



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL  
EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN**

**Luis Carlos Cárcamo Mendoza**

Asesorado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez

Guatemala, julio de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL  
EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS CARLOS CÁRCAMO MENDOZA**

ASESORADO POR EL ING. NATANAEL JONATHAN REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JULIO DE 2019





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabella 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. Sergio Leonel Gómez Bravo
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
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:

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL  
EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 22 de febrero de 2018.



**Luis Carlos Cárcamo Mendoza**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 25 de marzo de 2019.  
Ref.EPS.DOC.110.03.19.

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

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

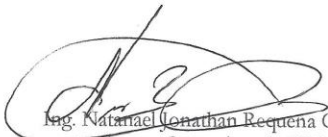
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Carlos Cárcamo Mendoza** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **201020935** y CUI **2058 02222 0103**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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



c.c. Archivo  
NJRG/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 22. 2019.  
18 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:  
**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA  
ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL EDIFICIO 2 DE LA  
PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN,**  
del estudiante; Luis Carlos Cárcamo Mendoza, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio Rolando Barrios Archila  
Coordinador de Electrotécnica







UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala 25 de marzo de 2019.  
Ref.EPS.D.283.03.19.

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 **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Luis Carlos Cárcamo Mendoza**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - 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 22. 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: **LUIS CARLOS CÁRCAMO MENDOZA** titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN,** procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 9 DE MAYO 2019.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 298.2019

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: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EFECTUADO EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Carlos Cárcamo Mendoza**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, julio de 2019

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser quien me brinda el entendimiento y sabiduría.
- Mis padres** Carlos Ovidio Cárcamo y María Luisa de Cárcamo, quienes han sido mi principal apoyo en tiempos buenos y tiempos difíciles, siendo mi mayor influencia en la vida.
- Mis hermanos** Carla Maricela, Gerber Andrés, Juan José y Caterin Paola Cárcamo, este logro lo comparto con ustedes.
- Mis tías** Felipa y Aura Mendoza, quienes siempre me dieron sabios consejos.
- Mis amigos** Por su amistad incondicional y porque estuvieron en momentos difíciles durante la carrera, Gerardo Raxtun Ren, Allan Mérida, Mélida Mejía y Jonathan de los Santos.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

La máxima casa de estudios y mi segundo hogar durante estos años de carrera.

**Facultad de Ingeniería**

Donde he adquirido, no solamente conocimiento, sino enseñanzas de vida por parte de compañeros y amigos profesionales.

**Mi supervisor**

Ing. Kennet Estrada, quien siempre nos apoyó en el proceso de graduación, además de sus consejos y paciencia.

**Mi asesor**

Ing. Natanael Requena, por su atención en todo momento para guiarme en este trabajo.

**Ministerio de Educación**

Por permitirme realizar los trabajos necesarios y el estudio de este EPS en sus instalaciones.

**Lic. Josué Buenaventura**

Encargado de mantenimiento en el MINEDUC, siempre conté con su apoyo para realizar los trabajos realizados en el edificio.

**Ministerio de Energía  
y Minas**

Por permitir ser parte del proyecto a largo plazo para la reducción del consumo de energía en Guatemala. En especial a quienes dieron

seguimiento, Ing. Gabriel Velásquez, Ing. Luis Lepe y Cristian Samayoa.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Información general de la institución .....	1
1.2. Misión de la institución.....	3
1.3. Visión de la institución .....	3
1.4. Estructura organizacional .....	3
1.4.1. Organigrama del Ministerio de Educación .....	4
1.5. Ubicación y área de la institución .....	4
1.6. Población de la institución .....	6
1.7. Horarios de trabajo .....	6
1.8. Condiciones generales del edificio .....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Fundamentos.....	9
2.1.1. Magnitudes físicas básicas .....	9
2.1.1.1. Corriente eléctrica y Ley de OHM.....	9
2.1.2. Potencia activa, reactiva y aparente .....	12
2.1.3. Factor de potencia .....	14
2.1.4. Regulación de tensión .....	15
2.1.5. Desbalance de tensión en servicios trifásicos .....	18

2.1.6.	Distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor .....	21
2.1.7.	<i>Flicker</i> en la tensión .....	23
2.1.8.	Distorsión armónica de la corriente generada por el usuario.....	24
2.1.9.	<i>Flicker</i> generado por el usuario .....	26
2.1.10.	Factor de potencia.....	27
2.1.10.1.	Valor mínimo para el factor de potencia.....	27
2.1.11.	Interrupciones.....	28
2.2.	Configuraciones delta, estrella en una instalación .....	31
2.3.	Transferencia y <i>by-pass</i> para mantenimiento en tablero principal.....	35
2.4.	Plantas eléctricas para edificios .....	37
2.4.1.	Funcionamiento.....	39
2.5.	Protección de elementos de la red interna .....	40
2.5.1.	Protección en tableros eléctricos.....	40
3.	ANÁLISIS HISTÓRICO DE CONSUMO .....	45
3.1.	Inventario de equipos eléctricos.....	45
3.2.	Consumo de energía eléctrica .....	48
3.3.	Consumo de agua potable .....	55
3.4.	Hábitos de consumo y encuesta realizada a los empleados de la institución .....	57
3.5.	Encuesta realizada para los empleados de la institución .....	57
4.	ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN INTERNA DE LA INSTITUCIÓN.....	59
4.1.	Diagrama unifilar eléctrico de las instalaciones.....	59
4.2.	Dimensionamiento principal .....	62

4.3.	Dimensionamiento de protecciones en tablero principal .....	70
4.4.	Dimensionamiento de tableros secundarios .....	76
4.5.	Dimensionamiento de protecciones en tableros secundarios..	78
4.6.	Supresores de picos de voltaje.....	93
4.7.	Pruebas eléctricas al transformador de subestación .....	95
5.	ANÁLISIS DE MEDICIONES DE CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	105
5.1.	Análisis de voltajes .....	105
5.2.	Análisis de corrientes .....	110
5.3.	Análisis de potencia activa, reactiva y aparente total consumida .....	116
5.4.	Análisis de factor de potencia.....	118
5.5.	Análisis de armónicos en la red.....	119
5.6.	Iluminación .....	134
5.6.1.	Análisis de las mediciones obtenidas en iluminación.....	140
5.7.	Estudio de termografía en instalación interna.....	150
5.7.1.	Tablero principal .....	151
5.7.2.	Tableros y circuitos secundarios.....	153
6.	MEDIDAS DE AHORRO E IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE .....	157
6.1.	Iluminación .....	157
6.2.	Equipos eléctricos .....	159
6.3.	Climatización y aire acondicionado .....	162
6.4.	Instalación de paneles solares .....	163

7.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE CONSUMOS Y AHORROS ENERGÉTICOS.....	171
7.1.	Análisis de consumo energético proyectado al 2032 .....	174
7.2.	Análisis de consumo económico proyectado al 2032.....	181
7.3.	Análisis económico de ahorro energético proyectado al 2032 en el edificio 2 .....	185
7.3.1.	Simulación de consumo eléctrico con tecnología led .....	185
7.3.2.	Implementación de energía solar fotovoltaica .....	195
7.3.3.	Análisis de ahorros por buenos hábitos de consumo.....	196
7.4.	Proyecciones de ahorro total energético y económico .....	199
8.	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	203
8.1.	Tipos de emisiones de efecto invernadero .....	205
8.2.	Emisiones generadas en la instalación de acuerdo al tipo de consumo.....	206
9.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TIERRA FÍSICA Y PARARRAYOS EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINEDUC Y COMO INFLUYE EN LA CALIDAD DE ENERGÍA .....	209
9.1.	Método de puesta a tierra según Norma NTDOID .....	212
9.2.	Norma NEC/Normas IEC 62305 partes 1,2,3 y 4 para criterios en instalación de tierras físicas.....	214
9.3.	Medición de resistencia del suelo .....	219
9.4.	Cálculo del sistema de tierra de acuerdo al dimensionamiento y área del edificio .....	223
9.5.	Selección de pararrayos.....	227
9.5.1.	Tipos de pararrayos y especificaciones .....	227

9.5.2.	Norma UNE 21189 .....	228
9.5.3.	Dimensionamiento y cálculo .....	229
CONCLUSIONES .....		239
RECOMENDACIONES .....		241
BIBLIOGRAFÍA .....		245
APÉNDICES .....		247
ANEXOS .....		257





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama MINEDUC.....	4
2.	Vista aérea planta central Ministerio de Educación en Google Maps ....	5
3.	Gráfica vectorial del triángulo de potencias.....	15
4.	Generador conectado en Y con una carga conectada en Y .....	31
5.	Generador conectado en Y con una carga conectada en $\Delta$ .....	33
6.	Esquemas eléctricos de transferencia automática .....	36
7.	Planta eléctrica de emergencia e implementos .....	37
8.	Curva característica del interruptor electromagnético .....	41
9.	Principio de funcionamiento de un interruptor diferencial.....	42
10.	Distribución del consumo de energía en equipos del edificio 2 MINEDUC .....	48
11.	Proyección de crecimiento energético para el 2019.....	51
12.	Proyección de crecimiento energético de 2019 a 2026 con base en consumos históricos.....	52
13.	Proyección de crecimiento energético de 2028 a 2032 con base en consumos históricos.....	53
14.	Subestación de transformación de la acometida principal edificio 2 ....	54
15.	Proyección del consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC.....	56
16.	Diagrama unifilar de la instalación eléctrica del edificio 2 MINEDUC...	61
17.	Interruptor principal trifásico de 800A en edificio 2.....	64
18.	Transientes de voltaje .....	94
19.	Poste donde se encuentran los cortacircuitos que alimentan los transformadores .....	97

20.	Termografía en grapas de suspensión y cortacircuitos fusibles .....	98
21.	Termografía en mufas y pararrayos.....	99
22.	Termografía en conexión de entrada .....	100
23.	Termografía en conexión de salida y cuerpo de transformadores .....	101
24.	Termografía en interruptor principal.....	102
25.	Valores máximos alcanzados por la corriente en L1.....	111
26.	Valores máximos alcanzados por la corriente en L2.....	113
27.	Valores máximos alcanzados por la corriente en L3.....	114
28.	Cantidad de eventos en distorsión armónica del neutro y tierra .....	126
29.	Distorsión de armónicos por corriente en el neutro.....	130
30.	Análisis espectral y gráficos obtenidos en <i>WaveStar</i> para un balastro electromagnético.....	132
31.	Parte del sótano 2, unidades descartadas alternativamente .....	141
32.	Valores promedio de iluminación por unidad de trabajo en edificio 2 MINEDUC .....	145
33.	Porcentaje de eficiencia lumínica comparado con los valores en acuerdo 33-2016.....	147
34.	Porcentaje de eficiencia lumínica comparado con valores de potencia y unidades funcionando .....	148
35.	Medidas de temperatura en el tablero principal del edificio 2 .....	151
36.	Medidas de temperatura interruptores tablero principal del edificio 2.	152
37.	Medidas de temperatura interruptores tablero principal del edificio 2.	152
38.	Medidas termográficas interruptores tablero principal del edificio 2 ...	153
39.	Mediciones de termografía en tablero secundario sótano 1 .....	154
40.	Mediciones de termografía en tableros secundarios.....	155
41.	Mediciones de termografía en tableros secundarios.....	156
42.	Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red .....	164
43.	Radiación solar diaria .....	165
44.	Detalles técnicos de paneles serie LUXOR Eco Line .....	166

45.	Detalles técnicos inversor – cargador .....	168
46.	Comparativa entre consumos y generación de energía eléctrica en 2018 para edificio 2 MINEDUC .....	169
47.	Proyección de los costos de energía eléctrica para el final del 2017 al los primeros meses del 2018.....	181
48.	Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2019 al 2023 .....	182
49.	Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2024 al 2028 .....	183
50.	Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2029 al 2032 .....	184
51.	Comparación de las proyecciones por consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación .....	192
52.	Comparación de las proyecciones por consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación, hasta el 2032 .....	193
53.	Comparación de las proyecciones por costo económico en quetzales del consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación, hasta el 2032 .....	194
54.	Comparación de las proyecciones entre el consumo actual de energía eléctrica con base en históricos (rojo), aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led (Azul), energía solar fotovoltaica (amarillo) y buenos hábitos de consumo (morado)	199
55.	Comparación de las proyecciones para el 2032 entre el consumo actual de energía eléctrica con base en históricos (rojo), aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led (azul), energía solar fotovoltaica (amarillo) y buenos hábitos de consumo (morado)	200
56.	Comparación de las proyecciones entre el consumo monetario en base a históricos (rojo), aplicando las medidas de ahorro por	

	cambio a tecnología led (azul), energía solar fotovoltaica (amarillo) y buenos hábitos de consumo (morado).....	201
57.	Comparación de las proyecciones para el 2032 entre el consumo monetario con base en históricos (rojo), aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led (azul), energía solar fotovoltaica (amarillo) y buenos hábitos de consumo (morado).....	202
58.	Emisiones por gas, para los períodos 1994, 2000 y 2005 .....	204
59.	Comparación entre emisiones de gases de efecto invernadero actual y proyectado con medidas de ahorro energético.....	207
60.	Distribución y conexión de SPT para el edificio 2 .....	211
61.	Puesta a tierra en la fuente y en la carga .....	213
62.	Puesta a tierra en la fuente y en la carga .....	217
63.	Método de tres puntas .....	221
64.	Método de <i>Wenner</i> o cuatro terminales .....	223
65.	Pinza amperimétrica para medición de corriente de fuga .....	224
66.	Esquema de conexión de la pinza amperimétrica al sistema .....	225
67.	Conexión para la red de resistencia equivalente Rx en edificio 2.....	226
68.	Zona de protección para el edificio .....	230
69.	Instalación exterior de elementos de protección para pararrayos.....	232
70.	Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección I .....	233
71.	Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección II .....	234
72.	Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección III .....	235
73.	Pararrayos instalado en el edificio 2 del MINEDUC.....	236
74.	Pararrayos instalado en el edificio 2 del MINEDUC.....	237

## TABLAS

I.	Rangos porcentuales de tolerancia admisible en regulación de voltaje.....	16
II.	Valorización de la energía según el grado de desviación a las tolerancias.....	18
III.	Tolerancias para el desbalance de tensión por parte del distribuidor ..	19
IV.	Valorización de la energía según el grado de desviación a las tolerancias establecidas en el artículo 28.....	20
V.	Tolerancias para la distorsión armónica de tensión .....	22
VI.	Tolerancias para el <i>Flicker</i> generado por el usuario .....	26
VII.	Tolerancias para las interrupciones.....	30
VIII.	Inventario de equipos del edificio 2 planta central MINEDUC .....	46
IX.	Consumo de energía en equipos del edificio 2 MINEDUC .....	47
X.	Datos del servicio de energía eléctrica principal .....	49
XI.	Consumo energético de acometida principal edificio 2 MINEDUC.....	49
XII.	Consumo energético de acometida principal edificio 2 MINEDUC.....	50
XIII.	Consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC, dic. 2016 y 2017 .....	55
XIV.	Consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC, 2017.....	55
XV.	Encuesta realizada a trabajadores del edificio 2 del MINEDUC.....	57
XVI.	Distribución de interruptores y conductores en tablero principal .....	65
XVII.	Caídas de tensión permitidas según NEC.....	68
XVIII.	Dimensionamiento del tablero principal.....	71
XIX.	Dimensionamiento del tablero principal regulado.....	72
XX.	Valores máximos de demanda de corriente en cada línea.....	74
XXI.	Valores medios de demanda de corriente en cada línea .....	75
XXII.	Dimensionamiento del tablero para el 1er. nivel ala sur .....	78
XXIII.	Dimensionamiento del tablero para el 1er. nivel ala norte.....	79
XXIV.	Dimensionamiento del tablero para el 2do. nivel ala sur .....	79

XXV.	Dimensionamiento del tablero para el 2do. nivel ala norte .....	80
XXVI.	Dimensionamiento del tablero para el 3er. nivel ala sur .....	81
XXVII.	Dimensionamiento del tablero para el 3er. nivel ala norte .....	82
XXVIII.	Dimensionamiento del tablero para el 4to. nivel ala sur.....	83
XXIX.	Dimensionamiento del tablero para el 4to. nivel ala norte .....	84
XXX.	Dimensionamiento del tablero para el sótano 1 .....	85
XXXI.	Dimensionamiento del tablero para el sótano 2.....	86
XXXII.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 1er. nivel ala sur .....	87
XXXIII.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 1er. nivel ala norte .....	87
XXXIV.	Dimensionamiento del Tablero regulado para el 2do. Nivel Ala Sur .....	88
XXXV.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 2do. nivel ala norte ....	89
XXXVI.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 3er. nivel ala sur .....	90
XXXVII.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 3er. nivel ala norte .....	91
XXXVIII.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 4to. nivel ala sur.....	92
XXXIX.	Dimensionamiento del tablero regulado para el 4to. nivel ala norte .....	93
XL.	Resumen de medición de voltaje Línea 1 a neutro .....	105
XLI.	Resumen de medición de voltaje Línea 2 a neutro .....	106
XLII.	Resumen de medición de voltaje Línea 3 a neutro .....	106
XLIII.	Resumen de medición de voltaje línea neutral a tierra .....	107
XLIV.	Resumen de medición de voltaje entre línea 1 y línea 2.....	108
XLV.	Resumen de medición de voltaje entre línea 2 y línea 3.....	109
XLVI.	Resumen de medición de voltaje entre línea 3 y línea 1.....	109
XLVII.	Resumen de medición de corriente en la línea 1 .....	110
XLVIII.	Resumen de medición de corriente en la línea 2.....	112
XLIX.	Resumen de medición de corriente en la línea 3.....	113
L.	Resumen de medición de corriente en la línea neutral .....	115
LI.	Resumen de medición de la potencia activa total .....	116
LII.	Resumen de medición de la potencia reactiva total.....	116
LIII.	Resumen de medición de la potencia aparente total .....	117

LIV.	Resumen de la medición del factor de potencia.....	118
LV.	Detección de problemas debidos a armónicos en edificio 2 MINEDUC .....	122
LVI.	Tipos de cargas que provocan armónicos.....	123
LVII.	Tipos de cargas domésticas que provocan armónicos.....	124
LVIII.	Resumen de la medición del THD de voltaje en cada línea y neutro .	125
LIX.	Resumen de la medición del THD de corriente en cada línea y neutro .....	126
LX.	Armónicos de corriente más significativos en la línea 1 .....	127
LXI.	Armónicos de corriente más significativos en la línea 2 .....	128
LXII.	Armónicos de corriente más significativos en la línea 3 .....	128
LXIII.	Armónicos de corriente más significativos en la línea neutral .....	129
LXIV.	Análisis espectral y gráficos obtenidos en <i>WaveStar</i> para un tubo led .....	133
LXV.	Datos de iluminación obtenidas del edificio 2 planta central MINEDUC .....	135
LXVI.	Aprovechamiento de luz y deficiencias en iluminación del edificio 2 planta central MINEDUC .....	136
LXVII.	Diagnóstico para medir la eficiencia en iluminación de acuerdo a los valores mínimos requeridos en acuerdo gubernativo 33-2016 .....	138
LXVIII.	Diagnóstico para medir la eficiencia en la iluminación de acuerdo a la potencia instalada en el edificio 2 del MINEDUC .....	139
LXIX.	Distribución de acuerdo al tipo y potencia de iluminación en edificio 2 MINEDUC .....	142
LXX.	Niveles mínimos de iluminación en puestos de trabajo de oficinas....	144
LXXI.	Niveles de eficiencia en iluminación del edificio 2 MINEDUC .....	150
LXXII.	Demanda de energía eléctrica real diaria en edificio 2 MINEDUC .....	165
LXXIII.	Elementos necesarios para instalar el sistema solar fotovoltaico .....	168
LXXIV.	Comparativo entre consumos y generación de energía para 2018....	169

LXXV.	Caracterización de consumo de energía eléctrica durante un día laboral en edificio 2 del MINEDUC.....	171
LXXVI.	Caracterización de consumo de energía eléctrica durante un día de descanso o asueto en edificio 2 del MINEDUC .....	172
LXXVII.	Proyección de consumo de energía eléctrica de octubre 2017 a diciembre 2018 en el edificio 2 del MINEDUC .....	173
LXXVIII.	Proyección de consumo de energía eléctrica de octubre 2017 a abril 2025 en el edificio 2 del MINEDUC.....	175
LXXIX.	Proyección de consumo de energía eléctrica dese mayo 2025 a diciembre 2032 en el edificio 2 del MINEDUC .....	178
LXXX.	Comparativa entre la iluminación de tipo fluorescente existente y la propuesta para el edificio 2 MINEDUC .....	186
LXXXI.	Inventario y costo por cambio a unidades de tubos LED .....	187
LXXXII.	Propuesta y costo por cambio de iluminación LED para otros tipos de iluminación existentes del edificio 2 MINEDUC .....	187
LXXXIII.	Comparación de consumo en un día hábil entre iluminación existente e iluminación propuesta para el edificio 2 MINEDUC .....	188
LXXXIV.	Comparación de consumo mensual tomando en cuenta el cambio de iluminación en el edificio 2 MINEDUC .....	189
LXXXV.	Comparación de costos por consumo mensual tomando en cuenta el cambio de iluminación en el edificio 2 MINEDUC .....	190
LXXXVI.	Inversión para implementar generación fotovoltaica en el edificio 2 del MINEDUC .....	196
LXXXVII.	Beneficios al implementar criterios de ahorro y buenos hábitos de consumo en el edificio 2 MINEDUC.....	198
LXXXVIII.	Emisiones de GEI del sector energía en Guatemala .....	205
LXXXIX.	Características de varillas para el SPT edificio 2.....	210
XC.	Fórmulas de cálculo de resistencia de propagación para diferentes tomas de tierra.....	218



XCI.	Resistividad de diferentes tipos de suelos .....	220
------	--	-----



## GLOSARIO

<b>Acometida</b>	Es la conexión eléctrica que va desde la red de distribución que provee el servicio hasta la propiedad del usuario o consumidor final.
<b>Armónicos</b>	En sistemas eléctricos de corriente alterna, son múltiplos de la frecuencia fundamental del sistema.
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Emisiones de Dióxido de Carbono equivalente.
<b>Desbalance</b>	Fenómeno que ocurre en sistemas eléctricos trifásicos donde las tensiones o ángulos entre las fases consecutivas son desiguales.
<b>DICONIME</b>	Dirección de Cooperación Nacional e Internacional, es parte del Ministerio de Educación.
<b>DIGEACE</b>	Dirección General de Acreditación y Certificación, es parte del Ministerio de Educación.
<b>DIGEBI</b>	Dirección General de Educación Bilingüe Intercultural, es parte del Ministerio de Educación.
<b>DIGEPSA</b>	Dirección General de Participación Comunitaria y Servicios de Apoyo, es parte del Ministerio de Educación.

<b>DISERSA</b>	Dirección de Servicios Administrativos, es parte del Ministerio de Educación.
<b>EMISIVIDAD</b>	Propiedad que indica la eficiencia con que la superficie de un cuerpo u objeto emite radiación térmica.
<b>Led</b>	Abreviatura de <i>light-emitting diode</i> , diodo emisor de luz es dispositivo semiconductor capaz de emitir luz.
<b>Lux</b>	Unidad perteneciente al Sistema internacional de Unidades utilizada para medir el nivel de iluminación en punto. Equivale a un lumen/m <sup>2</sup> .
<b>NEC</b>	Abreviatura de National Electrical Code, sigue los reglamentos y normas para la instalación de cableado en instalaciones eléctricas.
<b>SAI</b>	Abreviatura de Sistema de alimentación ininterrumpida.
<b>THD</b>	Abreviatura de Total Harmonic Distortion (distorsión armónica total) es una medida porcentual de la distorsión armónica presente en el sistema eléctrico.

## **RESUMEN**

El siguiente trabajo es el anteproyecto del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), trata sobre el estudio de calidad de energía y eficiencia energética en la planta central del Ministerio de Educación (MINEDUC) edificio número 2, ubicado en la zona 10 de la ciudad capital.

El desarrollo del trabajo consiste principalmente analizar el consumo energético actual y el estado de las instalaciones eléctricas del edificio, identificando los problemas causantes de pérdidas de energía, tales como desbalances o descompensación de cargas, armónicos en la red eléctrica, puntos calientes en la instalación, factor de potencia, calidad de iluminación, aterrizajes a tierra, dimensionamiento de conductores, protecciones y tableros de distribución. Para lograr esto se tuvo que realizar un auditoría actual de la carga conectada, además de una inspección visual de la instalación, para luego acudir a mediciones de parámetros eléctricos para analizar la calidad energética en general utilizando equipos especiales de medición como analizador de red, luxómetro y cámara termográfica.

Todo este análisis tiene como objetivo disminuir el consumo energético de la institución y por ende contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero en el país que son generados por parte del sector de energía.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio de calidad de energía y eficiencia energética para reducir el consumo de recursos energéticos en el edificio número 2 de la planta central del Ministerio de Educación, ubicado en la zona 10 capitalina.

### **Específicos**

1. Analizar la red eléctrica interna de la institución a fin de detectar por medio de mediciones de magnitudes eléctricas las razones por la cual existe mayor consumo energético y hacer recomendaciones de cambio favorables.
2. Analizar y realizar un inventario toda la iluminación de la institución, detectando los tipos de luminarias de mayor consumo y hacer recomendaciones de cambio por otras más eficientes.
3. Proyectar para el 2032 el consumo energético actual y compararlo con una proyección de consumo energético en donde se tomen en cuenta medidas de ahorro.
4. Considerar la disminución de emisión de CO<sub>2</sub>e generados por consumo energético en el edificio 2, de acuerdo a las medidas de ahorro y la implementación de energía renovable.





## INTRODUCCIÓN

El actual estudio de calidad energética surge de lo establecido en la política energética 2013-2027, eje cuatro: Ahorro y uso eficiente de la energía en donde el ahorro y disminución de la misma es el tema principal. Es así como el Ministerio de Energía y Minas hace alianza con la Universidad de San Carlos para realizar esta auditoría, recibiendo asesoría por parte de la Dirección General de Energía (DGE). El MEM tiene planeado reducir hasta un 30 % el consumo energético en las instituciones públicas, en este caso particular es el MINEDUC, en el edificio número 2, el cual está constituido por 2 sótanos y 4 niveles de oficinas. En la actualidad esta institución no cuenta con un previo análisis o estudio de eficiencia energética, debido a esto no se tienen hábitos de ahorro energético ni se tienen ubicadas las mayores falencias de mantenimiento que provocan aumentos de consumo energético y por ende pérdidas técnicas y monetarias. Además, de acuerdo al Plan Nacional de la Energía, las emisiones de gases de efecto invernadero han venido aumentando significativamente a nivel nacional como a nivel mundial, y gran parte de estas emisiones provienen del consumo de energía eléctrica, así que disminuir el consumo eléctrico equivale a disminuir la generación de gases de efecto invernadero ( $CO_{2e}$ ).

Se presentan las auditorías y mediciones del consumo actual y se detectan las principales causas que provocan pérdidas técnicas y monetarias por consumo energético, sugiriendo entonces medidas de ahorro para disminuir significativamente el consumo por energía, tomando en cuenta hábitos de consumo, implementar generación de energía renovable, cambios de dispositivos en la instalación, mostrando proyecciones del consumo actual y el

consumo tomando en cuenta las medidas de ahorro hasta el 2032 de acuerdo al Plan Nacional de la Energía.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

El Ministerio de Educación es uno de los catorce ministerios que conforman el Organismo Ejecutivo del Gobierno de Guatemala, bajo la dirección del presidente de la República de Guatemala. Su misión es ser una institución evolutiva, organizada, eficiente y eficaz, generadora de oportunidades de enseñanza-aprendizaje, orientada a resultados, que aprovecha diligentemente las oportunidades que el siglo XXI le brinda y comprometida con una Guatemala mejor. El actual ministro de educación es Óscar Hugo López Rivas.

### **1.1. Información general de la institución**

De acuerdo con el informe de transición política institucional 2007-2008, con base en el Artículo 33 de la Ley del Organismo Ejecutivo, sus funciones son:

- Formular y administrar la política educativa, velando por la calidad y la cobertura de la prestación de los servicios educativos públicos y privados, todo ello de conformidad con la ley.
- Coordinar con el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda las propuestas para formular y poner en vigor las normas técnicas para la infraestructura del sector.
- Velar porque el sistema educativo del Estado contribuya al desarrollo integral de la persona, con base en los principios constitucionales de

respeto a la vida, la libertad, la justicia, la seguridad, la paz y al carácter multiétnico, pluricultural y multilingüe de Guatemala.

- Coordinar esfuerzos con las universidades y otras entidades educativas del país, para lograr el mejoramiento cualitativo del sistema educativo nacional.
- Coordinar y velar por el adecuado funcionamiento de los sistemas nacionales de alfabetización, planificación educativa, investigación, evaluación, capacitación de docentes y personal magisterial, y educación intercultural ajustándolos a las diferentes realidades regionales y étnicas del país.
- Promover la autogestión educativa y la descentralización de los recursos económicos para los servicios de apoyo educativo mediante la organización de comités educativos, juntas escolares y otras modalidades en todas las escuelas oficiales públicas; así como aprobarles sus estatutos y reconocer su personalidad jurídica.
- Administrar en forma descentralizada y subsidiaria los servicios de elaboración, producción e impresión de textos, materiales educativos y servicios de apoyo a la prestación de los servicios educativos.
- Formular la política de becas y administrar descentralizadamente el sistema de becas y bolsas de estudio que otorga el Estado.

## **1.2. Misión de la institución**

Formar ciudadanos con carácter, capaces de aprender por sí mismos, orgullosos de ser guatemaltecos, empeñados en conseguir su desarrollo integral, con principios, valores y convicciones que fundamentan su conducta.

## **1.3. Visión de la institución**

La misión del Ministerio de Educación es ser una institución evolutiva, organizada, eficiente y eficaz, generadora de oportunidades de enseñanza-aprendizaje, orientada a resultados, que aproveche diligentemente las oportunidades que el siglo XXI le brinda y comprometida además con una Guatemala mejor.

## **1.4. Estructura organizacional**

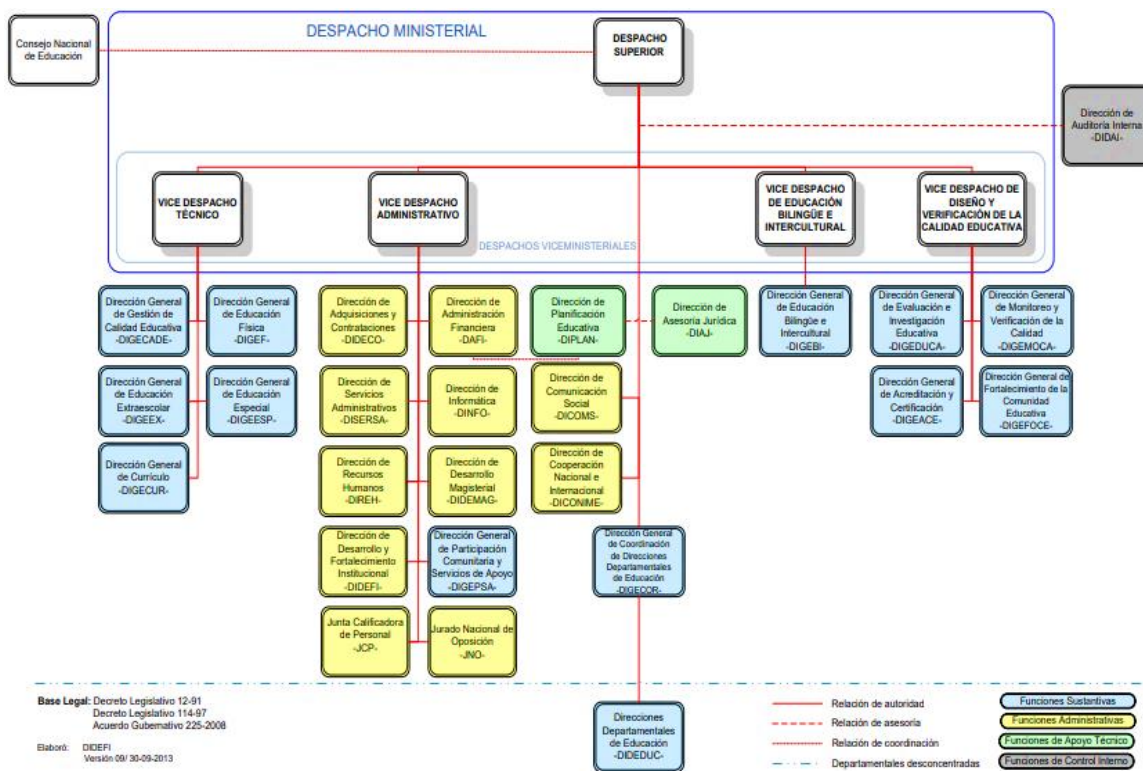
De acuerdo a las funciones del Ministerio de Educación, para que estas se cumplan adecuadamente, se divide en líneas jerárquicas que abarcan desde:

- Despacho superior
- Vicedespachos
- Direcciones generales
- Direcciones departamentales

### 1.4.1. Organigrama del Ministerio de Educación

Se presenta también un esquema jerárquico u organigrama del funcionamiento del Ministerio de Educación de Guatemala:

Figura 1. Organigrama MINEDUC

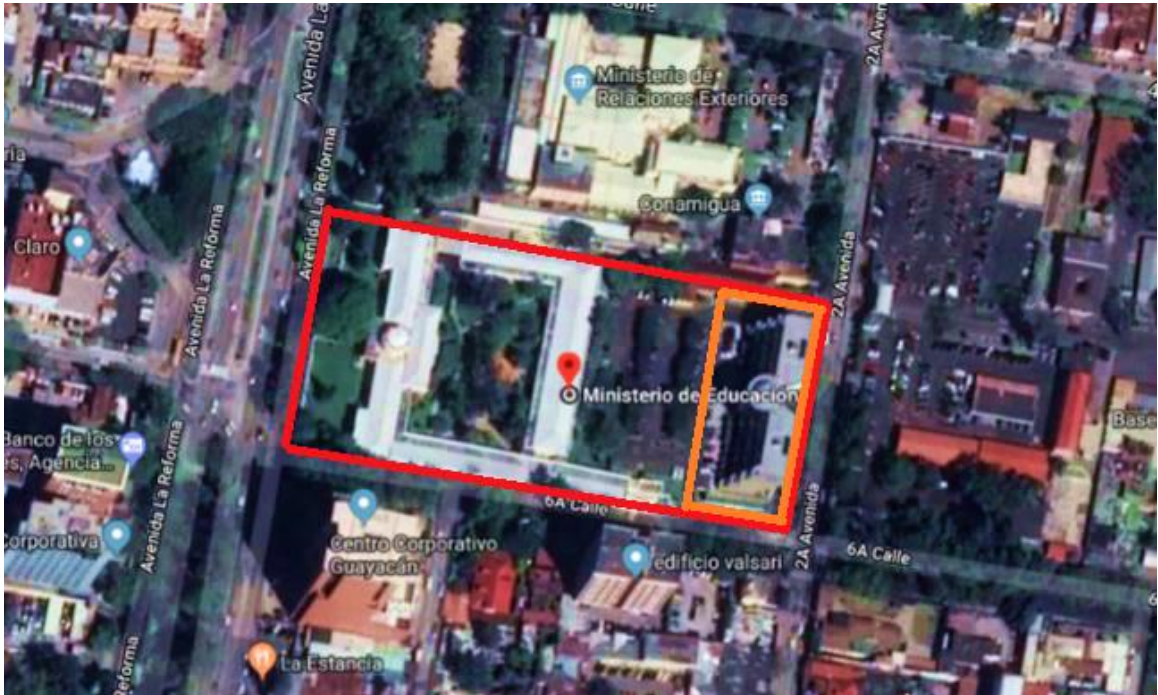


Fuente: Portal del MINEDUC. <http://www.mineduc.gov.gt>. Consulta: enero 2019.

### 1.5. Ubicación y área de la institución

El edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación se ubica en la 2a. avenida 4-17, zona 10 de la ciudad capital. A continuación un plano aéreo mostrando su ubicación aérea.

Figura 2. Vista aérea planta central Ministerio de Educación en Google Maps



Fuente: *vista aérea Ministerio de Educación*. <http://mineduc.gob.gt>. Google Maps. Consulta: enero de 2019.

El área total se indica encerrada en el marco color rojo, que comprende al edificio 1 de los despachos y el edificio 2 de Las direcciones generales, este último encerrado en el marco color naranja, en el cual se realizó este estudio.

El edificio 2 del MINEDUC ocupa un área superficial de  $2\,710,76\ m^2$  (indicado en el perímetro de color naranja), ubicado en la 2da. avenida 5-98 zona 10, esto tomando en cuenta el área entrada y salida de los sótanos, jardín en la entrada principal sobre la 2da. avenida y jardín y alumbrado del lado del edificio 1.

## **1.6. Población de la institución**

Actualmente el edificio 2 de la planta central del MINEDUC tiene 4 niveles de oficinas y cubículos de trabajo, destinados a las unidades DIGEBI, DIGEACE, DIGEPSA, DICONIME que son direcciones generales del Ministerio de Educación, el número de empleados asciende a 272, cantidad que puede crecer o decrecer a lo largo del año, debido a que existen empleados ajenos a la institución como los de mantenimiento, seguridad y limpieza, también de otras instituciones que trabajan en conjunto con las direcciones de este edificio.

## **1.7. Horarios de trabajo**

El edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación lleva a cabo sus labores en un horario de oficina de lunes a viernes de 9:00 a 17:30 horas. Después de este horario hay algunas unidades que extienden su horario ocasionalmente, pero esto no es relevante en cuanto al consumo energético total.

## **1.8. Condiciones generales del edificio**

De acuerdo a las inspecciones visuales que se tuvieron en las primeras visitas al edificio, se contemplaron condiciones generales y de mayor relevancia, listados a continuación:

- Cuenta con 2 sótanos. El sótano 1 además de ser destinado para parqueo general y bodegas, tiene el espacio para el centro de transformación que viene de la acometida principal, el interruptor principal, tablero principal y tablero principal regulado, *By-pass*, UPS y planta de emergencia. El



sótano 2 además de ser destinado para parqueo general, tiene bodegas y cuarto de bombas.

- Hormigón sólido, bases de concreto y columnas con fundición.
- Puertas con marco de aluminio y vidrio en su mayoría, otras como las del baño, son de madera.
- Ventanas con marco de aluminio y vidrio.
- Lámparas fluorescentes, la mayoría con difusor de aluminio.
- Aprovechamiento de iluminación natural en pasillos y oficinas es no más de 400 Luxes.
- Aire acondicionado únicamente en los salones 1, 2 y 3 del primer nivel, en cuanto a las demás oficinas no existe.
- Suministro constante de agua potable y presión adecuada, a través de un sistema de bombeo y cisternas.
- Deficiencia en las condiciones de accesibilidad universal para personas con discapacidad para accesos a las instalaciones del edificio.
- Una acometida de alimentación eléctrica en media tensión, con subestación de transformación.



## **2. MARCO TEÓRICO**

Es necesario estudiar las bases teóricas que argumentan los análisis de las mediciones realizadas en la institución.

### **2.1. Fundamentos**

El estudio interpreta todos los parámetros eléctricos medidos en el edificio 2 del MINEDUC, además de normas que rigen la calidad de energía y criterios de diseño en las instalaciones eléctricas.

#### **2.1.1. Magnitudes físicas básicas**

La resistencia y resistividad eléctrica, la diferencia de potencial, la intensidad de corriente son las magnitudes básicas en el estudio de la eficiencia energética, todas estas relacionadas en una Ley, llamada Ley de Ohm.

##### **2.1.1.1. Corriente eléctrica y Ley de OHM**

La rapidez en la que una carga pasa a través del área se define como corriente eléctrica, si se define a  $\Delta Q$  como la cantidad de carga en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , la corriente eléctrica promedio es:

$$I_p = \Delta Q / \Delta t$$

El límite diferencial de esta expresión:  $= dQ/dt$

Tomando en cuenta solo el volumen de un pequeño conductor como

$$V = A \cdot \Delta x$$

Para esa sección existen  $n$  número de portadores, el total de portadores es  $nA \cdot \Delta x$ , entonces la carga total en esta sección es:

$$\Delta Q = (n \cdot A \cdot \Delta x)q$$

Si se mueven con una rapidez  $v_d$  el desplazamiento que experimentan es:

$$\Delta x = v_d \cdot \Delta t$$

Así que sustituyendo:

$$I_{prom} = \Delta Q / \Delta t = (n \cdot A \cdot v_d)q$$

Definiendo  $J$  como la densidad de corriente por unidad de área:

$$J = I/A = nqv_d \left[ A/m^2 \right]$$

La mayoría de materiales obedecen a la expresión  $J = \sigma E$  donde  $\sigma$  es la constante de conductividad de un material.

La relación de la densidad de corriente al campo eléctrico que es independiente del mismo:

$$\Delta V = Vb - Va = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \int_a^b dx = El$$

Suponiendo que el campo eléctrico es constante,  $\Delta V = El$

Sustituyendo  $J = \sigma \Delta V / l$

Y despejando  $\Delta V = J \cdot l / \sigma$

Ya que  $J = I / A$ , entonces:

$$\Delta V = \left( l / \sigma A \right) I = R \cdot I$$

Donde R es la resistencia del conductor, también puede expresarse con el recíproco de  $\sigma$  que es la resistividad  $\rho = 1 / \sigma$ , que es la propiedad de todo material y depende del tipo de material y la temperatura.

La Ley de Ohm resumida es:  $R = \Delta V / I [V / A]$

Por lo que  $1\Omega = 1V / 1A$ , por lo que se dice que si una diferencia de potencial de 1V origina un campo  $E$  y por ende una corriente de 1A, la resistencia del conductor es  $1\Omega$ . Mientras que 1A equivale a un Coulomb de carga que pasa a través de una superficie en un segundo.

### 2.1.2. Potencia activa, reactiva y aparente

Determinar la amplitud de una corriente senoidal de C.A. que se requiera para alimentar la misma potencia que la de una corriente en C.D. resulta útil ya que de esta manera es como se puede medir la potencia transferida a una carga de manera más práctica, esto es conocido como el valor eficaz.

Si se ejemplifica una carga totalmente resistiva conectada a una fuente de corriente alterna la potencia en cualquier instante es:

$$P_{ca} = (i_{ca})^2 R = (I_{max} \text{sen}wt)^2 R = (I_{max}^2 \text{sen}^2wt)R$$

Pero  $\text{sen}^2wt = (1 - \cos 2wt)$ , por lo tanto:

$$P_{ca} = I_{max}^2 \left[ \frac{1}{2} (1 - \cos 2wt) \right] R = \frac{I_{max}^2}{2} R - \frac{I_{max}^2}{2} R \cdot \cos 2wt$$

Al igualar las potencias promedio:

$$P_{ca} = P_{cd}$$

$$\frac{I_{max}^2}{2} R = I_{cd}^2 R$$

$$I_{max} = \sqrt{2} I_{cd}$$

$$I_{cd} = I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Donde:

$I_{ef}$  = corriente eficaz e  $I_m$ : corriente máxima

Significa que el valor equivalente de cd de una corriente o una tensión senoidal es  $1/\sqrt{2}$  de su valor máximo, de la misma forma  $E_{ef} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m$

Generalmente para una impedancia conectada a una red de corriente alterna se puede decir que el voltaje de la red es  $v(t) = V_m \text{sen}(wt + \theta)$  y la corriente que circula por la misma es  $i(t) = I_m \text{sen}(wt)$

La potencia suministrada a esta carga será:

$$p(t) = v i = V_m I_m \text{sen}wt \text{sen}(wt + \theta)$$

$$p(t) = V_m I_m \text{sen}wt [\text{sen}wt \cos\theta + \coswt \text{sen}\theta]$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} [\cos\theta(1 - \cos 2wt) + \text{sen}\theta \text{sen} 2wt]$$

$$\text{Como; } \frac{V_m I_m}{2} = VI \text{ (RMS)}$$

$$p(t) = VI \cos\theta - VI \cos\theta \cos 2wt + VI \text{sen}\theta \text{sen} 2wt$$

En un inductor  $v$  se adelanta a  $i$  en  $90^\circ$ , por lo que la potencia en este es:

$$p_L(t) = VI \cos 90^\circ (1 - \cos 2wt) + VI \text{sen} 90^\circ \text{sen} 2wt$$

$$p_L(t) = VI \text{sen} 2wt$$

En general, la potencia reactiva asociada a cualquier circuito se define como:

$$Ql(t) = VI\text{sen}\theta$$

Donde:

$\theta$  = es el ángulo de fase entre V e I para el inductor:

$$Ql(t) = VI \text{ (Vars)} = I^2XL = \frac{V^2}{XL} \text{ (Vars)}$$

En un capacitor i se adelanta a v en  $90^\circ$ , sustituyendo  $\theta = -90^\circ$

$$pC(t) = VI \cos(-90^\circ) (1 - \cos 2wt) + VI \text{sen}(-90^\circ) \text{sen} 2wt$$

$$pC(t) = -VI \text{sen} 2wt$$

La potencia reactiva asociada al capacitor es igual a:

$$Qc(t) = VI \text{ (Vars)} = I^2Xc = \frac{V^2}{Xc} \text{ (Vars)}$$

Mientras que la potencia aparente es la suma vectorial de Ql y de Qc siendo simplemente:

$$S = VI \text{ (VA)}$$

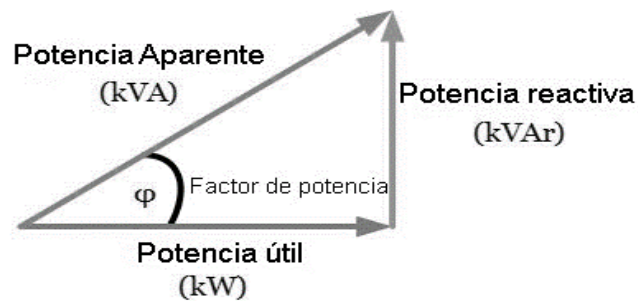
### 2.1.3. Factor de potencia

El factor de potencia es una variable que indica la relación entre la potencia activa y la potencia aparente en un sistema eléctrico. Por lo que se puede decir que este valor indica que tanta potencia activa puede consumir una



carga conectada a la red eléctrica. Geométricamente se puede relacionar las potencias y el factor de potencia que es igual al ángulo indicado en la figura.

Figura 3. **Gráfica vectorial del triángulo de potencias**



Fuente: portal Infoote. <https://www.infootec.net/>. Consulta: enero 2019.

- Calidad del producto suministrado según Norma Ntsd

Por su abreviatura NTSD (Normas técnicas del servicio de distribución), están diseñadas para establecer los derechos y obligaciones de los que prestan el servicio de distribución y también de los consumidores. De acuerdo al artículo 17, el propio distribuidor de energía es el encargado de realizar mediciones y control de la calidad de energía entregada al usuario final, entre las que se encuentran regulación de tensión, desbalance de tensión trifásica, *Flicker* y distorsión armónica. Todo esto supervisado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

#### **2.1.4. Regulación de tensión**

En cuanto a la regulación de tensión, las Normas Técnicas del Servicio de Distribución citan 4 artículos en los cuales se establecen las formas de evaluar

la regulación de tensión entregada por el distribuidor al usuario, en el punto de entrega, es decir, en la acometida principal.

Según el artículo 23, para evaluar correctamente el porcentaje de calidad de tensión entregada, se determinan dos índices específicos, el índice de calidad de regulación de tensión y el índice global de regulación de tensión. El primero evalúa la tensión en la acometida o punto de entrega al usuario final, en un intervalo de tiempo y es el valor absoluto de la diferencia entre la media de los valores eficaces (RMS) de tensión  $V_k$  y el valor de la tensión nominal  $V_n$ :

$$\text{Índice de Regulación de Tensión (\%)} = \Delta V_k (\%) = (|V_k - V_n| / V_n) \times 100$$

En cuanto al índice global se calculan semestralmente considerando las mediciones realizadas en un periodo de doce meses. Los valores de tensión registrados, utilizados para la determinación de los índices, se analizarán con base en las desviaciones del valor nominal medido, discriminados por bandas de unidad porcentual, detallados en el Artículo 26 de estas normas.

Las desviaciones permisibles según la norma para índices individuales, respecto de las tensiones nominales en los puntos de entrega de energía eléctrica, serán las indicadas en cada una de las etapas de transición y régimen.

Tabla I. **Rangos porcentuales de tolerancia admisible en regulación de Voltaje**

TENSION	TOLERANCIA ADMISIBLE RESPECTO DEL VALOR NOMINAL, EN %		
	ETAPA		
	TRANSICION	REGIMEN A partir del Mes 1 hasta el 12	REGIMEN A partir del Mes 13

Continuación de la tabla I.

<b>MEDIA</b>	10	13	8	10	6	7
<b>ALTA</b>	<b>TRANSICION</b>		<b>REGIMEN</b> A partir del Mes 1 hasta el 12		<b>REGIMEN</b> A partir del Mes 13	
	7		6		5	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 30.

“Artículo 26: Indemnización por mala regulación de tensión: si como resultado de las mediciones realizadas se detectara el incumplimiento de las tolerancias fijadas en el Artículo 24 de estas normas, los distribuidores deberán indemnizar a los usuarios afectados, hasta tanto se demuestre de manera fehaciente la solución del problema”<sup>1</sup>.

En el caso que el distribuidor está incumpliendo en la regulación de tensión, la indemnización se calculará en base a la valorización de la energía según el grado de desviación de las tolerancias establecidas:

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución NTSD*. p. 18.

Tabla II. **Valorización de la energía según el grado de desviación a las tolerancias**

$\Delta V_k$ SUP superior al admisible en (%):	VALORIZACION DE LA ENERGIA - CE(B) (% de CENS)
$\leq 1$	4
$\leq 2$	8
$\leq 3$	15
$\leq 4$	20
$\leq 5$	30
$\leq 6$	36
$\leq 7$	49
$\leq 8$	56
$\leq 9$	72
$\leq 10$	84
$> 10$	100

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 32.

Siendo  $\Delta V_k$ SUP el porcentaje de desviación superior del valor admisible por esta norma.

De estos surgen las indemnizaciones que son calculadas de acuerdo al tipo de usuario, así que una indemnización puede ser individual o global de acuerdo al incumplimiento de los índices ya mencionados anteriormente.

### **2.1.5. Desbalance de tensión en servicios trifásicos**

De acuerdo al Artículo 27 de la norma, se establece un índice o indicador de desbalance de la tensión suministrada la cual se detalla a continuación:

$$\Delta DTD (\%) = [3(V_{\max} - V_{\min}) / (V_a + V_b + V_c)] \times 100$$

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.

$V_b$  = es la tensión de la fase b, registrada en el Intervalo de Medición k.

$V_c$  = es la tensión de la fase c, registrada en el Intervalo de Medición k.

En cuanto a la tolerancia admitida para el desbalance de tensión suministrado es el siguiente:

Tabla III. **Tolerancias para el desbalance de tensión por parte del distribuidor**

TENSION	DESBALANCE DE TENSION, $\Delta DTD$ , EN %
	ETAPA DE REGIMEN A Partir del Mes 13
BAJA Y MEDIA	3
ALTA	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 36.

Se cita textualmente la consideración establecida en el Artículo 28: "Artículo 28: 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.”<sup>2</sup>

De esto se derivan las indemnizaciones realizadas a los usuarios conectados con servicio trifásico, en caso que el distribuidor sobrepase los límites de tolerancias establecidas en el artículo 28, esto efectivamente aplica para el tipo de servicio que tiene el Ministerio de Educación.

Tabla IV. **Valorización de la energía según el grado de desviación a las tolerancias establecidas en el artículo 28**

$\Delta DTDkSUP$ superior al admisible en (%):	VALORIZACION DE LA ENERGIA - CE(B) (% de CENS)
$\leq 1$	5
$\leq 3$	20
$\leq 5$	50
$\leq 7$	75
$> 7$	100

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 36.

Se define a  $\Delta DTDkSUP$  como el porcentaje de desviación superior del Valor Admisible definido en el Artículo 28.

---

<sup>2</sup> Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución NTSD*. p. 19.

### 2.1.6. Distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor

El artículo 31 de la norma menciona el índice de calidad de la distorsión armónica de la tensión detallado a continuación:

$$DATT (\%) = (\sqrt{\Sigma Vi^2 / V1^2}) \times 100$$

$$DAIT (\%) = (Vi / V1)$$

Donde:

DATT = distorsión Armónica Total de Tensión.

DAIT = distorsión Armónica Individual de Tensión.

Vi = componente de tensión de la armónica de orden i.

V1 = componente de tensión de la frecuencia fundamental (60 Hz).

La tolerancia admitida según la norma se cita textualmente de acuerdo al artículo 32: “Artículo 32: Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al Período de Medición, las mediciones muestran que la Distorsión Armónica de Tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas”.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución NTSD*. p. 20.

Tabla V. Tolerancias para la distorsión armónica de tensión

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSION, DAIT [%]	
	BAJA Y MEDIA TENSION V≤60 kV	ALTA TENSION 60Kv<V≤ 230 kV
<b>IMPARES NO MULTIPLOS DE 3</b>		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
> 25	0.2 + 1.3*25/n	0.1 + 0.6*25/n
<b>IMPARES MULTIPLOS DE 3</b>		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
<b>PARES</b>		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.2
<b>DISTORSION ARMONICA TOTAL DE TENSION, DATT, EN %</b>	8	3

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 40.

De acuerdo con la Norma IEC 1000-4-7, deberán ser tomadas mediciones de la distorsión armónica total de tensión y de la distorsión armónica individual de tensión.

En caso de incumplimientos por parte del distribuidor de acuerdo a los límites de tolerancia establecidos, se debe indemnizar al usuario.



### 2.1.7. *Flicker* en la tensión

El *Flicker* en una instalación eléctrica es visualmente detectado en la iluminación, ya que la variación cíclica del voltaje causa una fluctuación en las lámparas a una frecuencia detectable a la vista. El *Flicker* deberá ser medido por el índice de severidad de parpadeo de corto plazo, que es abreviado como (Pst) definido por la Norma IEC 1000-3-7.

Para realizar las mediciones se deberá contar con un equipo de medición de *Flicker* y registro de tensiones que cumpla tanto en hardware como software con la norma IEC-868. El índice de tolerancia establecido por las normas técnicas es  $Pst \leq 1$ .

Se cita textualmente lo indicado en el artículo 38: “Artículo 38: El control se realizará a través de cuatro mediciones mensuales en los bornes de Baja Tensión de Transformadores Media/Baja Tensión. Los puntos deberán ser propuestos la Comisión, tres meses antes de realizarse la medición, y la Comisión podrá modificar los puntos si lo considera conveniente” (*Normas técnicas del servicio de distribución NTSD*).

El valor de distorsión por este tipo de fluctuaciones encontrado en cada intervalo de medición definido como (k), por encima de la tolerancia normada, se define como distorsión penalizable de *Flicker* (*DPFk*).

$$DPFk = \text{Max} \left[ 0, \frac{Pst(k) - Pst}{Pst} \right]$$

Donde:

$DPF_k$  = distorsión penalizable de Flicker para cada Intervalo de medición  $k$ .

$Pst(k)$  = es el índice de severidad de Flicker de corto plazo, registrado en el Intervalo de Medición  $k$ .

$Pst$  = es la tolerancia establecida para el índice de severidad de corto plazo.

- Incidencia del usuario en la calidad del producto según Norma NTSD

Es posible que la distorsión armónica de voltaje sea generada por el usuario, en este caso también se establecen límites de tolerancia admisibles, siendo el distribuidor el encargado de tomar medidas de corrección, se cita textualmente el artículo 43 para este caso: “Artículo 43: Las mediciones deberán ser realizadas de acuerdo con la Norma IEC 1000-4-7 registrando la Distorsión Armónica Total Corriente de Carga conjuntamente con la Distorsión Armónica Individual de Corriente de Carga, así como de la corriente de carga. En aquellos casos donde se decida realizar mediciones sin carga o carga mínima, para referencia, deberán ser tomadas por cinco horas.”

#### **2.1.8. Distorsión armónica de la corriente generada por el usuario**

En relación a la distorsión armónica de la corriente generada por el usuario el artículo 41 menciona que el índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga esta dado en el punto de conexión. De esta manera, para tensiones mayores de 1KV y potencias mayores de 10Kw, que es el caso del edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación, se usa:

$$\text{DATI} = (\sqrt{\sum I_i^2} / I_1) \times 100$$

$$\text{DAII} = (I_i / I_1) \times 100$$

Donde:

DATI = distorsión armónica total de corriente.

DAII = distorsión armónica individual de corriente.

$I_i$  = componente de la intensidad de corriente de la armónica de orden  $i$ .

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

Según el artículo 42 de esta norma, las tolerancias de corrientes armónicas están establecidas de acuerdo a los diferentes niveles de tensión y potencia.

El control de la generación de armónicos por usuarios es responsabilidad de la empresa distribuidora, que para el caso del Ministerio de Educación es la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), la cual debe realizar mediciones en los puntos que considere necesarios y en caso de detectar problemas por dichos armónicos, desarrollar acciones que solucionen el inconveniente. Las mediciones deberán ser realizadas de acuerdo con la Norma IEC 1000-4-7 registrando la distorsión armónica total corriente de carga conjuntamente con la distorsión armónica individual de corriente de carga, así como de la corriente de carga.

El Ministerio de Educación debe pagar una indemnización a la empresa de distribución en caso que exceda las tolerancias establecidas.

### 2.1.9. *Flicker* generado por el usuario

También es posible que el usuario genere este efecto en la instalación, así que el índice de *Flicker* generado por el usuario es determinado por el índice de severidad de *Flicker* a corto plazo ( $P_{st}$ ) medido sobre una impedancia de referencia de acuerdo a la Norma IEC 1000-3-3. La detección y control de *Flicker* generado por el usuario es responsabilidad de la empresa distribuidora, para esto las mediciones deben realizarse con un medidor de *Flicker* como está establecido en la Norma IEC 868. Para cargas de media tensión como es el caso del Ministerio de Educación las mediciones deben de ser realizadas sobre la impedancia de la red o sobre una que no cause que la tensión de estado estacionario caiga más del 3 %. Las mediciones sin carga o carga mínima, deberán ser tomadas durante cinco días.

En cuanto a la tensión de estado estacionario es la capacidad de un sistema de potencia para mantener un nivel de voltaje aceptable en todas las barras del sistema bajo condiciones normales y después de ser sometido a una perturbación, tal como una contingencia o sobrecarga.

Tabla VI. **Tolerancias para el *Flicker* generado por el usuario**

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

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 42.

Donde:

$S_{cc}$  = Capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del Flicker [kVA].

De acuerdo a los límites establecidos de tolerancia en el artículo 46, el usuario será penalizado con una indemnización a favor de la empresa distribuidora en función de la distorsión penalizable individual de *Flicker*.

### **2.1.10. Factor de potencia**

El edificio 2 del Ministerio de Educación, tiene una potencia instalada de 300KVA y una potencia contratada de 100kW entonces debe mantener un factor de potencia de 0,90 como valor mínimo, esto de acuerdo al artículo 49 de las Normas técnicas del servicio de distribución.

#### **2.1.10.1. Valor mínimo para el factor de potencia**

De acuerdo al artículo 49 que se cita textualmente: “El valor mínimo que esta admitido para el factor de potencia está definido de acuerdo a la potencia que tenga el usuario.”

- Usuarios con potencias de hasta 11 kW 0.85
- Usuarios con potencias superiores a 11 kW 0.90” (CNEE, 1999)

La forma en que la distribuidora controla si el factor de potencia es aceptable es midiendo en la acometida principal por periodos mínimos de 7 días tanto en el periodo de horario de punta o máxima demanda como en el resto del día, de acuerdo a la siguiente expresión:

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

Donde:

$F_{pot_p}$  = factor de Potencia para el período horario (p)

$EnergAct_p$  = energía activa registrada en el período de registro para el período horario (p)

$EnergReact_p^2$  = energía reactiva registrada en el periodo de horario (p)

Así que, claramente el usuario debe pagar una indemnización al distribuidor por bajo factor de potencia y como lo dice el artículo 51 de la norma, la indemnización será incluida en el contrato entre el distribuidor y el usuario.

### 2.1.11. Interrupciones

Las interrupciones son medidas por medio de índices de calidad para interrupciones, los cuales son: frecuencia media de Interrupción por kVA (FMIK) y tiempo total de interrupción por KVA (TTIK), además de los índices individuales: frecuencia de interrupciones por usuario (FIU) y tiempo de interrupción por usuario (TIU). Se citan textualmente las expresiones que evalúan cada índice según el artículo 55 de las Ntsd:

- Frecuencia media de interrupción por KVA (FMIK): representa la cantidad de veces que el kVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio.

$$FMIK = \sum_j Qkfsj/Qki$$

- Tiempo total de interrupción por kVA (TTIK): representa el tiempo total, en horas, en que cada kVA promedio estuvo fuera de servicio.

$$TTIK = \sum_j Q_{kfsj} * T_{fsj} / Q_{ki}$$

- Frecuencia de interrupciones por usuario (FIU):

$$FIU = \sum I_j$$

- Tiempo de interrupción por usuario (TIU)

$$TIU = \sum T_{fsuj}$$

Donde:

$\sum_j$  = sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre.

$Q_{kfsj}$  = cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j.

$Q_{ki}$  = cantidad de kVA instalados.

$T_{fsj}$  = tiempo, en horas, que han permanecido fuera de servicio los kVA en la interrupción j.

$I_j$  = número de Interrupción j, para cada usuario

$T_{fsuj}$  = es el tiempo, en horas, de la interrupción j, para cada usuario.

Tabla VII. **Tolerancias para las interrupciones**

A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Usuarios conectados en Baja Tensión)	FMIK		TTIK	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A DISTRIBUCION	2.5	3.5	8	10
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A CAUSAS EXTERNAS A LA DISTRIBUCION	4		12	

**Indices Individuales**

A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Usuarios Conectados en Media y Alta Tensión)	FIU		TIU	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
USUARIOS EN BAJA TENSION	-	-	-	-
USUARIOS EN MEDIA y ALTA TENSION	6	8	12	14
A PARTIR DEL MES TRECE DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Todos los Usuarios)	FIU		TIU	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
USUARIOS EN BAJA TENSION	6	8	12	14
USUARIOS EN MEDIA TENSION	4	6	8	10
USUARIOS EN ALTA TENSION	3		6	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD*. p. 41.

A partir de la etapa de transición todas las interrupciones se controlarán por medio de los indicadores mencionados, siendo las tolerancias indicadas en la tabla 8 que fue extraída del artículo 56 de las NTSD. De no mantenerse en los límites o tolerancias indicadas existe una indemnización a los usuarios, por causas atribuibles o no al distribuidor, según lo estipula el Artículo 58.

Existen casos especiales en la norma, llamados interrupciones causadas por fallas de larga duración o fuerza mayor en los cuales se tienen ciertas



consideraciones, pero para los fines de este estudio no se profundiza en estos temas.

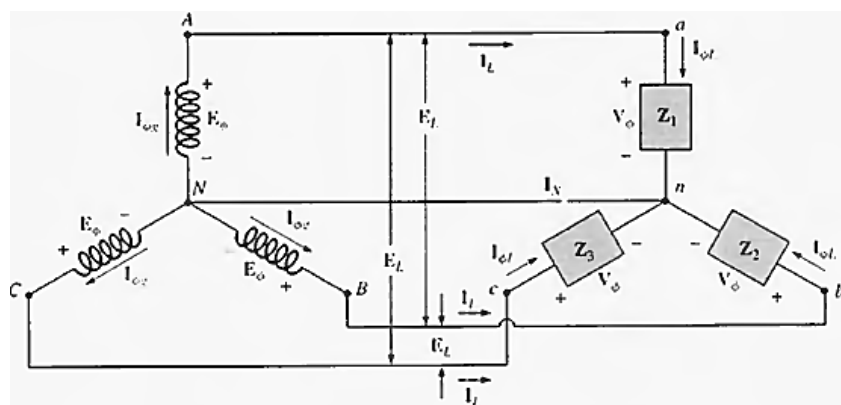
## 2.2. Configuraciones delta, estrella en una instalación

Este numeral se enfoca en las principales conexiones de carga trifásica existentes en la red eléctrica nacional, siendo la conexión estrella la más común en edificios donde la carga predominante es monofásica 120 V que es el caso del edificio 2 del Ministerio de Educación y la conexión delta en sistemas que cuentan con basta carga inductiva trifásica. Se describen estos tipos de conexión a continuación.

- Generador y carga conectados en estrella (Y)

Si el sistema de generación que alimenta a la carga está conectado en estrella y la carga se conecta de la misma manera el esquema sería el siguiente:

Figura 4. **Generador conectado en Y con una carga conectada en Y**



Fuente: BOYLESTAD, Robert, *Introducción al análisis de circuitos*. p. 18.

Si se equilibra la carga entonces:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

$$I_{\phi g} = I_L = I_{\phi}$$

La corriente que circula por cada fase del generador ( $I_{\phi g}$ ) es la misma que su corriente de línea correspondiente ( $I_L$ ), la cual a su vez para una carga conectada en estrella (Y), es igual a la corriente en la fase de la carga a la que está unida. Para una carga equilibrada o no equilibrada:

$$V_{\phi} = E_{\phi}$$

Para una carga en Y de cuatro conductores equilibrada o no:

$$E_L = \sqrt{3}V_{\phi}$$

$$E_{BA} = E_{CB} = E_{AC} = \sqrt{3}E_{\phi}$$

$$V_{an} = E_{NA}, V_{bn} = E_{NB}, V_{cn} = E_{NC}$$

$$I_{\phi L} = \frac{V_{an}}{Z_{an}}, I_{bn} = \frac{V_{bn}}{Z_{bn}}, I_{cn} = \frac{V_{cn}}{Z_{cn}}$$

Puesto que  $I_{\phi g} = I_L$

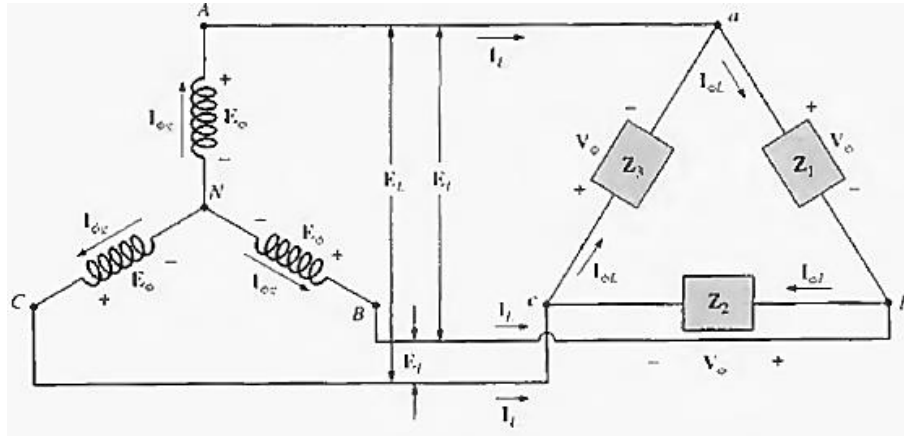
$$I_{Aa} = I_{an}, I_{Bb} = I_{bn}, I_{Cc} = I_{cn}$$

$$I_N = I_{Aa} + I_{Bb} + I_{Cc} = 0$$

- Generador conectado en Delta ( $\Delta$ ) con una carga conectada en (Y):

Si el sistema de alimentación o generación está configurado o conectado en  $\Delta$  y la carga está conectada en Y entonces el esquema de conexión sería el siguiente:

Figura 5. **Generador conectado en Y con una carga conectada en  $\Delta$**



Fuente: BOYLESTAD, Robert, *Introducción al análisis de circuitos*. p. 21.

Para una carga equilibrada las impedancias:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

La tensión en cada fase de la carga es igual a la tensión de línea del generador. Así que para una carga equilibrada o no equilibrada se tiene:

$$V_{\phi} = E_L$$

La relación entre las corrientes de línea y la de fase son:

$$I_L = \sqrt{3}I_{\phi}$$

- Potencia activa en sistemas trifásicos equilibrados:

La potencia promedio por fase en Y:

$$P_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \cos\theta = I_{\phi}^2 R_{\phi} = \frac{V_{\phi}^2}{R_{\phi}} \text{ [W]}$$

La potencia promedio total entregada a la carga equilibrada es:

$$P_T = 3P_{\phi} = 3V_{\phi} I_{\phi} \cos\theta = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = \frac{3V_{\phi}^2}{R_{\phi}} \text{ [W]}$$

O bien ya que  $V_{\phi} = E_L/\sqrt{3}$  e  $I_{\phi} = I_L$

$$P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos\theta = 3I_L^2 R_{\phi} \text{ [W]}$$

- Potencia reactiva en sistemas trifásicos equilibrados:

La potencia reactiva por fase es:

$$Q_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \sin\theta = I_{\phi}^2 X_{\phi} = \frac{V_{\phi}^2}{X_{\phi}} \text{ [Vars]}$$

La potencia reactiva total entregada a la carga equilibrada es:

$$Q_T = 3Q_{\phi} = 3V_{\phi} I_{\phi} \sin\theta = 3I_{\phi}^2 X_{\phi} = \frac{3V_{\phi}^2}{X_{\phi}} \text{ [Vars]}$$

O bien:  $Q_T = \sqrt{3} E_L I_L \sin\theta = 3I_L^2 X_{\phi} \text{ [Vars]}$

- Potencia aparente en sistemas trifásicos equilibrados:

La potencia aparente por fase:

$$S_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \text{ [VA]}$$

La potencia aparente total entregada a la carga equilibrada es:

$$S_T = 3S_{\phi} = 3V_{\phi} I_{\phi} \text{ [VA]}$$

O bien:  $Q_T = \sqrt{3} E_L I_L$

Siendo el factor de potencia:  $F_p = P_t/S = \cos\theta$

### **2.3. Transferencia y *by-pass* para mantenimiento en tablero principal**

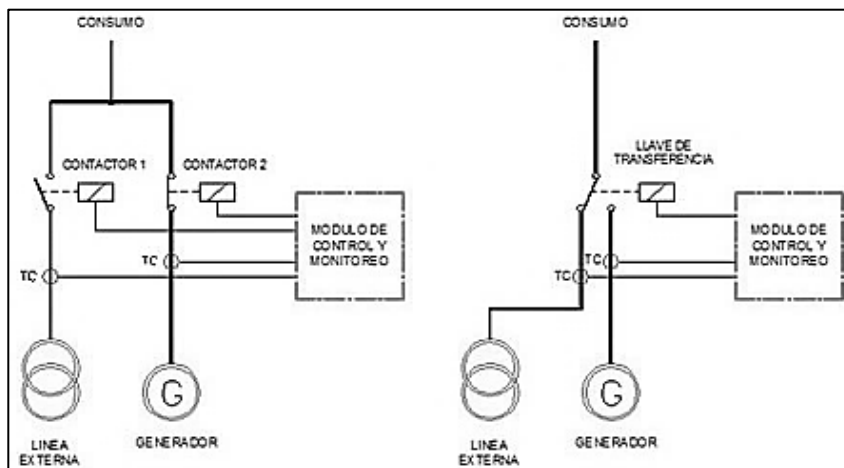
Los tableros de transferencia automática, también abreviados habitualmente como TTA, son dispositivos utilizados para minimizar el tiempo de interrupción que ocurre cuando se transfiere la fuente de energía normal a otra fuente alternativa, en caso de que la fuente normal de energía falle o esté ausente por alguna razón, accionando un grupo de contactores o llave de transferencia ATS para energizar el generador interno.

Las interrupciones a menudo generan pérdidas en los procesos que necesitan continuidad de la energía debido a producciones con procesos críticos, por eso la continuidad del servicio en las cargas se ha vuelto un principio de operación clave en las instalaciones actuales como centros comerciales, centros de bombeo, hospitales, instituciones del estado y otros.

Tal es el caso del edificio 2 del Ministerio de Educación que cuenta con un sistema de transferencia automático para la conexión de una planta de emergencia de 250 kW.

- Características del sistema TTA:
  - El módulo se utiliza para controlar la alimentación de CA en las 3 fases.
  - Una vez que se detecta un fallo en la alimentación primaria de CA (por alto o bajo voltaje), el módulo transfiere automáticamente el cambio a la fuente secundaria de alimentación de CA y el control del generador para arrancar.

Figura 6. **Esquemas eléctricos de transferencia automática**



Fuente: BOYLESTAD, Robert, *Introducción al análisis de circuitos*. p. 28.

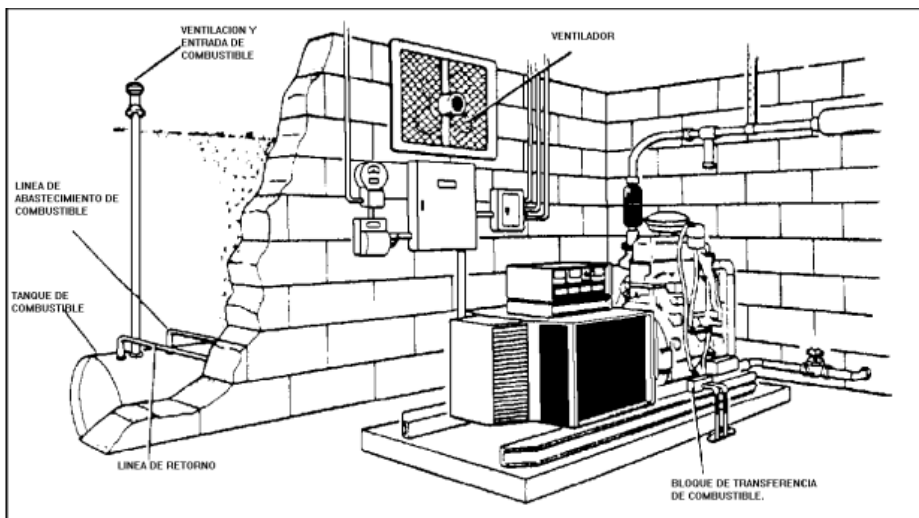
En cuanto a los tableros de *bypass* son utilizados como medios de conmutación entre la red eléctrica del distribuidor y la red de UPS con la finalidad de no perder la alimentación eléctrica a la carga regulada. Los tableros de *bypass* son útiles cuando se requiere realizar mantenimiento al UPS, así que su accionamiento puede ser mecánico o automático.

En el caso del edificio 2, existe un UPS para la carga regulada del edificio, que específicamente regula la energía para el equipo de informática y cómputo, a la vez un tablero de distribución de tensión regulada, así que el tablero de *bypass* para el edificio 2 está conectado entre el tablero principal y el tablero principal regulado.

#### 2.4. Plantas eléctricas para edificios

Las plantas eléctricas son máquinas diseñadas para suplir energía cuando la fuente de alimentación normal que viene del distribuidor falla, o está ausente por alguna causa. La mayoría de las bases tanques de las plantas eléctricas están diseñadas para proporcionar al menos ocho horas de electricidad a pleno rendimiento, pero este tiempo de funcionamiento dependerá del tamaño del depósito, de la cantidad de tiempo que se haya usado la planta eléctrica y de la carga que tenga que generar.

Figura 7. Planta eléctrica de emergencia e implementos



Fuente: Blitzplaner. *Manual de protección contra rayos*. p. 128.

La planta eléctrica instalada en el edificio 2 del Ministerio de Educación tiene una capacidad de 250 kW, de *Dale Electrics*, con un voltaje de 208 V

Las partes más importantes de una planta eléctrica de emergencia son:

- Generador eléctrico
- Motor de combustión interna: pueden funcionar con diesel, gasolina o gas, en el caso de la planta eléctrica del edificio 2, funciona con diesel
- Sistema de refrigeración o enfriamiento: se compone por una bomba para circular el agua, el radiador, el anticongelante y el termostato
- Sistema de inyección: que tiene una manguera que succiona el diesel y lo lleva a una bomba cebadora, movida por el árbol de levas y cigüeñal, luego pasa por el filtro separador de agua y luego llega a la bomba de inyección.
- Sistema de admisión: únicamente requieren de aire, para eso tienen un filtro de aire que envía el aire al compresor y este manda el aire a presión a la válvula de admisión de los cilindros.
- Sistema de lubricación: compuesto por una bomba y un filtro del contenedor de aceite.
- Sistema de carga: compuesto por un alternador, una banda de distribución y una batería, que es cargada por el alternador. Es un sistema autoalimentado.



- Sistema de escape
- Sistema de control: consta del panel de control, donde se puede seleccionar los modos de funcionamiento.

### **2.4.1 Funcionamiento**

La operación de la planta eléctrica de emergencia tiene dos modalidades de operación dependiendo de las necesidades:

- Operación automática: los selectores del panel de control maestro deben ser seleccionados en operación automática. La tarjeta de control en este panel está diseñada para arrancar la planta en lapsos de 3 a 5 segundos después de detectar la falta de energía por parte del distribuidor. La energía eléctrica generada es transferida a los circuitos de emergencia del sistema, esto a través del panel de transferencia. Cuando el suministro normal de energía vuelve, el panel de control da 25 segundos para realizar automáticamente la transferencia, quedando la planta funcionando por 5 minutos más aproximadamente, para el enfriamiento del motor, luego de esto se apaga automáticamente.
- Operación manual: esta operación se realiza solo para pruebas del sistema de la planta, generalmente en mantenimiento, así que se verifica el funcionamiento correcto de la planta sin necesidad de interrumpir la fuente de energía del distribuidor, esto se logra colocando el selector del panel de control maestro en la posición Manual. La mayoría de plantas eléctricas tienen un interruptor principal, la cual debe colocarse en *off* para hacer estas pruebas de forma segura.

## **2.5. Protección de elementos de la red interna**

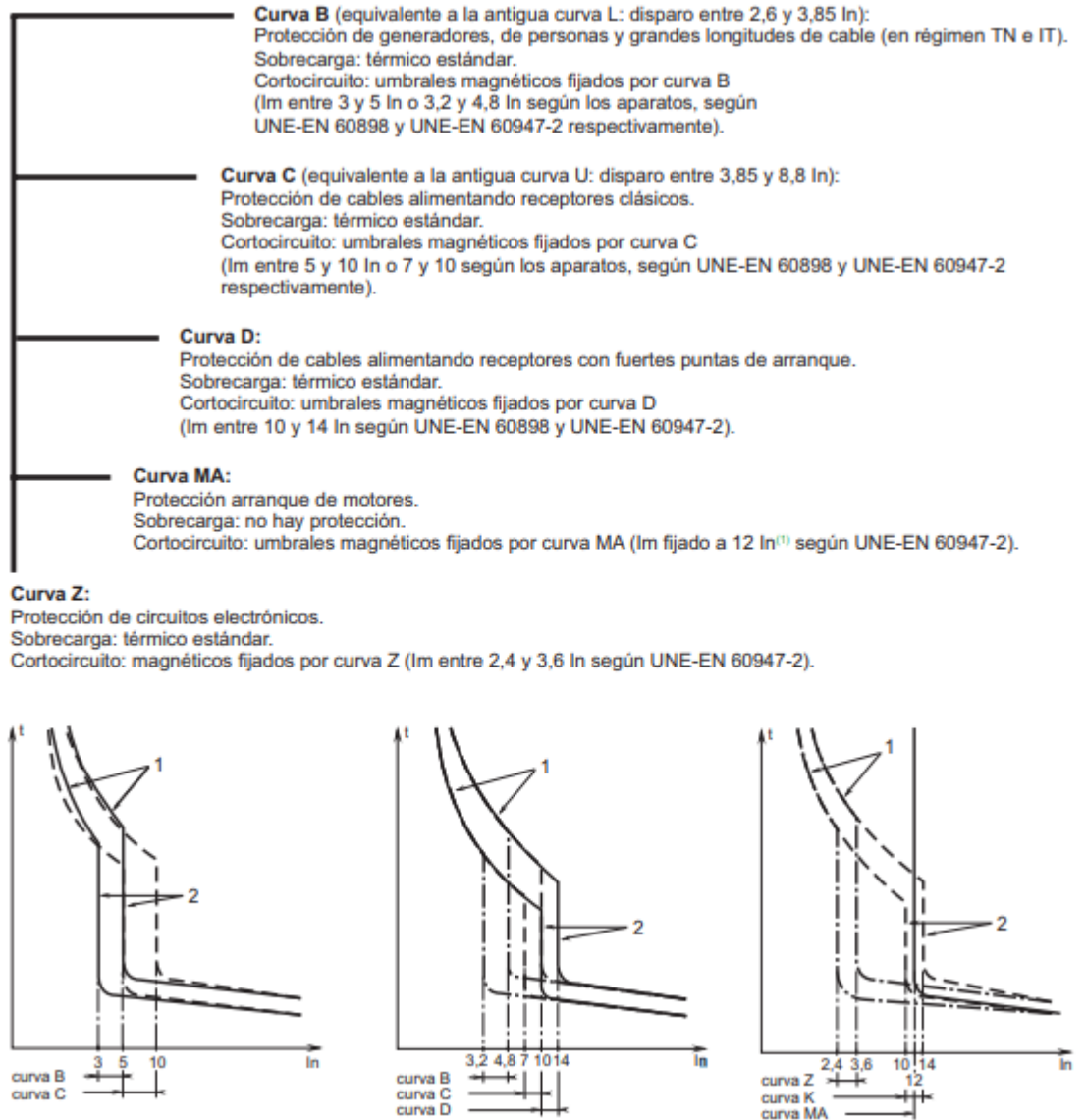
La seguridad y fiabilidad en el uso de los equipos eléctricos en una instalación eléctrica es lo que hace indispensable el correcto dimensionamiento de la protección eléctrica. En el Edificio 2 la carga más significativa la constituye la iluminación y el equipo de oficina, es decir, carga monofásica, llegando a ser una instalación comercial, donde por la cantidad de equipo que se conecta algunos parámetros o dimensionamientos son de tamaño industrial, tales como el tablero principal o el interruptor principal.

### **2.5.1. Protección en tableros eléctricos**

Existen tres tipos de protección más comunes para una instalación eléctrica residencial o comercial que se describen a continuación:

- Protección contra sobrecorrientes: el uso más común en este tipo de instalaciones es el interruptor termo magnético que protege ante cortocircuitos y sobrecargas de corriente eléctrica, es decir, a elevaciones de corriente por arriba de los amperajes nominales, el dispositivo abre la línea, que puede ser monofásica o trifásica. Este funcionamiento está explicado mediante la curva característica del interruptor electromagnético.

Figura 8. **Curva característica del interruptor electromagnético**



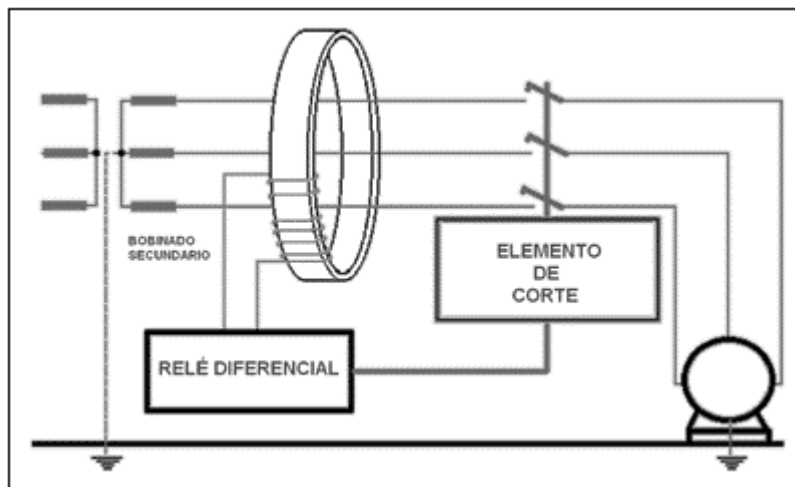
Fuente: Electroindustria. *Revista electroindustria*. p. 10.

Las curvas de protección y la elección de los interruptores electromagnéticos debe ser elegida de acuerdo a la Norma IEC 60-898 (Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecargas, que pueden llegar a ser utilizadas por

personas que desconocen temas de electricidad) e IEC 60947-2 (Trata las características de los interruptores de uso industrial, hechos en caja moldeada o monoblock).

- Protección diferencial por fugas de corrientes: en este caso entra en juego el interruptor diferencial, ya que la protección brinda seguridad ante riesgo de electrocución por fugas de corriente, se llama así debido a que es capaz de medir la diferencia de corriente de entrada y la que retorna.

Figura 9. **Principio de funcionamiento de un interruptor diferencial**



Fuente: Electroindustria. *Revista electroindustria*. p. 11.

Los métodos para selectividad de un interruptor diferencial son:

Los métodos para asegurar la selectividad en un esquema de protección, se basan generalmente en los siguientes principios:

- Retardo de disparo aguas arriba

- Disminución de la sensibilidad aguas arriba
- Filtrado de perturbaciones aguas arriba
- Combinación de los anteriores
- Protección por fusibles: son elementos de protección autodestructivos, contienen en su interior una cinta de aleación de plomo – estaño con un bajo punto de fusión, este se funde cuando se sobrepasa el punto máximo de amperaje para el cual está diseñado.

De acuerdo a las normas americanas existen fusibles de uso ordinario de 10 a 15 A, para uso en hogares, y fusibles con capacidades de hasta 60 A, con opción de sustituir la cinta y reutilizarlo. En un tablero puede existir la protección de fusible e interruptor termomagnético de cuchilla y palanca, o combinaciones de interruptores fusible y termomagnético.



### **3. ANÁLISIS HISTÓRICO DE CONSUMO**

Para la evaluación del consumo histórico en el edificio 2 de la planta central del MINEDUC la única fuente de información son las facturas, en este caso la empresa distribuidora de energía es la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA). En cuanto a la empresa que distribuye el agua potable es la Empresa de Agua de Guatemala (EMPAGUA).

A continuación se detalla la información de los consumos históricos de energía en el Edificio 2 del Ministerio de Educación.

#### **3.1. Inventario de equipos eléctricos**

Se realizó un inventario de equipos en el edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación con el objeto de analizar cómo se utiliza la energía o los recursos energéticos en general y la correspondencia que tiene con la potencia total instalada o la demanda del recurso en cuestión.

A partir de esta información se identifican los principales puntos sobre los cuales es necesario trabajar, en busca de mejorar la eficiencia energética.

Se resume en la tabla VIII los datos de todos los equipos conectados en este edificio y los correspondientes consumos energéticos:

Tabla VIII. Inventario de equipos del edificio 2 planta central MINEDUC

Nivel	Ala	Ubicación	PC's	Impresoras	Refrigerador	Microondas	Oasis Agua	Cafetera	Pantallas	Rack	Secamano's	A/C	Bomba	OBSERVACIONES
Sótano 2			1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 Motores para extractores
Sótano 1		Bodega Bombas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
Sótano 1		Coordinación Video Proceso Teleservicio	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Sótano 1		Archivo DIGEPSA	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Nivel 1 Norte		Sala Cleanomatic	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1 Proyector
Nivel 1 Norte		Salón 1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1 Proyector
Nivel 1 Norte		Salón 2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	SA Sin Acceso
Nivel 1 Norte		Salón 3	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	
Nivel 1 Norte		Rack	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1 cajero automático
Nivel 1 Norte		Barral	5	5	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
Nivel 1 Sur		Baños	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
Nivel 1 Sur		Biblioteca y Archivo	11	5	0	1	2	0	0	1	0	0	0	1 Ascensor de carga
Nivel 2 Norte		Baños Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Nivel 2 Norte		DIGEPSA	38	14	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
Nivel 2 Sur		Baños Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Nivel 2 Sur		DIGEPSA Participación Comunitaria	32	22	2	1	2	0	0	1	0	0	0	1 Frigorbar y 1 Refrigerador 7'
Nivel 3 Norte		Baños Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Nivel 3 Norte		DIGEADE	40	18	1	3	1	2	0	1	0	0	0	1 tostador
Nivel 3 Sur		Baños Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	Refrigerador 9"
Nivel 3 Sur		DIGEADE	14	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
Nivel 3 Sur		DICONIME	25	9	1	1	1	1	0	1	0	0	0	
Nivel 4 Norte		Baños Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Nivel 4 Norte		DIGEBI	43	24	2	2	2	2	1	1	0	0	0	1 Frigorbar y 1 Refrigerador 9'
Nivel 4 Sur		Baños Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Nivel 4 Sur		DIGEBI /DIGEADE	40	18	1	3	1	2	0	1	0	0	0	
Azotea		Azotea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2 Bombas (1 para manguera contra incendios, 1 para tinacos)
Azotea		Ascensor												
<b>TOTALES</b>			<b>252</b>	<b>126</b>	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	

Fuente: elaboración propia.



Nota: existen ambientes en donde no se tuvo acceso para medir o verificar, como algunas bodegas en los sótanos, pero se considera que no son ambientes tan relevantes en donde exista personal trabajando.

El objetivo del inventario de equipos descrito por medio de la anterior tabla es verificar cuales equipos o aparatos conectados en la instalación eléctrica del edificio 2 del MINEDUC tienen el mayor consumo energético de acuerdo a las horas de uso y la potencia consumida, de acuerdo a esto se evidencio que es el sistema de iluminación es el que aporta el mayor consumo de electricidad, con un 26 % del total del consumo eléctrico. Después de la iluminación, son los equipos de cómputo con un 19 %, lo mismo que los equipos de impresión y fotocopiadoras, es decir, todo el equipo de oficina en general, mientras que el aire acondicionado aporta un 12 % al consumo siendo también una carga relevante en el sistema. En la tabla IX y gráfico se muestra el aporte de cada equipo en el consumo de energía eléctrica:

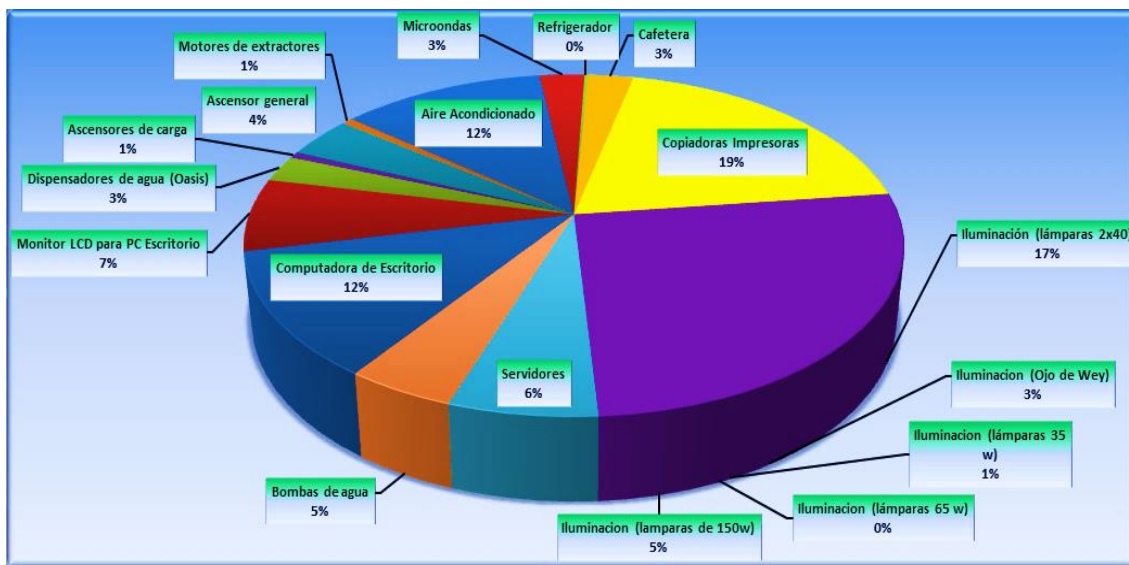
Tabla IX. **Consumo de energía en equipos del edificio 2 MINEDUC**

Item	Equipo	Cantidad	Consumo Individual (Wh)	Antigüedad	Horas de Uso	Ahorro de Energía	Se utiliza AE	Energía Consumida (Kwh/día)	Energía Mes (Kwh)	Energía %
1	Computadora de Escritorio	252	65,00		7	NO	NO	114,66	2 293,20	11,82
2	Monitor LCD para PC Escritorio	252	38,00		7	NO	NO	67,03	1 340,64	6,91
3	Dispensadores de agua (Oasis)	15	540,00		3	NO	NO	24,30	486,00	2,51
4	Ascensores de carga	2	3 000,00		1	NO	NO	6,00	120,00	0,62
5	Ascensor general	1	9 500,00		4	NO	NO	38,00	760,00	3,92
6	Motores de extractores	2	1 500,00		2	SI	SI	6,00	120,00	0,62
7	Aire Acondicionado	3	7 680,00		5	NO	NO	115,20	2 304,00	11,88
8	Microondas	17	1 500,00		1	NO	NO	25,50	510,00	2,63
9	Refrigerador	7	300,00		1	NO	NO	2,10	42,00	0,22
10	Cafetera	8	800,00		4	NO	NO	25,60	512,00	2,64
11	Copiadoras Impresoras	126	500,00		3	NO	SI	189,00	3 780,00	19,49
12	Iluminación (lámparas 2x40)	223	80,00		9	NO	NO	160,56	3 211,20	16,55
13	Iluminación (Ojo de Wey)	304	13,00		8	NO	NO	31,62	632,32	3,26
14	Iluminación (lámparas 35 w)	25	35,00		8	NO	NO	7,00	140,00	0,72
15	Iluminación (lámparas 65 w)	5	65,00		8	NO	NO	2,60	52,00	0,27
16	Iluminación (lámparas de 150w)	58	175,00		5	NO	NO	50,75	1 015,00	5,23
17	Servidores	8	750,00		10	SI	SI	60,00	1 200,00	6,19
18	Bombas de agua	5	2 200,00		4	NO	NO	44,00	880,00	4,54
								969,92	19 398,36	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX se resalta en color amarillo el consumo por cada tipo de iluminación instalada, pero al final es representado como un solo valor de carga eléctrica destinado para iluminación del edificio.

Figura 10. **Distribución del consumo de energía en equipos del Edificio 2 MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Consumo de energía eléctrica

Las instalaciones del edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación cuentan con suministro de energía desde una acometida principal que es un servicio y tarifa en media tensión demanda en punta (MTDP), con una subestación eléctrica compuesta tres transformadores, cada uno tiene la capacidad de 100 KVA, por lo que los tres transformadores suman 300 KVA.

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

<b>Medidor (contador)</b>	N-82919
<b>Tarifa</b>	MTDP
<b>Voltaje</b>	120 / 208
<b>Fases</b>	Trifásico en Y

Fuente: elaboración propia.

Este edificio a registrado un consumo promedio de 17 934 Kwh, lo que corresponde a un promedio mensual de Q 11 739,67 únicamente por concepto de energía.

Tabla XI. **Consumo energético de acometida principal edificio 2  
MINEDUC**

Diciembre 2016 y Año 2017	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Cargo por Energía	Q 0,648870	Q 0,649186	Q 0,649186	Q 0,649186	Q 0,657487
Consumo KWh	16 380	17 640	19 460	17 640	17 640
Costo de energía	Q 10 628,49	Q 11 451,64	Q 12 633,16	Q 11 451,64	Q 11 598,07
Incumplimiento NTSD	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
Potencia máxima kw	51,8	61,6	61,6	58,8	68,6
Potencia contratada Kw	100	100	100	100	100
Costo por Potencia máxima	Q 25,321693	Q25,321178	Q25,321178	Q25,321178	Q24,469535
Costo por Potencia Contratada	Q 12,368776	Q12,368776	Q12,368776	Q12,368776	Q12,368776
<b>Costo por tasa Municipal</b>	Q 1 819,80	Q 1 959,10	Q 2 112,70	Q 1 949,88	Q 1 993,58
Cargo fijo por cliente	Q 819,74	Q 821,69	Q 821,69	Q 821,69	Q 821,69
<b>Total factura (con IVA)</b>	<b>Q 17 498,04</b>	<b>Q 18 837,49</b>	<b>Q 20 314,39</b>	<b>Q 18 748,87</b>	<b>Q 19 169,06</b>

Fuente: elaboración propia.

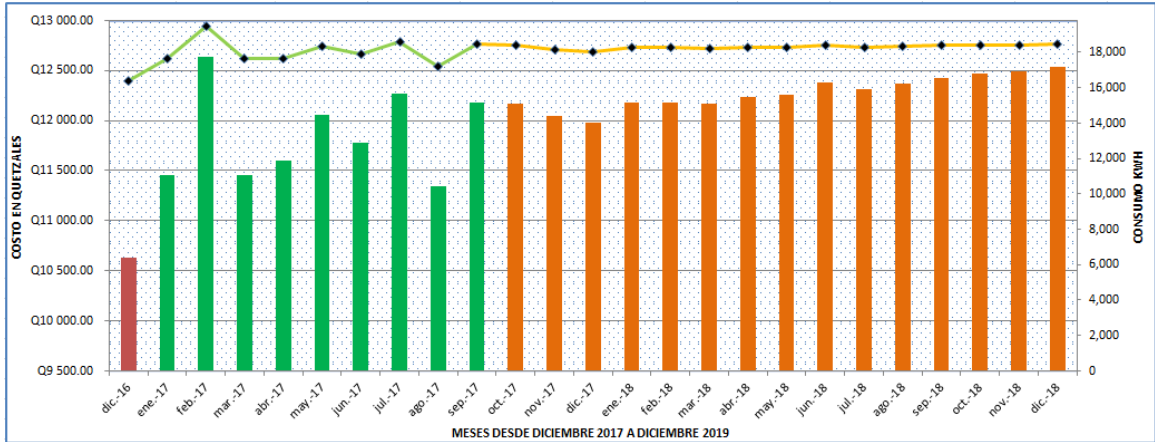
Tabla XII. **Consumo energético de acometida principal edificio 2  
MINEDUC**

Año 2017	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Cargo por Energía	Q 0,657487	Q 0,657487	Q 0,658932	Q 0,658932	Q 0,658932
Consumo KWh	18 340	17 920	18 620	17 220	18 480
Costo de energía	Q 12 058,31	Q 11 782,17	Q 12 269,31	Q 11 346,81	Q 12 177,06
Incumplimiento NTSD	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00	Q0,00
Potencia máxima kw	63	63	63	64,4	71,4
Potencia contratada Kw	100	100	100	100	100
Costo por Potencia máxima	Q24,469535	Q24,469535	Q24,467768	Q24,467768	Q24,467768
Costo por Potencia Contratada	Q12,368776	Q12,368776	Q12,368776	Q12,368776	Q12,368776
<b>Costo por tasa Municipal</b>	Q 2 035,60	Q 1 999,70	Q 2 062,53	Q 1 947,06	Q 2 077,26
Cargo fijo por cliente	Q 821,69	Q 821,70	Q 823,70	Q 823,70	Q 823,70
<b>Total factura (con IVA)</b>	<b>Q 19 573,08</b>	<b>Q 19 227,90</b>	<b>Q 19 832,05</b>	<b>Q 18 721,74</b>	<b>Q 19 973,65</b>

Fuente: elaboración propia.

El consumo promedio del 2017 es de 17 934 Kwh, mientras la proyección que va desde el mes de octubre 2017 y todo el 2018 muestra un consumo promedio de 18 145,04 Kwh, esto proyecta un crecimiento de 211,04 Kwh para este año, siendo un crecimiento no tan relevante respecto al consumo total. En la figura 11 se muestra la proyección, las barras verdes representan los datos de facturación recopilados, y las barras naranja representan los datos proyectados.

Figura 11. Proyección de crecimiento energético para el 2019

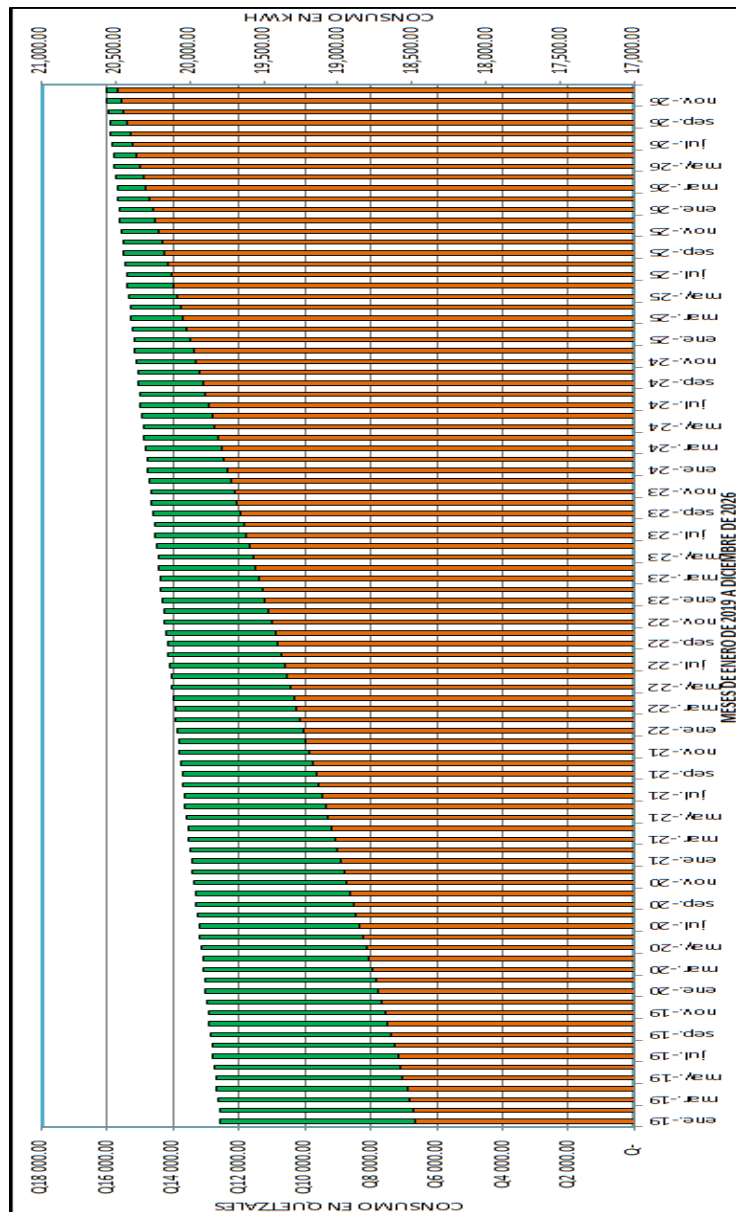


Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que durante el 2017 y lo que va del 2018 el servicio no ha sido sancionado por incumplimiento de la normativa (NTSD) por bajo factor de potencia. En cuanto al 2018 (barras en anaranjado) se prevé un crecimiento bastante estable, sin embargo la proyección del estudio debe extenderse hasta el 2032, esto de acuerdo al Plan Nacional de la Energía que contempla la reducción en el consumo energético a nivel nacional.

Si se realiza una proyección sin tomar en cuenta algún crecimiento relevante del edificio, en cuanto a obra civil, nuevas instalaciones eléctricas.

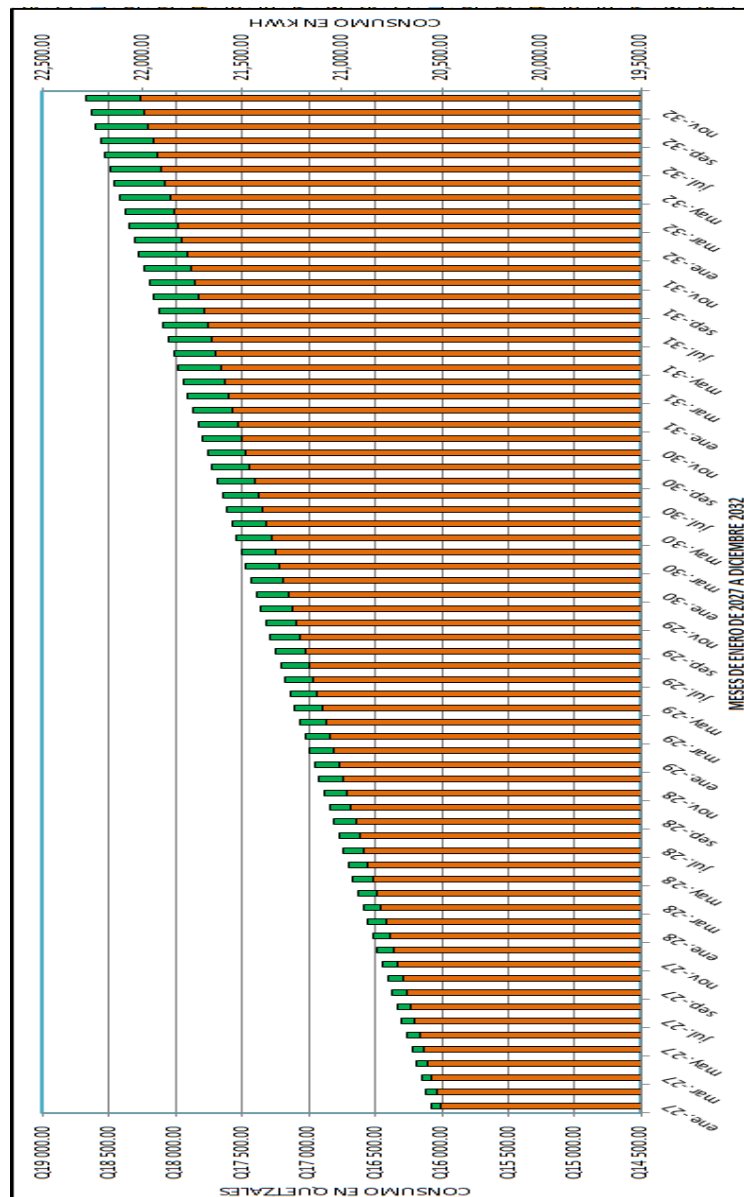
Figura 12. **Proyección de crecimiento energético de 2019 a 2026 con base en consumos históricos**



Fuente: elaboración propia.

Barras verdes – costo en quetzales, barras naranja – consumo en Kwh

Figura 13. **Proyección de crecimiento energético de 2028 a 2032 con base en consumos históricos**



Fuente: elaboración propia.

Barras verdes – costo en quetzales, barras naranja – consumo en Kwh

Si el comportamiento del consumo sigue siendo estable se presentan datos interesantes, de acuerdo a la proyección para el 2032 se estima un consumo mensual de 22 013,09 Kwh, el cual representa un costo únicamente por consumo energético de Q 18 676,44, lo que demuestra un crecimiento no tan abrupto al pasar de los años, claramente, en este caso intervienen otros factores que no se pueden obviar, pero es más fácil analizarlos desde el punto de vista de las mediciones físicas realizadas, realizando así una proyección basada en las mediciones de los parámetros eléctricos, como se estudia en los capítulos posteriores.

Figura 14. **Subestación de transformación de la acometida principal edificio 2**



Fuente: elaboración propia.



### 3.3. Consumo de agua potable

En cuanto al suministro de agua potable para este edificio, es la Empresa Municipal del Agua (EMPAGUA) la que presta el servicio, de acuerdo a la recopilación de la facturación del 2017 se presenta en la tabla XIII el histórico de consumo correspondiente.

Tabla XIII. **Consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC, dic. 2016 y 2017**

Diciembre 2016 y Año 2017	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Costo M3 (Metro cubico)	19,32	19,32	19,32	19,32	19,32
Consumo M3 (Metro cubico)	67,00	86,00	31,00	63,00	97,00
Costo consumo M3	1 294,44	1 661,52	235,00	1 217,16	1 874,04
Valor Alcantarillado	231,15	296,70	42,04	217,35	334,65
Valor Cargo Fijo	27,19	27,19	27,19	27,19	27,19
Tasa por tratamiento de aguas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor cargo por Mora	79,61	104,00	135,20	139,98	162,94
<b>Total a pagar</b>	<b>1 632,39</b>	<b>2 089,41</b>	<b>439,83</b>	<b>1 601,68</b>	<b>2 398,82</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC, en el 2017**

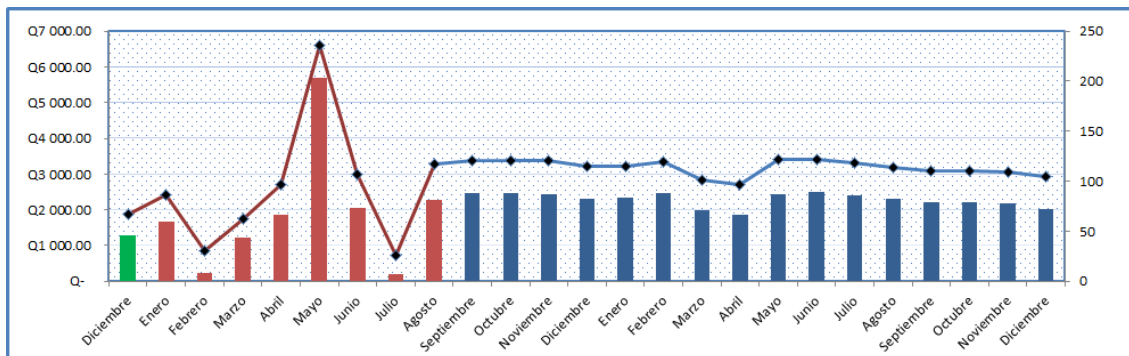
Año 2017	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Costo M3 (Metro cubico)	19,32	19,32	19,32	19,32
Consumo M3 (Metro cubico)	236,00	107,00	26,00	117,00
Costo consumo M3	5 701,38	2 067,24	197,43	2 260,44
Valor Alcantarillado	1 018,10	369,15	35,26	403,65
Valor Cargo Fijo	27,19	27,19	27,19	27,19
Tasa por tratamiento de aguas	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor cargo por Mora	141,24	193,89	193,89	97,26
<b>Total a pagar</b>	<b>6 887,91</b>	<b>2 657,47</b>	<b>453,77</b>	<b>2 788,54</b>

Fuente: elaboración propia.

El consumo promedio del recurso hídrico en el 2017 es de 100,47 metros cúbicos, lo que representa un gasto de Q 1 941,18, mientras que en el 2018 de acuerdo a la proyección el consumo promedio estimado será de 111,81 metros cúbicos, representando un gasto de Q 2 160,12, esto implica un crecimiento en el consumo no tan relevante en cuanto a gastos se refiere.

En el grafico siguiente se representa un histórico del consumo de este recurso, en barras rojas las recopiladas por facturación mientras que en barras azules las proyectadas, además de los segmentos de recta que representan el consumo en metros cúbicos de agua potable.

**Figura 15. Proyección del consumo de agua potable edificio 2 MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.

El valor total de facturación tiene un cargo mensual promedio de Q 2 327,76 y un consumo promedio de 92,22 metros cúbicos. De acuerdo a la proyección se puede apreciar un consumo constante en general. En general la institución cumple con los pagos de forma puntual por los servicios prestados, únicamente suelen existir cargos por mora de hasta Q 193,00, este costo

puede ser no tan relevante comparado con el total facturado, sin embargo, se puede ahorrar pagando en las fechas correspondientes el servicio prestado.

### 3.4. Hábitos de consumo y encuesta realizada a los empleados de la institución

En cuanto a los hábitos de consumo energético se refiere, fue necesario realizar una encuesta a todos los colaboradores del edificio 2 de la planta central del MINEDUC, esto fue realizado de forma digital, siendo una manera más práctica por la cantidad de trabajadores y la facilidad de acceso a correo electrónico de los mismos. Es necesario comprender el uso actual de las instalaciones y aparatos eléctricos y de esta forma saber que usos afectan más al consumo energético de toda la instalación.

### 3.5. Encuesta realizada para los empleados de la institución

En la tabla XV se muestran los resultados obtenidos después de la encuesta.

Tabla XV. Encuesta realizada a trabajadores del Edificio 2 del MINEDUC

No.	PREGUNTA	RESPUESTA							
		Edificio 1	Edificio 2						
1	¿En que edificio labora usted?	Edificio 1	Edificio 2						
2	¿Cuál es su horario regular de trabajo?	7:00 a 16:00 1	8:00 a 17:00 7	9:00 a 18:00 11					
3	¿Acostumbra apagar las luces al salir de una habitación?	Siempre 15	Casi siempre 4	A veces 1	Casi nunca 0	Nunca 0			
4	¿Cuál es el mayor problema en el sistema eléctrico de su oficina?	Falta de conexiones 0	Actualizar equipos 7	Falta de iluminación 12	otros 1	Ninguno 0			
5	¿Utiliza la opción de ahorro de energía en equipos?	Siempre 4	No sabe como 9	En algunos 7					
6	¿En que equipos utiliza ahorro de energía?	Computadora 6	Impresora 7	Fotocopiadora 7	Laptop 10	Scanner 0	Refrigerador 0	Monitor 0	Otros 0
7	¿En que horario enciende su computadora?	Entre 7:00 y 9:30 hrs 19	Entre 13:00 y 15:00 hrs 1	16:00 hrs en adelante 0					
8	¿En que horario apaga normalmente su computadora?	Entre 12:00 y 14:00 hrs 2	Entre 16:00 a 18:00 hrs 12	Nunca 6					
9	En largos periodos de tiempo sin usar su computadora usted	La apaga 0	La deja encendida 15	normalmente la deja encendida 5					
10	¿En su oficina se usa aire acondicionado?	Sí 0	No 20						

Continuación de la tabla XV.

11	¿A que temperatura mantiene el aire acondicionado?	Cerca de 23° 5	Cerca de 18° 9	Otros 5					
12	¿Suele dejar puertas y ventanas abiertas mientras utiliza el aire acondicionado?	Si 13	No 7						
13	¿Qué aparatos considera que se quedan conectados después de la jornada laboral?	Computadora 16	Microondas 20	Cafetera 17	Cargadores 4	Refrigerador 20	Impresora 20	Fotocopiadora 16	Otros 4
14	¿Imprime a doble cara y en blanco y negro cuando es posible?	Si 10	No 4	A veces 6					
15	¿Conoce algún plan de ahorro energético aplicable a su puesto?	Si 8	No 12						
16	¿Separa los residuos para reciclar?	Si 3	No 17						
17	¿Vería positivo utilizar energía renovable para suministrar energía a oficinas?	Si 20	No 0						
18	¿Estaría de acuerdo en recibir campañas informativas de ahorro energético?	Si 20	No 0						
19	¿Estaría dispuesto a cambiar algunos hábitos de consumo energético?	Si 11	No 4	Talvez 5					

Fuente: elaboración propia.

En general los hábitos de consumo de los trabajadores es bueno, sin embargo, puede mejorar en gran medida si se cambian hábitos que están consumiendo más energía. Cabe mencionar los puntos más débiles a mejorar:

- Configuración de ahorro de energía en monitores, computadoras, fotocopiadoras e impresoras.
- No se apagan ni desconectan los equipos ofimáticos cada vez que termina la jornada laboral

Se desconocen propuestas o planes de ahorro.

## **4. ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN INTERNA DE LA INSTITUCIÓN**

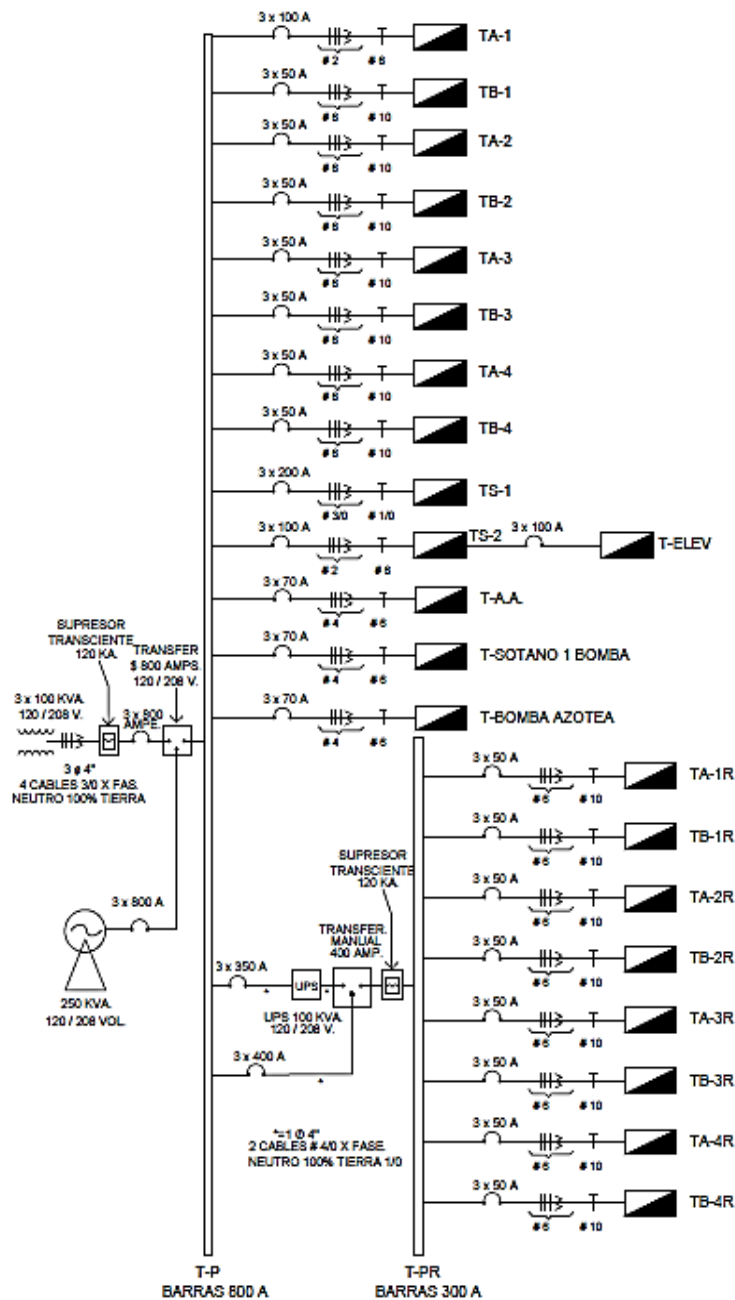
El fin del análisis de la instalación interna en el edificio 2 del Ministerio de Educación, es evaluar si el dimensionamiento diseñado en la construcción del edificio es confiable para la carga que está conectada actualmente en la instalación, o si es necesario un cambio de algún elemento del sistema, como puede ser calibre de conductores, protecciones o tableros. El dimensionamiento de conductores y protecciones se evaluó de acuerdo a la carga demandada actualmente, la cual se especifica en cada una de las tablas a continuación. Cabe mencionar que las instalaciones actuales no han sufrido cambios relevantes con respecto al diseño inicial, las modificaciones han sido mínimas y el crecimiento de equipo y carga periódicamente ha crecido pero en general se mantienen los mismos dimensionamientos de carga. De igual forma se hizo un estudio de campo para verificar el estado de cada tablero y conexiones principales para el edificio 2.

### **4.1. Diagrama unifilar eléctrico de las instalaciones**

El diagrama unifilar es una representación gráfica en una sola línea de los diferentes elementos de la instalación eléctrica del edificio, es decir, la conexión entre los elementos de conducción y de protección. El edificio 2 tiene además del tablero principal, uno principal regulado que está conectado a través de un interruptor trifásico de 350A, un UPS de 100Kva y una transferencia manual de 400A, es decir, un *By-pass*.

Además, cada uno de los 4 pisos de oficinas está dividido en dos alas, ala sur y ala norte, por cada ala se encuentra un tablero secundario y un tablero secundario regulado, siendo en total de 8 tableros secundarios y 8 tableros secundarios regulados. En cada uno de los dos sótanos existe un tablero secundario, llamados TS-1 y TS-2, para sótano 1 y sótano 2, respectivamente, además de un tablero para las bombas en el sótano 1 y un tablero secundario para las bombas de la azotea. Del tablero TS2 se deriva uno secundario para el elevador y por último existe un interruptor dedicado para aires acondicionados en los salones 1, 2 y 3 del nivel 1. Todo esto esta detallado en el diagrama unifilar que se presenta a continuación:

Figura 16. Diagrama unifilar de la instalación eléctrica del edificio 2 MINEDUC



Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 12.

## 4.2. Dimensionamiento principal

Se realizó una inspección visual de cada protección y conductor para cada circuito del tablero principal del edificio 2 en la planta central del Ministerio de Educación, está ubicado en el sótano 1. Para el edificio 2, existe un supresor de transientes principal que está conectado justo después de la conexión secundaria del centro de transformación trifásica y antes del interruptor principal. La capacidad del transiente es de 120 KA, en serie con el interruptor principal, como se muestra en el diagrama unifilar, el interruptor principal trifásico tiene una capacidad de 3X800A que es la protección principal y la interrupción para el tablero trifásico principal.

Para calcular la corriente de corto circuito estimada para el edificio, se ha basado específicamente en lo indicado por la guía técnica de aplicación en su anexo 3: Como generalmente se desconoce la impedancia del circuito de alimentación a la red (impedancia del transformador, red de distribución y acometida) se admite que en caso de cortocircuito la tensión en el inicio de las instalaciones se puede considerar como 0,8 veces la tensión de suministro. Se toma el defecto fase tierra como el más desfavorable, y además se supone despreciable la inductancia de los cables. La expresión es:

$$I_{cc} = \frac{0.8 V}{\sqrt{3}R}$$

Donde:

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

$V$  = tensión de alimentación

$R$ = resistencia del conductor de fase entre el punto considerado y la alimentación



A la vez R es la suma de las resistencias de los conductores entre el tablero principal y el punto donde se desea calcular el corto circuito, considerando que los conductores estén a 20 °C.

Tomando en cuenta la acometida trifásica tiene 35m de longitud, compuesta por 4 conductores 3/0 por fase hasta donde está el transformador, mientras que la línea general de alimentación tiene 14m hasta el tablero central compuestos por 3 conductores 1/0 por fase:

$$R_{LGA} = \rho \frac{L_{LGA}}{S} = \left( \frac{0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \left( \frac{14\text{m}}{160,5\text{mm}^2} \right) = 0,00935 \Omega$$

$$R_{DI} = \rho \frac{L_{DI}}{S} = \left( \frac{0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \left( \frac{35\text{m}}{340\text{mm}^2} \right) = 0,00185 \Omega$$

Donde:

$R_{LGA}$  = resistencia de la línea general de la acometida

$R_{DI}$  = resistencia de la derivación individual

De esta forma:

$$I_{cc} = \frac{0,8 V}{\sqrt{3}R} = \frac{0,8(240 V)}{\sqrt{3}(0,00935 \Omega + 0,00185 \Omega)} = 9\ 897,43\text{A}$$

Ya que existen dos capacidades de interruptor para un interruptor termomagnético, una capacidad de interrupción en servicio, que es la que es capaz de interrumpir sin que el dispositivo sufra daños, y una capacidad de interrupción última, que es la máxima capacidad de interrupción que puede

realizar el interruptor antes de quedar dañado. Para este caso se calculó una capacidad de interrupción en servicio de 9 827,43 A. De acuerdo a los datos de placa del interruptor, a 240V puede interrumpir hasta 42 kA.

Figura 17. **Interruptor principal trifásico termomagnético de 800 A en edificio 2**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Distribución de interruptores y conductores en tablero principal**

Distribución de breakers en tablero principal						
Conductores por fase en la alimentación principal: 3 AWG 1/0						
Ubicación en tablero	Identificación	Marca	Ampacidad	Catálogo	Cantidad de Fases	No. De calibre empleado
DERECHA	TS1 (Sótano 1)	SQUARE D	200 A	QBA32200	3	3/0
DERECHA	TA-1 (Nivel 1 Sur)	SQUARE D	100 A	FA321000	3	2
DERECHA	TA-3 (Nivel 3 Sur)	SQUARE D	50 A	FA43050	3	6
DERECHA	TB-1 (Nivel 1 Norte)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
DERECHA	TB-3 (Nivel 3 Norte)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
DERECHA	BOMBAS AZOTEA	SQUARE D	50 A	FA34050	3	4
DERECHA	BY-PASS	SQUARE D	300 A	Q432300	3	1/0
DERECHA	UPS	SQUARE D	300 A	LA36400	3	3/0
IZQUIERDA	TS2 (Sótano 2)	SQUARE D	100 A	FA34100	3	2
IZQUIERDA	TA-2 (Nivel 2 Sur)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
IZQUIERDA	TA-4 (Nivel 4 Sur)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
IZQUIERDA	TB-2 (Nivel 2 Norte)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
IZQUIERDA	TB-4 (Nivel 4 Norte)	SQUARE D	50 A	FA34050	3	6
IZQUIERDA	Bombas Sótano 1	SQUARE D	50 A	FA34050	3	4
IZQUIERDA	C/A Aires	SQUARE D	70 A	FA34070	3	4

Fuente: elaboracion propia.

Se desea analizar el dimensionamiento actual de las instalaciones, por lo que se analizaron los calibres y protecciones en cada circuito desde el tablero principal hasta los tableros secundarios. Existió la necesidad en algún momento de realizar interrupciones para saber que carga está conectada a los interruptores, sin embargo varias inspecciones se realizaron en días laborales y se hizo imposible interrumpir el servicio. Aun así se determinó en su mayoría como está distribuida la carga en cada circuito.

El tablero principal es trifásico, de tipo industrial y está capacitado también con barras de 800 A, de 42 polos y sin interruptor principal.

En cuanto al cálculo del conductor y la selección del mismo dependen dos factores muy importantes que son calculados por separado:

- Selección de conductor por ampacidad
- Selección de conductor por caída de voltaje

A pesar de ser análisis diferentes, ambos intervienen en la elección del conductor más apropiado, ya que se debe seleccionar de acuerdo a los cálculos el que resulte de mayor sección cumpliendo ambos puntos de vista, ampacidad y caída de voltaje.

La ampacidad de los conductores no debe ser menor al 125 % de la carga nominal, como lo indica la NEC en el Artículo 210,19 (A)(1).

El cálculo de la corriente del circuito toma en cuenta factores de corrección, y con esto, en las tablas de conductores pueden encontrarse los calibres recomendados:

$$I = \frac{S}{V * F_{sis} * F_{con} * F_{tub} * F_{tem}}$$

Donde:

I = corriente

S = potencia en VA

V = voltaje

F<sub>sis</sub> = factor del sistema, que puede ser continuo o no

F<sub>con</sub> = factor del número de conductores

F<sub>tub</sub> = factor de tubería, el cual interviene por la disipación del calor

F<sub>tem</sub> = factor de temperatura ambiente

Si el cálculo se realiza tomando en cuenta la caída de voltaje, lo cual sucede principalmente por la distancia que existe desde la fuente hacia la carga, utilizando largos tramos de cableado, entonces la caída de voltaje es:

$$\Delta V = VF - VC$$

Donde:

$\Delta V$  = caída del voltaje del conductor

$VF$  = voltaje medido desde la fuente o el alimentador

$VC$  = voltaje medido en el punto donde está la carga conectada

Se puede evaluar porcentualmente la regulación de tensión, la cual esta mencionada en la NEC Artículo 219(A):

$$e = \frac{\Delta V}{V_{nom}}$$

Los porcentajes de caída de tensión permitida según la NEC son las siguientes:

Tabla XVII. **Caídas de tensión permitidas según NEC**

Regulación de voltaje	Observaciones
3%	Para alimentador principal
3%	Para circuitos derivados
5%	Para que ambos circuitos no sobrepasen la tolerancia indicada

Fuente: elaboración propia.

Según el Artículo 210.19 literal A de la NEC nota informativa núm. 4, expresa literalmente lo siguiente: “Los conductores para circuitos ramales, según se define en el Artículo 100, dimensionados para evitar una caída de tensión que exceda del 3 % en la salida más lejana de las cargas de energía, calefacción e iluminación o cualquier combinación de dichas cargas, y en los que la caída máxima total de tensión tanto en alimentadores como en circuitos ramales hasta la salida más lejana no exceda del 5 %, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable”.

Si existen componentes de reactancia capacitiva e inductiva están presentes en el alimentador, entonces la ecuación sería:

$$\Delta V = VF - VC = RI\cos\theta + Xl\text{sen}\theta - Xc\text{sen}\theta$$

Pero para baja tensión y calibres hasta de 4/0 AWG, la componente reactiva es insignificante si se compara con la componente resistiva, por lo que puede decidir despreciarse, expresando generalmente esta expresión de la siguiente forma:

$$\Delta V = RI = \rho \frac{IL}{A}$$

Despejando A y sustituyendo  $\Delta V$  se obtiene:

$$A = \frac{c\rho IL}{eV_{nom}}$$

Donde:

A = área o sección transversal en  $\text{mm}^2$

$\rho$  = resistividad del conductor

L = longitud de la carga hacia al alimentador en metros

e = caída de voltaje porcentual permitida.

$V_{nom}$  = voltaje nominal

I = corriente de la carga

c = factor adicional, en circuitos monofásicos y trifásicos  $c = 2$  y en circuitos trifásicos  $c = \sqrt{3}$  y el voltaje nominal corresponde al voltaje de línea a línea.

Con esta ecuación se puede calcular la sección transversal de cada conductor de la instalación.

Por último, la tubería necesaria para colocar los conductores se selecciona considerando una ventilación adecuada y un espacio que permita la manipulación de los diferentes conductores al momento de realizar las conexiones hacia las diferentes áreas de la instalación, tomando en cuenta la sección transversal de todos los conductores y el área transversal del tubo.

El nombre técnico para considerar lo mencionado es factor de relleno, según la norma NEC Artículo 362,22 para dos conductores el factor de relleno debe ser 31 %, para dos conductores 3 o más conductores se limita a un 40 %, y en cuanto al espacio adicional, la Norma NEC en el capítulo 9 muestra las tablas para los diferentes criterios de protección de cableado ya sea conducto metálico y no metálico, por lo que se hace referencia a los artículos 358, 362, 348, 342, 356, 344 y 352 para todos los tipos de tubería o conductos, donde también se toma en cuenta también el factor de arreglo de 0,8 para conductor forrado.

$$A_{\text{tubo}} = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Para varios conductores:

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \sum A_{\text{conductores}}}{\pi * FA * FR}}$$

Donde:

- $\phi$  = diámetro del tubo
- $A_{\text{conductores}}$  = sección de área transversal
- FA = factor de arreglo
- FR = factor de relleno

### 4.3. Dimensionamiento de protecciones en tablero principal

Conociendo la carga instalada en cada ambiente del edificio, y la distribución de los circuitos, se puede hacer un cálculo y estimar el calibre de



conductor, la capacidad del interruptor y el tamaño del tablero para alojar estos interruptores.

Tabla XVIII. **Dimensionamiento del tablero principal**

TABLERO PRINCIPAL T-P									
TABLERO TIPO INDUSTRIAL - BARRAS 800A - SIN PRINCIPAL									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1		9390			3x100A	THHN#2	78.25	45.30	Alimentación Tablero TA-1
2			9592				79.93	65.30	
3				9518			79.32	54.30	
4		2754			3X50A	THHN#6	45.90	63.97	Alimentación Tablero TB-1
5			2634				43.90	68.47	
6				2650			44.17	72.97	
7		5356			3X50A	THHN#6	89.27	77.47	Alimentación Tablero TA-2
8			5766				96.10	81.97	
9				5664			94.40	86.47	
10		5632			3X50A	THHN#6	93.87	90.97	Alimentación Tablero TB-2
11			5490				91.50	34.50	
12				5664			94.40	45.60	
13		6306			3X50A	THHN#6	67.78	53.40	Alimentación Tablero TA-3
14			6216				68.78	32.10	
15				6678			69.78	25.60	
16		6106			3X50A	THHN#6	70.78	65.40	Alimentación Tablero TB-3
17			6216				71.78	35.60	
18				5940			72.78	43.30	
19		6706			3X50A	THHN#6	73.78	39.80	Alimentación Tablero TA-4
20			6368				74.78	42.70	
21				6540			75.78	42.90	
22		6056			3X50A	THHN#6	76.78	43.10	Alimentación Tablero TB-4
23			5916				77.78	43.30	
24				6052			78.78	43.50	
25		13584			3X200A	THHN#3/0	56.60	43.70	Alimentación Tablero TS-1
26			13652				56.88	43.90	
27				13737			57.24	44.10	
28		7400			3x100A	THHN#2	61.67	44.30	Alimentación Tablero TS-2
29			7560				63.00	44.50	
30				7585			63.21	44.70	
31		28750			3X300A	THHN#4/0	79.86	44.90	Alimentación Tablero TPR
32			27000				75.00	45.10	
33				28500			79.16	45.30	
34					3X400A	THHN#4	80.16	45.50	UPS
35							81.16	45.70	
36							82.16	45.90	
37					3X70	THHN#4	83.16	46.10	Bomba Sótano
38							84.16	46.30	
39							85.16	46.50	
40					3X70	THHN#4	86.16	46.70	Bomba Azotea
41							87.16	46.90	
42							88.16	47.10	
					3X70	THHN#4	89.16	47.30	Aire Acondicionado
		98040	96408	98628					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 14.

Tabla XIX. Dimensionamiento del tablero principal regulado

TABLERO PRINCIPAL REGULADO T-PR									
TABLERO TIPO INDUSTRIAL - BARRAS 300A - SIN PRINCIPAL									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1		4750			3x50A	THHN#6	79.17	32.50	Alimentación Tablero TA-1R
2			4500				75.00	46.70	
3				3750			62.50	67.50	
4		0			3X50A	THHN#6	0.00	54.30	Alimentación Tablero TB-1R
5			0				0.00	47.50	
6				500			8.33	78.90	
7		3750			3X50A	THHN#6	62.50	56.70	Alimentación Tablero TA-2R
8			3500				58.33	81.00	
9				3750			62.50	24.50	
10		3500			3X50A	THHN#6	58.33	46.30	Alimentación Tablero TB-2R
11			3000				50.00	52.00	
12				2500			41.67	35.70	
13		4750			3X50A	THHN#6	79.17	49.45	Alimentación Tablero TA-3R
14			3500				58.33	53.38	
15				4500			75.00	57.31	
16		3750			3X50A	THHN#6	62.50	61.24	Alimentación Tablero TB-3R
17			5000				83.33	65.17	
18				4750			79.17	69.10	
19		4500			3X50A	THHN#6	75.00	73.03	Alimentación Tablero TA-4R
20			3750				62.50	76.96	
21				3750			62.50	65.40	
22		3750			3X50A	THHN#6	62.50	58.90	Alimentación Tablero TB-4R
23			3750				62.50	79.30	
24				4750			79.17	67.00	
25									
26									
27									
28									
29									
30									
		28750	27000	28250					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 15.

- Factor de utilización para barras principales

Existe una relación entre la demanda máxima y la potencia total instalada para satisfacer esta demanda, a esta relación se le conoce como factor de utilización, esto es un porcentaje de consumo real de carga actual del edificio 2 con respecto al consumo máximo posible si se utilizara toda la potencia contratada, así como los conductores elegidos y el dimensionamiento del tablero principal.

La demanda de la energía eléctrica para el edificio es de 180 kw equivalente a 225 kva, calculados con un factor de potencia de 0,80, esto según datos del diseño de planos.

Así de esta manera si se evalúa de forma general, se tienen los siguientes datos:

- Potencia instalada: 300 Kva
- Potencia demandada: 180 Kw

$$Fu = \frac{180 \text{ Kw}}{300 \text{ KVA}} = 0,2456$$

Lo que indica que solo el 24,56 % de la potencia instalada total es utilizada en general para el edificio, este valor se basa en la energía suministrada por los transformadores, sin embargo si se analiza desde el punto de vista de corriente o energía se puede verificar si la capacidad de los conductores y las barras no están muy ajustados.

Consumo medio de energía de acuerdo al rango de medición:  
15 658,04 Kwh

- Consumo de energía proyectada anual: 187 896,47 Kwh
- Potencia instalada: 180 kw

Entonces:

$$Fu = \frac{187\ 896,47 \text{ Kwh}}{(180 \text{ Kw} * 8,760\text{h})} = 0,1191$$

El Factor de utilización desde el punto de vista de energía, es 11,91 %, lo cual es razonable, ya que la demanda máxima se da solo en un rango de horario laboral, luego de esto prácticamente no existe consumo.

Sin embargo, es necesario comparar estos datos para la capacidad de las barras principales, empezando con los datos de diseño, se sabe que la capacidad de las barras es de 800 A.

De la misma forma, recopilando los datos obtenidos de las mediciones en el tablero principal:

Tabla XX. **Valores máximos de demanda de corriente en cada línea**

Línea	Valores Máximos (A)
L1	211,90
L2	270,00
L3	203,10

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los valores medios máximos obtenidos por las mediciones, ningún valor máximo llega a ser lo suficientemente alto para forzar las barras, se calculan los factores de utilización máximos por medio de la corriente en cada barra, pero para ello se obtienen de nuevo de las mediciones los valores medios en los que se mantienen las corrientes en cada línea.

Tabla XXI. **Valores medios de demanda de corriente en cada línea**

Línea	Valores Medios (A)
L1	69,90
L2	66,68
L3	50,98

Fuente: elaboración propia.

Los valores de la tabla anterior son los valores medios que se alcanzan en el tablero principal, así entonces:

$$Fu_{L1} = \frac{(69,9 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168}{(800 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168} = 0,087$$

$$Fu_{L2} = \frac{(66,68 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168}{(800 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168} = 0,083$$

$$Fu_{L3} = \frac{(50,8 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168}{(800 \text{ A} * 120 \text{ V}) * 168} = 0,063$$

Se multiplica por 168 horas ya que las mediciones se realizaron durante una semana. De esta manera se observa que las barras tienen porcentajes medios de utilización bastante bajos, así que ninguna barra del tablero está forzada.

En cuanto a los conductores, por cada fase existen 3 conductores AWG 1/0, así que si analizamos cuánta corriente soporta un conductor de estas características según las tablas indicadas por la tabla 310,16 de los anexos de la NEC soportan hasta 124 A, por lo que si se tienen 3 por cada fase los conductores tienen un factor de utilización del 72 % si se considera la corriente

mas alta registrada, de 270 A, es decir, los conductores principales estan correctamente dimensionados.

Por ultimo el interruptor trifasico principal es de 3x800 A, mismo de las barras del tablero y acorde al calibre de los conductores por fase, asi que no esta sobrecargado, teniendo un factor de utilización media de 40 %.

#### **4.4. Dimensionamiento de tableros secundarios**

El dimensionamiento de los tableros secundarios se realiza de la misma forma para los conductores y la tubería, pero es necesario aclarar la forma en que se estima la capacidad de protección de los interruptores.

Los interruptores se fabrican para rangos de corriente desde 15 a 100 A y desde 125 a 225 A, de uno a tres polos, ahora existen otros con disparo intercambiable, que están arriba del rango de 225 A son de alta capacidad interruptiva y poseen ajuste de disparo.

Es necesario dejar un rango de tolerancia para las protecciones, de nuevo como lo indica la NEC Artículo 210,20, el sistema eléctrico siempre es dinámico, así que se utiliza normalmente un 25 % más del valor calculado de corriente.

$$I_{proteccion} = 1,25I_{nominal}$$

Según el Artículo 210,20 literal A) de la NEC expresa literalmente lo siguiente:

Cargas continuas y no continuas. Cuando un circuito ramal alimenta cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas,

el valor nominal del dispositivo de sobrecorriente no debe ser menor a la carga no continua más el 125 % de la carga continua.

Las tablas proporcionadas por fabricantes toman en cuenta el DME del tablero, este dato esta dado en VA, así que, a partir de ahí, se puede obtener la corriente, que se denomina corriente de diseño:

$$I_{\text{diseño}} = \frac{1,25 * DME}{\sqrt{3} V_{\text{nom}}}$$

$$\text{Capacidad de barras} = 2 * I_{\text{diseño}}$$

$$\# \text{polos} = \# \text{espacios} * \text{factor de crecimiento}$$

$$I_{\text{interruptor}} = 1,25 I_{\text{nom}}$$

Donde:

$I_{\text{diseño}}$  = corriente estimada en barras

Capacidad de barras = dimensión adicional para tener una capacidad segura en las barras.

#polos = número de polos del tablero

factor de crecimiento = factor que se toma en cuenta en caso de crecimiento de carga

$I_{\text{interruptor}}$  = corriente de interruptor de protección para el tablero

$I_{\text{nom}}$  = corriente nominal

$V_{\text{nom}}$  = voltaje nominal

#### 4.5. Dimensionamiento de protecciones en tableros secundarios

A continuación en la tabla XXII está el dimensionamiento.

Tabla XXII. Dimensionamiento del tablero para el 1er nivel ala sur

TABLERO TA-1 (1er. Nivel ala Sur)									
Tablero trifásico, 42 polos, barras 200A, sin principal									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1	F	750			1x20A	THHN#12	31.25	67.00	Iluminación gradas 1er nivel
2	A		640		1x20A	THHN#12	26.67	65.30	Iluminación 1er nivel
3	C			690	1x20A	THHN#12	28.75	54.30	Iluminación 1er nivel
4	H	990			1x20A	THHN#12	41.25	63.97	Iluminación exterior
5	B		652		1x20A	THHN#12	27.17	68.47	Iluminación 1er nivel
6	D			528	1x20A	THHN#12	22.00	53.60	Iluminación 1er nivel
7	8	1000			1x20A	THHN#12	41.67	73.10	Fuerza normal 1er nivel
8	E		400		1x20A	THHN#12	16.67	74.10	Iluminación 1er nivel
9	G			650	1x20A	THHN#12	27.08	75.10	Iluminación gradas 1er nivel
10	12	1200			1x20A	THHN#12	50.00	76.10	Fuerza normal 1er nivel
11	13		1800		1x20A	THHN#12	75.00	34.50	Fuerza normal 1er nivel
12	O			650	1x20A	THHN#12	27.08	45.60	Iluminación gradas 2do nivel
13	P	750			1x20A	THHN#12	31.25	53.40	Iluminación gradas 2do nivel
14	Q		650		1x20A	THHN#12	27.08	67.80	Iluminación gradas 3er nivel
15	R			750	1x20A	THHN#12	31.25	89.40	Iluminación gradas 3er nivel
16	S	750			1x20A	THHN#12	31.25	65.40	Iluminación gradas 4to nivel
17	T		650		1x20A	THHN#12	27.08	35.60	Iluminación gradas 4to nivel
18	U			650	1x20A	THHN#12	27.08	43.30	Iluminación gradas sótano 1
19	V	750			1x20A	THHN#12	31.25	26.00	Iluminación gradas sótano 1
20	1		1400		1x20A	THHN#12	58.33	42.70	Fuerza normal 1er nivel
21	2			1400	1x20A	THHN#12	58.33	43.70	Fuerza normal 1er nivel
22	3	1200			1x20A	THHN#12	50.00	44.70	Fuerza normal 1er nivel
23	4		1200		1x20A	THHN#12	50.00	45.70	Fuerza normal 1er nivel
24	5			1400	1x20A	THHN#12	58.33	46.70	Fuerza normal 1er nivel
25	6	1200			1x20A	THHN#12	50.00	47.70	Fuerza normal 1er nivel
26	7		1200		1x20A	THHN#12	50.00	48.70	Fuerza normal 1er nivel
27	14			1800	1x20A	THHN#12	75.00	49.70	Fuerza normal 1er nivel
28	9	800			1x20A	THHN#12	33.33	44.30	Fuerza normal 1er nivel
29	10		800		1x20A	THHN#12	33.33	44.50	Fuerza normal 1er nivel
30	11			800	1x20A	THHN#12	33.33	44.70	Fuerza normal 1er nivel
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
		9390	9392	9318					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 16.



Tabla XXIII. **Dimensionamiento del tablero para el 1er nivel ala norte**

TABLERO TB-1 (1er. NIVEL ALA NORTE)									
Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1	1	1400			3x20A	THHN#6	58,33	32,50	Fuerza normal 1er nivel
2	A		980				40,83	46,70	Iluminación 1er nivel
3	B			1354			56,42	67,50	Iluminación 1er nivel
4	2	1200			3X20A	THHN#6	50,00	54,30	Fuerza normal 1er nivel
5	C		904				37,67	47,50	Iluminación 1er nivel
6	D			250			10,42	78,90	Iluminación 1er nivel
7					3X20A	THHN#6	0,00	56,70	
8	E		250				10,42	81,00	Iluminación 1er nivel
9	F			250			10,42	24,50	Iluminación 1er nivel
10					3X20A	THHN#6	0,00	46,30	
11	G		350				14,58	52,00	Iluminación 1er nivel
12	H			350			14,58	35,70	Iluminación 1er nivel
13					3X20A	THHN#6	0,00	49,45	
14							0,00	53,38	
15	J			350			14,58	57,31	Iluminación 1er nivel
		2600	2484	2554					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 17.

Tabla XXIV. **Dimensionamiento del tablero para el 2do nivel ala sur**

TABLERO TA-2 (2do. NIVEL ALA SUR)									
Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1	A	728			1x20A	THHN#12	30,33	45,00	Iluminación 2do nivel
2	D		616		1x20A	THHN#12	25,67	34,00	Iluminación 2do nivel
3	C			864	1x20A	THHN#12	36,00	55,00	Iluminación 2do nivel
4	B	828			1x20A	THHN#12	34,50	24,10	Iluminación 2do nivel
5	E		750		1x20A	THHN#12	31,25	26,93	Iluminación 2do nivel
6	1			1600	1x20A	THHN#12	66,67	29,76	Fuerza normal 2do nivel
7	2	1000			1x20A	THHN#12	41,67	32,59	Fuerza normal 2do nivel
8	3		1000		1x20A	THHN#12	41,67	35,42	Fuerza normal 2do nivel
9	4			1200	1x20A	THHN#12	50,00	38,25	Fuerza normal 2do nivel
10	5	1000			1x20A	THHN#12	41,67	41,08	Fuerza normal 2do nivel
11	6		1000		1x20A	THHN#12	41,67	52,00	Fuerza normal 2do nivel
12	7			1000	1x20A	THHN#12	41,67	35,70	Fuerza normal 2do nivel
13	11	1800			1x20A	THHN#12	75,00	49,45	Fuerza normal 2do nivel
14	8		1200		1x20A	THHN#12	50,00	53,38	Fuerza normal 2do nivel
15	9			1000	1x20A	THHN#12	41,67	57,31	Fuerza normal 2do nivel
16									
17	10		1200		1x20A	THHN#12	50,00	57,31	Fuerza normal 2do nivel
		5356	5766	5664					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 18.

Tabla XXV. **Dimensionamiento del tablero para el 2do nivel ala norte**

<b>TABLERO TB-2 (2do. nivel ala norte)</b>							
<b>Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	A	1016			1X20A	THHN#12	Iluminación 2do nivel
2	B		640		1X20A	THHN#12	Iluminación 2do nivel
3	C			864	1X20A	THHN#12	Iluminación 2do nivel
4	D	616			1X20A	THHN#12	Iluminación 2do nivel
5	E		450		1X20A	THHN#12	Iluminación 2do nivel
6	8			1200	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
7	4	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
8	1		1400		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
9	2			1200	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
10	5	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
11	3		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
12	6			1200	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
13	10	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
14	9		1800		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
15	7			1200	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
16	11	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 2do nivel
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
		5632	5490	5664			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 19.

Tabla XXVI. Dimensionamiento del tablero para el 3er nivel ala sur

<b>TABLERO TA-3 (3er nivel ala sur)</b>							
<b>Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	A	766			1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
2	B		816		1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
3	C			628	1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
4	D	840			1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
5	7		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
6	E			850	1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
7	1	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
8	3		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
9	4			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
10	2	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
11	6		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
12	5			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
13	8	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
14	9		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
15	10			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
16	11	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
17	12		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
18	13			1800	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
19							
20							
21							
22							
23							
24							
		6206	6216	6278			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 20.

Tabla XXVII. **Dimensionamiento del tablero para el 3er nivel ala norte**

<b>TABLERO TB-3 (3er. nivel ala norte)</b>							
<b>Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	A	778			1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
2	B		616		1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
3	C			640	1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
4	D	728			1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
5	E		350		1X20A	THHN#12	Iluminación 3er nivel
6	1			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
7	2	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
8	3		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
9	4			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
10	5	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
11	6		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
12	10			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
13	7	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
14	9		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
15	8			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
16	11	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
17	12		1800		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 3er. nivel
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
		5906	5966	5840			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 22.

Tabla XXVIII. Dimensionamiento del tablero para el 4to nivel ala sur

TABLERO TA-4 (4to nivel ala sur)							
Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	A	666			1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
2	B		766		1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
3	C			640	1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
4	D	640			1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
5	E		800		1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
6	1			1200	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
7	2	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
8	3		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
9	7			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
10	4	800			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
11	5		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
12	10			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
13	8	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
14	6		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
15	9			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
16	11	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
17	12		1800		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
18	13			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
19	14	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
20							
21							
22							
23							
24							
		6506	6566	6640			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 23.

Tabla XXIX. **Dimensionamiento del tablero para el 4to nivel ala norte**

TABLERO TB-4 (4to. nivel ala norte)							
Tablero trifásico, 24 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	A	804			1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
2	B		716		1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
3	C			852	1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
4	D	652			1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
5	E		400		1X20A	THHN#12	Iluminación 4to nivel
6	1			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
7	2	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
8	3		1200		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
9	4			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
10	5	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
11	6		800		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
12	7			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
13	9	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
14	8		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
15	10	1200			1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
16	12		1800		1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
17	11			1400	1X20A	THHN#12	Fuerza normal 4to. nivel
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
		6056	5916	6052			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 24.

Tabla XXX. Dimensionamiento del tablero para el sótano 1

TABLERO TA-1 (1er. Nivel ala Sur)									
Tablero trifásico, 42 polos, barras 200A, sin principal									
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	%Fu Flipon	%Fu cable	Descripción
1	A	704			1x20A	THHN#12	29.33	67.00	Iluminación sótano 1
2	B		792		1x20A	THHN#12	33.00	65.30	Iluminación sótano 1
3	C			352	1x20A	THHN#12	14.67	54.30	Iluminación sótano 1
4	E	1735			1x30A	THHN#10	48.19	63.97	Iluminación sótano 1
5	F		1735		1x30A	THHN#10	48.19	68.47	Iluminación sótano 1
6	H			1926	1x30A	THHN#10	53.50	53.60	Iluminación sótano 1
7	G	1735			1x30A	THHN#10	48.19	57.32	Iluminación sótano 1
8	J		1735		1x30A	THHN#10	48.19	55.96	Iluminación sótano 1
9	K			1320	2x20A	THHN#12	55.00	54.59	Iluminación exterior
10		1320							
11	L		1320		2x20A	THHN#12	55.00	51.86	Iluminación exterior
12				1320				50.49	
13	M	1320			2x20A	THHN#12	55.00	49.12	Iluminación exterior
14			1320					47.76	
15	N			1320	2x20A	THHN#12	55.00	46.39	Iluminación exterior
16		1320						45.02	
17	P		1100		2x20A	THHN#12	45.83	43.66	Iluminación exterior
18				1100				42.29	
19	Q	1100			2x20A	THHN#12	45.83	40.92	Iluminación exterior
20			1100					39.56	
21	R			1100	2x20A	THHN#12	45.83	38.19	Iluminación exterior
22		1100						36.82	
23	S		1100		2x20A	THHN#12	45.83	35.46	Iluminación exterior
24				1100				34.09	
25	T	1100			2x20A	THHN#12	45.83	32.72	Iluminación exterior
26			1100					31.36	
27	5			1400	1x20A	THHN#12	58.33	29.99	Fuerza normal sótano 1
28	U	1100			2x20A	THHN#12	45.83	28.62	Iluminación exterior
29			1100					27.26	
30	4			1400	1x20A	THHN#12	58.33	25.89	Fuerza normal sótano 1
31	3	1100			1x20A	THHN#12	45.83	24.52	Fuerza normal sótano 1
32	1		1200		1x20A	THHN#12	50.00	23.16	Fuerza normal sótano 1
33	2			1200	1x20A	THHN#12	50.00	21.79	Fuerza normal sótano 1
34	BH				1x30A	THHN#10			Fuerza 220v Bomba hidroneumática de cisterna
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
		13534	13602	13537					

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 26.

Tabla XXXI. **Dimensionamiento del tablero para el sótano 2**

TABLERO TS-2 (sótano 2)							
Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	F	1735			1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
2	A		1925		1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
3	C			1492	1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
4	B	1735			1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
5	E		1243		1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
6	D			1525	1X30A	THHN#10	Iluminación sótano 2
7	G	440			1X20A	THHN#12	Iluminación sótano 2
8	2		1600		1X20A	THHN#12	Fuerza normal sótano 2
9	1			1600	1X20A	THHN#12	Fuerza normal sótano 2
10	H	800			1X20A	THHN#12	Iluminación sótano 2
11	3		2500		3X30A	THHN# 8	Elevador
12				2500			
13		2500					
14							
15							
16							
17							
18							
		7210	7268	7117			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 28.



Tabla XXXII. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 1er nivel ala sur**

<b>TABLERO TA-1R - Fuerza Regulada (1er. nivel ala sur)</b>							
<b>Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal</b>							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
2	R2		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
5	R5		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
6	R6			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
8	R9		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
9	R8			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
10	R10	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
11	R11		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		4750	4500	3750			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 29.

Tabla XXXIII. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 1er nivel ala norte**

<b>TABLERO TB-1R - Fuerza Regulada (1er. nivel ala norte)</b>							
<b>Tablero trifásico, 6 polos, barras 125A, sin principal</b>							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	R1			500	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 1er nivel
2							
3							
4							
5							
6							
		0	0	500			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 30.

Tabla XXXIV. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 2do nivel ala sur**

<b>TABLERO TA-2R - Fuerza Regulada (2do. nivel ala sur)</b>							
<b>Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
2	R2		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
5	R5		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
6	R6			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
8	R8		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
9	R9			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		3750	3500	3750			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 32.

Tabla XXXV. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 2do nivel ala norte**

<b>TABLERO TB-2R - Fuerza Regulada (2do. nivel ala sur)</b>							
<b>Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
2	R2		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
5	R6		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
6	R5			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
7	R7	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
8	R8		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 2do nivel
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		3500	3000	2500			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 33.

Tabla XXXVI. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 3er nivel ala sur**

TABLERO TA-3R - Fuerza Regulada (3er. nivel ala sur)							
Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	R1	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
2	R2		1000		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
3	R3			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
5	R5		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
6	R6			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
8	R8		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
9	R9			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
10	R10	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
11							
12	R11			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		4750	3500	4500			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 34.

Tabla XXXVII. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 3er nivel ala norte**

<b>TABLERO TB-3R - Fuerza Regulada (3er. nivel ala sur)</b>							
<b>Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal</b>							
<b>#</b>	<b>Circ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Flipón</b>	<b>Cable</b>	<b>Descripción</b>
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
2	R2		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
5	R6		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
6	R5			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
8	R8		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
9	R9			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
10							
11	R10		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
12	R11			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 3er nivel
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		3750	5000	4750			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 35

Tabla XXXVIII. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 4to nivel ala sur**

TABLERO TA-4R - Fuerza Regulada (4to. nivel ala sur)							
Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
2	R2		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
4	R4	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
5	R5		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
6	R10			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
8	R8		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
9	R9			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
10	R6	1000			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		4500	3750	3750			

Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 36.

Tabla XXXIX. **Dimensionamiento del tablero regulado para el 4to nivel ala norte**

TABLERO TB-4R - Fuerza Regulada (4to. nivel ala sur)							
Tablero trifásico, 18 polos, barras 200A, sin principal							
#	Circ	A	B	C	Flipón	Cable	Descripción
1	R1	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
2	R2		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
3	R3			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
4	R4	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
5	R6		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
6	R5			1000	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
7	R7	1250			1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
8	R8		1250		1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
9	R9			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
10							
11							
12	R10			1250	1X20A	THHN#12	Fuerza regulada 4to nivel
13							
14							
15							
16							
17							
18							
		3750	3750	4750			

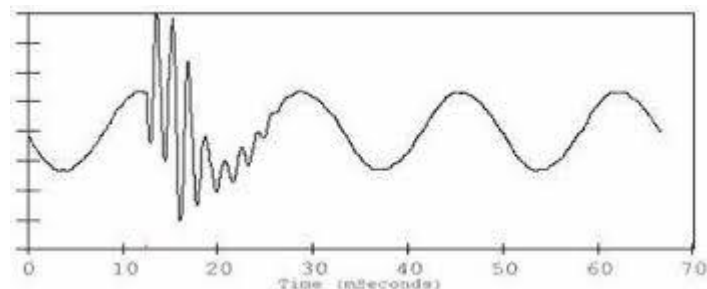
Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 38.

#### 4.6. Supresores de picos de voltaje

Los picos de voltaje, también llamados transiente de voltaje es una elevación instantánea y elevada de tensión en tiempos desde nanosegundos has microsegundos. Muchas de estas elevaciones son generadas por conmutaciones en la red interna del usuario o externa del distribuidor.

De acuerdo a estudios de la IEEE C62,41-1980 - Guía IEEE para voltajes de sobretensión en circuitos de alimentación de CA de bajo voltaje, los niveles de tensión oscilan entre los 50 a 20 000 V siendo valores considerados. Sin embargo, se han llegado a registrar valores de 220 KV en líneas de 69 kV cuando ocurren rayos inducidos.

Figura 18. **Transientes de voltaje**



Fuente: Energy Control System. *Los transientes de voltaje*

El no controlar estas elevaciones bruscas de voltaje puede generar serios daños en equipos electrónicos conectados en la instalación. Por ello es casi indispensable contar con estos equipos de protección para asegurar que los equipos funcionen sin correr riesgos de daños eléctricos.

Los transientes de voltaje o también llamados supresores de voltaje tienen una baja resistividad, por lo cual estos picos pueden ser dirigidos hacia ellos, para luego drenarlos a tierra.

Los fabricantes de supresores deben publicar resultados de laboratorio que indiquen la capacidad de estos equipos para reducir los picos de voltaje, ya que según la IEEE C62,41-1991 - práctica recomendada por IEEE para voltajes de sobretensión en circuitos de alimentación de CA de bajo voltaje, los



supresores aun dejan pasar cierto remanente que todavía puede dañar a los equipos electrónicos. La importancia de determinar el voltaje de remanente permitirá fijar el mejor equipo para conectar en cascada.

Para el caso de la instalación del edificio 2, el supresor principal de transientes es de 120KVA, al igual que el que protege al tablero principal regulado.

#### **4.7. Pruebas eléctricas al transformador de subestación**


Los transformadores de la subestación eléctrica del edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación son administrados por la empresa de distribución que presta el servicio, en este caso EEGSA, es la única que tiene autorización de realizar pruebas en el cuarto de transformación, de acuerdo al contrato que se tiene con la institución, y de acuerdo a lo indicado en las Ntsd, en su artículo 43 por ejemplo, como ya fue indicado en el numeral 2.4 de este trabajo, es responsabilidad de los distribuidores realizar las mediciones de control que determinen la incidencia o no del usuario en la calidad del servicio, así como tomar acciones que solucionen el problema en caso de haberlo. Díganse pruebas que determinen armónicos de corriente, *Flicker*, mala regulación de voltaje, entre otros.

Sin embargo, se obtuvo información gracias a los encargados de DISERSA de un ejemplar oficial de pruebas termográficas realizadas por la empresa distribuidora EEGSA, a los transformadores del edificio, así como al poste de donde viene la conexión en 13,8 Kv.

- La primera medición se realizó en las grapas de suspensión, cuya función son suspender el cable en las líneas aéreas que están a la intemperie de MT realizando tracción.
- La segunda medición es dedicada a los cortacircuitos fusibles, que son la protección de la derivación que va hacia los transformadores.
- La tercera se realiza a los pararrayos y mufas en el poste que va hacia los transformadores.
- Luego la medición se dirige específicamente a los transformadores, que incluye la conexión de entrada, salida y el cuerpo mismo de los transformadores. Por último el interruptor principal.

Figura 19. **Poste donde se encuentran los cortacircuitos que alimentan los transformadores**

SUJETO A INSPECCIÓN: Poste 300603

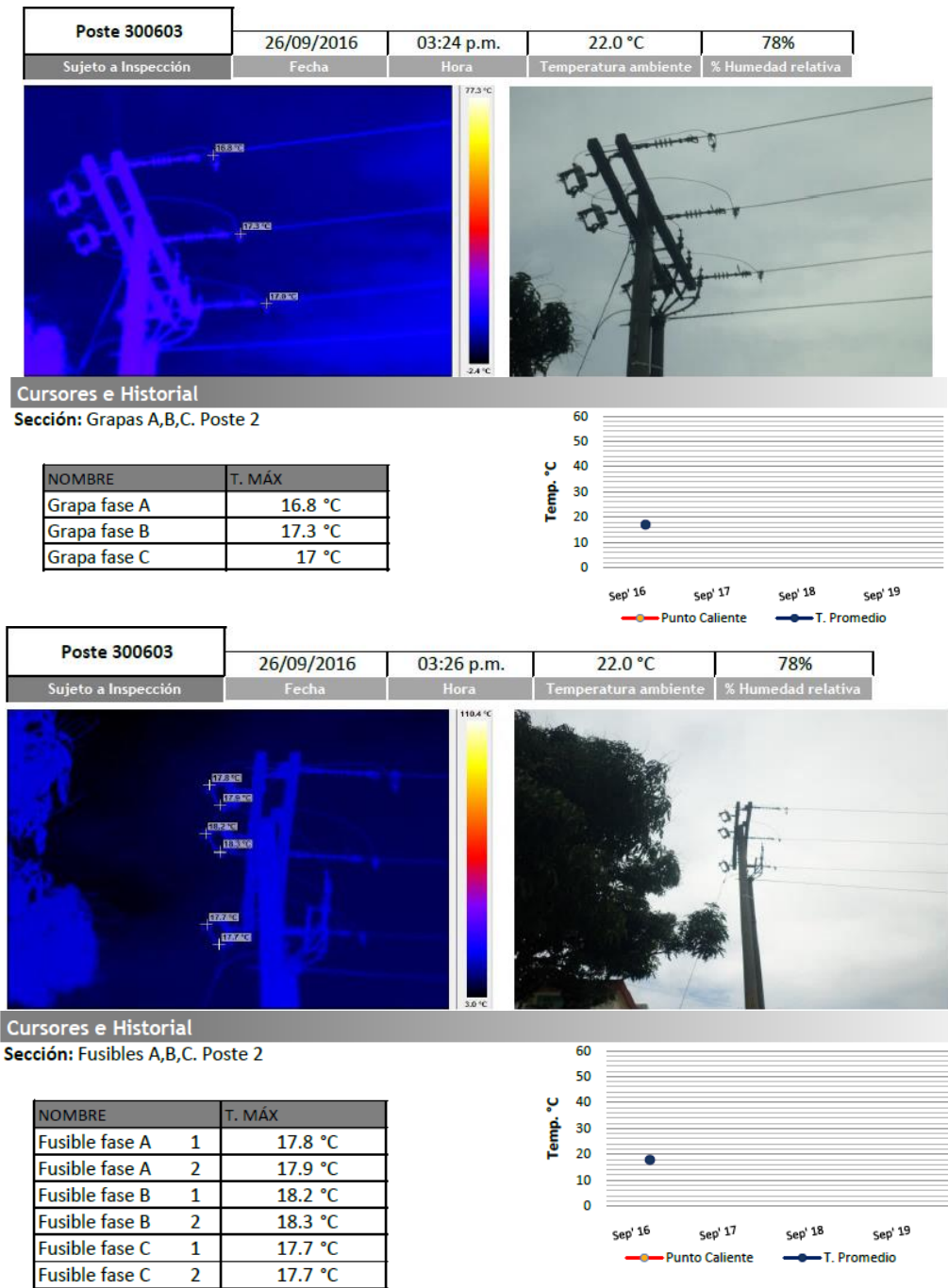


INFORMACIÓN GENERAL

Emisividad	0.95
Modelo de Cámara	IRI32DS
Fabricante	Irisys Infrared Integrated Systems ltd.
Fecha:	26/09/2016
Hora de la Imagen	03:25:00 p.m.

Fuente: MINEDUC. *Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Enérgica.*

Figura 20. Termografía en grapas de suspensión y cortacircuitos fusibles



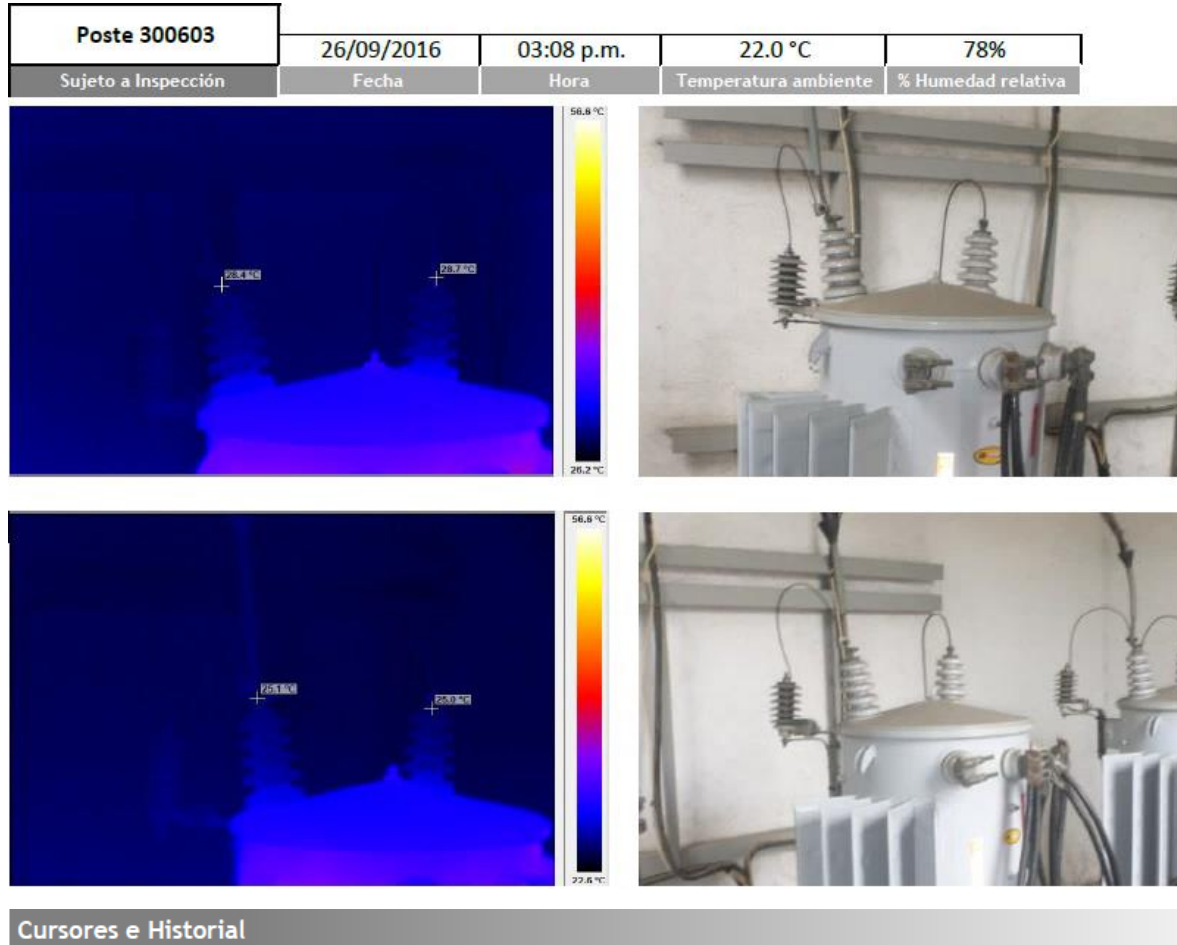
Fuente: MINEDUC. Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Enérgica.

Figura 21. Termografía en mufas y pararrayos

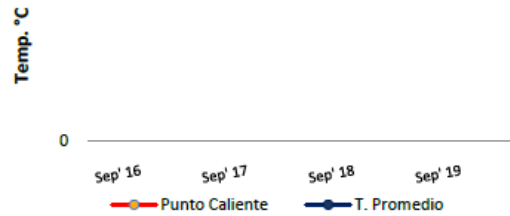


Fuente: MINEDUC. Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Enérgica.

Figura 22. Termografía en conexión de entrada

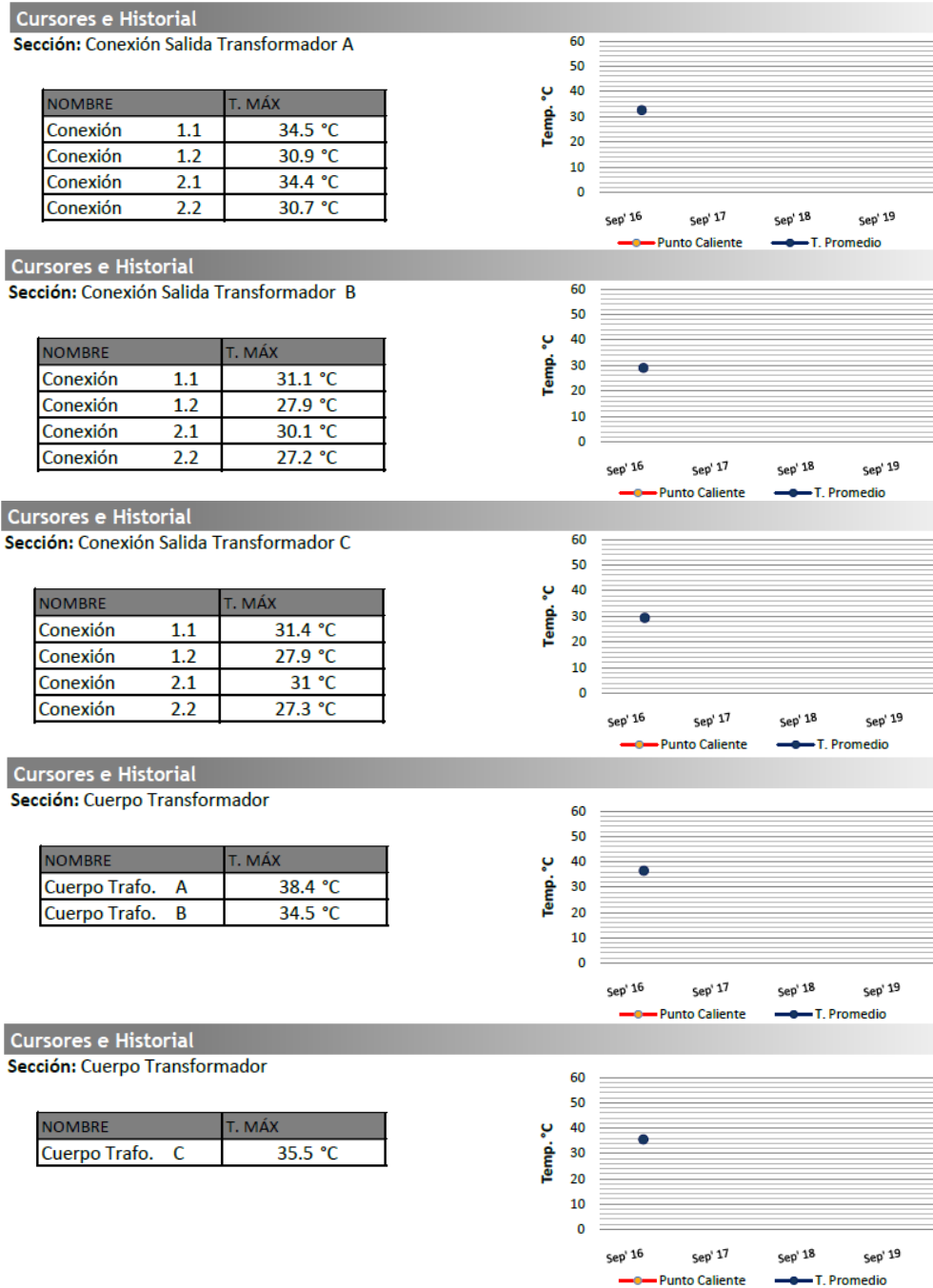


NOMBRE	T. MÁX
Entrada Trafo. A	28.4 °C
Entrada Trafo. A	28.7 °C
Entrada Trafo. B	25.1 °C
Entrada Trafo. B	25 °C



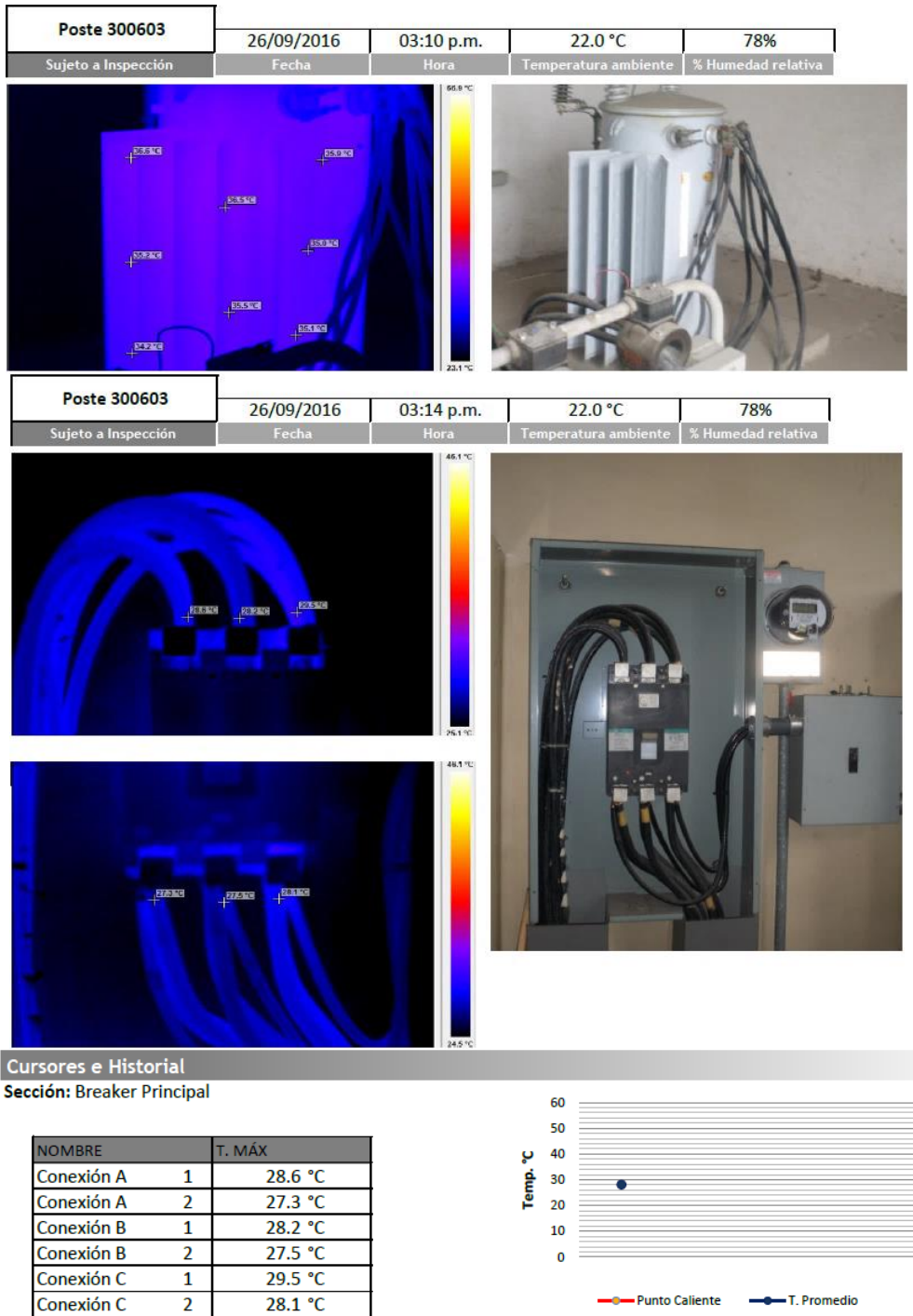
Fuente: MINEDUC. Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Enérgica.

Figura 23. Termografía en conexión de salida y cuerpo de transformadores



Fuente: MINEDUC. Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Energica.

Figura 24. Termografía en Interruptor principal



Fuente: MINEDUC. Reporte de estudio por termografía a Grupo EPM- Energica.



De acuerdo en las mediciones realizadas de termografía indicadas por Energica, no se presentaron puntos calientes en los puntos de conexión y medición.

Es importante mencionar que actualmente no hay registro de pruebas realizadas a los transformadores instalados para el edificio 2, por lo que se sugiere como medida obligatoria programar y realizar las siguientes pruebas:

- Prueba de resistencia óhmica de los devanados: el objetivo es determinar la firmeza de las conexiones internas y guías de los devanados, calcular la temperatura de los devanados y las pérdidas por efecto Joule. Esto según la Norma IEEE C57-12-90-2010.
- Prueba de TTR: prueba necesaria para determinar la relación en cuanto al número de espiras del devanado primario y secundario en un transformador
- Prueba de resistencia de aislamiento: sirve para determinar la cantidad de impurezas y de humedad que contienen los aislamientos del transformador.
- Pruebas de rigidez dieléctrica: el aceite del transformador debe cumplir con características dieléctricas, ya que es el medio enfriador. El aceite está expuesto a contaminación por el ambiente y humedad del entorno, formando también gases dentro del mismo. Una norma que habla sobre esta prueba es la IEEE Std. 386-95.
- Prueba de cromatografía de gases: el paso del tiempo hace inevitable la degradación del aceite, produciendo gases disueltos en el aceite, esto puede provocar fallas relevantes, así que se ha vuelto indispensable en

los últimos años realizar esta prueba para saber la composición de la mezcla y la velocidad y cantidad de formación de gases es un indicativo de la presencia y severidad de fallas por suceder.

- Prueba de potencial inducido: el objetivo es asegurar que el transformador tenga un aislamiento entre vueltas de calidad, incluyendo las capas y secciones en los devanados, además entre devanados y tierra.
- Pruebas de impulso de rayo: esta prueba también está dirigida a verificar la resistencia de los aislamientos del transformador, ante una descarga electro atmosférico.
- Pruebas de termografía: verificar un mapeo térmico de las conexiones y el estado general del transformador permite saber si existen perdidas por mal aislamiento, rotura u otras causas, que únicamente esta prueba nos puede indicar.

## 5. ANÁLISIS DE MEDICIONES DE CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para lograr un consumo eficiente de la energía eléctrica, se deben hacer mediciones de parámetros eléctricos en el tablero principal de distribución eléctrica del edificio 2 del MINEDUC y analizar si estos parámetros de acuerdo a las Normas Técnicas del Servicio de Distribución.

Los datos de los parámetros medidos y recopilados fueron obtenidos por medio de un equipo analizador de redes, marca Fluke, específicamente el modelo FLUKE 435-II.

El analizador obtuvo mediciones en el rango de una semana, en las fechas del 26 enero al 02 de febrero del 2018, de este análisis técnico se detallan a continuación los parámetros eléctricos más relevantes.

### 5.1. Análisis de voltajes

- Voltaje de línea 1 - neutro:

Tabla XL. **Resumen de medición de voltaje línea 1 a neutro**

Vrms Línea 1 - Neutro			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
-	-	120,592	PROMEDIO
30/01/2018	09:06:20	113,54	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	124,08	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

El voltaje de la línea 1 hacia el neutro muestra niveles de voltaje que en promedio están en 120,592 V, se estima de acuerdo a estos datos que la regulación del voltaje de la línea 1 a neutro oscile entre un +/- 5,38 % respecto al valor nominal que es 120 V.

- Voltaje de línea 2 - neutro:

Tabla XLI. **Resumen de medición de voltaje línea 2 a neutro**

Vrms Línea 2 - Neutro			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
-	-	120,649	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	108,76	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	123,82	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

El voltaje de la línea 2 hacia el neutro muestra niveles de voltaje que en promedio están en 120,649 V, se estima de acuerdo a estos datos que la regulación del voltaje de la línea 2 a neutro oscile entre un +/- 9,3 % respecto al valor nominal que es 120 V.

- Voltaje de fase 3 - neutro:

Tabla XLII. **Resumen de medición de voltaje línea 3 a neutro**

Vrms Línea 3 - Neutro			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
-	-	120,841	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	109,38	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	123,89	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

El voltaje de la línea 3 hacia el neutro muestra niveles de voltaje que en promedio están en 120,841 V, se estima de acuerdo a estos datos que la regulación del voltaje de la línea 3 a neutro oscile entre un +/- 8,8 % respecto al valor nominal que es 120 V.

Con base en estos resultados se pueden notar caídas de voltaje muy bruscos en las tres líneas en general, en el horario de las 22:21 horas las líneas 2 y 1 hacia neutro tienen los voltajes más bajos, 108,76 V y 109,38 V respectivamente, esto da un indicio de que sucede algo en este horario que es necesario corregir, siendo el desbalance de cargas un factor evidente, ya que según los datos la línea 1 lleva más carga o más demanda de energía.

- Voltaje de neutro a tierra:

Tabla XLIII. **Resumen de medición de voltaje línea neutral a tierra**

<b>Vrms Tierra - Neutro</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltios</b>	<b>Característica</b>
-	-	0,072	PROMEDIO
27/01/2018	07:06:20	0,03	MÍNIMO
26/01/2018	13:16:20	0,18	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

La conexión en la alimentación es trifásica configurada en estrella y además esta aterrizada, idealmente el voltaje entre estas dos líneas debe ser cero, sin embargo, se presenta un desvío máximo de 0,18 y un mínimo de 0,02 V, evidenciando de nuevo el desbalance de cargas y afirmando lo dicho en cuanto a los voltajes de línea a neutro.

Cabe mencionar que de parte de la empresa distribuidora, no se han reportado problemas por regulación de voltaje entregado a la institución, de acuerdo al artículo 24 de las NTSD que mide la tolerancia en los valores de regulación de tensión, además, no existe históricamente penalizaciones por incumplimiento a los valores de regulación admitidos conforme al artículo 26 de las NTSD.

- Voltaje entre línea 1 – línea 2:

Tabla XLIV. **Resumen de medición de voltaje entre Línea 1 y Línea 2**

<b>Vrms Línea 1 - Línea 2</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltios</b>	<b>Característica</b>
-	-	208,672	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	197,34	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	214,61	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a el voltaje entre la línea 1 y 2 se mantuvo dentro de un promedio de 208,672 V, lo cual es razonable ya que es una conexión estrella, teóricamente los valores están en 208 V entre las líneas, lo que significa que la fluctuación de voltaje de acuerdo a las mediciones es de un +/- 5,12 %. El análisis de los datos de voltaje medidos en este rango de fechas indica que existe una caída de voltaje significativa a las 22:21 horas del día 27 de enero, este día no existió mayor demanda ya que fue día sábado, y además es en un horario en el que el edificio 2 prácticamente está sin actividad, lo que da un indicio de desbalance en las cargas conectadas y una falta de compensación por factor de potencia, los cuales se analizan más adelante.

- Voltaje entre línea 2 - línea 3:

Tabla XLV. **Resumen de medición de voltaje entre línea 2 y línea 3**

Vrms Línea 2 - Línea 3			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
-	-	209,269	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	184,24	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	214,66	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

El voltaje entre la línea 2 y la línea 3 se mantuvo en promedio arriba del valor nominal que es 208 V, desviándose hasta 214,66 V como máximo y 184,24 V como mínimo, siendo este último el que más se aleja del valor nominal, representando una fluctuación de +/- 11,42 %. De nuevo lo más relevante es la caída de voltaje que se presentó el día 27 de enero, en un horario fuera de demanda laboral.

- Voltaje entre línea 3 - línea 1:

Tabla XLVI. **Resumen de medición de voltaje entre línea 3 y línea 1**

Vrms Línea 3 - Línea 1			
Fecha	Hora	Voltios	Característica
-	-	209,082	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	191,74	MÍNIMO
28/01/2018	06:01:20	214,61	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el valor máximo llegó a 214,61 V y 191,74 V como mínimo, y en promedio el voltaje está arriba del valor nominal que es 208 V, esto presenta una fluctuación de voltaje de +/-7,8 % respecto al nominal. Esta variación en los voltajes resulta de que en la línea 1 es donde existe mayor demanda de corriente y potencia, dejando descompensado el sistema y produciendo desbalance de carga y voltaje. El desbalance en las cargas puede analizarse de mejor manera en el análisis de corrientes, donde incluso se muestran las gráficas de las mediciones.

## 5.2. Análisis de corrientes

- Corriente en línea 1:

Tabla XLVII. **Resumen de medición de corriente en la línea 1**

Corriente L1			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
-	-	69,902	PROMEDIO
30/01/2018	23:51:20	23,4	MÍNIMO
30/01/2018	10:21:20	211,90	MÁXIMO

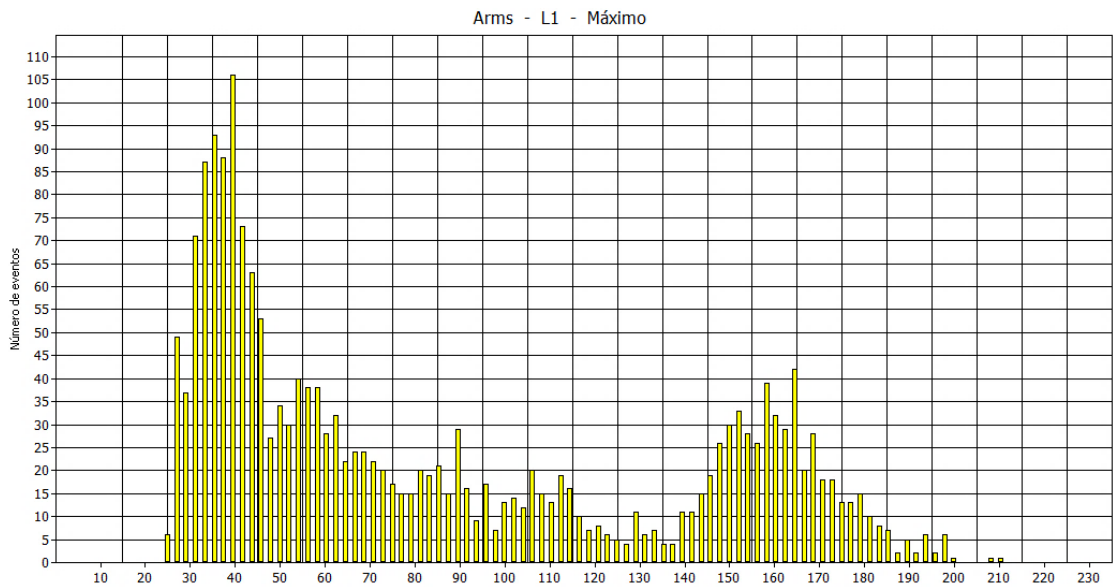
Fuente: elaboración propia.

En el rango de fechas en que se tomaron las mediciones se registró una corriente máxima circulando en la línea 1 de 211,9 A en la fecha 30 de enero a las 10:21 horas, hora a la cual se tiene la carga completa o se están iniciando las labores, una mínima de 23,4A, y un promedio de 69,9 A, siendo esta línea la que tiene las cargas que demandan mayor corriente eléctrica, evidenciando de nuevo el desbalance en las cargas conectadas. Al ser la línea con mayor carga existe un desfase de corriente entre neutro y tierra, el cual idealmente debe ser



0 A, lo que indica que es necesario balancear las cargas para corregir este desfase.

Figura 25. **Valores máximos alcanzados por la corriente en L1**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke 535-II.

La figura 25 muestra la cantidad de eventos registrados en los que se mantuvo en valores máximos la corriente en la línea 1, de acuerdo a esto se verifica que existieron valores altos pero poco ocurrentes, lo cual hace que el sistema generalmente este estable en esta línea.

- Corriente en línea 2:

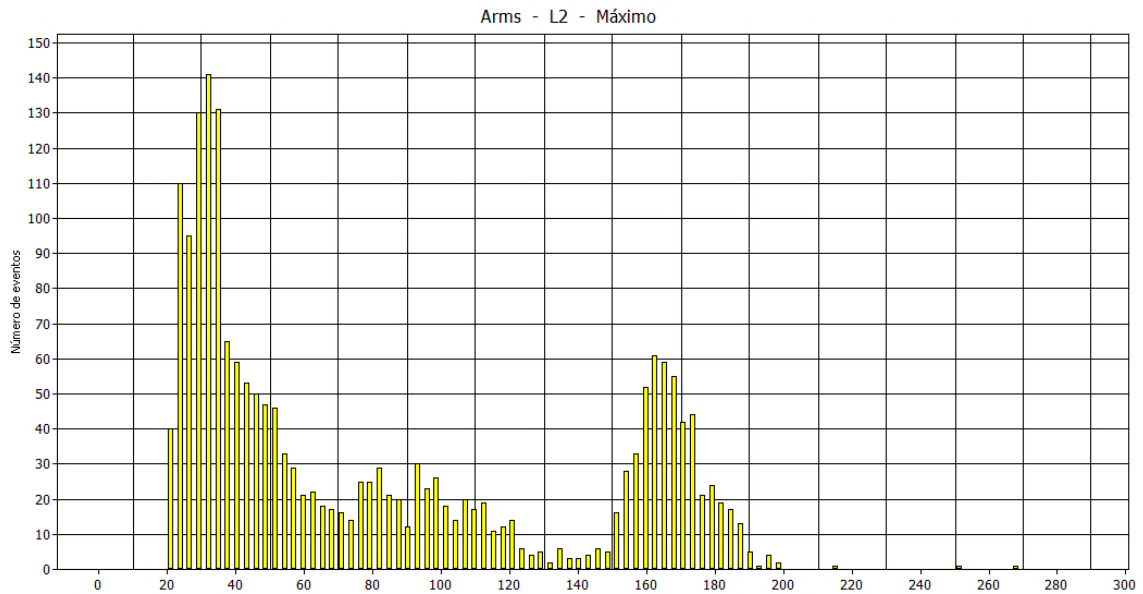
Tabla XLVIII. **Resumen de medición de corriente en la línea 2**

<b>Corriente L2</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Amperios</b>	<b>Característica</b>
-	-	66,68	PROMEDIO
30/01/2018	22:11:20	19,4	MÍNIMO
01/02/2018	17:26:20	270,00	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la línea 2, se presentó un máximo de 270 A registrado a las 17:26 del primer día de febrero, representando esta fecha el día de máxima demanda en esta línea, un mínimo de 19,4 A a las 22:11 horas del día anterior lo cual es lógico porque en este horario no hay mayor demanda de carga, mientras la corriente promedio es 66,68 A, lo que indica que la línea 2 está por detrás de la línea 1 en cuanto a consumo se refiere.

Figura 26. **Valores máximos alcanzados por la corriente en L2**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke 535-II.

La línea 2 presento los valores máximos más altos pero con pocos eventos registrados, indicando que la corriente y la demanda es estable.

- Corriente en línea 3:

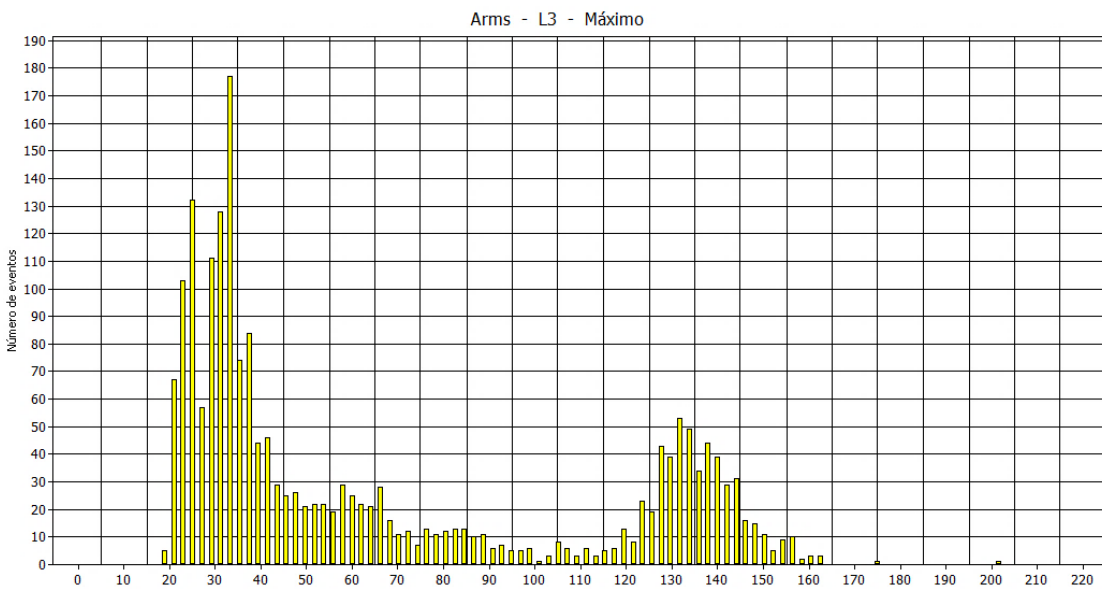
Tabla XLIX. **Resumen de medición de corriente en la línea 3**

Corriente L3			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
-	-	50,98	PROMEDIO
27/01/2018	22:21:20	16,7	MÍNIMO
01/02/2018	17:26:20	203,10	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

La línea 2 es la que presenta en promedio el menor consumo de corriente eléctrica, es decir, las cargas menos demandantes. El valor máximo de corriente es de 203,1A registrado a las 17:26 horas del primer día de febrero al igual que la línea 2 y un mínimo de 16,7A en el día 27 de enero a las 22:21 horas siendo un valor lógico dado que a esa hora no existe mayor demanda en el Edificio. Dado que es la línea con menor consumo produce que la línea 1 este sobrecargada y tenga el mayor consumo de corriente eléctrica.

Figura 27. **Valores máximos alcanzados por la corriente en L3**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke 535-II.

En cuanto a la línea 3, el registro de eventos demuestra que la corriente generalmente se mantiene en los rangos de 25 a 40 A, indicando que generalmente el sistema no está sobrecargado, mientras que los valores más significativos y también con cierto registro de eventos a tomar en cuenta están entre 125 a 145 A.

- Corriente en línea neutro:

Tabla L. **Resumen de medición de corriente en la línea neutral**

Corriente en Neutro			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
-	-	43,46	PROMEDIO
30/01/2018	21:31:20	16	MÍNIMO
31/01/2018	13:06:20	121,10	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

Esta medición termina siendo alarmante en esta serie de datos de corrientes, ya que se observó desde el momento en que se conectó el equipo una corriente de aproximadamente 80 A en el neutro, contradictorio a los casi 0A que debería de medir idealmente, ya que está en una configuración de estrella aterrizada a tierra. De acuerdo al análisis se observa que en horarios de mayor carga es cuando la corriente en el neutro se eleva aún más, como se resume en la tabla alcanzo un valor máximo de hasta 121,1 A, siendo las 13:06 horas del 31 de enero, y el valor mínimo de 16 A, se registra a las 21:31 horas, cuando prácticamente el edificio ya no tiene demanda porque no es horario laboral, siendo aun así un valor relevantemente alto, pero es aquí donde se evidencia una vez más que existe un claro desbalance de cargas en los circuitos, que provoca una elevada corriente de neutro ya sea en horario laboral como fuera de este, teniendo en cuenta que esto crea pérdidas importantes para la instalación y se representa como pérdidas monetarias es sumamente necesario corregir este desbalance en las cargas. Además, otro factor que puede influir en esta corriente son los tipos de armónicos existentes provocados por el tipo de carga y condiciones de los circuitos, lo cual se analiza más adelante.

### 5.3. Análisis de potencia activa, reactiva y aparente total consumida

- Potencia activa total consumida:

Tabla LI. Resumen de medición de la potencia activa total

Potencia Activa Total			
Fecha	Hora	Watts	Característica
-	-	21 637,30	PROMEDIO
30/01/2018	22:51:20	6 570,00	MÍNIMO
02/02/2018	12:51:20	63 150,00	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los valores totales de consumo de potencia, el valor máximo se registró el día 2 de febrero a las 12:51 horas de la tarde, con 63 150 W potencia activa, considerando que este sea el horario con máxima demanda para las instalaciones del edificio 2; mientras que el valor mínimo registrado es de 6 570W de potencia activa, a las 22:51 horas del día 30 de enero, siendo razonable ya que es un horario no laboral y sin mayor demanda. En cuanto al promedio de potencia, el valor registrado es 21 637,3 W el cual está en los rangos obtenidos con los datos de facturación.

- Potencia reactiva total consumida:

Tabla LII. Resumen de medición de la potencia reactiva total

Potencia Reactiva Total			
Fecha	Hora	VArs	Característica
-	-	1 912,62	PROMEDIO
27/01/2018	01:11:20	-4 680,00	MÍNIMO
01/02/2018	17:26:20	23 730,00	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

Se puede notar como la potencia reactiva, tiene un valor promedio casi insignificante con respecto a los valores promedio de potencia activa total, manteniéndose en 1 912,62 VARs, sin embargo puede ver como en horarios de cero demanda la compensación es negativa, es decir, potencia reactiva capacitiva es predominante en el sistema, por otro lado en horarios de alta demanda de energía, se registra un máximo de 23 730 VARs, lo cual indica una predominancia de energía reactiva inductiva, que puede venir de los motores de las bombas de agua, y de la inducción creada por toda la iluminación conectada a esta hora.

- Potencia aparente total consumida:

Tabla LIII. **Resumen de medición de la potencia aparente total**

<b>Potencia Aparente Total</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>VA</b>	<b>Característica</b>
-	-	22 844,00	PROMEDIO
30/01/2018	22:51:20	7 560,00	MÍNIMO
01/02/2018	12:26:20	73 920,00	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

La suma vectorial de la potencia activa y reactiva total es la potencia aparente total, que en promedio se mantuvo en 22,844 VA. En cuanto al valor máximo se alcanzó el 1 de febrero, siendo un día laboral normal y un horario de demanda normal en el edificio, alcanzando 73,920 VA a las 12:26 horas de la tarde, mientras que el valor mínimo se alcanzó a las 22:51 horas del día 30 de enero, en un horario sin mayor demanda.

#### 5.4. Análisis de factor de potencia

El detalle del análisis de facto de potencia se describe en la tabla LIV.

Tabla LIV. **Resumen de la medición del factor de potencia**

Factor de potencia total			
Fecha	Hora	Adimensional	Característica
-	-	0,93	PROMEDIO
28/01/2018	03:56:20	0,73	MÍNIMO
26/01/2018	17:41:20	0,99	MÁXIMO
29/01/2018	17:41:20 a 17:56	0,99	MÁXIMO
30/01/2018 y 01/02/2018	08:16 a 08:36	0,99	MÁXIMO
31/01/2018	08:16 a 08:46	0,99	MÁXIMO
02/02/2018	07:56 a 08:51	0,99	MÁXIMO

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron los diferentes valores del factor de potencia en el rango de fechas que estuvo conectado el analizador de red, y cabe mencionar antes que nada que el valor mínimo es muy bajo respecto a los valores normados por la empresa distribuidora de electricidad, siendo 0,73 a las 03:56:20 del día 28 de enero, este día fue domingo, lo que significa que la poca demanda de potencia activa eleva el valor de potencia reactiva en máquinas como las bombas de agua, calentadores o cualquier aparato que genere y consuma potencia reactiva. Varios valores que oscilan entre 0,79 y 0,85 fueron registrados también en horarios nocturnos o no laborales, lo que indica que es necesaria una compensación de las potencias activa y reactiva para evitar que el factor de potencia en estos horarios no caiga a valores no autorizados por la empresa distribuidora de electricidad.



En cuanto al valor máximo de 0,99 se registró en varias fechas como lo indica la tabla, en rangos de horas de la mañana (7:56 a 8:51 horas) y rangos de horas de la tarde (17,41 a 17:56 horas) y en promedio el factor de potencia se mantiene en valores aceptables.

De acuerdo al artículo 49 de las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, la institución se mantiene en el valor promedio admitido para usuarios con potencia superior a 11 KW, siendo un factor de 0.93, de esta manera el servicio prestado para el edificio 2 del MINEDUC no ha sido penalizado por incumplimiento de esta norma, de acuerdo al artículo 51 de las mismas.

## **5.5. Análisis de armónicos en la red**

Después de ver los resultados anteriores, resulta indispensable analizar que tanto influyen la distorsión armónica en los altos valores de corriente de neutro o los bajos valores de factor de potencia registrados a horas de la madrugada.

En cuanto a la distorsión armónica existente en el edificio 2, se debe evaluar desde dos puntos de vista, armónicos de corriente y armónicos de tensión, de acuerdo a este análisis es necesario aclarar conceptos para explicar cómo afectan a la eficiencia energética del edificio 2, la institución puede tener costos técnicos y económicos como consecuencia de este problema que afecta a la mayoría de instalaciones en la actualidad.

Los armónicos son producidos por cargas no lineales que provocan corriente no sinusoidal, son múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo de la red del sistema, en Guatemala es de 60 Hz, y cuya amplitud va decreciendo

conforme aumenta el múltiplo. En el caso de la red eléctrica nacional que es de 60Hz, pueden aparecer armónicos de 120 Hz (de segundo orden), 180Hz (de tercer orden), entre otros.

Cuando se crea una distorsión en la pureza de la forma de onda, la onda ya no es sinusoidal y como toda forma de onda periódica no sinusoidal puede ser representada como una suma total de todas las ondas sinusoidales que tienen una frecuencia múltiple entera de la frecuencia de la onda fundamental, que se denominan armónicos.

Sean el voltaje y la corriente de la red eléctrica:

$$v(t) = V \cos \omega_0 t$$

$$i(t) = I \cos \omega_0 t$$

En presencia de las señales armónicas, estas señales se pueden representar así:

$$v(t) = V_1 \cos(\omega_0 t + \theta_1) + V_2 \cos(2\omega_0 t + \theta_2) + V_3 \cos(3\omega_0 t + \theta_3) + \dots$$

$$i(t) = I_1 \cos(\omega_0 t + \theta_1) + I_2 \cos(2\omega_0 t + \theta_2) + I_3 \cos(3\omega_0 t + \theta_3) + \dots$$

Resultando una sumatoria:

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)$$

Sin embargo, es más común conocer los valores de distorsión THD o tasa de distorsión total para la señal de voltaje y corriente, conociendo así el nivel de contaminación armónica en cada uno.

En general para una señal  $k(t)$ , la tasa de distorsión armónica se puede definir como:

$$\text{THD} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} k_h^2}{k_1} * 100$$

Así entonces para armónicos de corriente:

$$\text{THDI} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} * 100 \% = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{RMS}}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100 \%$$

Y para armónicos de voltaje:

$$\text{THDV} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} * 100 \%$$

La presencia de armónicos en la red eléctrica en el edificio 2 del MINEDUC puede ser causada por cargas comunes, a continuación se listan todas las posibles fuentes:

- SAI (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida)
- Reactancias de arranque de alumbrado Fluorescente, vapor de mercurio, de sodio, bajo consumo, entre otros.
- Ordenadores

- Fotocopiadoras e impresoras
- Hornos microondas
- Televisores
- Refrigeradores
- Elevadores con control electrónico

- Pérdidas técnicas en la instalación:

En las pérdidas técnicas se catalogan todos los factores que crean deficiencia en el funcionamiento de la instalación, de acuerdo a las mediciones y observaciones, se detectaron lo siguientes causantes:

Tabla LV. **Detección de problemas debidos a armónicos en edificio 2 MINEDUC**

ELEMENTO DE LA INSTALACIÓN	SÍNTOMA	PROBLEMA
Conductores	Calentamiento de conductores	-Aumento de la corriente - Aumento de la resistencia - Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule) - Efecto "Skin"
Conductor Neutral	-Alto valor de corriente circulando en el Neutro -Calentamiento en el cable -Tensión entre Tierra y Neutro	Generación y circulación de armónicos múltiples de 3
Factor de Potencia	-Caídas de Voltaje relevantes cuando no existe demanda	-Disminución del factor de potencia a valores no permitidos por la distribuidora de electricidad

Fuente: elaboración propia.

La potencia que se entrega a una carga depende de la señal fundamental de corriente, y si esta está contaminada con armónicos, el valor eficaz de la corriente  $I_{RMS}$  es superior al valor de la fundamental  $I_1$ .

Las corrientes armónicas provocan entonces un aumento de las pérdidas por efecto Joule en los conductores, que se traduce a un aumento de temperatura en equipos y cables.

La tabla LVI indica los tipos de cargas que generan mayores armónicos y sus frecuencias respectivas:

Tabla LVI. **Tipos de cargas que provocan armónicos**

Tipo de carga	Corrientes armónicas principales	Distorsión armónica típica (carga individual) $I_{THD}$
Alumbrado fluorescente	3a. 9a. Y 15a.	26 %
Equipos de telecomunicación		26 %
PC's, Impresoras, minicomputadoras	3a. 5a. 7a. 9a. 11a. 15a.	124 %
UPS's		26 %
Elevadores con control electrónico		45 %

Fuente: VILLATORO MARTÍNEZ, Byron Julián. *Teorías de diseño de filtros activos para mitigación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia*. p. 36.

Tabla LVII. **Tipos de cargas domésticas que provocan armónicos**

Tipo de carga	Corrientes armónicas principales	Distorsión armónica típica (carga individual) $I_{THD}$
Refrigerador	3a. 5ª. 7ª. 9a.	10-13 %
Computadoras e impresoras	3a. 5ª. 7ª. 9a.	124 %
Televisión a colores	3a. 5ª. 7ª. 9a.	121 %
Horno de microondas	3a. 5ª. 7ª. 9a.	18-26%

Fuente: VILLATORO MARTÍNEZ, Byron Julián. *Teorías de diseño de filtros activos para mitigación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.* p. 42.

Como se puede observar en las tablas LVI y LVII, varios equipos eléctricos pueden provocar una distorsión armónica significativa en la corriente eléctrica y afectar al sistema eléctrico general del edificio.

En primer lugar se debe mencionar a la iluminación del tipo fluorescente, porque en cantidad, este tipo de iluminación predomina, según el conteo de luminarias existen 446 unidades de iluminación de 40 W tipo fluorescente, esta cantidad conectada al mismo tiempo en los horarios de mayor demanda sin duda pueden provocar una distorsión considerable por armónicos de múltiplos 3, 5, 7 y hasta 9.

- THDV de cada línea a neutro:

Tabla LVIII. **Resumen de la medición del THD de voltaje en cada línea y neutro**

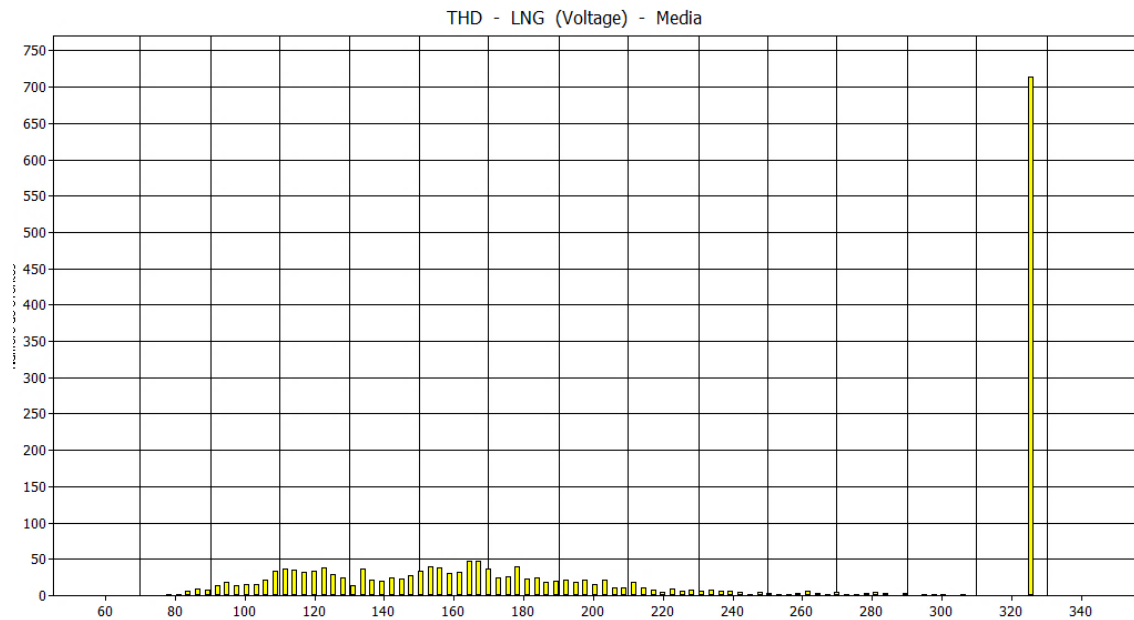
MEDICIÓN	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
THDV L1-N	2,1616	28/01/2018 -08:26	1,21	27/01/2018 -22:21	3,88
THDV L2-N	2,2698	27/01/2018 -22:21	1,14	27/01/2018 -22:26	5,2
THDV L3-N	2,2731	28/01/2018 -08:06	1,36	27/01/2018 -22:21	6,14
THDV LN-G	219,238	27/01/2018 -10:36	64,93	26/01/2018 -10:31	327,67

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla, el valor más alarmante es el índice de distorsión de voltaje entre la línea neutral y tierra, la cual indica que la distorsión de armónicos sobre el neutro es sumamente alta, con respecto a la sumatoria de valores eficaces de voltaje de todos los armónicos de la tierra física.

Es importante verificar que el valor máximo se dio el día 26 de enero, que fue un laboral y fue a las 10:31 horas, siendo una hora donde la demanda es considerable, toda la iluminación permanece encendida, o en su mayoría en cada piso. De esto deriva entonces la necesidad de verificar los valores de THDI, es decir, los valores de distorsión armónica total en las corrientes de cada línea y la del neutro, la cual se verifica a continuación.

Figura 28. **Cantidad de eventos en distorsión armónica del neutro y tierra**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke 535-II.

- THDI de cada línea a neutro:

Tabla LIX. **Resumen de la medición del THD de corriente en cada línea y neutro**

MEDICIÓN	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
THDI L1	25,857	30/01/2018 -07:16	11,18	30/01/2018 -23:11	41,5
THDI L2	25,007	01/02/2018 -08:31	10,1	31/01/2018 -04:16	44,2
THDI L3	26,9897	29/01/2018 -07:21	9,7	27/02/2018 -22:21	38,22
THDI N	26,9897	29/01/2018 -07:21	9,7	27/01/2018 -22:21	38,22

Fuente: elaboración propia



Se encontraron índices de distorsión armónica altos, siendo una comparación en tanto por ciento, quiere decir que las magnitudes de corriente de los múltiplos de la frecuencia fundamental están muy por arriba del valor RMS de la corriente en cada línea, lo cual explica porque el conductor Neutro contiene un valor muy alto de corriente casi todo el tiempo, aun así de acuerdo al artículo 42 de las Normas Técnicas del Servicio de Distribución los valores de distorsión armónica de voltaje se encuentran dentro de los rangos admisibles y no recaen en incumplimiento ni debe pagar indemnización a la empresa distribuidora.

- Armónicos de corriente en línea 1:

Tabla LX. **Armónicos de corriente más significativos en la línea 1**

ORDEN DE ARMÓNICO	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
3er.	21,88	02/02/2018 -07:41	21,32	21/01/2018 -00:11	30,74
5to.	10,35	29/01/2018 -07:46	1,08	31/01/2018 -00:11	20,79
7mo.	6,168	31/01/2018 -07:51	0,95	31/01/2018 -00:11	12,62
9no.	2,93	30/01/2018 -12:41	0,31	02/02/2018 -00:06	7,21

Fuente: elaboración propia.

Sin duda alguna el armónico de tercer orden es el más significativo, pero los armónicos de quinto, séptimo y noveno orden no se quedan atrás, todos son significativos, tomando en cuenta los valores máximos, todos se presentan después de la media noche, en un horario donde no existe casi nada de demanda de energía, comparado con los horarios laborales, mientras que los valores mínimos se dan en horarios de inicio de labores, cuando cierta cantidad de colaboradores ya está en el edificio. Esto quiere decir que no está

sobrepasando los límites admisibles de tolerancia normados por las NTSD de acuerdo al artículo 42 de la misma.

- Armónicos de corriente en línea 2:

Tabla LXI. **Armónicos de corriente más significativos en la línea 2**

ORDEN DE ARMÓNICO	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
3er.	22,14	01/02/2018 -08:31	11,26	30/01/2018 -01:06	35,53
5to.	8,61	29/01/2018 -19:21	0,3	31/01/2018 -02:16	20,52
7mo.	4,17	30/01/2018 -14:21	0,37	30/01/2018 -22:46	14,18
9no.	2,78	30/01/2018 -07:46	0,34	30/01/2018 -22:11	9,25

Fuente: elaboración propia.

Estos valores son muy similares a los de la tabla 36 de la línea 1, también en los horarios donde se dan los valores máximos, siendo los armónicos impares desde el tercero al noveno los más significativos, cabe destacar que los armónicos pares son prácticamente insignificantes, y que los impares de orden 11 en adelante tampoco lo son.

- Armónicos de corriente en línea 3:

Tabla LXII. **Armónicos de corriente más significativos en la línea 3**

ORDEN DE ARMÓNICO	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
3er.	22,81	30/01/2018 -07:26	11,33	30/01/2018 -23:56	29,96
5to.	10,59	02/02/2018 -06:06	2,03	27/01/2018 -20:41	16,01
7mo.	6,58	01/02/2018 -13:16	2,35	30/01/2018 -22:46	12,52
9no.	4,06	26/01/2018 -14:41	1,02	30/01/2018 -22:46	8,55

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los armónicos de corriente en la línea 3 es importante destacar que los valores máximos se dan en horarios entre 20 y 22 horas, donde se puede decir que existe cierta cantidad de iluminación encendida por personal de seguridad, ya que no hay otras cargas que estén demandando demasiada energía a esa hora.

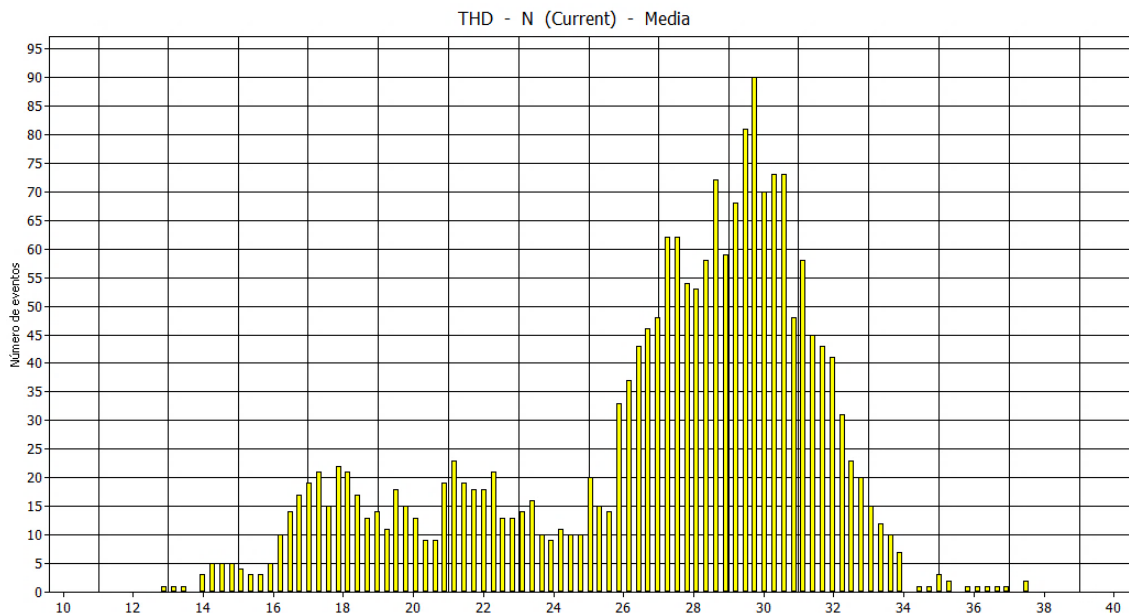
- Armónicos de corriente en línea neutral:

Tabla LXIII. **Armónicos de corriente más significativos en la línea neutral**

ORDEN DE ARMÓNICO	PROMEDIO	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VALOR	FECHA - HORA	VALOR	FECHA - HORA	VALOR
3er.	237,63	02/02/2018 -07:26	56,69	26/01/2018 -10:16	327,67
5to.	24,8	31/01/2018 -07:26	0,58	28/01/2018 -07:41	327,67
7mo.	15,04	26/01/2018 -20:56	0,75	30/01/2018 -01:36	327,67
9no.	44,25	29/01/2018 -07:16	3,28	27/01/2018 -07:26	327,67
11vo.	6,01	30/01/2018 -20:01	0,2	28/01/2018 -07:41	49,39

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Distorsión de armónicos por corriente en el neutro**



Fuente: elaboración propia, empleando Fluke 535-II.

En el caso de la línea neutra, los valores son alarmantes, desde que observar los valores promedio que mantienen los armónicos impares hasta los valores que alcanzan como máximo. Sin duda alguna esta tabla de datos explica por qué el conductor neutro mantiene un valor de amperaje muy alto, igualando en momentos a los valores de línea, los valores que se muestran están fuera de los normados, así que de no solucionarlos puede recaer en sanciones por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica. Los valores más altos de corriente en el neutro se dan en horarios matutinos, puede decirse cuando se inician a encender algunos equipos y luminarias, esta última siendo la más significativa a esas horas de la mañana. Cabe destacar que el valor promedio del tercer armónico es el más significativo y supera por mucho a los demás armónicos múltiples. Además para el neutro existen valores altos hasta en el onceavo armónico, lo cual ya dice mucho. Como se sabe el tercer

armónico se genera por completo en el neutro, de esto deriva entonces analizar la posible causa más significativa, la iluminación en el edificio.

Sin embargo, acudiendo a la NEC en su Artículo 210, indica literalmente: “Un sistema de alimentación trifásica tetrafilar y conectado en estrella, utilizado para alimentar cargas no lineales, puede requerir que el diseño del sistema de alimentación permita corrientes en el conductor neutro con alto contenido de armónico”.

Además, la NEC en el Artículo 310, indica una solución permitida para reducir la cantidad de calentamiento en el neutro debido a corrientes altas que pasen por este conductor, la cual se cita literalmente:

La Excepción 2 se puede utilizar para disminuir el recalentamiento de los conductores del neutro en instalaciones existentes, causado por las corrientes con alto contenido de armónicos múltiplos impares de la tercera armónica.

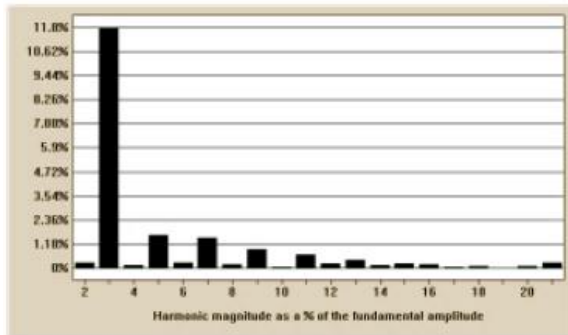
- Comparación de distorsión armónica en luminarias tipo led y luminarias fluorescentes:

El análisis de distorsión armónica se enfoca a la iluminación porque presenta dos problemas y posibles soluciones en busca de obtener una reducción de consumo energético y reducción de contaminación ambiental; la primera que se analiza desde el punto de vista de ahorro energético y la segunda que se analiza desde el punto de vista de calidad energética en cuanto a reducción de distorsión de armónicos se refiere.

En cuanto a la calidad energética que puede presentar el cambio a luminaria led en el Edificio 2 del MINEDUC, es conveniente aclarar que el

cambio de tubos fluorescentes a tipo led no va a eliminar totalmente la distorsión armónica en la red interna, el led es un dispositivo electrónico semiconductor de corriente discontinua, entonces, efectivamente también genera armónicos, pero es importante mencionar que este tipo de luminarias pueden adquirirse con filtro en la fuente para que se reduzca la cantidad generada y obtener valores de distorsión aceptables con la normativa de la NTSD de la empresa eléctrica que distribuye la energía.

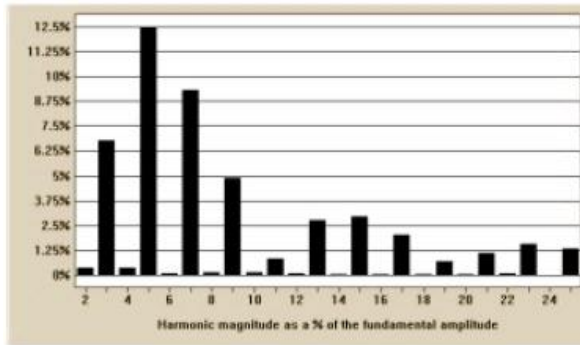
Figura 30. **Análisis espectral y gráficos obtenidos en WaveStar para un balastro electromagnético**



	Frequency	Current RMS	Current % of Fund.	Current Phase
Fundamental	50.000Hz	406.52mA	100%	0.0000
Harmonic 2	100.000Hz	1.2007mA	0.295%	-57.096
Harmonic 3	150.00Hz	47.688mA	11.731%	85.865
Harmonic 4	200.00Hz	533.20uA	0.131%	-47.227
Harmonic 5	250.00Hz	6.6219mA	1.629%	127.53
Harmonic 6	300.00Hz	1.0583mA	0.260%	-37.200
Harmonic 7	350.00Hz	6.0880mA	1.498%	75.073
Harmonic 8	400.00Hz	831.88uA	0.205%	-105.86
Harmonic 9	450.00Hz	3.7579mA	0.924%	36.661
Harmonic 10	500.00Hz	278.08uA	0.068%	97.588
Harmonic 11	550.00Hz	2.6682mA	0.656%	39.254
Harmonic 12	600.00Hz	915.74uA	0.225%	156.70
Harmonic 13	650.00Hz	1.7598mA	0.433%	-20.899
Harmonic 14	700.00Hz	689.16uA	0.170%	30.805
Harmonic 15	750.00Hz	1.0548mA	0.259%	30.745
Harmonic 16	800.00Hz	805.81uA	0.198%	-40.699

Fuente: Universidad Industrial de Santander, Revista UIS.

Tabla LXIV. **Análisis espectral y gráficos obtenidos en WaveStar para un tubo led**



	Frequency	Current RMS	Current % of Fund.	Current Phase
Fundamental	50.100Hz	63.318mA	100%	0.0000
Harmonic 2	100.20Hz	254.47uA	0.402%	-61.294
Harmonic 3	150.30Hz	4.3010mA	6.763%	-76.207
Harmonic 4	200.40Hz	241.70uA	0.382%	-40.154
Harmonic 5	250.50Hz	7.8725mA	12.433%	13.241
Harmonic 6	300.60Hz	66.603uA	0.105%	-5.5787
Harmonic 7	350.70Hz	5.8818mA	9.289%	38.745
Harmonic 8	400.80Hz	98.358uA	0.155%	89.291
Harmonic 9	450.90Hz	3.1070mA	4.907%	51.496
Harmonic 10	501.00Hz	111.15uA	0.176%	164.78
Harmonic 11	551.10Hz	549.67uA	0.868%	166.41
Harmonic 12	601.20Hz	76.068uA	0.120%	-133.26
Harmonic 13	651.30Hz	1.7727mA	2.800%	-121.61
Harmonic 14	701.40Hz	46.050uA	0.073%	-176.45
Harmonic 15	751.50Hz	1.8854mA	2.978%	-92.721
Harmonic 16	801.60Hz	31.183uA	0.049%	-115.65

Fuente: Universidad Industrial de Santander, Revista UIS.

El cambio del tipo de luminarias a tipo led es una de las recomendaciones más significativas en este estudio, no solo porque representa una disminución de costos en consumo de energía sino porque aumenta la eficiencia lumínica que tanto necesita el edificio, y además de todo esto, disminuirá la distorsión armónica en la corriente. Si bien las lámparas tipo led también representan cargas no lineales y que pueden generar distorsión armónica, en comparación con las de tubo fluorescente son más convenientes porque generan un porcentaje de distorsión menor y por ende una disminución en los costos técnicos de toda la instalación del edificio 2. Esto sin mencionar las mejoras notables en el factor de potencia por representar cargas capacitivas que ayudan a compensar a las cargas inductivas presentes en la instalación.

- Banco de capacitores y filtros de armónicos:

Un banco de capacitores es un equipo que instalado en sistemas eléctricos de media o baja tensión ayudan a corregir el factor de potencia. Con esto, se evitan penalizaciones por bajo factor, de acuerdo a la NTSD. Cuando también se emplean en conjunto con de filtros de armónicos, reducen las corrientes que circulan mediante la red eléctrica, es decir, compensan las corrientes generadas por armónicos en el sistema evitando pérdidas de potencia y pérdidas económicas por el consumo.

Los beneficios más significativos son:

- Reducción confiable del factor de potencia
- Disminución de pérdidas de potencia y por ende pérdidas monetarias
- Regulan el voltaje general en la instalación eléctrica
- Extienden la vida útil de equipos y conductores

La instalación de un sistema de compensación a través de banco de capacitores o filtros activos tiene un precio elevado en el mercado, Sin embargo como se evaluará en capítulos posteriores, pueden existir soluciones económicamente más viables al mejoramiento del factor de potencia, a la reducción de armónicos y consumo de energía y sobretodo el ahorro económico por el uso de energía eléctrica.

## **5.6. Iluminación**

En cuanto al suministro lumínico del edificio 2 de la planta central del MINEDUC se realizó con la cuantificación de las unidades de iluminación por área, además de la medición de luminosidad, verificación de los difusores,



altura temperatura de color, eficiencia y deficiencia por área, así como el aprovechamiento de la luz natural.

En la tabla LXV, se muestra una tabulación de todas las mediciones y verificaciones descritas anteriormente:

**Tabla LXV. Datos de iluminación obtenidas del edificio 2 planta central MINEDUC**

Nivel	Ala	Ubicación	Tipo de lámpara	Cantidad	R. básica	LBASD	LCSD	LCDB	LCDA	LDAF	Altura	Cálida	Neutra	Fría
Sótano 2			Fluorescente	54	SE	SE	SE	54	SE	SE	2.8	0	0	X
Sótano 1			Fluorescente	61	SE	SE	SE	61	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1		Gradas y Lobby	Fluorescente	28	SE	SE	SE	28	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	22	SE	SE	SE	22	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	22	SE	SE	SE	22	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	22	SE	SE	SE	22	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE					2.8	0	0	X
Nivel 1	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1			2.8	0	0	X
Nivel 1	Sur	Fluorescente	Fluorescente	7	SE	SE	SE	7	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1	Sur	Fluorescente	Fluorescente	24	SE	SE	SE	24	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 1		Exterior, pasillos	Fluorescente	6	SE	SE	SE	6	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2		Gradas y Lobby	Fluorescente	28	SE	SE	SE	28	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Norte	Fluorescente	Fluorescente	3	SE	SE	SE	3	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Norte	Fluorescente	Fluorescente	33	SE	SE	SE	33	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Sur	Fluorescente	Fluorescente	3	SE	SE	SE	3	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Sur	Fluorescente	Fluorescente	32	SE	SE	SE	32	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2	Sur	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 2		Exterior, pasillo	Fluorescente	18	SE	SE	SE	18	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3		Gradas y Lobby	Fluorescente	28	SE	SE					2.8	0	0	X
Nivel 3	Norte	Fluorescente	Fluorescente	3	SE	SE	SE	3	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3	Norte	Fluorescente	Fluorescente	39	SE	SE	SE	39	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3	Sur	Fluorescente	Fluorescente	3	SE	SE	SE	3	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3	Sur	Fluorescente	Fluorescente	34	SE	SE	SE	34	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3	Sur	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 3		Exterior	Fluorescente	16	SE	SE	SE	16	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4		Gradas y Lobby	Fluorescente	28	SE	SE	SE	28	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4	Norte	Fluorescente	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4	Norte	Fluorescente	Fluorescente	36	SE	SE	SE	36	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4	Norte	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X

Continuación de la tabla LXV.

Nivel 4	Sur	Fluorescente	Fluorescente	3	SE	SE	SE	3	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4	Sur	Fluorescente	Fluorescente	29	SE	SE	SE	29	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4	Sur	Fluorescente	Fluorescente	1	SE	SE	SE	1	SE	SE	2.8	0	0	X
Nivel 4		Exterior	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Ducto	Norte	Fluorescente	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Ducto	Sur	Fluorescente	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Ducto	Norte	Fluorescente	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Ducto	Sur	Fluorescente	Fluorescente	4	SE	SE	SE	4	SE	SE	2.8	0	0	X
Parqueo		Fluorescente	Fluorescente	15	SE	SE	SE	SE	SE	15	3	0	0	X

SA: Sin Acceso

R. BASICA: Regleta Básica

LBASD: Lámpara Blanca Abierta Sin Difusor

LCSD: Luminaria Cerrada Sin Difusor

LCDB: Luminaria Con Difusor Blanco

LCDA: Luminaria Con Difusor de Aluminio

LDAF: Luminaria de Alta Frecuencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Aprovechamiento de luz y deficiencias en iluminación del edificio 2 planta central MINEDUC**

Área de trabajo			Regulación de encendido y apagado					Luz natural			Deficiencias			
Nivel	Ala	Ubicación	CPI	CPP	CPT	CPR	CDM	Natural	Ventanas	Tragaluz	Sombras	Deslumbramientos	Parpadeos	Color Luz
Sótano 2				0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Sótano 1				0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1		Gradas y Lobby		0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Sala Cleanomatic	2	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Salón 1	1	1	0	0	0	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Salón 2	1	2	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Salón 3	SA	SA	SA	SA	SA	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Rack	2	0	0	0	0	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Norte	Banrural	SA	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Sur	Baños	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1	Sur	Biblioteca y Archivo	6	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 1		Exterior	1	0	0	0	0	SI	NA	NA	NO	NO	NO	SI
Nivel 2		Gradas y Lobby	1	0	0	0	0	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Norte	Baños Hombres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Norte	DIGEPSA	8	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Norte	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Sur	Baños Mujeres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Sur	DIGEPSA Participación Comunitaria	8	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2	Sur	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 2		Exterior	1	0	0	0	0	SI	NA	NA	NO	NO	NO	SI
Nivel 3		Gradas y Lobby	1	0	0	0	0	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI

Continuación de la tabla LXVI.

Nivel 3	Norte	Baños Hombres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Norte	DIGECADE	7	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Norte	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Sur	Baños Mujeres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Sur	DIGECADE	3	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Sur	DICONIME	3	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3	Sur	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 3		Exterior	1	0	0	0	0	SI	NA	NA	NO	NO	NO	SI
Nivel 4		Gradas y Lobby	1	0	0	0	0	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Norte	Baños Hombres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Norte	DIGEBI	8	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Norte	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Sur	Baños Mujeres	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Sur	DIGEBI /DIGEACE	10	0	0	0	0	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4	Sur	Rack	1	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nivel 4		Exterior	1	0	0	0	0	SI	NA	NA	NO	NO	NO	SI
Ducto	Norte	Ducto	4	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Ducto	Sur	Ducto	4	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Ducto	Norte	Ducto Eléctrico	4	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Ducto	Sur	Ducto Eléctrico	4	0	0	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Parqueo		Parqueo Exterior Conjunto	1	0	0	0	0	SI	NA	NA	NO	NO	NO	SI

CPI: Control por Interruptor  
 CPP: Control por potenciómetro  
 CPT: Control por Timer  
 CPR: Control por reloj  
 CDM: Control de Medición

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. Diagnóstico para medir la eficiencia en iluminación de acuerdo a los valores mínimos requeridos en Acuerdo Gubernativo 33-2016

ÁREA DE TRABAJO			LUMENES MEDIDOS	LUMENES ESPERADOS	EFICIENCIA
NIVEL	ALA	UBICACIÓN			
Sótano 2			98	150	65,333333
Sótano 1			87	150	58
Nivel 1			590	200	100
Nivel 1		Gradas y Lobby			
Nivel 1	Norte	Sala Cleanomatic	145	100	100
Nivel 1	Norte	Salón 1	216,5	200	100
Nivel 1	Norte	Salón 2	216,5	200	100
Nivel 1	Norte	Salón 3	216,5	200	100
Nivel 1	Norte	Rack	115	150	76,666667
Nivel 1	Norte	Banrural	145	500	29
Nivel 1	Sur	Baños	187	100	100
Nivel 1	Sur	Biblioteca y Archivo	198,08	1500	13,205333
Nivel 1		Exterior	-	-	-
Nivel 2			235	200	100
Nivel 2		Gradas y Lobby			
Nivel 2	Norte	Baños Hombres	168	100	100
Nivel 2	Norte	DIGEPSA	218,81	500	43,762
Nivel 2	Norte	Rack	98	150	65,333333
Nivel 2	Sur	Baños Mujeres	165	100	100
Nivel 2	Sur	DIGEPSA Participación Comunitaria	196,4	500	39,28
Nivel 2	Sur	Rack	98	150	65,333333
Nivel 2		Exterior	-	-	-
Nivel 3			224	200	100
Nivel 3		Gradas y Lobby			
Nivel 3	Norte	Baños Hombres	123	100	100
Nivel 3	Norte	DIGECADE	200,38	500	40,076
Nivel 3	Norte	Rack	98	150	65,333333
Nivel 3	Sur	Baños Mujeres	111	100	100
Nivel 3	Sur	DIGECADE/DICONIME	185,67	500	37,134
Nivel 3	Sur	Rack	76	150	50,666667
Nivel 3		Exterior	-	-	-
Nivel 4			229	200	100
Nivel 4		Gradas y Lobby			
Nivel 4	Norte	Baños Hombres	136	100	100
Nivel 4	Norte	DIGEBI	168,43	500	33,686
Nivel 4	Norte	Rack	108	150	72
Nivel 4	Sur	Baños Mujeres	123	100	100
Nivel 4	Sur	DIGEBI /DIGEACE	226,47	500	45,294
Nivel 4	Sur	Rack	79	150	52,666667
Nivel 4		Exterior	-	-	-
Ducto	Norte	Ducto	-	-	-
Ducto	Sur	Ducto	-	-	-
Ducto	Norte	Ducto Eléctrico	-	-	-
Ducto	Sur	Ducto Eléctrico	-	-	-
Parqueo		Parqueo Exterior Conjunto	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. Diagnóstico para medir la eficiencia en la iluminación de acuerdo a la potencia instalada en el edificio 2 del MINEDUC

ÁREA DE TRABAJO			Cantidad de unidades instaladas	Cantidad de unidades inservibles	Cantidad de unidades funcionando	Potencia Instalada (W)	Potencia instalada funcionando (W)	% de Eficiencia por potencia instalada	Iluminación Promedio (Luxes)	Observaciones
NIVEL	ALA	UBICACIÓN								
Sótano 2			60	20	40	2 533	1 833,00	72,36	98	se inhabilitaron varias luminarias, sin acceso a bodega
Sótano 1			82	20	62	5 214	2 214,00	42,46	87	
Nivel 1		Gradas y Lobby	28	0	28	364	364,00	100	590	
Nivel 1	Norte	Sala Cleanomatic	2	0	2	80	80,00	100	145	
Nivel 1	Norte	Salón 1	30	0	30	822	822,00	100	216,5	
Nivel 1	Norte	Salón 2	30	0	30	822	822,00	100	216,5	
Nivel 1	Norte	Salón 3	30	0	30	822	822,00	100	216,5	
Nivel 1	Norte	Rack	2	0	2	80	80,00	100	115	
Nivel 1	Norte	Banrural	2	0	2	80	80,00	100	145	
Nivel 1	Sur	Baños	9	0	9	225	225,00	100	187	
Nivel 1	Sur	Biblioteca y Archivo	42	0	42	1 518	1 518,00	100	198,08	
Nivel 1		Exterior	6	0	6	78	78,00	100	-	no medible
Nivel 2		Gradas y Lobby	28	0	28	364	364,00	100	235	
Nivel 2	Norte	Baños Hombres	4	0	4	106	106,00	100	168	
Nivel 2	Norte	DIGEPSA	52	0	52	1 702	1 702,00	100	218,81	
Nivel 2	Norte	Rack	2	0	2	80	80,00	100	98	
Nivel 2	Sur	Baños Mujeres	4	0	4	106	106,00	100	165	
Nivel 2	Sur	DIGEPSA Participación Comunitaria	55	1	54	1 957	1 877,00	95,91	196,4	una luminaria 2x40 no funciona
Nivel 2	Sur	Rack	2	0	2	80	80,00	100	98	
Nivel 2		Exterior	18	0	18	234	234,00	100	-	no medible
Nivel 3		Gradas y Lobby	28	0	28	364	364,00	100	224	
Nivel 3	Norte	Baños Hombres	4	0	4	106	106,00	100	123	
Nivel 3	Norte	DIGECADE	62	0	62	2 048	2 048,00	100	200,38	
Nivel 3	Norte	Rack	2	0	2	80	80,00	100	98	
Nivel 3	Sur	Baños Mujeres	4	0	4	106	106,00	100	111	
Nivel 3	Sur	DIGECADE/DICONIME	59	3	56	2 117	1 877,00	88,66	185,67	3 luminarias 2x40 no funcionan
Nivel 3	Sur	Rack	2	0	2	80	80,00	100	76	
Nivel 3		Exterior	16	0	16	208	208,00	100	-	no medible
Nivel 4		Gradas y Lobby	28	0	28	364	364,00	100	229	
Nivel 4	Norte	Baños Hombres	4	0	4	52	52,00	100	136	
Nivel 4	Norte	DIGEBI	59	1	58	2 009	1 929,00	96,02	168,43	una luminaria 2x40 no funciona
Nivel 4	Norte	Rack	2	0	2	80	80,00	100	108	
Nivel 4	Sur	Baños Mujeres	4	0	4	106	106,00	100	123	
Nivel 4	Sur	DIGEBI /DIGEACE	54	0	54	2 052	2 052,00	100	226,47	
Nivel 4	Sur	Rack	2	0	2	80	80,00	100	79	
Nivel 4		Exterior	4	0	4	52	52,00	100	-	no medible
Ducto	Norte	Ducto	4	0	4	600	600,00	100	-	no medible
Ducto	Sur	Ducto	4	0	4	600	600,00	100	-	no medible
Ducto	Norte	Ducto Eléctrico	4	0	4	600	600,00	100	-	no medible
Ducto	Sur	Ducto Eléctrico	4	0	4	600	600,00	100	-	no medible
Parqueo		Parqueo Exterior Conjunto	15	0	15	2 250	2 250,00	100	-	no medible
			853	45	808	31 821	27 721			

Fuente: elaboración propia

Nota: es conveniente aclarar que las mediciones se realizaron en horarios vespertinos, de esta forma las mediciones en exteriores no fueron medibles, en cuanto a los ductos, se hizo difícil el acceso a los mismos.

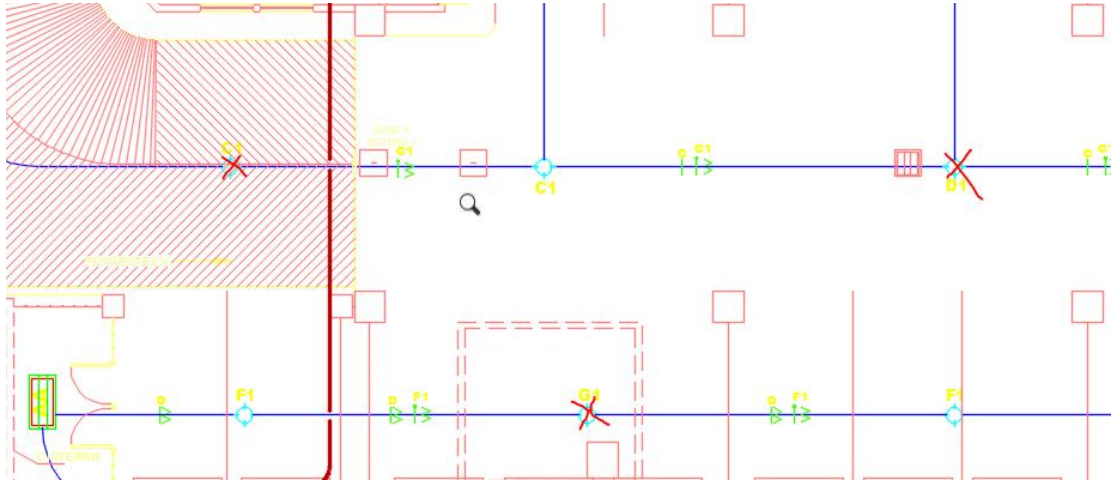
### **5.6.1. Análisis de las mediciones obtenidas en iluminación**

De acuerdo a las mediciones realizadas y al inventario realizado en el edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación, existen un total de 853 unidades de iluminación instaladas, estas se distribuyen en 446 del tipo incandescente de 40W, 322 tipo ojo de wey de 13W, 58 lámparas de mercurio de 150W (instaladas en los sótanos y el exterior o conjunto), 22 lámparas de 35 W y 5 lámparas de 65W.

- Unidades descartadas en sótanos:

Es importante mencionar que en los sótanos existe una particularidad, y es que se descartaron varias unidades de iluminación, porque se consideró que no es necesaria tanta iluminación por ser un parqueo, de esta manera la administración de mantenimiento decidió eliminar alternamente una lámpara por cada puesto de parqueo. Sin embargo, no es una solución viable, ya que es necesario mantener un nivel de luminosidad aceptable para este tipo de ambiente. El consumo de energía eléctrica reflejado después de este cambio pudo ser hasta cierto punto relevante, es posible conseguir un ahorro de energía eléctrica evaluando otro tipo de iluminación más eficiente y que cumpla con los requerimientos mínimos de lúmenes en parqueos de sótanos. Este tema es tratado más adelante en el análisis de iluminación.

Figura 31. **Parte del sótano 2, unidades descartadas alternativamente**



-Las unidades descartadas marcadas con una X.

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Tabla LXIX. **Distribución de acuerdo al tipo y potencia de iluminación en edificio 2 MINEDUC**

NIVEL	ALA	UBICACIÓN	Lámparas de 35W	Lámparas 2x 40 (por unidad)	Lámparas de 65W	Ojos de wey 13 W	Mercurio de 150 W	Total instaladas	Total inservibles
Sótano 2			22	12	5	16	5	60	20
Sótano 1			0	42	0	18	22	82	20
Nivel 1		Gradas y Lobby	0	0	0	28	0	28	0
Nivel 1	Norte	Sala Cleanomatic	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 1	Norte	Salón 1	0	16	0	14	0	30	0
Nivel 1	Norte	Salón 2	0	16	0	14	0	30	0
Nivel 1	Norte	Salón 3	0	16	0	14	0	30	0
Nivel 1	Norte	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 1	Norte	Banrural	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 1	Sur	Baños	0	4	0	5	0	9	0
Nivel 1	Sur	Biblioteca y Archivo	0	36	0	6	0	42	0
Nivel 1		Exterior, pasillos	0	0	0	6	0	6	0
Nivel 2		Gradas y Lobby	0	0	0	28	0	28	0
Nivel 2	Norte	Baños Hombres	0	2	0	2	0	4	0
Nivel 2	Norte	DIGEPSA	0	38	0	14	0	52	0
Nivel 2	Norte	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 2	Sur	Baños Mujeres	0	2	0	2	0	4	0
Nivel 2	Sur	DIGEPSA Participación Comunitaria	0	46	0	9	0	55	2
Nivel 2	Sur	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 2		Exterior, pasillo	0	0	0	18	0	18	0
Nivel 3		Gradas y Lobby	0	0	0	28	0	28	0
Nivel 3	Norte	Baños Hombres	0	2	0	2	0	4	0
Nivel 3	Norte	DIGECADE	0	46	0	16	0	62	0
Nivel 3	Norte	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 3	Sur	Baños Mujeres	0	2	0	2	0	4	0
Nivel 3	Sur	DIGECADE/DICONIME	0	50	0	9	0	59	6
Nivel 3	Sur	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 3		Exterior	0	0	0	16	0	16	0
Nivel 4		Gradas y Lobby	0	0	0	28	0	28	0
Nivel 4	Norte	Baños Hombres	0	0	0	4	0	4	0
Nivel 4	Norte	DIGEBI	0	46	0	13	0	59	2
Nivel 4	Norte	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 4	Sur	Baños Mujeres	0	2	0	2	0	4	0
Nivel 4	Sur	DIGEBI /DIGEACE	0	50	0	4	0	54	0
Nivel 4	Sur	Rack	0	2	0	0	0	2	0
Nivel 4		Exterior	0	0	0	4	0	4	0
Ducto	Norte	Ducto	0	0	0	0	4	4	0
Ducto	Sur	Ducto	0	0	0	0	4	4	0
Ducto	Norte	Ducto Eléctrico	0	0	0	0	4	4	0
Ducto	Sur	Ducto Eléctrico	0	0	0	0	4	4	0
Parqueo		Parqueo Exterior Conj	0	0	0	0	15	15	0
			22	446	5	322	58	853	50

Fuente: elaboración propia.



Se obtuvieron mediciones de lúmenes utilizando el luxómetro, pero es necesario contar con una referencia para conocer si los valores medidos están dentro de límites mínimos requeridos, esta referencia está en el acuerdo gubernativo del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional (Acuerdo Gubernativo 33-2016) del Ministerio de Trabajo y Previsión Social, donde se establecen los niveles mínimos de iluminación. Se cita textualmente el Artículo 17 respecto a iluminación:

“Los centros de trabajo deben contar con iluminación adecuada para la seguridad y conservación de la salud de los trabajadores. Cuando la iluminación natural no sea factible o suficiente, se debe proveer la luz artificial en cualquiera de sus formas, siempre que ofrezca garantías de seguridad, no vicie la atmósfera del local y no ofrezca peligro de incendio. El número de fuentes de luz, su distribución e intensidad, deben estar en relación con la altura, superficie del local y trabajo que se realice. Los lugares que vulneren o pongan en riesgo al trabajador, deben estar especialmente iluminados. La iluminación natural, directa o refleja, no debe ser tan intensa que exponga a los trabajadores a sufrir accidentes o daños a la salud”.<sup>4</sup>

Este acuerdo también da referencia a los valores y niveles mínimos de iluminación en lugares administrativos o de oficinas, se detalla a continuación:

---

<sup>4</sup> Ministerio de Trabajo y Previsión Social. *Acuerdo Gubernativo 33-2016*.

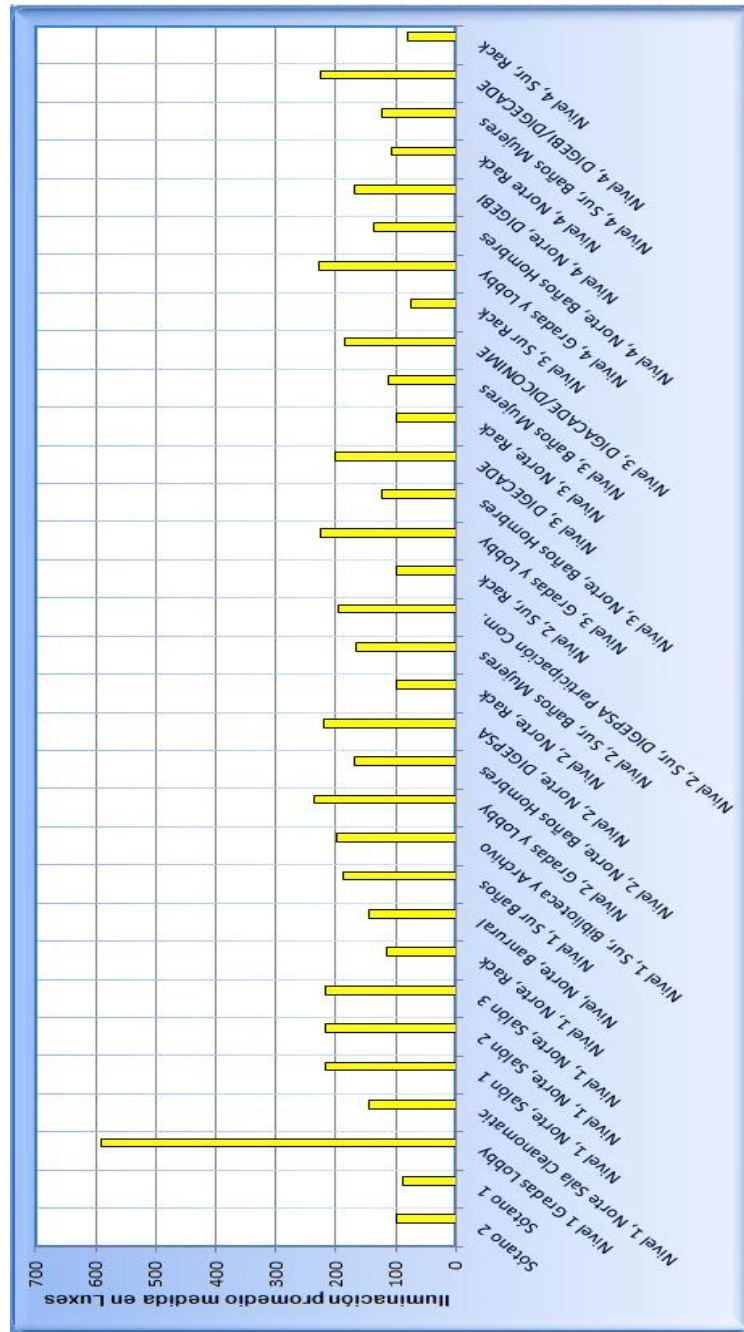
Tabla LXX. **Niveles mínimos de iluminación en puestos de trabajo de oficinas**

OFICINAS		
Zona de Trabajo	Exigencia visual	Nivel mínimo de luxes
Escaleras y pasillos	Baja	100 - 150
Baños	Baja	100 - 150
Recepción y sala de reuniones	Media	200 - 500
Bodega de materiales	Media	200 - 500
Trabajo de oficinistas	Media	500 - 1 000
Redacción	Alta	1 500 - 2 000
Archivo	Alta	1 500 - 2 000

Fuente: Acuerdo Gubernativo 33 - 2016, Año 2016.

Los valores de la intensidad lumínica promedio en luxes en el Edificio 2 se pueden apreciar de una mejor manera en la figura 32.

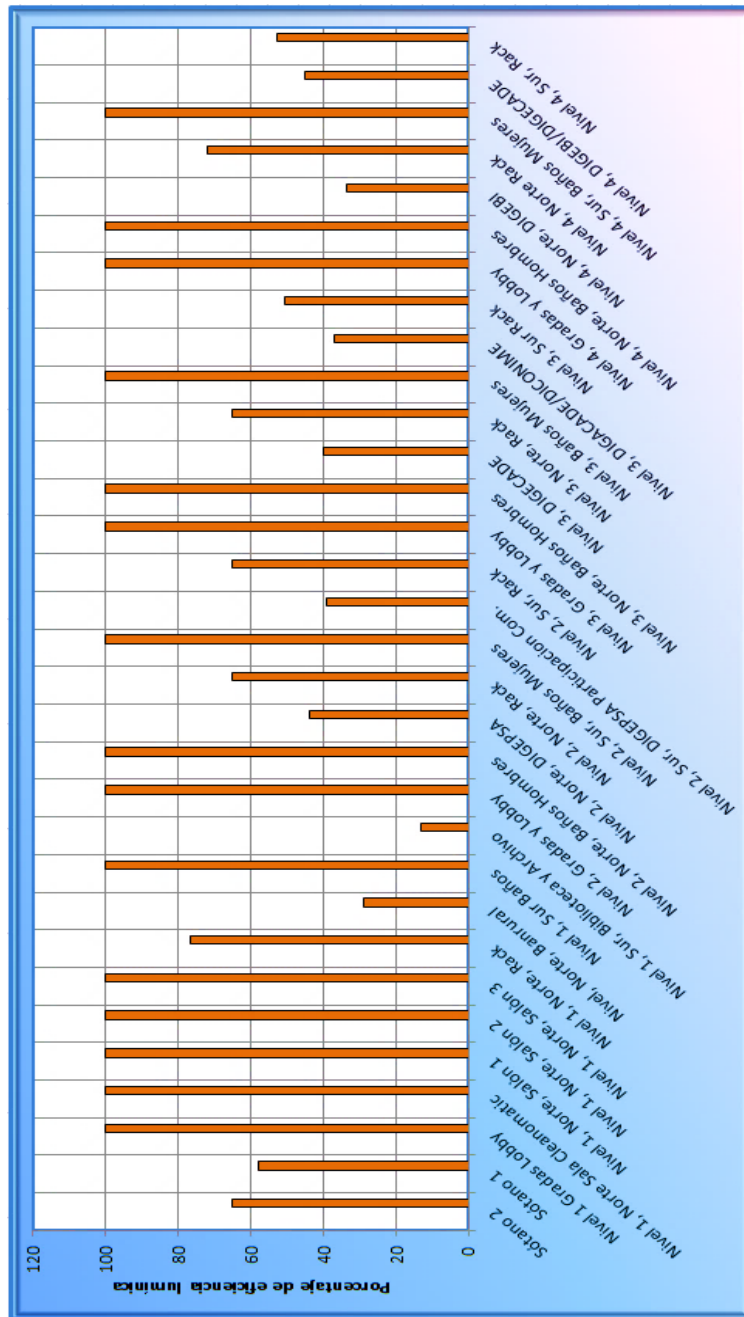
Figura 32. Valores promedio de iluminación por unidad de trabajo en edificio 2 MINEDUC



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, existen varias unidades de trabajo que están muy por debajo de los límites mínimos requeridos en el acuerdo gubernativo 33-2016, lo cual hace evidente el problema en cuanto a el tipo de iluminación, tema que se trata más adelante en las recomendaciones. Para poder apreciar de una manera más directa esta deficiencia se muestra a continuación una gráfica que compara el valor requerido mínimo y el valor medido promedio, siendo entonces un porcentaje que mide el nivel de eficiencia de iluminación, la representa esta comparación, misma que está tabulada en la tabla X..

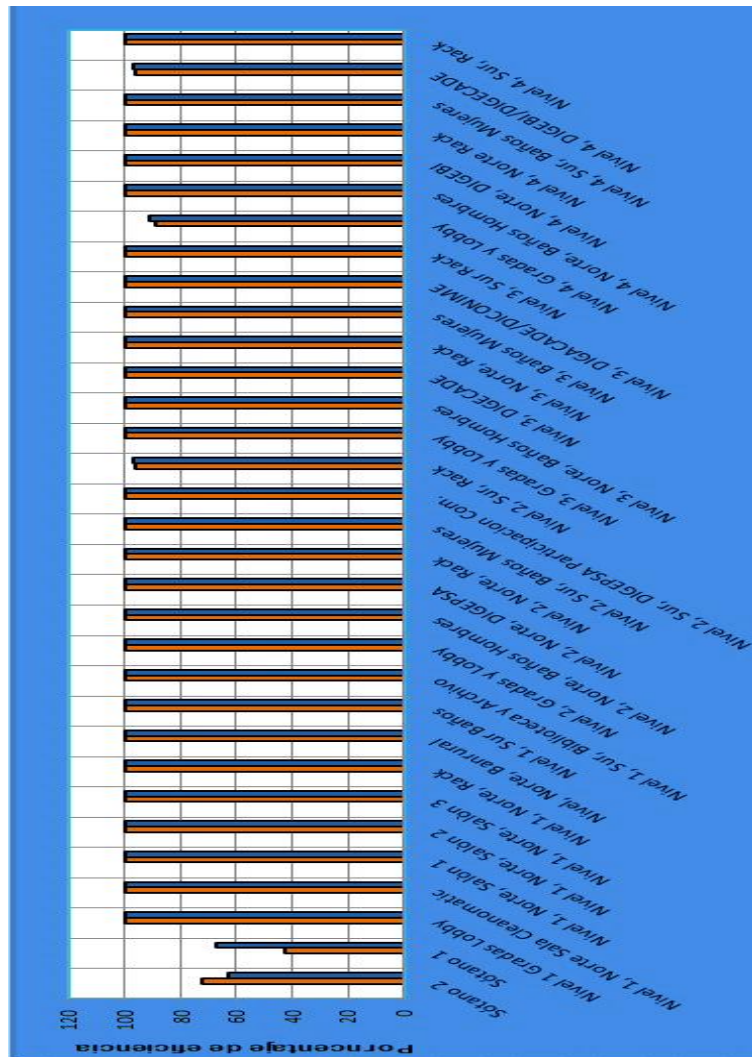
Figura 33. Porcentaje de eficiencia lumínica comparado con los valores en acuerdo 33-2016



Fuente: elaboración propia.

Esta deficiencia también se puede analizar desde dos puntos de de vista más; la potencia instalada o de las unidades que no estan funcionando, tal como fueron recopilados los datos en la tabla No. XI, de esta forma se obtiene la figura 34, que muestra esta comparación:

Figura 34. **Porcentaje de eficiencia lumínica comparado con valores de potencia y unidades funcionando**



Fuente: elaboración propia.

Así, se determina que en cuanto a potencia desperdiciada de acuerdo a unidades defectuosas se refiere, la mayoría de las luminarias están funcionando en general, desde este punto de vista la instalación está funcionando bien, pero no desde el punto de vista de los lúmenes medidos.

Las áreas más afectadas y más deficientes en cuanto a la calidad de iluminación que se deben atender para no seguir afectando la seguridad y salud de los trabajadores de este edificio son las siguientes:

- Nivel 1, ala sur, biblioteca y archivo - 198 lúmenes, 13,2 % de eficiencia
- Nivel 1, ala norte, banrural - 145 lúmenes, 29 % de eficiencia
- Nivel 4, ala norte, DIGEBI – 168,43 lúmenes, 33,68 % de eficiencia
- Nivel 3, ala sur, DIGECADE / DICONIME – 185,67 lúmenes, 37,13 % de eficiencia.
- Nivel 2, ala sur, DIGEPSA y participación comunitaria – 196,4 lúmenes, 39,28 % de eficiencia.
- Nivel 3, DIGECADE – 200,38 lúmenes, 40 % de eficiencia
- Nivel 2, ala norte, DIGEPSA – 218,81 lúmenes y un 43,762 % de eficiencia
- Nivel 4, ala sur, DIGEBI/DIGEACE – 226,47 lúmenes y un 45,29 % de eficiencia

Cabe recalcar que los valores de lúmenes y porcentajes de deficiencias son valores promedio, así pues, se pueden encontrar puntos donde podría apreciarse buena intensidad lumínica y podría pensarse que la deficiencia no es tan grande como lo indicado en los resultados, pero evaluando en general cada lugar de trabajo, y cada piso, se sugiere una mejora general en iluminación, pues tampoco existe un plan de mantenimiento. En resumen los valores de eficiencia y potencia lumínica son los siguientes:

Tabla LXXI. **Niveles de eficiencia en iluminación del edificio 2  
MINEDUC**

Luminarias	Total de lámparas por unidad	Eficiencia	Potencia
223	853	73,5%	31,8kW

Fuente: elaboración propia.

## 5.7. Estudio de termografía en instalación interna

La termografía es una tecnología basada en la medición de varias longitudes de onda infrarrojas para determinar temperaturas desde una distancia determinada. Una cámara termográfica proyecta una imagen que utiliza distintos colores para representar diferentes niveles de temperatura. Los puntos calientes como son conocidos son los aumentos de la temperatura que normalmente indican un fallo inminente.

La Norma ISO 18434-1 proporciona una introducción a la aplicación de la termografía infrarroja (IRT) al monitoreo y diagnóstico de la condición de la maquinaria, donde maquinaria incluye equipos auxiliares de la máquina como

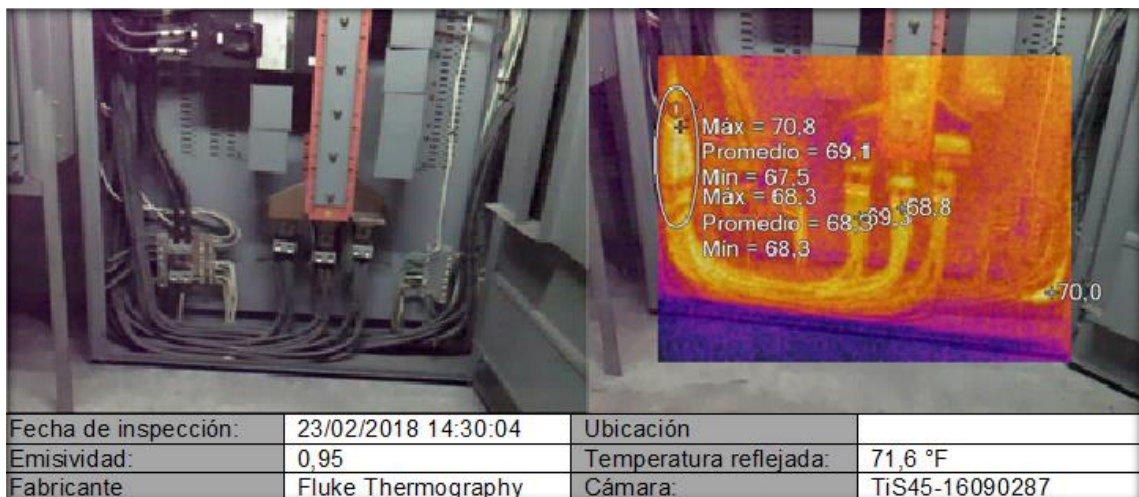


válvulas, máquinas de fluidos y equipo eléctrico, además equipos de intercambiadores de calor relacionados con la maquinaria. También se abordan las aplicaciones de IR relacionadas con la evaluación del rendimiento de la maquinaria.

### 5.7.1. Tablero principal

Ante los resultados armónicos en el neutro del tablero principal, en busca de más evidencia, se encontraron los siguientes resultados dicho conductor:

Figura 35. **Medidas de temperatura en el tablero principal del edificio 2**

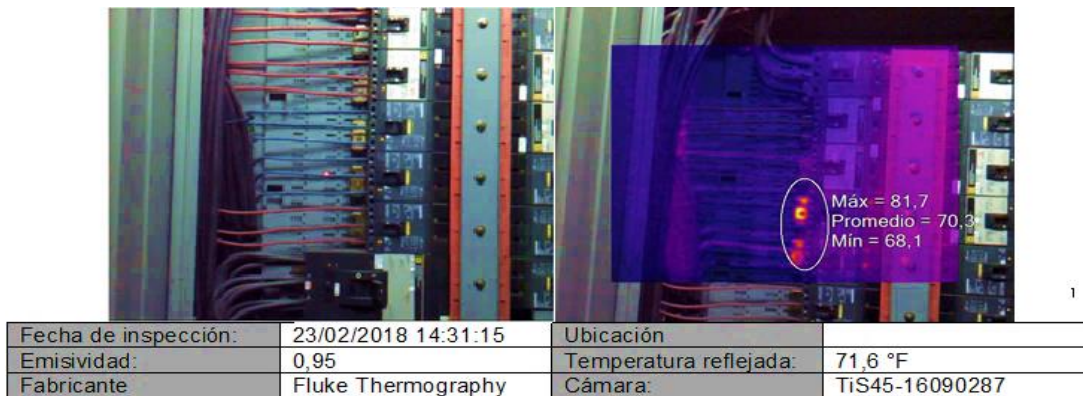


Fuente: elaboración propia.

Los interruptores en el tablero principal también fueron inspeccionados minuciosamente, en cuanto a los interruptores identificados según los planos como TB1 y TB3 que corresponden al primer y tercer piso ala norte respectivamente, se encontró calentamiento en los bornes principales, esto

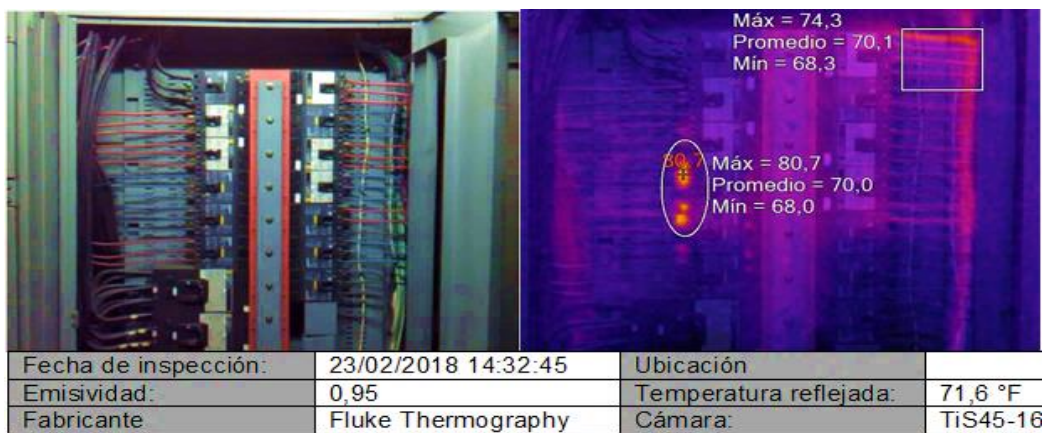
sucede desde horarios de la mañana, específicamente entre 8:40 y 9:00 am que es cuando al demanda está iniciando a aumentar.

Figura 36. **Medidas de temperatura interruptores tablero principal del edificio 2**



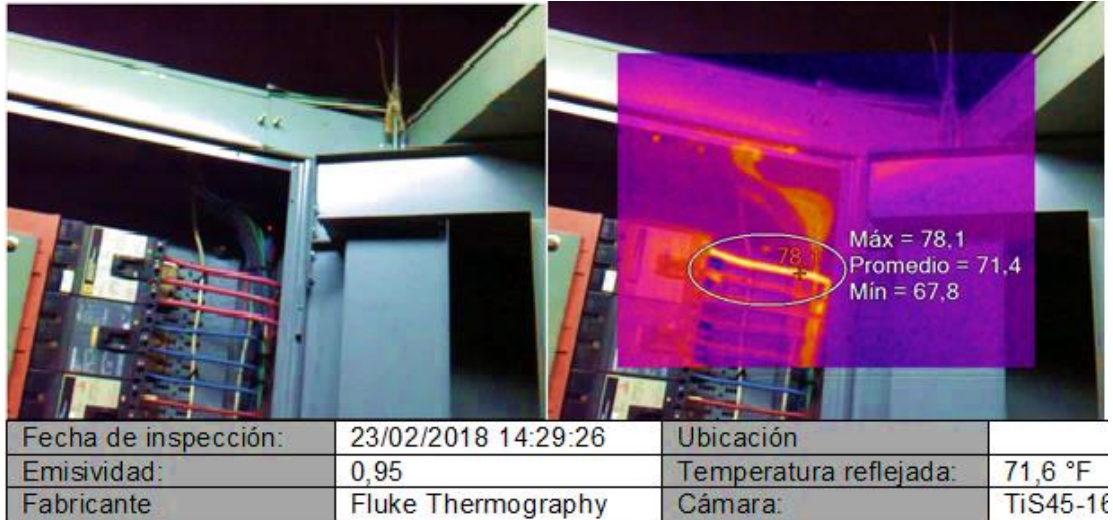
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Medidas de temperatura interruptores tablero principal del edificio 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Medidas termográficas interruptores tablero principal del edificio 2**



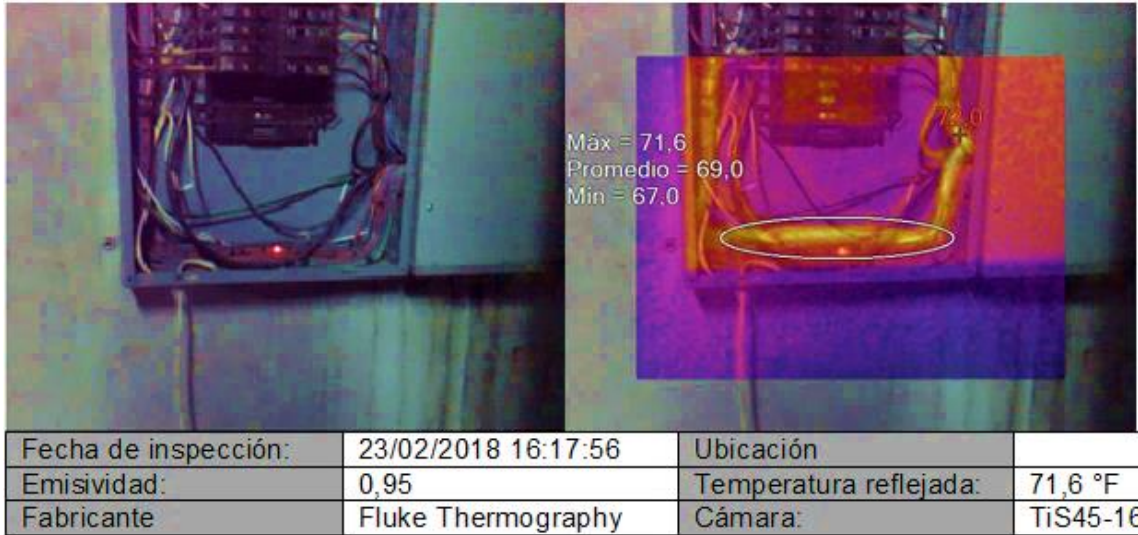
Fuente: elaboración propia.

Otro punto que indica una temperatura alta es el interruptor que alimenta el tablero secundario ubicado en el sótano 2, el cual a su vez gobierna la carga de iluminación y un tercer tablero que alimenta el sistema eléctrico del elevador en el edificio, a lo que se le atribuye la causa, ya que representa una carga bastante relevante, pues el elevador es utilizado con bastante frecuencia durante el día. Es importante redistribuir las cargas para este circuito.

### 5.7.2. Tableros y circuitos secundarios

El acceso a los edificios es difícil, pero se pudieron tomar muestras de temperatura en algunos tableros y circuitos de interés dados los resultados en el tablero principal. Se presentan a continuación muestras de las mediciones realizadas en tableros secundarios.

Figura 39. Mediciones de termografía en tablero secundario sótano 1

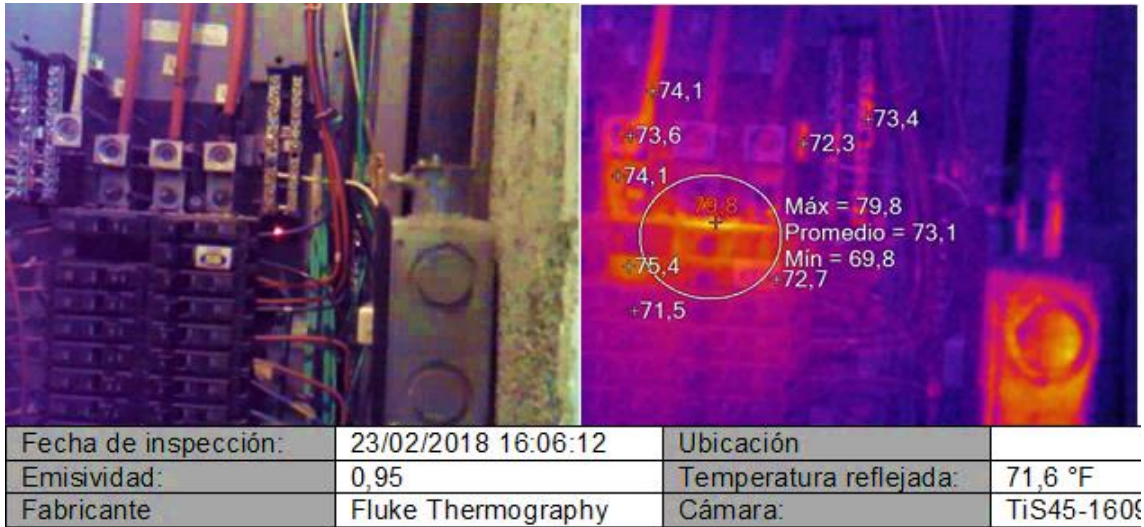


Fuente: elaboración propia.

Se evidenció que la mayor carga en los tableros secundarios son los motores de las bombas y elevador, las cuales elevan la temperatura en los conductores en la jornada principal que es donde funcionan con mayor demanda.



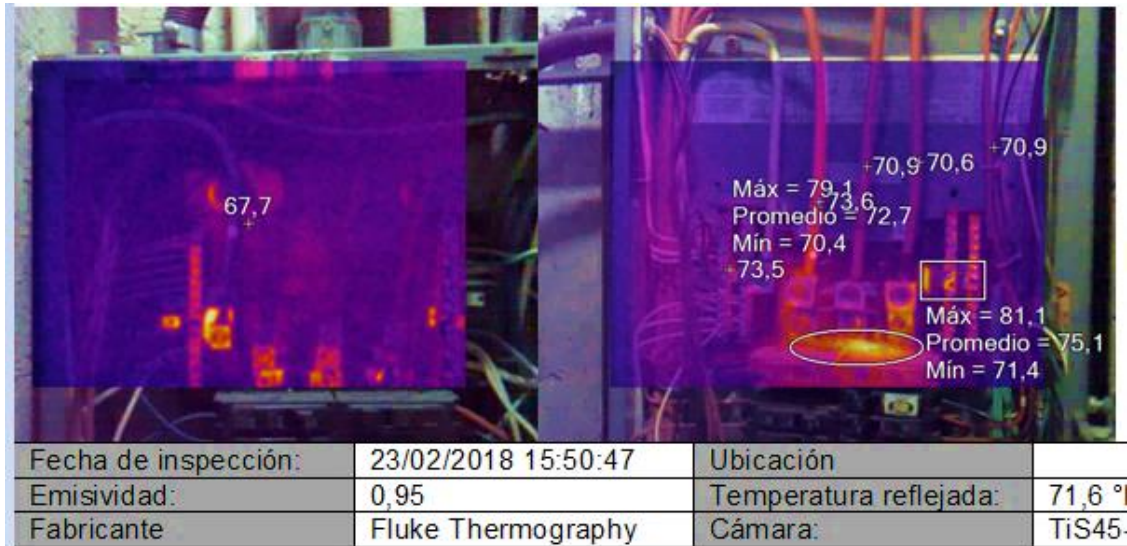
Figura 40. **Mediciones de termografía en tableros secundarios**



Fuente: elaboración propia.

El tablero secundario que alimenta la biblioteca en el primer nivel muestra algunos puntos calientes en horarios laborales, sin embargo, la mayor carga conectada a estos tableros la representa la cantidad de luminarias, que como ya se verificó, representa también la mayor carga de iluminación a nivel general en el edificio en todos los tableros secundarios de los niveles de oficinas y genera corriente a través del neutro del tablero principal.

Figura 41. **Mediciones de termografía en tableros secundarios**



Fuente: elaboración propia.

En general el edificio no tiene puntos graves de temperatura que puedan predecir una inevitable falla a corto plazo, sin embargo, es necesario distribuir las cargas y evitar las posibles fallas que se pueden dar en cuanto a crecimientos de demanda o envejecimiento de los conductores, corrosión de los conectores al pasar de los años.

Más adelante se analizan cambios en el consumo que pueden reducir los puntos calientes, como el cambio de iluminación, la redistribución de energía al implementar energía renovable fotovoltaica o reducir el consumo utilizando criterios de ahorro por parte de los empleados.

## **6. MEDIDAS DE AHORRO E IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

De acuerdo a los análisis del consumo y el sistema eléctrico del edificio 2 de la planta central del Ministerio de Educación se definieron las medidas de ahorro y eficiencia energética que se pueden implementar con el fin de lograr este objetivo.

### **6.1. Iluminación**

Ya se definió que es la iluminación la carga eléctrica que tiene el mayor porcentaje en el consumo energético del edificio, con un 26 % del consumo total, evidentemente es necesario encontrar una vía alterna para mejorar la eficiencia del consumo energético a través de la iluminación que al final tendrá un impacto relevante en la eficiencia energética del edificio. Cabe mencionar que en este edificio existen problemas de iluminación natural en los cubículos centrales de cada piso, por lo que se ha optado por mantener encendida gran parte del día la iluminación en general, por lo que los puestos de trabajo que están en los extremos donde hay ventanas y aprovechamiento de luz natural también tienen a la vez luz artificial, desaprovechando este recurso.

- Medidas de mejora:
  - El cambio del tipo de luminaria es evidentemente el primer paso para reducir el consumo por medio de iluminación artificial, actualmente es la iluminación led la que ha tenido un auge en los ambientes de iluminación, debido a su gran durabilidad y vida útil, costos de

operación y mantenimiento menos costosos. La iluminación led puede llegar a tener un ahorro del 25 % según fuentes de información técnica comparado con la iluminación tradicional, lo que se traduce a un ahorro promedio de Q 763,08 por mes y Q 9 156,54 por año en la facturación de energía eléctrica.

Sin embargo es importante que los tipos de tubos led que se tomen en cuenta en caso de cambio de tubos, debe ser la misma medida, 48 pulgadas de largo y que tengan una potencia equivalente a los tubos fluorescentes de 40 W que existen ya instalados. Un valor aceptable de tubos led está entre los 16 y los 20 W que son los valores más aceptables y pueden mejorar la cantidad de lúmenes en todos los ambientes, que de por si en general es deficiente.

- Aprovechar la luz natural es una medida efectiva y bastante viable de aplicar, que de hecho como ya se mencionó existe la iluminación natural, pero aun así se enciende la iluminación debido a que los módulos centrales tienen poca incidencia de luz natural, de esto entonces es necesario tener un control de encendido y apagado.
  - Tener un interruptor o interruptores dedicados únicamente a los módulos centrales donde la luz natural incide muy poco, en otras palabras independizar el control de iluminación en estos puntos. Así los módulos donde existe luz natural solo utilizará la iluminación cuando realmente sea necesario y los módulos centrales tendrán un nivel de iluminación adecuado y confortable para trabajar.
  - Promover el uso consciente de la iluminación, no utilizarla más tiempo de lo necesario o en lugares donde realmente no se utiliza la mayor parte del tiempo.



- Automatizar la iluminación artificial puede traer beneficios económicos, ya que promueve un control más eficiente de la misma, pueden utilizarse los siguientes dispositivos:
  - ✓ Sensores de movimiento
  - ✓ Temporizadores
  - ✓ Control de reloj
  - ✓ Fococeldas
- Implementar un control de mantenimiento que asegure que el sistema de iluminación este siempre en las condiciones mínimas requeridas para los colaboradores del edificio, así que tener el control de limpieza y cambio regular de luminarias dañadas es sumamente necesario.

## **6.2. Equipos eléctricos**

El edificio 2 de la planta central son en su totalidad oficinas, y como se evidenció en el inventario de equipos existen 252 equipos de cómputo, y 126 equipos de impresión y fotocopia, sumando un 38 % del aporte al consumo total, siendo un numero bastante relevante, si bien la mayoría de computadoras actualmente tienen un consumo eléctrico bajo, la suma de todos los equipos trabajando al mismo tiempo por una jornada de 8 promedio al día se vuelve en una carga relevante.

Existen otros equipos como los aires acondicionados que aportan 12 % al consumo, algo que hay que prestarle atención.

- Medidas de mejora:
  - Utilizar energía renovable es una posibilidad que puede traer muchos beneficios, no solo en ahorro de energía eléctrica, sino también en la disminución de gases de efecto invernadero, sin embargo, es necesario evaluar el costo de la compra e instalación y en cuanto tiempo se recupera esta inversión monetaria.
  - Mejorar gestión y hábitos de consumo en uso de equipos de cómputo, impresión y fotocopia
    - Es posible que se utilice una impresora general por sectores de puestos de trabajo, de esta manera se puede disminuir la cantidad de impresoras conectadas a la red, se evidenció la sobrepoblación de impresiones en algunas oficinas o módulos de trabajo, y en otros puntos existe una sola para varios colaboradores. Es necesario focalizar el uso de las impresoras y fotocopadoras, de manera que estén distribuidas correctamente y se tengan la cantidad necesaria de estos equipos.
    - Es inevitable el cambio de varios de los equipos de computación o impresoras que con el tiempo se vuelven obsoletos por el uso casi diario que reciben, por lo que al adquirir nuevos equipos, se sugiere que se verifique el consumo eléctrico en las especificaciones, es mejor si tienen un etiquetado energético de la clase A, *Energy Star* o similar.

- Según la página española [leantricity.es](http://leantricity.es), la cual promueve un sistema de gestión llamado Verdiem indica que un HP DC 7900 SFF (de tamaño reducido, bastante habitual) lo que el fabricante declara son ON: 50,56 W, STDBY: 2,34 W y OFF 1,06 W. Aparte, se deben calcular lo que consume la pantalla. Si observan las especificaciones del Compaq W2052a 20-inch led Backlit LCD monitor, son ON: 18,84 W y OFF: 0,15 W. Así que para una jornada laboral de 8 horas, si se deja un CPU y pantalla encendidos después de finalizar los trabajos se puede llegar a consumir hasta 0,437Kwh para el CPU. Al finalizar cada jornada laboral, se recomienda no dejar el equipo de cómputo encendido, tampoco suspendido, si bien este último reduce el consumo, la mejor opción es apagar la computadora y monitor antes de retirarse del puesto de trabajo. Para este ejemplo en particular, si en vez de dejar en reposo la CPU se opta por apagarlo totalmente, el consumo diario se reduce a 0,037 Kwh, siendo un 8,46 % de ahorro diario por consumo. Lo ideal es apagar también equipos de impresión y fotocopia después de cada jornada laboral.
- Según esta página española, el consumo diario promedio de un monitor es 0,1524 Kwh, pero si se opta por dejarlo apagado o desconectado totalmente después de la jornada laboral, el consumo se reduce a 0.0024 Kwh, representando un 1.6% de ahorro diario por desconectar el monitor.
- Según el sistema Verdiem Surveyor, configurar la pantalla para tener un brillo a nivel medio puede proteger la vista del usuario pero también ahorra un 10 % de energía de este equipo.

- Configurar el modo de ahorro de energía de todos los equipos resulta muy conveniente, siempre y cuando este configurado correctamente.

### **6.3. Climatización y aire acondicionado**

Si bien la climatización mediante aires acondicionados está instalada únicamente en los salones 1, 2 y 3 del primer nivel del edificio 2, representa más del 10 % del consumo, algo que no puede obviarse por tener otras cargas más relevantes, ya que existen medidas de mejora que pueden disminuir este porcentaje significativamente.

- Medidas de mejora:
  - Utilizar otros medios de climatización para reducir el uso del aire acondicionado
    - El uso de persianas o filtros solares resulta conveniente para la reducción de radiación solar en los puestos de trabajo más vulnerables a los rayos del sol, en el caso de los puestos de trabajo que están en los costados donde existen persianas pero no parecen ser efectivas, y en algunos puestos no existe esta ventaja.
    - Usar ventiladores resulta mucho más económico que usar aires acondicionados, ya que no son equipos que demanden mucha energía eléctrica, existen en tamaños pequeños o medianos que pueden mejorar significativamente la temperatura en una zona de trabajo. Para el caso del edificio 2, que únicamente

tiene instalados aires acondicionados en los salones resulta una opción bastante viable.

#### **6.4. Instalación de paneles solares**

Se sabe que en Guatemala existen grandes proyectos de plantas solares que aprovechan la posición geográfica del país para ser productores por medio de este tipo de generación fotovoltaica; tal es el caso de Horus Energy en Chiquimulilla que tiene capacidad de producir 88 MW, siendo la más grande a nivel centroamericano, o el proyecto denominado SIBO ubicado en Zacapa, donde aprovechando la temperatura promedio arriba de los 30° que puede producir 5 MW.

Esto deja claro que la ubicación del país es relativamente factible para la generación fotovoltaica, y en este caso se calculará la instalación solar fotovoltaica para el edificio 2 del Ministerio de Educación considerando los consumos estimados, el uso de los mismos y la radiación solar de acuerdo a la ubicación, orientación e inclinación de la instalación, el cual suministrará el 18 % del consumo energético total, representando en promedio 174,58524 Kwh / día, el cual será un sistema SFCR (Sistema fotovoltaico conectado a la red)

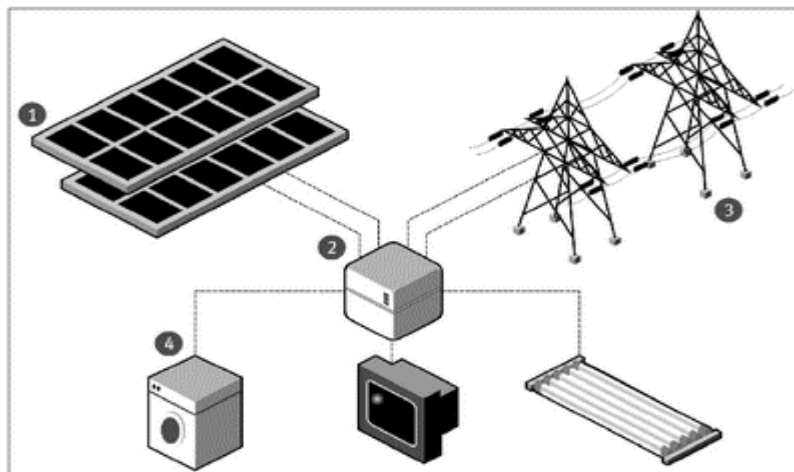
Además se sugiere adecuarse a las normas ISO 9000 que son un conjunto de normas para gestionar y administrar los recursos que sean puestos en disposición de una determinada organización.

- Detalles del lugar de instalación solar fotovoltaica:
  - Ubicación: 02 Avenida 05-98 Zona 10.
  - Coordenadas: 14,608491, -90,513825

- Inclinación: 13°
- Desorientación respecto al sur: 0°
- Voltaje de salida: 120V

Es más factible utilizar un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red dado que son más eficientes en zonas urbanizadas, disminuyendo costos al utilizar únicamente un inversor para conectarse a la red eléctrica de la empresa distribuidora, en este caso EEGSA. De esta manera el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera el consumo local, y si fuera el caso contrario, pues se extrae energía de la red de distribución. Esto evita utilizar baterías y reguladores de carga, siendo mucho más barato que un sistema autónomo.

Figura 42. **Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red**



- 1) Panel solar.
- 2) Sistema electrónico que incluye el inversor en fase con la red, además del metro contador para determinar el consumo y producción de energía.
- 3) Red eléctrica.
- 4) Carga eléctrica

Fuente: *Sistemas autónomos o conectados a la red.* [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu). Consulta: enero de 2019.

Total de energía diaria necesaria: 210 648,21 Wh / día

Aclarando que esta es la energía necesaria diaria para suministrar únicamente el 18 % del consumo total del edificio 2 del Ministerio de Educación.

Tabla LXXII. **Demanda de energía eléctrica real diaria en edificio 2 MINEDUC**

	Ene	Feb	Mar	Abl	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% mes	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Consumos (W)	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648	210648

Fuente: elaboración propia.

- Radiación solar diaria:

Figura 43. **Radiación solar diaria**

Month	Air temperature	Relative humidity	Solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s
January	21.3	64.0%	5.18	93.2	4.4
February	22.6	59.5%	5.73	93.1	4.2
March	23.8	57.1%	6.02	93.0	3.8
April	24.6	61.2%	6.05	93.0	3.5
May	23.9	73.0%	5.48	92.9	3.1
June	23.2	80.1%	5.16	93.0	3.0
July	23.1	76.0%	5.45	93.1	3.3
August	23.2	76.3%	5.34	93.0	3.2
September	22.7	80.4%	4.73	93.0	2.8
October	22.3	78.0%	4.76	93.0	3.5
November	21.9	71.3%	4.90	93.1	3.8
December	21.3	67.7%	4.95	93.2	4.2
<b>Annual</b>	22.8	70.4%	5.31	93.0	3.6
Measured at (m)					10.0

Fuente: NASA. <https://data.nasa.gov/Earth-Science/Surface-Meteorology-and-Solar-Energy/w3p-qsan>. *Surface meteorology and Solar Energy*. Consulta: enero de 2019.

Para el cálculo del campo fotovoltaico se ha tenido en cuenta la inclinación y orientación elegidas, las HSP, el ratio de aprovechamiento del regulador de carga y las temperaturas medias mensuales diurnas del lugar elegido. Dando los siguientes valores:

- El mes más desfavorable según los datos de consumo: diciembre, tal como se indica en la tabla de generación y costos
- Inclinación óptima anual por consumos: 18:08°
- Inclinación óptima anual: 13:78°
- Azimut de módulos: 0°
- Energía real diaria generada por los módulos: 210,648.21 Wh / día
- Potencia pico de los módulos calculada: 51,558 Wp

Se tomaron en cuenta los distintos parámetros eléctricos que determinan el rendimiento, unidades necesarias y acoplamiento con el regulador y batería. Para la reducción del consumo eléctrico diario del edificio 2 del Ministerio de Educación, se necesitan instalar 224 paneles, distribuidos en 2 series paralelas de 112 paneles cada uno. Se muestran los detalles de los paneles y características a continuación:

Figura 44. **Detalles técnicos de paneles serie LUXOR Eco Line**

LUXOR Eco line 60/230 W Policristalino			
Voltaje a circuito abierto (voc):	37 V	Voltaje a potencia máxima (vmp):	29.8 V
Corriente de cortocircuito (isc):	8.22 A	Corriente a potencia máxima (imp):	7.73 A
Potencia máxima:	230 W	Coefficiente de temperatura de Pmax:	-0.45 %/°C
Potencia real a Temperatura media max :	230.8685 Wp	N° de módulos serie:	2
Potencia pico módulos total :	51520 Wp	N° de series paralelo:	112
Optimización instalación/necesidades mes mas desfavorable :	1	Total modulos :	224
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			100 %

Fuente: portal LUXOR.



La marca y serie sugerida para los paneles de los módulos es Luxor Eco Line policristalinos de 230W de potencia máxima.

En cuanto al regulador se toman en cuenta los parámetros de los módulos fotovoltaicos y la tensión del sistema, lo que determina los valores de los reguladores a utilizar, detallado a continuación:

- Tensión del sistema: 48 V
- Tensión de módulos en circuito abierto: 29,8 V
- Tensión de los módulos a máxima potencia: 29,8 V
- Corriente de cortocircuito del módulo: 8,22 A
- Corriente de potencia máxima de los módulos: 7,73 A
- No. De módulos serie a instalar: 2
- No. De módulos paralelo a instalar: 112
- Total de módulos a instalar: 22

El inversor – cargador se utilizan los parámetros del sistema y un inversor marca VICTRON MULTIPLUS

- Tensión del sistema DC: 48 V.
- Tensión de Salida AC: 120 V.
- Potencia Máxima: 2 197 W
- Coeficiente de simultaneidad: 0,7
- Potencia mínima necesaria: 1 538 W
- Factor de seguridad: 0,8
- Potencia de cálculo: 1 922 W

Figura 45. **Detalles técnicos inversor – cargador**

VICTRON MULTIPLUS 48/3000/35-16			
Tensión:	48 V	Potencia nominal:	3000 W
Potencia continua:	2500 W	Potencia instantanea:	6000 W
Consumo en vacio :	16 W	Eficiencia :	95 %
Ratio aprovechamiento :	77 %	Nº inversores :	1
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			130 %

Fuente: portal VICTRON

En resumen, se necesitan los siguientes elementos para instalar el sistema de generación fotovoltaico:

Tabla LXXIII. **Elementos necesarios para instalar el sistema solar fotovoltaico**

UNIDADES	ELEMENTOS
224	Modulo tipo - LUXOR Eco Line 60/230 W Policristalino
1	Inversor tipo - VITCRON MULTIPLUS 48/3000/35-16

Fuente: elaboración propia.

Con los cálculos realizados y las sugerencias de equipos que cumplen con los valores nominales y de consumo, se obtiene una comparación de consumos y producción estimados a lo largo del año:

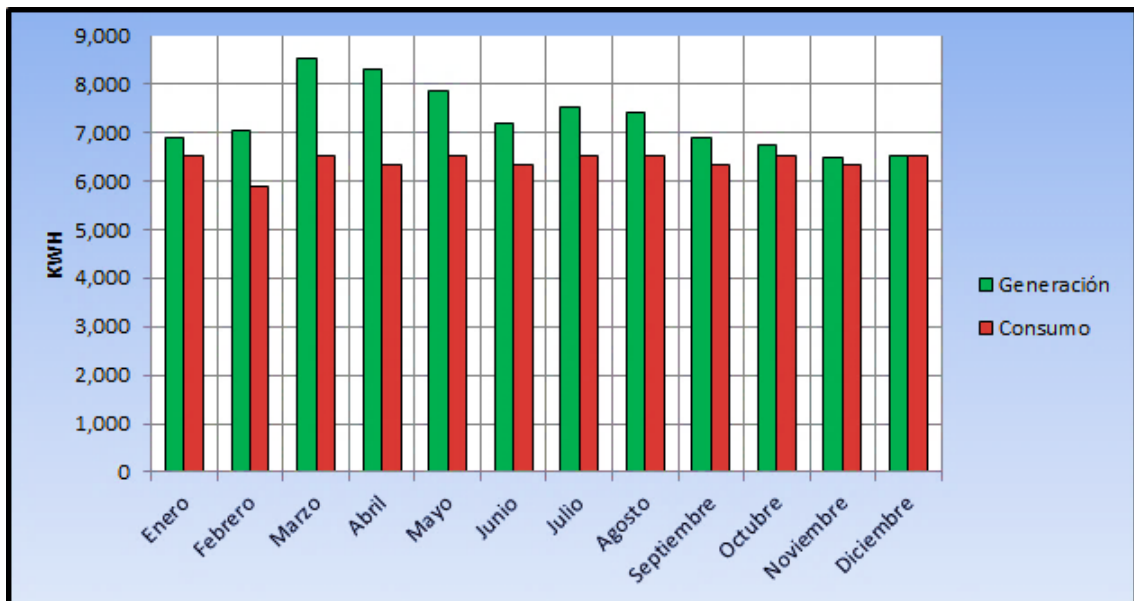
Tabla LXXIV. **Comparativo entre consumos y generación de energía para año 2018**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Generación	6 897,00	7 031,00	8 514,00	8 295,00	7 870,00	7 187,00	7 527,00	7 427,00	6 883,00	6 726,00	6 495,00	6 525,00	87 377,00
Consumo	6 530,00	5 898,00	6 530,00	6 319,00	6 530,00	6 319,00	6 530,00	6 530,00	6 319,00	6 530,00	6 319,00	6 530,00	76 884,00
Diferencia	367,00	1 133,00	1 984,00	1 976,00	1 340,00	868,00	997,00	897,00	564,00	196,00	176,00	-5,00	164 261,00
Ahorro (Q)	Q 4 514,56	Q 4 602,27	Q 5 573,00	Q 5 429,65	Q 5 151,46	Q 4 704,39	Q 4 926,94	Q 4 861,48	Q 4 505,40	Q 4 402,63	Q 4 251,43	Q 4 271,06	Q 57 194,28

Fuente: elaboración propia.

En un año el edificio 2 del Ministerio de Educación tendrá un consumo total de 76 884 Kwh y una generación total de 87 377 Kwh que representa el ahorro energético anual, traducido a un ahorro económico de Q 57 194,28 anuales.

Figura 46. **Comparativa entre consumos y generación de energía eléctrica en 2018 para edificio 2 MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.

El costo inicial para instalar los 224 paneles y el inversor es de Q 485 683,82, la gestión con la empresa eléctrica incluye instalar un contador bidireccional, ya que se ve generar y absorber energía, y la tarifa será diferente.

Existe espacio para instalar dos series de 112 paneles en el área verde que rodea el edificio, o el espacio de parqueo en las afueras de la entrada principal, por lo que no existe problema con el espacio destinado para la instalación de los mismos.

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CONSUMOS Y AHORROS ENERGÉTICOS

Para realizar una proyección de consumos de energía, se debe analizar antes cómo se comporta el consumo de energía eléctrica en el edificio 2, en cuanto a un solo día laboral y un día de descanso (fin de semana, asueto general o feriado), calculando así el consumo total en un mes.

Ya que la semana en la que se tomaron las mediciones con el analizador no incluía un día de asueto, se considera que un día de descanso es igual que un día de asueto en cuanto a la demanda de energía, se utilizó el analizador de Redes Fluke 436-II, de esto surge la tabla LXXV:

Tabla LXXV. **Caracterización de consumo de energía eléctrica durante un día laboral en edificio 2 del MINEDUC**

UN DÍA LABORAL			
ACTIVIDAD	Horario de consumo		Consumo promedio dado en Watt - hora
	Inicio	Final	
Inicio de labores (Algunos inician antes o ingresan antes)	7:01:00 AM	9:00:00 AM	58 580,00
Jornada laboral	9:01:00 AM	17:00:00 PM	350 395,00
Fin de labores (Algunos se quedan laborando)	17:01:00 PM	18:00:00 PM	35 167,50
Horario nocturno (Fuera de labores)	18:01:00 PM	7:00:00 AM	211 245,00
<b>Consumo total en las 24 horas de un día laboral</b>			<b>655 387,50</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVI. **Caracterización de consumo de energía eléctrica durante u día de descanso o asueto en edificio 2 del MINEDUC**

<b>DÍA DE DESCANSO O ASUETO</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Horario de consumo</b>		<b>Consumo promedio dado en Watt - hora</b>
	<b>Inicio</b>	<b>Final</b>	
Fuera de labores y operaciones de mantenimiento	7:01:00 AM	7:00:00 AM	212 637,50
<b>Consumo total en las 24 horas de un día de descanso o asueto</b>			<b>212 637,50</b>

Fuente: elaboración propia.

Para los días de descanso o asueto en realidad no se ha considerado el consumo mínimo de energía eléctrica, dado que estos días suelen ser empleados por el personal de mantenimiento para realizar otras actividades que son complicadas de realizar durante una jornada normal de labores, por eso se considera que son 35 167,5 Watt – hora para las 24 horas de un día de asueto del año.

Con base en los resultados obtenidos evaluando un día de descanso y uno laboral, se ha realizado una proyección que estima la de energía eléctrica total consumida de los meses de octubre 2017 hasta diciembre 2018.

Tabla LXXVII. **Proyección de consumo de energía eléctrica de octubre 2017 a diciembre 2018 en el edificio 2 del MINEDUC**

Días del mes			
Mes	Laboral	Descanso	Energía estimada (kWh)
oct-17	21	10	15 889,51
nov-17	21	9	15 676,88
dic-17	20	11	15 446,76
ene-18	22	9	16 332,26
feb-18	20	8	14 808,85
mar-18	20	11	15 446,76
abr-18	21	9	15 676,88
may-18	22	9	16 332,26
jun-18	20	10	15 234,13
jul-18	22	9	16 332,26
ago-18	23	8	16 775,01
sep-18	19	11	14 791,38
oct-18	22	9	16 332,26
nov-18	20	10	15 234,13
dic-18	18	13	14 561,26

Fuente: elaboración propia.

- Nota importante: esta proyección de consumo de energía eléctrica está realizado sin tomar en cuenta posibles crecimientos de las instalaciones eléctricas, ni crecimiento de equipo o personal del edificio 2 de la planta central del MINEDUC.

## **7.1. Análisis de consumo energético proyectado al 2032**

Por lo tanto, si en la proyección se toma en cuenta variables que pueden ser significativas desde lo que resta del 2018 hasta el 2032, entonces será necesario verificar matemáticamente la relación que tienen estas variables en el consumo, estas variables son variables explicativas. Se tomarán en cuenta entonces la cantidad de personal que trabaja en cada mes y las cantidades de computadoras que se conectan en promedio ya que se considera que estas variables están relacionadas en un gran porcentaje al consumo total de energía.

Se estima que a finales de 2017 y todo el 2018 la cantidad de personal que labora en el edificio 2 son 276 personas, según datos obtenidos en la auditoría, sin embargo, el personal ha tenido un leve crecimiento en los últimos años, además de tomar en cuenta que existe personal ajeno a las labores del edificio que en cada año va aumentando o disminuyendo, tales como el personal de mantenimiento, personal de Banrural, personal de seguridad privada y otras dependencias inmersas o relacionadas con las actividades que realizan las unidades del edificio 2.

Por otro lado, la mayoría de colaboradores en el edificio utiliza una computadora, así que el número de personal está muy ligado al número de ordenadores conectados que estén funcionando en la instalación interna del edificio, de esta conclusión se deriva también que hay meses en los que cierto personal está de vacaciones o no utilizan su ordenador en un día normal de trabajo, ya que tienen otras funciones que desempeñar, así, el consumo de todos los equipos de cómputo en general está relacionado con el consumo total de energía eléctrica del edificio 2 de la planta central y la cantidad de personas que están trabajando mes a mes en las instalaciones. En la siguiente



proyección se tomaron en cuenta estas variables para generar datos más reales de consumo energético para el 2032.

En la tabla LXXVIII se ven proyectados los valores estimados del consumo de energía eléctrica hasta el año 2032. En el siguiente capítulo se analizan los costos que representan estos consumos.

**Tabla LXXVIII. Proyección de consumo de energía eléctrica de octubre 2017 a Abril 2025 en el Edificio 2 del MINEDUC**

<b>PROYECTADO HASTA EL AÑO 2032 CON VARIABLES EXPLICATIVAS</b>			
<b>Mes</b>	<b>Número de personas</b>	<b>Número de ordenadores</b>	<b>Energía estimada (kWh)</b>
oct-17	260	245	15 889,51
nov-17	265	243	15 676,88
dic-17	260	240	15 446,76
ene-18	276	248	16 332,26
feb-18	250	235	14 808,85
mar-18	260	240	15 446,76
abr-18	265	243	15 676,88
may-18	276	252	16 332,26
jun-18	255	238	15 234,13
jul-18	276	250	16 332,26
ago-18	276	252	16 775,01
sep-18	250	232	14 791,38
oct-18	275	252	16 332,26
nov-18	255	240	15 234,13
dic-18	250	232	14 561,26
ene-19	276	266	17 443,08
feb-19	277	267	17 556,40
mar-19	279	268	17 669,71
abr-19	280	270	17 783,03
may-19	282	271	17 896,35
jun-19	283	272	18 009,66
jul-19	285	273	18 122,98
ago-19	287	275	18 236,30
sep-19	288	276	18 349,61
oct-19	290	277	18 462,93
nov-19	291	278	18 576,25
dic-19	288	280	18 603,36

Continuación de la tabla LXXVIII.

ene-20	289	281	18 710,13
feb-20	291	282	18 816,90
mar-20	292	283	18 923,66
abr-20	293	285	19 030,43
may-20	294	286	19 137,20
jun-20	295	287	19 243,96
jul-20	297	288	19 350,73
ago-20	298	290	19 457,50
sep-20	299	291	19 564,26
oct-20	300	292	19 671,03
nov-20	301	293	19 777,80
dic-20	303	295	19 884,56
ene-21	304	296	19 991,33
feb-21	305	297	20 098,10
mar-21	306	298	20 204,86
abr-21	308	299	20 311,63
may-21	309	301	20 418,40
jun-21	310	302	20 525,16
jul-21	311	303	20 631,93
ago-21	312	304	20 738,70
sep-21	314	306	20 845,46
oct-21	315	307	20 952,23
nov-21	316	308	21 059,00
dic-21	317	309	21 165,76
ene-22	318	311	21 272,53
feb-22	320	312	21 379,30
mar-22	321	313	21 486,06
abr-22	322	314	21 592,83
may-22	323	316	21 699,60
jun-22	325	317	21 806,36
jul-22	326	318	21 913,13
ago-22	327	319	22 019,89

Continuación de la tabla LXXVIII.

sep-22	328	321	22 126,66
oct-22	329	322	22 233,43
nov-22	331	323	22 340,19
dic-22	332	324	22 446,96
ene-23	333	326	22 553,73
feb-23	334	327	22 660,49
mar-23	335	328	22 767,26
abr-23	337	329	22 874,03
may-23	338	331	22 980,79
jun-23	339	332	23 087,56
jul-23	340	333	23 194,33
ago-23	341	334	23 301,09
sep-23	343	336	23 407,86
oct-23	344	337	23 514,63
nov-23	345	338	23 621,39
dic-23	346	339	23 728,16
ene-24	348	341	23 834,93
feb-24	349	342	23 941,69
mar-24	350	343	24 048,75
abr-24	350	344	24 132,92
may-24	350	346	24 217,09
jun-24	350	347	24 301,26
jul-24	350	348	24 385,43
ago-24	350	349	24 469,60
sep-24	350	350	24 513,57
oct-24	350	352	24 637,94
nov-24	350	353	24 722,11
dic-24	350	354	24 806,27
ene-25	350	355	24 851,21
feb-25	350	357	24 953,82
mar-25	350	358	25 035,83
abr-25	350	359	25 117,84

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIX. **Proyección de consumo de energía eléctrica desde mayo 2025 a diciembre 2032 en el edificio 2 del MINEDUC**

PROYECTADO HASTA EL AÑO 2032 CON VARIABLES EXPLICATIVAS			
Mes	Número de personas	Número de ordenadores	Energía estimada (kWh)
may-25	350	360	25 191,39
jun-25	350	361	25 270,48
jul-25	350	362	25 349,58
ago-25	350	364	25 428,68
sep-25	350	365	25 507,77
oct-25	350	366	25 586,87
nov-25	350	367	25 665,96
dic-25	350	368	25 745,06
ene-26	350	369	25 824,16
feb-26	350	371	25 903,25
mar-26	350	372	25 982,35
abr-26	350	373	26 061,45
may-26	350	374	26 140,54
jun-26	350	375	26 219,64
jul-26	350	376	26 298,73
ago-26	350	378	26 377,83
sep-26	350	379	26 456,93
oct-26	350	380	26 536,02
nov-26	350	381	26 615,12
dic-26	350	382	26 694,22
ene-27	350	383	26 773,31
feb-27	350	385	26 852,41
mar-27	350	386	26 931,50
abr-27	350	387	27 010,60
may-27	350	388	27 089,70
jun-27	350	389	27 168,79
jul-27	350	390	27 247,89
ago-27	350	392	27 326,99
sep-27	350	393	27 406,08

Continuación de la tabla LXXIX.

oct-27	350	394	27 485,18
nov-27	350	395	27 564,28
dic-27	350	396	27 643,37
ene-28	350	398	27 722,47
feb-28	350	399	27 801,56
mar-28	350	400	27 880,66
abr-28	350	400	27 880,66
may-28	350	400	27 880,66
jun-28	350	400	27 880,66
jul-28	350	400	27 880,66
ago-28	350	400	27 880,66
sep-28	350	400	27 880,66
oct-28	350	400	27 880,66
nov-28	350	400	27 880,66
dic-28	350	400	27 880,66
ene-29	350	400	27 880,66
feb-29	350	400	27 880,66
mar-29	350	400	27 880,66
abr-29	350	400	27 880,66
may-29	350	400	27 880,66
jun-29	350	400	27 880,66
jul-29	350	400	27 880,66
ago-29	350	400	27 880,66
sep-29	350	400	27 880,66
oct-29	350	400	27 880,66
nov-29	350	400	27 880,66
dic-29	350	400	27 880,66
ene-30	350	400	27 880,66
feb-30	350	400	27 880,66
mar-30	350	400	27 880,66
abr-30	350	400	27 880,66
may-30	350	400	27 880,66

Continuación de la tabla LXXIX.

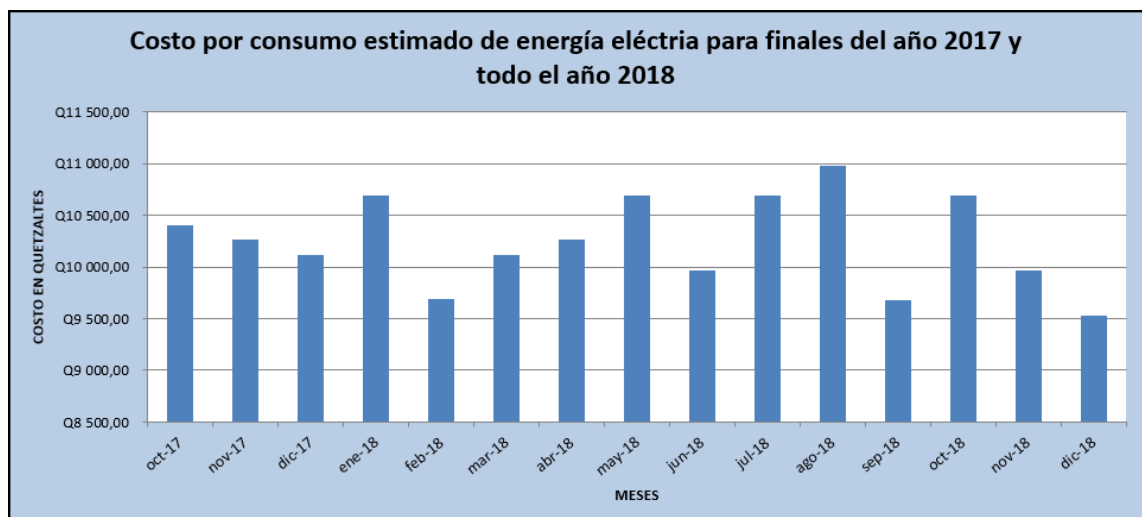
jun-30	350	400	27 880,66
jul-30	350	400	27 880,66
ago-30	350	400	27 880,66
sep-30	350	400	27 880,66
oct-30	350	400	27 880,66
nov-30	350	400	27 880,66
dic-30	350	400	27 880,66
ene-31	350	400	27 880,66
feb-31	350	400	27 880,66
mar-31	350	400	27 880,66
abr-31	350	400	27 880,66
may-31	350	400	27 880,66
jun-31	350	400	27 880,66
jul-31	350	400	27 880,66
ago-31	350	400	27 880,66
sep-31	350	400	27 880,66
oct-31	350	400	27 880,66
nov-31	350	400	27 880,66
dic-31	350	400	27 880,66
ene-32	350	400	27 880,66
feb-32	350	400	27 880,66
mar-32	350	400	27 880,66
abr-32	350	400	27 880,66
may-32	350	400	27 880,66
jun-32	350	400	27 880,66
jul-32	350	400	27 880,66
ago-32	350	400	27 880,66
sep-32	350	400	27 880,66
oct-32	350	400	27 880,66
nov-32	350	400	27 880,66
dic-32	350	400	27 880,66

Fuente: elaboración propia.

## 7.2. Análisis de consumo económico proyectado al 2032

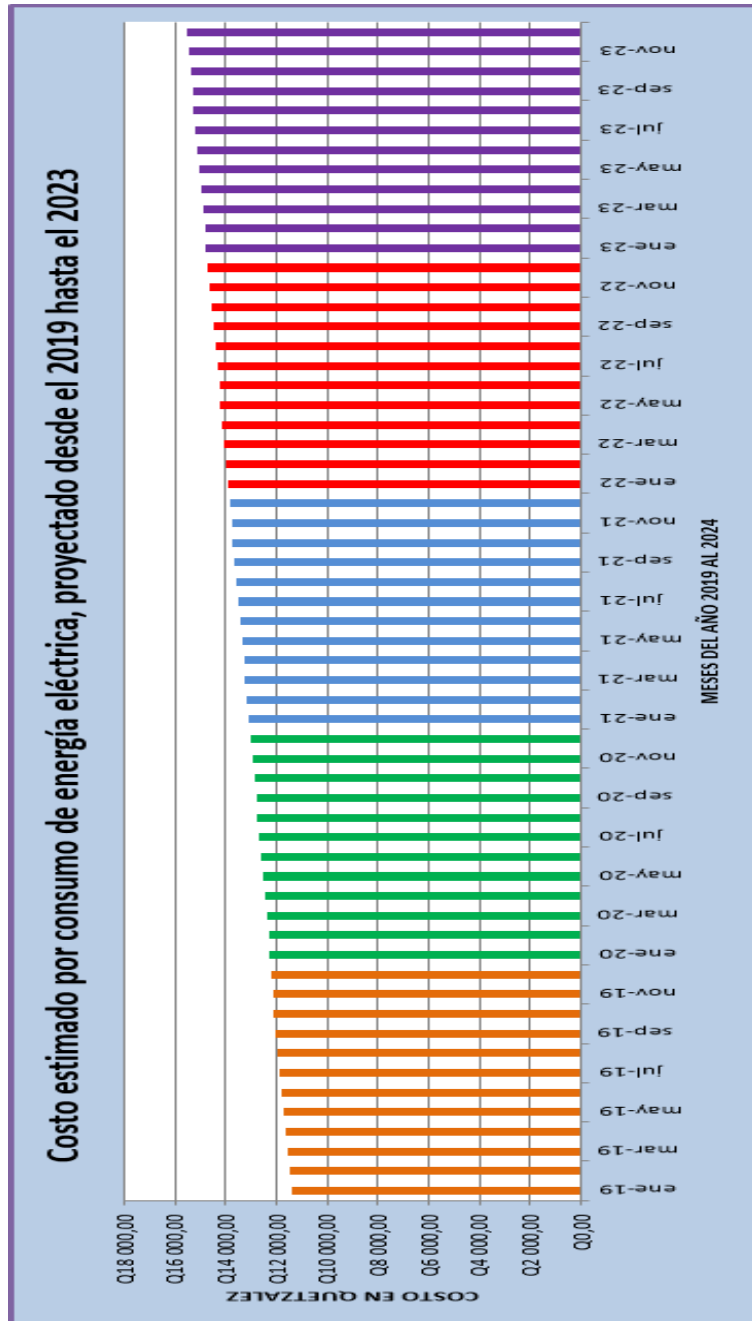
Tomando en cuenta ya las variables explicativas que hacen posible una proyección de regresión múltiple y que muestra el consumo proyectado hasta el 2032, ahora es necesario hacer una proyección de los costos económicos que representan dichos consumos; pero antes es necesario aclarar que de acuerdo a las dimensiones físicas civiles y eléctricas del edificio 2, se estima que la demanda de energía no supere los 27 880,66 Kwh, a menos que en el Edificio existan nuevas construcciones o crecimientos significativos en la instalación. En cuanto a la tarifa de cobro por consumo de energía eléctrica en la ciudad capital se estima que se mantendrá en un valor de Q 0,654569 considerando los valores que se presentan en los datos de facturación.

Figura 47. **Proyección de los costos de energía eléctrica para el final del 2017 y todo el 2018**



Fuente: elaboración propia.

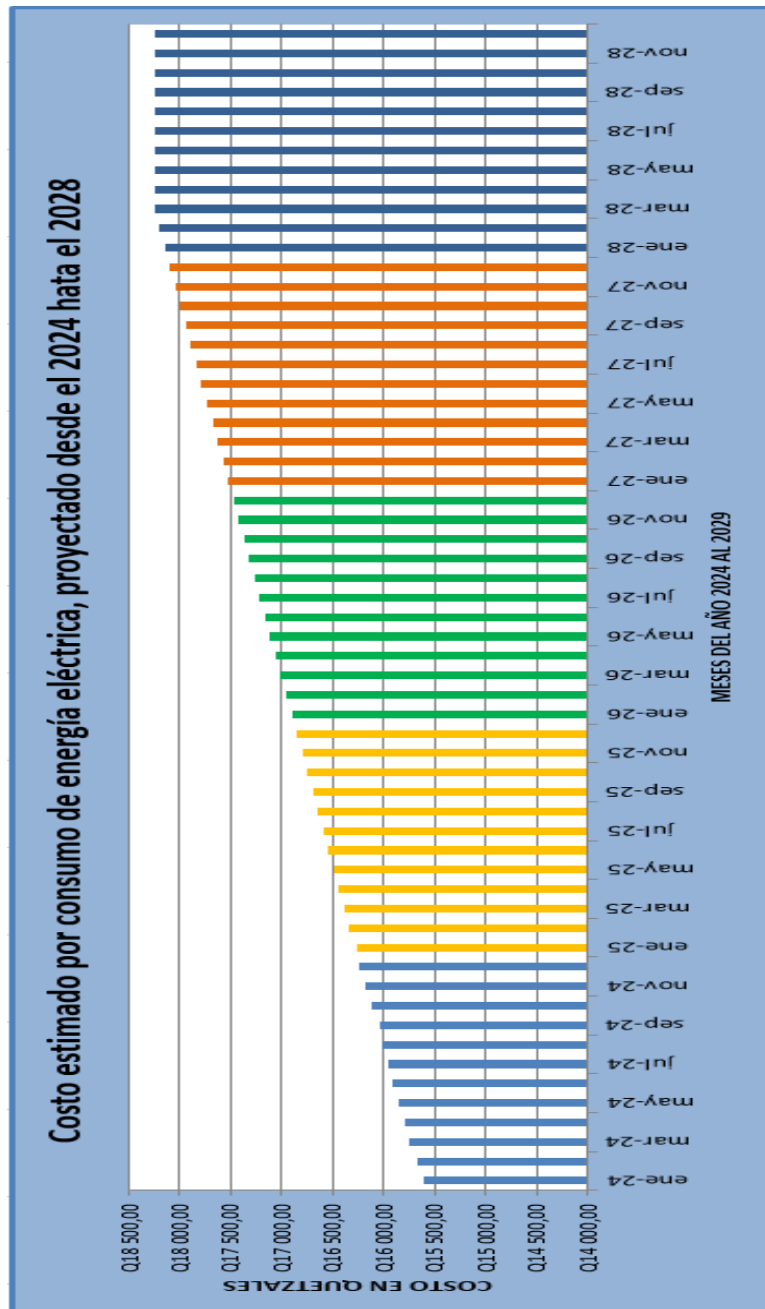
Figura 48. **Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2019 al 2023**



Fuente: elaboración propia.

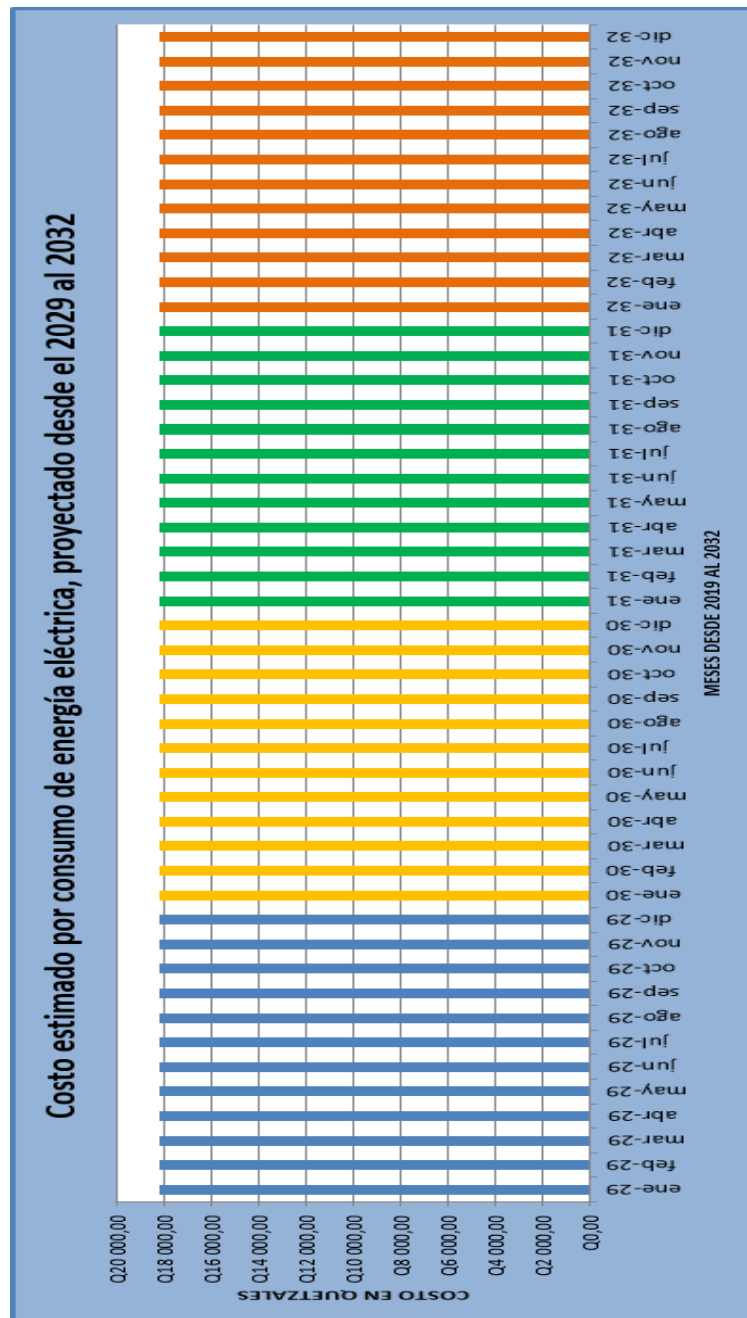


Figura 49. **Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2024 al 2028**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Proyección de los costos de energía eléctrica para los meses del 2029 al 2032**



Fuente: elaboración propia.

### **7.3. Análisis económico de ahorro energético proyectado al 2032 en el edificio 2**

Conociendo las tendencias en el consumo energético del edificio 2, existen tres áreas importantes, en las cuales se enfocarán los siguientes análisis, dado que son viables para alcanzar mejoras a nivel técnico y por ende a nivel económico. Se describen las medidas y un resumen de análisis económico efectuado:

#### **7.3.1. Simulación de consumo eléctrico con tecnología led**

Como se analizó anteriormente, en la auditoría de equipos y de iluminación, más del 52 % de la iluminación existente en todo el edificio es tubo fluorescente. En cada uno de los cuatro pisos de oficinas o unidades existe el tipo de luminaria 2x40 en general, mientras un 7 % es de mercurio, algo que se contempló desde el diseño y construcción del edificio. Sin duda alguna no se contempló desde ese diseño ninguna medida de eficiencia en cuanto el consumo energético por iluminación, probablemente porque en ese momento no había un auge en la tecnología eficiente en iluminación. Sin embargo, en la actualidad la iluminación representa el mayor consumo de energía en el edificio, consumo que puede reducirse significativamente ahorrando costos innecesarios.

Por esta razón, esta es la primera medida de mejora que se debe realizar si se quiere visualizar un cambio en el consumo energético del edificio 2, ya que es una medida que no tiene muchas complicaciones para llevarla a cabo y los resultados pueden verse a corto plazo.

Se cotizaron precios en las distribuidoras y tiendas de implementos eléctricos para conocer el precio en el mercado de los diferentes tipos de iluminación propuesta, además de conocer las características de cada tipo, para sugerir la que mejor se adecue a los requerimientos lumínicos del Edificio 2 del Ministerio de Educación. De esta manera se realizó un cálculo de los costos estimados por el cambio de iluminación, las cuales se presentan en las tablas LXXX a la LXXXV.

Tabla LXXX. **Comparativa entre la iluminación de tipo fluorescente existente y la propuesta para el edificio 2 MINEDUC**

COMPARATIVA Y PROPUESTA					
Tipo de iluminación actual			Tipo de iluminación propuesta		
Tipo de luminaria	De empotrar en cielo falso de 4' x 2' y 2x40 W	De empotrar en cielo falso de 2' x 2' y 2x40 W	Tipo de lámpara	No será necesario comprar otras luminarias	No será necesario comprar otras luminarias
Tipo de tubo/lámpara (unidad)	48plg. 40W Fluorescente 120V	24plg. 40W Fluorescente 120V	Potencia	Tubos LED de 48plg. 2x18W adaptables al tipo de luminaria ya instalada	Tubos LED de 24plg. 2x18W adaptables al tipo de luminaria ya instalada
Potencia de cada tubo	40W	40W	Lúmenes	18W	18W
Lúmenes	2 900 lm	2 700lm		2 800 lm	2 800 lm
Lámparas distribuidas nivel 1	21	24	Lámparas distribuidas nivel 1	21	24
Lámparas distribuidas nivel 2	42	2	Lámparas distribuidas nivel 2	42	2
Lámparas distribuidas nivel 3	48	1	Lámparas distribuidas nivel 3	48	1
Lámparas distribuidas nivel 4	48	0	Lámparas distribuidas nivel 4	48	0
Lamparas en baños y sótanos	37	0	Lamparas en baños y sótanos	37	0
Potencia total	15 680 W	2 160 W	Potencia Total	7 056 W	972 W
Radio de trabajo	2m	2m	Radio de trabajo	2m	2m

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. **Inventario y costo por cambio a unidades de tubos led**

<b>Costo por cambio a tecnología LED, unidades de 18W</b>			
<b>Distribución</b>	<b>tubo de 48plg.</b>	<b>tubo de 24plg.</b>	<b>Costo por cambio a LED</b>
Unidades de tubos LED nivel 1	42	48	Q 2 430,00
Unidades de tubos LED nivel 2	84	4	Q 2 376,00
Unidades de tubos LED nivel 3	96	2	Q 2 646,00
Unidades de tubos LED nivel 4	96	0	Q 2 592,00
Unidades de tubos LED en baños y bodegas	74	0	Q 1 998,00
<b>TOTALES</b>	<b>392</b>	<b>54</b>	<b>Q 12 042,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXII. **Propuesta y costo por cambio de iluminación led para otros tipos de iluminación existentes del edificio 2 MINEDUC**

<b>ACTUAL</b>		<b>PROPUESTA</b>	
OJO DE BUEY 1X13W 120V		Bombilla LED MR16 1X7W	Costo por cambio a LED
Cantidad distribuidas en oficinas, baños y otros ambientes	322	322	Q 4 830,00
<b>ACTUAL</b>		<b>PROPUESTA</b>	
Bombillo de Mercurio 150W, 65W o 35W y tipo reflector 150W		LED de 40W MV luz blanca	Costo por cambio a LED
Cantidad distribuidas en los sótanos 1 y 2 y exterior del edificio	85	85	Q 8 500,00

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las propuestas presentadas y los costos obtenidos se presentan se puede concluir que se requiere una inversión inicial de Q 25 372,00, que representa un costo elevado inicial pero es sin lugar a dudas amortizable con el ahorro de energía y mantenimiento que brinda la tecnología led.

**Tabla LXXXIII. Comparación de consumo en un día hábil entre iluminación existente e iluminación propuesta para el edificio 2 MINEDUC**

Tipo	Potencia por unidad (W)	Cantidad de lámparas	Potencia total (W)	Horas de uso en día hábil	Energía consumida en un día hábil (KWh)
Fluorescente	40	446	17 840	9	161
Bombillas de mercurio	150	58	8 700	8	70
Ojo de buey	13	322	4 186	8	33
Ahorradoras de 65W	65	5	325	8	3
Ahorradoras de 35W	35	22	770	8	6
<b>TOTALES</b>	<b>303</b>	<b>853</b>	<b>31 821</b>		<b>272</b>
Tubos LED	18	446	8 028	9	72
Bombilla LED	40	85	3 400	8	27
Ojo de buey LED	7	322	2 254	8	18
<b>TOTALES</b>	<b>65</b>	<b>853</b>	<b>13 682</b>		<b>117</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla LXXXIV. **Comparación de consumo mensual tomando en cuenta el cambio de iluminación en el edificio 2 MINEDUC**

Mes	Laboral	Descanso	Energía estimada (kWh)	Energía estimada con cambio a LED
oct-17	21	10	15 889,51	15 889,51
nov-17	21	9	15 676,88	12 423,47
dic-17	20	11	15 446,76	12 348,28
ene-18	22	9	16 332,26	12 923,93
feb-18	20	8	14 808,85	11 710,37
mar-18	20	11	15 446,76	12 348,28
abr-18	21	9	15 676,88	12 423,47
may-18	22	9	16 332,26	12 923,93
jun-18	20	10	15 234,13	12 135,65
jul-18	22	9	16 332,26	12 923,93
ago-18	23	8	16 775,01	13 211,76
sep-18	19	11	14 791,38	11 847,82
oct-18	22	9	16 332,26	12 923,93
nov-18	20	10	15 234,13	12 135,65
dic-18	18	13	14 561,26	11 772,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXV. **Comparación de costos por consumo mensual tomando en cuenta el cambio de iluminación en el edificio 2 MINEDUC**

Mes	Energía estimada (KWh)	Costo	Energía estimada con cambio de iluminación (kWh)	Costo tomando en cuenta el cambio
oct-17	15 889,51	Q 10 400,78	12 636,11	Q 8 271,20
nov-17	15 676,88	Q 10 261,60	12 423,47	Q 8 132,02
dic-17	15 446,76	Q 10 110,97	12 348,28	Q 8 082,80
ene-18	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61
feb-18	14 808,85	Q 9 693,41	11 710,37	Q 7 665,25
mar-18	15 446,76	Q 10 110,97	12 348,28	Q 8 082,80
abr-18	15 676,88	Q 10 261,60	12 423,47	Q 8 132,02
may-18	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61
jun-18	15 234,13	Q 9 971,79	12 135,65	Q 7 943,62
jul-18	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61
ago-18	16 775,01	Q 10 980,40	13 211,76	Q 8 648,01
sep-18	14 791,38	Q 9 681,98	11 847,82	Q 7 755,22
oct-18	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61
nov-18	15 234,13	Q 9 971,79	12 135,65	Q 7 943,62
dic-18	14 561,26	Q 9 531,35	11 772,63	Q 7 706,00

Fuente: elaboración propia.

La inversión inicial de Q 25 372,00 para un cambio total de luminarias en el edificio 2 representará un ahorro mensual promedio de Q 2 102,54 y un ahorro anual de Q 25 230,42, esto significa que en un solo año se puede recuperar la inversión realizada, algo que resulta muy conveniente, ya que no se tendrá que esperar un largo plazo de tiempo para ver los ahorros significativos del proyecto. Se resume en la tabla LXXXVI.



Tabla LXXXVI. **Inversión para implementar tecnología led en edificio 2 del MINEDUC**

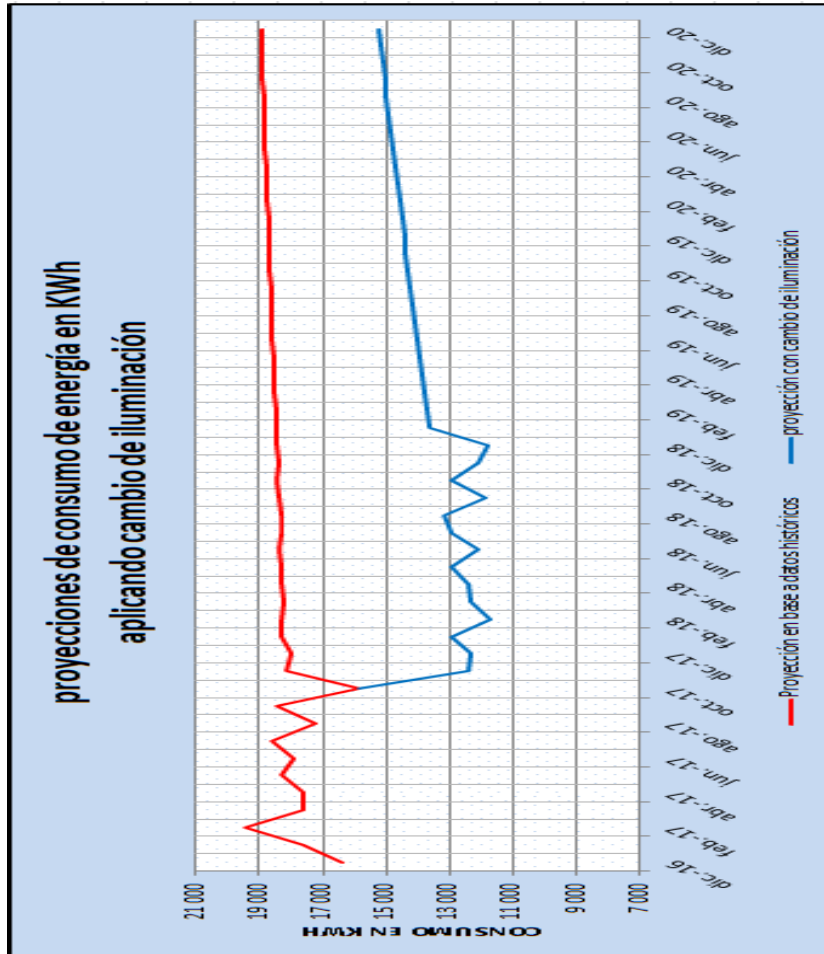
Inversión y ahorro por implementación	
Inversión inicial	Q 25 372,00
Ahorro mensual	Q 2 102,54
Ahorro anual	Q 25 230,42
Retorno	1 año
Vida útil	5 años

Fuente: elaboración propia.

Las proyecciones mostradas en las tablas LXXXV y LXXXVI muestran los resultados únicamente hasta diciembre del 2018, pero es necesario hacer una proyección hasta el 2032 en concordancia con el Plan Nacional de la Energía según el decreto, de esta manera se puede visualizar gráficamente como el consumo de energía total en el edificio disminuye por el ahorro energético significativo que representa el cambio de iluminación.

En color rojo se representa la proyección basada en los datos históricos por facturación, en verde la basada en mediciones realizadas en el edificio, y en color azul la del consumo con base en el ahorro que se obtiene al cambiar la iluminación a tecnología led.

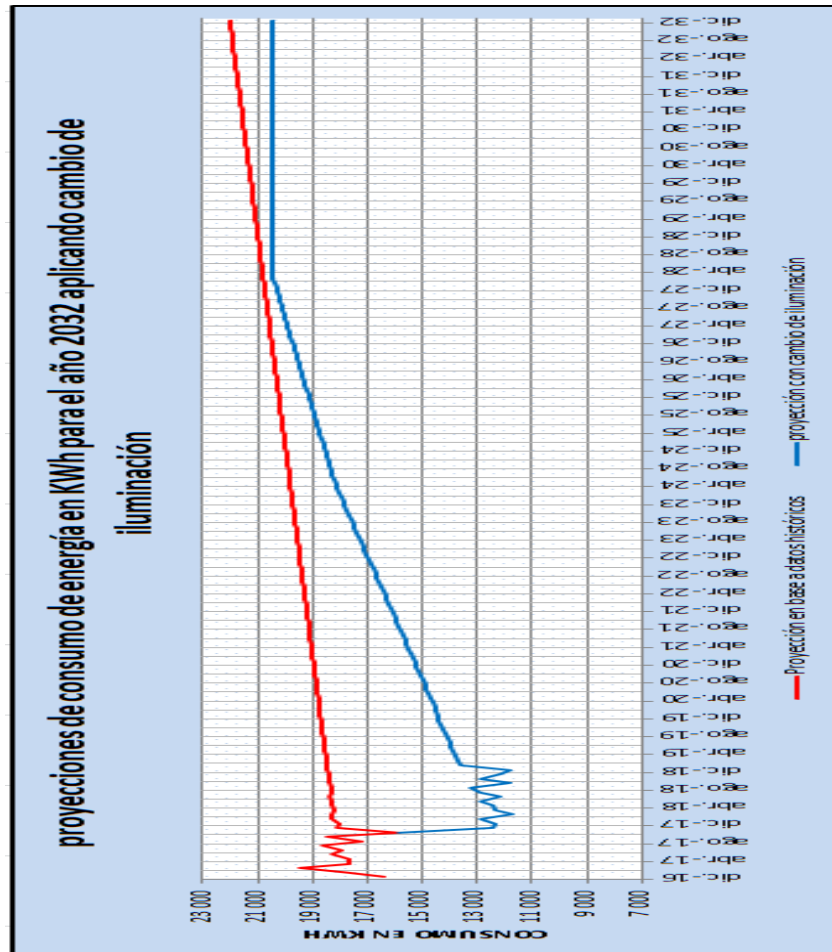
Figura 51. Comparación de las proyecciones por consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación



Fuente: elaboración propia

En la figura 51 se observan las proyecciones únicamente hasta el 2020 para verificar con mayor facilidad cómo se comporta el consumo en los primeros años, que es donde pueden observarse los cambios significativos que definen como se comportará en adelante el proyecto tomando en cuenta todos los aspectos ya mencionados en este trabajo.

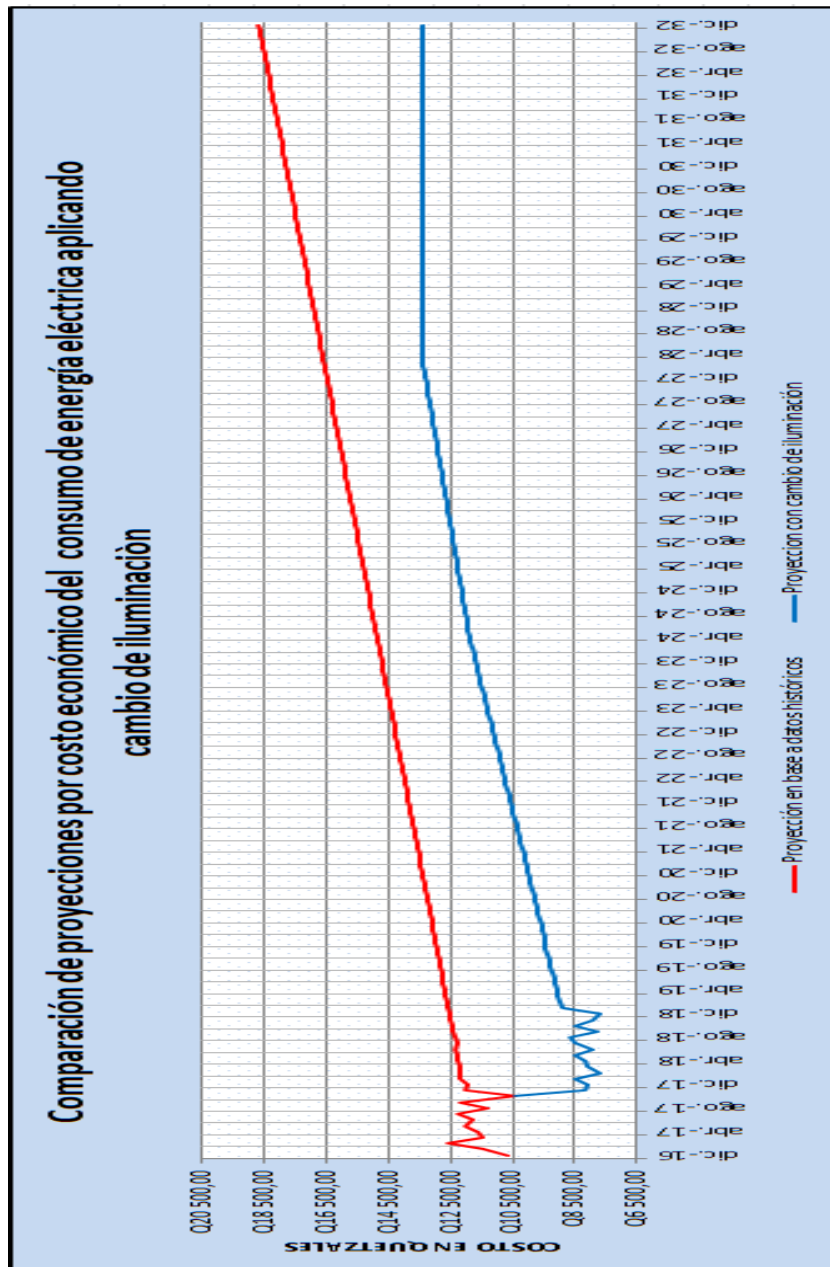
Figura 52. Comparación de las proyecciones por consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación, hasta el 2032



Fuente: elaboración propia.

Ahora al observar las tres proyecciones hasta el 2032 puede notarse el panorama favorable con el cambio sugerido de iluminación dentro de los siguientes años, mostrando una reducción significativa a lo largo del tiempo. A continuación se realiza la misma comparación de proyecciones pero reflejando los costos económicos.

Figura 53. Comparación de las proyecciones por costo económico en quetzales del consumo de energía eléctrica tomando en cuenta el cambio de iluminación, hasta el 2032



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los costos que representa el cambio de iluminación sugerida, es viable y factible ya que representa un costo recuperable y ahorros esperados a corto plazo. Estos costos pueden reducirse aún más. si se toman en cuenta las medidas de buenos hábitos de consumo y la implementación de energía solar fotovoltaica, explicados a continuación.

### **7.3.2. Implementación de energía solar fotovoltaica**

De acuerdo al cálculo realizado en el capítulo 10, para generar un 18 % del consumo total de energía que consume el edificio 2 del Ministerio de Educación a través de un sistema de generación fotovoltaica, se necesita una inversión inicial de Q 1 071 931,80 por todo el sistema. La inversión asciende a esta cantidad debido a los precios actuales en el mercado y las dimensiones del sistema calculadas para el edificio, pero para estos tipos de instalación, la misma puede ser pagada a través de un arrendamiento financiero, en el que se puede acordar pagar esta cantidad mensualmente con los ahorros mensuales derivados de la implementación y funcionamiento del sistema solar fotovoltaico.

El sistema obtendrá ahorros promedio anuales de Q 57 124,28 con un retorno de la inversión a 18 años. El proyecto tiene una vida útil de 25 años, significa que después del tiempo estimado de recuperación de la inversión se obtendrán los ahorros de energía a beneficio total del edificio. Por lo que puede ser viable a largo plazo, claro está que se deben tomar en cuenta otros factores que pueden influir relevantemente en la inversión.

Tabla LXXXVI. **Inversión para implementar generación fotovoltaica en el edificio 2 del MINEDUC**

Inversión y ahorro por implementación	
Inversión inicial	Q 490 000,00
Ahorro mensual	Q 4 766,19
Ahorro anual	Q 57 124,28
Retorno	8.56 años
Vida útil	25 años

Fuente: elaboración propia.

### 7.3.3. Análisis de ahorros por buenos hábitos de consumo

Pareciera que el tener buenos hábitos en el uso del recurso energético no influye significativamente en el consumo del mismo, pero es increíble cómo puede reducirse el consumo con tan solo aplicar técnicas y hábitos claves en la rutina de los colaboradores. Ahora bien, es una medida que solo puede lograrse si los trabajadores en el edificio 2 son capaces de cambiar hábitos de consumo rutinarios realizados por largos años de trabajo en muchos de los casos, sin embargo, el cambio inicia desde el usuario que consume el recurso energético, por ello se debe contemplar también que los colaboradores entiendan el objetivo del plan de ahorro energético que se vaya a llevar a cabo, y todos estén en una misma sintonía en cuanto a los logros que se quieren obtener.

Los datos estimados en este análisis se obtuvieron por medio de las encuestas realizadas a cierto número de colaboradores del edificio 1 y 2 del Ministerio de Educación, donde se conocieron como se utilizan en general los equipos de oficina, electrodomésticos, iluminación y otros aparatos en general, y en base a esto determinar qué medidas tomar para mejorar el uso de los

mismos con el fin de evitar consumos innecesarios aplicando sencillos criterios de ahorro de energía. Cabe mencionar que en general los usuarios tienen buenos hábitos de consumo, sin embargo, pueden existir aun mejoras para que todo el personal en conjunto reduzca el consumo total.

Se verificaron varias PC's con cierta antigüedad, lo cual indica que no pueden ser tan eficientes como las más recientes, si a esto se suma la falta de configuración de ahorro de energía, ciertamente esto es energía desperdiciada y reflejada mes a mes en la facturación del edificio 2. En general, si una computadora está correctamente configurada que la pantalla y el CPU consuman lo mínimo, pueden ahorrar un 20 % de su consumo habitual, por otro lado, si las computadoras permanecen largos periodos de tiempo sin utilizarse, al estar en modo *stand by* estas consumen hasta un 90 % menos que lo que consumen estando en funcionamiento normal, esto es muy útil en tiempos largos que los colaboradores hacen otras tareas y dejan el ordenador encendido.

Por último si los usuarios acostumbran a apagar la computadora cada vez que salen de su jornada laboral, se dejaría de consumir un 10 % necesario para que la computadora permanezca en modo de suspensión toda la noche y madrugada. Tomando en cuenta los puntos más críticos en los hábitos de consumo se estimó que puede ahorrarse 327,04 Kwh al mes con tan solo configurar consumo de energía en cada computadora, y en algunas impresoras y fotocopiadoras más recientes que cuentan con esta opción. También pueden ahorrarse hasta 109,01 Kwh mensuales si los equipos que se acostumbran a quedar encendidos se apagan o desconectan a diario. Por último se estima que se puede ahorrar de un 30 a 40 % de energía si al finalizar la jornada laboral electrodomésticos como horno microondas, cafeteras, oasis y cargadores son desconectados y apagados. Así que en total se puede ahorrar un 6,8 % del

consumo total en un mes. Lo mejor de esta medida es que no requiere ninguna inversión, así que la relación beneficio–costo es 100 % viable. A continuación se resumen los beneficios de esta medida:

Tabla LXXXVII. **Beneficios al implementar criterios de ahorro y buenos hábitos de consumo en el edificio 2 MINEDUC**

Inversión y ahorro por implementación	
Inversión inicial	Q 0,00
Ahorro mensual	Q 725,34
Ahorro anual	Q 8 704,08
Retorno	NA
Vida útil	NA

Fuente: elaboración propia.

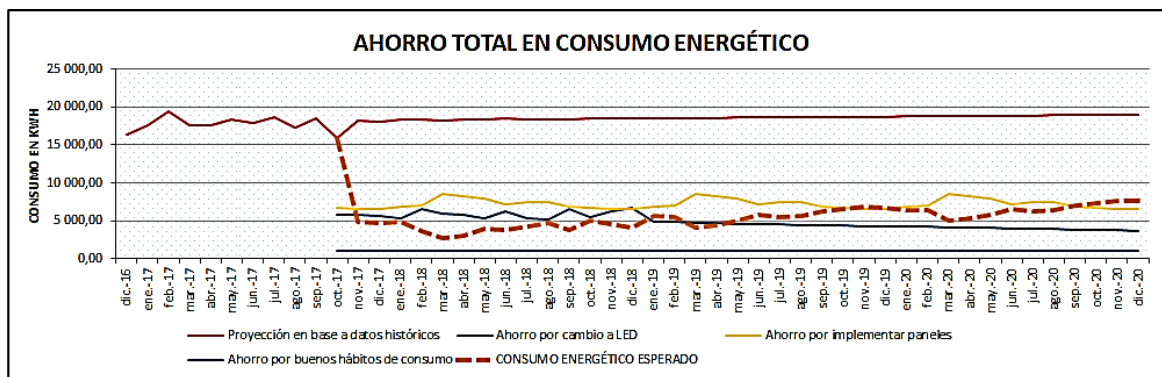
En el siguiente numeral se toman en cuenta los ahorros por cambio a tecnología led, implementación de paneles solares fotovoltaicos como fuente de energía renovable y buenos hábitos de consumo.



#### 7.4. Proyecciones de ahorro total energético y económico

En las figuras 54, a la 57 se presentan las proyecciones del ahorro total energético y económico de energía eléctrica.

Figura 54. Comparación de las proyecciones entre el consumo actual de energía



Rojo con base en históricos

Azul aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led

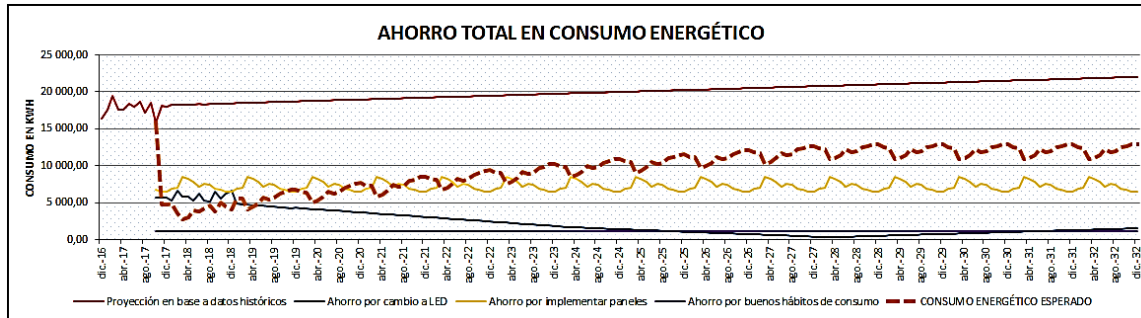
Amarillo energía solar fotovoltaica

Morado buenos hábitos de consumo

Fuente: elaboración propia

Con el fin de apreciar el comportamiento en los primeros años se proyecta en la figura 54 de arriba únicamente el consumo de energía eléctrica para el 2020, mostrando con la línea discontinua de color naranja el consumo energético esperado después de que todas las medidas de ahorro energético indicadas estén funcionando.

Figura 55. **Comparación de las proyecciones para el 2032 entre el consumo actual**



Rojo con base en históricos

Azul aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led

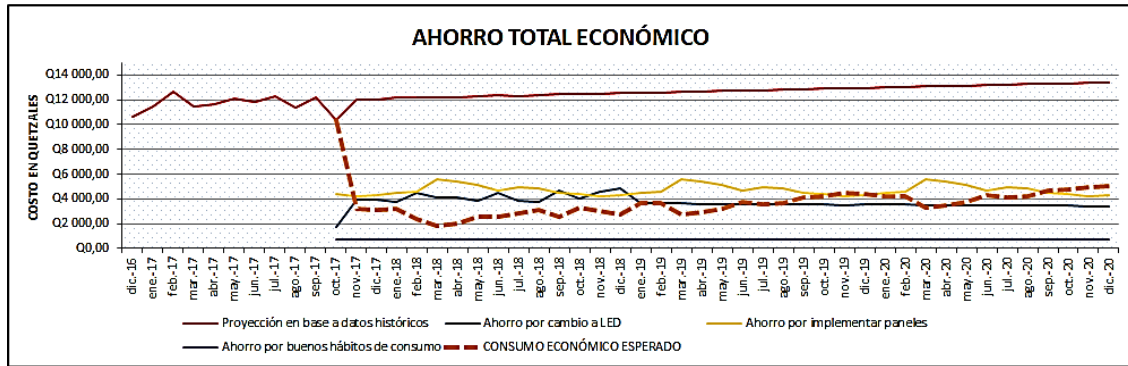
Amarillo energía solar fotovoltaica

Morado buenos hábitos de consumo

Fuente: elaboración propia.

Al implementar el cambio en la iluminación, la generación por medio de paneles fotovoltaicos y el cambio en los hábitos de consumo el edificio 2 del MINEDUC obtendrá un ahorro energético anual de 115 275,17 Kwh, que representa un ahorro monetario de Q 75 455,53 anual. A continuación se presentan las figuras 56 y 57 que reflejan el ahorro económico.

Figura 56. **Comparación de las proyecciones entre el consumo monetario**



Rojo con base en históricos

Azul aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led

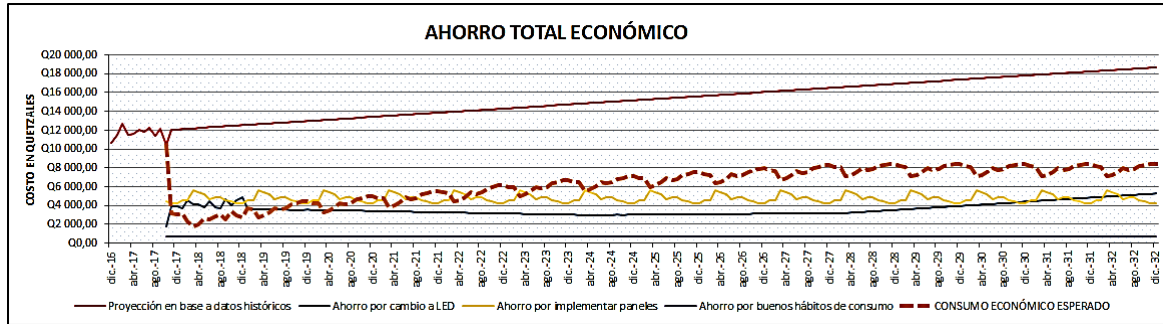
Amarillo energía solar fotovoltaica

Morado buenos hábitos de consumo

Fuente: elaboración propia.

Esta primera gráfica proyecta el gasto económico únicamente hasta el 2020, con el fin de que se aprecie el consumo esperado en los primeros años aplicando todas las medidas de ahorro, lo que indica un comportamiento bastante favorable económicamente hablando, desde los primeros meses que estén funcionando, tanto iluminación como los paneles solares, además de esperar que se cumplan con los buenos hábitos de consumo energético constantemente a lo largo de los años. En la figura 56 se puede observar el consumo económico esperado para el 2032.

Figura 57. **Comparación de las proyecciones para el 2032 entre el consumo monetario**



Rojo con base en históricos

Azul aplicando las medidas de ahorro por cambio a tecnología led

Amarillo energía solar fotovoltaica

Morado buenos hábitos de consumo

Fuente: elaboración propia.

En la actualidad el edificio paga en promedio Q 140 176 anual solo por consumo energético, así que implementando las medidas de mejora harán que el costo monetario de energía eléctrica disminuya en un 53,56 % anual.

## **8. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre en la Tierra de forma natural, se le llama así ya que el proceso es muy similar a los invernaderos de cultivo de plantas. Parte de la radiación del sol llega a la superficie del planeta Tierra, en forma de ondas cortas de radiación, provocando una elevación de temperatura terrestre, pero una vez la tierra alcanza cierta temperatura, devuelve esta energía en forma de radiación infrarroja a la atmosfera, permitiendo así, una temperatura compatible con la vida. En este ciclo cierto tipo de gases, denominados gases de efecto invernadero, absorben parte de esta energía reflejada por la Tierra, sin dejar que salga al espacio exterior y provocando elevaciones de temperatura.

Este ciclo es natural, sin embargo, a lo largo de la historia se ha incrementado la cantidad de gases que absorben cada vez más radiación, reflejando de nuevo energía a la tierra y provocando gradualmente aumentos de temperatura desmedidos. Estos gases son provocados por la actividad del hombre en la tierra.

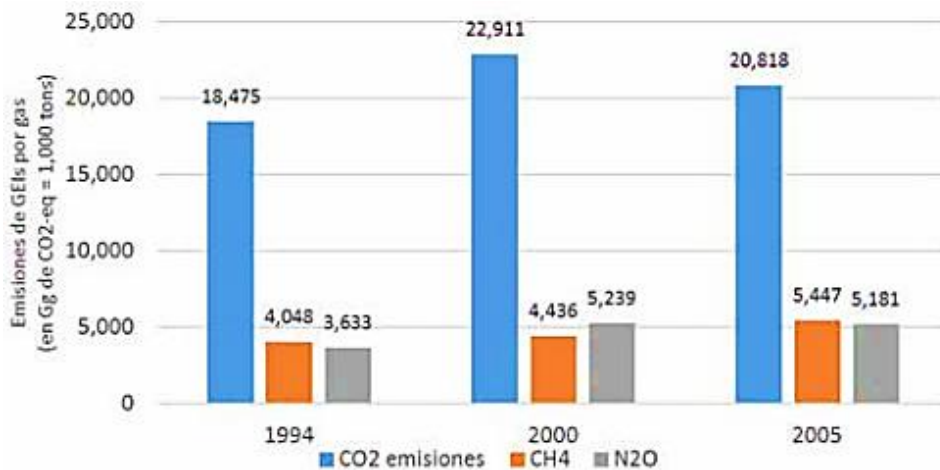
Las emisiones totales de los GEI directos expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), para 1994 fueron de 26 155,8 Gg para 2000 de 32 587,2 Gg y para el 2005 de 31 445,9 Gg.

Para Guatemala, el principal GEI emitido es e CO<sub>2</sub>, seguido por el N<sub>2</sub>O y en menor medida por el CH<sub>4</sub>. Los valores de las emisiones observadas fueron:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): en 1994 se emitieron 18 474,9 Gg; las cuales se incrementaron a 22 911,2 Gg para el 2000, y posteriormente mostraron una reducción a 20 817,8 Gg para el 2005; metano (CH<sub>4</sub>): en 1994 las emisiones fueron de 192,7 Gg, las que se incrementaron a 211,3 Gg para el 2000 y a 259,4 Gg para el 2005; óxido nitroso (N<sub>2</sub>O): en 1994 las emisiones ascendieron a 11,7 Gg, las que se incrementaron a 16,9 Gg para el período 2000 y a 16,7 Gg para el 2005.

Respecto a las absorciones de CO<sub>2</sub>, generadas por los cambios en la biomasa de los bosques y otras tierras arboladas, y por el abandono de las tierras de cultivo, las cantidades absorbidas correspondieron a 39 583,6 Gg, 37 456,8 Gg, y 24 492,0 Gg de CO<sub>2</sub>, para los períodos 1994, 2000 y 2005.

Figura 58. **Emisiones por gas, para los períodos 1994, 2000 y 2005**



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Segunda Comunicación sobre Cambio Climático*. Consulta: 10 de enero de 2019.

## 8.1. Tipos de emisiones de efecto invernadero

Siendo el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) el más conocido, producido principalmente por el aumento de la actividad industrial. Seguido del metano ( $CH_4$ ) el cual ha estado creciendo en los últimos años en Guatemala y se genera en actividades como el ganado y descomposición de residuos en vertederos. Por último el óxido nitroso ( $N_2O$ ), del cual las emisiones humanas proceden de quemar plantas de biomasa y en combustibles fósiles.

Tabla LXXXVIII. **Emisiones de GEI del sector energía en Guatemala**

Sector Energía	Emisiones (en Gg de $CO_{2-eq}$ )			Contribución (%)			Tasa de Crecimiento (%)	
	1994	2000	2005	1994	2000	2005	%	%
<b>Total sectorial</b>	10,222.64	10,426.67	12,166.18	100%	100%	100%	%	%
<b>A. Quema de combustibles (Enfoque Sectorial)</b>	10,220.18	10,421.22	12,163.92	99.98%	99.95%	99.98%	0.33%	3.34%
1. Industria energética	4,547.98	2,512.45	2,769.25	44.49%	24.10%	22.76%	-7.46%	2.04%
2. Industria manufacturera y construcción	971.76	1,331.20	1,750.90	9.51%	12.77%	14.39%	6.16%	6.31%
3. Transporte	3,130.80	4,512.92	6,012.77	30.63%	43.28%	49.42%	7.36%	6.65%
4. Otros sectores (comercial, institucional, residencial)	1,569.65	2,064.66	1,631.00	15.35%	19.80%	13.41%	5.26%	-4.20%
<b>B. Emisiones fugitivas de combustibles</b>	2.46	5.44	2.26	0.02%	0.05%	0.02%	20.25%	-11.70%
1. Combustibles sólidos	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2. Petróleo y gas natural	2.46	5.44	2.26	0.02%	0.05%	0.02%	20.25%	-11.70%

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Segunda Comunicación sobre Cambio Climático*. Consulta: 10 de enero de 2019.

El objetivo principal de este estudio no es solamente reducir el gasto monetario por medio del ahorro energético, sino también, sin duda alguna evitar

el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de un uso eficiente y gestión inteligente de los recursos energéticos. Es por ello que se enfoca también en el desarrollo sostenible, algo que se ha vuelto un compromiso a nivel mundial en busca de una mejora ante el cambio climático actual en el que se vive.

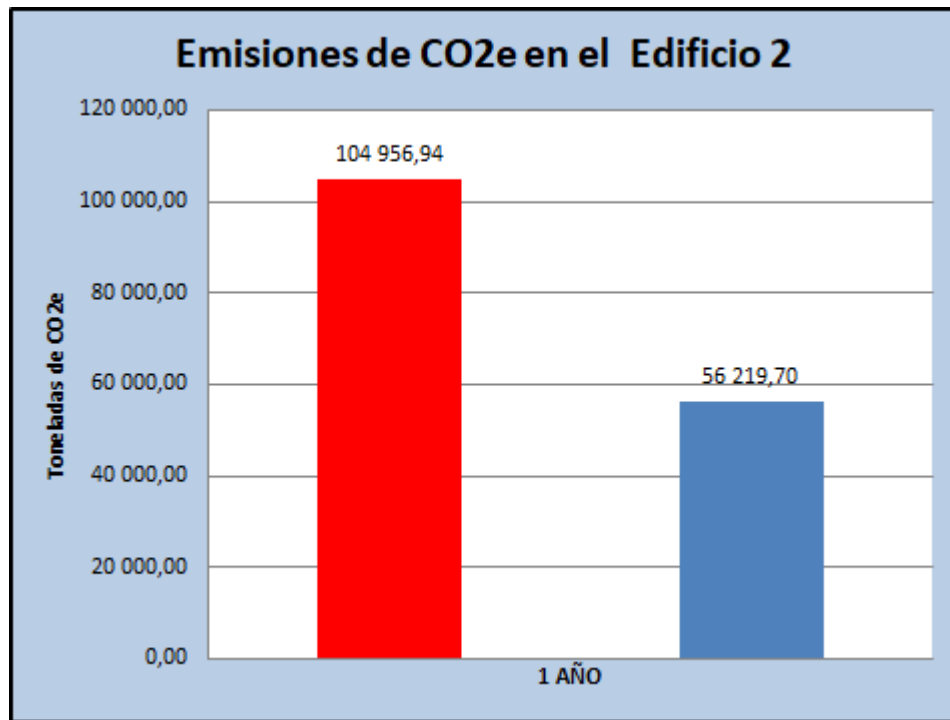
La Norma ISO 50001 brinda a las organizaciones requisitos para la gestión eficiente de energía, no importando que tipo de organización sea ni en qué país del mundo se encuentre. Los principales objetivos de esta norma son aprovechar los recursos actuales, implementar energía renovable, buenas prácticas de consumo y reducir emisiones de GEI.

## **8.2. Emisiones generadas en la instalación de acuerdo al tipo de consumo**

El consumo actual del edificio 2 del Ministerio de Educación asciende a 215 208 Kwh al año y esto genera 104 956,94 toneladas de CO<sub>2</sub>e en emisiones de gases de efecto invernadero, por esto es importante implementar las medidas de ahorro energético sugeridas, porque estas medidas reducirán las emisiones a 56 219,6989 toneladas de CO<sub>2</sub>e. En conclusión se evitará generar 48 737,24 toneladas de CO<sub>2</sub>e al año.



Figura 59. **Comparación entre emisiones de gases de efecto invernadero actual y proyectado con medidas de ahorro energético**



Fuente: elaboración propia.



## **9. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TIERRA FÍSICA Y PARARRAYOS EN EL EDIFICIO 2 DE LA PLANTA CENTRAL DEL MINEDUC Y COMO INFLUYE EN LA CALIDAD DE ENERGÍA**

Como parte del estudio de la instalación eléctrica del edificio 2, se contempló analizar el sistema de tierra física que fue diseñada para el edificio desde su construcción, y verificar si cumple con las normativas que rigen el diseño y la implementación de redes de tierra física. Además, es necesario conocer si el sistema de tierra tiene algunos defectos que puedan influir en la calidad de energía actual. El sistema de protección no solamente está constituido por la tierra física, sino también por el pararrayos instalado en la terraza del edificio.

El edificio actual tiene un sistema de tierras que está instalado en el sótano 2, el cual únicamente por medio de los planos se pudo verificar que existen 14 varillas extendidas a lo largo y ancho del mismo, formando una L en el plano, sin embargo, no se tiene acceso, obviamente porque están bajo tierra y la capa de concreto del sótano hace más imposible realizar alguna medición de la resistividad del suelo.

La red de tierras diseñada para el edificio tiene las siguientes características:

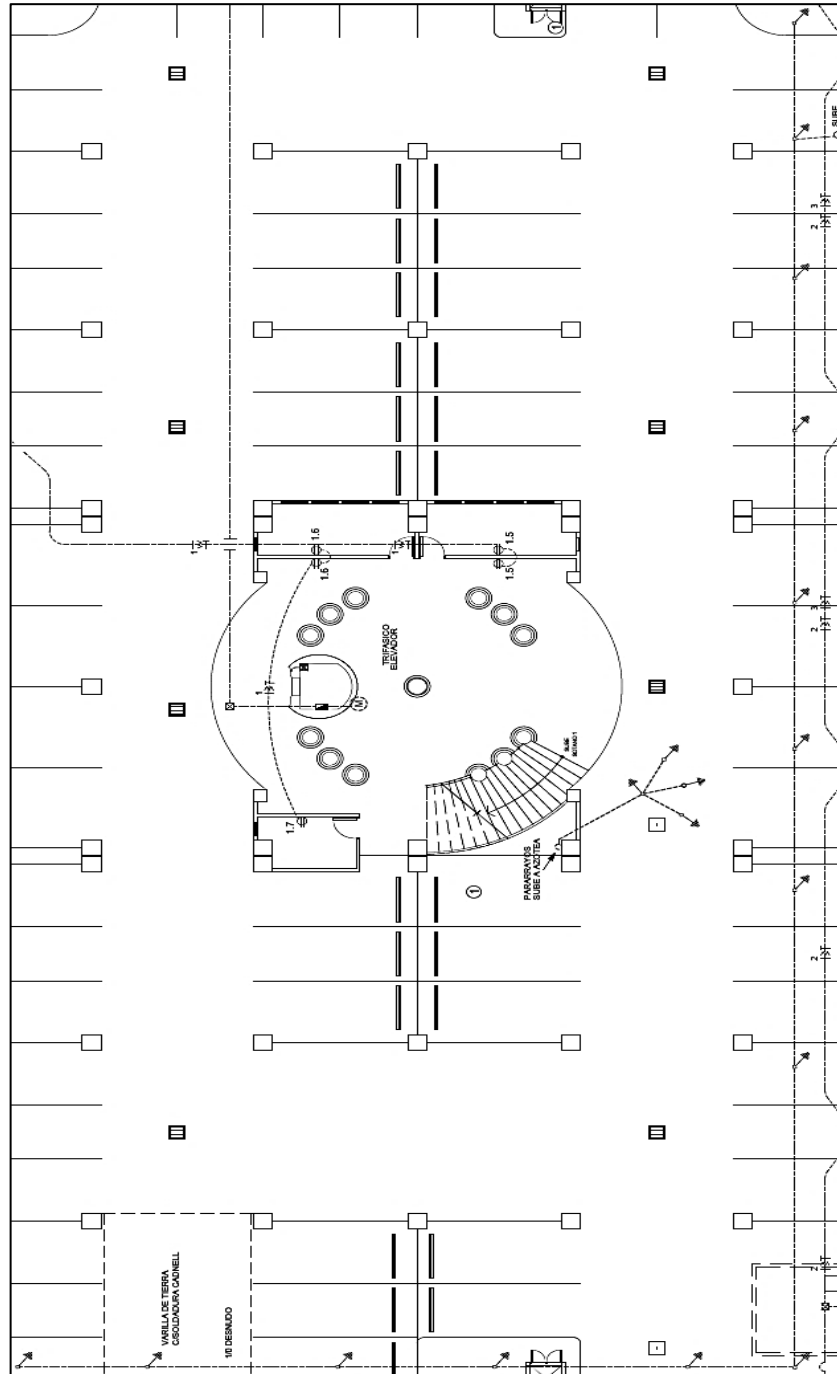
Tabla LXXXIX. **Características de varillas para el SPT edificio 2**

Características del SPT		
VARILLA	Material	Cobre
	Diámetro	5/8"
	Longitud	8'
CONEXIÓN	Cable desnudo 1/0	
SOLDADURA	Tipo Cadnell	

Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que existe otro juego de puestas a tierra dedicadas para el pararrayos, el cual se especifica más adelante, a continuación se muestra parte del plano del sótano 2, donde se aprecia la conexión descrita:

Figura 60. Distribución y conexión de SPT para el edificio 2



Fuente: DISERSA. Dirección de Servicios Administrativos. p. 50.

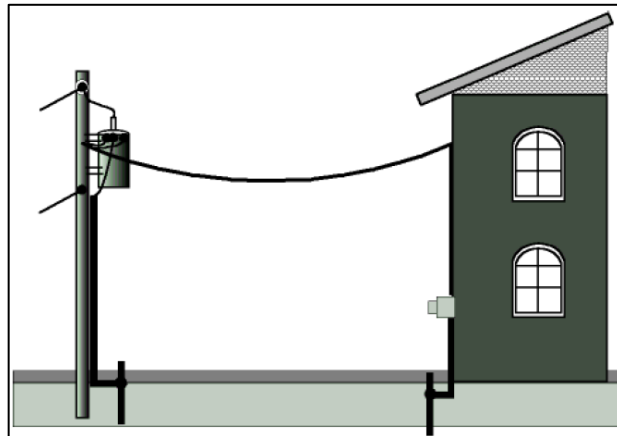
## **9.1. Método de puesta a tierra según Norma NTDOID**

Las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las instalaciones de distribución (NTDOID) tienen como objetivo principal establecer criterios y requerimientos necesarios para diseñar y operar instalaciones eléctricas, ya sean mejoras o expansiones de red, garantizando en primer lugar la seguridad de los usuarios de las mismas, además, de los equipos conectados y la calidad de energía. Esto según lo indicado en el artículo 1 de la norma.

Relacionado a las puestas a tierra, existe un criterio normado por la NTDOID en el título II, Capítulo IV de estas normas. El objetivo no es citar cada artículo del capítulo, sino mencionar los criterios más relevantes que estén relacionados al tipo de instalación del edificio 2 del Ministerio de Educación. Ya se sabe que la instalación actual en el centro de transformación del lado secundario hacia el tablero principal está en configuración Y con 4 hilos y según los indicados en la norma se dan los siguientes criterios:

- En sistemas de corriente alterna de hasta 750 V la puesta a tierra deberá hacerse al conductor neutro. Además, que debe existir puesta a tierra en el lado de la alimentación, como del lado de carga de todo equipo de servicio (Ver figura 61).
- Si se usa una conexión de puesta a tierra separado añadido a algún cable subterráneo, este debe estar conectado en el centro de transformación, además, de estar en el mismo ducto que los conductores del circuito.

Figura 61. **Puesta a tierra en la fuente y en la carga**



Fuente: Normas Técnicas (NTDOID)

- La corriente del conductor debe diseñarse de acuerdo a la corriente de falla del circuito, pero no debe ser menor que  $8,37\text{mm}^2$  (núm. 8 AWG) de cobre suave.
- La cantidad de los electrodos a seleccionar deberá considerar la limitación de descarga de acuerdo a las dimensiones físicas que tenga cada varilla, las cuales no deben ser menores a 2,40m de longitud y 12.5mm de diámetro.
- Las conexiones a los electrodos deberán ser accesibles, con buena sujeción mecánica, permanencia y buena conducción, para el caso del edificio 2 no existe tal accesibilidad ya que las varillas están por debajo de concreto sin posibilidad de verificar la conexión ni hacer mediciones en cada barrilla.

- Según la norma todos los aparatos conectados a la red eléctrica interna deben tener aterrizaje a tierra por medio de la carcasa metálica, sin embargo, se ha verificado que en la institución se carece de este tipo de aterrizaje en varios equipos conectados, algunos no cuentan con el conector de la espiga de tierra, por lo que están expuestos.

## **9.2. Norma NEC/Normas IEC 62305 partes 1,2,3 y 4 para criterios en instalación de tierras físicas**

En esta sección se hace referencia a las normas más relevantes que dan criterios a nivel internacional sobre las protecciones a tierra, tanto en diseño como en operación de la misma.

El Código Eléctrico Nacional, más conocido como NEC (National Electrical Code) por sus siglas en inglés, es una serie de artículos que sugieren métodos de instalación de cableado e instalación de equipos eléctricos en Estados Unidos, y que son publicados por parte de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios NFPA. En el capítulo 1, se encuentra un artículo que se refiere a la puesta a tierra y unión, de esto se obtiene un apartado que sugiere como hacer la conexión de la tierra y la unión a las varillas, los cuales se detallan a continuación:

- Artículo 250.8 conexión del equipo de puesta a tierra y unión: Los conductores de puesta a tierra y los puentes de unión se deben conectar mediante uno de los siguientes medios:
  - Conectores a presión listados
  - Barras terminales



- Conectores a presión listados como equipo de puesta a tierra y unión
  - Procesos de soldadura exotérmica
  - Abrazaderas tipo tornillo
  - Tornillos para máquinas tipo autoroscantes que enrosquen no menos de dos hilos del gabinete.
- Además, indica que el método no permitido es usar dispositivos de conexión que dependan únicamente de soldadura blanda.

También es importante recalcar que al igual que las Normas NTDOID la NEC también indica en el Artículo 250.24 que debe existir una tierra conectada del lado de la línea de distribución y otro de lado de la carga.

- En cuanto al calibre conductor que va al electrodo de puesta a tierra común no debe ser menor que 3/0 AWG de cobre o 250kcmil de aluminio.
- El Artículo 250,56 Un único electrodo que consista en una varilla, tubo o placa que no tenga una resistencia a tierra de 25 ohms o menos, se debe incrementar mediante un electrodo adicional de cualquiera de los tipos especificados en las secciones 250,52 (A) (4) hasta (A) (8). Cuando se instalen electrodos múltiples de varilla, tubo o placa, para cumplir los requisitos de esta sección, no deben estar separados menos de 1,8 m (6 pies).

Nota: la eficiencia de varillas de más de 2,5 m (8 pies) de longitud conectadas en paralelo, se mejora dejando una separación superior a los 1,8 m (6 pies).

- En cuanto a el aterrizaje de los equipos a tierra, de acuerdo con la norma, todos los equipos que tengan partes metálicas expuestas que puedan llegar a ser energizadas en una falla a cortocircuito o descarga, y estén a una distancia de 2,8 m verticales o 1,5 metros horizontales de la tierra o de otros aterrizajes a tierra, deben ser aterrizados al punto común o masa, ya que están sujetos a contacto con personas. También si está clasificado como peligroso según los artículos 500 a 517 de la Norma.

La Comisión Electrotécnica Internacional, más conocida como IEC (International Electrotechnical Commission) por sus siglas en inglés, es la organización líder a nivel mundial encargada de preparar y publicar normas a nivel internacional referentes a tecnologías eléctricas y electrónicas y otras afines. En este apartado se especifican las Normas IEC 62305 y sus derivados, los cuales se refieren a las instalaciones de puestas a tierra.

Las Normas IEC 62305-3, EN 62305-3 y UNE EN 62,305-3 protección contra rayos – daño físico a estructuras y riesgo humano, HD 637 S1 Instalaciones de energía superiores a 1 kV, IEC 60050-826 vocabulario electrotécnico internacional parte 826: instalaciones eléctricas e IEC 60363-5-54

Instalaciones eléctricas de edificios – parte 5-54, contienen una explicación detallada de los conceptos utilizados en la técnica de toma de tierra. En Alemania, además, se aplica la Norma DIN 18014 para tomas de tierra de cimientos. A continuación, se expone la terminología utilizada y su significado para facilitar la comprensión de los sistemas.

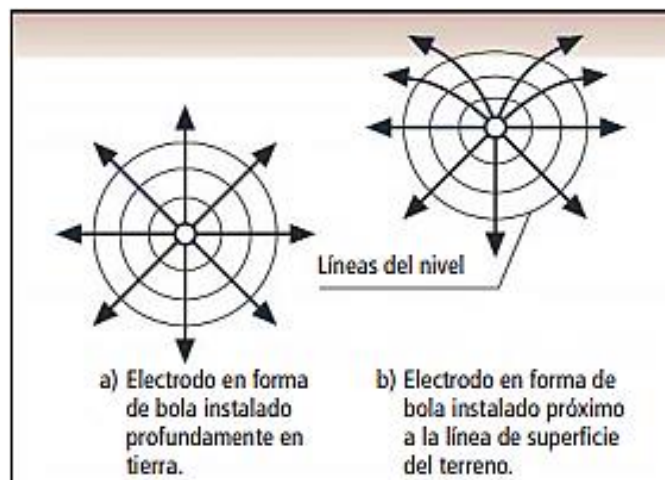
- Resistencia de propagación: la derivación de la corriente de rayo a tierra a través del sistema de puesta a tierra no se produce en un solo punto, sino que se pone bajo tensión una determinada zona alrededor de la toma de

tierra. La forma de la toma de tierra y la forma del tendido tienen que elegirse de tal manera que las tensiones que actúan sobre la superficie de la tierra (tensiones de contacto y tensiones de paso) no adquieran valores peligrosos. Como mejor puede explicarse en qué consiste la resistencia de propagación RA de una toma de tierra es con la ayuda de una bola de metal enterrada en el suelo. Si la bola de metal está enterrada a suficiente profundidad, la corriente fluye de manera regular por toda la superficie de la tierra que la rodea de forma radial.

$$R = \rho_E \cdot \frac{l}{q}$$

Siendo  $\rho_E$  la resistencia específica de la tierra considerado como un suelo homogéneo, espesor de una capa de bola supuesta.

Figura 62. **Puesta a tierra en la fuente y en la carga**



Fuente: Blitzplaner. *Manual de protección contra rayos*. p. 120.

Tabla XC. **Fórmulas de cálculo de resistencia de propagación para diferentes tomas de tierra**

Toma de tierra	Fórmula empírica	Magnitud auxiliar
Toma de tierra superficial (Toma de tierra radial)	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$	-
Toma de tierra de profundidad (Pica de tierra)	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	-
Toma de tierra anular	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[3]{A}$
Malla de toma de tierra	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[3]{A}$
Toma de tierra en placas	$R_A = \frac{\rho_E}{4,5 \cdot a}$	-
Toma de tierra semiesférica/ Toma de tierra de cimientos	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$	$d = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$
<p><math>R_A</math> Resistencia de propagación (W)  <math>\rho_E</math> Resistencia específica de tierra (Wm)  <math>l</math> Longitud de la toma de tierra (m)  <math>d</math> Diámetro de una toma de tierra anular, de la superficie circular equivalente o de una toma de tierra semianular (m)  <math>A</math> Superficie (m<sup>2</sup>) de la superficie rodeada por una toma de tierra anular o por una malla de toma de tierra  <math>a</math> Longitud de los cantos (m) de una placa de toma de tierra cuadrada. En placas rectangulares deberá aplicarse <math>=\sqrt{b \cdot c}</math>, siendo b y c los lados del rectángulo.  <math>V</math> Contenido (m<sup>3</sup>) de un cimiento único.</p>		

Fuente: Blitzplaner. *Manual de protección contra rayos*. p. 122.

En la figura 62 se verifica según la Norma IEEE como se puede calcular según la forma de la toma a tierra, la resistencia de propagación que explica cómo se propaga la energía del rayo.

- Instalaciones de puesta a tierra tipo A y B según normativa: a partir de la norma UNE EN 62305-3 (IEC 62305-3) se asume la necesaria equipotencialidad del sistema de protección contra rayos. No se requiere ningún valor particular para la resistencia de la puesta a tierra, si bien, se recomienda un valor bajo (inferior a 10 Ω, medida con baja frecuencia).

La normativa considera dos disposiciones de puesta a tierra, tipo A y tipo B.

La toma de tierra tipo A describe electrodos de tierra dispuestos en forma de líneas individuales. Indica que se deben conectar entre si para cumplir con la compensación de potencial.

En la toma de tierra tipo B son tomas de puesta a tierra anular alrededor del objeto que se quiere proteger. Para ello pueden utilizarse tuberías o cualquier otro tipo de estructuras metálicas que estén permanentemente conectados. Como mínimo, el 80 % de la longitud de la toma de tierra tiene que estar en contacto con el terreno. Las longitudes mínimas de las tomas de tierra, de acuerdo con las disposiciones del tipo B, dependen de los niveles de protección. En los niveles de protección I y II, la longitud mínima de las tomas de tierra se fija, además, en función de la resistencia específica del terreno.

### **9.3. Medición de resistencia del suelo**

Las NEC 250.8 establece que para que una conexión a tierra sea segura, el valor de la resistencia a tierra no debe ser mayor de 25 ohm en el caso de instalaciones de edificios, menor o igual a 5 ohmios en el caso de subestaciones eléctricas y plantas industriales, y menor o igual a 1 ohmio en el caso de generadoras y subestaciones grandes.

Antes de entrar en detalle en cada método de medición, es importante resaltar que la resistividad del suelo depende de factores como la constitución del terreno, la humedad y sales disueltas en el terreno, así que antes de realizar mediciones es importante obtener un estudio básico del tipo de suelo en el que se quiere realizar la medición.

También es necesario saber que los resultados pueden resultar o no precisos de acuerdo a el tipo de prueba, el tipo de dispositivo de medición empleado, el lugar físico donde se instalen los electrodos.

Tabla XCI. **Resistividad de diferentes tipos de suelos**

RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS			
SUELO	RESISTIVIDAD OHM – CM		
	promedio	MIN	MAX
Rellenos de cenizas, partículas de madera quemadas, desperdicios de agua salada	2,370	590	7,000
Arcilla, rocas de arcilla endurecida, plantas gomosas, suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	4,060	340	16,300
Los mismos pero con proporciones variables de arena y grava	15,800	1,020	135,000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelos ricos compuestos especialmente de arcilla arena y materia orgánica	94,000	59,000	458,000

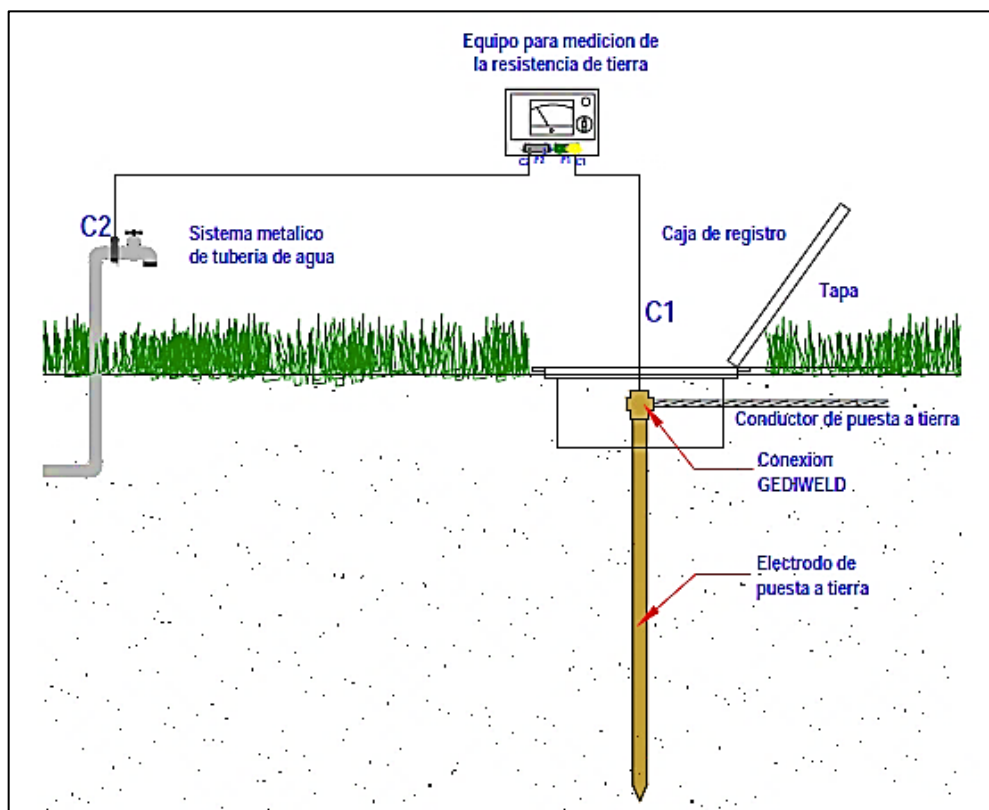
Fuente: PINTO, Franklin. *Manual de sistemas de puesta a tierra*. p. 32.

Existen dos formas básicas de medir o estimar un valor de resistencia a tierra, los cuales se consideran básicos, ya que pueden existir otros derivados de estos:

- Método de tres puntas: este método también es conocido como el método de caída de potencia, y es muy útil para realizar mediciones nuevas de puesta a tierra sino para comprobar el estado actual de una puesta a tierra, ya que como se observa en la figura 63, se utilizan tres electrodos de prueba, pero uno de estos debe ser una varilla no removible, fija, de esta forma entonces a través del medidor las terminales P1 y C1 los

electrodos son conectados al tercer electrodo fijo, y luego se conectan los otros dos electrodos de prueba C2 y P2 de manera que la distancia entre el electrodo fijo y el electrodo de prueba P2 mantengan un 62 % de la distancia entre el principal y el de prueba C2, que por lo menos debe ser unos 15m, luego el instrumento inyecta una corriente entre C1/ P1 que retornará por C2 , causando un diferencial de potencial entre estos dos puntos y por medio de la ley de ohm se estima el valor de resistencia.

Figura 63. **Método de tres puntas**



Fuente: Blitzplaner. *Manual de protección contra rayos*. p. 126.

- Método de Wenner: este método necesita de insertar 4 electrodos en unas líneas rectas y penetradas a una misma profundidad, así que el éxito de este método depende de la resistividad regular u homogéneo del terreno y de la distancia entre cada electrodo. A los electrodos que están a los extremos se les inyecta una corriente de DC de baja frecuencia lo que hace aparecer un potencial entre los electrodos centrales, esto gracias a la interconexión que existirá con la tierra o suelo físico, de esta manera, la razón  $V/I$  es la resistencia aparente.

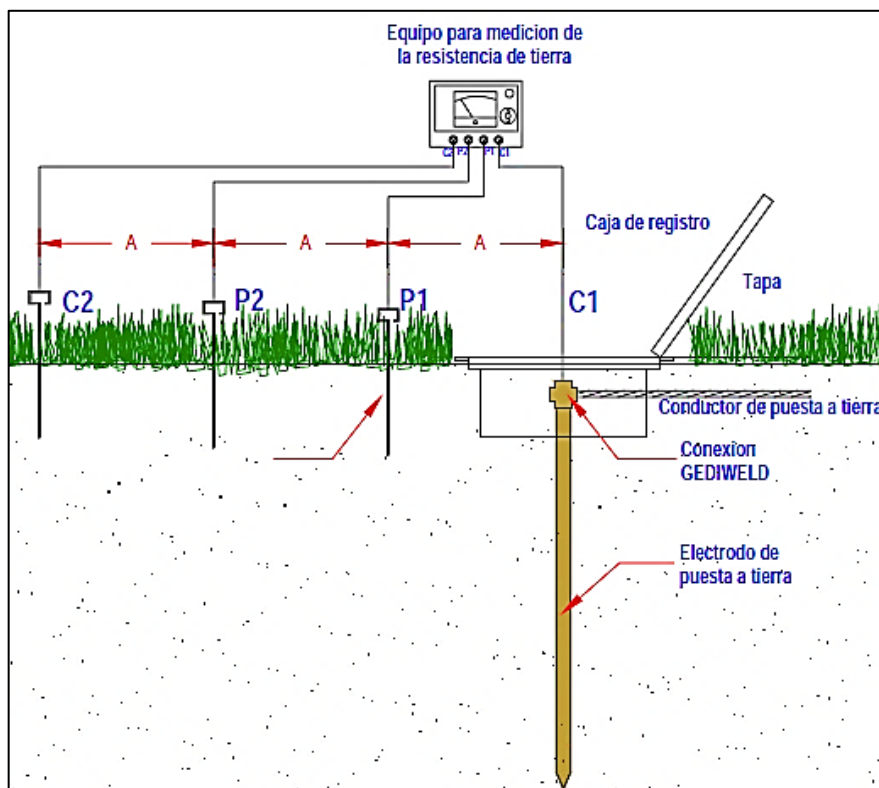
Según el método, si la profundidad del electrodo B, como se muestra en la figura 64 se mantiene mucho menor respecto a la distancia entre electrodos A, se puede estimar la siguiente formula:

$$\rho = 2\pi AR$$

Siendo la resistividad promedio del suelo en ohm-cm, luego A la distancia entre los electrodos y R sería el valor indicado por el Megger en ohms.



Figura 64. **Método de Wenner o cuatro terminales**



Fuente: PINTO, Franklin. *Manual de sistemas de puesta a tierra*. p. 36.

#### 9.4. **Cálculo del sistema de tierra de acuerdo al dimensionamiento y área del edificio**

Ya que la instalación actual del edificio 2 es una instalación en donde existen varias varillas distribuidas y conectadas en paralelo, entonces es imposible aislar cada varilla y hacer la medición a tierra en cada punto, entonces para hacer la estimación en este tipo de instalaciones se utilizan mediciones a tierra con pinzas amperimétricas.

- Método de pinza amperimétrica: es importante aclarar que este tipo de instrumento tiene limitaciones significativas al momento de realizar mediciones, ya que dependen de la buena conexión del sistema de tierras que se esté analizando para obtener resultados precisos, además de que tiene una limitación de amperaje de no más de 2A en conductores de puesta a tierra para mallas industriales.

La medición se realiza básicamente enganchando el cable a tierra del tablero principal y medir las corrientes que circulan por él.

Figura 65. **Pinza amperimétrica para medición de corriente de fuga**

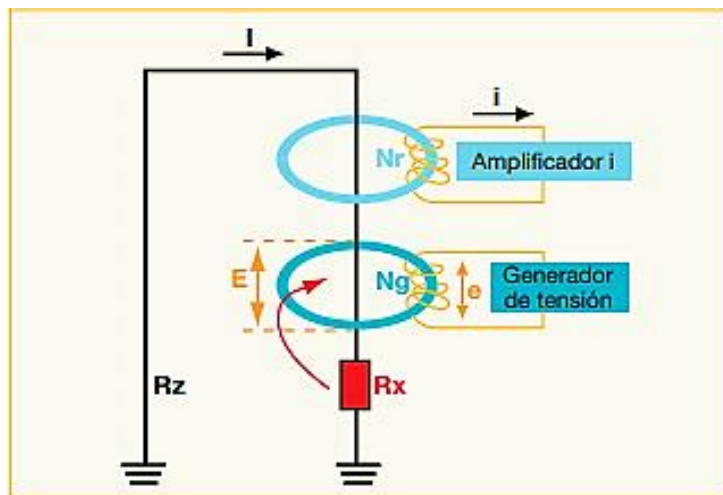


Fuente: Portal de Fluke.

La figura 65 muestra el instrumento utilizado para esta medición, la característica de esta pinza es que tiene dos devanados, un generador y un receptor. El devanado generador se encarga de inducir una diferencia de potencial alterna a nivel constante  $V$  en torno al conductor enganchado, mientras que el devanado receptor mide el valor de la corriente inducida por este voltaje, entonces, conociendo el valor de  $V$  e  $I$  se deduce el valor de la

resistencia en ese bucle, que viene siendo el valor total de toda la red de tierra del edificio, porque esta interconectado.

Figura 66. **Esquema de conexión de la pinza amperimétrica al sistema**

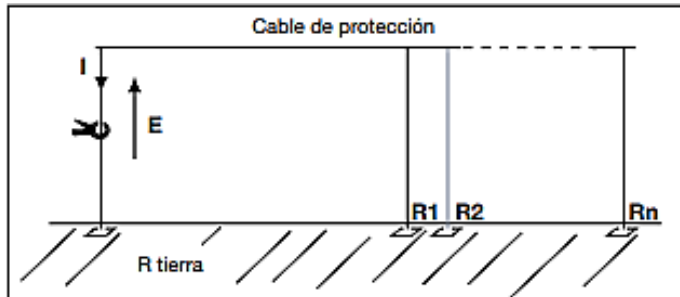


Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de medición de tierras 2º portal. p. 83.

Para evitar mediciones falsas por corrientes parásitas en el conductor de tierra, la pinza amperimétrica se utiliza a una frecuencia específica.

Considerando la medición del edificio 2 el cual consiste en una red de 14 puestas a tierra en paralelo, lo cual equivale a medir la resistencia equivalente  $R_x$ , el esquema se puede representar de la siguiente forma:

Figura 67. **Conexión para la red de resistencia equivalente  $R_x$  en edificio 2**



Fuente: Chauvin Arnoux Group. Guía de medición de tierras 2ª portal. p. 89.

De acuerdo al circuito se puede obtener la ecuación:

$$R_{bucle} = V/I = R_x + R_{tierra} + (R1//R2//R3//R4 \dots //R14) + R_{cable}$$

Donde:

$R_x$  = valor que se desea conocer

$R_{tierra}$  = valor de la resistencia de tierra inferior a 1  $\Omega$

$R1//R2//R3//R4 \dots //R14$ : Valor equivalente en paralelo, muy pequeño en caso de tierras en paralelo.

$R_{cable}$  = valor del cable de protección, con valores inferiores a 1  $\Omega$

Tomando entonces las anteriores consideraciones, se puede estimar que  $R_{bucle} = R_x$  a medir.

Ya que el Fluke serie 337 emite un voltaje  $V$  de 22V y se obtuvo una corriente de 4.38A, este método dio como resultado un valor equivalente:

$$R_{\text{tierra}} = 5,02 \Omega$$

Lo cual según la Norma NEC 250 está dentro del rango aceptable, concluyendo en que el sistema de tierra del edificio 2 no influye en la calidad de energía actual por mala calidad de un sistema de tierra física.

## **9.5. Selección de pararrayos**

La selección de pararrayos debe realizarse verificando las sugerencias y normas establecidas por las organizaciones como la UNE o IEEE, ya que estas detallan los aspectos más importantes para proteger a un edificio de descargas electro atmosféricas que pueden dañar las instalaciones o equipo conectado en la red interna del mismo.

La función de un pararrayos es ser un punto de incidencia para la descarga atmosférica para luego drenarlo y disiparlo a tierra. En el edificio 2 del Ministerio de Educación existe una protección de pararrayos, sin embargo, antes de entrar en detalle, se especifican los tipos de pararrayos más comunes relacionados con este tipo de protección.

### **9.5.1. Tipos de pararrayos y especificaciones**

Puede ser del tipo punta o del tipo jaula, como se describen a continuación:

- Pararrayos tipo Franklin: es del tipo punta, ioniza el entorno para atraer la descarga, la zona protegida por el pararrayos tiene forma cónica.

- Pararrayos del tipo radioactivo: es del tipo punta, pero en el extremo tienen un isótopo radioactivo para ionizar el aire, protegiendo un área de forma esférica.
- Pararrayos del tipo ion corona solar: también es del tipo punta, pero este en cambio tiene un dispositivo de generación de iones permanente en el extremo, por medio de fotocélulas.
- Pararrayos del tipo piezoeléctrico: por ser piezoeléctrico, se entiende que necesita fricción para generar energía, así que la genera por medio de la presión del viento.
- Pararrayos reticulares o del tipo Faraday: este método es del tipo jaula, así que se recubre el edificio por medio de una malla metálica en el momento de su construcción, para después ser aterrizada al sistema de puesta a tierra.

### **9.5.2. Norma UNE 21189**

La instalación de estos dispositivos de protección es regulada según normas. Según Norma UNE indica que es necesario instalar un pararrayos en edificios de más de 43 metros de altura, además, es indispensable en lugares donde existan sustancias radiactivas, inflamables o explosivas o con un índice de riesgo significativo.

- Norma UNE 21189: NFC-17102 (Francia) y su traducción textual UNE 21186. (España), dicen en su introducción, una instalación de protección contra el rayo concebida y realizada conforme a la presente norma, no puede, como todo proceso en el que intervienen elementos naturales,

asegurar la protección absoluta en las estructuras, de las personas o de los objetos.

Esta norma trata sobre la protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas, por medio de pararrayos con dispositivo de cebado, por lo que definen un PDC como un pararrayos con punta captadora equipado con dispositivos de cebado.

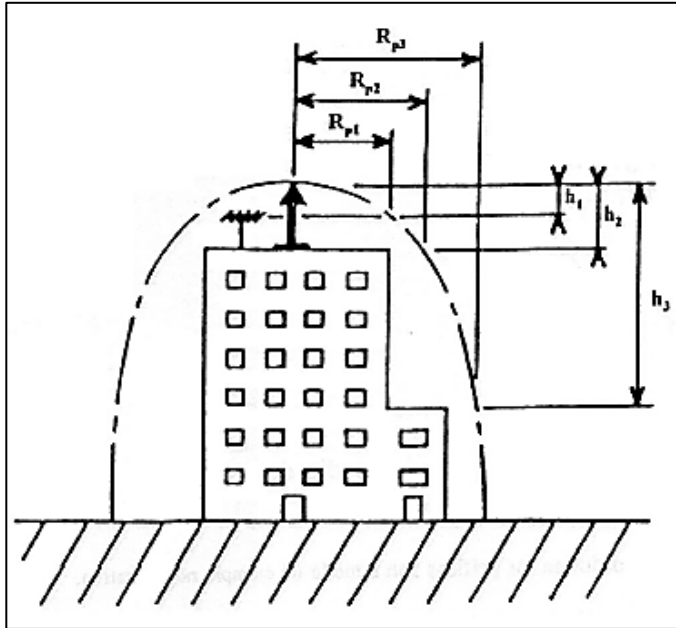
El proceso de cebado es un fenómeno físico comprendido entre la aparición de los efluvios del efecto corona y la propagación continua del trazador ascendente.

Esta Norma española ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 20-21 Electrotécnico.

### **9.5.3. Dimensionamiento y cálculo**

Según la Norma UNE la zona protegida está definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes altura  $h$  consideradas.

Figura 68. Zona de protección para el edificio



Fuente: NORMA UNE 21186. *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos.* p. 86.

Donde:

$H_n$  = es la altura de la punta, con relación al plano horizontal con relación al plano horizontal que pasa por el punto más alejado

$R_{pn}$  = radio de protección, para la altura considerada

Radio de protección: el radio de protección depende de su altura en relación con la superficie a proteger:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h \geq 5\text{m}$$



Donde:

$R_p$  = es el radio de protección

$h$  = altura de la punta en relación con el plano horizontal que pasa por el vértice del elemento a proteger

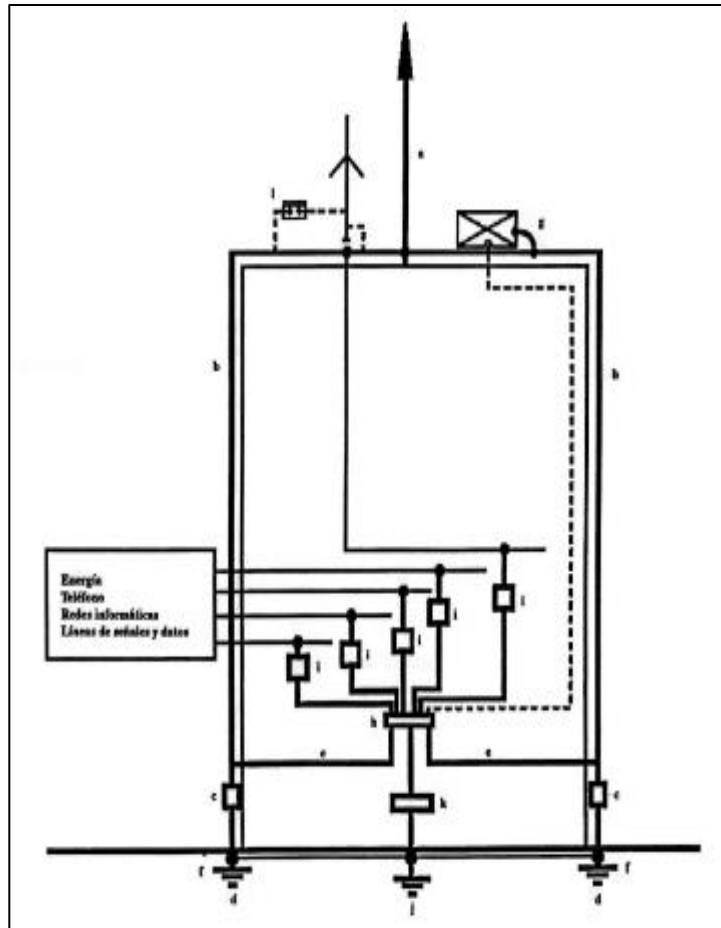
$D$  = 20 metros para el nivel de protección I, 45 metros para el nivel II, 60m para el nivel III de protección

$\Delta L$  = avance en el cebado de un PDC según prueba de laboratorio y especificaciones de fabricante.

Elección y posicionamiento: para cada instalación de un sistema de protección, se realiza un estudio previo para determinar cuál es el nivel de protección que el edificio requiere, este toma en cuenta los siguientes aspectos:

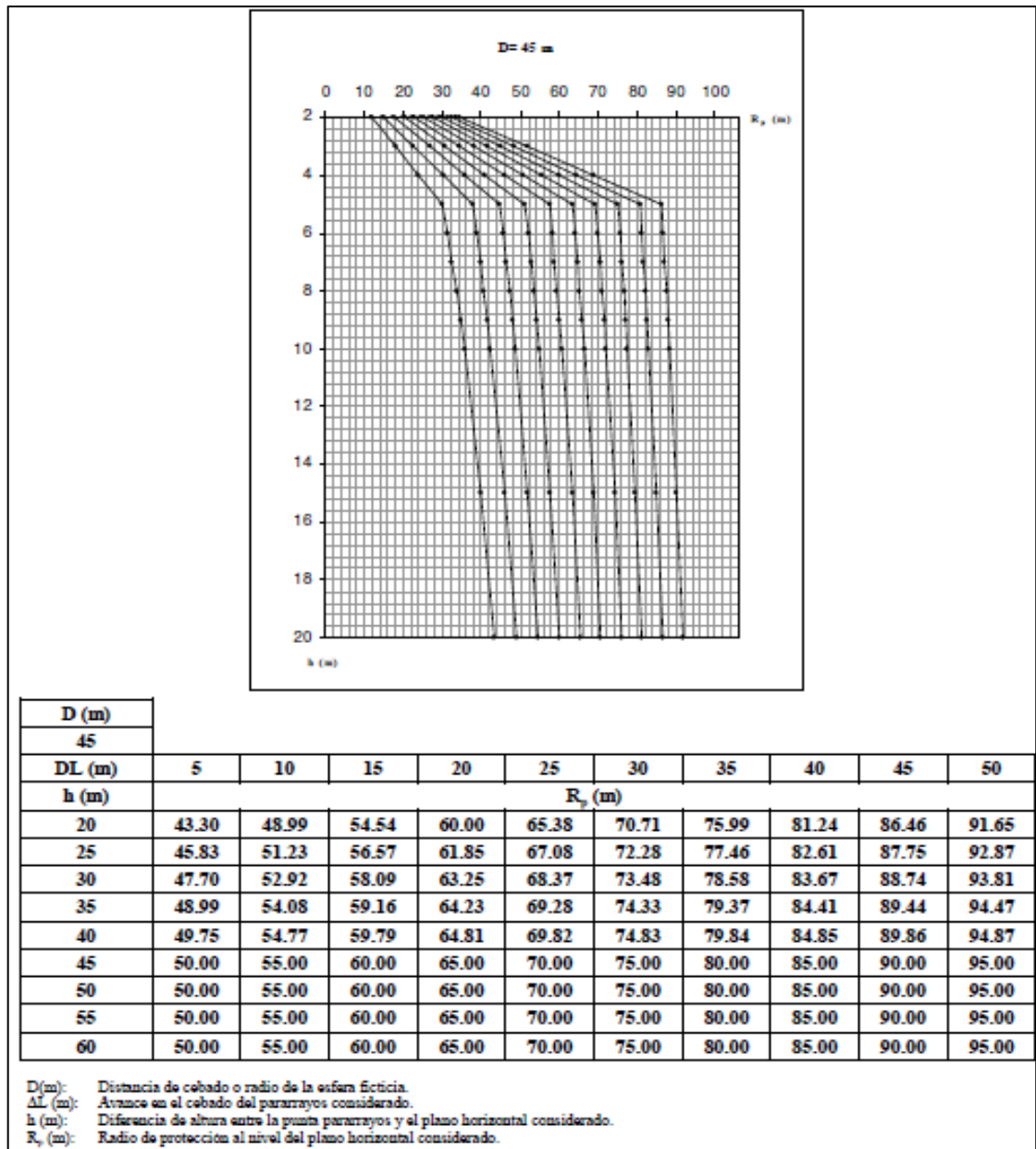
- Estudio de riesgo de caída de rayo y elección de nivel de protección.
- Estudio del espacio donde se instalara cada elemento del sistema de protección del pararrayo.

Figura 69. **Instalación exterior de elementos de protección para pararrayos**



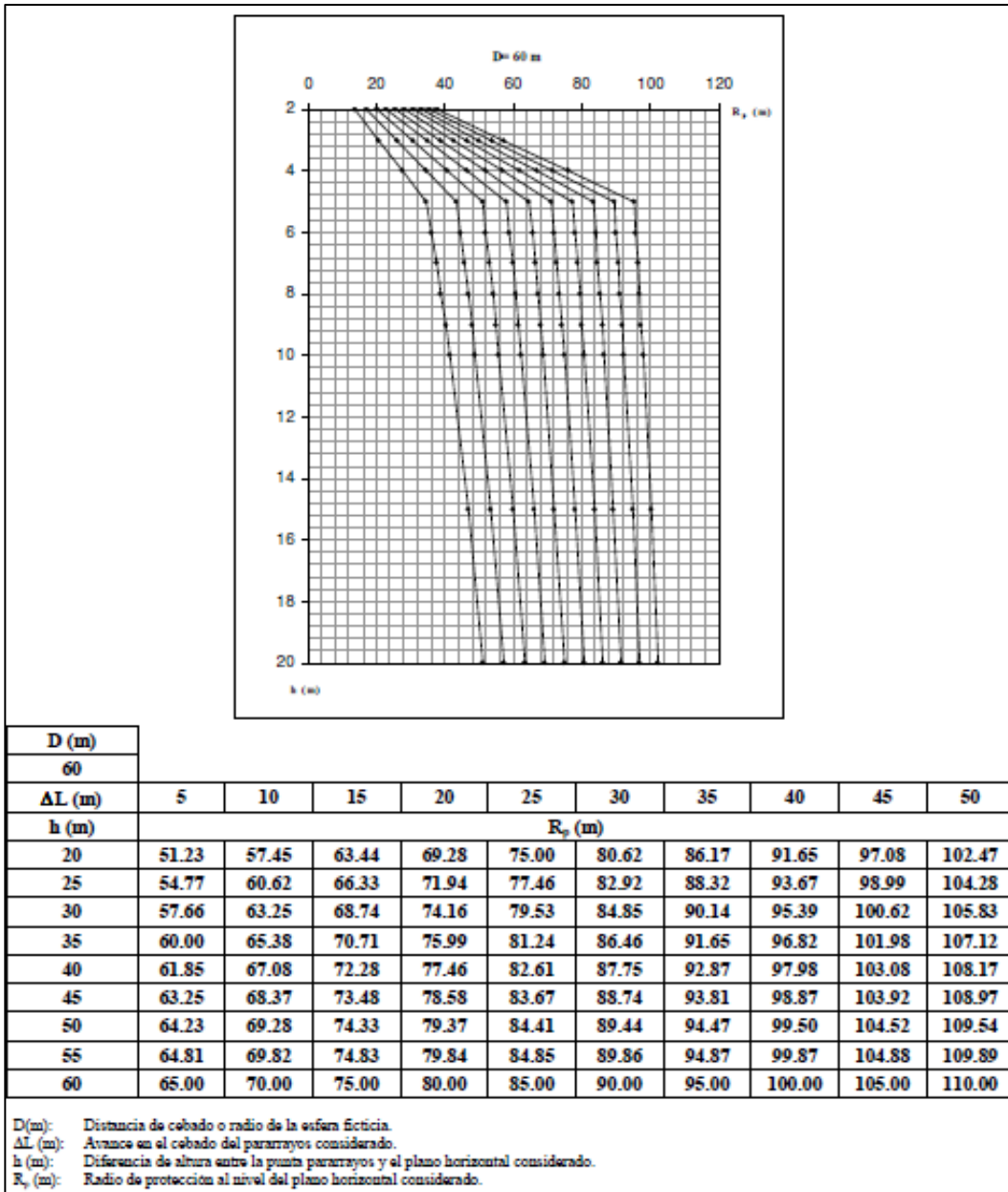
Fuente: NORMA UNE 21186. *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos.* p. 92.

Figura 70. Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección I



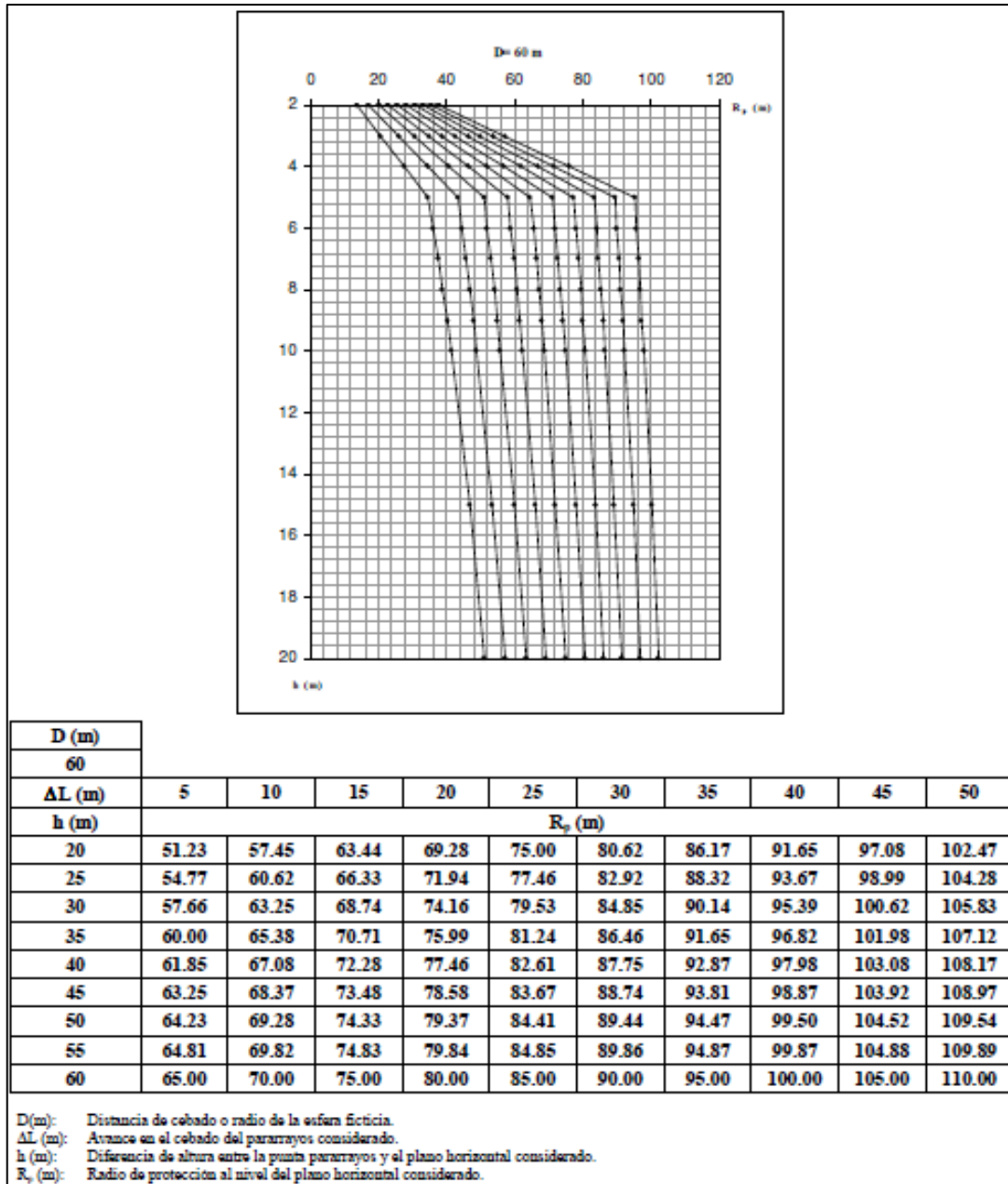
Fuente: NORMA UNE 21186. *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos.* p. 94.

Figura 71. **Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección II**



Fuente: NORMA UNE 21186. *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos.* p. 95.

Figura 72. Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado, nivel de protección III



Fuente: NORMA UNE 21186. *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos*. p. 97.

Para el edificio 2, se inspeccionó por medio de planos y estudio de campo las conexiones de las bajadas del pararrayos, el cual es un tipo Franklin como se muestra en la figura 73.

Figura 73. **Pararrayos instalado en el edificio 2 del MINEDUC**



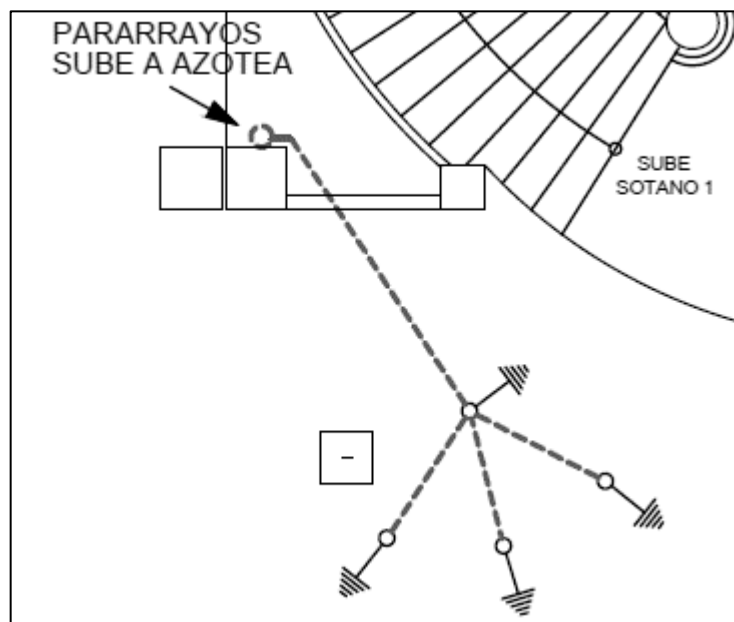
Fuente: elaboración propia.

Está armado en el medio de la azotea del edificio 2, de tal manera que la zona de protección desde la punta alcanza la línea horizontal más alejada en el edificio, según lo que indica la Norma UNE 21186. La bajada tiene un conductor desnudo de 1/0 hacia el sótano del edificio, donde existe una red de tierras por medio de desnudo de 1/0 hacia el sótano del edificio, donde existe una red de tierras por medio de 4 varillas que disipan la energía en caso de descarga electroatmosférica.

Históricamente no se ha presentado ningún incidente por descarga electroatmosférica, y según la norma el diseño ha tomado en cuenta los aspectos indispensables que protegen el edificio.

El diagrama según el plano muestra la conexión de la bajada hacia la tierra, además del sistema de varillas instaladas de una forma radial con respecto a la bajada del pararrayos.

Figura 74. **Pararrayos instalado en el edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.





## CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las mediciones y el análisis de las mismas, se determinó que las instalaciones actuales del edificio 2 del MINEDUC cumple con las condiciones para soportar la demanda de energía eléctrica, pero resultan convenientes las sugerencias de cambio de iluminación, hábitos de consumo e implementación de energía renovable para reducir considerablemente el consumo energético.
2. Se determinó a través de las mediciones que resultan convenientes las sugerencias en cambio de iluminación, hábitos de consumo e implementación de energía renovable para reducir considerablemente el consumo energético, además de implementar un plan de mantenimiento para obtener una red interna energéticamente eficiente.
3. Se determina totalmente viable la implementación de un nuevo sistema de iluminación, ya que no requiere una inversión elevada y representará una disminución y retorno de costos a corto plazo.
4. Las proyecciones para el año 2032 demuestran la mejora del consumo energético y la reducción de hasta un 53,56 % en costos económicos por concepto de energía si se realizan los cambios sugeridos.
5. Las implementaciones en iluminación, hábitos de consumo y energía renovable a través de un sistema de paneles solares demuestra la enorme reducción en la emisión CO<sub>2</sub>e generados por la institución actualmente, llegando a reducir hasta un 46,43 % la emisión de los mismos.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar las medidas de ahorro energético sugeridas en el capítulo 14 resumidas a continuación:
  - El cambio de iluminación fluorescente y de mercurio en todo el edificio 2, tanto en oficinas como sótanos lo cual garantiza:
    - un ahorro energético bastante significativo, además de ser una inversión viable con un retorno de la misma en un año, lo cual implica pocas complicaciones en su implementación.
    - Mejoramiento de los estándares de luminosidad en áreas de trabajo, buscando mayor comodidad y cuidado de la salud de los trabajadores, debido a que la mayoría de puestos en la actualidad no están en los rangos indicados en el código de trabajo.
    - Reducir el THDV y THDI generado por armónicos que a la vez descompensan el sistema trifásico generando altos valores de corriente en el Neutro del tablero principal.
    - Reducción de los puntos calientes al reducir la potencia demandada por iluminación, pues el consumo energético se reducirá significativamente con el uso de led.

- Integrar energía renovable a través de la instalación de 224 paneles solares fotovoltaicos, que generan el equivalente al 18 % de la energía eléctrica total consumida en el edificio 2 del MINEDUC.
  - Cambiar los hábitos de consumo por parte de cada uno de los empleados del edificio, que pueden reducir hasta un 11 % el consumo mensual de energía eléctrica.
2. Evaluar la inversión necesaria para implementar las medidas de ahorro, con el fin de ponerlas en marcha.
  3. Contar con un plan de mantenimiento mensual con un en el sistema eléctrico de iluminación y de distribución de fuerza, para evitar gastos técnicos mayores a largo plazo, además de mantener el sistema eléctrico controlado en su totalidad.
  4. Solicitar pruebas y mantenimiento general al banco de transformadores del edificio 2 para determinar las condiciones de vida y pérdidas que estos pueden generar, entre las más importantes están:
    - Prueba de resistencia óhmica de los devanados
    - Prueba de TTR
    - Prueba de resistencia de aislamiento
    - Pruebas de rigidez dieléctrica
    - Prueba de cromatografía de gases
    - Prueba de potencial inducido
    - Prueba de impulso de rayo
    - Prueba de termografía

5. Redistribuir la carga actual de los circuitos, para mejorar el balance de corriente en cada línea principal.
6. Implementación de un plan de gestión energética, con el fin de evaluar constantemente el uso de los recursos de energía en el edificio.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución NTSD*. Guatemala: CNEE, 2014. 114 p.
2. Congreso de la República De Guatemala. *Acuerdo Gubernativo 33-2016*. Decreto del Organismo Legislativo. 2016. Guatemala. 28 p.
3. GONZÁLES LÓPEZ, Francisco. *Fundamentos de Armónicos. Armónicas en Sistemas Industriales*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, 2017. 110 p.
4. Ministerio de Energía y Minas. *Emisiones de gas de efecto invernadero*. [en línea]. <[www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt)>. [Consulta: 2 de julio 2018].
5. ——— . *Plan Nacional de la Energía 2017-2032*. 2017. [en línea]. <[www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt)>. [Consulta: 2 de julio 2018].
6. Organización Internacional de Normalización, ISO. *Norma ISO 5001. Sistemas de Gestión de la Energía*. Guatemala: ISO, 2017. 128 p.
7. SAMAYOA, Cristian, ING. LEPE, Luis. *Desarrollo con bajas emisiones*. Informe de Auditoría Energética efectuado en los edificios principales de la Dirección General de Energía. Guatemala: DGE. 2017. 136 p.
8. VILLATORO MARTÍNEZ, Byron Julián. *Teorías de diseño de filtros activos para mitigación de armónicos en sistemas eléctricos de*

*potencia*. Tesis de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 226 p.



## APÉNDICES

- Cálculos realizados para proyecciones de energía

### Apéndice 1. Cálculo para la evaluación del ahorro energético al implementar tecnología led

	Tipo	Potencia por unidad (W)	Cantidad de lámparas	Potencia total (W)	Horas de uso en día hábil	Energía consumida en un día hábil (KWh)
Actual	Fluorescente	40	446	17 840	9	161
	Bombillas de mercurio	150	58	8 700	8	70
	Ojo de buey	13	322	4 186	8	33
	Ahorradoras de 65W	65	5	325	8	3
	Ahorradoras de 35W	35	22	770	8	6
	<b>TOTALES</b>	<b>303</b>	<b>853</b>	<b>31 821</b>		<b>272</b>
Propuesta	Tubos LED	18	446	8 028	9	72
	Bombilla LED	40	85	3 400	8	27
	Ojo de buey LED	7	322	2 254	8	18
	<b>TOTALES</b>	<b>65</b>	<b>853</b>	<b>13 682</b>		<b>117</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Cálculo para la evaluación del ahorro energético al implementar tecnología paneles solares**

Mes	Energía estimada (KWh)	Costo	Energía generada por paneles instalados (kWh)	Energía estimada con paneles instalados (kWh)	Costo tomando en cuenta el cambio
oct-17	15 889,51	Q 10 400,78	6 726,00	9 163,51	Q 5 998,15
nov-17	15 676,88	Q 10 261,60	6 495,00	9 181,88	Q 6 010,17
dic-17	15 446,76	Q 10 110,97	6 525,00	8 921,76	Q 5 839,91
ene-18	16 332,26	Q 10 690,59	6 897,00	9 435,26	Q 6 176,03
feb-18	14 808,85	Q 9 693,41	7 031,00	7 777,85	Q 5 091,14
mar-18	15 446,76	Q 10 110,97	8 514,00	6 932,76	Q 4 537,97
abr-18	15 676,88	Q 10 261,60	8 295,00	7 381,88	Q 4 831,95
may-18	16 332,26	Q 10 690,59	7 870,00	8 462,26	Q 5 539,13
jun-18	15 234,13	Q 9 971,79	7 187,00	8 047,13	Q 5 267,40
jul-18	16 332,26	Q 10 690,59	7 527,00	8 805,26	Q 5 763,65
ago-18	16 775,01	Q 10 980,40	7 427,00	9 348,01	Q 6 118,92
sep-18	14 791,38	Q 9 681,98	6 883,00	7 908,38	Q 5 176,58
oct-18	16 332,26	Q 10 690,59	6 726,00	9 606,26	Q 6 287,96
nov-18	15 234,13	Q 9 971,79	6 495,00	8 739,13	Q 5 720,36
dic-18	14 561,26	Q 9 531,35	6 525,00	8 036,26	Q 5 260,29

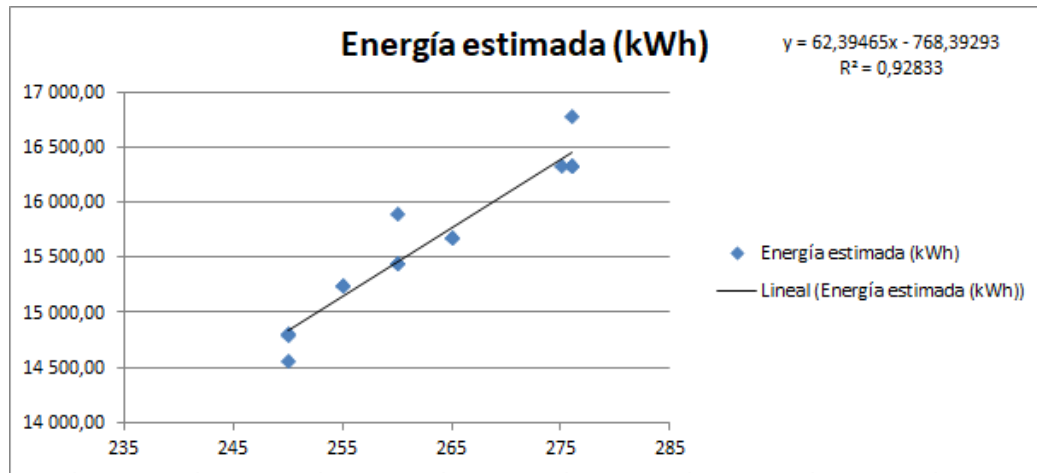
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Cálculo de correlación de variables explicativas para las proyecciones del consumo energético y económico**

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-5644,49027	1570,72397	-3,59355964	0,00368926	-9066,80381	-2222,17672	-9066,80381	-2222,17672
Variable X 1	18,6376722	12,0862386	1,54205728	0,14900766	-7,69597948	44,9713238	-7,69597948	44,9713238
Variable X 2	67,5282185	17,9054759	3,77137244	0,00266512	28,5155378	106,540899	28,5155378	106,540899
ECUACION								
$Y = -5644,49026518338 + 18,6376721567967 * X_1 + 67,5282184597915 X_2$								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Gráfica de correlación entre el número de personas que laboran y el consumo de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Parte del cálculo y evaluación de las medidas de ahorro implementando los cambios sugeridos

	En base a históricos		En base a medición		cambio de iluminación		ahorro con LED		ahorro con paneles		ahorro con buenos hábitos		consumo esperado	
	Energía estimada (kWh)	costo estimado	Energía estimada (kWh)	Costo estimado	KWH	AHORRO Q	ahorro en Kw/h	Ahorro en Q	Ahorro en Kw	Ahorro en Q	ahorr en Kw	Ahorro en Q	KWH	Q
dic-16	16 380	Q10 628,49												
ene-17	17 640	Q11 451,64												
feb-17	19 460	Q 12 633,16												
mar-17	17 640	Q 11 451,64												
abr-17	17 640	Q 11 598,07												
may-17	18 340	Q 12 058,31												
jun-17	17 920	Q 11 782,17												
jul-17	18 620	Q 12 269,31												
ago-17	17 220	Q 11 346,81												
sep-17	18 480	Q 12 177,06												
oct-17	15 889,51	Q10 400,53	15 889,51	Q 10 400,78	15 889,51	Q 10 400,78	5 741,22	Q1 766,75	6 726,00	Q 4 402,63	1 108,12	Q 725,34	15 889,51	Q10 400,53
nov-17	18 140,27	Q12 042,36	15 676,88	Q 10 261,60	12 423,47	Q 8 132,02	5 716,80	Q3 910,34	6 495,00	Q 4 251,43	1 108,12	Q 725,34	4 820,35	Q 3 155,25
dic-17	18 011,22	Q11 984,03	15 446,76	Q 10 110,97	12 348,28	Q 8 082,80	5 662,94	Q3 901,23	6 525,00	Q 4 271,06	1 108,12	Q 725,34	4 715,16	Q 3 086,40
ene-18	18 282,53	Q12 178,06	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61	5 358,60	Q3 718,45	6 897,00	Q 4 514,56	1 108,12	Q 725,34	4 918,81	Q 3 219,70
feb-18	18 273,62	Q12 177,90	14 808,85	Q 9 695,41	11 710,37	Q 7 665,25	6 563,25	Q4 512,65	7 031,00	Q 4 602,27	1 108,12	Q 725,34	3 571,25	Q 2 337,63
mar-18	18 218,32	Q12 168,29	15 446,76	Q 10 110,97	12 348,28	Q 8 082,80	5 870,03	Q4 085,49	8 514,00	Q 5 573,00	1 108,12	Q 725,34	2 726,16	Q 1 784,46
abr-18	18 285,31	Q12 238,92	15 676,88	Q 10 261,60	12 423,47	Q 8 132,02	5 861,84	Q4 106,91	8 295,00	Q 5 429,65	1 108,12	Q 725,34	3 020,35	Q 1 977,03
may-18	18 275,22	Q12 256,84	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61	5 351,28	Q3 797,23	7 870,00	Q 5 151,46	1 108,12	Q 725,34	3 945,81	Q 2 582,81
jun-18	18 423,39	Q12 381,37	15 234,13	Q 9 971,79	12 135,65	Q 7 943,62	6 287,75	Q4 437,75	7 187,00	Q 4 704,39	1 108,12	Q 725,34	3 840,53	Q 2 513,89
jul-18	18 280,50	Q12 310,55	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61	5 356,56	Q3 850,94	7 527,00	Q 4 926,94	1 108,12	Q 725,34	4 288,81	Q 2 807,33
ago-18	18 336,22	Q12 363,83	16 775,01	Q 10 980,40	13 211,76	Q 8 648,01	5 124,46	Q3 715,82	7 427,00	Q 4 861,48	1 108,12	Q 725,34	4 676,64	Q 3 061,18
sep-18	18 400,15	Q12 426,98	14 791,38	Q 9 681,98	11 847,82	Q 7 755,22	6 552,33	Q4 671,76	6 883,00	Q 4 505,40	1 108,12	Q 725,34	3 856,70	Q 2 524,48
oct-18	18 429,17	Q12 468,92	16 332,26	Q 10 690,59	12 923,93	Q 8 459,61	5 505,23	Q4 009,32	6 726,00	Q 4 402,63	1 108,12	Q 725,34	5 089,81	Q 3 381,63
nov-18	18 418,06	Q12 486,45	15 234,13	Q 9 971,79	12 135,65	Q 7 943,62	6 282,42	Q4 542,83	6 495,00	Q 4 251,43	1 108,12	Q 725,34	4 532,53	Q 2 966,85
dic-18	18 447,00	Q12 530,40	14 561,26	Q 9 531,35	11 772,63	Q 7 706,00	6 674,37	Q4 824,40	6 525,00	Q 4 271,06	1 108,12	Q 725,34	4 139,51	Q 2 709,60
ene-19	18 476,11	Q12 571,33	17 443,08	Q 11 417,70	13 616,44	Q 8 912,90	4 859,67	Q3 658,43	6 897,00	Q 4 514,56	1 108,12	Q 725,34	5 611,32	Q 3 673,00
feb-19	18 490,55	Q12 602,56	17 556,40	Q 11 491,87	13 694,80	Q 8 964,19	4 795,74	Q3 638,37	7 031,00	Q 4 602,27	1 108,12	Q 725,34	5 555,68	Q 3 636,58
mar-19	18 511,44	Q12 638,26	17 669,71	Q 11 566,05	13 773,16	Q 9 015,48	4 738,28	Q3 622,78	8 514,00	Q 5 573,00	1 108,12	Q 725,34	4 151,04	Q 2 717,14

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Ejemplo de cómo se clasificaron de las mediciones de iluminación con el luxómetro Fluke en cada módulo de trabajo**

NIVEL 2 ALA SUR (DIGEPSA, Participacion Comunitaria)				MÓDULO 21	115	NO	
				MÓDULO 22	47	NO	
				MÓDULO 23	58	NO	
UBICACIÓN	Medida (Luxes)	Luz Natural	Observaciones	MÓDULO 24	84	NO	
MÓDULO 1	402	NO		MÓDULO 25	76	NO	
MÓDULO 2	915	VENTANA		MÓDULO 26	75	NO	
MÓDULO 3	272	VENTANA		MÓDULO 27	155	NO	
MÓDULO 4	269	VENTANA		MÓDULO 28	192	VENTANA	
MÓDULO 5	240	VENTANA		MÓDULO 29	168	VENTANA	
MÓDULO 6	219	VENTANA		MÓDULO 30	167	VENTANA	
MÓDULO 7	230	VENTANA		MÓDULO 31	175	VENTANA	
MÓDULO 8	190	VENTANA		MÓDULO 32	137	VENTANA	
MÓDULO 9	168	VENTANA		MÓDULO 33	275	VENTANA	
MÓDULO 10	238	VENTANA		MÓDULO 34	240	VENTANA	
MÓDULO 11	196	NO		MÓDULO 35	192	VENTANA	
MÓDULO 12	150	NO		MÓDULO 36	439	VENTANA	
MÓDULO 13	151	NO		MESA			
MÓDULO 14	109	NO		REUNIONES	151	NO	
MÓDULO 15	112	NO		MÓDULO 37	138	NO	
MÓDULO 16	425	NO		MÓDULO 38	195	NO	
MÓDULO 17	82	NO		MESA	207	NO	
MÓDULO 18	82	NO		Iluminacion Promedio (Luxes)			
MÓDULO 19	79	NO			196,4		
MÓDULO 20	41	NO					

Fuente: elaboración propia.

- Estudio de campo

Apéndice 7. **Banco de transformadores de 300kVA del edificio 2 del MINEDUC**



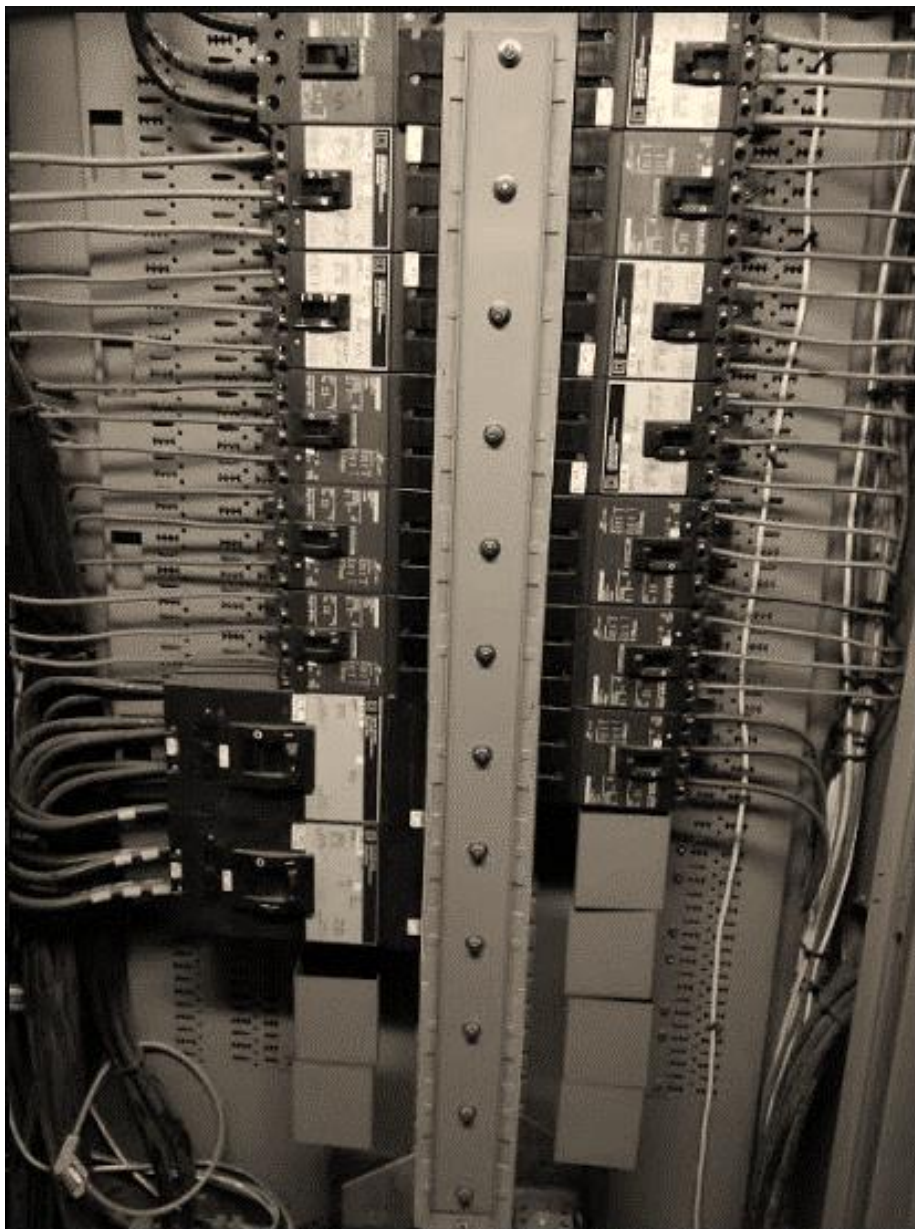
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Transferencia y tablero principal, edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.

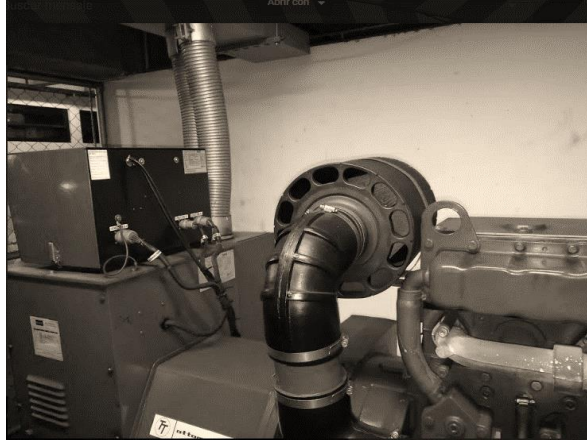
Apéndice 9. **Distribución y protección en tablero principal del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.



Apéndice 10. **Planta de emergencia de 250KW en edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.

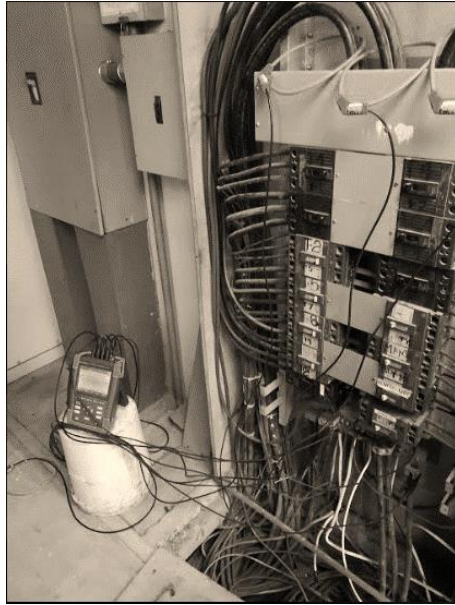
Apéndice 11. **Ductos donde se distribuyen todos los tableros secundarios hacia cada piso del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: elaboración propia.



Apéndice 12. **Medición de parámetros eléctricos a través del analizador de Redes Fluke**

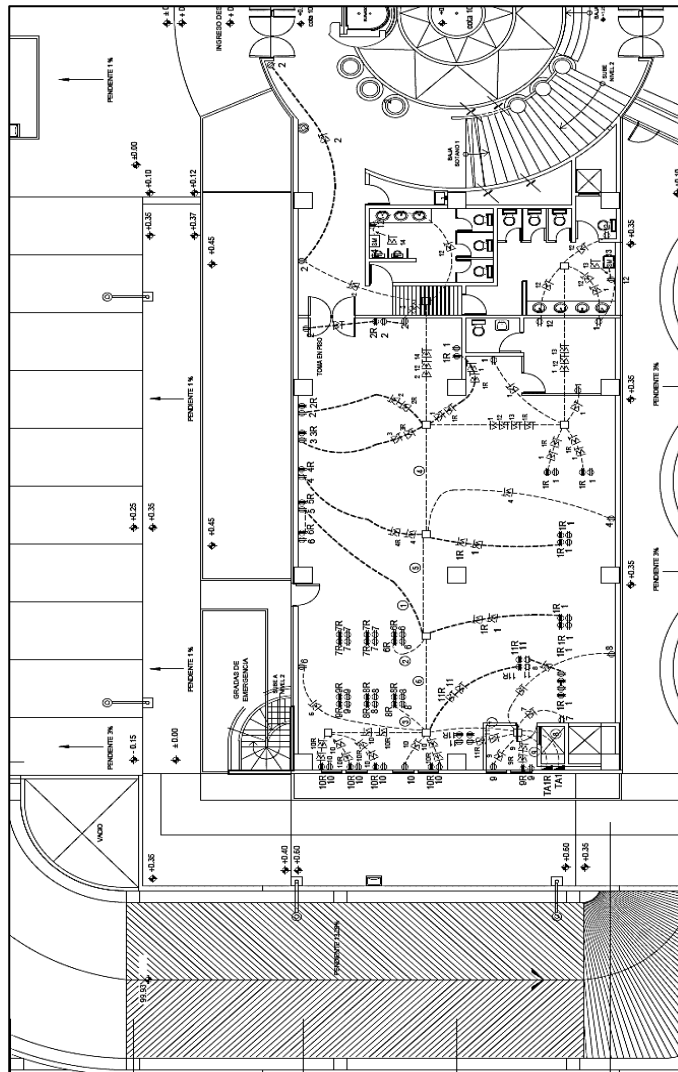


Fuente: elaboración propia.



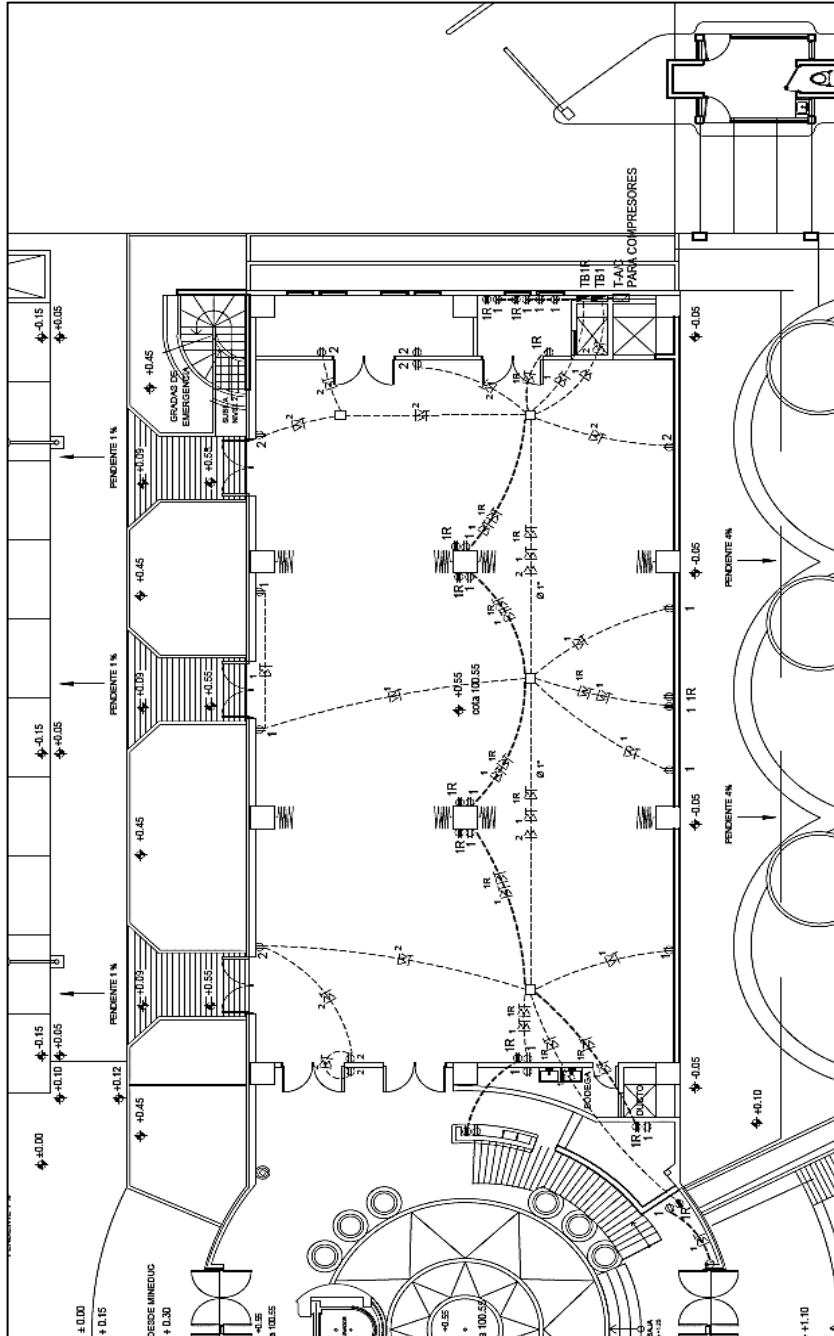
# ANEXOS

Anexo 1. **Planta de instalación eléctrica fuerza 1er nivel ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



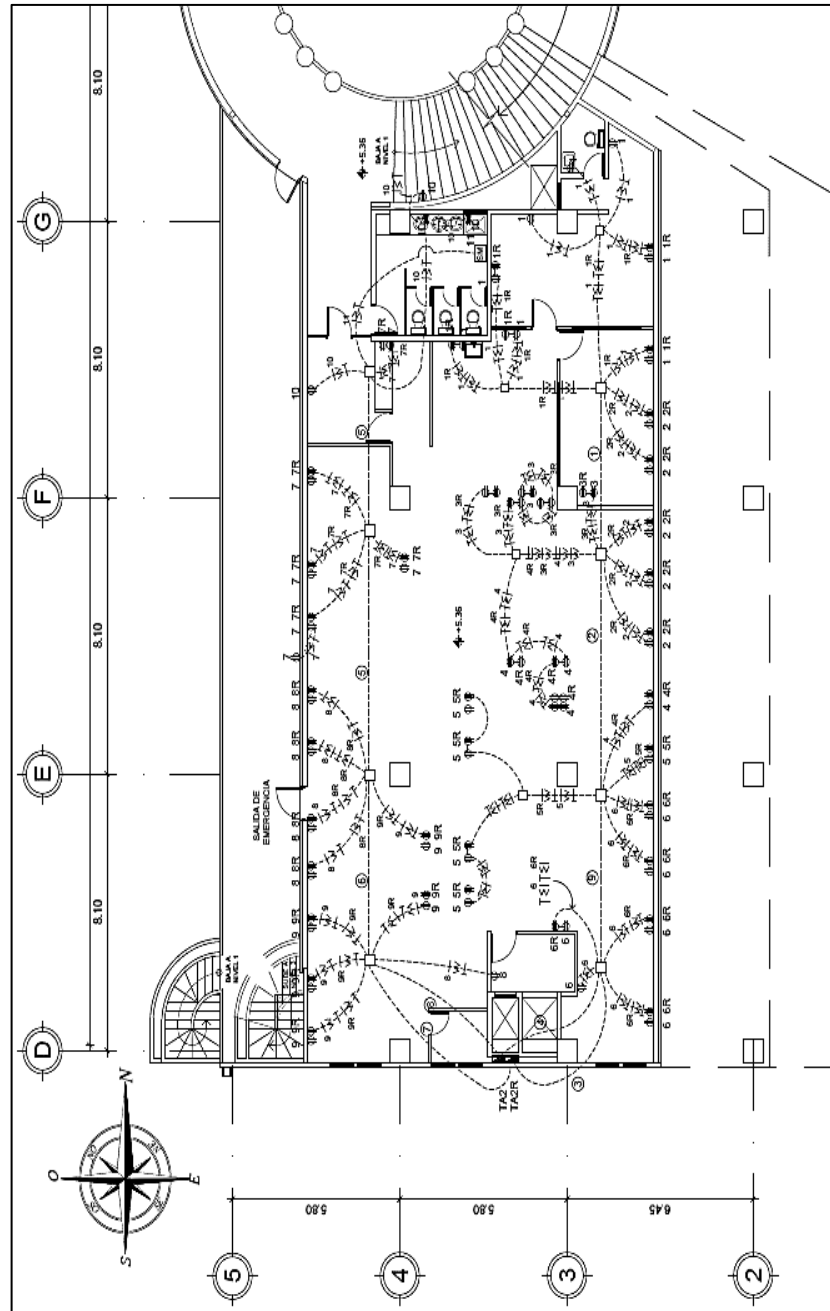
Fuente: DISERSA.

Anexo 2. **Planta de instalación eléctrica fuerza 1er nivel ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



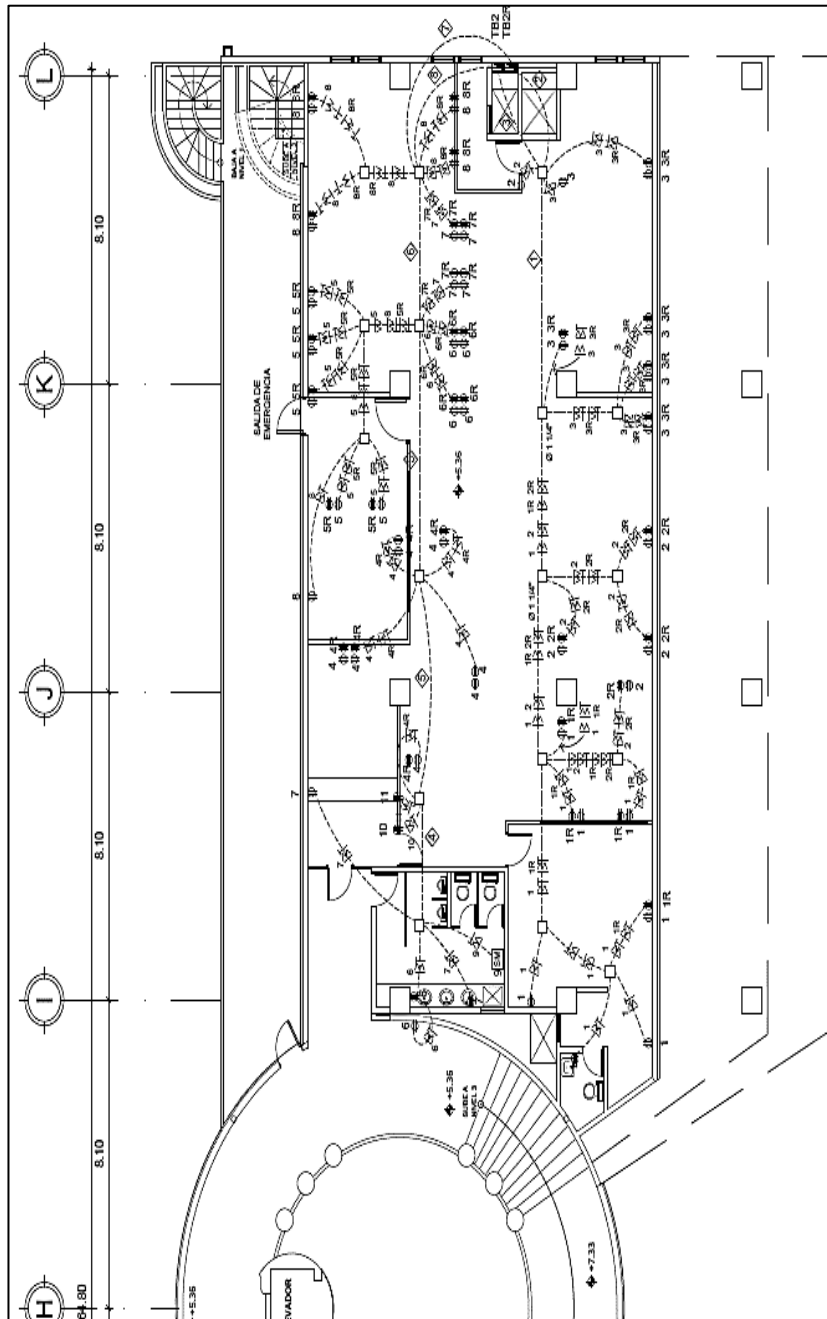
Fuente: DISERSA.

Anexo 3. **Planta de instalación eléctrica fuerza 2do nivel ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



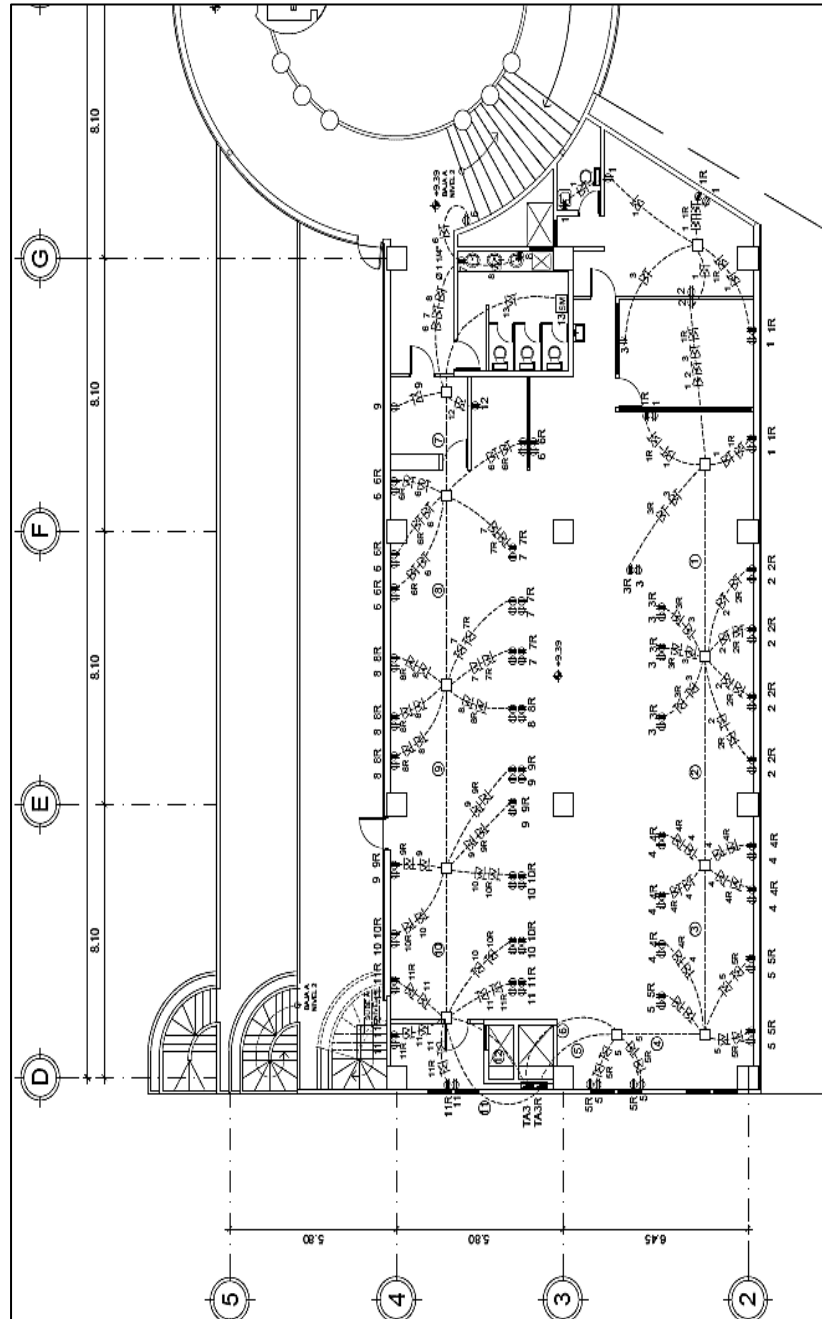
Fuente: DISERSA.

Anexo 4. **Planta de instalación eléctrica fuerza 2do nivel ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



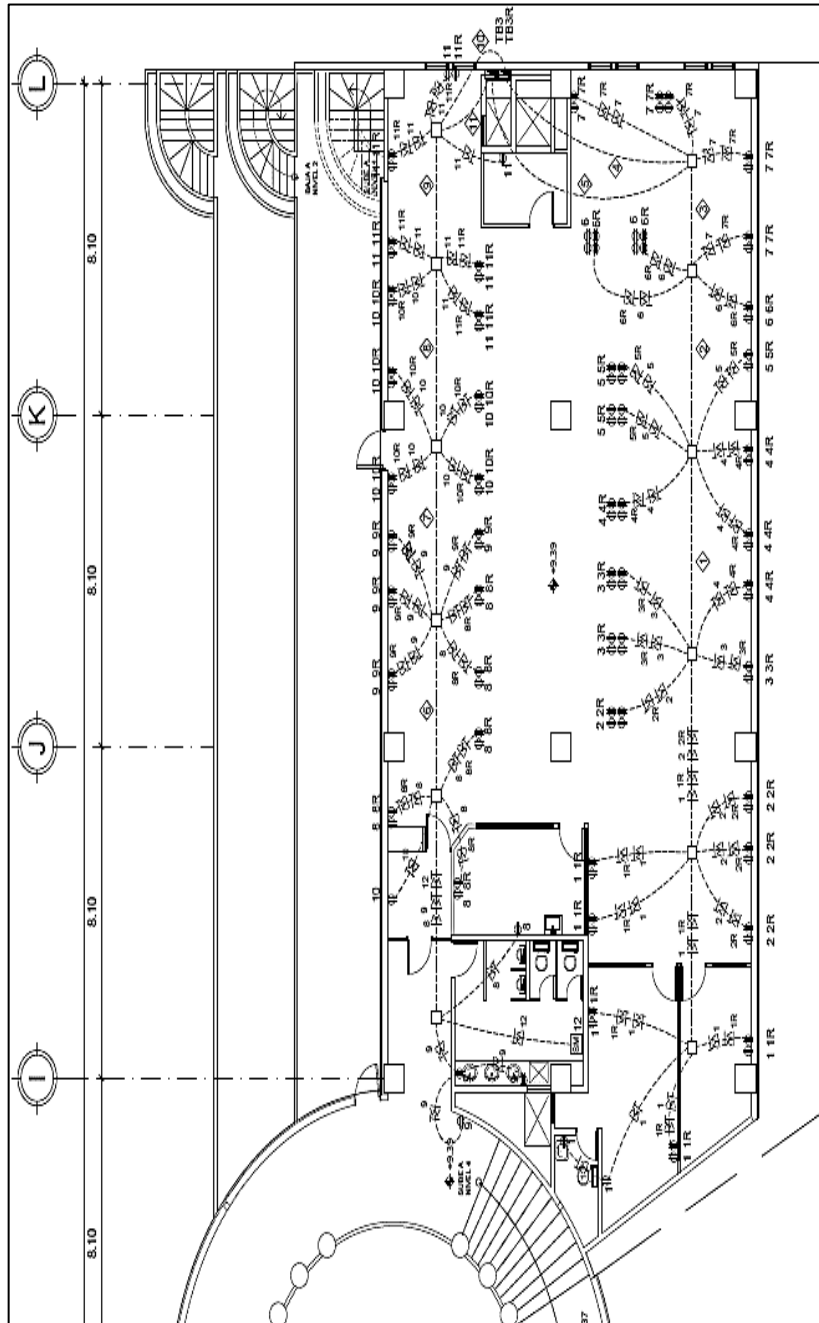
Fuente: DISERSA.

Anexo 5. **Planta de instalación eléctrica fuerza 3er nivel ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.

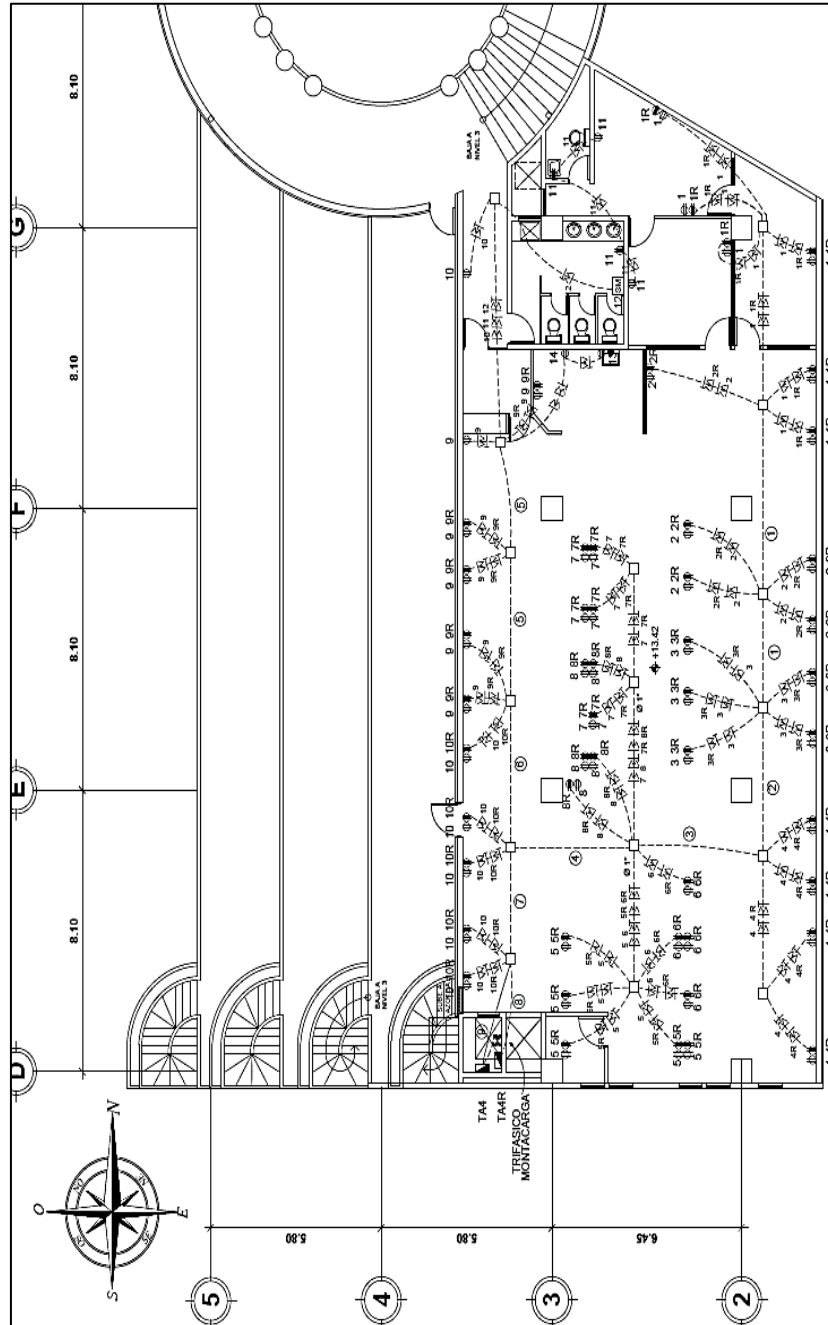
Anexo 6. **Planta de instalación eléctrica fuerza 3er nivel ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.

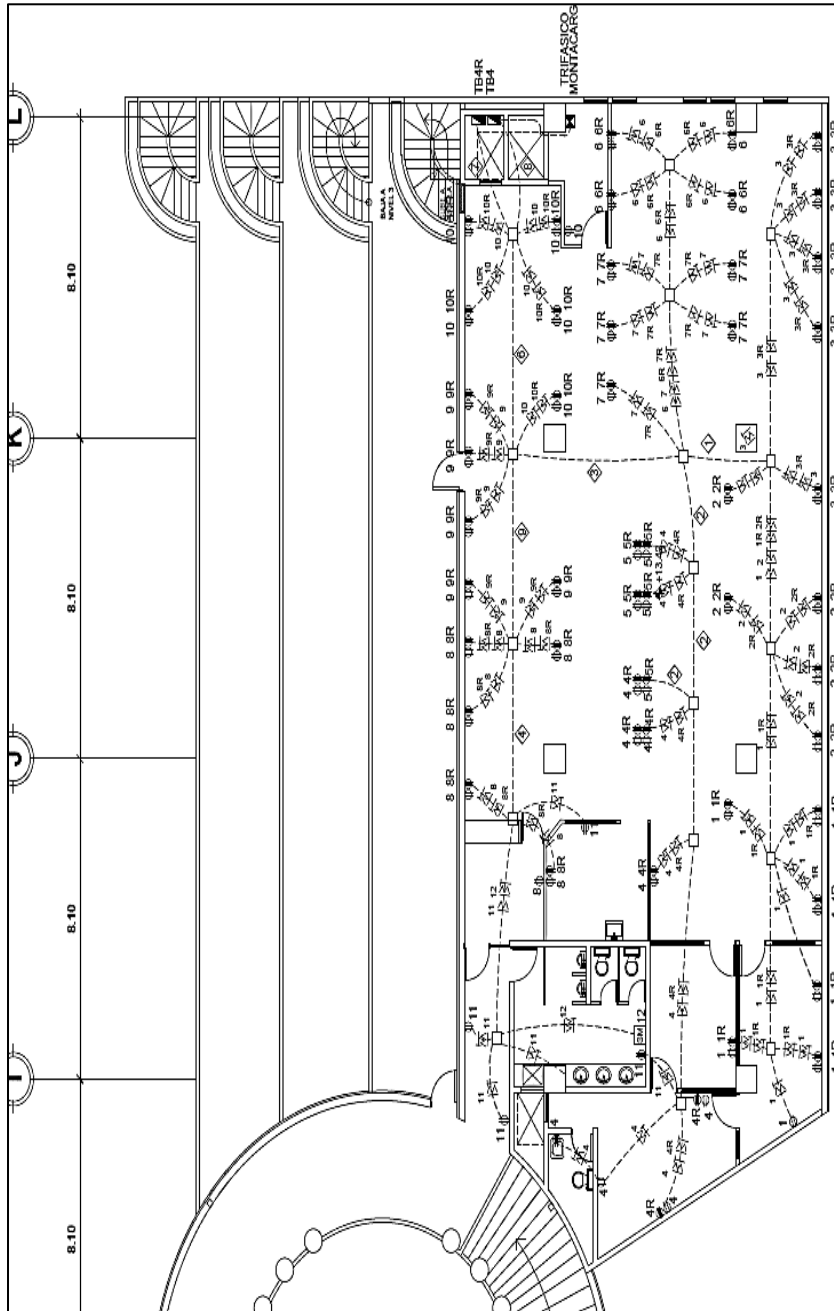


Anexo 7. **Planta de instalación eléctrica fuerza 4to nivel ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



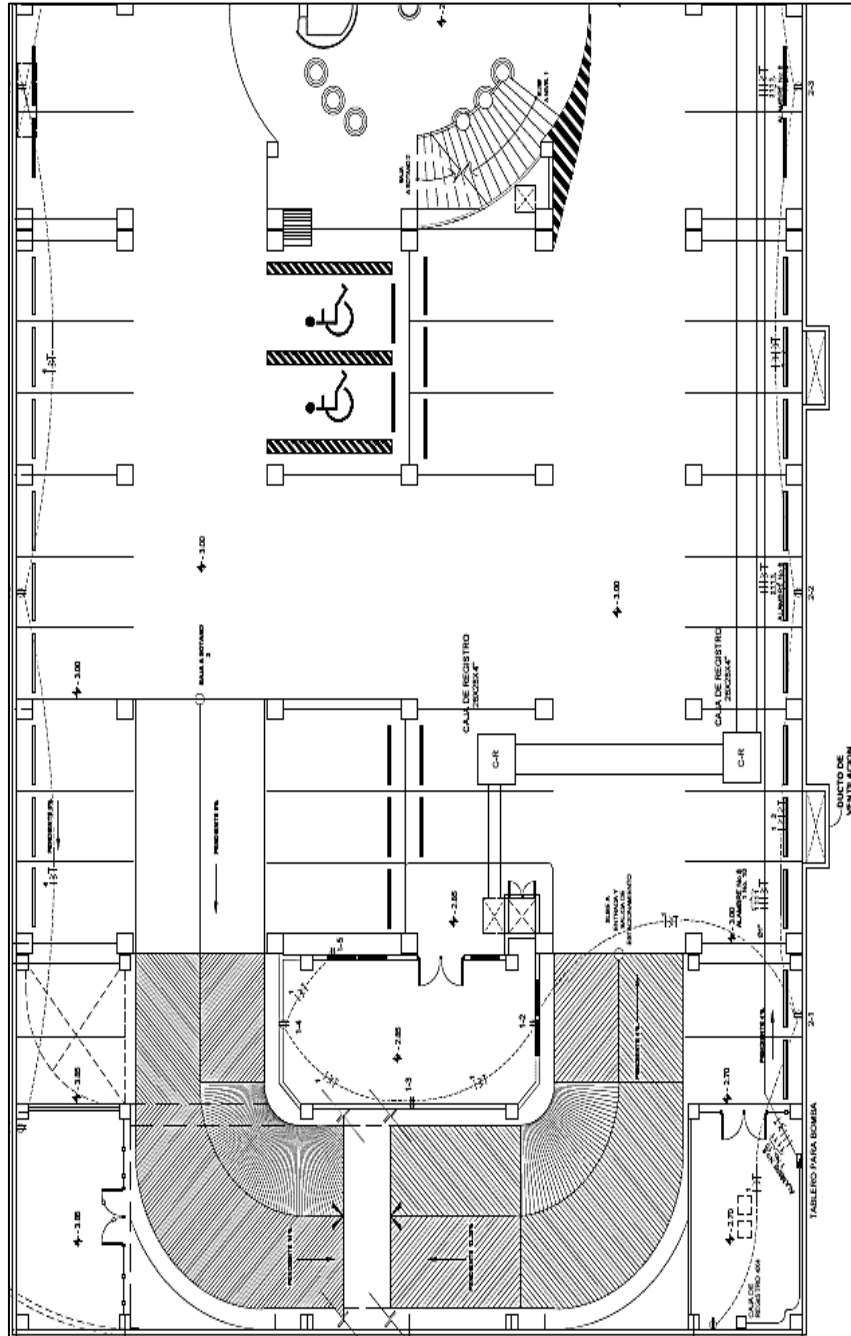
Fuente: DISERSA.

Anexo 8. **Planta de instalación eléctrica fuerza 4to nivel ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



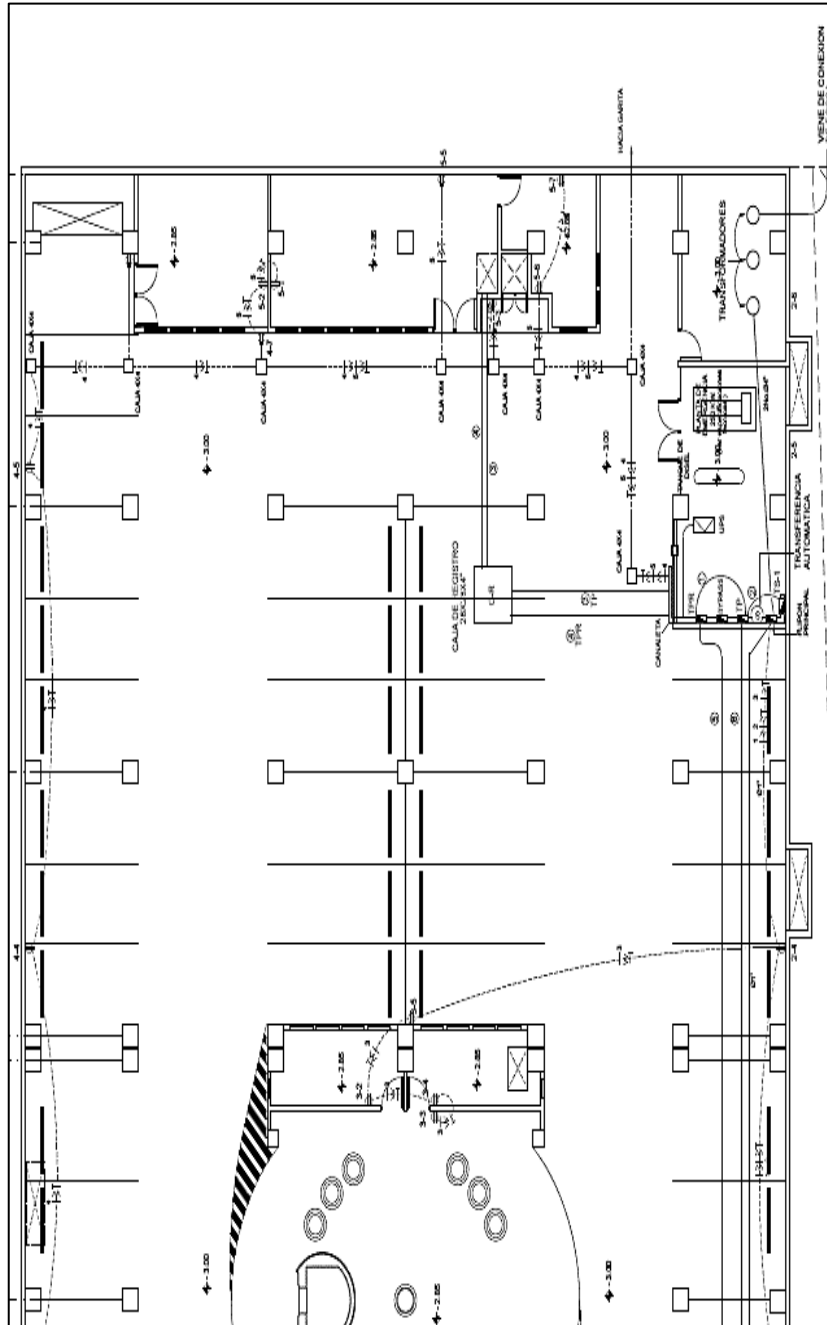
Fuente: DISERSA.

Anexo 9. **Planta de instalación eléctrica fuerza sótano 1 ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



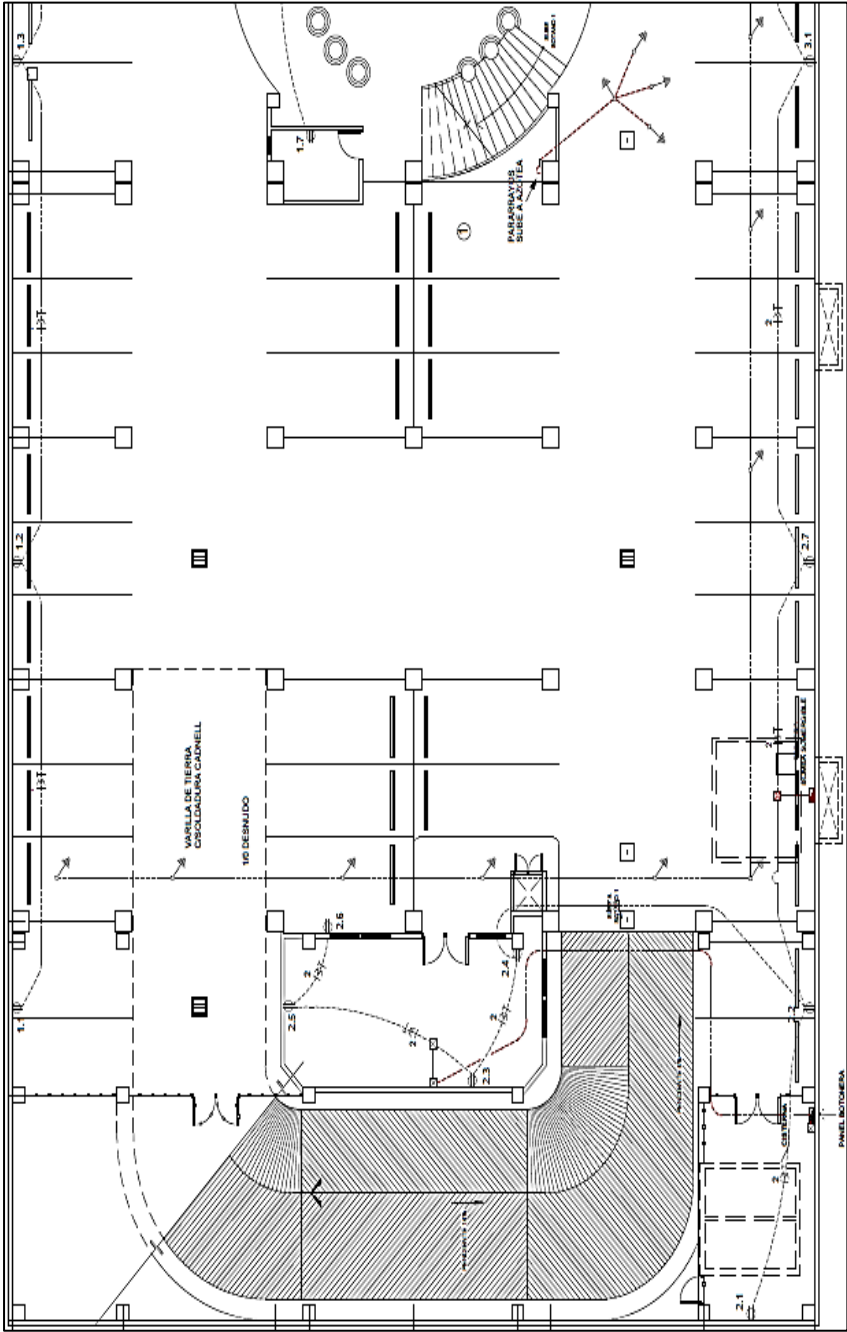
Fuente: DISERSA.

Anexo 10. **Planta de instalación eléctrica fuerza sótano 1 ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



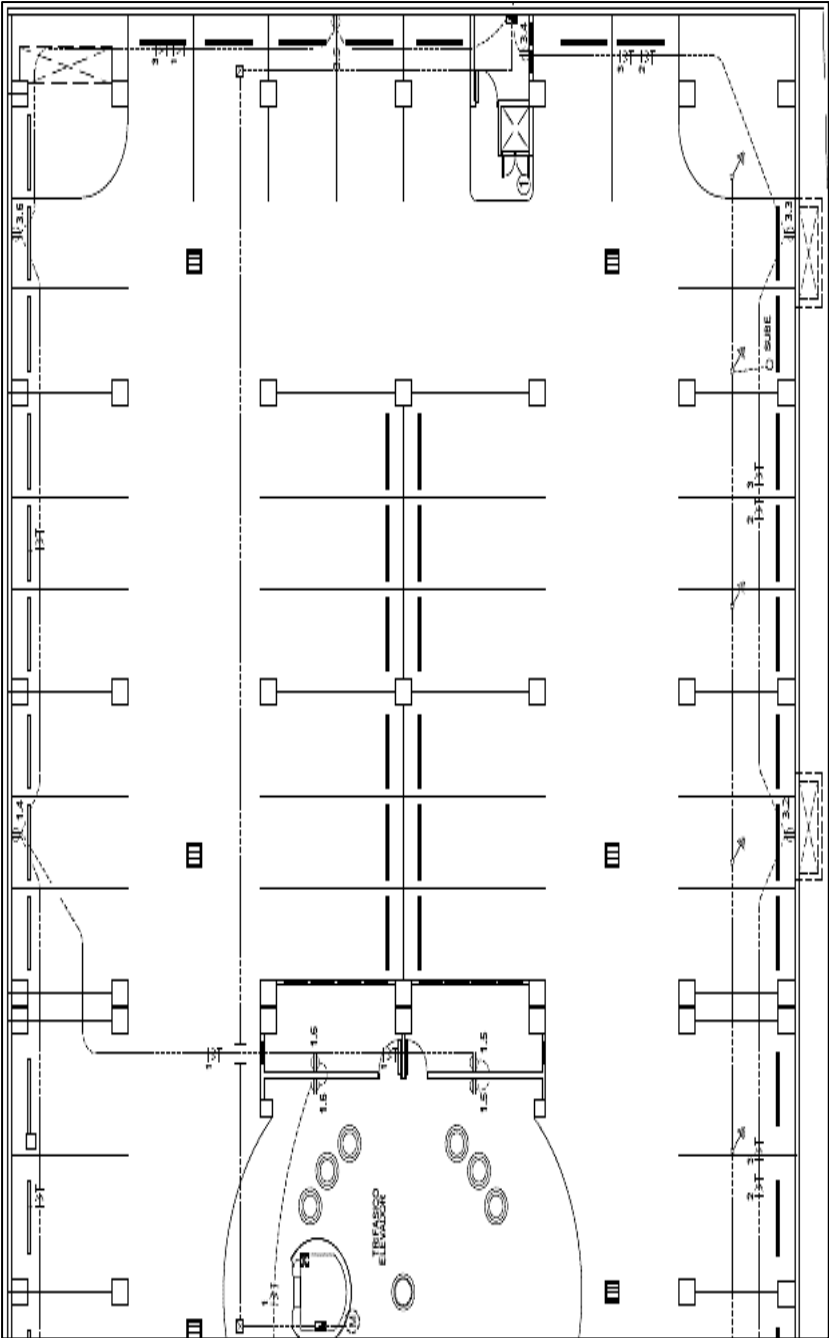
Fuente: DISERSA.

Anexo 11. **Planta de instalación eléctrica fuerza sótano 2 ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



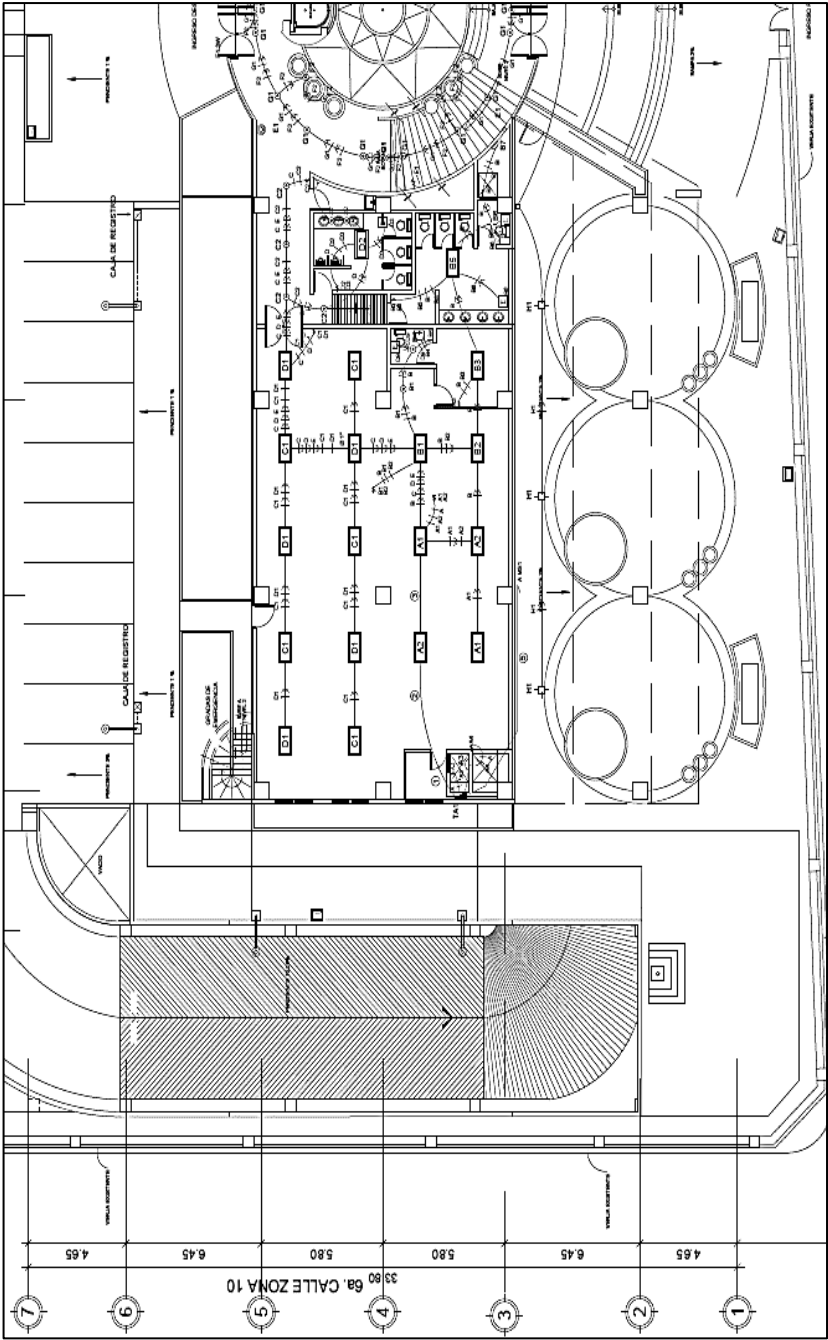
Fuente: DISERSA.

Anexo 12. **Planta de instalación eléctrica fuerza sótano 2 ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



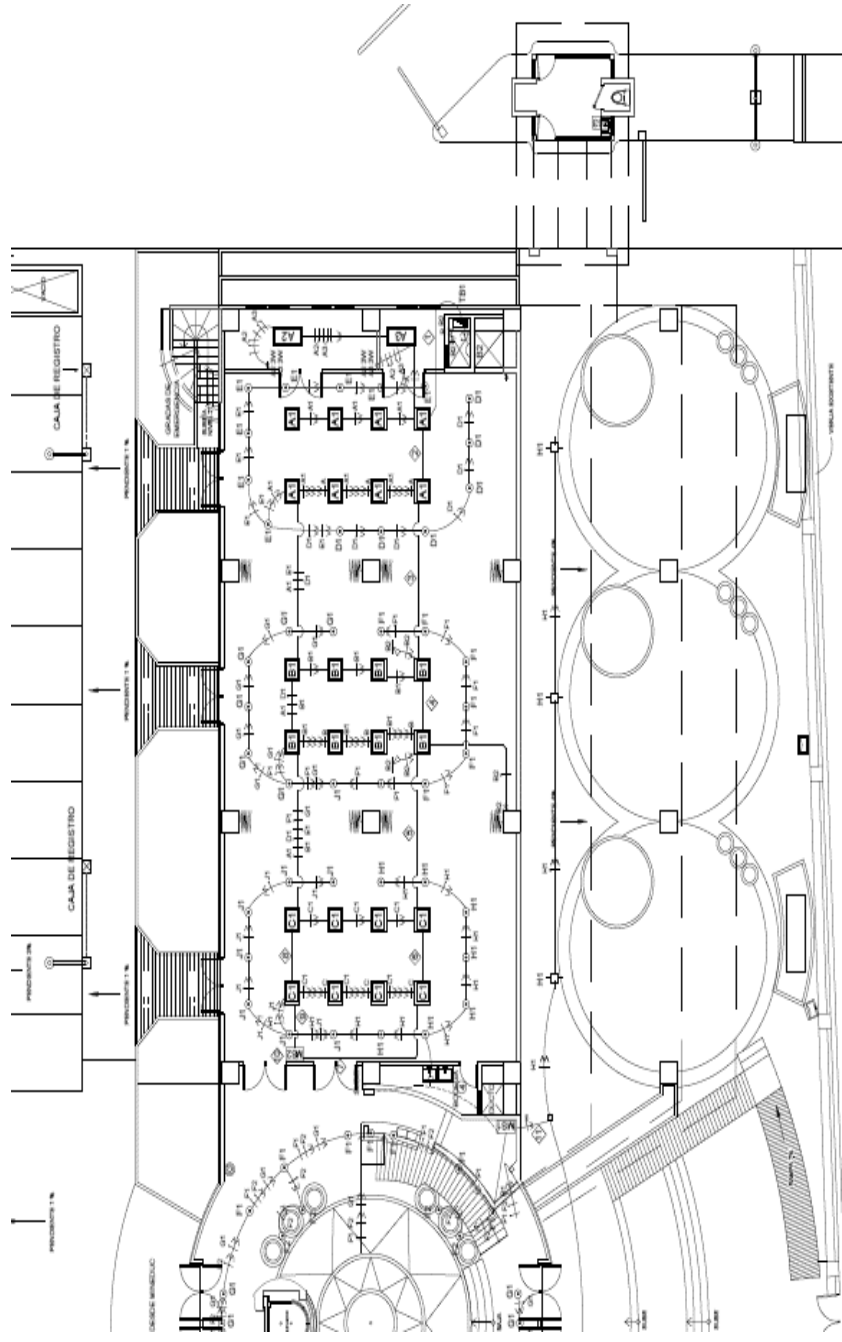
Fuente: DISERSA.

Anexo 13. **Planta de instalación eléctrica iluminación 1er nivel ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.

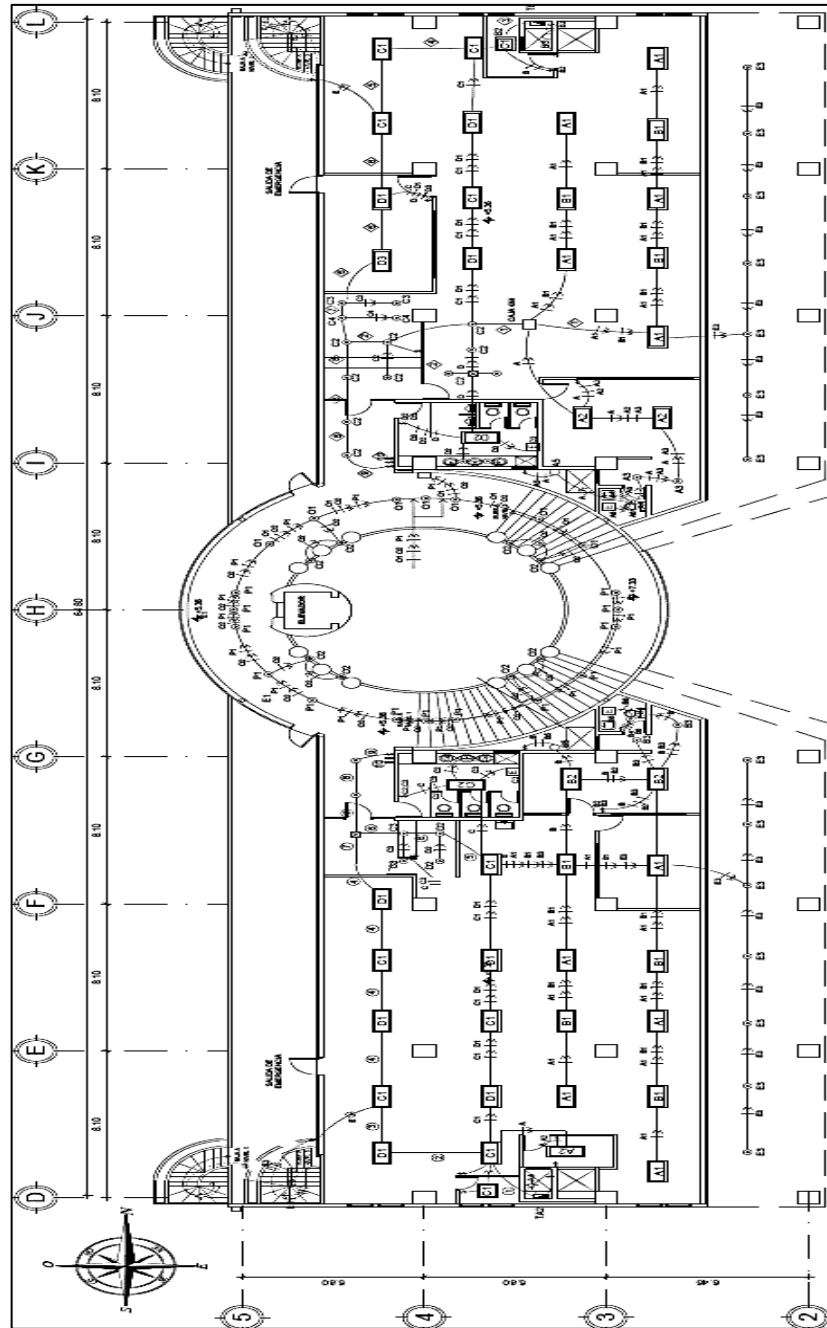
Anexo 14. **Planta de instalación eléctrica iluminación 1er nivel ala norte del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.

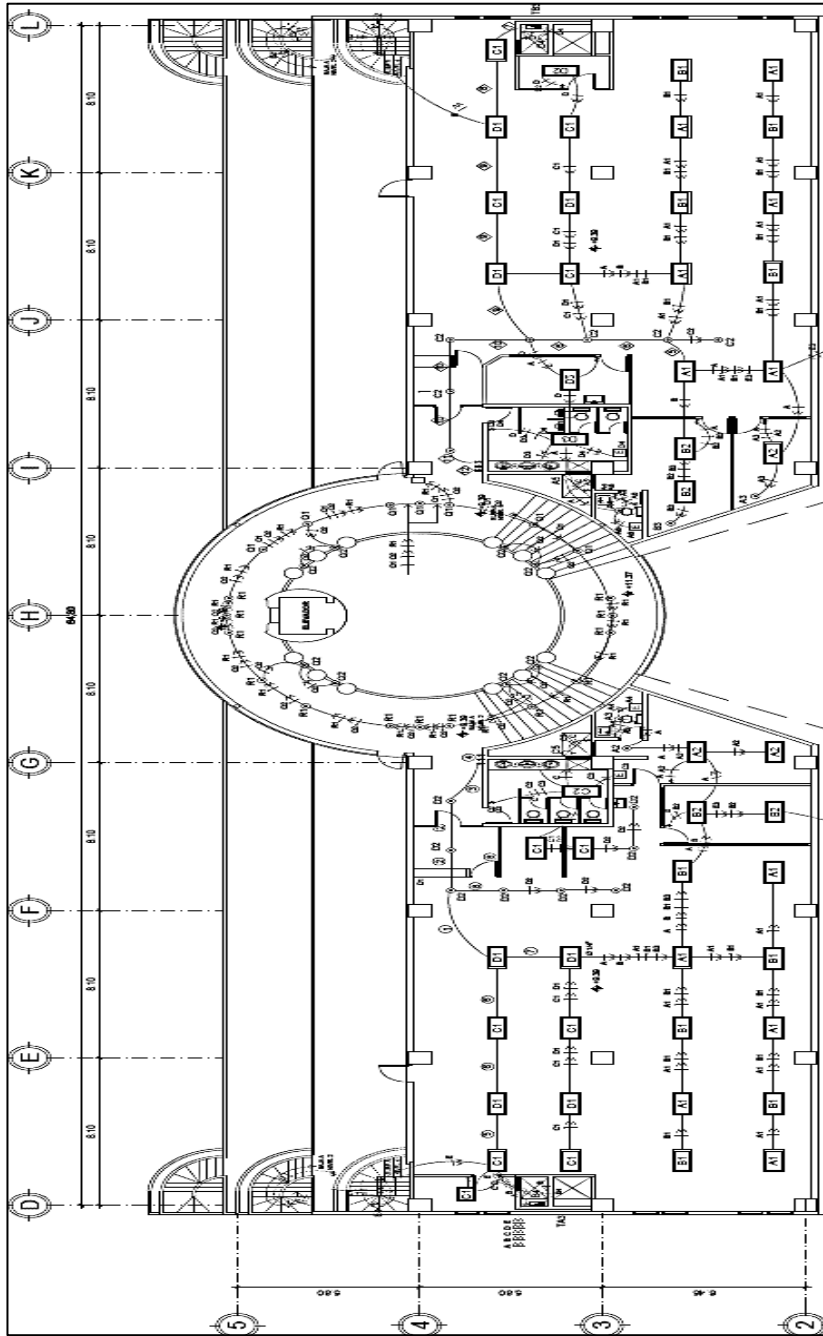


Anexo 15. **Planta de instalación eléctrica iluminación 2do nivel del edificio 2 del MINEDUC**



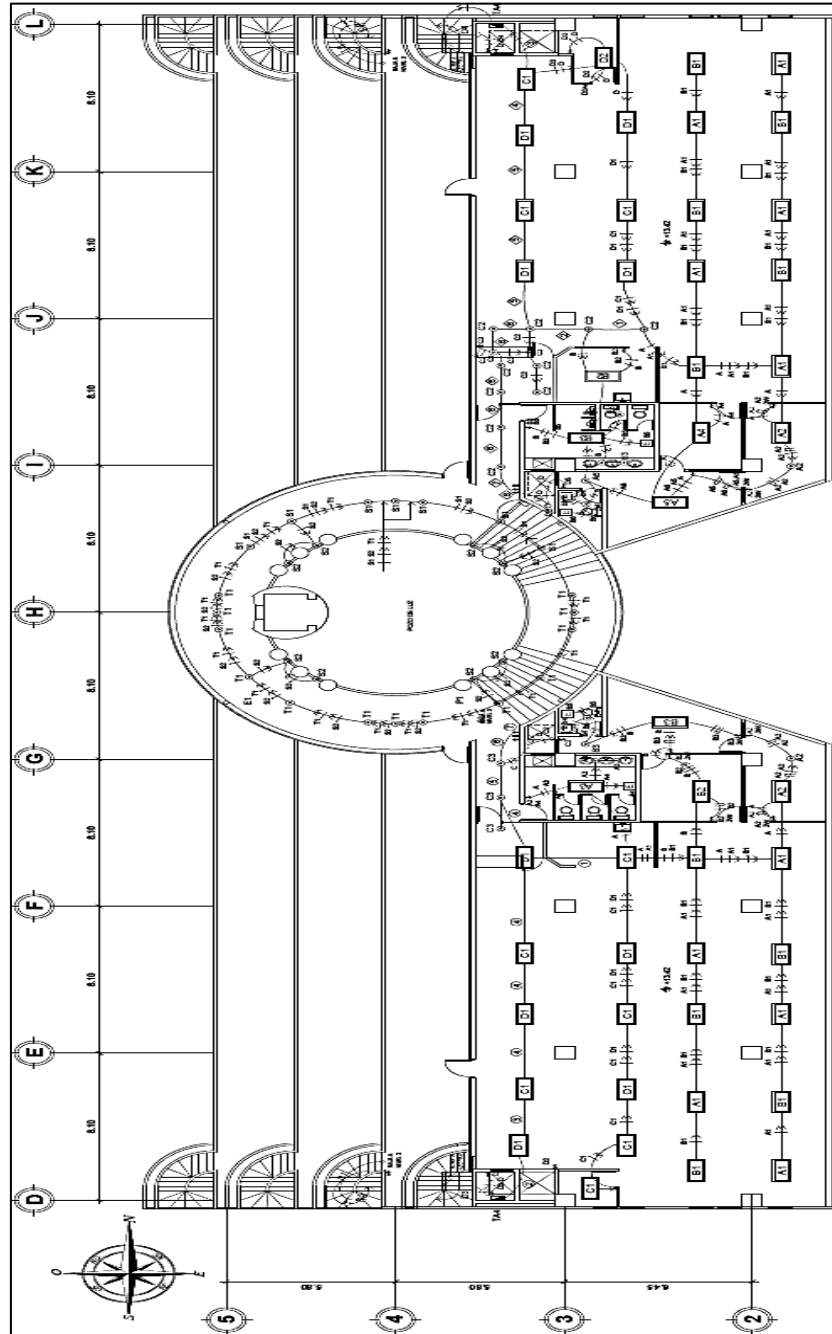
Fuente: DISERSA.

ANEXO 16. **Planta de instalación eléctrica iluminación 3er nivel del edificio 2 del MINEDUC**



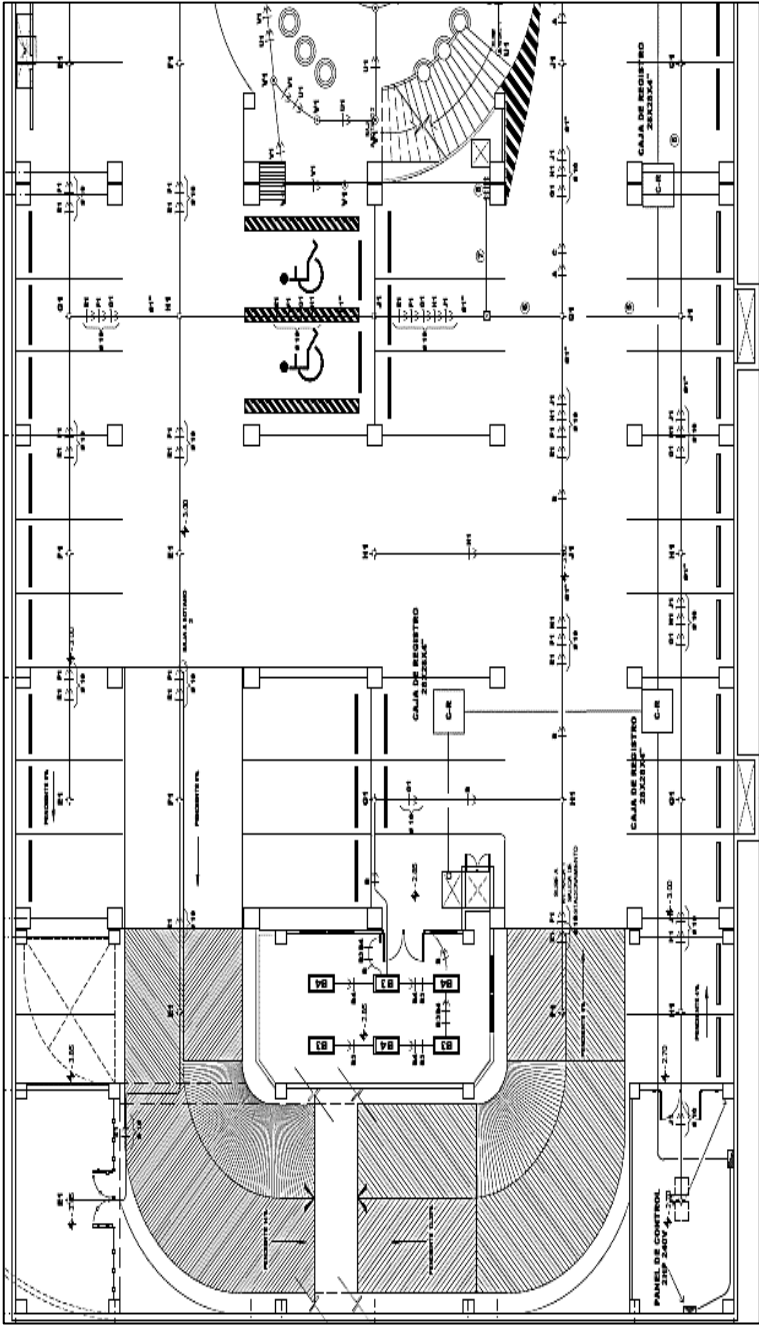
Fuente: DISERSA.

Anexo 17. **Planta de instalación eléctrica de iluminación 4to nivel del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.

Anexo 18. **Planta de instalación eléctrica de iluminación Sótano 1 ala sur del edificio 2 del MINEDUC**



Fuente: DISERSA.