	48
San Pedro Necta, Huehuetenango	6	71
Soloma, San Pedro, Huehuetenango	28	56
Insivumeh, Guatemala	8	23
Coban, Alta Verapaz	38	53
Esquipulas, Chiquimula	37	67
La Aurora, Guatemala	58	69
Labor Ovalle, Quetzaltenango	12	65
La Fragua, Zacapa	50	64
Montufar, Jutiapa	29	60
Puerto Barrios, Izabal	78	117
Puerto de San José, Escuintla	85	119
Retalhuleu, Retalhuleu	20	158
Huehuetenango	58	64

Fuente: TOMAS, Gilberto. *Estudio cerámico en la República de Guatemala.*