



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

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -  
MINFIN-, A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-**

**Juan Francisco García Morales**

Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -  
MINFIN-, A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN FRANCISCO GARCÍA MORALES**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ALBERTO NAVARRO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Amando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS - MINFIN-, A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con fecha 16 de noviembre de 2018.

**Juan Francisco García Morales**

Guatemala 13 de enero 2020

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería USAC  
Presente.

Estimado Ingeniero Argueta

Por este medio hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante Juan Francisco García Morales CUI 2432 56140 0101, registro académico 78 03333 con título: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -MINFIN- A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-, y considerando que mismo cumple a cabalidad con los objetivos propuestos al momento de su aprobación, tanto el estudiante en su calidad de autor, como el suscrito en su calidad de Asesor Nombrado nos hacemos responsables del contenido del trabajo de graduación.

Por lo tanto, me permito remitirlo a su persona, para que se sirva continuar con el trámite correspondiente.

Atentamente,



Ingeniero Carlos Alberto Navarro Fuentes  
Asesor Nombrado

**Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes**  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 8339

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 06 de julio de 2021.  
Ref.EPS.DOC.271.07.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

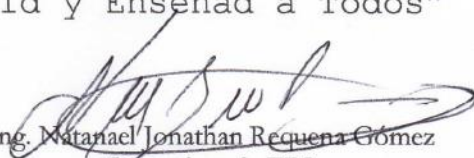
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Juan Francisco García Morales** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **7803333** y CUI **2432 56140 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -MINFIN- A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - MEM-"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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



c.c. Archivo  
NJRG/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala 06 de julio de 2021.  
**Ref.EPS.D.114.07.2021.**

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -MINFIN- A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Juan Francisco García Morales**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y el Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

/ra



REF. EIME 71. 2021.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JUAN FRANCISCO GARCÍA MORALES titulado; ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS-MINFIN- A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**



**GUATEMALA, 15 DE ABRIL 2021.**



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

LNG.DECANATO.OI.232.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN EL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CENTRAL DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS -MINFIN-, A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM-**, presentado por: **Juan Francisco García Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Único y Trino, fuente de bondad y misericordia.
<b>Mis padres</b>	Candelaria García, Adela Guadalupe Morales Juárez y Ángel Arnulfo García.
<b>Mi esposa</b>	Consuelo de Jesús Estrada Arévalo.
<b>Mis hijos</b>	María Teresa, Andrea Sofía, José Manuel y Carlos Fernando García.
<b>Mi familia</b>	María Rosa, Juan Arnulfo, María Rosalina, Felipe Antonio, María Candelaria y Luis Felipe.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de estudio.

**Facultad de Ingeniería**

Por sus enseñanzas académicas.

**Mis amigos**

José García, Andrea García, Teresa García  
Oscar Morales, Mario Castellanos y Werner  
Urizar.

**Ministerio de Finanzas  
Públicas -MINFIN-**

Por permitir la realización de este proyecto; a  
todo el personal administrativo y de  
mantenimiento, en especial al ingeniero Pedro  
López.

**Ministerio de Energía  
y Minas -MEM-**

En especial a los ingenieros Gabriel Velásquez,  
Luis Lepe y Christian Samayoa.

**Asesores de la unidad  
de EPS ingeniería**

En especial a los ingenieros Carlos Alberto  
Navarro Fuentes, Kenneth Estrada y Natanael  
Requena.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XXI
GLOSARIO .....	XXIII
RESUMEN.....	XXXI
OBJETIVOS.....	XXXV
INTRODUCCIÓN .....	XXXVII
1. GENERALIDADES DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS (MINFIN).....	1
1.1. Historia .....	1
1.2. Misión .....	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Valores .....	2
1.5. Estructura organizacional .....	2
1.6. Organigrama.....	3
2. PREFACTIBILIDAD, MARCO JURÍDICO Y NORMATIVAS.....	5
2.1. Concepto de prefactibilidad .....	5
2.2. Marco Jurídico Nacional del Subsector Eléctrico.....	6
2.2.1. Política Energética 2013-2027 .....	6
2.2.2. Plan Nacional de Energía 2017 – 2032 .....	7
2.2.3. Decreto No. 1523 del Congreso de la República.....	9
2.2.4. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003 y su reglamento Acuerdo Gubernativo No. 211-2005 .....	9

2.2.5.	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto -productores con excedentes de energía, NTGDR-RESOLUCIÓN CNEE-227-2014.....	10
2.3.	Normativas ISO y los Sistemas de Gestión Administración de la Energía.....	10
2.3.1.	ISO 50001 .....	11
2.3.2.	ISO 50002 .....	13
3.	EL SISTEMA ELÉCTRICO: CONCEPTO, OBJETIVOS Y COMPONENTES CON ÉNFASIS EN LAS INSTALACIONES DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS (MINFIN) .....	15
3.1.	Concepto sistema eléctrico .....	15
3.2.	Objetivos de las instalaciones eléctricas .....	15
3.2.1.	Eficiencia y economía .....	15
3.2.2.	Seguridad y economía .....	16
3.2.3.	Confiabilidad, economía y monitoreo .....	17
3.2.4.	Flexibilidad, adecuación y economía.....	18
3.2.5.	Accesibilidad, mantenimiento y monitoreo .....	18
3.3.	Componentes principales de instalaciones eléctricas. Las instalaciones del edificio Ministerio de Finanzas Públicas (MINFIN) y sus características principales .....	19
3.3.1.	Acometida principal en media tensión (13,2 kV) .....	19
3.3.2.	Centro de transformación .....	21
3.3.3.	Sistema de alimentación de emergencia (Grupo Electrógeno-Prime) .....	24
3.3.4.	Sistema de alimentación ininterrumpido.....	26
3.3.5.	Tableros de distribución, adecuación, seguridad, confiabilidad, flexibilidad y mantenimiento.....	28

3.3.6.	Protecciones eléctricas y coordinación de protecciones .....	30
3.3.7.	Interruptor de media tensión, combinado con fusibles .....	39
3.3.8.	Alimentadores/conductores .....	40
3.3.9.	Conductos y canalizaciones .....	41
3.3.9.1.	Conducto metálico (RMC e IMC) .....	42
3.3.9.2.	Tubo metálico para instalaciones eléctricas (EMT).....	42
3.3.9.3.	Conducto metálico flexible (FMC) y (LFMC) .....	43
3.3.9.4.	Conducto rígido de poli-vinil clorhídrico (PVC) .....	44
3.3.9.5.	Bandejas porta cables .....	44
3.3.9.6.	Canaletas metálicas y no metálicas.....	45
3.3.9.7.	Ducto barra ( <i>Busway</i> ) .....	46
3.4.	Sistema de puesta a tierra física .....	47
3.5.	Sistema de protección contra rayos y redes a tierras para alta.....	53
4.	TRABAJO DE CAMPO: UBICACIÓN, ENVOLVENTE, DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN, CENSO DE CARGAS y PARETO DE CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE CARGA .....	55
4.1.	Ubicación, altitud y orientación del edificio Ministerio de Finanzas Públicas -MINFIN-.....	55
4.2.	Envolvente arquitectónica del edificio.....	56
4.3.	Descripción del edificio de Finanzas Públicas MINFIN.....	59
4.4.	Censo de cargas del edificio del Ministerio de Finanza Públicas (MINFIN) .....	63

5.	USO DE LA ENERGÍA: PARETO DE USO DE ENERGÍA POR TIPO DE CARGA INSTALADA .....	71
6.	MEDICIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN OPERACIÓN DEL EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZA PÚBLICAS (MINFIN) .....	81
6.1.	Punto de acople y diagrama unifilar .....	81
6.2.	Diagnóstico de parámetros eléctricos en función del concepto de calidad de energía en las instalaciones eléctricas principales del MINFIN .....	85
6.2.1.	Análisis del rendimiento de los transformadores secos .....	85
6.2.2.	Conceptos y normativas a considerar para el análisis de la calidad de energía en las instalaciones del edificio del MINFIN.....	91
6.2.2.1.	Voltajes (tensión) de alimentación o suministro .....	93
6.2.2.2.	Voltaje nominal del sistema: ( $V_n$ ) .....	93
6.2.2.3.	Voltaje declarado de suministro: ( $V_c$ ) ...	93
6.2.2.4.	Condición de operación normal .....	94
6.2.2.5.	Variaciones de voltaje .....	94
6.2.2.6.	Huecos y/o depresiones de voltaje: (SAG) .....	94
6.2.2.7.	Interrupción de voltaje .....	95
6.2.2.8.	Fluctuaciones de voltajes, (parpadeo o flicker) .....	96
6.2.2.9.	Sobretensiones y/o crestas ( <i>swell</i> ) .....	96
6.2.2.10.	Desbalance de tensión (desequilibrio) .....	98

	6.2.2.11.	Distorsión total armónica de voltaje .....	98
	6.2.2.12.	Frecuencia del voltaje de suministro....	99
	6.2.2.13.	Distorsión armónica de la corriente generada por el usuario, Norma NTSD Incidencia del Usuario en la calidad del producto.....	100
	6.2.2.14.	Factor K.....	101
6.3.		Resultados del comportamiento de los diferentes parámetros eléctricos registrados en las instalaciones del MINFIN, involucrados en el concepto de calidad de energía.	101
	6.3.1.	Voltaje o tensión de suministro a subestación MINFIN .....	101
	6.3.2.	Variaciones registradas en el voltaje (tensión) de suministro en el MINFIN .....	109
	6.3.3.	Parpadeo ( <i>flicker</i> ) .....	115
	6.3.4.	Interrupción del voltaje de suministro .....	118
	6.3.5.	Resumen de eventos, curvas ITIC.....	121
	6.3.6.	Corriente de la carga y potencia activa.....	124
	6.3.7.	Desequilibrio (desbalance) en la tensión suministrada y desequilibrio en las corrientes de la carga y registro de las corrientes .....	129
	6.3.8.	THD <sub>v</sub> , THD <sub>i</sub> y el factor K en transformador n°2, subestación MINFIN .....	137
	6.3.9.	Factor K, transformadores n°1 y n°2 de subestación.....	145
	6.3.10.	Frecuencia del voltaje de suministro.....	147
	6.3.11.	Sistema de puesta a tierra en el MINFIN .....	148
	6.3.12.	Sistema de pararrayos en el MINFIN.....	153
6.4.		Diagnóstico físico de subestación .....	154



6.5.	Diagnóstico físico en instalaciones varias .....	155
6.6.	Equipos de medición .....	157
7.	EFICIENCIA ENERGÉTICA, ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA Y GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	161
7.1.	Razones para la administración de la energía .....	161
7.2.	Conceptos básicos .....	161
7.3.	Objetivos de la eficiencia energética según el Cuarto Eje de Acción de la Política Energética 2013-2027 y/o Segundo Eje del Plan Nacional de Energía 2017-2032.....	163
7.4.	Sistema de Gestión de la Energía (SGE <sub>n</sub> ) .....	163
7.4.1.	Indicadores de desempeño energético (IDE <sub>ns</sub> ).....	164
7.4.2.	Compromiso de Alta Dirección para la implementación del SGE .....	165
7.4.3.	Política energética.....	165
7.4.3.1.	Ejemplo de un enunciado para política energética .....	166
7.4.4.	Planificación del sistema de gestión energética (SGE) .....	166
7.5.	Datos del consumo de energía eléctrica y potencia (MINFIN) desde el 2015 al 2018 .....	167
7.6.	Análisis comparativo de datos ( <i>Benchmarking</i> ), contabilidad energética y contabilidad financiera .....	170
7.7.	Análisis de los gráficos obtenidos de los datos de consumo y tendencias de consumo de energía: consumo total, costo total, costo unitario .....	172
7.8.	Análisis de datos y tendencia de la demanda: consumo total, costo total, costo unitario.....	176

7.9.	Análisis de gráfico elaborado con los datos del factor de potencia obtenidos de facturación: valor y costo por multa ...	180
7.10.	Análisis de datos perfil de carga de potencia activa requerida en los transformadores n°2 y n°1 de la subestación .....	181
7.11.	Hábitos de consumo (encuesta) .....	185
7.11.1.	Propuestas de mejora con base en los resultados de la encuesta .....	186
7.11.2.	Propuesta concreta para eficiencia energética, con respecto al consumo en modo de espera o consumo en <i>Standby</i> .....	190
7.12.	Gases de efecto invernadero (GEI) .....	201
8.	PROPUESTA TÉCNICA: USO TECNOLOGÍAS PARA LOGRAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MINFIN .....	203
8.1.	Propuesta: uso de tecnología led para cambio de luminarias .....	204
8.1.1.	Diseños propuestos .....	213
8.1.1.1.	Edificio La Torre.....	213
8.1.1.2.	Edificio El Anexo.....	216
8.1.1.3.	Parqueos y áreas de circulación vehicular en sótanos.....	218
8.2.	Propuesta: uso de fuente renovable de generación de energía eléctrica/ paneles fotovoltaicos.....	221
8.2.1.	Tecnología fotovoltaica .....	222
8.2.2.	Radiación solar .....	225
8.2.3.	Ubicación del proyecto MINFIN .....	227
8.2.4.	Determinación del área disponible para instalación y cantidad propuesta de paneles fotovoltaicos.....	229

8.3. Evaluación de la rentabilidad de la propuesta.....	235
CONCLUSIONES.....	245
RECOMENDACIONES .....	251
BIBLIOGRAFÍA.....	255

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN .....	4
2.	Acometida en media tensión con medición en poste.....	20
3.	Equipo de medición en media tensión .....	20
4.	Subestación unitaria ubicada en sótano 3 .....	22
5.	Transformador seco, banco 8852 .....	22
6.	Transformador seco (2).....	23
7.	Placa de transformadores secos, subestación MINFIN .....	24
8.	Grupo electrógeno (Planta de Emergencia).....	25
9.	Datos de Placa del Grupo Electrógeno -MINFIN- .....	26
10.	Unidades del sistema de alimentación ininterrumpida .....	27
11.	Tablero de derivación ( <i>bypass</i> ).....	28
12.	Tablero principal de emergencia (TD E-1) alimentado desde el transformador n°. 2+ .....	30
13.	Interruptores tipo ACB, utilizados para transferencia automática .....	31
14.	Interruptor tipo MCCB (Norma IEC 60947-2) <i>Molded Case Circuit Breaker</i> , Serie VL 250 marca Siemens, ajustable.....	32
15.	Interruptor tipo MCCB (Norma IEC 60947-2) <i>Molded Case Circuit Breaker</i> , serie VL 250 marca Siemens, sin ajuste y MCCB's General Electric .....	33
16.	Datos de especificación IEC 60 947-2 (EN 60947-2) para interruptor tipo ACB, serie ETU 25B, marca Siemens.....	35
17.	Set para ajuste de disparo (curvas) para coordinación de protecciones del interruptor tipo ACB serie ETU 25B marca Siemens.....	36

18.	Set de ajuste de disparo (curva) para coordinación de protecciones del interruptor tipo MCCB serie VL 250 marca Siemens .....	37
19.	Interruptor MCCB serie COD, con una corriente máxima de operación de 70 amperios y una corriente de interrupción simétrica clasificación NEMA de 65 kA .....	38
20.	Interruptor combinado con fusibles de media tensión en subestación MINFIN .....	40
21.	Conducto metálico flexible, se utiliza para la conexión de equipos de A/C.....	43
22.	Bandeja porta cable en recinto de subestación sótano 3 .....	45
23.	Canaletas metálicas .....	46
24.	Ductos barra ubicados en la subestación .....	47
25.	Registro de sistema de puesta a tierra en subestación MINFIN .....	48
26.	Esquema de un sistema de puesta a tierra correcto, el punto de unión entre neutro – tierra está aguas abajo del interruptor principal.....	49
27.	Sistema de puesta a tierra incorrecto, la unión neutro-tierra está aguas arriba del interruptor principal, provoca corrientes en conductores de tierra .....	50
28.	Sistema de puesta a tierra incorrecto, unión neutro y tierra aguas arriba y electrodos no equipotenciales, provoca corrientes en conductores de tierra y se dan retornos por tierra entre sistemas de electrodos .....	51
29.	Sistema de puesta a tierra incorrecto, unión de neutro-tierra aguas arriba y electrodos no equipotenciales, provoca corrientes en cableado de datos, en conductores de tierra y existe retorno por tierra.....	52
30.	Puntas activas, pararrayos PDC.....	54
31.	Sistema pasivo, puntas Franklin.....	54
32.	Envolvente del edificio del MINFIN, fachada oeste, mampostería y vidrio .....	57
33.	Envolvente edificio La Torre fachada este, mampostería y vidrio.....	58

34.	Envolvente edificio Anexo y La Torre, fachada noreste, mampostería y vidrio .....	58
35.	Cuerpos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, ubicados bajo nivel de calle, (sótanos y rampa de acceso) .....	61
36.	Planta de nivel típico del cuerpo 1 (Torre) y del cuerpo 2 (Anexo) oficinas y vestíbulos de atención o recepción .....	62
37.	Gráfica de Pareto (capacidad instalada versus tipo de carga instalada).. .....	68
38.	Medición en consumo de energía en subestación 1, (servicio normal torre) .....	71
39.	Consumo de energía al tablero TDE 1 (ramal 1 de subestación 2) .....	73
40.	Consumo de energía al tablero Anexo (ramal 2 de subestación 2) .....	74
41.	Consumo de energía grupo de 6 ascensores .....	75
42.	Consumo de energía equipo de bombeo .....	77
43.	Consumo de energía ducto nuevo (equipo de A/C) .....	78
44.	Diagrama de Pareto, uso de la energía .....	79
45.	Punto de acople común, (PCC) <i>Point of Common Coupling</i> .....	82
46.	Sector ampliado del diagrama unifilar, subestación unitaria, indican punto de medición (M) .....	83
47.	Diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, enfatizando los equipos y ramales más importantes .....	84
48.	Demanda, valor máximo 279,9 kWh/h (kW), transformador n°1 de subestación MINFIN .....	88
49.	Demanda, valor máximo 268,3 kWh/h (kW), transformador n°2 de subestación, ramal alimentador de TD E-1 .....	89
50.	Demanda, valor máximo 268,3 kWh/h (kW), transformador n°2 de subestación, ramal alimentador de TD E-1 .....	90
51.	Voltaje fase-neutro, transformador n°2.....	103

52.	Voltaje en el neutral, transformador n°2.....	104
53.	Voltaje en entre fases, transformador n°2.....	105
54.	Voltaje fase-neutral, transformador n°1 .....	106
55.	Forma de onda voltaje fase-neutral, transformador n°1.....	106
56.	Voltaje neutral, transformador n°1 .....	107
57.	Voltaje entre fases, transformador n°1.....	108
58.	Evento: hueco de tensión que cuza el límite inferior, (SAG), transformador n°2, subestación MINFIN.....	109
59.	Evento: hueco de tensión que cruza el límite inferior, (SAG), transformador n°2, subestación MINFIN.....	110
60.	Evento: hueco de voltaje que cruza el límite inferior, (SAG), transformador n° 2, subestación MINFIN.....	111
61.	Evento: hueco de voltaje que no traspasa límite .....	112
62.	Evento: variación del voltaje en transformador n°2.....	113
63.	Evento: variación del voltaje, forma de onda, transformador n°2, en la fase C .....	114
64.	Parpadeo en transformador n°2.....	116
65.	Parpadeo y voltaje en transformador n°2.....	117
66.	Evento: interrupción de voltaje de suministro en transformador n°1.....	118
67.	Evento: interrupción de voltaje de suministro, forma de onda, transformador n°1 .....	119
68.	Evento: interrupción del voltaje de suministro en el transformador n°1, forma de onda al inicio del evento .....	120
69.	Evento: interrupción del voltaje de suministro en el transformador n°1, forma de onda al final del evento.....	121
70.	Curva ITIC, transformador n°2.....	123
71.	Curva ITIC, transformador n°1 (resumen de eventos) .....	124
72.	Comportamiento de la corriente y la potencia activa, transformador n°2.....	125

73.	Comportamiento de la corriente en el neutral, transformador n°2.....	126
74.	Comportamiento de la corriente y la potencia activa, transformador n°1.....	127
75.	Comportamiento de la corriente en el neutral, transformador n°1.....	128
76.	Desequilibrio en voltaje transformador n°2.....	130
77.	Desequilibrio en corrientes de carga transformador n°2 .....	131
78.	Desequilibrio en voltaje de suministro transformador n°1 .....	132
79.	Desequilibrio en corrientes de carga, transformador n°2 .....	133
80.	Transformador n°1, corrientes fases .....	134
81.	Área ampliada de registro de medición de corrientes de fase .....	135
82.	Forma de onda de las corrientes de fase.....	135
83.	Área ampliada de registro de medición en período viernes por la noche y sábado por la mañana.....	136
84.	Transformador n°2, corrientes de fase .....	138
85.	Transformador n°2, forma de onda .....	138
86.	THD <sub>v</sub> transformador n°2, subestación MINFIN.....	140
87.	THD <sub>i</sub> transformador n°2, subestación MINFIN.....	141
88.	THD <sub>v</sub> en el neutral del transformador n°2.....	142
89.	Comportamiento de voltaje, corriente y THD <sub>v</sub> en el neutral transformador n°2.....	143
90.	Factor K en transformador n°2 de la subestación MINFIN .....	145
91.	Factor K en conductor neutral de transformador n°2, muestra la relación entre factor K, THD <sub>i</sub> y corriente .....	146
92.	Frecuencia del voltaje de suministro.....	147
93.	Conexión entre barra de neutro y barra de tierra en subestación, (neutro efectivamente conectado a Tierra) .....	150
94.	Esquema de conexión: neutral efectivamente conectado a tierra en subestación MINFIN. No hay corrientes en conductores de tierra .....	151
95.	Caja de registro y mantenimiento .....	152



96.	Medición de tierra en subestación unitaria en cable de unión de barra de tierra a malla de tierra .....	152
97.	Medición de tierra en caja de registro de malla .....	153
98.	Pararrayos PDC sobre terraza cuarto de máquinas MINFIN.....	154
99.	Cuarto de máquinas de ascensores en azotea edificio La Torre, en buenas condiciones de operación .....	155
100.	Cuarto de bombeo en nivel 15, edificio La Torre, en buenas condiciones de operación.....	156
101.	Tableros ubicados en sótanos, deben revisarse, ordenarse y colocarles las tapaderas .....	156
102.	Tableros ubicados en cuarto de estación de bombeo, cisterna, sótano 3, deben revisarse, ordenarse y colocarles las tapaderas.....	157
103.	Equipo Dranetz HD PQ, utilizado en salidas de transformadores n°1 y 2 de subestación, (PCC) y otros ramales importantes.....	158
104.	Equipo AEMC, PEL 105, utilizado en mediciones realizadas en niveles 7, 12, y 15.....	159
105.	Medidor de energía en subestación, registra el consumo de energía, demanda de potencia y factor de potencia de transformadores n°. 1 y 2 .....	169
106.	Índice de la utilización de la energía (EUI) ( <i>Energy Utilization Index</i> ) ....	171
107.	Índice del costo de la energía (ECI), ( <i>Energy Cost Index</i> ).....	172
108.	Gráfico de consumo de energía eléctrica 2016 -2018 (datos anuales combinados) .....	173
109.	Gráfico de consumo de energía del 2015 al 2018 .....	174
110.	Gráfico consumo energía y costo del 2015 al 2018.....	174
111.	Gráfico comportamiento del costo unitario del kW-h y su impacto en el costo total (2015 al 2018) .....	175
112.	Gráfico de demanda registrada 2015 -2018 (datos combinados).....	177
113.	Gráfico de demanda registrada 2015 – 2018 .....	177

114.	Gráfico de demanda registrada y potencia contratada 2015 -2018 .....	178
115.	Gráfico de valor de factor de potencia y costo de multa generada .....	181
116.	Gráfico de perfil de carga en semana laboral durante el período de medición 18 al 26 de septiembre 2018, transformador n°2.....	182
117.	Gráfico de perfil de carga en fin de semana, durante el período de medición transformador n°2 .....	183
118.	Gráfico de perfil de carga en semana laboral durante el período de medición 23 marzo 2018 al 5 abril 2018, transformador n°1 .....	184
119.	Gráfico de perfil de carga en fin de semana durante el período de medición 23 mar 18 al 5 abril 2018, transformador n°1.....	184
120.	Consumo de energía en período de asueto Semana Santa, en el transformador n°1 (servicio normal) del miércoles 28 abril desde las 0:00 h para las 6:00 h del lunes 2 de abril. Consumo registrado: 2 262 kWh.....	192
121.	Consumo de energía horario nocturno, transformador n°1 de las 18:00 h del 2 abril 2018 a las 6:00 h del 3 de abril 2018. Consumo registrado: 593 kWh.....	193
122.	Comportamiento del consumo nivel 12, día/noche semana laboral + fin de semana, días: del 6/9/18 al 10/9/18 .....	193
123.	Comportamiento del consumo nivel 15, día / noche semana laboral sin fin de semana, días: del 10/9/18 al 12/9/18 .....	194
124.	Consumo de energía nivel 12, período fin de semana fuera de horario normal de trabajo de las 3:50 p. m. del 8/9/18 a las 1:50 a. m. 10/9/18 (37kWh) .....	195
125.	Consumo de energía nivel 12 período nocturno fuera de horario normal de trabajo, de las 9:15 p. m. del 6/9/18 a las 5:30 a. m. del 7/9/18 (12 kWh) .....	196
126.	Consumo de energía nivel 15 período nocturno fuera de horario normal de trabajo.....	197

127.	Consumo de energía nivel 7 período nocturno fuera de horario normal de trabajo.....	198
128.	Distribución actual de luminarias nivel 15, tipo de luminaria: empotrar en cielo falso, 2'x2', 2 tubos U de 32 watt c/u., tecnología fluorescente.....	206
129.	Iluminancia nivel 15: en el área central 250 lux de un ala, en áreas cercanas a ventanas lado sur 600 /400 lux y áreas cercanas a ventanas lado norte 900/1200 lux .....	207
130.	Distribución actual de luminarias nivel 12, tipo de luminaria, empotrada en cielo falso, 2'x2', 4 listones led (36 watt).....	208
131.	Iluminancia nivel 12: 200 lux en el área central de una ala y 650 lux en el área cercana a ventanas perimetrales del lado sur .....	209
132.	Distribución actual de luminarias, nivel 7, luminaria empotrada 2'x2', tipo pantalla led, (PLED's). 40 watt.....	210
133.	Iluminancia nivel 7: en el área central de un ala, 650 lux, en área cercana a ventanas lado sur 650 lux y en área cercana a ventanas lado norte, 1 400 lux.....	211
134.	Diseño para obtener 500 lux en el área de oficinas de un ala de un nivel típico de La Torre, con luminaria tipo panel led de 2 340 lumen, cantidad.....	214
135.	Luminaria propuesta: panel led (PLEDs) 2,340 lumen o similar .....	215
136.	Diseño de un área de parqueos de sótano 1 y 2, para obtener 100 lux de iluminancia promedio (iluminancia actual 50 lux) .....	219
137.	Luminaria propuesta: 2 listón led, 3637 lumen, o similar .....	220
138.	Obleas de silicio cristalino simple (mono).....	223
139.	Celdas solares de tecnologías diferentes .....	223
140.	Cartografía de radiación solar mundial .....	225
141.	Irradiación solar Guatemala y su potencial fotovoltaico.....	226
142.	Latitud/longitud, proyecto fotovoltaico MINFIN .....	227

143.	Datos con respecto a la ubicación del MINFIN .....	228
144.	Ubicación de paneles fotovoltaicos sobre terraza (techo), del edificio de La Torre .....	229
145.	Disponibilidad de uso de terraza edificio La Torre .....	230
146.	Ubicación de paneles fotovoltaicos sobre la terraza (techo); del edificio El Anexo.....	231
147.	Irradiación solar por mes.....	232
148.	Datos resumen de programa .....	234
149.	Gráfico de flujo de caja .....	240
150.	Ahorro de gases de efecto invernadero (GEI).....	241
151.	Pronóstico de consumo de energía sin aplicación de medidas de mejora fecha límite diciembre 2020 .....	242
152.	Proyección de consumo si se aplican las medidas de mejora, (sustitución de luminarias edificio La Torre y generación fotovoltaica) ..	243

## TABLAS

I.	Distribución de luminarias por nivel en el edificio La Torre .....	63
II.	Distribución de luminarias por nivel en el edificio El Anexo.....	64
III.	Distribución de luminarias por sótanos, se toma como sótano 1 el inmediato inferior al nivel de calle .....	64
IV.	Distribución de luminarias por sótanos, se toma como sótano 1 el inmediato inferior al nivel de calle .....	65
V.	Distribución de distribución de tomacorrientes edificio El Anexo .....	66
VI.	Inventario de equipo nivel 7 (1 684 m <sup>2</sup> ), oficinas (886 m <sup>2</sup> ), salones (590 m <sup>2</sup> ), S.S. (60 m <sup>2</sup> ), ascensores y gradas (148 m <sup>2</sup> ).....	66
VII.	Inventario de equipo nivel 12 (1 684 m <sup>2</sup> ), oficinas (886 m <sup>2</sup> ), cocina cafetería (590 m <sup>2</sup> ), S.S. (60 m <sup>2</sup> ), ascensores y gradas (148 m <sup>2</sup> ) .....	67

VIII.	Inventario de equipo nivel 15 (1 684 m <sup>2</sup> ), oficinas (1 476 m <sup>2</sup> ), S.S. (60 m <sup>2</sup> ), ascensores y gradas (148 m <sup>2</sup> ).....	67
IX.	Equipos especiales.....	68
X.	Reporte de cumplimiento de voltaje de suministro del transformador n° 2 .....	103
XI.	Reporte de cumplimiento del voltaje de suministro de transformador n° 1 .....	105
XII.	Reporte de cumplimiento del parpadeo en transformador n° 2.....	115
XIII.	Reporte de desequilibrio de tensión de suministro en transformador n° 2 .....	129
XIV.	Reporte de desequilibrio de tensiones de suministro en transformador n° 1 .....	132
XV.	Reporte de THD <sub>v</sub> en el transformador n° 2.....	139
XVI.	Reporte de THD <sub>v</sub> en el transformador n° 1.....	144
XVII.	Reporte de cumplimiento de frecuencia de suministro .....	147
XXVIII.	Datos de consumo de energía eléctrica y potencia durante el período 2016 -2018.....	168
XIX.	Datos relevantes de historial de consumo 48 meses.....	169
XX.	Resultados de encuesta realizada en nivel 1 de oficinas del Ministerio de Finanzas Públicas.....	185
XXI.	Evaluación de consumo en modo espera ( <i>standby</i> ) (52) fines de semana.....	198
XXII.	Evaluación de consumo en modo espera, ( <i>standby</i> ) horario nocturno entre 2 días laborales consecutivos, (260) noches.....	199
XXIII.	Resumen del análisis para consumo en modo espera o <i>standby</i> para los puestos de trabajo de La Torre .....	199
XXIV.	Costo de Inversión con base en censo de cargas .....	200
XXV.	Resumen de la implementación de regletas u otro mecanismo que logre reducir en un 60 % el consumo en modo espera o en <i>standby</i> ...	200

XXVI.	Potencialidad de los gases de efecto invernadero .....	201
XXVII.	Factor de emisiones de la red eléctrica en Guatemala .....	202
XXVIII.	Comparación de la eficacia luminosa (lumen/watt) de la tecnología led y otras tecnologías convencionales de iluminación.....	205
XXIX.	Cantidad de luminarias en oficinas, vestíbulos, parqueos, entre otros, tipo de luminarias, edificio de ubicación e iluminancia promedio .....	212
XXX.	Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo panel led (LEPs) en el edificio de La Torre, cálculos para 8 horas de jornada laboral, 260 días al año y costo de Q 0,6793 kWh.....	215
XXXI.	Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio La Torre.....	216
XXXII.	Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo panel led (LEPs) en el edificio El Anexo, cálculos para 8 horas de jornada laboral, 260 días al año y costo de Q 0,6793 kWh.....	217
XXXIII.	Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio El Anexo .....	217
XXXIV.	Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo listón led, en parqueos y áreas de circulación, cálculos para 14 horas de jornada laboral, 312 días al año y costo de Q 0,6793 kWh.....	220
XXXV.	Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio parqueos y áreas de circulación de sótanos .....	221
XXXVI.	Resumen de la implementación de tecnología led para sustitución de luminarias.....	221
XXXVII.	Datos de ubicación.....	232
XXXVIII.	Datos de energía generada.....	233
XXXIX.	Resumen energía generada / ahorro .....	234
XL.	Datos de energía consumida .....	235
XLI.	Datos del edificio MINFIN.....	238
XLII.	Datos de costos y ahorro .....	238

XLIII.	Parámetros financieros .....	239
XLIV.	Indicadores financieros para evaluación del proyecto .....	239

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio o ampere
<b>CO<sup>2</sup></b>	Dióxido de carbono
<b>CO<sup>2</sup>e</b>	Dióxido de carbono equivalente
<b>FP</b>	Factor de potencia
<b>Hz</b>	Hertz o hercio
<b>IDE<sub>ns</sub></b>	Indicadores de desempeño energético
<b>Wh/m<sup>2</sup>/día</b>	Irradiación solar horizontal por día
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kg CO<sub>2</sub> e</b>	Kilogramos de dióxido de carbón equivalente
<b>Lx</b>	Lux
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>k</b>	Prefijo multiplicador por 1 000- 1x10 <sup>3</sup>
<b>M</b>	Prefijo multiplicador por 1 000 000 -1x10 <sup>6</sup>
<b>G</b>	Prefijo multiplicador por 1 000 000 000- 1x10 <sup>9</sup>
<b>Wh/día</b>	Razón de consumo de mil vatios hora por día
<b>Wh/h</b>	Unidad de demanda eléctrica
<b>VA</b>	Volt-amperio
<b>Var</b>	Volt-amperio reactivos
<b>V</b>	Voltio o volt
<b>Wh</b>	Watt-hora o vatio-hora
<b>W</b>	Watt o vatio





## GLOSARIO

<b>AC, corriente alterna</b>	Corriente eléctrica en la que la forma de onda varía cíclicamente en magnitud y sentido.
<b>Ampacidad</b>	Capacidad de conducción de corriente eléctrica expresada en amperios.
<b>Analizador de redes</b>	Equipo que permite registrar y analizar mediciones de voltaje, amperaje, frecuencia, potencia, energía y calidad de señales de un sistema eléctrico.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano de Estándares, en inglés <i>American National Standards Institute</i> .
<b>AWG</b>	Referencia de clasificación de calibres de sección circular estadounidense, en inglés <i>American Wire Gauge</i> .
<b>Balance de cargas</b>	La misma distribución de cargas en cada uno de los tres conductores de un sistema trifásico.
<b>Calidad de energía</b>	El rango de variaciones en la amplitud, fase, forma de onda o frecuencia de la onda sinusoidal ideal o pura de voltaje y corriente que resulta en la operación incorrecta de equipos susceptibles a tal variación.

<b>Cámara termográfica</b>	Cámara capaz de registrar la emisión de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados y convertirla en una imagen visible.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Conexión efectiva a tierra</b>	Conexión efectiva a tierra a través de una impedancia suficientemente baja
<b>DGE</b>	Dirección General de Energía.
<b>Dióxido de carbón</b>	Gas inodoro e incoloro producto de la respiración de todos los organismos aerobios y también de la combustión de madera (leña), carbohidratos y combustibles fósiles.
<b>ECI</b>	Índice del costo de la energía, en inglés <i>Energy Cost Index</i> .
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero.
<b>EUI</b>	Índices de utilización de la energía, en inglés <i>Energy Utilization Index</i> .

<b>Factor de potencia</b>	Cantidad de la potencia real en comparación con la entrega o potencia aparente, relación entre la potencia real y la potencia aparente.
<b>Factor K</b>	Indica la capacidad del transformador de alimentar cargas no lineales, sin exceder su temperatura de funcionamiento.
<b>Flicker</b>	Término que se refiere a un disturbio en la amplitud de tensión, el cual es percibido como una variación en la luminosidad de una lámpara.
<b>IEC</b>	Comisión Electrotécnica Internacional, en inglés <i>International Electrotechnical Commission</i> .
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, en inglés <i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i> .
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización en inglés <i>International Organization for Standardization</i> .
<b>ITIC</b>	Consejo de Información Tecnológica de la Industria.
<b>ITIC curva</b>	Describe la envolvente de la tensión de suministro de corriente alterna que normalmente pueden tolerar sin

interrumpir su funcionamiento la mayoría de equipos de la tecnología de la información.

**Led** Diodo emisor de Luz, en inglés *Lighting-emitting diode*.

**LEP** Polímero emisores de luz, en inglés *Lighting-emitting polymers*.

**Ley de Ohm** La relación matemática entre voltios, amperios e impedancia, resistencia o reactancia.

**Ley de Pareto** Establece de manera general y para un amplio número de fenómenos, aproximadamente el 80 % de las consecuencias proviene del 20 % de las causas.

**Leyes de Kirchhoff** Son dos igualdades que tienen su origen en la ley de conservación de la energía y que son empleadas para obtener los valores de la corriente y el voltaje en cualquier punto de un circuito.

**Luminaria led** Luminaria que basa su funcionamiento en cuerpos semiconductores de estado sólidos que producen luz visible cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos.

**Luminaria panel led** Luminaria que basa su funcionamiento en cuerpos polímeros emisores de luz, LEP.

<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>MINFIN</b>	Ministerio de Finanzas Públicas.
<b>NEC</b>	Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos, en inglés <i>National Electric Code</i> .
<b>NTGDR</b>	Normas Técnicas de Generación Distribuida Renovable.
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
<b>Pararrayos PDC</b>	Son Pararrayos con dispositivos de Cebado que emiten un trazador ascendente continuo que proporciona un camino seguro a tierra.
<b>PCC</b>	Punto de acople común, en inglés <i>Point Common Coupling</i> .
<b>PDC</b>	Pararrayos de dispositivo de cebado.
<b>Pico</b>	La máxima medida instantánea de un evento eléctrico.
<b>Potencia contratada</b>	Cobro fijo en la facturación mensual de la empresa suministradora de energía, aún sin consumir.
<b>Sag</b>	Disminución momentánea del valor del voltaje eficaz que excede un límite inferior establecido.

<b>SAI</b>	Servicio de alimentación ininterrumpida.
<b>SGEn</b>	Sistema de Gestión de la Energía.
<b>SPP</b>	Período de recuperación simple ( <i>Simple Payback Period</i> , por sus siglas en inglés).
<b>SPT</b>	Sistema de puesta a tierra.
<b>Swell</b>	Aumento momentáneo del valor del voltaje eficaz que excede un límite superior establecido.
<b>Telurómetro</b>	Es un instrumento de medida que emite una pequeña tensión alterna de prueba junto a un valor determinado de corriente. Al saber la tensión y corriente, el instrumento obtiene la resistencia de puesta a tierra.
<b>THD</b>	Distorsión armónica total, en inglés <i>Total Harmonic Distortion</i> .
<b>THD, distorsión armónica total</b>	Un porcentaje que describe cuánto difiere una forma de onda medida de una onda sinusoidal ideal.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno o Tasa de Descuento o IRR ( <i>Internal Rate of Return</i> , por sus siglas en inglés).
<b>Transientes</b>	Término que hace referencia a aumentos de tensión muy elevados, del orden de kV, de muy corta

duración, originados principalmente por el impacto de un rayo.

**UNE** Acrónimo de, Una Norma Española, Asociación Española de Normalización.

**UNE-EN** Versión oficial en español de la Normas Europeas.

**Valor rms** Valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica.

**Varilla *copperweld*** Es un elemento bimetálico compuesto por un núcleo de acero y una película externa de cobre unidos metalúrgicamente.

**VPN** Valor Presente Neto, o VAN, Valor Actual Neto, (NPV, *Net Present Value*, por sus siglás en inglés).

**WAAC** Costo de capital pondera promedio (*Weigthed Average Cost of Capital*, por sus siglás en inglés).





## RESUMEN

El presente trabajo de graduación recopila la información, los procedimientos, las mediciones, los análisis, las conclusiones y las recomendaciones suscitadas en el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado denominado *Estudio de prefactibilidad en el ahorro y uso eficiente de la energía en el edificio del Ministerio de Finanzas Públicas, -MINFIN-*.

Los trabajos de mediciones y registros de parámetros se desarrollaron en las siguientes áreas: la subestación en dónde se ubican los transformadores, tableros principales normales, de emergencia y el Grupo Electrónico, en los cuartos de bombeo del sótano 3 y en nivel 15 , en los cuartos de máquinas de ascensores, en los sub tableros de alimentación de los niveles 7, 12 y 15, los cuales, por sus características en su sistema de iluminación, se consideraron fundamentales para los estudios de implementación de nuevas tecnologías, en el nivel 6 de informática y en los ductos verticales de alimentación. Se realizó un censo de cargas en todos los niveles y sótanos del edificio, con excepción del despacho ministerial y algunas áreas restringidas.

El porqué, se eligieron los niveles antes mencionados fue debido a que el nivel 7 ya implementó un sistema de iluminación basado en tecnología Led, por medio de luminarias de panel Led de 2 pies x 2 pies; el nivel 12 cuenta con luminarias también de 2 pies x2 pies de tecnología Led, basada en 4 listones; y el nivel 15, al igual que el resto de niveles tanto del Edificio La Torre, como del edificio El Anexo, cuentan con luminarias de 2 pies x 2 pies de tecnología fluorescente. Este hecho se utilizó para hacer mediciones y análisis comparativos, ya que la cantidad instalada de luminarias en los niveles

mencionados es similar. Lograr la eficiencia energética es el tema principal y el propósito fundamental del estudio y que tiene como corolario la disminución de los gases de efecto invernadero.

En el primer capítulo, se presenta la información general de la institución en la que se desarrolla el trabajo, su misión, visión, historia y estructura organizacional. El segundo capítulo abarca el tema de la prefactibilidad, las bases legales en las que se sustenta el trabajo, así como las normativas que lo rigen. En el tercer capítulo, se describen las premisas básicas que deben cumplirse para el buen funcionamiento de un sistema eléctrico; se describen sus componentes, en especial, se hace referencia a la presencia de dichos componentes dentro del sistema eléctrico del edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN. El cuarto capítulo corresponde al trabajo de campo inicial. Se describe la ubicación y envolvente del edificio, se muestran los planos generales para identificación y ubicación de sus diferentes partes, se presentan los cuadros resultantes del censo de cargas y se elabora el diagrama de Pareto, correspondiente a la distribución de las mismas.

En el quinto capítulo, se estudia el historial de consumo, se identifican los usos de la energía y se elabora el diagrama de Pareto, al considerar los distintos usos. En el sexto capítulo, se presentan los registros de las mediciones de variables eléctricas comprometidas con la calidad de la energía, se evalúan los resultados obtenidos con base en las siguientes normativas: respecto a la calidad de la energía la UNE-EN 50160, la Norma Técnica de Sistemas de Distribución NTSD y la IEEE std 1159. Respecto a los puntos de medición y monitoreo la IEC 6100-4-30 y la IEEE std 519-2014. En relación al sistema de protección contra rayos, la UNE 21186.2011, respecto al sistema de tierra, el NEC 2017 artículo 250.

En el séptimo capítulo, se trabaja el concepto de eficiencia energética y se analiza el caso concreto del ahorro que se lograría con el tratamiento adecuado del consumo que se da en los equipos conectados a la red y que se mantienen en modo espera, conocido como: consumo fantasma o consumo *standby*, análisis basado en registros de parámetros eléctricos medidos y en la encuesta realizada al personal de distintas dependencias del Ministerio.

En el capítulo octavo, se describe la alternativa brindada por la tecnología led para sustitución de luminarias y el uso de un sistema fotovoltaico para la generación de energía con fuentes renovables, para luego combinar ambos y presentar un análisis de rentabilidad en la implementación de dichos equipos. Se realiza un análisis comparativo entre las mediciones del nivel 15 con tecnología fluorescente y los niveles 7 y 12 con tecnología led, del valor del factor de potencia y poder evaluar así, si esto podría ser un impedimento para la implementación de la tecnología led en el sistema de iluminación de oficinas. Se determina que, en los horarios diurnos laborales, que implica el uso de luminarias, se obtuvieron valores promedio del factor de potencia muy similares en los tres casos y por arriba de 0,97, lo que permite tomar como opción válida el cambio de tecnología. Ha de tomarse en cuenta que, por ser horario laboral, los datos obtenidos incluyeron también el uso del equipo de oficina.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un estudio de prefactibilidad que permita plantear metodologías e implementar sistemas para el uso eficiente de la energía en la operación que lleva a cabo el Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, al tomar en cuenta, para ello, todos los factores involucrados en el proceso y actividades que se desarrollan dentro del mismo, y que interactúan en dicho contexto, tales como: instalaciones físicas, equipos existentes, hábitos y modos de uso, horarios, tarifas de energía, entre otros.

### **Específicos**

1. Identificar los tipos y costos del uso de la energía.
2. Realizar un inventario de cargas importantes.
3. Clasificar los distintos centros de consumo de energía, en función del monto de la energía utilizada y del tipo de cargas alimentadas, para lograr tener un panorama general del uso y distribución de la energía eléctrica.
4. Tomar y analizar datos de las variables del sistema de energía eléctrica.
5. Investigar y analizar técnicas de operación y tecnologías actuales.

6. Plantear y realizar un análisis económico de alternativas de las tecnologías propuestas y su rentabilidad, para la toma de decisiones de inversión.
7. Proponer planes de mantenimiento para mejorar la eficiencia del uso de energía eléctrica.
8. Redactar un reporte final que integre los resultados obtenidos de la investigación.

## INTRODUCCIÓN

Existen compromisos y acuerdos a nivel mundial respecto a la protección del ambiente y al cambio climático. Guatemala es parte de la comunidad internacional, ha suscrito y ratificado diversos instrumentos al respecto, como lo son: la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kyoto, la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozona, entre otros. Por tanto, el Estado de Guatemala, según mandato constitucional debe adoptar las medidas necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales del país en forma eficiente.

Este esfuerzo debe involucrar tanto al sector gubernamental como a las entidades descentralizadas, autónomas, semiautónomas, privadas o cualquiera otro tipo de institución o persona individual a realizar aportes concretos para la mejora de la administración, del aprovechamiento y del cuidado de los recursos naturales con los que cuenta el país; esto, a través de la implementación, de la medida de los posible, en todos los ámbitos del quehacer nacional, hábitos de consumo que permitan el uso de la energía eficientemente, o bien, al buscar la implementación de fuentes de energía renovable, o al crear políticas y acuerdos institucionales a corto y largo plazo, o cualquier otro mecanismo que coadyuve a lograr este cometido.

Es así que, en concordancia con el Plan Nacional de Energía 2017-2032, que en conjunto con lo propuesto en, el Cuarto Eje de acción de la Política Energética 2013-2027 en cuanto a lograr que, el 30 % de las instituciones del sector público utilicen eficiente la energía; y tomando en cuenta que los sectores



de servicios, comercio y residencial son los mayores consumidores de la energía. Se genera un acuerdo mediante la Carta de Entendimiento CDE entre el Ministerio de Energía y Minas, MEM, entidad rectora del sector público en materia energética y minería, y la Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, -FIUSAC- con el fin de establecer un instrumento de apoyo entre le MEM y la FIUSAC, de manera que, por medio del programa de EPS, se brinde la cooperación técnica no reembolsable para la realización de estudios energéticos en los edificios públicos y, de esta manera, lograr cumplir con la meta trazada en dicho plan. Para el desarrollo de dicho convenio, se acuerda que el trabajo se llevará a cabo en el edificio del Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala.

# **1. GENERALIDADES DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS (MINFIN)**

El Ministerio de Finanzas Públicas tiene como función el formular la política económica y social del Gobierno, proponer al Organismo Ejecutivo la Política Presupuestaria y las normas para su ejecución, al tiempo que dirigir, coordinar y consolidar el proyecto del Presupuesto; propone a la Superintendencia de Administración Tributaria normas para desconcentrar la recaudación de impuestos y coordina con la misma la programación de ingresos derivados de la recaudación tributaria. Transfiere los recursos asignados en el presupuesto a los organismos y entidades del Estado; evalúa la ejecución presupuestaria del Estado cada cuatrimestre, y propone a la Presidencia de la República medidas correctivas que en el ámbito de su competencia sean necesarias; además, define la política para seleccionar proyectos y programas de inversión social, los cuales serán realizados con fondos propios, préstamos y cooperación externa. Fija normas y procedimientos operativos relacionados con el sistema de contrataciones y adquisiciones del Estado de acuerdo a la Ley. Por tanto, se cataloga como una entidad pública, cuya actividad principal es proveer servicios a otras entidades gubernamentales y público en general.

## **1.1. Historia**

Institución que se remonta a la época colonial, en donde se le denominó Diputación Provincial. Posteriormente, en el año de 1825, se crea la Dirección General de Hacienda, la cual pertenecía al Despacho de Guerra. Luego se le conoció como Secretaría de Hacienda y Crédito; y no es sino hasta 1945 que se le eleva a la categoría de Ministerio, y se le conoció como Ministerio de Hacienda

y Crédito Público. En 1971 se constituye legalmente a través del Decreto 106-71 del Congreso de la República el Ministerio de Finanzas Públicas, hasta la fecha.

## **1.2. Misión**

Contribuir a la implementación de una política fiscal sostenible, mediante la gestión, eficiente y transparente de los ingresos, los egresos y la deuda pública, para fortalecer el desarrollo social y el crecimiento económico nacional.

## **1.3. Visión**

Ser una institución innovadora, de vanguardia, eficiente, transparente y altamente productiva en la gestión de las finanzas pública, de forma sostenible, que propicie el desarrollo nacional y lidere una agenda de crecimiento económico.

## **1.4. Valores**

- Liderazgo
- Innovación
- Transparencia
- Eficiencia
- Servicio a terceros
- Frugalidad

## **1.5. Estructura organizacional**

El Ministerio de Finanzas Públicas está organizado de la siguiente manera:

- Despacho Ministerial.
  - Viceministerio de Administración Financiera
  - Viceministerio de Ingresos y Evaluación Fiscal
  - Viceministerio de Administración Interna y Desarrollo de Sistemas
  - Viceministerio de Transparencia Fiscal y Adquisiciones del Estado

El Despacho Ministerial es la autoridad superior del MINFIN, y está a cargo de un ministro responsable de formular y ejecutar la política fiscal del país.

El Viceministerio del Área de Administración Financiera está a cargo de un viceministro que contribuye a diseñar la política fiscal y financiera del país, proponer en coordinación con el Despacho Ministerial la política presupuestaria y normas de ejecución.

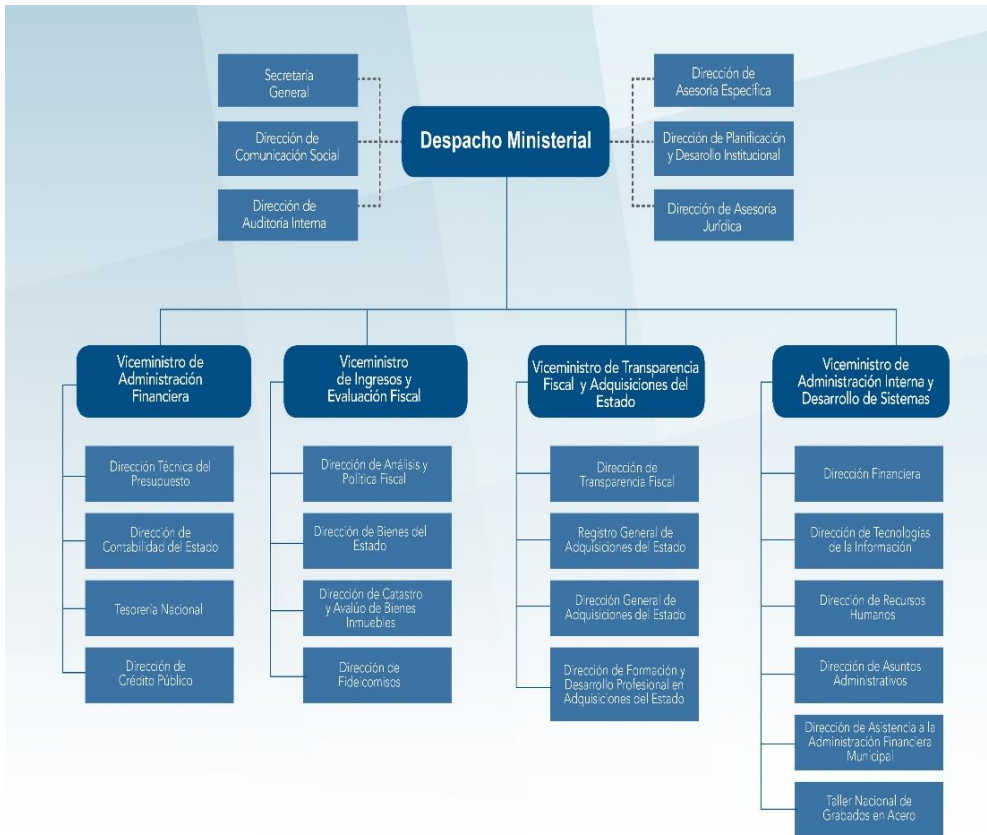
El Viceministerio de Ingresos y Evaluación Fiscal está a cargo de un viceministro responsable de evaluar la ejecución del gasto público y de la política fiscal y la capacidad del endeudamiento del Estado.

El Viceministerio de Administración Interna y Desarrollo de Sistemas está a cargo de un viceministro responsable de coordinar la formulación del anteproyecto de presupuesto y velar por la utilización eficiente, eficaz y transparente de los recursos financieros y material de Ministerio, coordinar proyectos y programas para el efectivo funcionamiento del Ministerio.

## **1.6. Organigrama**

En la figura 1 se hace la descripción del organigrama del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN.

Figura 1. Organigrama del Ministerio de Finanzas Públicas -MINFIN-



Fuente: Reglamento Orgánico del Ministerio de Finanzas Pública. *Acuerdo Gubernativo número 112 2018*. [www.minfin.gob.gt](http://www.minfin.gob.gt). Consulta: 12 junio de 2019.

## **2. PREFACTIBILIDAD, MARCO JURÍDICO Y NORMATIVAS**

### **2.1. Concepto de prefactibilidad**

El presente estudio de prefactibilidad se lleva a cabo con el objetivo de evaluar la viabilidad de realizar un proyecto de inversión, para la implementación de las técnicas, procesos y políticas necesarias, para lograr el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en el Edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN.

Un estudio de prefactibilidad debe recopilar toda la información posible para disponer a consideración. El presente estudio cuenta con información básica, y muestra algunas alternativas que se tienen y las condiciones que rodean al proyecto. Tiene en cuenta el marco legal, las normativas, el uso actual de la energía eléctrica, las instalaciones, equipos y tecnologías actuales. Dentro del uso actual de la energía eléctrica analiza el comportamiento de las variables eléctricas para determinar su comportamiento, haciendo énfasis en el consumo de energía eléctrica. Propone la implementación del uso de nuevas tecnologías; realiza un estudio económico preliminar y evalúa diferentes equipos a instalar.

Está fuera del alcance del presente proyecto establecer las fuentes de financiamiento necesario para concretar el proyecto. El estudio debe incluir la investigación de diferentes técnicas de producir el bien o servicio bajo estudio y la viabilidad de la implementación de las mismas. Debe analizar la disponibilidad de los principales insumos que requiere el proyecto; asimismo, realizar un estudio de mercado que refleje, en forma aproximada, las posibilidades de la propuesta a implementar. Debe abordarse los requerimientos de inversión y sus posibles

fuentes de financiamiento y proyección de los resultados económicos, para poder calcular indicadores que permitan evaluarlo.

## **2.2. Marco Jurídico Nacional del Subsector Eléctrico**

El subsector correspondiente al suministro eléctrico está regido por un marco político y jurídico, que comprende leyes, políticas y reglamentos, listados a continuación:

- Constitución Política de la República de Guatemala, Artículo 119, literal c.
- Ley Marco de Cambio Climático, Decreto 7-2013.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, 52-2003 y sus Reglamentos.
- Ley General de Electricidad, Decreto 93-96 y sus Reglamento (AG 256-97).
- Política Energética 2013-2027.
- Decreto No 1 523 del Congreso de la República.

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

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

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

- Primer eje: seguridad y abastecimiento de electricidad a precios competitivos

- Segundo eje: seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos
- Tercer eje: exploración y explotación de reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional
- Cuarto eje: ahorro y uso eficiente de la energía:

Se enfoca en la creación de los mecanismos para el uso eficiente y productivo de la energía, cuyo objetivo principal consiste en lograr que el 30 % de las instituciones del sector público utilicen eficientemente la energía.

- Quinto eje: reducción del consumo de leña en el país.

La Política Energética, a su vez, también manda a la implementación de un plan nacional para el ahorro y uso eficiente de la energía.

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

El fin de la elaboración del Plan Nacional de Energía es cumplir con los objetivos establecidos en la Ley Marco de Cambio climático, Decreto 07-2013 del Congreso de la República de Guatemala, los cuales están orientados a reducir los impactos del cambio climático, por medio de la disminución de gases de efecto invernadero, al promover el uso de tecnologías para la eficiencia y el ahorro energético; prioriza el uso de fuentes de energía renovable de manera sostenible, para diversificar la matriz de generación de energía eléctrica, así como la sustitución del uso de leña por nuevas fuentes energéticas y tecnológicas, de tal manera que se obtengan beneficios para mejorar las condiciones ambientales, al utilizar fuentes con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.



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

- Eje N° 1. Aprovechamiento sostenible de los recursos renovables: este tiene como objeto priorizar el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, para la generación y consumo de energía eléctrica. Los recursos renovables deben ser aprovechados de manera sostenible en el tiempo, para no comprometer los recursos de las generaciones futuras; con ello, se logra beneficios ambientales y climáticos a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para el cumplimiento en este eje, se promueven los lineamientos necesarios para la expansión del sistema de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, y su energía base por medio de combustibles fósiles que garanticen la seguridad energética del país.
- Eje N° 2. Eficiencia y ahorro energético: el segundo eje de este plan, fortalece los objetivos y acciones del cuarto eje de la Política Energética 2013-2027, para fomentar el uso eficiente de los consumos energéticos en los sectores residencial, comercial, institucional y comercial del país. El plan también hace énfasis en los mecanismos de implementación existentes y nuevas metodologías para el ahorro y uso eficiente de la energía.
- Eje N° 3. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: el tercer eje enmarca la importancia de llevar a cabo las acciones planteadas en el plan, en sus dos ejes anteriores; demuestra las cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero que se pueden reducir por sector; asimismo, aporta a la mitigación de los efectos del cambio climático. La meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, propuestas por el Plan Nacional de Energía, es de 29,2 %

para el año 2032. Esta reducción del 29,2 % implica que las emisiones, en un escenario tendencial de 16,82 millones de toneladas de CO2 equivalentes para el año 2032 serán reducidas a un valor de 11,91 millones de toneladas de CO2 equivalentes en ese año.

### **2.2.3. Decreto No. 1523 del Congreso de la República**

Este decreto crea al Organismo Nacional de Normalización denominado COGUANOR, cuyas funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

### **2.2.4. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003 y su reglamento Acuerdo Gubernativo No. 211-2005**

Esta ley tiene como objetivo promover el desarrollo del proyecto de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto, estos incentivos se refieren a:

- Exención de derechos arancelarios para las importaciones, se incluye el IVA, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquina y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía, en área donde se ubiquen los proyectos de energía, para los períodos de pre inversión y de construcción, durante un período que no excederá los 10 años.
- Exención del Impuesto sobre la Renta -ISR- por 10 años.

### **2.2.5. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto-productores con excedentes de energía, NTGDR-RESOLUCIÓN CNEE-227-2014**

La NTGDR define que la generación distribuida renovable es la producción de electricidad a partir de tecnologías que utilizan recursos renovables, (energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa y otras que el MEM determine), que se conectan al sistema de distribución y cuyo aporte de potencia neta es menor o igual a 5 MW. Esta norma define como generador distribuido renovable a la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de generación distribuida renovable, estos serán considerados como participantes del mercado mayorista. Asimismo, define como usuario auto productor con excedentes de energía al usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, produzca por generación con fuentes de energía renovable, ubicada entre de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes. Si estos productores manifiestan expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deberán informar al distribuidor involucrado de tal situación. Al cumplir con este requisito, podrán operar en esta modalidad.

### **2.3. Normativas ISO y los Sistemas de Gestión Administración de la Energía**

En este caso, la administración de energía va enfocada, en especial, a la energía eléctrica consumida en las instalaciones del edificio de Finanzas Públicas, y tiene como finalidad lograr el uso razonable y efectivo de la misma, para minimizar el costo de su consumo, sin detrimento del servicio que se presta en la institución. Existen normativas que facilitan a las organizaciones establecer

los sistemas y procesos necesario para mejorar su desempeño energético. COGUANOR, como representante de Guatemala ante la Organización Internacional de Normalización (ISO), es signatario del “Código de Buena Conducta para la Elaboración de Normas” y para el desarrollo de las actividades de normalización que cumple con los principios de: consenso, apertura, relevancia, transparencia, imparcialidad, coherencia y efectividad. COGUANOR está adscrita al Ministerio de Economía; su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado, por medio de la actividad de normalización. Para el desarrollo de este trabajo, se utilizan las normativas ISO 50001y 50002.

### **2.3.1. ISO 50001**

Sistemas de gestión de la energía:

Normativa que especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía (SGEn), que permita a una organización contar con un enfoque sistemático, para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético; incluye la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía. Especifica los requisitos aplicables al uso y consumo de la energía; incluye la medición, documentación e información; las prácticas para el diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que contribuyen al desempeño energético. El sistema de gestión de la energía permite la administración eficiente de la energía en forma permanente, planeada, medible y con mejora continua; destaca la participación del liderazgo ejecutivo. En resumen, se basa en el ciclo de mejora continua, el cual puede resumirse de la manera siguiente:

- Planificar, hacer, verificar, actuar

Por la finalidad del presente trabajo, son las dos primeras fases de la gestión de la energía correspondientes a la planificación y al hacer las que se utilizan en el desarrollo del mismo. Las fases destinadas a la verificación y a la actuación no están dentro del ámbito del mismo, pero, se mencionan porque son igual de importantes para la implementación a cabalidad de la gestión de la energía.

La fase de planificación se centra en entender el comportamiento energético de la organización, para establecer los controles y objetivos necesarios, que permitan mejorar el desempeño energético. Dentro del marco de la planificación, es fundamental contar con una política energética, (se propone un enunciado en el capítulo 7), así como coordinar reuniones con el Departamento Administrativo, para lograr su apoyo en la obtención de información y accesos correspondientes a las áreas a estudiar. Así fue como se logró contar con el Historial del Consumo de Energía Eléctrica de los últimos 4 años en forma correlativa y planos existentes de las instalaciones; también se logró realizar una encuesta para determinar los hábitos de consumo y el acceso para el censo de cargas y centros de consumo.

Por último, se realizó una auditoría energética (ver ISO 50002), la cual, debido al tamaño del edificio, al equipo de medición con el que se contaba y los datos necesarios para el análisis correspondiente, se desarrolló durante 6 meses; este inició en el mes de marzo y terminó en septiembre de 2018.

Con la recopilación de toda esta información, se pueden obtener los indicadores de desempeño energético como el índice de utilización de la energía. (EUI por sus siglas en inglés) y el índice del costo de la energía (ECI por sus siglas en inglés).

El hacer busca la implementación de procedimientos y procesos regulares, con el fin de controlar y mejora el desempeño energético. En el marco de este apartado, se plantea el uso de tecnología nuevas y uso de equipos para la generación, al usar energía renovable, como es el caso de paneles fotovoltaicos, y se presenta un análisis de prefactibilidad económica, para determinar la viabilidad del proyecto.

El verificar consiste en monitorear y medir procesos y productos, con base en las políticas, objetivos y características claves de las operaciones, así como reportar los resultados.

El actuar consiste en la toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético con base en los resultados. El concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético.

### **2.3.2. ISO 50002**

Esta normativa especifica los requerimientos de los procesos para llevar a cabo una auditoría energética, en relación con un desempeño energético. Es aplicable a todo tipo de establecimiento y organización, y todas las formas de energía y uso de energía.

La auditoría energética es un análisis sistemático del uso de la energía y consumo de la energía. Se debe definir el alcance de la misma, y utilizarla para poder identificar, cuantificar y reportar las oportunidades de mejora en el desempeño energético. Las auditorías se pueden clasificar en auditoría tipo 1, tipo 2 y tipo 3, en función de la complejidad del análisis que se efectúe y de campo de análisis y cálculos a realizar.



### **3. EL SISTEMA ELÉCTRICO: CONCEPTO, OBJETIVOS Y COMPONENTES CON ÉNFASIS EN LAS INSTALACIONES DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS (MINFIN)**

#### **3.1. Concepto sistema eléctrico**

La instalación eléctrica de los edificios requiere de la implementación e interconexión de una variedad de equipos y elementos auxiliares que brinden una operación adecuada, confiable, flexible, segura y eficiente. Estos pueden ser clasificados de acuerdo a la función que realizan y a su desempeño. Los equipos y elementos se pueden representar en forma gráfica mediante el diagrama unifilar. (ver figura 46), el cual tiene como objetivo suministrar, de manera concisa, los datos más significativos del sistema eléctrico.

#### **3.2. Objetivos de las instalaciones eléctricas**

Un sistema eléctrico debe brindar una distribución y enlace de energía eléctrica entre sus diversos componentes de manera adecuada, confiable, flexible, segura, eficiente y económica.

Para los objetos del presente trabajo, se enumeran dichos aspectos, de acuerdo a la relevancia que aportan al mismo.

##### **3.2.1. Eficiencia y economía**

La eficiencia plantea un estudio en varios ámbitos. El primero a considerar es el estudio y análisis para realizar una distribución de los componentes



eléctricos para optimizar sus ubicaciones, al tener en cuenta sus aportaciones y recorridos para los circuitos de alimentación; implica una interrelación entre el equipo de diseñadores involucrados, tanto de la arquitectura como del sistema eléctrico.

Un segundo aspecto es la selección de los equipos, de manera que se adecuen a las condiciones y requerimientos de las cargas, para evitar sobre dimensionamientos y aprovechar su capacidad y consumo energético. Un tercer aspecto, no menos importante que los anteriores, es la Ergonomía, considerada como la disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y los elementos de un sistema, en este caso, el sistema eléctrico, de manera de optimizar el bienestar y desempeño humano y del sistema.

Los equipos más eficientes no son los más económicos, sin embargo, con un uso adecuado, permiten un retorno de capital que debe considerarse en la inversión inicial. Es decir, la inversión inicial es más alta, pero el gasto por consumo será menor, lo que permite una recuperación y ahorro posterior.

### **3.2.2. Seguridad y economía**

Existen varios códigos de normativas técnicas que definen las medidas de seguridad fundamentales a seguir en la selección, construcción e instalación de todos los equipos y materiales eléctricos. En Guatemala, no existe normativa oficial, pero es de uso común utilizar el Código Nacional Eléctrico (NEC), por sus siglas en inglés, publicado por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, (NFPA), por sus siglas en inglés, que son utilizados en Estados Unidos de América (EEUU).

También se tiene como referencia las Normativas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), de uso generalizado en Europa; y debido a que en Guatemala se utilizan equipos provenientes de esa región, es importante tomarlas en cuenta.

El conocimiento y aplicación de las normas es de gran importancia para resolver los aspectos de una instalación, a fin de conseguir un nivel de seguridad aceptable, esto no significa necesariamente una instalación rentable. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta las normativas jurídicas de uso en Guatemala.

### **3.2.3. Confiabilidad, economía y monitoreo**

La confiabilidad la de relacionarse con la calidad de energía, en otras palabras, es la capacidad que posee un sistema eléctrico y sus componentes para restablecerse y seguir operando de forma normal. La cuantificación de la habilidad de un sistema, normalmente, se expresa en índices, tales como: tasa de falla, tiempo de reparación, energía no suministrada, carga promedio desconectada. Un sistema más confiable, redundante es un sistema con una inversión mayor, aspecto que es importante tener en cuenta dependiendo de la carga a alimentar.

Para un control y creación de índices, es de suma importancia contar con equipos de monitoreo de los parámetros eléctricos más relevantes; porque lo que se mide se corrige y lo que se corrige se mejora.

#### **3.2.4. Flexibilidad, adecuación y economía**

La flexibilidad y la economía están íntimamente relacionadas. Si se considera que la flexibilidad de una instalación eléctrica es la capacidad que tiene para adaptarse a modificaciones posteriores, es decir, que si una instalación es diseñada adecuadamente y convenientemente para una futura expansión, ese diseño va a tener un impacto directo a la inversión de capital, a mayor previsión para crecimiento, mayor inversión inicial. Por lo que la decisión debe ser consultada con el usuario o basada en índices de crecimiento del uso de la energía eléctrica, al tener en cuenta el desarrollo de las actividades a realizar a futuro.

#### **3.2.5. Accesibilidad, mantenimiento y monitoreo**

Esto se refiere a la facilidad de acceso a todas las ubicaciones en donde se encuentren ubicados los equipos y componentes eléctricos, de forma de que su mantenimiento y monitoreo sea posible sin mayores contratiempos. Una instalación segura debe permitir un mantenimiento adecuado, ya que pudo haber sido diseñada según normativas, pero sin un plan de mantenimiento preventivo, no permanecerá segura, ni confiable. Actualmente, se pueden adquirir equipos de medición que permiten un constante monitoreo en puntos clave de la instalación, que puede verificar el funcionamiento adecuado y la detección de fallas.

### **3.3. Componentes principales de instalaciones eléctricas. Las instalaciones del edificio Ministerio de Finanzas Públicas (MINFIN) y sus características principales**

Los diferentes componentes del sistema que suministra energía eléctrica al edificio que ocupa el Ministerio de Finanzas Públicas, como a la mayoría de las edificaciones de esta envergadura, y para propósitos de operaciones similares, con excepción de algunas variantes, se integran de forma similar.

#### **3.3.1. Acometida principal en media tensión (13,2 kV)**

La alimentación del edificio se realiza mediante una única acometida, catalogada según Normativa de la Empresa Eléctrica de Guatemala, Resolución CNEE -61-2004, como de media tensión 13,2 kV, trifásica, del tipo subterránea. Cuyo punto de origen se localiza en poste de la empresa eléctrica de Guatemala, ubicado sobre la 9.<sup>a</sup> avenida zona 1 e identificado por el N.º 295101; la cual se compone por tres (3) seccionadores de fusible unipolares y tres (3) pararrayos de derivación, ubicados en cruceta en el poste, y mediante 3 cables URD, conducidos por tuberías *Conduit* de hierro galvanizado de 4 pulgadas, desde el punto de derivación hasta el centro de transformación, ubicado dentro del edificio. En dicho poste, se encuentra ubicados los equipos necesarios para realizar la medición en media tensión: transformadores de potencial, transformadores de corriente y medidor de energía.

Figura 2. **Acometida en media tensión con medición en poste**



Fuente: elaboración propia, Poste EEGSA sobre la 8ª. avenida zona 1 al costado del MINFIN.

Figura 3. **Equipo de medición en media tensión**



Fuente: elaboración propia, Poste EEGSA sobre la 8ª. avenida zona 1 al costado del MINFIN.

### **3.3.2. Centro de transformación**

El centro de transformación se encuentra ubicado en el sótano 3 del edificio. y consiste en una subestación unitaria compacta, clasificada para interiores, marca Siemens, subdividida en 11 celdas o secciones.

- Una celda (1) de conexión/desconexión de la alimentación en media tensión: contiene un interruptor con fusibles (cartuchos de MT).
- Dos (2) celdas para conexión/desconexión de la alimentación en media tensión para los 2 transformadores secos con capacidad de 1 000 KVA (1MVA), cada uno.
- Una celda (1) para equipos de medición en media tensión.
- Una celda (1) para interconexión entre transformadores principales.
- Dos (2) celdas para derivaciones a paneles de interruptores principales.
- Dos (2) celdas para conexión y desconexión de derivaciones.
- Dos (2) celdas para derivaciones de circuitos principales.

El transformador1 brinda alimentación a los servicios normales del edificio La Torre y el transformador 2 brinda alimentación a los servicios de emergencia.

Figura 4. **Subestación unitaria ubicada en sótano 3**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

Figura 5. **Transformador seco, banco 8852**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

Figura 6. **Transformador seco (2)**



Fuente: Siemens. *Transformador*. [https://new.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/br/products-services/energy/high-voltage/transformers/geafol-transformers/application-pages/brv4-1/img/01\\_stage\\_360/36004.jpg](https://new.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/br/products-services/energy/high-voltage/transformers/geafol-transformers/application-pages/brv4-1/img/01_stage_360/36004.jpg). Consulta: 3 de mayo de 2019.

Es importante contar con los datos de placa de los transformadores, ya que es información indispensable, que se utiliza para monitorear su comportamiento en uso y para cálculos de corto circuito. Los dos transformadores tienen las mismas características, pueden funcionar en forma independiente o en paralelo, ya que existe una celda de interconexión dentro de la subestación unitaria.





se encuentra ubicado en el mismo recinto de la subestación. Este sistema alimenta al tablero de distribución principal del sistema de emergencia (TDP E1).

El tanque de combustible se ubica en el mismo recinto. La ubicación de dicho tanque puede ser evaluada en función del riesgo de derrame, o bien tomar las precauciones debidas para poder eliminar el derrame lo más rápido posible. El radiador está acoplado a un ducto para tomar aire del sótano, esto permite que no exista recalentamientos pues, tiene su tubo de escape que da al exterior.

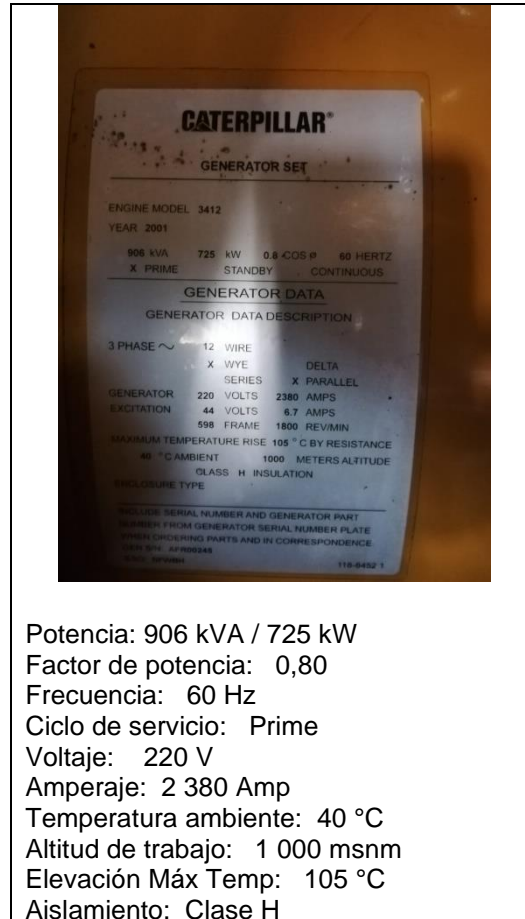
Es importante tomar en cuenta que la altitud de trabajo es de 1 000 msnm, y que la Ciudad de Guatemala está a 1 500 msnm, lo cual tiene impacto en su desempeño y que su ciclo de servicio es del tipo Prime, el cual, generalmente, acepta menos de un 10 % de sobrecarga, lo cual es favorable en su desempeño.

Figura 8. **Grupo electrógeno (Planta de Emergencia)**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

Figura 9. Datos de Placa del Grupo Electrónico -MINFIN-



Fuente: elaboración propia, Placa Datos, planta de emergencia, Subestación del MINFIN.

### 3.3.4. Sistema de alimentación ininterrumpido

Los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), o (UPS), por sus siglas en inglés, son equipos o sistemas destinados a garantizar el suministro de energía eléctrica de alta calidad y de alta disponibilidad a la entrada de los equipos de trabajo, con lo que se asegura el máximo rendimiento en sus operaciones, es decir, una tensión segura y libre de perturbaciones eléctricas

para distintos tipos de carga de red presente y durante un lapso, frente a un corte de energía.

El edificio del MINFIN, para satisfacer el suministro de energía eléctrica al Centro de Cómputo, considerado como carga crítica y además carga sensible. Cuenta, además del Grupo Electrónico, con un sistema de alimentación ininterrumpida. (SAI).

Figura 10. **Unidades del sistema de alimentación ininterrumpida**



Fuente: elaboración propia, Cuarto de tableros del sistema de alimentación ininterrumpida en sótano del MINFIN.

Figura 11. **Tablero de derivación (*bypass*)**



Fuente: elaboración propia, Tablero de derivación, sótano del MINFIN.

### **3.3.5. Tableros de distribución, adecuación, seguridad, confiabilidad, flexibilidad y mantenimiento**

Todo sistema radial de distribución de energía eléctrica, como es el caso del sistema utilizado en el edificio del MINFIN, toma en cuenta para dicha distribución, la utilización de tableros de distribución ubicados en distintas locaciones de la edificación, de manera que permitan una cercanía a todas las áreas con concentración de cargas, y así optimizar calibres de conductores de los circuitos derivados que las alimentan. De acuerdo a la posición de dichos tableros en la tipología de la red, se clasifican en tableros principales, tableros secundarios y subtableros. Esta distribución, permite, con dimensionamiento adecuado de la capacidad de corte último (Icu) de los interruptores termomagnéticos, una correcta coordinación de protecciones, lo cual le da confiabilidad y seguridad al sistema. Otra característica es la flexibilidad, ya que permite eliminar o adicionar cargas, sin mayores contratiempos con otros

circuitos, o bien permite realizar procedimientos de mantenimiento o monitoreos en áreas focalizadas, o con un interés en particular.

El sistema eléctrico del edificio del MINFIN cuenta con dos tableros de distribución principal, el TDP E1 y el TDP N1, ambos situados en el recinto que ocupa el Centro de Transformación (Subestación Unitaria Compacta).

El primero, y de mayor capacidad, es el tablero de distribución principal de servicio de emergencia. Está seccionado en seis partes, las dos primeras secciones contienen cada una un interruptor termomagnético, el cual posee un enclavamiento tanto eléctrico como mecánico, lo que le permite cumplir con la función de una transferencia automática y, a la vez, proporciona la protección requerida para el propio tablero y el grupo electrógeno. Las otras 4 secciones alojan los interruptores termomagnéticos que alimentan los subtableros principales.

El segundo es el tablero de distribución principal de servicio normal (TDP N1). Está seccionado en cuatro partes.

Desde estos dos tableros principales se originan las alimentaciones, ya sea mediante conductores en ductos o mediante ductos barra, a todos los subtableros encargados de proveer de energía y protección a las diferentes cargas principales, como lo son: equipos de bombeo, ascensores, aire acondicionado, entre otros. En el edificio, así como también a todos los centros de carga ubicados en los diferentes niveles que proveen energía y protección para los sistemas de iluminación y fuerza de cada uno.

Figura 12. **Tablero principal de emergencia (TD E-1) alimentado desde el transformador n°. 2**



Fuente: elaboración propia, Subestación del MINFIN.

### **3.3.6. Protecciones eléctricas y coordinación de protecciones**

El MINFIN cuenta en sus diferentes tipos de tableros de distribución con diferentes tipos de interruptores termomagnéticos. Para poder clasificarlos, se utilizan normativas. Así que, si se utiliza la Norma IEC60947-2, se pueden clasificar como:

En el tablero TDP E-1 ubicado en el recinto de la subestación cuenta con 4 interruptores del tipo ACB (Air Circuit Breaker por sus siglas en inglés), los

2 primeros, (de izquierda a derecha), ubicados en la cabera del tablero cumplen con la función de transferencia automática, la cual logran debido a que están enclavados eléctrica y mecánicamente. Los otros dos interruptores, que siguen en el mismo orden, alimentan el ducto barra nuevo y ducto barra 630 A. (Bus Way). Los interruptores ACB tienen palanca mecanizada con botón de paro, botón de cierre y un módulo lógico para registrar eventos y ajustar curvas de disparo, con ajuste de la corriente de operación o normal.

Figura 13. **Interruptores tipo ACB, utilizados para transferencia automática**



Fuente: elaboración propia, Interruptor, tablero de emergencia, Subestación del MINFIN.

En el mismo tablero TD1, se encuentran 11 interruptores del tipo MCCB (Molded Case Circuit Breaker, por sus siglas en inglés).



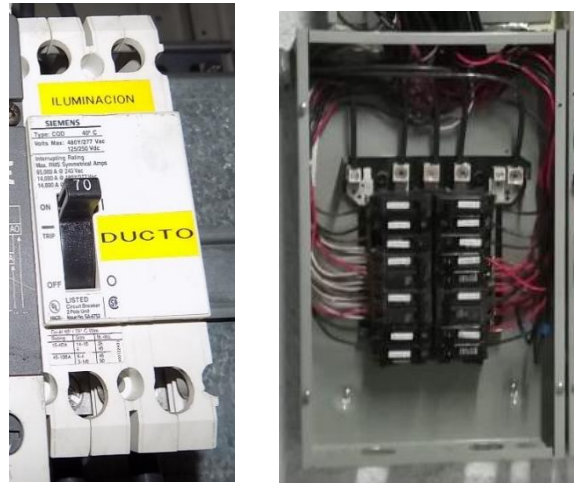
Figura 14. **Interrupor tipo MCCB (Norma IEC 60947-2) *Molded Case Circuit Breaker*, Serie VL 250 marca Siemens, ajustable**



Fuente: elaboración propia, Interruptor, tablero emergencia, Subestación del MINFIN.

En este mismo Tablero TDP E1 y en los tableros de distribución, ubicados cerca de los centros de carga en los diferentes niveles de La Torre, el Anexo y los sótanos, se encuentran interruptores termomagnéticos del tipo MCCB (Mini Case Circuit Breaker, por sus siglas en inglés).

Figura 15. **Interruptor tipo MCCB (Norma IEC 60947-2) *Molded Case Circuit Breaker*, serie VL 250 marca Siemens, sin ajuste y MCCB's General Electric**



Fuente: elaboración propia, Interruptor, tablero de emergencia, sub tablero, Subestación del MINFIN.

Es importante notar la importancia de las siguientes especificaciones para los distintos interruptores, para tener una adecuada coordinación de protecciones.


- **I<sub>cu</sub>. Capacidad de ruptura última o poder de corte último:**
  - Máxima corriente de corto circuito que el interruptor puede cortar.
  - El interruptor debe cortar dos veces consecutivas esta corriente.
  
- **I<sub>cs</sub>. Corriente de corte en servicio:**
  - Es la aptitud del interruptor en tener un servicio normal después de haber cortado tres veces consecutivas esta corriente.
  - Es un parámetro de comparación que brinda una medida de la robustez del interruptor. Se expresa en función del % de I<sub>cu</sub>.

En consecuencia, un interruptor es más robusto cuánto más alto sea el %.  
Ejemplo:  $I_{cs} = 50 \% I_{cu}$ , implica menos robustez que si la  $I_{cs}$  es del  $100 \% I_{cu}$ , que sería lo más robusto que se encuentre en el mercado.

$U_i$  Tensión de aislamiento  
 $U_{imp}$  Tensión de impulso  
 $I_{cw}$  Capacidad de corriente admisible

En los servicios de emergencia es muy importante contar con una adecuada coordinación de protecciones eléctricas, que pueda garantizar al máximo la continuidad del servicio. Para hacer una adecuada coordinación de Protecciones, es vital poder realizar un estudio de cortocircuito y contar con todas las curvas de los interruptores termomagnéticos y fusibles que se encuentre en la instalación, además del diagrama unifilar actualizado.

Figura 16. **Datos de especificación IEC 60 947-2 (EN 60947-2) para interruptor tipo ACB, serie ETU 25B, marca Siemens**



IEC 60 947-2, EN 60 947-2		
N117 A002508		
Cat B		
$I_n$ max 3200 A		
$U_i$ 1000 V 50 / 60 Hz		
$U_{imp}$ 12 kV		
$U_e$	440 V	690 V
$I_{cs} (=I_{cu})$	80 kA	75 kA
$I_{cw} / 0,5s$	65 kA	65 kA
$U_e$	1000 V	
$I_{cs} (=I_{cu})$	---	
$I_{cw} / 0,5s$	---	
690 V		
ID-No 491231217005		

$I_n$ Máx	3 200 amperios (ajustable)	
$U_i$	1 000 voltios 50/60 H	
$U_{imp}$	12 kV	
$U_e$	440 V	690 V
<b><math>I_{cs} = I_{cu}</math></b>	80 kA	75 kA
(Robusto)		
$I_{cw} / 0.5$ seg	65 kA	65 kA


Fuente: elaboración propia, Interruptor ACB, Subestación del MINFIN.

Figura 17. **Set para ajuste de disparo (curvas) para coordinación de protecciones del interruptor tipo ACB serie ETU 25B marca Siemens**



Fuente: elaboración propia, Interruptor ACB, Subestación del MINFIN.

Figura 18. **Set de ajuste de disparo (curva) para coordinación de protecciones del interruptor tipo MCCB serie VL 250 marca Siemens**



The image shows the technical specifications and a physical adjustment knob for a Siemens MCCB VL 250. The specifications are as follows:

$U_e$ (V)	$I_{cu}$ (kA)	$I_{cs}$ (kA)
220/240	65	65
380/415	45	45
690	20	10
250	30	22

~ = 50/60 Hz

NEMA	RATING	$I_{sum}$ (kA)
480	~	25
600	~	20

The physical adjustment knob is labeled with  $I_n=200A$ ,  $50^\circ C$ , and  $TM \sim =$  CAT.A. It also shows a scale from 5 to 10 and a  $\times I_n$  multiplier.

$I_n$ Máx	630 amperios	
$U_e$	$I_{cu}$	$I_{cs}$
220/240 V	65 kA	65 kA

( $I_{cu}=I_{cs}$ ) implica Equipo ROBUSTO

Fuente: elaboración propia, Interruptor MCCB, Subestación del MINFIN.

Figura 19. **Interruptor MCCB serie COD, con una corriente máxima de operación de 70 amperios y una corriente de interrupción simétrica clasificación NEMA de 65 kA**



Fuente: elaboración propia, Interruptor MCCB, Subestación del MINFIN.

Se observa que la capacidad de ruptura última en los Interruptores, tanto del tipo ACB, como MCCB y MCCB ( $I_{cu}$ ), están bien estimadas de acuerdo a la posición al inicio de los ramales de distribución. En los tableros de distribución y en los centros de carga de los niveles, encontraron Interruptores del tipo MCCB con capacidad de ruptura última o de corriente simétrica del orden de 10 a 25 kA o menos, dependiendo de la marca, lo que equivale a decir que, si la falla ocurre aguas abajo del interruptor de 25 kA, este operará primero que el de 65 kA, garantizando la operación del sistema. Para cerciorarse de una buena coordinación, es importante contar con un análisis de corto circuito y un análisis de las curvas de disparo de los diferentes dispositivos de protección.

### **3.3.7. Interruptor de media tensión, combinado con fusibles**

Los Interruptores que se encuentran en la subestación unitaria en el MINFIN son catalogados como fusibles combinados. Los interruptores son aparatos de corte que permiten efectuar maniobras voluntarias de apertura y de cierre de circuitos en condiciones dadas de carga, es decir, sus contactos están previstos para abrir y cerrar circuitos con intensidades nominales y con sobrecargas.

Ahora bien, si se le adicionan fusibles, tienen la capacidad de interrumpir en condiciones de corto circuito. Los fusibles son los dispositivos de protección contra cortocircuito, cuya velocidad de funcionamiento reduce el efecto de las corrientes de cortocircuito, lo que limita, de forma drástica, la energía suministrada al circuito del fallo; con ello, se evita los resultados catastróficos de grandes fallos y arcos voltaicos perturbadores. Los fusibles son capaces de interrumpir y lograr una corriente 0 en primer medio ciclo de un fallo. Deben disminuir la potencia una vez instalados en un espacio cerrado, por lo general, en un 5-20 %, esto depende de la aplicación.

Algunos términos a tomar en cuenta para su uso y clasificación son: corriente de capacidad de interrupción mínima (CIM), corriente de fusión mínima (CFM), valor mínimo de pre arco y el valor máximo de energía de compensación, pérdida de vatios, capacidad de interrupción, intensidad nominal. Los fusibles deben cumplir con normativas, en el estándar IEC deben pasar una prueba obligatoria (PO) (PO<sub>1</sub>) (PO<sub>2</sub>) y (PO<sub>3</sub>). En función de la Coordinación de Protecciones, los fusibles tienen una característica de tiempo inverso, es decir, que a mayor sobrecarga es menor su tiempo de actuación.



Figura 20. **Interruptor combinado con fusibles de media tensión en subestación MINFIN**



Fuente: elaboración propia, Celda de entrada, Subestación del MINFIN.

### **3.3.8. Alimentadores/conductores**

Los alimentadores o conductores son componentes eléctricos que transportan y confinan el flujo de la corriente eléctrica en su interior; los mismos son construidos de materiales de alta conductividad, para minimizar las pérdidas de energía y la caída de voltaje. Normalmente, se construyen de cobre o aleaciones del mismo material y de aluminio.

Clasificación:

Dependiendo de su construcción:

Los conductores se clasifican de acuerdo a las siguientes características:

- Material: cobre, aluminio y otros.
- Forma: cable, barra, ducto barra; composición: sólido, trenzado y otros.

- Nivel de voltaje: 100, 250, 600, 5 000 volts y otros.
- Aislamiento: termoplástico, hule entre otros.
- Rango de temperatura: 60 °C, 75 °C, 90 °C y otros.

En el edificio del MINFIN la alimentación a los subtableros ubicados en los distintos niveles se realiza mediante un ducto barra que se conforma de 4 barras de aluminio. Este alimentador también suministra energía a los tableros de elevadores y equipos de bombeo ubicados en el nivel 15.

Dependiendo del tamaño del conductor:

Existen en Guatemala dos formas de numerar los conductores, ya sea de acuerdo con el calibre de alambre americano (AWG), los cuales van desde el calibre 36 hasta el 4/0, donde a medida que el número aumenta la sección disminuye, siendo el mayor de ellos el número 4/0. Los calibres mayores al 4/0 se describen en Circular Mils o mils cuadrados. También se encuentran numerados en milímetros cuadrados, según la clasificación europea. Así también, existen las barras que forman los ductos barras, las cuales están en dimensiones de pulgadas o milímetros.

### **3.3.9. Conductos y canalizaciones**

El propósito de los conductos, ya se trate estos de tuberías o canaletas metálicas o plásticas, es dar soporte y protección a los conductores, (cables/alambre), que se alojan en su interior, protegerlos contra daños mecánicos o químicos; proteger a las personas contra el peligro de choque eléctrico, al proveer de una cubierta debidamente aterrizada, (en el caso de canalizaciones metálicas); y proteger los alrededores de las misma contra peligro de fuego, debido a sobrecalentamientos o arcos en los conductores.

Es un requerimiento del NEC que todos los conductores deben ir por ductos rígidos metálicos, o bien por otros materiales que cumplan con los propósitos enumerados en el párrafo anterior.

A continuación, se mencionan los conductos más utilizados en las instalaciones del MINFIN.

#### **3.3.9.1. Conducto metálico (RMC e IMC)**

Es un conducto roscable de sección circular, diseñado para la protección física y conducción de conductores o cables, y para usar como un conductor de puesta a tierra de equipos, cuando se instala con las coplas y accesorios apropiados (Ver artículo 344 NEC, versión 2017). Existe también la versión de pared más delgada y, por tanto, más liviana, conocida como *Conduit* metálico intermedio, (ver artículo 342 NEC, versión 2017).

#### **3.3.9.2. Tubo metálico para instalaciones eléctricas (EMT)**

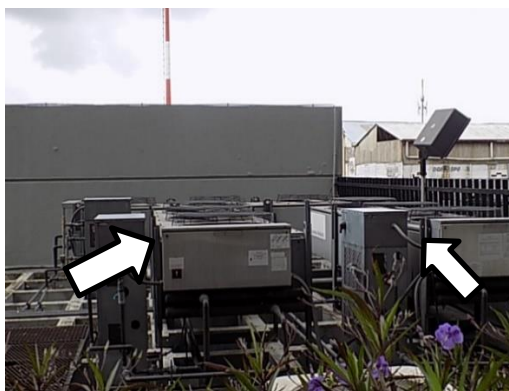
Es un conducto no roscable de acero, de pared liviana, que cumple con las funciones similares a los tipos RMC e IMC, pero debe tenerse en cuenta ciertas condiciones para su uso. (ver artículo 358 NEC, versión 2017)

### 3.3.9.3. Conducto metálico flexible (FMC) y (LFMC)

Uno de los puntos en los que se utiliza en el edificio del MINFIN el tipo de conducto denominado conducto metálico con estanco de agua o (LFMC), por sus siglas en inglés, es en las alimentaciones a los equipos de aire acondicionado, ubicados en la pérgola de concreto, sobre la rampa de ingreso al edificio. Su uso es el adecuado para este tipo de locación.

El conducto metálico flexible se trata de un conducto de sección circular, construido como una tira de metal entrelazada en forma helicoidal. No se puede usar en locaciones húmedas o en cuartos de baterías. Aunque es metálico, no es permitido utilizarlo para aterrizar equipos; en este caso hay que utilizar un conductor de tierra independiente, (ver artículo 348 NEC versión 2017), y la variante del FMC, conocida como LFMC, en la cual el FMC tiene una cubierta hermética exterior, con estanco al agua no metálica, resistente a la luz solar (ver artículo 350 NEC versión 2017).

Figura 21. **Conducto metálico flexible, se utiliza para la conexión de equipos de A/C**



Fuente: elaboración propia, Losa de pérgola que sirve de techo en la rampa de ingreso a sótano del MINFIN.

#### **3.3.9.4. Conducto rígido de poli-vinil clorhídrico (PVC)**

Es un conducto rígido no metálico de sección circular, debe usarse el catalogado como cédula 40, en donde no esté sujeto a daño físico en locaciones interiores o exteriores, enterradas o expuestas y la cédula 80 en localidades en donde puede estar sujeto a daños físico. Los tipos A y EB son específicos para estar enterrados (ver artículo 352 NEC versión 2017). En las instalaciones del MINFIN, es el de uso más común en cédula 40. Otro tipo utilizado en ocasiones es el ENT, tubo para uso eléctrico no metálico, descrito en el artículo 362 NEC.

Existen otros tipos de ductos, pero no se encontraron en la edificación del MINFIN, por ejemplo: RTRC, NUCC, HDPE, LFNC).

#### **3.3.9.5. Bandejas porta cables**

Las bandejas, porta cables son un sistema mecánico de soporte para conductos; son de uso común en las instalaciones industriales, pero, también se encuentra en instalaciones comerciales para soporte de cableado de datos y telecomunicaciones o para ramales principales de alimentadores. Se compone de secciones que se ensamblan con sus herrajes apropiados, lo que forma una estructura rígida; puede tener discontinuidades en su recorrido. Se fabrican las piezas y los accesorios necesarios para formar curvas, tanto en forma vertical como horizontalmente. El artículo 392 del NEC versión 2017 describe y da las directrices para su uso. En las instalaciones del MINFIN, son utilizadas en el área de la subestación en el sótano 3.

Figura 22. **Bandeja porta cable en recinto de subestación sótano 3**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

### **3.3.9.6. Canaletas metálicas y no metálicas**

Son canales de láminas de metal o no metálicas preformados de diferente espesor, están fabricados en secciones de diferentes anchos y altos, con una longitud no mayor de 3 metros; poseen cubierta removible y deben usarse solo en instalaciones expuestas. Por sus dimensiones y características, permiten acomodar los conductores de forma fácil. Los artículos 376 y 378 tratan este tipo de instalaciones. En el MINFIN, se encuentran en varios puntos, entre ellos, en el cuarto de ascensores.

Figura 23. **Canaletas metálicas**



Fuente: elaboración propia, Cuarto de máquinas de ascensores del MINFIN.

### 3.3.9.7. **Ducto barra (*Busway*)**

Un ducto barra es un conducto metálico que contiene montados de fábrica, barras o conductores aislados, los cuales pueden ser de cobre, aluminio en forma de barras, varillas o tubos. Su uso y características se describen en el artículo 368 NEC 2017. Ofrecen una mejor alternativa respecto al uso de bandejas porta cables, dando más seguridad y facilidad de instalación. Están menos expuestos a daño por plagas de roedores. Deben ser instalados en lugares de fácil acceso, para mantenimiento y monitoreo. En el MINFIN, se encuentran instalados 3 sistemas de ducto-barra, 2 ubicados en el ducto vertical del edificio denominado La Torre.

El primer ducto-barra alimenta los tableros normales de La Torre; el segundo ducto-barra alimenta los tableros de emergencia del mismo y un tercer ducto alimenta las cargas del Nivel 6 y el Despacho Ministerial.

Se les denomina, según datos obtenidos en la subestación (ver diagrama unifilar figura 47).

- Ducto barra nuevo
- Ducto barra 630 amperios
- Ducto barra servicio normal Torre

Figura 24. **Ductos barra ubicados en la subestación**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

### **3.4. Sistema de puesta a tierra física**

La subestación del MINFIN cuenta con sistema de puesta a tierra física, compuesto por una malla de cable desnudo, unida a varillas de cobre *Copperweld*, conectándolas entre sí. En el recinto de la subestación, se encuentran varias cajas de registro para supervisión y mantenimiento del sistema. No se localizó otro sistema aparte de este.

Existe la obligatoriedad de la implementación de un sistema de conexión a tierra en las instalaciones eléctricas de un edificio. La prioridad está en asegurar la integridad física del personal y de las instalaciones y el buen desempeño del equipo al ocurrir una falla a tierra.



Una conexión efectiva a tierra es la condición en la cual existe un camino conductivo de impedancia suficientemente baja para todas las condiciones del sistema; analíticamente hablando, es cuando la relación reactancia de secuencia cero a reactancia de secuencia positiva  $X_0 / X_1$  es positiva y menor que tres (3); y la relación resistencia de secuencia cero a reactancia de secuencia positiva  $R_0 / X_1$  es positiva y menor que uno (1).

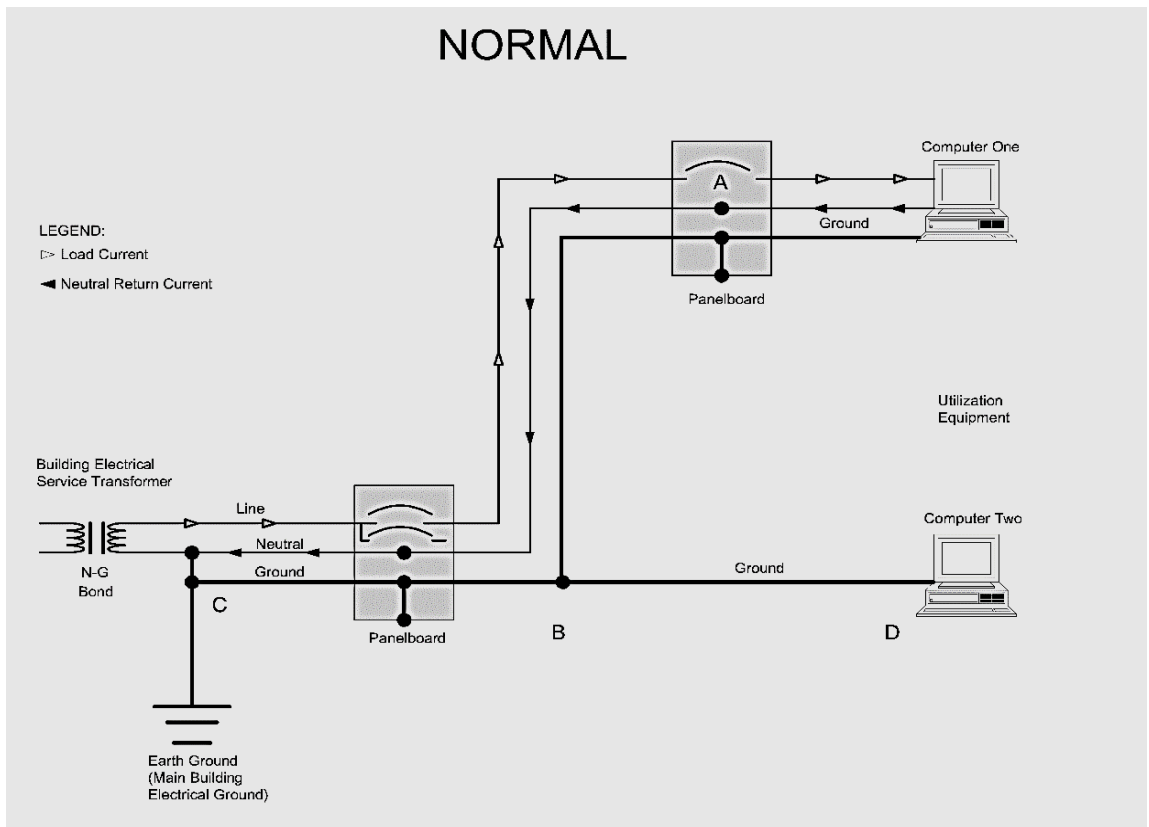
Lo más importante a tener en cuenta en un sistema de puesta a tierra es la equipotencialidad, es decir, que todo el sistema debe estar a un mismo potencial, por lo tanto, si existieran varias mallas, por ejemplo: la malla para protección de equipos / personal y la malla para descargas atmosféricas, deben estar unidas entre sí.

Figura 25. **Registro de sistema de puesta a tierra en subestación MINFIN**



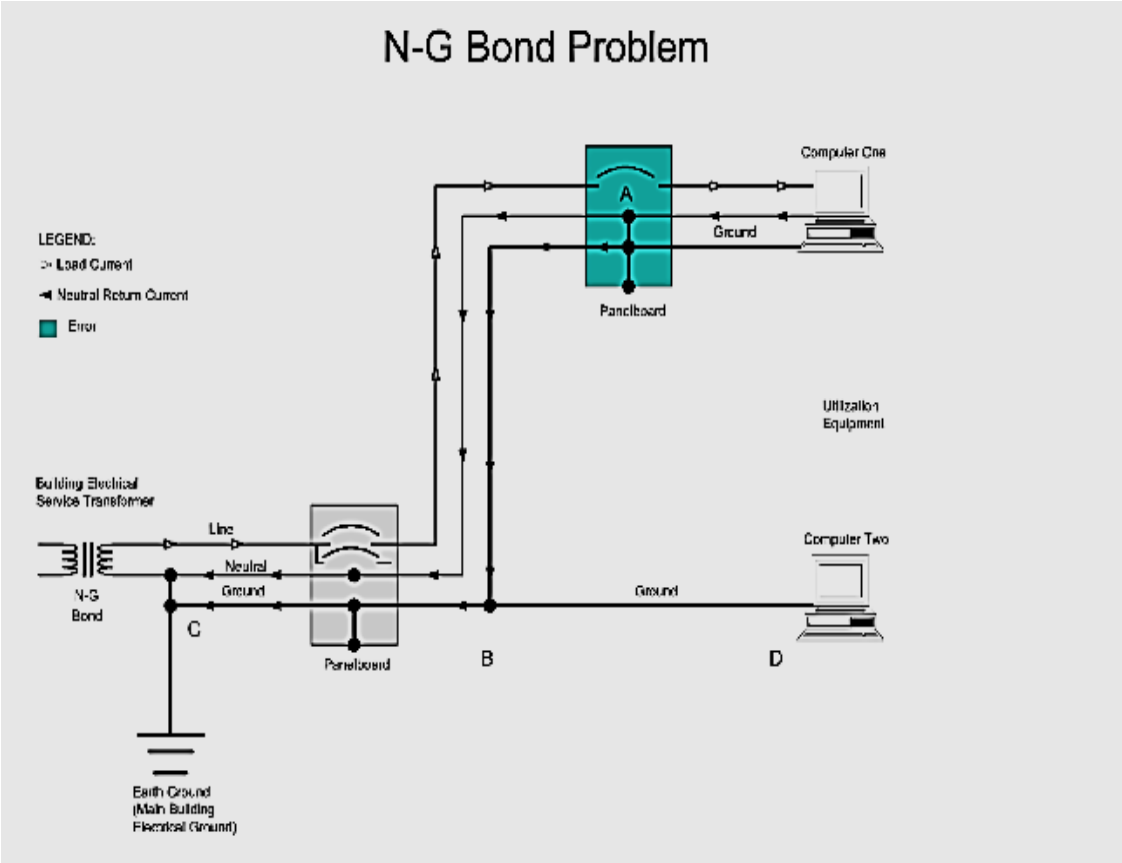
Fuente: Subestación, sótano 3 del MINFIN.

Figura 26. **Esquema de un sistema de puesta a correcto, el punto de unión entre neutro – tierra está aguas abajo del interruptor principal**



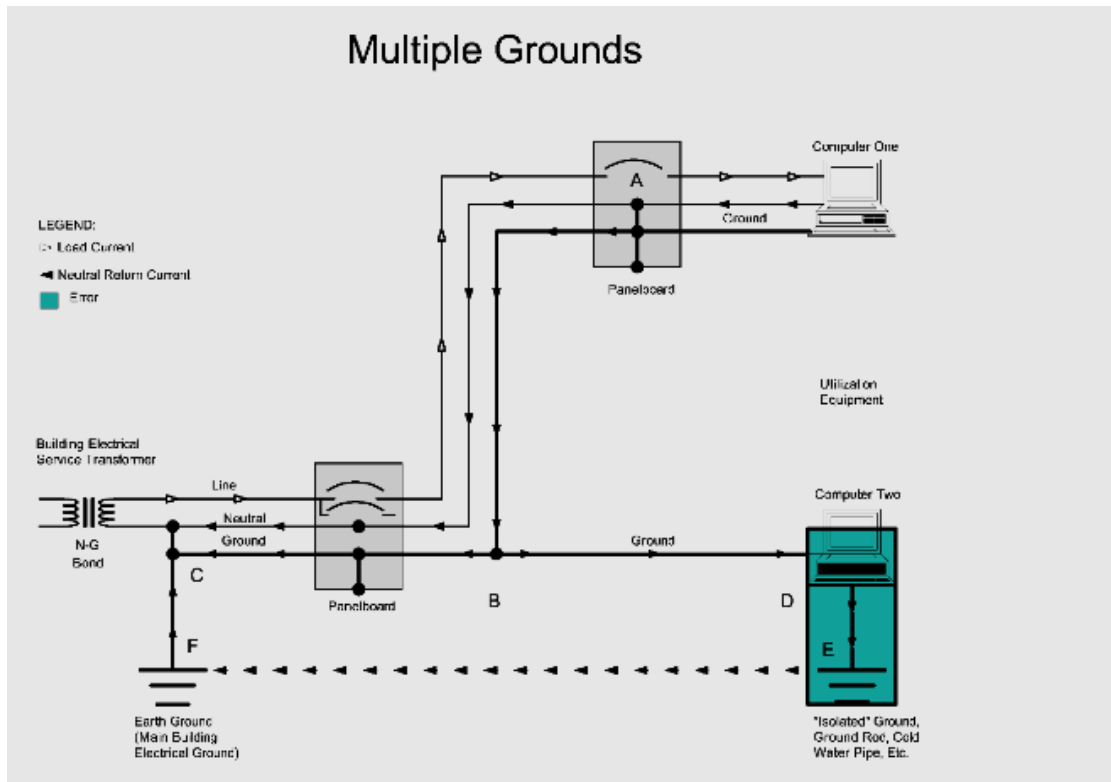
Fuente: The Dranetz-BMI Field Handbook for Power Quality Analysis.

Figura 27. Sistema de puesta a tierra incorrecto, la unión neutro-tierra está aguas arriba del interruptor principal, provoca corrientes en conductores de tierra



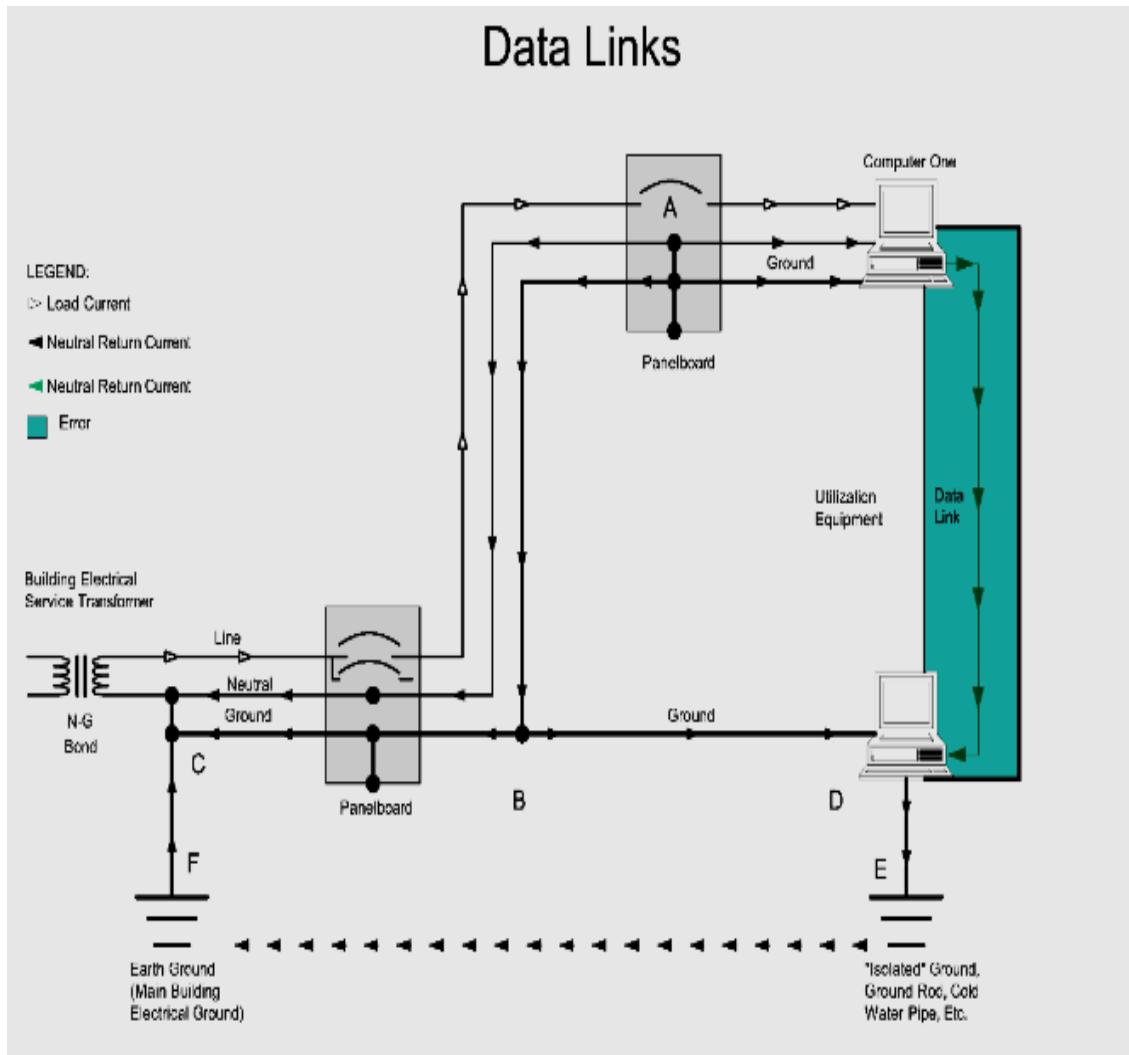
Fuente: The Dranetz-BMI Field Handbook for Power Quality Analysis.

Figura 28. **Sistema de puesta a tierra incorrecto, unión neutro y tierra aguas arriba y electrodos no equipotenciales, provoca corrientes en conductores de tierra y se dan retornos por tierra entre sistemas de electrodos**



Fuente: The Dranetz-BMI Field Handbook for Power Quality Analysis.

Figura 29. **Sistema de puesta a tierra incorrecto, unión de neutro-tierra aguas arriba y electrodos no equipotenciales, provoca corrientes en cableado de datos, en conductores de tierra y existe retorno por tierra**



Fuente: The Dranetz-BMI Field Handbook for Power Quality Analysis.

### **3.5. Sistema de protección contra rayos y redes a tierras para alta**

Toda edificación que, según la matriz de cálculo de riesgo de impacto, lo indique debe ser protegida por un sistema de protección contra rayos.

Existen pararrayos de puntas activas (PDC), y sistemas pasivos, (puntas Franklin-Mallas captadoras). Es importante resaltar que el sistema de tierra física para un sistema que opera a 60 Hz difiere de un sistema que esté sometido a altas frecuencias o a fenómenos tipo impulso, como es el caso de las descargas atmosféricas. Normativas: UNE EN 62305-2 (IEC 62305-2) para análisis de riesgo; UNE 21186,2011, para protección contra el rayo; NFPA 78214 estándar, para instalación de sistemas de protección de rayos. Otros; el NEC en su cláusula 2050.106 especifica que el sistema de tierra para protección contra rayos debe estar unido al sistema de tierra de la edificación (equipotencialidad).

El edificio del MINFIN cuenta con ambos sistemas, puntas activas y puntas Franklin. El sistema como tal tiene la finalidad de proteger a los edificios contra descargas directas de rayo y contra eventuales riesgos de incendio, así como contra los efectos y repercusiones de las corrientes de rayo inducidas.

Es importante mencionar que el sistema de pararrayos PDC no ha sido aceptado universalmente por la comunidad científica, lo cual se puede ver en el documento IEEE Std. 142-2007, capítulo 3; sin embargo, se sigue vendiendo en todo el mundo. Lo que ya no es permitido es que tengan dispositivos radioactivos para lograr la ionización, básicamente esto dependerá de la forma del mismo.

Figura 30. **Puntas activas, pararrayos PDC**



Fuente: elaboración propia, azotea del MINFIN.

Figura 31. **Sistema pasivo, puntas Franklin**



Fuente: elaboración propia, azotea del MINFIN.

#### **4. TRABAJO DE CAMPO: UBICACIÓN, ENVOLVENTE, DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN, CENSO DE CARGAS Y PARETO DE CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE CARGA**

##### **4.1. Ubicación, altitud y orientación del edificio Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN**

El Edificio se encuentra ubicado en el Centro Histórico de la ciudad de Guatemala, en la 19 calle y 8ª avenida zona 1.

Ubicación geodésica es 14° 37 '42" N 90° 30'40" W

Altitud 1 500 msnm

- Orientación del edificio:

El Edificio denominado La Torre es de forma rectangular, por lo tanto, se puede orientarlo respecto a su lado largo o respecto a su lado corto respecto a lado más largo, su orientación es de este a oeste, y respecto a su lado corto, su orientación es de norte a sur.

El edificio denominado El Anexo, cuya forma es cuadrada, la orientación puede ser referida tanto de norte a sur como de este a oeste.



## **4.2. Envolverte arquitectónica del edificio**

La envolverte arquitectónica del edificio es la parte del mismo que se encuentra en contacto con el ambiente exterior, podría decirse que es la piel del edificio, y juega un papel importante a considerar en el desempeño energético del mismo, ya que es la parte que se encuentra expuesta al efecto de las inclemencias meteorológicas. Según su construcción y orientación, tendrá un coeficiente de transmisión térmica diferente y un aporte variable en el aprovechamiento de la iluminación natural. Por ejemplo: si una edificación con fachadas totales de vidrio que se orienten hacia el este y oeste, probablemente requiera mayor gasto de energía en el control de temperatura del interior, que si se orientan de norte a sur; debido a que la incidencia solar será mayor. Una edificación que cuente con aleros o voladizos en sus techos evitará también la exposición solar en fachadas. De la misma forma, si las paredes perimetrales de la edificación cuentan o no con algún tipo de aislamiento térmico, pueden optimizar el consumo de energía.

Por tanto, el primer análisis que se realiza en el presente trabajo se relaciona con dicho aspecto.

La envolverte del edificio del Ministerio de Finanzas Públicas está constituida de la siguiente forma:

En las fachadas norte y sur, por ventanales vidriados, -en casi la totalidad del área de las mismas-, del tipo conocido como muro cortina; cuenta con elementos verticales sólidos, ubicados de forma perpendicular a los ventanales, distanciados 4,25 metros uno del otro, de 1,00 metro de longitud y de la altura total del edificio, utilizados como parteluces. En ambos lados de cada parteluz y de la altura total del edificio, existen rejillas de aluminio para ventilación natural.

Las fachadas este y oeste cuentan con un lienzo central vertical de mampostería que cubre el 60 % del área y que remata en ambos extremos con dos elementos perpendiculares al mismo, y que tiene la altura total del edificio. En ambos lados de lienzo, se ubican ventanales similares a los de las fachadas norte y sur.

El edificio cuenta con un techo plano de concreto, con pañuelos para la escorrentía pluvial, la cubierta está impermeabilizada y cuenta con un voladizo en todo su perímetro de aproximadamente 2,50 metros de longitud.

Internamente, la mayoría de muros están contruidos de tabla yeso y cielos de fibra mineral; mientras que el piso es del tipo vinílico.

Figura 32. **Envolvente del edificio del MINFIN, fachada oeste, mampostería y vidrio**



Fuente: elaboración propia, fachada oeste, edificio del MINFIN.

Figura 33. **Envolvente edificio La Torre fachada este, mampostería y vidrio**



Fuente: elaboración propia, fachada norte del edificio del MINFIN.

Figura 34. **Envolvente edificio Anexo y La Torre, fachada noreste, mampostería y vidrio**



Fuente: elaboración propia, fachada oeste del edificio del MNFIN.

La envolvente del edificio de Finanzas Públicas (se debe tener en cuenta que el mismo fue construido en la década de los 70 del siglo pasado, cuando el énfasis en la construcción no era la eficiencia en el desempeño energético, y que tampoco el desarrollo tecnológico de los distintos materiales utilizados en su construcción estaban enfocados a resolver este asunto), por tanto, se concluye que la misma tiene un aporte negativo a dicho desempeño; por ello, debe considerarse su reingeniería en cualquier solución integral que implique la mejora del desempeño energético del edificio de Finanzas Públicas.

La utilización de vidrios con mejores coeficientes térmicos y de control de incidencia solar son una solución a evaluar, así como el uso de fachadas ventiladas, ya que, permitirían lograr el mejoramiento del bienestar interior y, por consiguiente, un mejor rendimiento en las distintas áreas de trabajo, sin uso de un sistema de climatización central o el uso extendido de equipos individuales de climatización que implicarían un aumento en el consumo de energía eléctrica. El control de iluminación natural lo realizan actualmente mediante la colocación de cortinas.

El planteamiento de las soluciones de mejora en la envolvente, quedan fuera de los alcances de este trabajo.

#### **4.3. Descripción del edificio de Finanzas Públicas MINFIN**

El edificio del MINFIN, de acuerdo con lo descrito en los planos conservados en el departamento administrativo y elaborados por la Dirección General de obras Públicas, se distribuye en 7 cuerpos, cada uno con geometría y método constructivo diferente, con un área aproximada de 50 652,00 m<sup>2</sup>, tiene 23 niveles, desde que sobresale del nivel de cimentación.

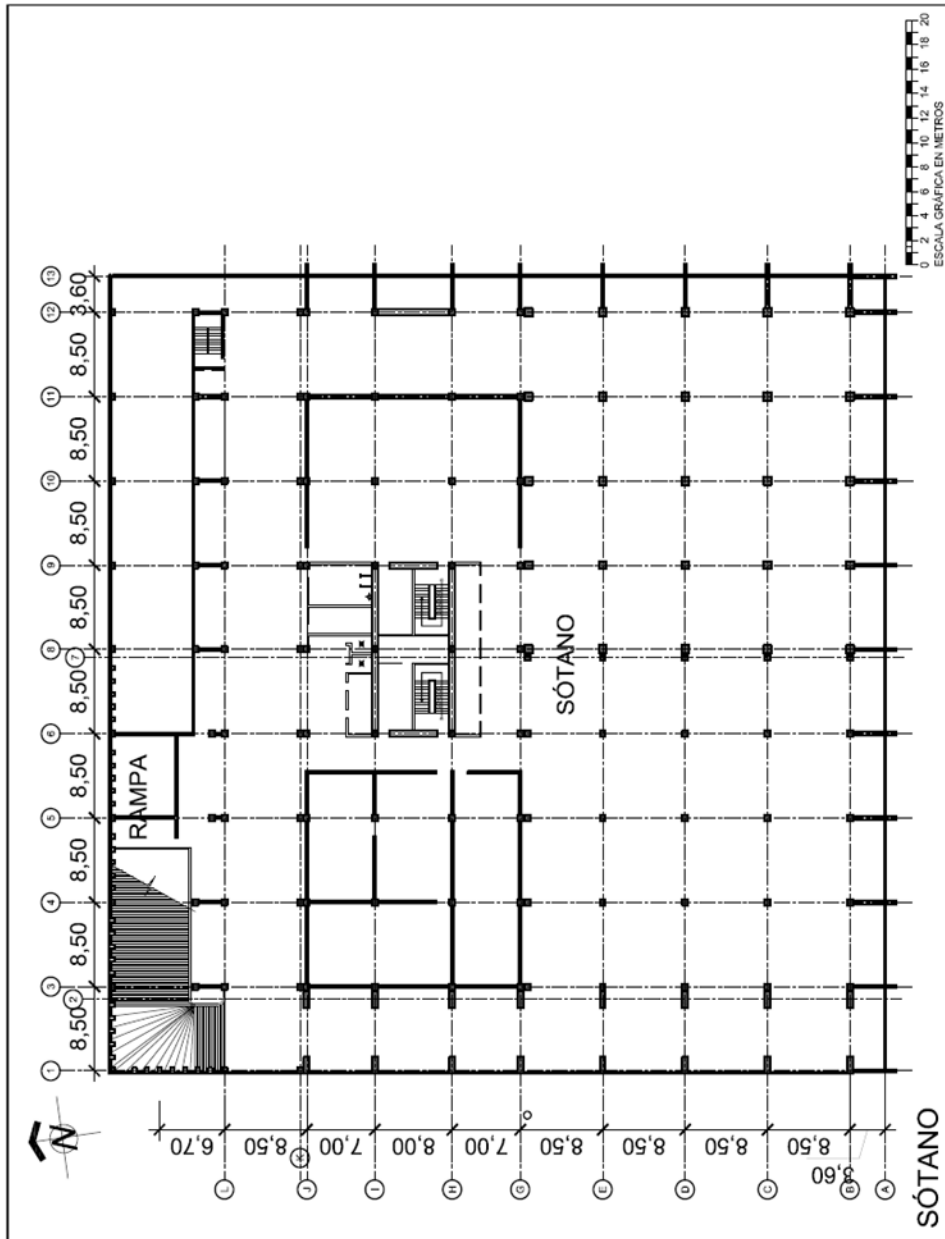
Cuerpo 1, lo constituye la edificación denominada, La Torre, la cual es el núcleo central. Son marcos de acero prefabricado y losas de concreto armado, consta de 23 niveles, incluye 3 niveles que se encuentran bajo nivel de calle. Este cuerpo alberga básicamente del nivel 4 al 21. Las oficinas de los diferentes departamentos y el vestíbulo de ingreso de personal; de su nivel 1 al 3, archivos, bodegas y la subestación; en el nivel 22/23, el cuarto de máquinas de los ascensores. El área de este cuerpo del nivel del 4 hasta el nivel 18 es aproximadamente de 30 592 m<sup>2</sup>, del nivel 1 al 3 de 3 017 m<sup>2</sup> y de los niveles 22/23 aproximadamente 490 m<sup>2</sup>.

El Cuerpo 2, lo constituye la edificación denominada El Anexo. Su estructura es similar a la del cuerpo 1. Consta de 6 niveles, 3 de los cuales están bajo nivel de calle, y alojan parqueos; el área aproximada del nivel del 4 al nivel 6 es de 3 130 m<sup>2</sup>, los cuales albergan el vestíbulo y las oficinas de atención al público, así como un área de 3 468 m<sup>2</sup> del nivel 1 al 3 los cuales alojan parqueos y archivos.

Los cuerpos 3, 5, 6 y 7 están por debajo del nivel de calle; constituyen parte de los sótanos y contienen: áreas de circulación, parqueos, archivos, talleres, cisterna y cuarto de bombas de elevación. Su estructura es, en algunas áreas, de marcos estructurales y losas de concreto armado y, en otras, marcos de acero prefabricado y losas prefabricadas o una mezcla de ambos sistemas. El área aproximada de estos cuerpos es de 8 014,44 m<sup>2</sup>

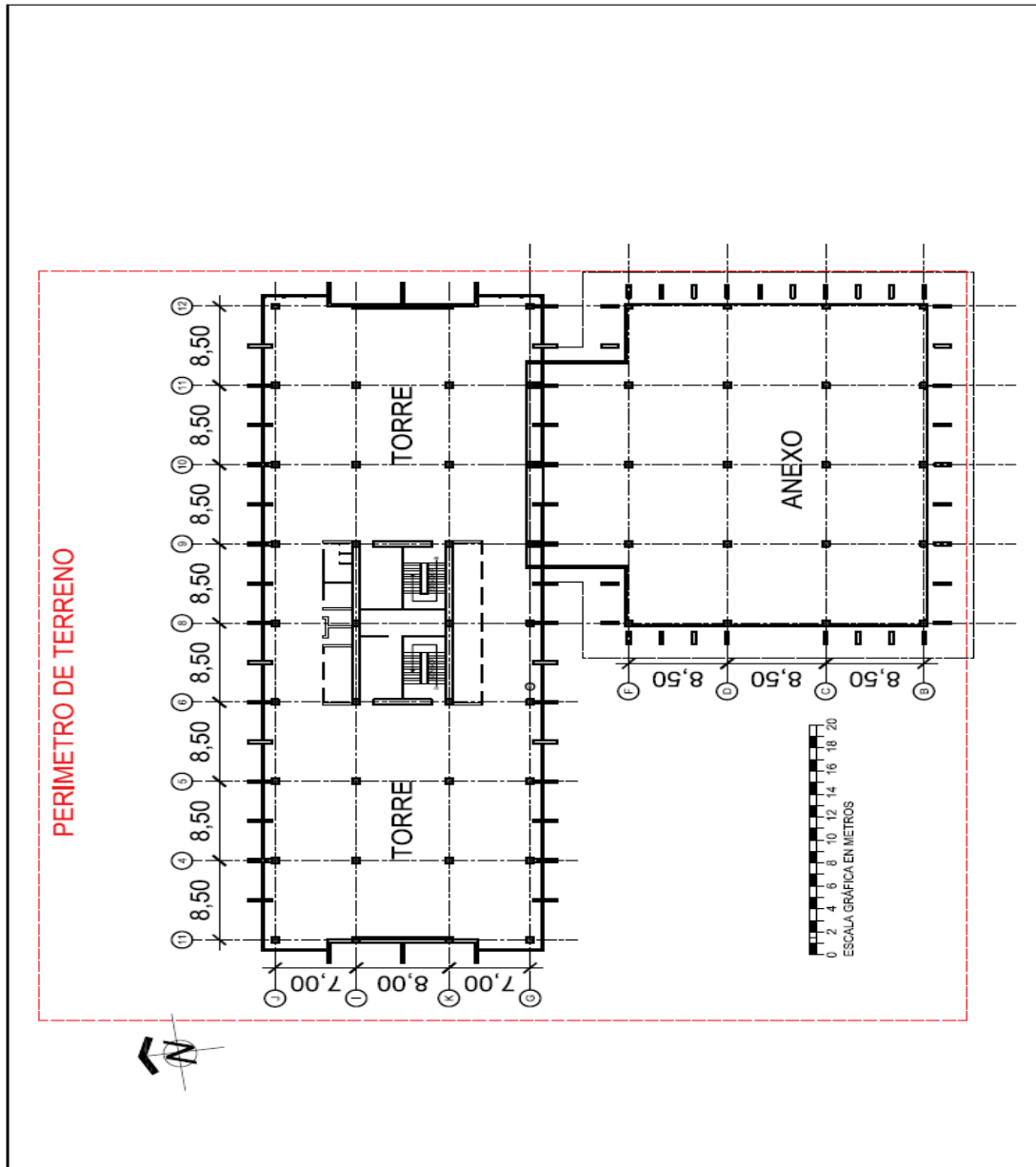
Adicionalmente, cuenta con la rampa de ingreso vehicular y la pérgola o techo de la rampa, que constituye el cuerpo 4, con un área de 1 311 m<sup>2</sup> y una plaza.

Figura 35. **Cuerpos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, ubicados bajo nivel de calle, (sótanos y rampa de acceso)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 36. **Planta de nivel típico del cuerpo 1 (Torre) y del cuerpo 2 (Anexo) oficinas y vestíbulos de atención o recepción**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

#### 4.4. Censo de cargas del edificio del Ministerio de Finanzas Públicas (MINFIN)

Para este efecto el nivel 1 se sitúa sobre el nivel de calle.

Tabla I. Distribución de luminarias por nivel en el edificio La Torre

Nivel	Ubicación	Equipo	Cantidad de luminarias	Watt x luminaria	Watt totales	Índice Watt/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
1	Oficinas + Pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1 684
2	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329 (*)	70	23 030	13,67	1 684
3	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	392	70	23 030	13,67	1 684
4	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	192	70	13 440	7,98	1 684
5	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329 (*)	70	23 030	13,67	1 684
6	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1 684
<b>7</b>	<b>Oficinas + salones</b>	<b>Lámpara led tipo panel</b>	<b>332</b>	<b>40</b>	<b>13 280</b>	<b>7,88</b>	<b>1 684</b>
8	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329 (*)	70	23 030	13,67	1 684
9	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329 (*)	70	23 030	13,67	1 684
10	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1 684
11	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329 (*)	70	23 030	13,67	1 684
<b>12</b>	<b>Oficinas + cafetería</b>	<b>Lámpara led tubos 9 w</b>	<b>304</b>	<b>36</b>	<b>10 944</b>	<b>6,49</b>	<b>1 684</b>
13	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1 684
14	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1684
<b>15</b>	<b>Oficinas + pasillos + baños</b>	<b>Lámpara 2 tubos U 32 W</b>	<b>335</b>	<b>70</b>	<b>23 450</b>	<b>13,95</b>	<b>1 684</b>
16	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	23 030	13,67	1 684
17	Oficinas + pasillos/Baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	329	70	3 070	13,67	1 684
18	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	321	70	23 070	13,67	1 684
19	Cuarto máquinas	Lámpara 2 tubos U 32 W.	68	70	4 760	12,93	490
			<b>5 829</b>		<b>387 734</b>		<b>30 802</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.



Tabla II. **Distribución de luminarias por nivel en el edificio El Anexo**

Nivel	Ubicación	Equipo	Cantidad de Luminarias	Watt x Luminaria	Watt Totales	ÍNDICE Watt/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
1	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	212	70	14 840	14,40	1 043
2	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	219	70	15 330	14,88	1 043
3	Oficinas + pasillos/baños	Lámpara 2 tubos U 32 w	219 (*)	70	15 330	14,88	1 043
4	Terraza						
			<b>650</b>		<b>45 500</b>		<b>3 129</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla III. **Distribución de luminarias por sótanos, se toma como sótano 1 el inmediato inferior al nivel de calle**

Nivel	Ubicación	Equipo	Cantidad de Luminarias	Watt x Luminaria	Watt Totales	ÍNDICE Watt/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Sótano 1	Núcleo Central	Lámpara 2 tubos U 32 w	142	70	9 940	7,59	1 309
Sótano 1	Parqueos y circulación	Lámpara 2 tubos 32 w listón	179	70	12 530	5,62	2 227
Sótano 2	Núcleo central	Lámpara 2 tubos U 32w	142	70	9 940	7,59	1 309
Sótano 2	Parqueos y circulación	Lámpara 2 tubos 32 w listón	179	70	12 530	5,62	2 227
Sótano 3	Núcleo central	Lámpara 2 tubos U 32 w y listón	120	70	8 400	6,41	1 309
Sótano 3	Circulación	Lámpara 2 tubos 32 w listón	102	70	7 140	4,26	1 674
Sótano 3	Bodegas	Lámpara 2 tubos	77 (*)	70	5 390	9,74	553
Rampa	Circulación (iluminada)	Lámpara 2 tubos 32 w listón	22	70	1 540	5,20	296
Mezzanine	Parqueos y circulación	Lámpara 2 tubos 32 w listón	24	70	1 680	8,57	196
			<b>965</b>		<b>69 090</b>		<b>11 100</b>

**GRAN TOTAL de Watt Instalados en luminarias 499 324**

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla IV. **Distribución de luminarias por sótanos, se toma como sótano 1 el inmediato inferior al nivel de calle**

Nivel	Ubicación	Equipo de oficina	Cantidad de tomacorrientes	kVA por tomacorriente NEC 220.14 (l)	kVA Totales	m <sup>2</sup>
1	Oficinas + pasillos/baños	Varios	86	180	15 480	1 684
2	Oficinas + pasillos/baños	Varios		180	-----	1 684
3	Oficinas + pasillos/baños	Varios	117	180	21 060	1 684
4	Oficinas + pasillos/baños	Varios	67	180	12 060	1 684
5	Oficinas + pasillos/baños	Varios	158	180	28 440	1 684
6	Oficinas + pasillos/baños	Varios	156	180	28 080	1 684
7	Oficinas + salones	Varios	179	180	32 220	1 684
8	Oficinas + pasillos/baños	Varios	145	180	26 100	1 684
9	Oficinas + pasillos/baños	Varios	158	180	28 440	1 684
10	Oficinas + pasillos/baños	Varios	130	180	23 400	1 684
11	Oficinas + pasillos/baños	Varios	80	180	14 400	1 684
12	Oficinas + Cafetería	Varios	155	180	27 900	1 684
13	Oficinas + pasillos/baños	Varios	174	180	31 320	1 684
14	Oficinas + pasillos/baños	Varios	175	180	31 500	1 684
15	Oficinas + pasillos/baños	Varios	171	180	23 780	1 684
16	Oficinas + pasillos/baños	Varios	98	180	17 640	1 684
17	oficinas + Pasillos/baños	Varios	144	180	25 920	1 684
18	Oficinas + pasillos/baños	Varios	144	180	25 920	1 684
19	Oficinas + pasillos/baños	Varios	(**)	180		368
			<b>2 337</b>	<b>420 660</b>		<b>30 680</b>

Carga Total instalada, en función de cantidad de tomacorrientes sin aplicar factores de uso

-----

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

**Tabla V. Distribución de distribución de tomacorrientes edificio El Anexo**

Nivel	Ubicación	Equipo de oficina	Cantidad de tomacorrientes	kVA. por tomacorriente NEC 220.14 (I)	kVA. Totales	m <sup>2</sup>
1	Oficinas + pasillos/baños	Varios	63	180	11 340	1 043
2	Oficinas + pasillos/baños	Varios	76	180	13 600	1 043
3	Oficinas + pasillos/baños	Varios	76	180	13 680	1 043
4	Terraza					
					<b>38 700</b>	<b>3 129</b>

Carga total instalada, en función de cantidad de tomacorrientes sin aplicar factores de uso

-----  
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

**Tabla VI. Inventario de equipo nivel 7 (1 684 m<sup>2</sup>), oficinas (886 m<sup>2</sup>), salones (590 m<sup>2</sup>), S.S. (60 m<sup>2</sup>), ascensores y gradas (148 m<sup>2</sup>)**

Descripción	Cantidad	Watt promedio	Watt totales	Horas uso	m <sup>2</sup>
Computadora de escritorio	7	125	875	8	886
Computadora portátil	18	125	2 250	8	886
Impresora	6	300	1 800	8	886
Micro onda	2	1 000	2 000	8	886
Cafetera	2	100	200	8	886
Oasis	1	150	150	8	886
Equipo pequeño	50	25	750		

Watt Totales 8 025.00  
Watt / m<sup>2</sup> 9.05  
Puestos de trabajo 42  
Watt x puesto de trabajo 191.07

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

**Tabla VII. Inventario de equipo nivel 12 (1 684 m<sup>2</sup>), oficinas (886 m<sup>2</sup>), cocina cafetería (590 m<sup>2</sup>), S.S. (60 m<sup>2</sup>), ascensores y gradas (148 m<sup>2</sup>)**

Descripción	Cantidad	Watt promedio	Watt totales	Horas uso	m <sup>2</sup>
Computadora de escritorio	61	125	7 625	8	886+300
Computadora portátil	---	125	-----	8	886+300
Impresora	7	550	3 850	8	886+300
Microondas	2	1 000	2 000	2	886+300
Cafetera	2	250	500	8	886+300
Refrigeradora	1	400	400	8	886+300
Equipo pequeño	122	25	3 050	8	886+300
Ventiladores	21	100	2 100	4	886+300
<u>Watts totales</u>			19 525		
<u>Watt / m<sup>2</sup></u>			16,46		
<u>Puestos de trabajo</u>			47		
<u>Watt x puesto de trabajo</u>			415,42		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

**Tabla VIII. Inventario de equipo nivel 15 (1 684 m<sup>2</sup>), oficinas (1 476 m<sup>2</sup>), S.S. (60 m<sup>2</sup>), ascensores y gradas (148 m<sup>2</sup>)**

Descripción	Cantidad	Watt promedio	Watt totales	Horas uso	m <sup>2</sup>
Computadora de escritorio	58	125	7 250	8	1 476
Computadora portátil	--	125	-----	8	1 476
Impresora	23	200	4 600	8	1 476
Microondas	2	1 000	2 000	2	1 476
Cafetera	2	250	500	8	1 476
Oasis	4	150	600	8	1 476
Refrigeradora	3	400	1 200	8	1 476
Equipo pequeño	116	25	2 900	8	
<u>Watts totales</u>			19 050		
<u>Watt / m<sup>2</sup></u>			12,90		
<u>Puestos de trabajo</u>			58		
<u>Watt x puesto de trabajo</u>			328,44		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Si se realiza un promedio la carga instalada en los tres niveles inventariados, se obtiene un monto x m<sup>2</sup> igual a 12,80 Watt x m<sup>2</sup> para oficinas/ salones y cafetería; pero, si se toma el área total de oficinas de La Torre y El

Anexo, tiene un dato aproximado de carga instalada en los 33 024 m<sup>2</sup> que conforman el total de área de oficinas, pasillos, cafeterías, salones y otros.

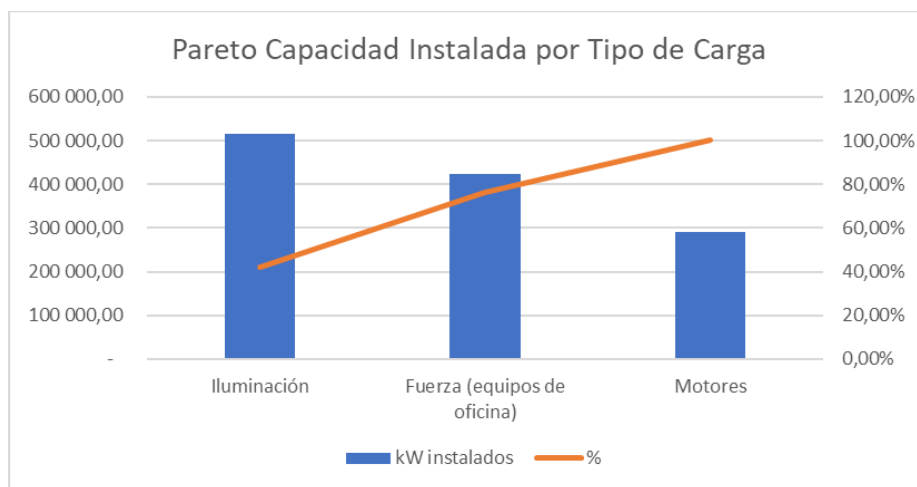
Gran total de watt instalados en equipos de oficina 422 707,20 watt instalados (que es similar al total de la tabla IV).

Tabla IX. **Equipos especiales**

Descripción	Cantidad	KVA (fp 0.8) y/o HP	kWatt total	Horas uso	m <sup>2</sup> sótanos
Ascensores	6	35	210	24	15 078
Bomba de pozo	1	9,3	9,3	4	15 078
Bombas elevación Est. 1	3	20,9		4	15 078
Bomba elevación. Est. 2	3	20,9		4	15 078
Bomba sistema gravedad	2	15		12	15 078
Soldadoras, maquinaria manual		15		8	15 078
Aire acondicionado del sexto nivel					15 078
			291,100		15 078

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 37. **Gráfica de Pareto (capacidad instalada versus tipo de carga instalada)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La gráfica de Pareto permite visualizar los montos de la capacidad instalada en kWatt y los porcentajes de los mismos, utilizados en las diferentes cargas.

Esta gráfica constituye el primer paso para la determinación de los usos significativos de la energía ( $USE_s$ ). Puede apreciarse en la misma que la mayor capacidad instalada está en la iluminación, y la menor carga la constituyen los motores de los equipos especiales como lo son los ascensores, las bombas de elevación, equipos hidroneumáticos y pequeñas condensadoras de aire acondicionado. El edificio del MINFIN no cuenta con un sistema de aire acondicionado central, como podría ser un sistema de agua helada o un *chiller*, dato muy importante a tener en cuenta, para la clasificación de las categorías de cargas.

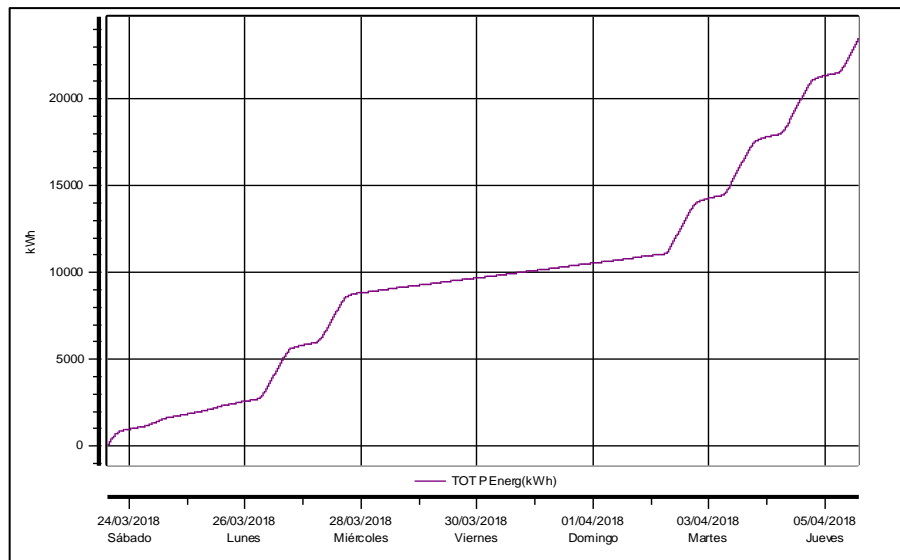


## 5. USO DE LA ENERGÍA: PARETO DE USO DE ENERGÍA POR TIPO DE CARGA INSTALADA

Según el diagrama de Pareto de capacidad instalada versus tipo de carga (figura 37), se evidencia que la Iluminación es el consumo preponderante. Los equipos de oficina son los que ocupan un segundo lugar; quedan relegados a un tercer puesto los equipos especiales.

Las siguientes gráficas se utilizarán para poder generar un Diagrama de Pareto para el Consumo de Energía y así compararlo con el Pareto de Capacidad Instalada y planificar hacia dónde enfocar la Eficiencia Energética.

Figura 38. **Medición en consumo de energía en subestación 1, (servicio normal torre)**



Fuente: elaboración propia, con software equipo Dranetz HPDQ.



La figura 38 muestra la medición realizada con equipo DRANETZ HPDQ GUIDE del 23 marzo de 2018 (15:09:49) al 5 abril de 2018 (14:20:00), 11 días laborales y un fin de semana largo (Semana Santa). kWh = 23 533,00, (1 810 kWh diario). Por ser una medición con período atípico debido al asueto de Semana Santa, se realizó un reajuste de manera de obtener el consumo diario promedio más representativo. De lo anterior, resulta que en el edificio La Torre se tiene un promedio diario de 2 657 kWh, lo que implica un promedio semanal de 18 602 kWh, lo que representa un 39,1 % del consumo promedio semanal del año 2018 del edificio completo.

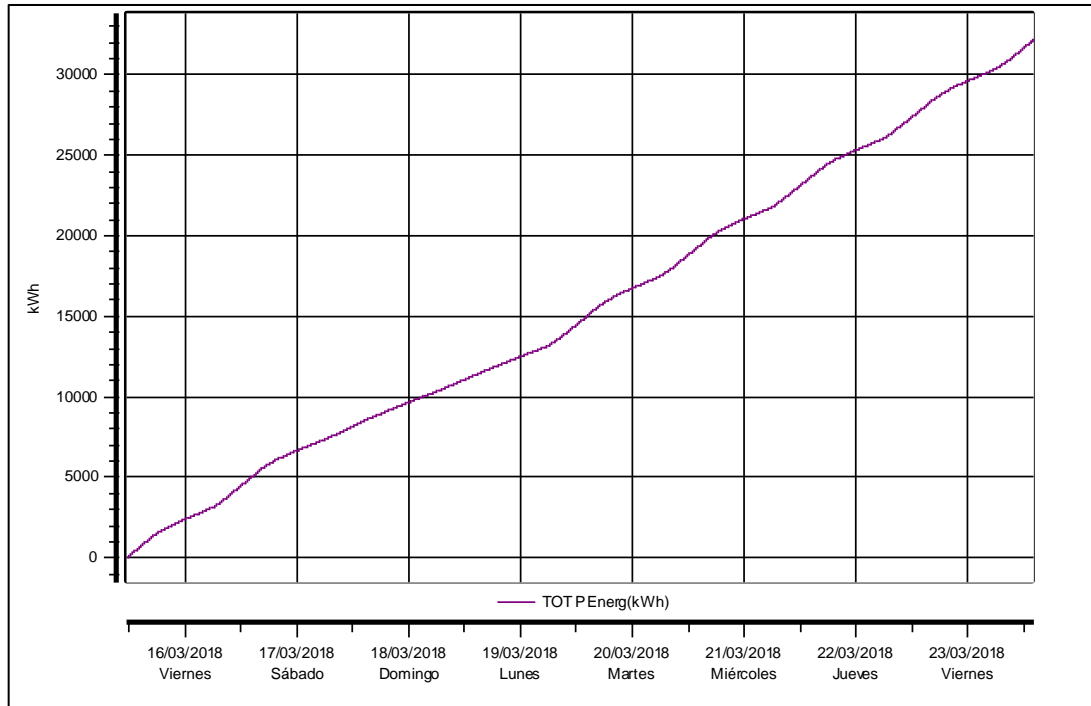
El consumo anual del año 2018, según tabla de consumos registrados por EEGSA, mostrado al inicio de este capítulo fue de 2 475 317 kWh, con un promedio semanal de 47 471 kWh. El anterior dato se usará para comparar, ya que las mediciones, por norma, fueron realizadas en un lapso mínimo de 7 días consecutivos.

Para la medición de la subestación 2, se analizaron sus dos ramales de salida.

Así se tiene:

- Ramal 1: alimentación a TDE-1 (cubre equipos e iluminación de emergencia).
- Ramal 2: alimentación a T Anexo (cubre iluminación y fuerza de anexo y sótanos). Se analizó la salida completa, para verificar congruencia de datos.

Figura 39. Consumo de energía al tablero TDE 1 (ramal 1 de subestación 2)



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

La figura 39 muestra la medición realizada con equipo DRANETZ HPDQ GUIDE del 15 marzo de 2018 (11:37:53) al 23 marzo de 2018 (14:15:00), 6 días laborales y un fin de semana. (32 180,20 kWh). Si se promedia para una semana, se tendrá un dato de consumo semanal de 28 157,67 kWh (parámetro comparativo) lo que resulta como un 59,3 % del consumo total semanal promedio del edificio completo.

El tablero TDE-1 está alimentado directamente desde la subestación 2.

Figura 40. **Consumo de energía al tablero Anexo (ramal 2 de subestación 2)**

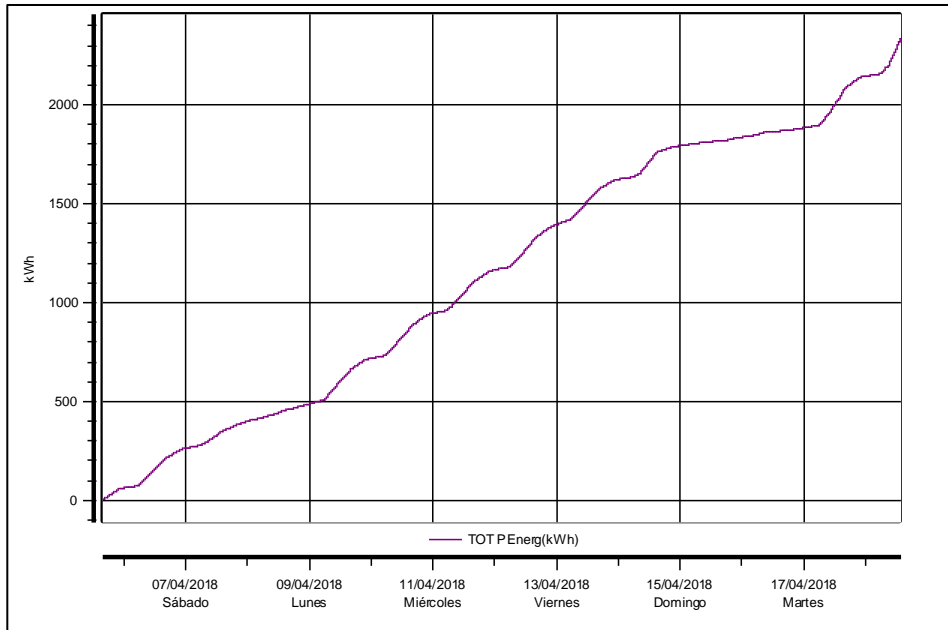


Diagrama energía del edificio Anexo

Energía activa (WH)				
A	B	C	TOTAL	
kWh	651,9	663,6	1019,4	2 334,9 en 18/04/2018 14:00:00

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

Medición realizada con equipo DRANETZ HPDQ GUIDE del 5 de abril de 2018 (16:02:06) al 18 abril de 2018 (14:00:00), ocho días laborales y dos fines de semana (2 334,9 kWh). Si se promedia para una semana, se obtendrá un dato de consumo semanal de 1 361,5 kWh (parámetro comparativo) lo que representa un 2,86 % del consumo total semanal promedio del edificio.

El tablero TDE-1 está alimentado directamente desde la subestación 2.

Esto porcentajes debe dar el 100 % del consumo. Existe una diferencia de 1,26 %, lo cual es justificable, porque se está trabajando con datos promedio.

Figura 41. **Consumo de energía grupo de 6 ascensores**

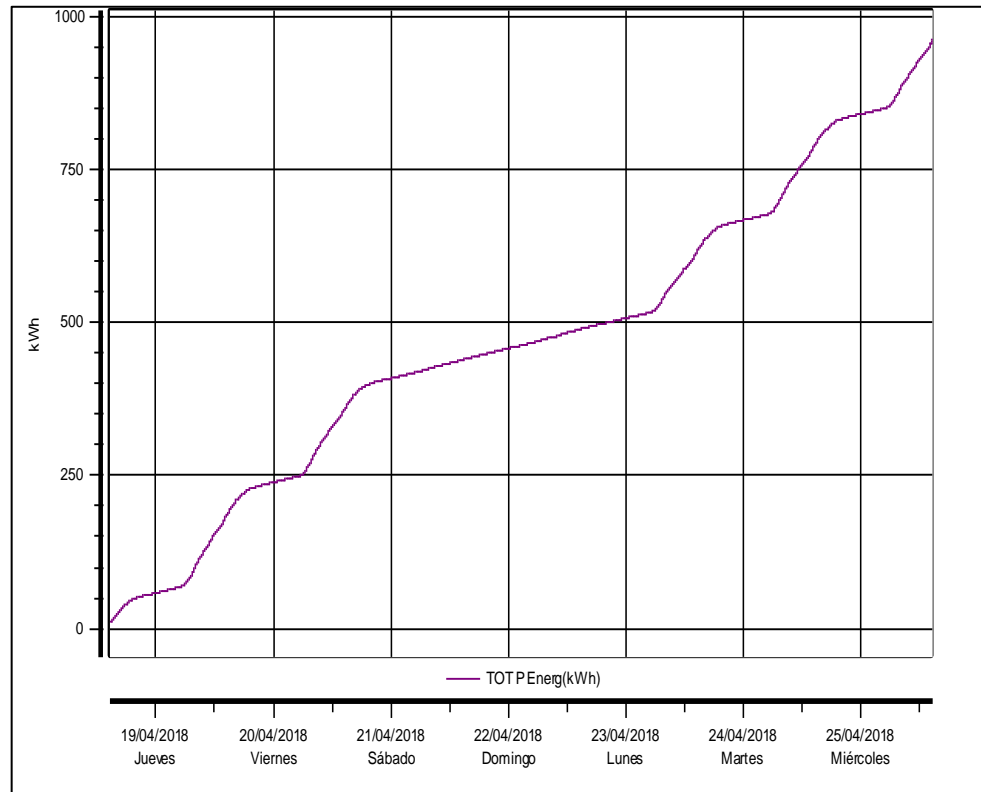


Diagrama energía grupo de 6 ascensores

	Energía activa (WH)			
kWh	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>TOTAL</b>
	308,18	256,15	394,9	959,2 en 25/04/2018 14:45:00

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

Medición realizada con equipo DRANETZ HPDQ GUIDE del 18 abril de 2018 (14.43.42) al 25 abril de 2018 (14:45:00), 5 días laborales y un fin de semana. Energía consumida 959,2 kWh.

El consumo anual del año 2018, según tabla de consumos proporcionados por EEGSA, fue de 2 475 317 kWh, lo que da un promedio semanal de 47 471,18 kWh y de estos, los ascensores consumen 959,2 kWh, lo que represente un 2,02 % del consumo total semanal del edificio completo.

De este dato, se deduce que para el grupo de 2 ascensores se consumirán aproximadamente 319,73 kWh, lo que representa un 0,67 % del consumo total semanal del edificio completo. Para un total, por los 8 ascensores, de 2,69 % del consumo total semanal del edificio completo.

La alimentación de estos equipos se deriva del tablero TDE 1, por medio de un interruptor tipo ACB de 1 600 amperios.

Figura 42. Consumo de energía equipo de bombeo

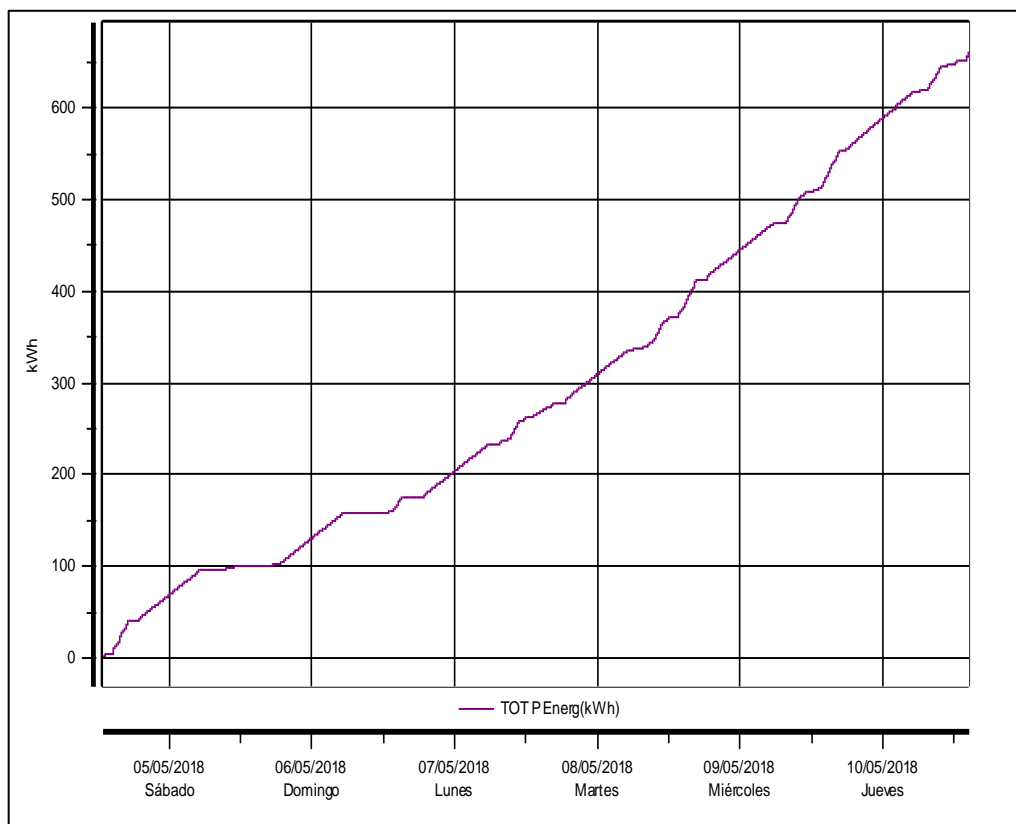


Diagrama energía equipo de bombeo de elevación

Sitio: HDPQ1

Medido desde 04/05/2018 13:00:00.0 Hasta 10/05/2018 14:40:00.0

Energía (equipo bombas cisterna, sótano 3)

ENERGÍA ACTIVA (WH)

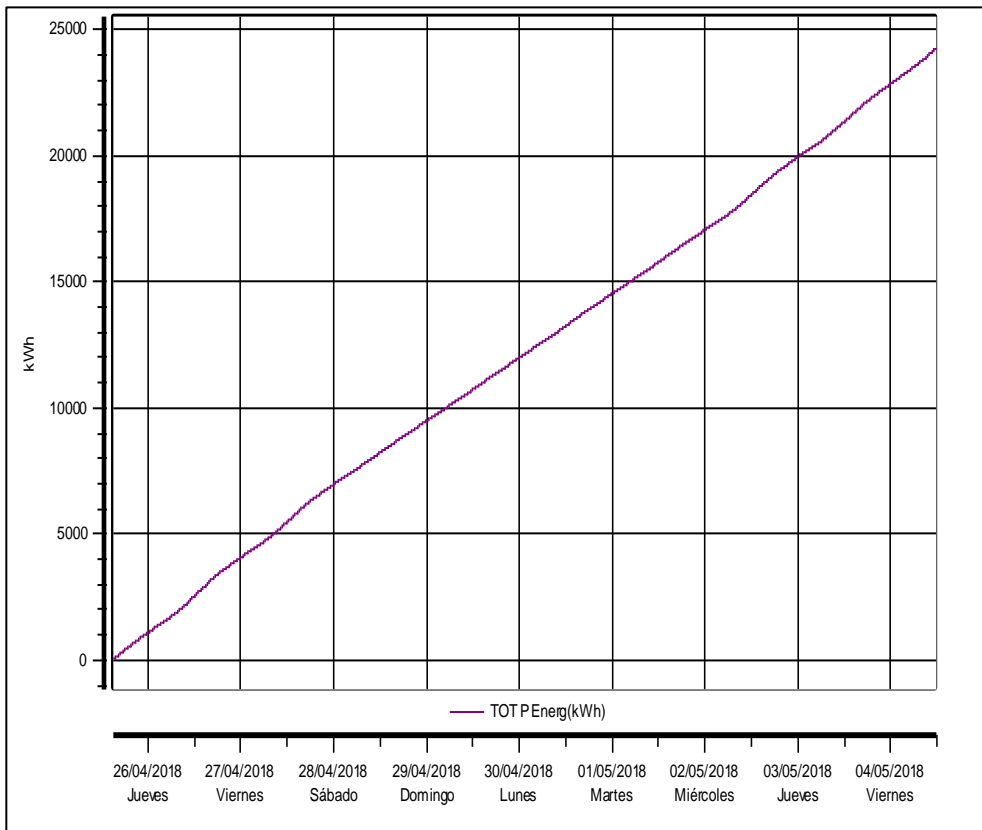
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>TOTAL</b>
kWh		223,93 , 121,94	311,80	657,7 en 10/05/2018 14:40:00

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

El consumo anual del año 2018, según tabla de consumos, elaborada con datos proporcionados por EEGSA, fue de 2 475 317 kWh, lo que da un promedio semanal de 47 471,18 kWh, y de estos, los equipos de bombeo ubicados en cisterna de sótano 3, consumieron 657,7 kWh, en cuatro días laborales y un fin

de semana, para un dato de consumo semanal promedio de 767,31 kWh, lo que representa un 1,61 % del consumo semanal total del edificio completo.

Figura 43. **Consumo de energía ducto nuevo (equipo de A/C)**



Diagramas energía ducto nuevo

Sitio: HDPQ1

Medido desde 25/04/2018 15:10:00.0 Hasta 04/05/2018 11:55:53.0

Energía, (ducto nuevo) (equipo A/C)

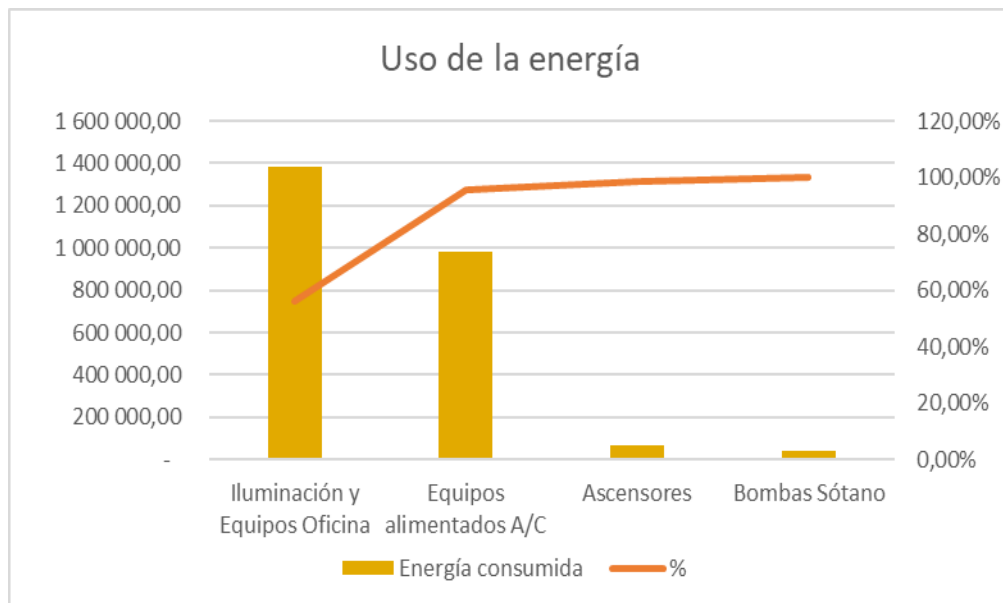
Energía activa (WH)

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>TOTAL</b>
kWh	8065	8474	7714	24 252 en 04/05/2018 11:55:00

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

El consumo anual del año 2018, según tabla de consumos, elaborada con datos proporcionados por EEGSA, fue de 2 475 317 kWh, lo que da un promedio semanal de 47 471.18, kWh; y de estos, los equipos alimentados por el ducto nuevo consumieron 24, 252 kWh, en siete días laborales y un fin de semana, para un dato de consumo semanal promedio de 18, 862,66 kWh, lo que representa un 39,73 % del consumo semanal total del edificio completo.

Figura 44. **Diagrama de Pareto, uso de la energía**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



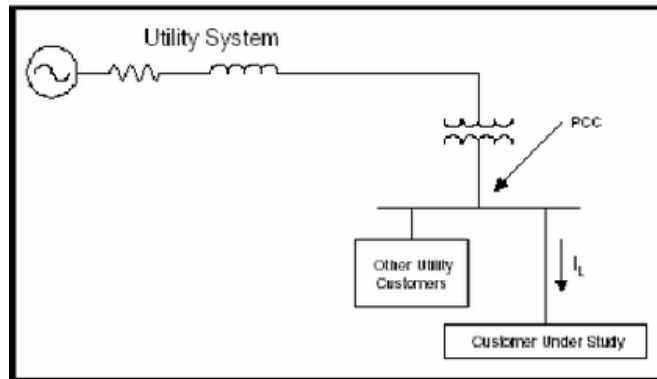


## **6. MEDICIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN OPERACIÓN DEL EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZA PÚBLICAS (MINFIN)**

### **6.1. Punto de acople y diagrama unifilar**

El primer paso lo constituye la determinación del punto de acoplamiento entre el sistema de suministro y el del usuario (PCC), por sus siglas en inglés, y la elaboración del diagrama unifilar de la instalación, con base en esto, se determina la ubicación de los analizadores o de los registradores de red para obtener la información de las cargas más importantes, ya que, por las dimensiones del edificio y del tipo de auditoría realizada, es importante categorizar la misma en función de su importancia.

Figura 45. **Punto de acople común, (PCC) *Point of Common Coupling***

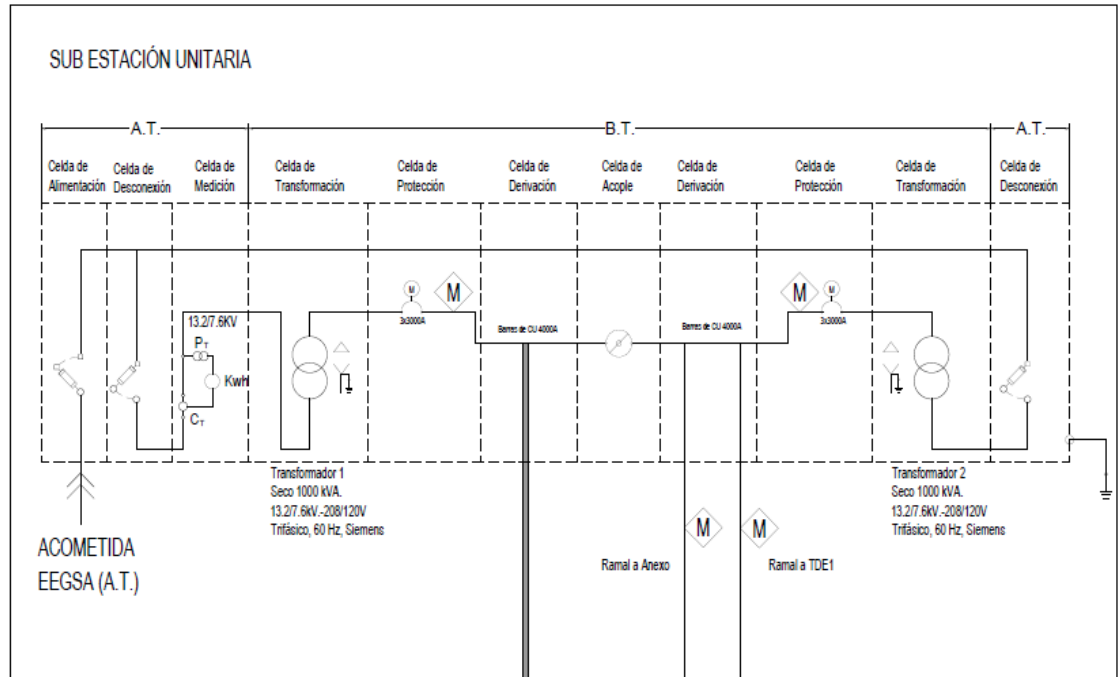


Fuente: Guía de aplicaciones IEEE 519A. *Punto de acoplamiento común.*

[https://www.researchgate.net/profile/Dj\\_Carnovale/publication/224644021/figure/fig1/AS:302752006721537@1449193111583/Point-of-Common-Coupling-From-IEEE-519A-Applications-Guide-Draft.png](https://www.researchgate.net/profile/Dj_Carnovale/publication/224644021/figure/fig1/AS:302752006721537@1449193111583/Point-of-Common-Coupling-From-IEEE-519A-Applications-Guide-Draft.png). Consulta: 25 de mayo de 2019.

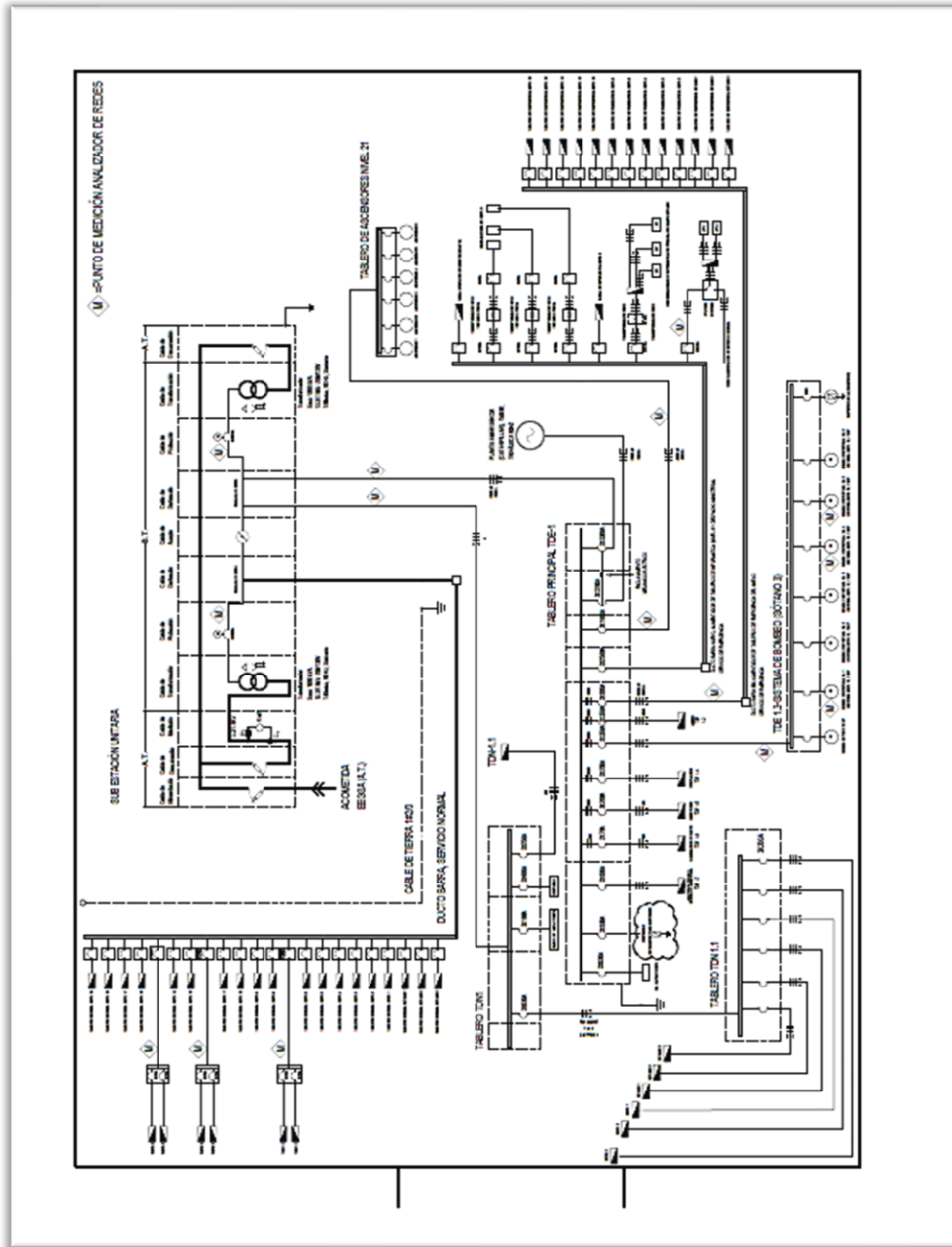
Según la práctica recomendada IEEE Std 519-2014, las mediciones o registros de parámetros para el control de armónicos debe realizarse en el PCC, o, punto común de acoplamiento entre el sistema del usuario y el sistema de distribución. Para usuarios comerciales, en este caso, el edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, en el que el suministro es a través de un transformador de servicio, el PCC es comúnmente tomado en el lado de baja tensión del transformador, (LV), por sus siglas inglés.

Figura 46. **Sector ampliado del diagrama unifilar, subestación unitaria, indican punto de medición (M)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Figura 47. Diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, enfatizando los equipos y ramales más importantes



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

## **6.2. Diagnóstico de parámetros eléctricos en función del concepto de calidad de energía en las instalaciones eléctricas principales del MINFIN**

Para determinar el buen funcionamiento y detectar posibles oportunidades de mejorar la eficiencia de las instalaciones, es fundamental verificar los parámetros de operación del sistema, así como las condiciones físicas de las mismas. Todo lo que implique posibilidad de pérdidas debe ser analizado. La eficiencia va ligada al rendimiento, por lo que el primer análisis será sobre ese tema.

### **6.2.1. Análisis del rendimiento de los transformadores secos**

El registro para la demanda máxima de la subestación completa, obtenida de los datos suministrados por recibos emitidos por EEGSA, de enero del 2015 a diciembre de 2018, fue de 587,7 kWh/h y, en mediciones de campo, para cada transformador no excedió 300 kWh/h, según los registros obtenidos en las mediciones de campo, lo que implica que ambos transformadores están cargados aproximadamente a un 30 % de su capacidad.

El rendimiento de cualquier máquina, incluyendo los transformadores, se expresa como:

Rendimiento (eficiencia) = potencia útil / potencia absorbida siendo la potencia absorbida = potencia útil + pérdidas. Por tanto, al tener en cuenta que en los transformadores se tiene fundamentalmente 2 tipos de pérdidas: pérdidas al vacío y pérdidas bajo carga. Se puede decir que:

- Potencia absorbida es igual a: potencia útil + pérdidas al vacío y pérdidas bajo carga, o bien:
- Potencia absorbida es igual a: potencia útil + pérdidas en el hierro + pérdidas en el cobre.

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{100 \times \text{factor de potencia}}{(100 \times \text{f. p.}) (\text{Ph./m}) (\text{Pc} \cdot \text{x m})}$$

- m = fracción de la carga que se considera

Los transformadores del MINIFIN, como se menciona en párrafos anteriores, están con una carga parcial que no excedió en un 30 % su capacidad en 4 años registrados de demanda.

- Costo de operación de transformadores:
  - Factores a tomar en cuenta:
    - Operación continua
    - Operación continua con carga parcial, pero la carga parcial es constante.
    - Cargos de demanda basados sobre el 100 % de la carga.
    - Factores de inflación y otros a considerar.
    - Costo de pérdidas en Vacío: (P<sub>0</sub>).

Basado en las pérdidas en vacío y costo de la energía.

$$C_{P0} = C_e \cdot 8\,760 \text{ horas/año} \cdot P_0$$

P<sub>0</sub>= pérdidas bajo carga [kW]

$C_e$ = Cargos de energía (monto/kWh)

- Costo de las pérdidas bajo carga: ( $P_k$ )

Basado en las pérdidas bajo carga, al factor de carga ( $a$ ) anual equivalente y costo de la energía

$$C_{Pk} = C_e * 8\,760 \text{ h/año} * a^2 * P_k$$

Siendo

$a^2$ = carga de operación constante / carga nominal

$P_k$ = pérdidas en vacío [kW]

- Costo resultante de cargos de demanda

Basado en pérdidas en vacío y costo de energía

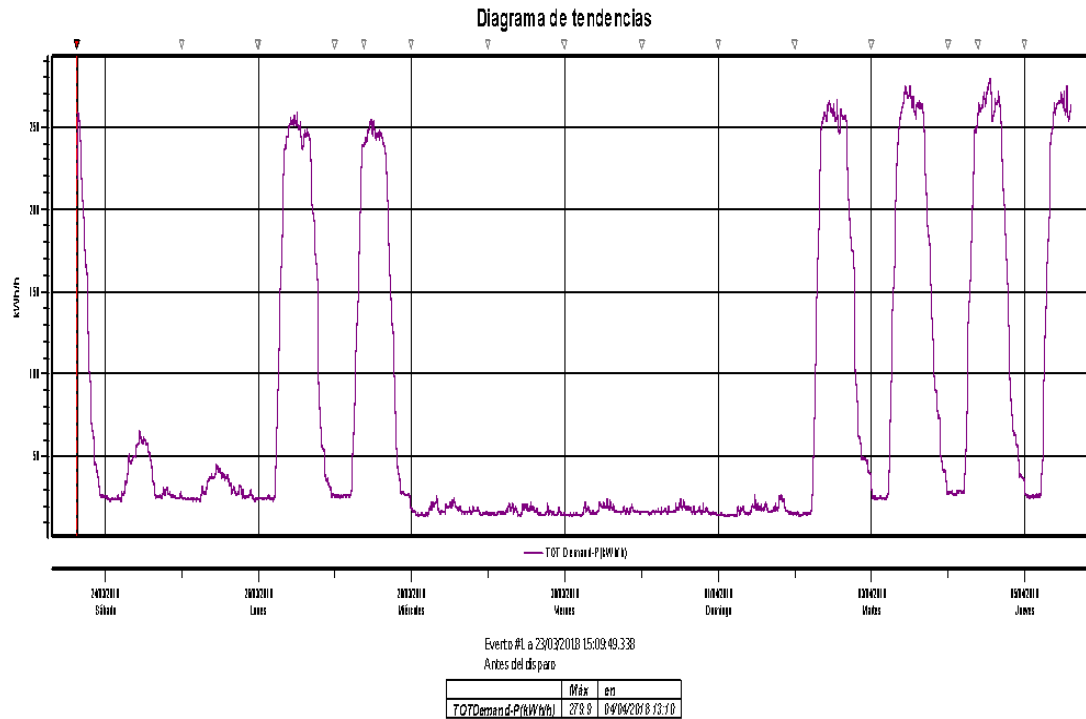
$$CD = C_d (P_0 + P_k)$$

$C_d$ = cargos de demanda (Monto/kW-año)

Las figuras 48,49 y 50 constatan que la carga de los 2 transformadores no excedió el 30 % de su capacidad, (no excedieron los 300 kVA). Lo que implica que es muy probable que su eficiencia esté en un rango bajo y que existe, la posibilidad de mejorarla al transferir la carga a un solo transformador, dejando el otro en reserva.



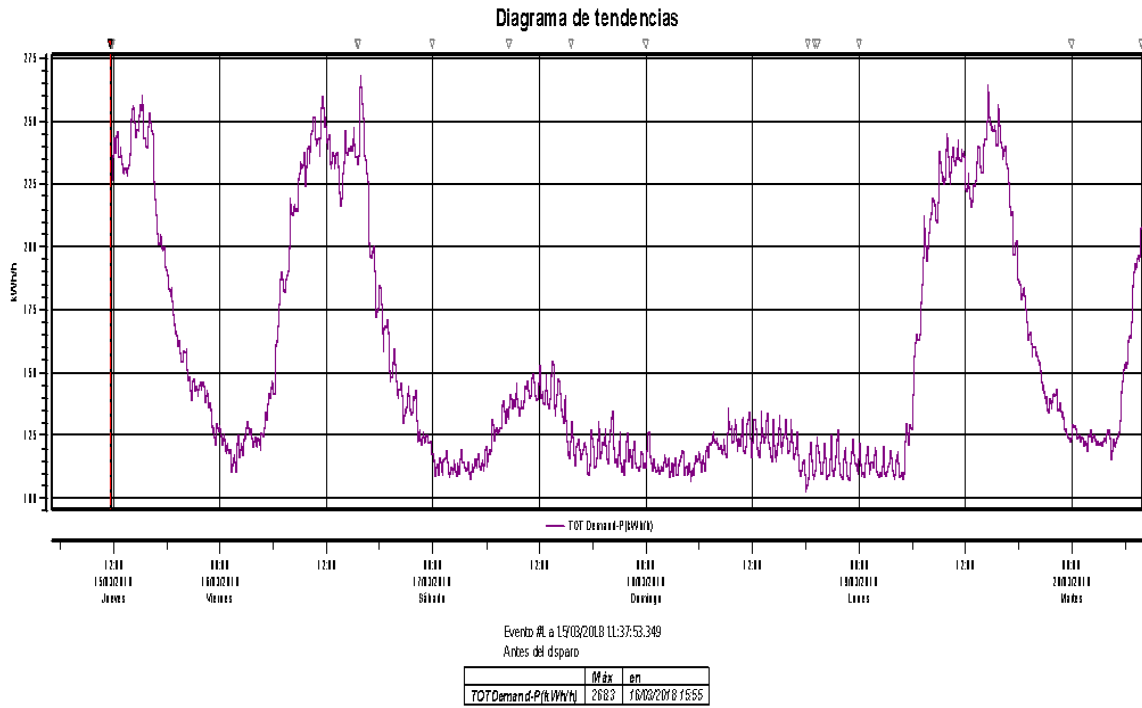
Figura 48. **Demanda, valor máximo 279,9 kWh/h (kW), transformador n°1 de subestación MINFIN**



Fuente: elaboración propia, empleando software de equipo Drantex HPDQ.

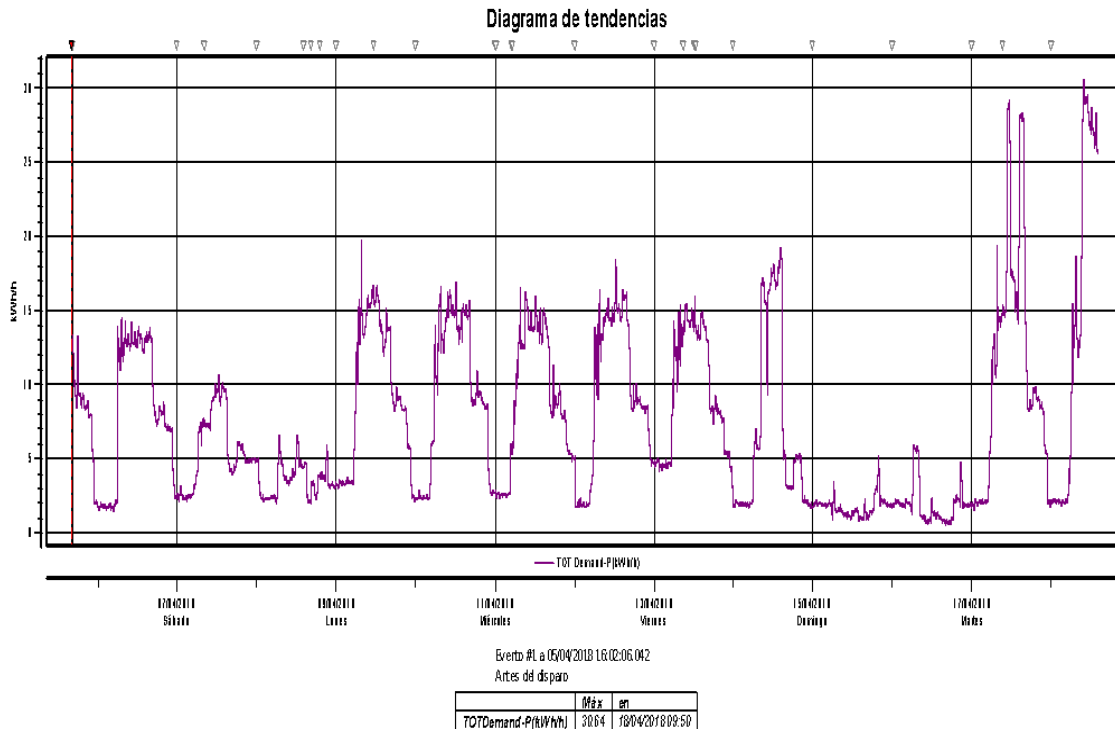
Para medir la demanda del transformador n°2 se realizaron 2 mediciones, una por cada ramal de salida del mismo.

Figura 49. **Demanda, valor máximo 268,3 kWh/h (kW), transformador n°2 de subestación, ramal alimentador de TD E-1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

Figura 50. **Demanda, valor máximo 268,3 kWh/h (kW), transformador n°2 de subestación, ramal alimentador de TD E-1**



Fuente: elaboración propia, con software equipo Dranetz HPDQ.

Si se conocen los valores para las pérdidas en vacío y para las pérdidas en el cobre de los transformadores del MINFIN, se podría calcular el rendimiento con certeza. Pero, si se asume valores para los 2 tipos de pérdidas y se tiene un factor de potencia, dado en placa de 0,80, se puede deducir que al 100 % de la carga, el rendimiento podría andar en valores cercanos al 97 %, y cuando la carga decae al 30 %, el rendimiento bajará a valores alrededor del 94 %, lo que implica que el costo de operación se podría mejorar con el consiguiente ahorro de energía; de esa manera se optimiza el costo de operación, ya que la medición

está aguas arriba de los transformadores, el costo de las pérdidas las paga el usuario, por lo que a mayor eficiencia menor costo de operación.

### **6.2.2. Conceptos y normativas a considerar para el análisis de la calidad de energía en las instalaciones del edificio del MINFIN**

Para este análisis, es importante tener en cuenta lo establecido en las normativas correspondientes para tener un criterio válido de aceptación o rechazo; cada análisis va acompañado del reporte de la normativa al respecto; adicional a esto, es importante tener en cuenta los siguientes conceptos y el tipo de equipo utilizado para realizar dichos registros y análisis.

- Cargas lineales: cargas constituidas por elementos resistivos, inductancias y condensadores de valores fijos, es decir que, si el voltaje tiene una onda sinusoidal, la corriente también tendrá una onda sinusoidal, y, en la mayoría de casos, existe un desfase entre ambas ondas, conocido como ángulo de desfase o factor de potencia.
- Cargas no lineales: con el advenimiento de la electrónica de potencia, debido a sus propias características de funcionamiento, provocan distorsiones en la forma de onda de corriente, la cual puede afectar sustancialmente la onda de voltaje, con los consabidos problemas de calidad de la energía, especialmente conocidos como distorsión armónica.

Los fenómenos o disturbios que afectan la calidad de la energía están normalmente definidos en términos del efecto que producen sobre el voltaje de Suministro, en este caso, el voltaje suministrado por la EEGSA. Estos fenómenos o disturbios pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Variaciones del valor eficaz de la onda senoidal del voltaje, (rms), por sus siglas en inglés. Estas variaciones puedan desglosarse en: de corta duración y de larga duración.
- Transitorios de voltajes.
- Distorsiones de onda.
- Desbalance.
- Fluctuaciones y.
- Variación de la frecuencia.

Esta clasificación aplica tanto para las ondas de voltaje como para la onda de corriente, aunque en los estándares de calidad de energía se usa más los disturbios en el voltaje.

En este trabajo, se usará los conceptos dados por la UNE-EN 50160 para calidad de energía y la IEC 6100-4-30 *Electromagnetic compatibility* (EMC), para medición, y de la IEEE std 1159 *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. También se tomará en cuenta la normativa de la Comisión Técnicas del Servicio de Distribución (NTDS) resolución de la CNEE 09-99

La calidad de la energía se puede definir en función de la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicos en la red y variaciones de voltaje (rms), suministrado por la red al usuario final; es decir, está asociado el concepto a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. El monitoreo de la calidad de energía de una instalación debe ser constante.

### **6.2.2.1. Voltajes (tensión) de alimentación o suministro**

Se refiere a los valores de rms (*root mean squared*), raíz cuadrada media de la onda de voltaje, en un momento dado en el punto común de unión, (suministradora-cliente), medida durante un intervalo de tiempo, 12 ciclos en sistemas de 60 HZ. Son continuos y sin solapamiento.

Para este tipo de medición, se requiere de equipos de medición tipo A, (Drantz en nuestro caso), y su exactitud debe ser de +/- 0,1 % de la tensión declarada de entrada. IEC 61000-4-30 (clase A).

### **6.2.2.2. Voltaje nominal del sistema: (V<sub>n</sub>)**

Es el voltaje para el cual está diseñado o identificado, con ciertas características de operación. Su valor sirve como base para calcular las desviaciones de los parámetros eléctricos que se controlarán para medir la Calidad del Servicio Eléctrico de distribución que prestan las distribuidoras. En nuestro caso 208 voltios entre fases, trifásico y 120 voltios de fase a neutro.

### **6.2.2.3. Voltaje declarado de suministro: (V<sub>c</sub>)**

Normalmente es el voltaje nominal ( $V_n$ ) del sistema. Si, por un acuerdo entre el suministrador y el usuario, un voltaje diferente del voltaje nominal es aplicado a la terminal, es declarado como voltaje de suministro.

#### **6.2.2.4. Condición de operación normal**

Es la condición para satisfacer la demanda, y así mantener libre de fallas, mediante un sistema automático de protección en la ausencia de condiciones excepcionales, debidas a influencias externas o eventos de gran impacto.

#### **6.2.2.5. Variaciones de voltaje**

Es un incremento o decremento en el valor de voltaje de alimentación (rms), debido a la variación de la carga total del sistema distribuidor o parte de él; límites de referencia y tolerancia; en este caso, los límites los dicta la Comisión Técnicas del Servicio de Distribución (NTDS).

Las Variaciones de Voltaje pueden ser:

- De larga duración
- De corta duración

#### **6.2.2.6. Huecos y/o depresiones de voltaje: (SAG)**

Según la UNE -EN 50160, se define como una disminución brusca de la tensión de alimentación, hasta un valor situado entre el 90 % y el 1 %, (este valor varía al 10 % según la región) de la tensión nominal  $U_n$ , o de la tensión declarada  $U_c$ , seguida del restablecimiento de la tensión, después de un corto instante de tiempo.

La profundidad o amplitud de un hueco de tensión se define como la diferencia entre el valor mínimo de la tensión alcanzada durante el hueco y un valor de referencia que comúnmente es la tensión nominal  $U_n$ , la tensión

declarada  $U_c$ , o la tensión anterior al hueco. Suele expresarse de la siguiente manera:

$$\Delta U(\%) = [(U_{ref} - U_{min}) / U_{ref}] * 100$$

La tensión residual (IEC 61000-4-30) se define como el valor mínimo de la tensión alcanzada durante el hueco. De forma análoga a la profundidad, esta magnitud puede expresarse en porcentaje.

La diferencia entre hueco de tensión e interrupción de tensión, se determina fijando un nivel de 1 % (10 %), de la tensión de referencia; si el valor cae por debajo del nivel establecido, debe ser considerado como interrupción y, en caso contrario, como hueco de tensión. La duración es el tiempo durante el cual la tensión es inferior al 90 % de la tensión de referencia. Si el sistema es trifásico, un hueco de tensión, debido a una misma causa, comienza cuando la tensión en una de las fases disminuye a un valor entre el 90 % y el 10 % de la tensión de referencia, y termina cuando la tensión en las tres fases supera el 90 %.

#### **6.2.2.7. Interrupción de voltaje**

Se clasifican de 2 maneras, la primera, se debe a trabajos de mantenimiento en líneas o subestaciones de distribuidora, la cual es anunciada y pre arreglada con usuarios; la otra, se debe a accidentes provocados por agentes externos. que pueden ser de larga duración, de corta duración; como en los siguientes casos

- Sobrevoltajes temporales (larga duración)
- Transitorios de voltaje (corta duración)



### 6.2.2.8. Fluctuaciones de voltajes, (parpadeo o flicker)

Impresión de inestabilidad de la sensación visual inducida por un estímulo de luz. La respuesta ojo-cerebro es afectada por la intensidad de luz. Hay dos parámetros el  $P_{st}$ , que es la perceptibilidad en corto tiempo; y el  $P_{lt}$ , que es la perceptibilidad a largo plazo. El primero es usado para medir el impacto del parpadeo en los humanos, se realiza en un periodo de 10 minutos. El  $P_{lt}$  se calcula en función del  $P_{st}$ .

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st i}^3}{12}}$$

Tanto la normativa EN 50160 como la NTSD, indican que la tolerancia del  $P_{st}$  debe ser menor o igual a la unidad.

### 6.2.2.9. Sobretensiones y/o crestas (swell)

Se clasifican en:

- Sobretensión temporal

Se define, según la UNE-EN 50160, como un aumento de la tensión de alimentación de duración relativamente larga. La duración de la misma es el tiempo durante el cual la tensión es superior al límite de detección. Este límite normalmente no sobrepasa en el lado de baja del transformador 1,5 kV.

Las sobretensiones temporales se caracterizan por su duración y por la tensión máxima alcanzada durante el aumento de tensión, en valor porcentual sobre la tensión de referencia. La exactitud en la medida de la tensión máxima alcanzada para equipos clase A (Dranetz en este caso), debe ser del  $\pm 0,2\%$  de la tensión declarada de entrada (120 voltios).

La exactitud en la medida de la duración de la sobretensión temporal es igual a la exactitud en la medida del comienzo de la sobretensión (1/2 ciclo), más la exactitud en la medida de la finalización de la sobretensión (1/2 ciclo).

La medida básica será el valor eficaz de la tensión actualizado cada medio ciclo  $U_{rms (1/2)}$ .

Y en:

- Transitorios de tensión

Según la UNE-EN 50160, se define como la sobretensión oscilatoria o no oscilatoria de corta duración, en general, fuertemente amortiguada, y que dura como máximo algunos milisegundos. Se destaca el aspecto de variación brusca en la tensión, con valores que superan varias veces el valor máximo de la tensión nominal, y que pueden poner en peligro determinados elementos y aparataje eléctrica. Se clasifican en: transitorios, de origen atmosférico (externos al sistema), y transitorios debidos a maniobras (internos al sistema). Los límites de las sobretensiones transitorias, según la normativa aplicada, no sobrepasan los 6 kV.

#### **6.2.2.10. Desbalance de tensión (desequilibrio)**

Es una condición en donde en un sistema trifásico el valor rms de los voltajes de fase o de los ángulos de fase, entre fases consecutivas, no son iguales. Los límites, según la UNE-EN 50160, en condiciones normales de operación, para cada un período de una semana, debe ser máximo un 2 %, en el 95 % de la semana de medición. La exactitud requerida de los equipos de medición clase A, (Drantez en el presente caso) deber ser + - .15 %.

#### **6.2.2.11. Distorsión total armónica de voltaje**

Según la normativa EN 50160 y la NTSD la tolerancia máxima para la distorsión total armónica ( $THD_V$ ) de la tensión generada por el distribuidor es del 8 %. La tensión armónica es una tensión sinusoidal, cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación. Una tensión inter armónica es sinusoidal, cuya frecuencia se sitúa entre las de los armónicos, es decir, cuya frecuencia no es un múltiplo entero de la fundamental.

Se clasifican, ya sea de forma individual o global.

Individual, por su amplitud relacionada a la fundamental. ( $V_h$ ), en donde es el orden del armónico. El orden de lo fundamental es uno (1).

Si su consideración en global, usualmente se usa el término  $THD_V$ , la cual se calcula siguiendo la siguiente expresión.

$$THD_V = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (V_h)^2}$$

Es la relación del valor eficaz de la suma de todas las componentes armónicas de tensión ( $V_n$ ), hay un orden especificado, -normalmente 40-, respecto al valor eficaz de la componente fundamental ( $V_1$ ).

#### **6.2.2.12. Frecuencia del voltaje de suministro**

La frecuencia del voltaje de alimentación se define como la tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo determinado. Cualquier cambio sobre esta sobrepasando los ciertos límites, constituye una variación de la frecuencia. En condiciones normales de operación, el valor de la frecuencia fundamental, medida en períodos de 10 segundos debe situarse en los intervalos siguientes:

Redes acopladas por conexión síncrona a un sistema interconectado:

- 50 Hz +- 1 % durante el 95 % de una semana
- 50 Hz + 4 % / - 6 % durante el 100 % de una semana.

Según la IEC 61000-4-30: la medida de frecuencia se obtiene cada 10 segundos, como relación entre los ciclos enteros, contados en un intervalo de 10 segundos y su duración total. Los ciclos no completos se descartan. La exactitud de la medida para equipos de clase A (Dragnetz HPDQ), debe ser +-0,01 Hz.

### **6.2.2.13. Distorsión armónica de la corriente generada por el usuario, Norma NTSD Incidencia del Usuario en la calidad del producto**

La normativa utiliza el Índice de calidad de la distorsión armónica de corriente de carga medida en el punto de conexión.

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

$$DATI = (\sum I_i^2 / I_{12}) \times 100 \qquad DAI = (I_i / I_1) \times 100$$

- DATI: Distorsión armónica total de corriente.
- DAI: 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).

El artículo 42 indica que la distorsión armónica de voltaje, producida por una fuente de corriente armónica, dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, del orden de la armónica y da valores tabulados de las tolerancias.

Para el caso del MINIFIN:  $P > 10 \text{ kW}$      $1 \text{ kV} < V < 60 \text{ kV}$ , se tiene:

$DAI = 20 \%$  se considerará que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso mayor al cinco por ciento del empleado en las mediciones en el período de esta, dichas mediciones muestran que la distorsión armónica de la

corriente ha excedido el rango de tolerancias establecidas. Las mediciones deber realizarse con la normativa IEC 1000-4-7.

#### **6.2.2.14. Factor K**

El factor K es definido como opcional, que puede ser utilizado en transformadores y que indica la capacidad que tienen un transformador para manejar corrientes no sinusoidales (IEEE 1998), (corrientes a diferente frecuencia de la nominal).

Los mayores efectos de las corrientes no sinusoidales y sus consiguientes componentes armónicas son: perdidas por corrientes armónicas FR, pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas parásitas por corrientes armónicas en el núcleo y elementos estructurales.

### **6.3. Resultados del comportamiento de los diferentes parámetros eléctricos registrados en las instalaciones del MINFIN, involucrados en el concepto de calidad de energía**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el sistema eléctrico del MINFIN, las cuales se utilizan para determinar la calidad de energía eléctrica de suministro, dichas mediciones realizaron en el las salidas de los 2 transformadores ubicados en la subestación.

#### **6.3.1. Voltaje o tensión de suministro a subestación MINFIN**

El voltaje (tensión), suministrado por la Empresa Eléctrica de Guatemala está dentro de lo normado en la EN50160 o en la NTSD.

Para la norma EN50160 en condiciones normales de operación, los valores eficaces del voltaje (tensión) de alimentación deben situarse en los intervalos siguientes:

- $V_n \pm 10\%$  durante el 95 % de una semana
- $V_n + 10\% / - 15\%$  durante el 100 % de una semana.

Para la NTSD, las tolerancias para el servicio urbano, a partir del mes 13, estipulan para baja tensión un  $\pm 8\%$

Es importante resaltar que el voltaje en el neutro en el período de medición registró un máximo valor de 1,96 voltios en transformador n°. 2, pero, con un promedio aproximado de 1,5 voltios y en el transformador n°. 1 se registró un pico de 6,01 con un promedio de aproximadamente 2 voltios

El neutral está debidamente aterrizado en el punto de unión del suministro, lo cual cumple con todas las normativas vigentes.

Es normal encontrar voltaje aguas abajo del puente de unión principal en circuitos energizados, debido al flujo de corriente en el cable de puesta a tierra, lecturas por arriba de 3 Vac o menores a 0,5 V ac en ubicaciones remotas desde el puente principal de unión a tierra; estas deben ser investigadas para determinar si representan un problema para el sistema.

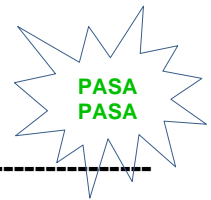
Tabla X. **Reporte de cumplimiento de voltaje de suministro del transformador n°2**

**EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO**  
**Variaciones de la tensión suministrada**

Sitio: TRAF0 n°2 MINFIN completo, semana #1 (17/09/2018 15:00:00.0 hasta 24/09/2018 15:00:00.0)

Tensión Nominal (Un) = **120 V**

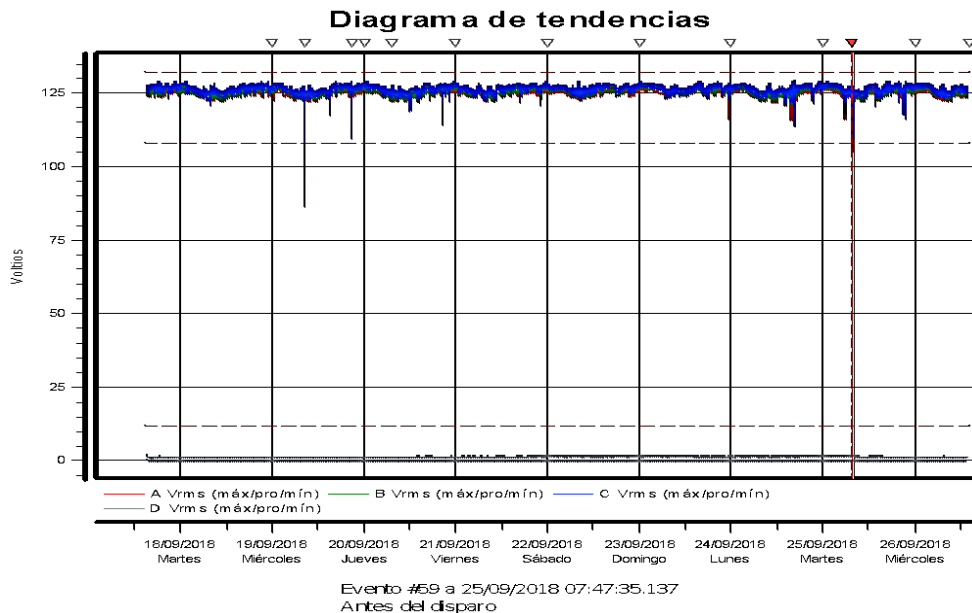
Rango	Umbral	Cumplimiento:		
		CHA	CHB	CHC
120 V +10 %/-10 %	95,0 %	100,0 %	100,0,0 %	100,0 %
120 V +10 %/-15 %	100,0 %	100,0 %	100,0,0 %	100,0 %



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz. HD PQ.

Según la normativa NTSD para la Regulación de Voltaje (tensión) de suministro, se estipula una tolerancia admisible a partir del mes 13, en régimen, del 8 % para baja tensión, tolerancia que se cumple en el período de medición.

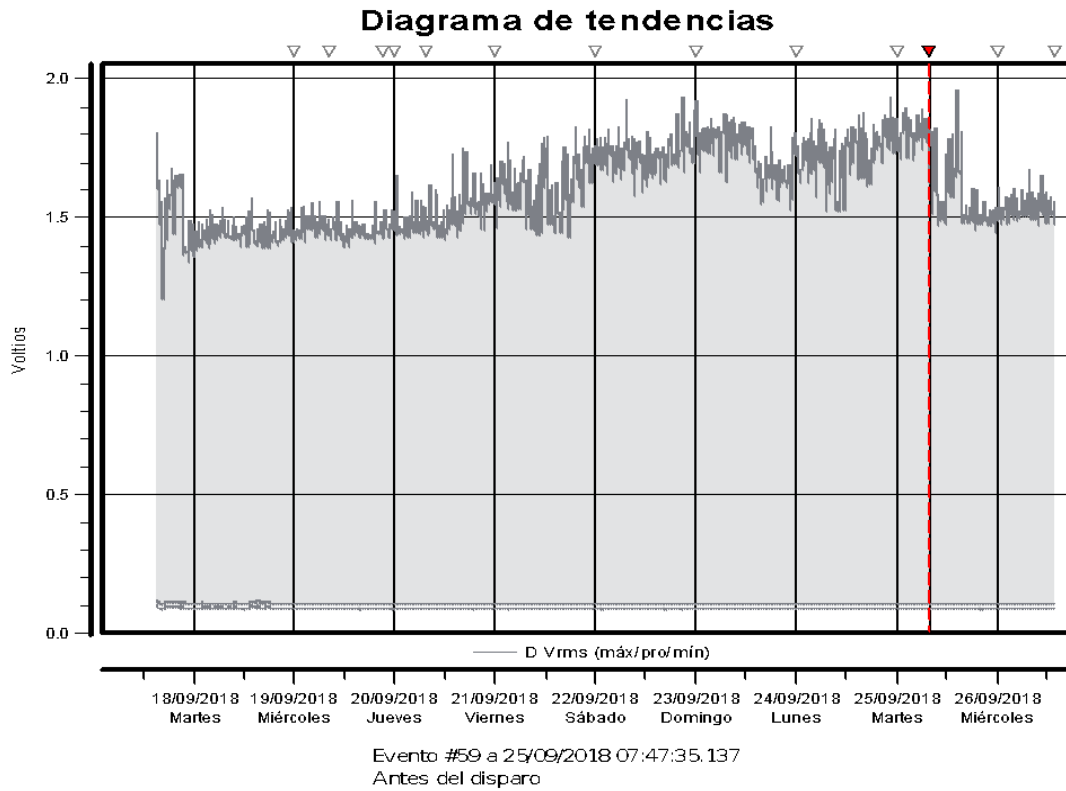
Figura 51. **Voltaje fase-neutro, transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ.



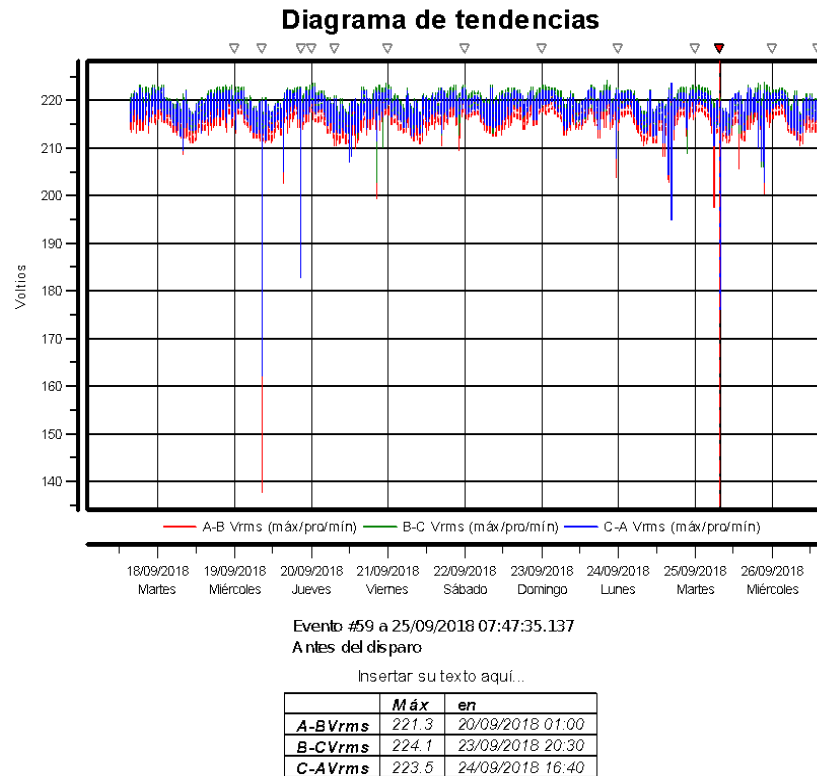
Figura 52. Voltaje en el neutral, transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ.

Es importante tener en cuenta que hay valor de voltaje entre neutral y tierra, por tanto, puede sugerir un mayor estudio del porqué de esta situación. Por razones de alcance de este trabajo, no se analizará a detalle.

Figura 53. Voltaje en entre fases, transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ.

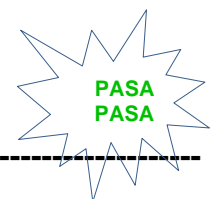
Tabla XI. Reporte de cumplimiento del voltaje de suministro de transformador n°1

**EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO**

Sitio: TRAF0 n°1 MINIFIN, semana #1 (23/03/2018 15:09:49.0 hasta 30/03/2018 15:09:49.0)  
Tensión nominal (Un) = 120 V

**Variaciones de la tensión suministrada**

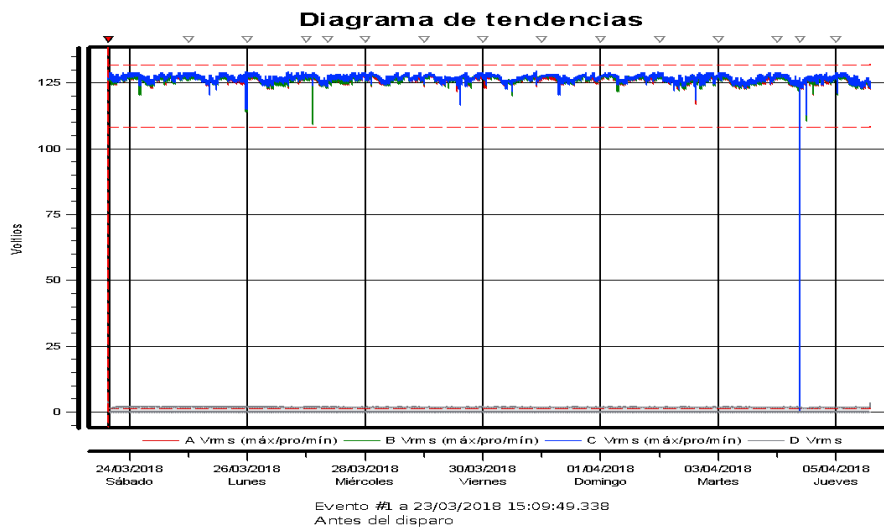
Rango	Umbral	Cumplimiento:		
		CHA	CHB	CHC
120 V +10 %/-10 %	95,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
120 V +10 %/-15 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz. HDPQ.

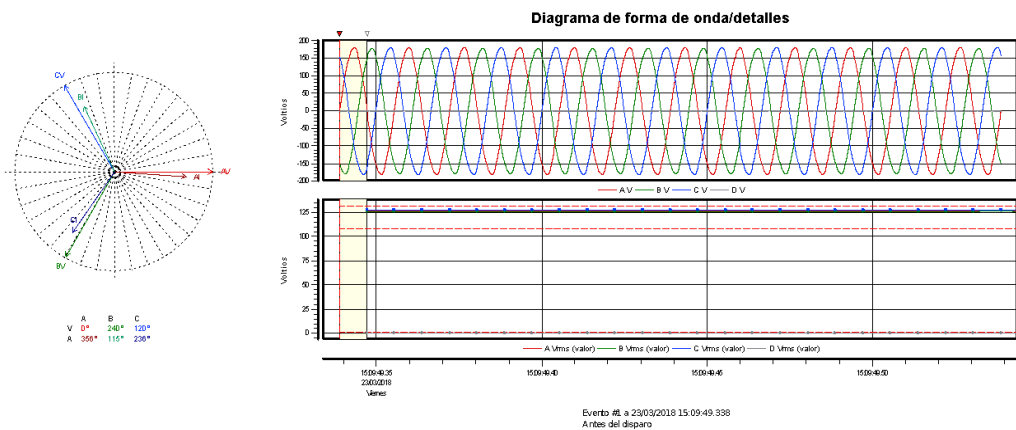
La normativa NTSD para la Regulación de Voltaje (tensión) de suministro estipula una tolerancia admisible a partir del mes 13, en régimen, del 8 % para baja tensión, tolerancia que se cumple en el período de medición.

Figura 54. Voltaje fase-neutro, transformador n°1



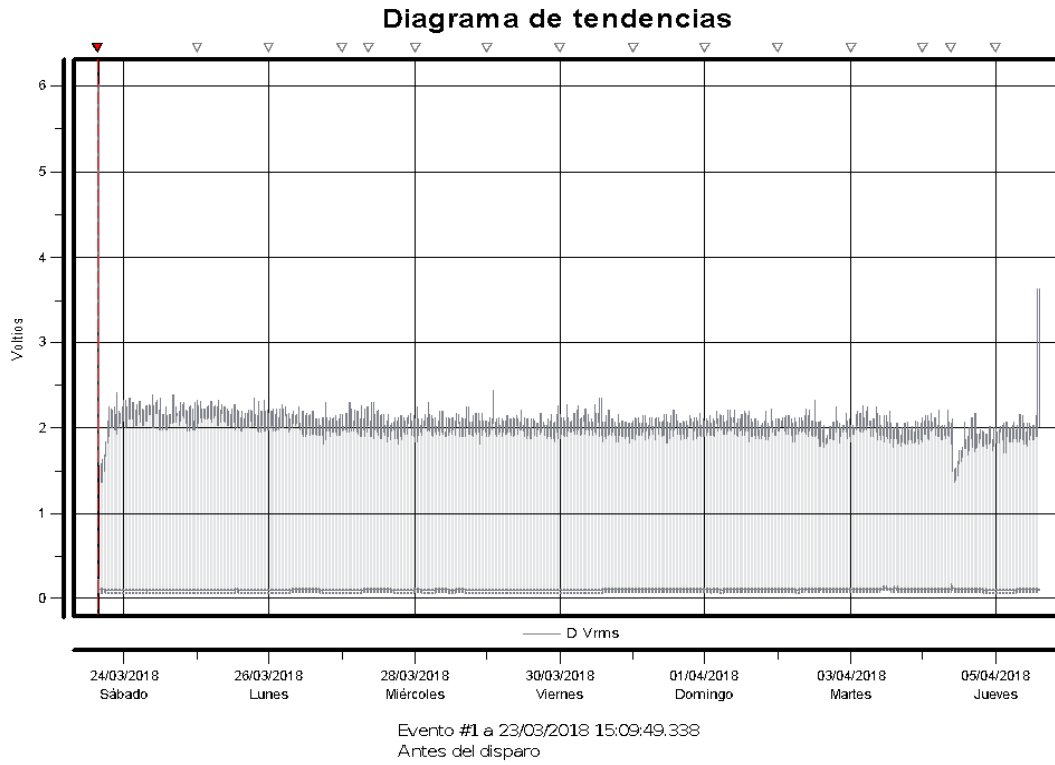
Fuente: elaboración propia, empleando software Drantex HDPQ.

Figura 55. Forma de onda voltaje fase-neutro, transformador n°1



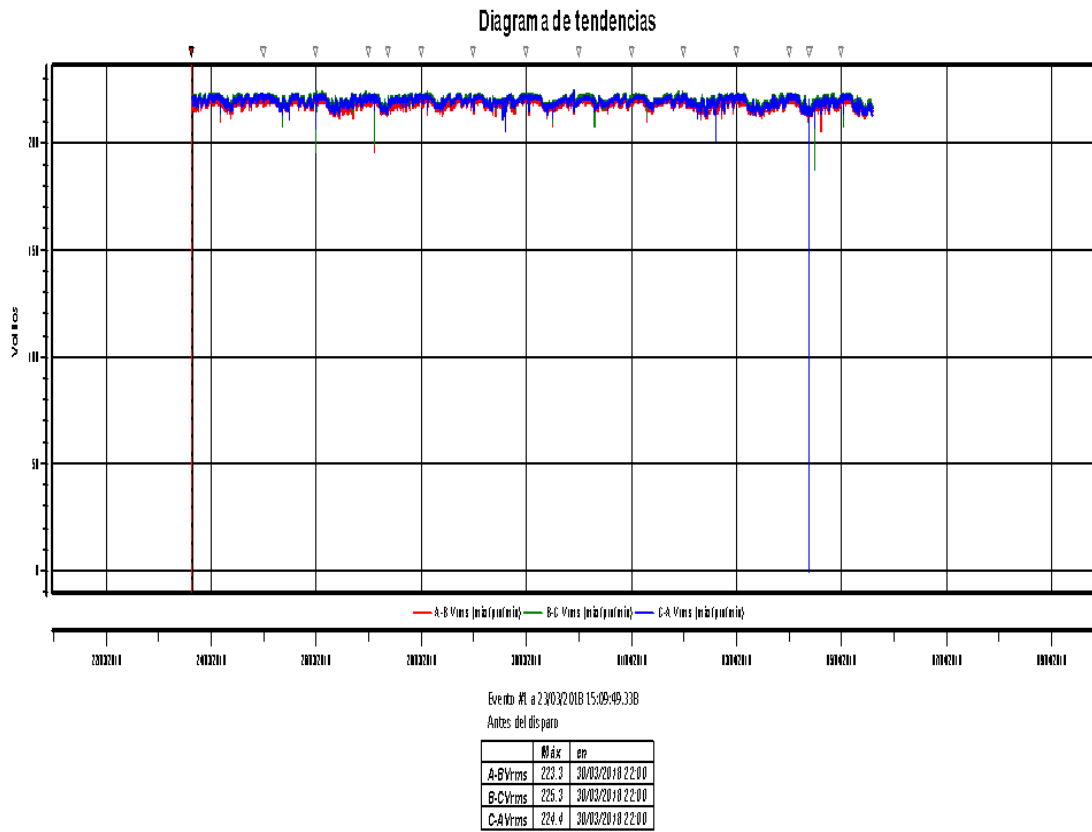
Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ.

Figura 56. Voltaje neutral, transformador n°.1



Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ

Figura 57. Voltaje entre fases, transformador n°1



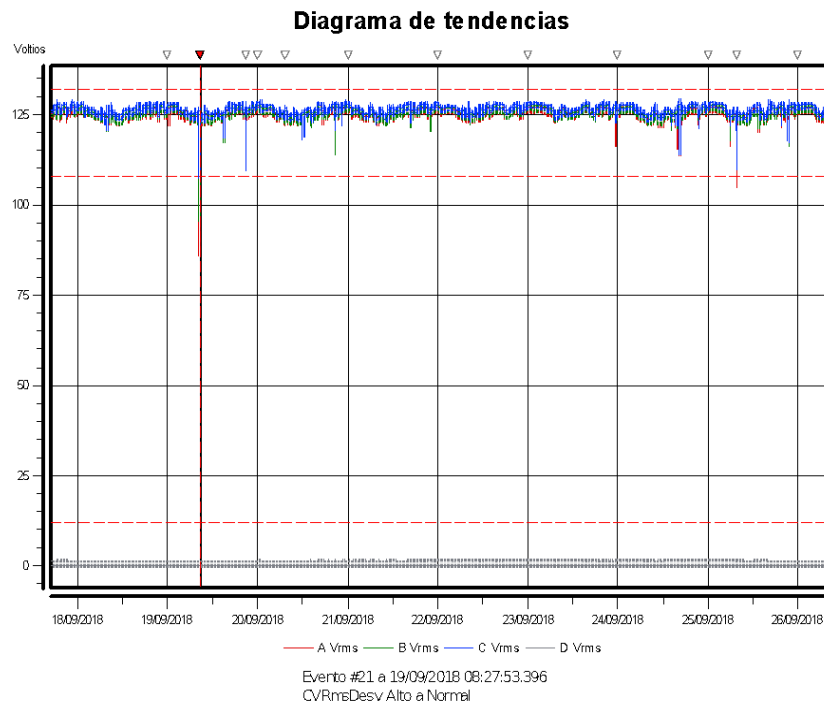
Fuente: elaboración propia, empleando software Dranetz HDPQ

### 6.3.2. Variaciones registradas en el voltaje (tensión) de suministro en el MINFIN

En los períodos de medición se registraron variaciones importantes de mencionar en el suministro de voltaje proporcionado por la Empresa Eléctrica de Guatemala

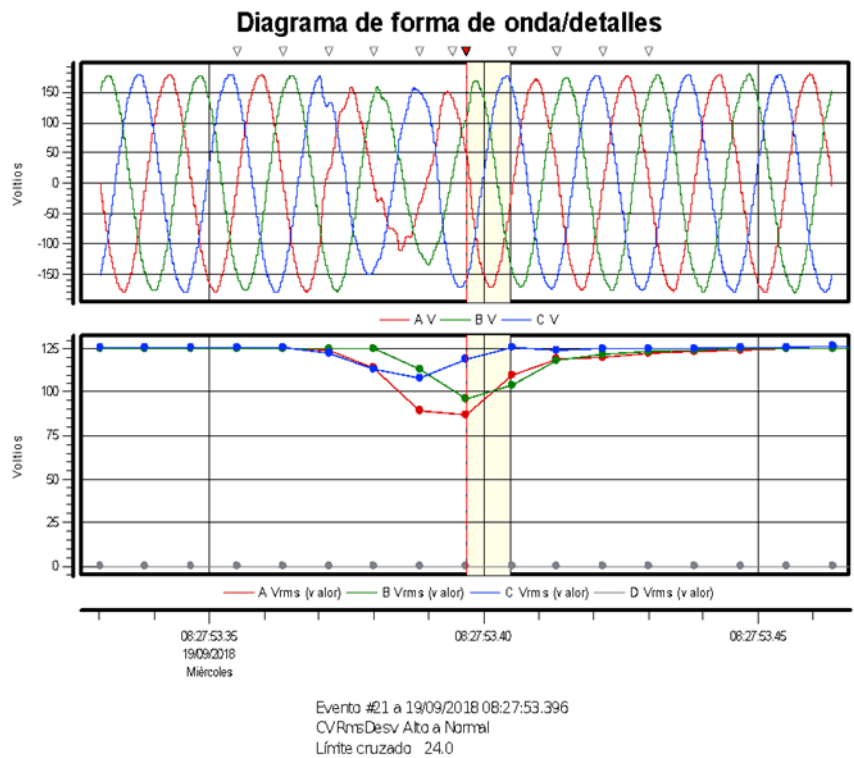
En las figuras 58 y 59, se aprecia que el voltaje en la fase A cae a un valor de 86,40 voltios, lo cual está por debajo del límite aceptado.

Figura 58. **Evento: hueco de tensión que cuza el límite inferior, (SAG), transformador n°2, subestación MINFIN**



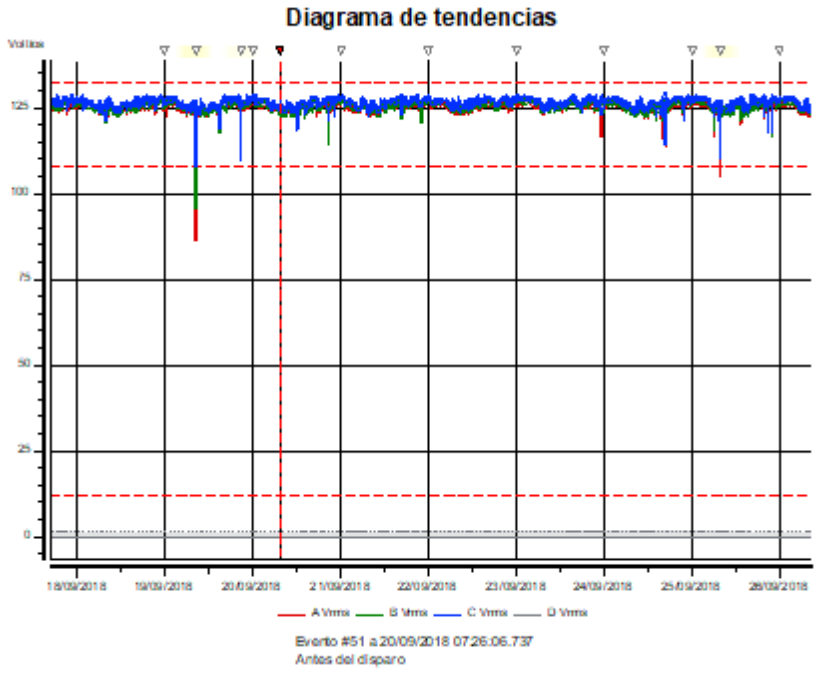
Fuente: elaboración propia, empleando software equipo HDPQ.

Figura 59. **Evento: hueco de tensión que cruza el límite inferior, (SAG), transformador n°2, subestación MINFIN**



Fuente: elaboración propia, empleando software de equipos Dranetz HDPQ.

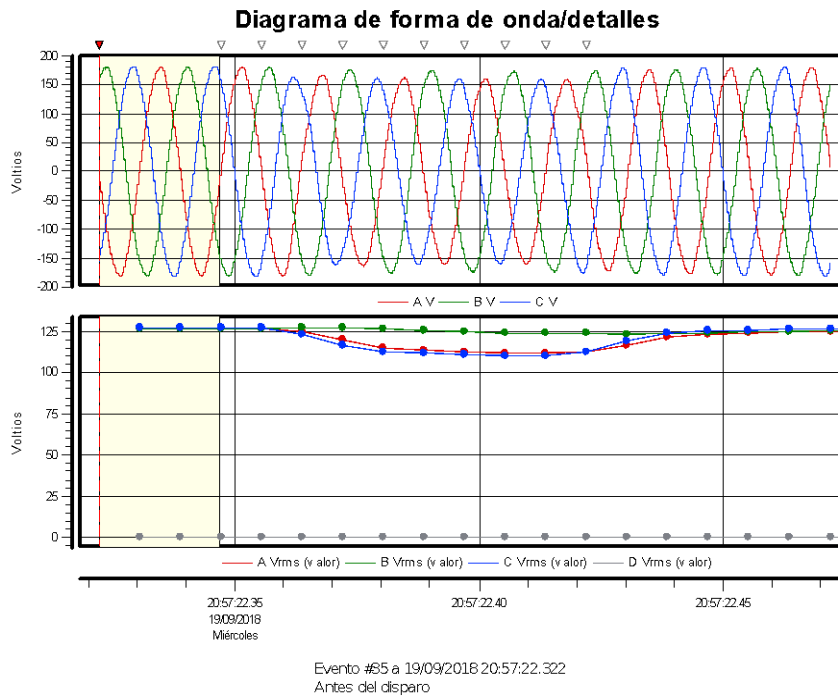
Figura 60. **Evento: hueco de voltaje que cruza el límite inferior, (SAG), transformador n° 2, subestación MINFIN**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.



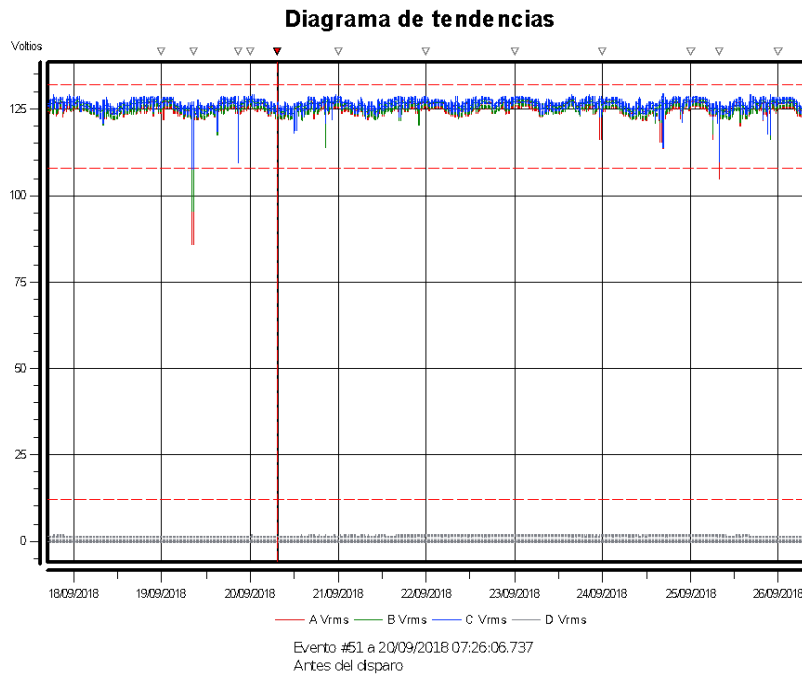
Figura 61. Evento: hueco de voltaje que no traspasa límite



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

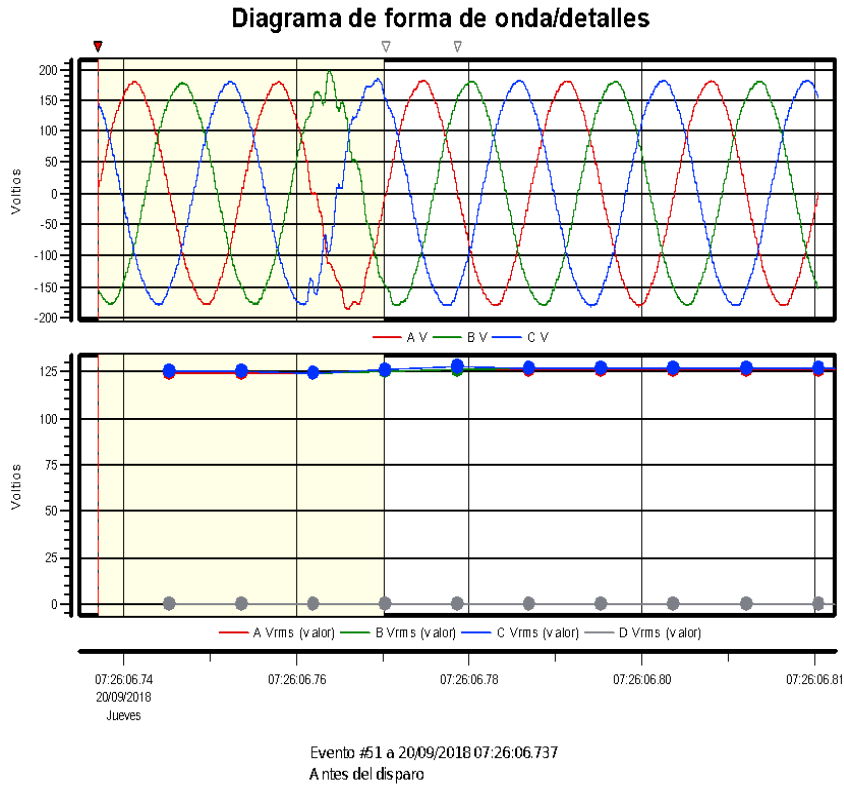
En las figuras 60 y 61, se aprecia que el voltaje cae a un valor de 110,53, el cual se encuentra dentro de los límites normados.

Figura 62. Evento: variación del voltaje en transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Figura 63. **Evento: variación del voltaje, forma de onda, transformador n°2, en la fase C**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

En la figura 63, se muestra una pequeña sobretensión que no sobrepasa el límite normado.

### 6.3.3. Parpadeo (*flicker*)

El parpadeo es un parámetro de la calidad de energía que debe ser medido para determinar si cumple con las normativas vigentes, la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en el período de medición.

Tabla XII. **Reporte de cumplimiento del parpadeo en transformador n°2**

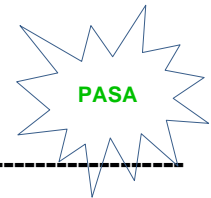
---

#### EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO

Sitio: TRAF0 n°2 MINFIN completo, semana #1 (17/09/2018 15:00:00.0 hasta 24/09/2018 15:00:00.0)

#### Parpadeo

Rango	Umbral	Cumplimiento:		
		CHA	CHB	CHC
<1	95,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

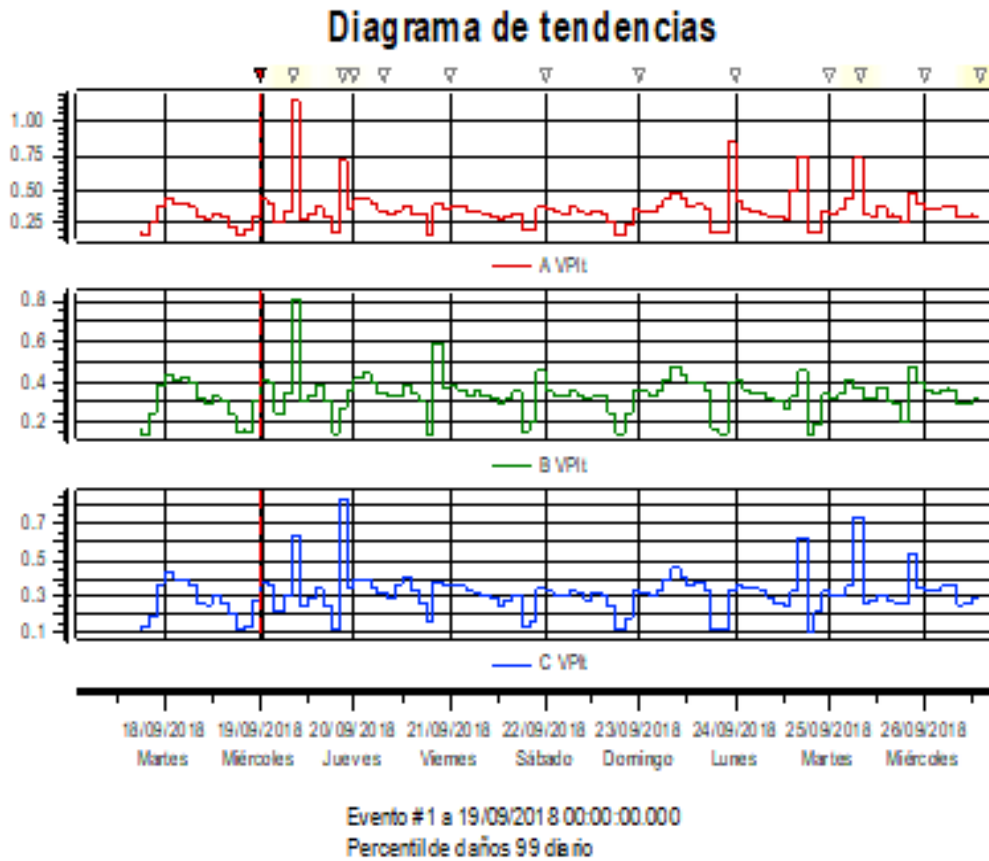


---

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz. HDPQ.

Al igual que para la normativa EN 50160, la normativa de la NTSD indica que la tolerancia para el  $P_{st}$  debe ser menor o igual a 1, por lo tanto, el resultado anterior es válido para la NTSD.

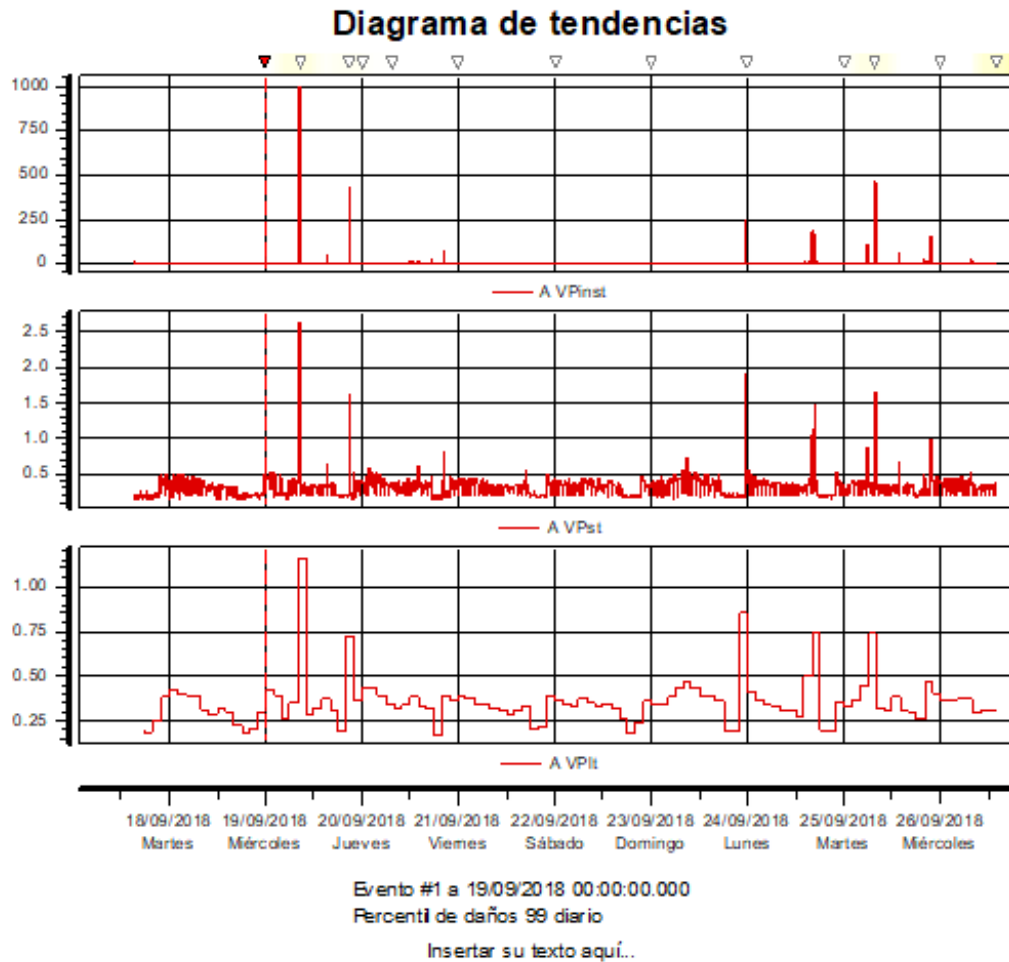
Figura 64. Parpadeo en transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

La figura 64 muestra la intensidad del parpadeo a largo plazo (PLT) registrada en el transformador n°2, la cual se encuentra dentro de los límites normados.

Figura 65. Parpadeo y voltaje en transformador n°2



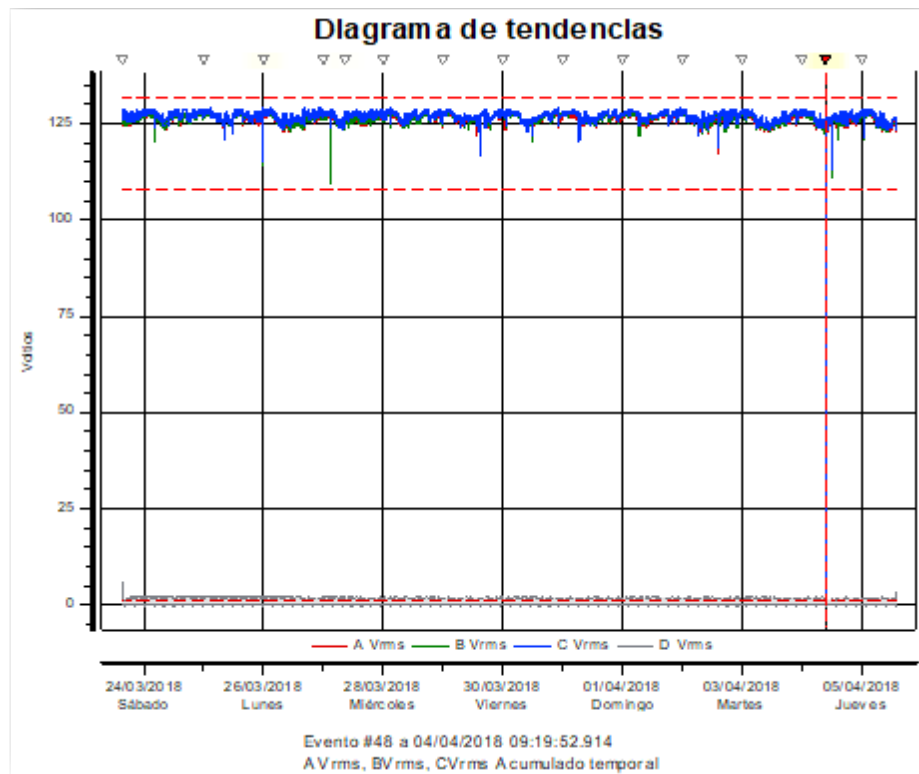
Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

La figura 65 relaciona el  $P_{it}$  con el  $P_{st}$  y el voltaje, registro en la fase B

### 6.3.4. Interrupción del voltaje de suministro

En la figura 66 se, aprecia una interrupción de energía en la subestación en el transformador 1. Este tipo de evento tiene una repercusión inmediata en el servicio que el MINFIN presta al usuario final.

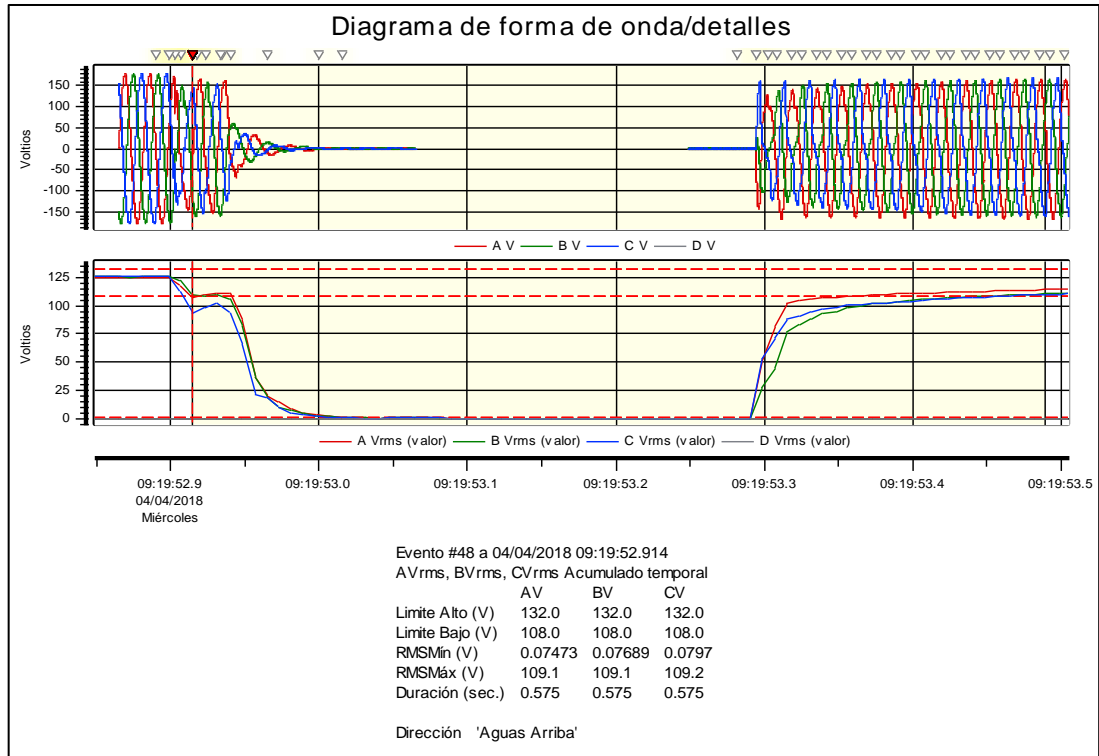
Figura 66. **Evento: interrupción de voltaje de suministro en transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

En las figuras 67,68 y 69, se aprecia la deformación de la onda al instante de suceder el evento de Interrupción. Es importante resaltar que no se da una sobretensión en la restauración del voltaje.

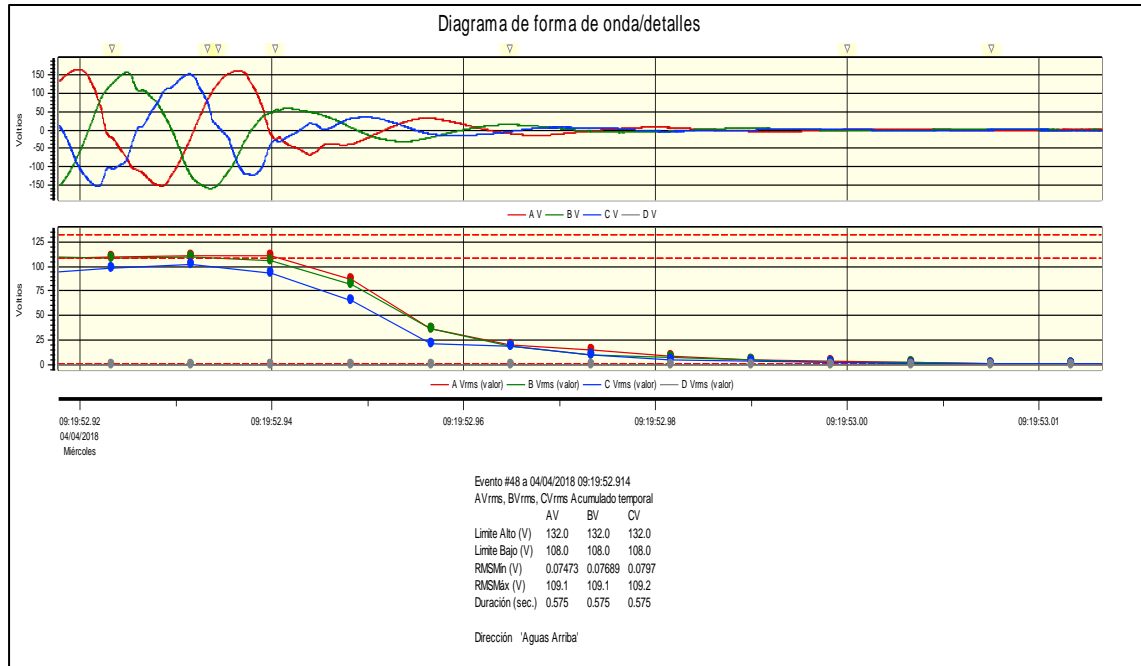
Figura 67. **Evento: interrupción de voltaje de suministro, forma de onda, transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

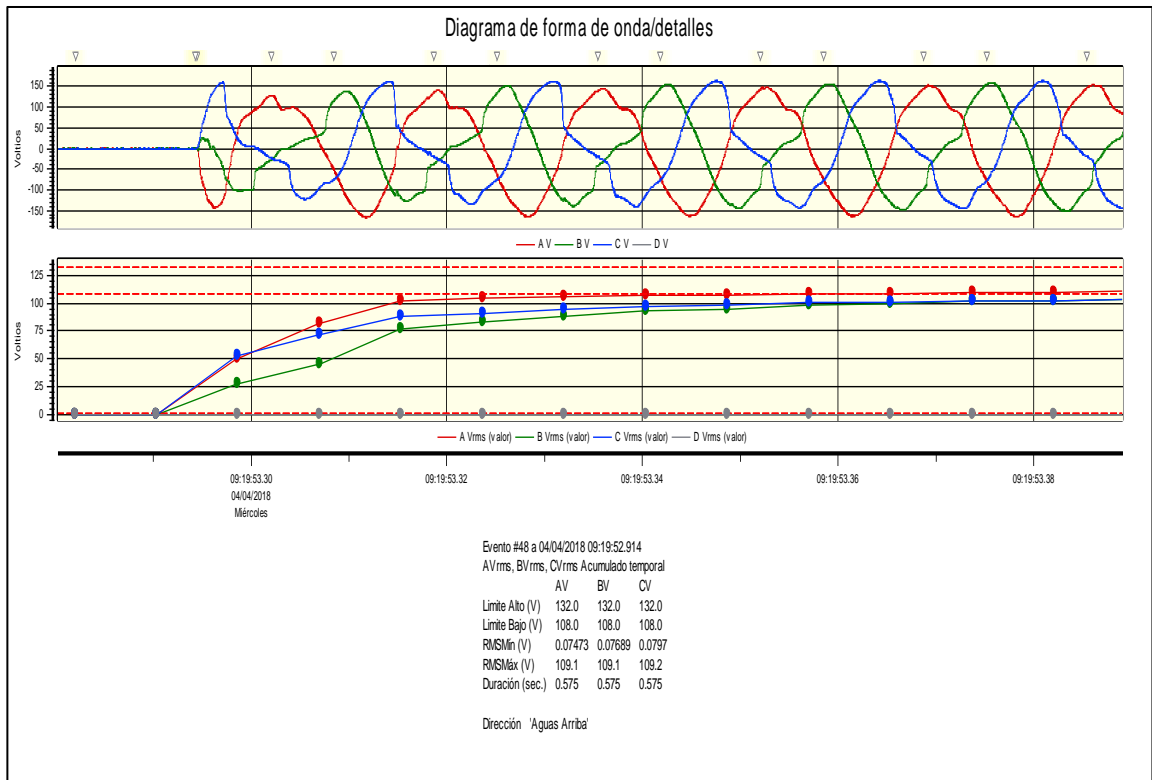


Figura 68. **Evento: interrupción del voltaje de suministro en el transformador n°1, forma de onda al inicio del evento**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Figura 69. **Evento: interrupción del voltaje de suministro en el transformador n°1, forma de onda al final del evento**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

### 6.3.5. Resumen de eventos, curvas ITIC

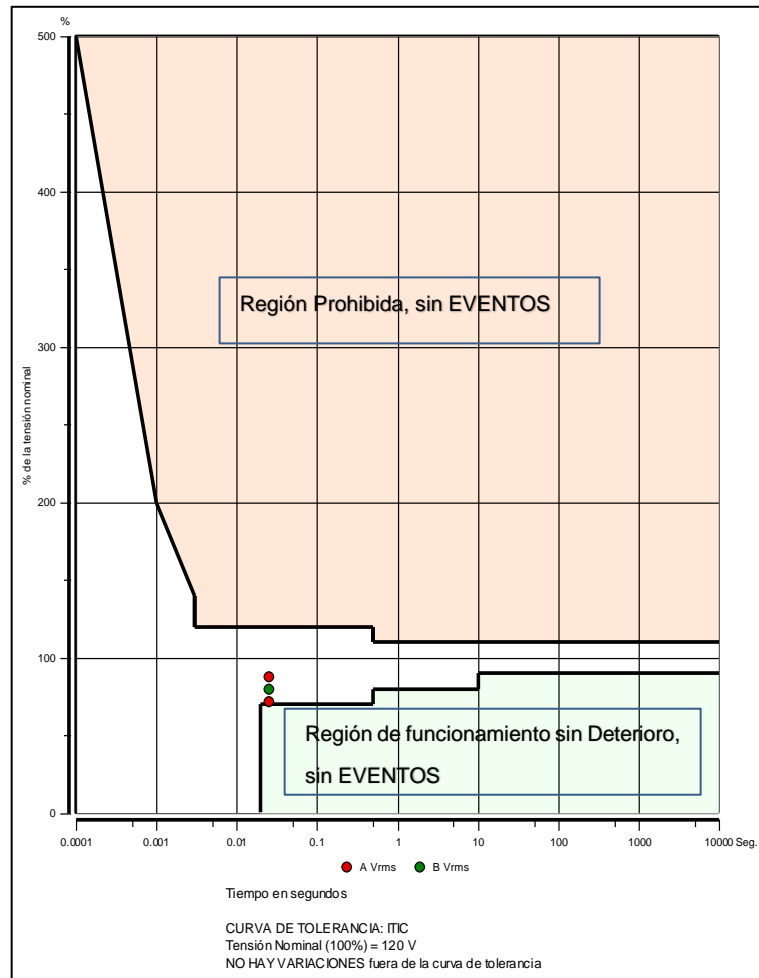
La curva ITIC (*Information Technology Industry Council*, por sus siglas en inglés), se aplica a la evaluación de la calidad de energía. A pesar de que, al inicio, se desarrolló principalmente para equipos informáticos a 120 V y 60 Hertz, puede usarse para definir la capacidad de resistencia de otros equipos, siempre y cuando se tomen en cuenta todas las otras variables que acompañen a cada proceso en particular. La curva describe lo envolvente de la tensión de suministro de corriente alterna en la que, normalmente, la mayoría de equipos electrónicos,

denominados como equipos de la tecnología de la información, pueden tolerar las variaciones, y seguir operando. En el estándar IEEE Std 1346-1998, aparecen algunos rangos de tolerancia de los equipos que, comúnmente, se encuentran en una planta industrial. Fuera de la región de tolerancia, se definen 2 regiones desfavorables. La región por debajo de la envolvente se denomina región sin deterioro; incluye caídas e interrupciones de tensión que aplican a tensiones inferiores al límite mínimo de la tolerancia en el estado estacionario. En esta región, no se espera que los equipos funcionen correctamente, pero no es de esperar ningún daño sobre ellos. En la región superior a la envolvente, denominada región prohibida, incluye sobretensiones que superan el límite superior de la curva y es una región que debe evitarse, ya que, los equipos sometidos a estas sobretensiones, se puede esperar que fallen.

En el caso del MINFIN, se toma en cuenta debido a que los equipos informáticos son el segundo mayor consumidor de energía y, por tanto, su evaluación es importante.

En la figura 70 se aprecia que, durante el período de medición, no se presentaron variaciones fuera de la curva de tolerancia.

Figura 70. Curva ITIC, transformador n°2



### DIAGRAMA MAGNITUD/DURACIÓN

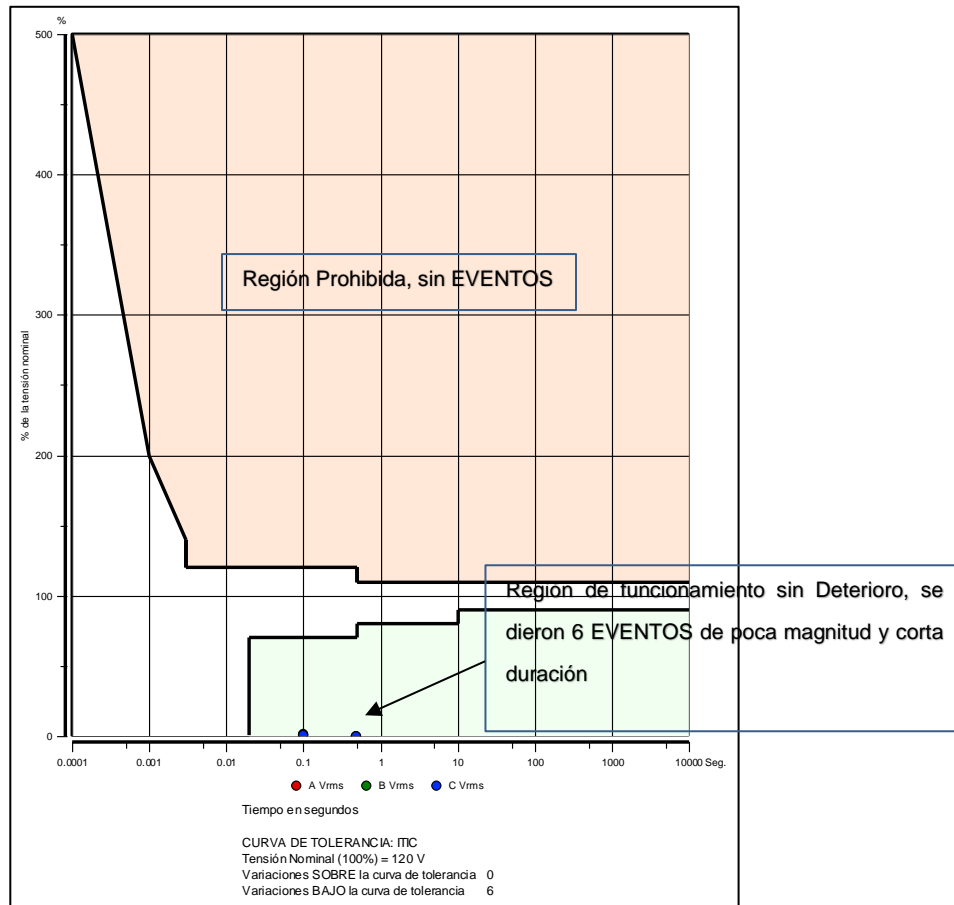
Sitio: trafo 2 completo

Medido desde 17/09/2018 15:00:00.0 hasta 26/09/2018 14:07:26.0

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

En la figura 71 se aprecia que, durante el período de medición se registraron 6 variaciones bajo la curva de tolerancia y no hubo variaciones sobre la curva de tolerancia.

Figura 71. Curva ITIC, transformador n°1 (resumen de eventos)



### DIAGRAMA MAGNITUD/DURACION

Sitio: TRAF0 1-MINIFIN

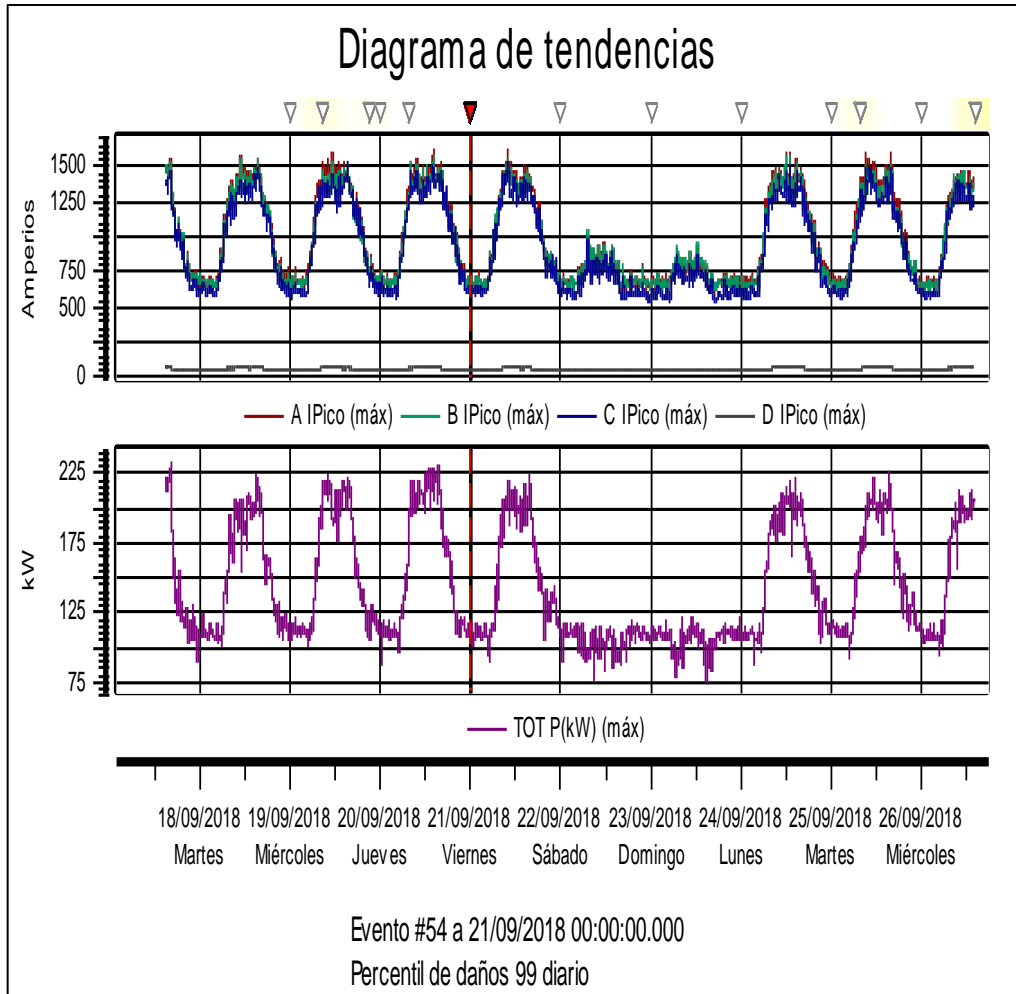
Medido desde 23/03/2018 15:09:49.0 hasta 05/04/2018 14:20:00.0

Fuente: elaboración propia, empleando software del equipo Dranetz HPDQ.

### 6.3.6. Corriente de la carga y potencia activa

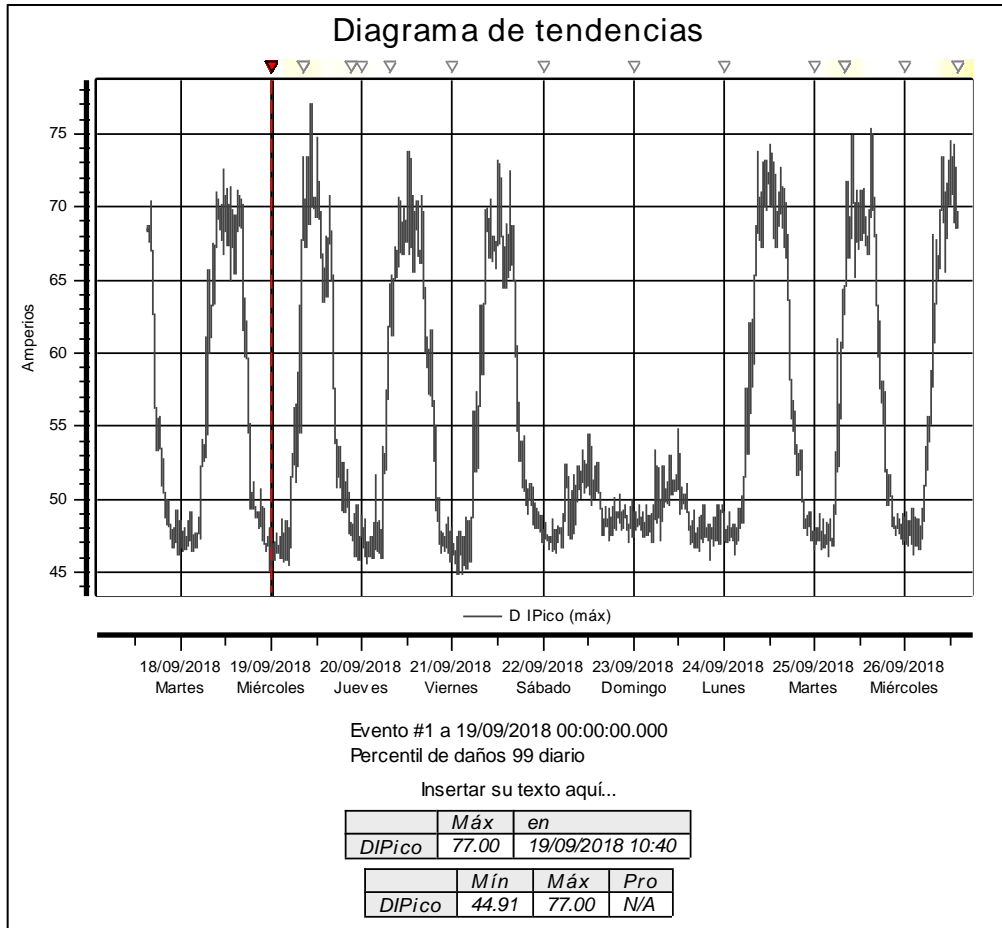
La corriente del sistema está directamente relacionada con la carga instalada y con los períodos de uso y con la simultaneidad del uso, y constituye un parámetro importante a medir, tanto en los cables de fase como en el cable de neutro.

Figura 72. Comportamiento de la corriente y la potencia activa, transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz. HPDQ.

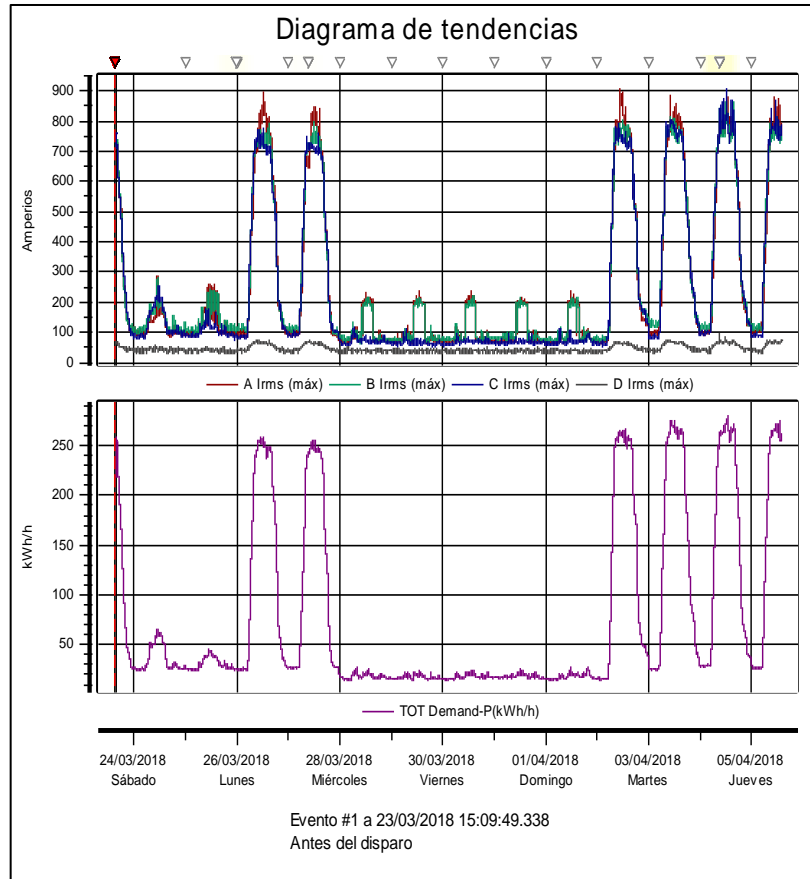
Figura 73. **Comportamiento de la corriente en el neutral, transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

Las figuras 72 y 73, muestran el comportamiento de la corriente en las fases y en el conductor neutral en el transformador n°2.

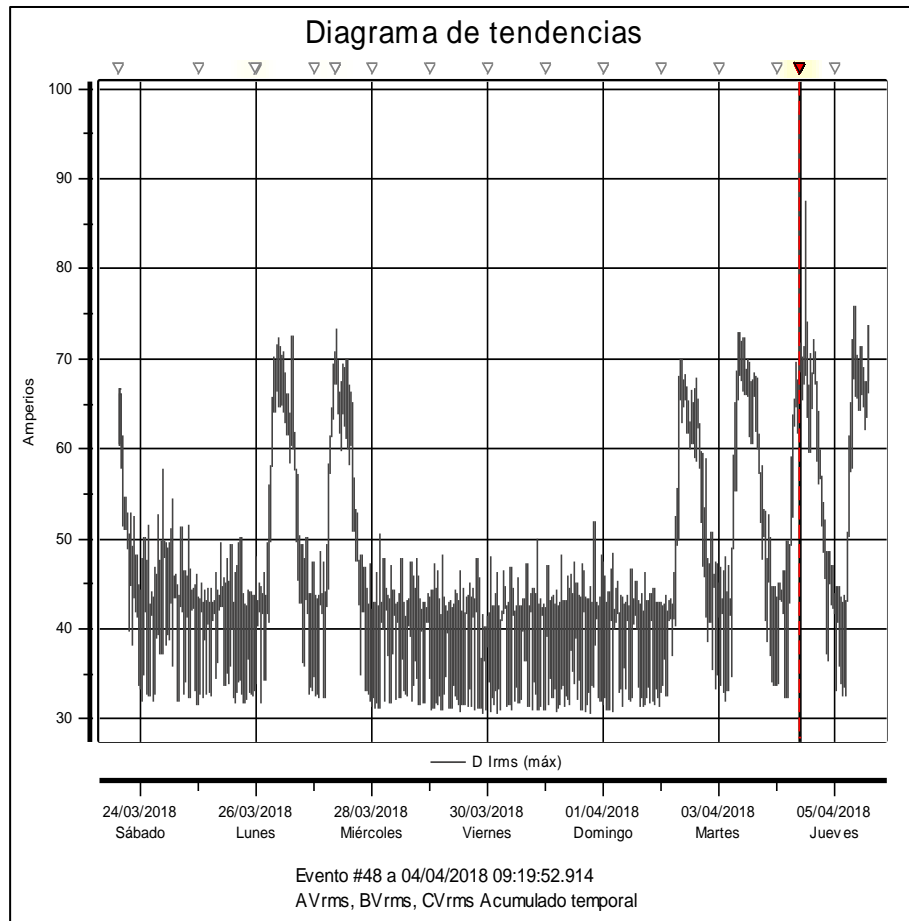
Figura 74. Comportamiento de la corriente y la potencia activa, transformador n°1



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.



Figura 75. **Comportamiento de la corriente en el neutral, transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Las figuras 74 y 75, muestran el comportamiento de la corriente en las fases y en el conductor neutral en el transformador n°1.

### 6.3.7. Desequilibrio (desbalance) en la tensión suministrada y desequilibrio en las corrientes de la carga y registro de las corrientes

La normativa UNE EN 50160, indica que, en condiciones normales de operación, para cada período de una semana, el 95 % de los valores eficaces, calculados en 10 minutos de la componente inversa de la tensión de alimentación, debe situarse entre el 0 y el 2 % de la componente directa.

Tabla XIII. **Reporte de desequilibrio de tensión de suministro en transformador n°2**

---

#### EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO

Sitio: TRAF0 n°2 MINFIN, completo, Semana #1 (17/09/2018 15:00:00.0 hasta 24/09/2018 15:00:00.0)

#### Desequilibrio de la tensión suministrada

Rango	Umbral
0-2 %	95,0 % 100,0 %

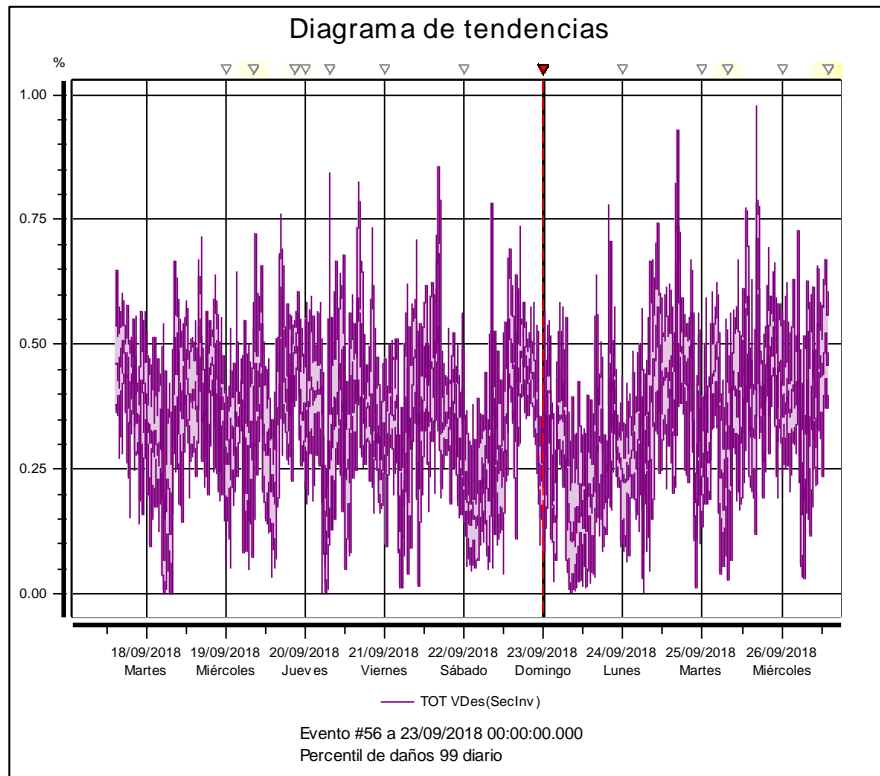


---

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

La normativa NTSD indica que la tolerancia admitida para la Etapa de Régimen debe ser, para baja tensión, como máximo el 3 %, por tanto, para esta normativa también se cumple en el período de medición.

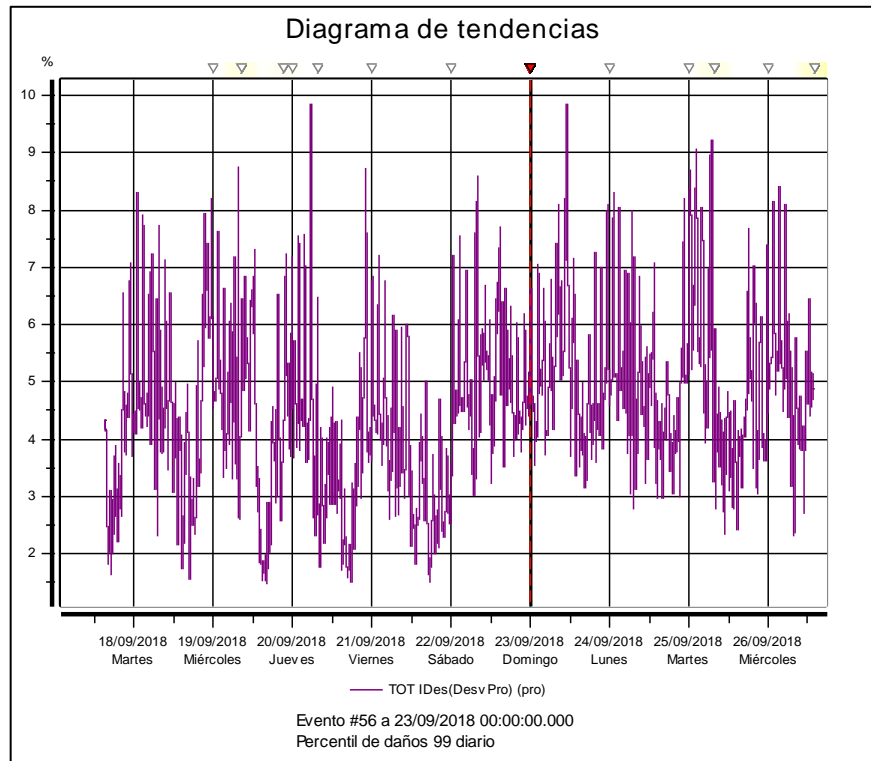
Figura 76. **Desequilibrio en voltaje transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Se determina que el desequilibrio de tensiones está en norma. Se analiza el desequilibrio en corrientes, para ver si ejerce algún tipo de impacto en las tensiones que pudiera dar valores fuera de la norma.

Figura 77. **Desequilibrio en corrientes de carga transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

El desequilibrio (desbalance) en las corrientes de fase del transformador n°2 llega a mostrar valores por arriba del 9,5 %. Se recomienda realizar un balance de cargas en las diferentes fases.

Tabla XIV. **Reporte de desequilibrio de tensiones de suministro en transformador n°1**

**EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO**

Sitio: TRAF0 n°1 MINIFIN, semana 1 (23/03/2018 15:09:49.0 hasta 30/03/2018 15:09:49.0)  
 Tensión nominal (Un) = 120 V

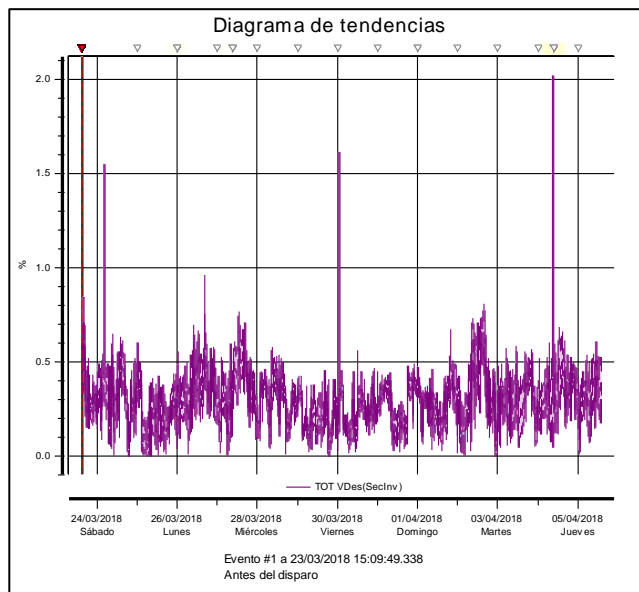
Desequilibrio de la tensión suministrada		
Rango	Umbral	
0-2 %	95,0 %	100,0 %



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

La normativa NTSD, indica que la tolerancia admitida para la etapa de régimen debe ser para baja tensión máximo el 3 %; por tanto, para esta normativa, también se cumple en el período de medición.

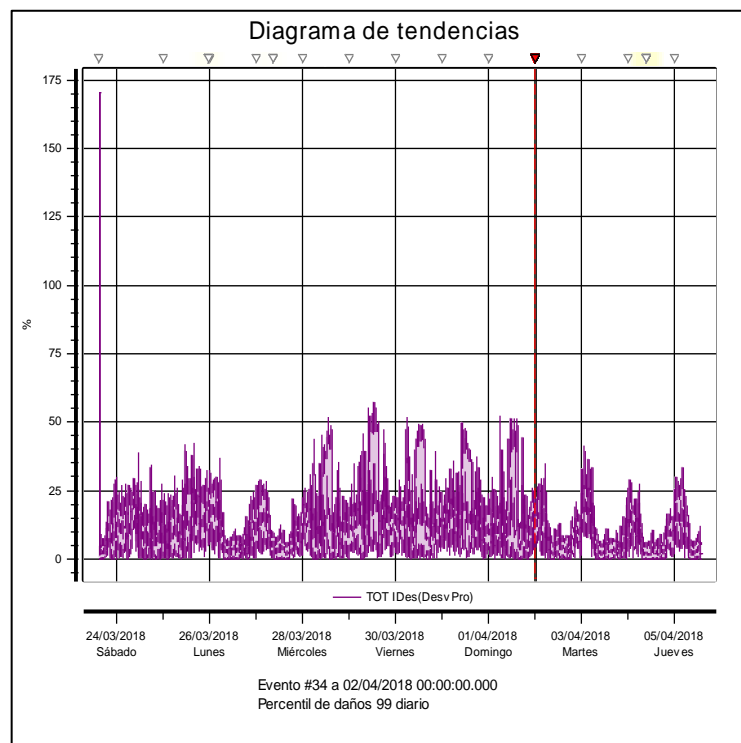
Figura 78. **Desequilibrio en voltaje de suministro transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

De igual manera que con el transformador n°1, después de observar que el desequilibrio en tensiones de suministro está en norma, se verificó el desequilibrio en corrientes para ver la relación y el efecto que este pueda impactar en el desequilibrio de tensiones.

Figura 79. **Desequilibrio en corrientes de carga, transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

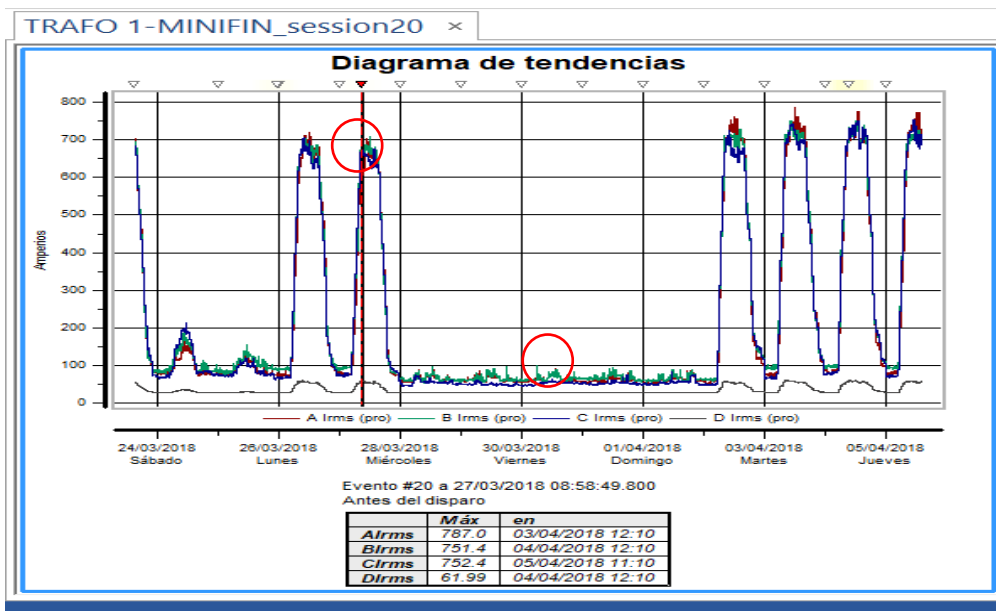
La figura 79 muestra que las corrientes presentan un desequilibrio (desbalance) significativo, por lo que se recomienda estudiar la posibilidad de un balance de cargas.

Para la reducción de pérdidas, uno de los métodos más eficientes es la reconfiguración de cargas en los alimentadores principales, es decir, balance de

carga en las fases. Existen métodos para este fin, pero, quedan fuera del alcance de este trabajo. Solamente se plantea el requerimiento de hacer un análisis con respecto a este tema.

Las figuras muestran que hay registros de hasta un 50 % de desbalance promedio.

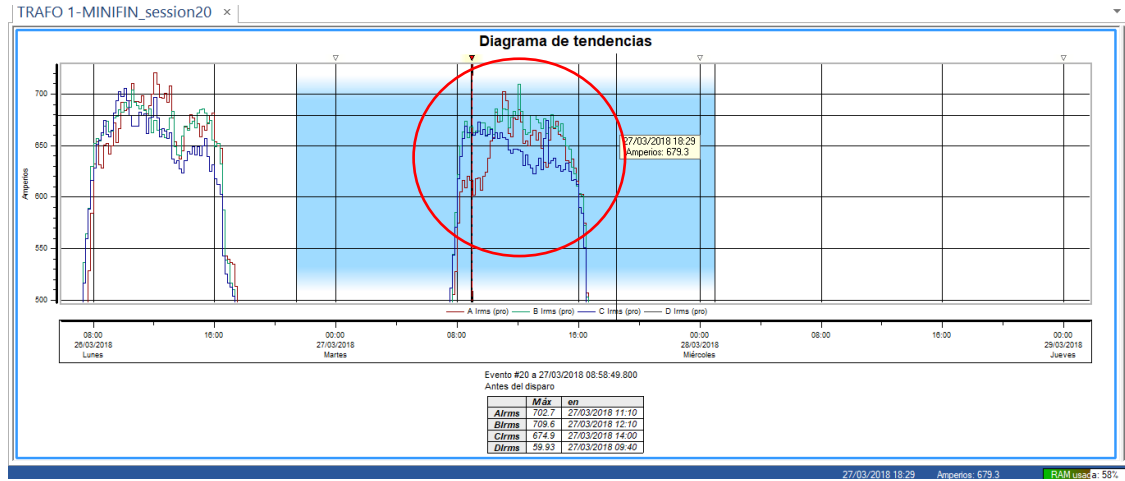
Figura 80. Transformador n°1, corrientes fases



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

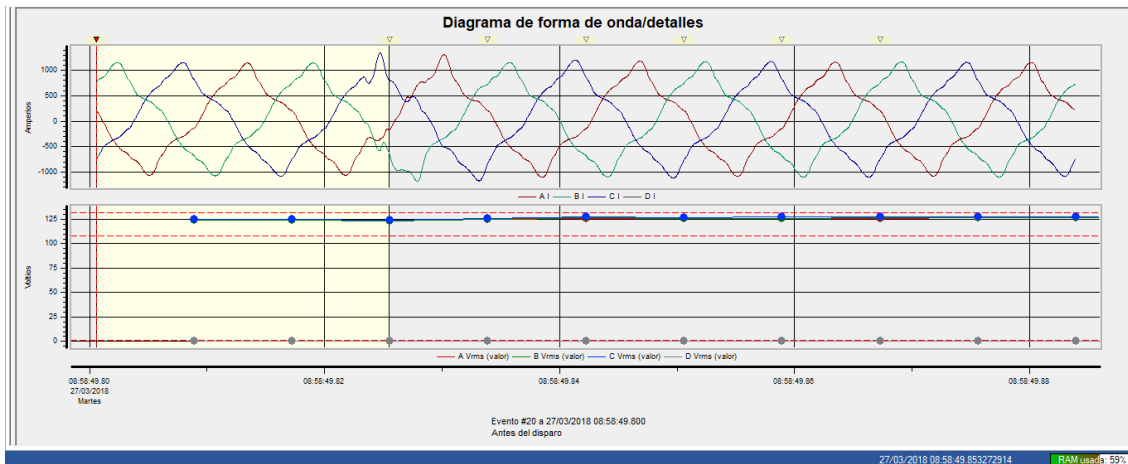
- Valores Pico: Fase A = 787,00 amp. Fase B = 751,40 amp. Fase C = 752,40 y en el Neutral = 61,99 amperios.

Figura 81. Área ampliada de registro de medición de corrientes de fase



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Figura 82. Forma de onda de las corrientes de fase

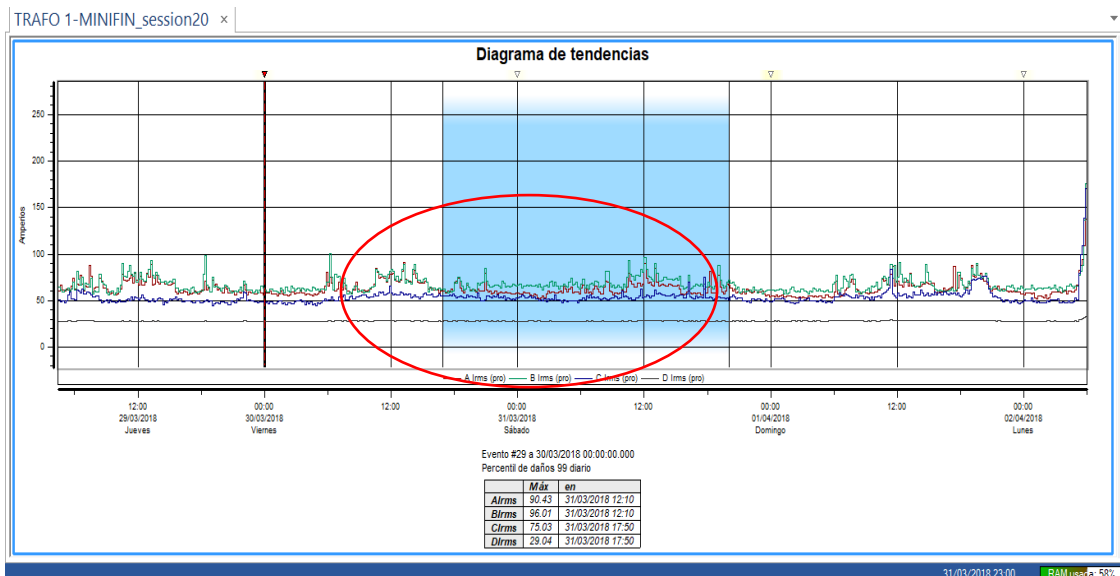


Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.



En la figura 83, se aprecia la forma de onda con deformación, provocada por efectos armónicos, registrada antes del evento n°:20 del 27 marzo 2018 a las 8:58:49 horas.

Figura 83. Área ampliada de registro de medición en período viernes por la noche y sábado por la mañana



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Es importante observar que, durante el período ampliado, la corriente del neutral tiene un valor pico de 29,04 amperios, pero con un comportamiento muy estable. Los valores de fase presentaron valores pico de 90,43 fase A, 96,01 fase B y 75,03 fase C; por lo que la corriente en el neutral es de casi 1/3 de las corrientes de fase; esto es debido a componentes armónicas que incrementan el valor de la corriente en ese conductor, especialmente cuando el transformador esta con baja carga.

### **6.3.8. THD<sub>v</sub>, THD<sub>i</sub> y el factor K en transformador n°2, subestación MINFIN**

El valor de la distorsión total armónica del voltaje THD<sub>v</sub>, en los conductores de fase del transformador 2 de la subestación del MINFIN, durante el período de medición está dentro de los límites normados, es decir, menor al 8 %.

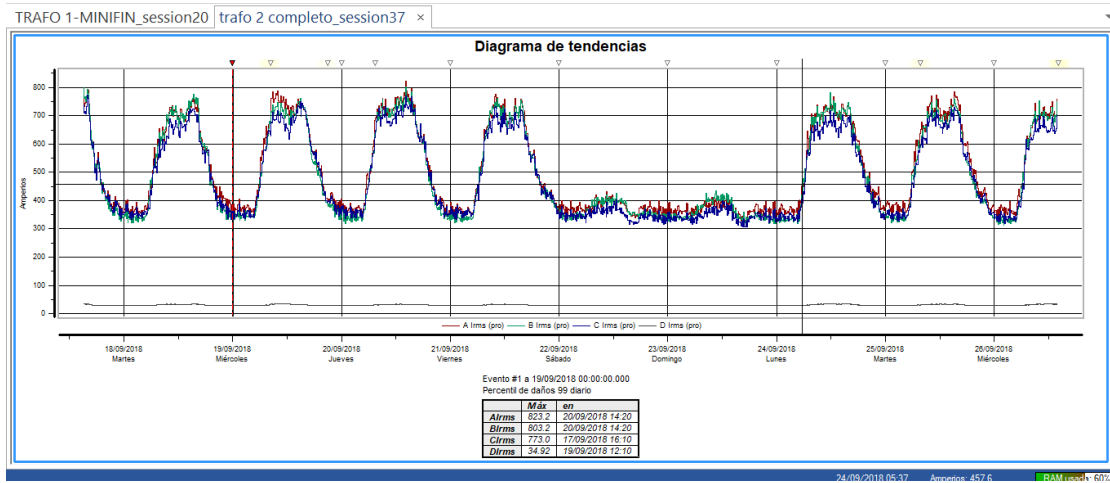
El valor de la distorsión total armónica de corriente THD<sub>i</sub>, registrado en las fases, en el período de medición, tuvo el valor máximo en la fase A, y fue de 16,48. En el conductor neutral, se registró un dato de 54,95, lo que representa un 333,33 %. Es importante resaltar este dato, ya que el conductor neutral transporta corrientes que no corresponden al desbalance, si no al efecto de armónicos.

En el gráfico correspondiente el factor K, registró un dato de 3,351 en el neutral. El valor K toma en cuenta las cargas que sirve el transformador 2 y que son causa de distorsión armónica, y la capacidad del mismo para soportarlas.

Un factor K recomendado para transformadores con cargas consistentes en variadores de frecuencia, debe ser K20.

Es importante tomar en cuenta que el calibre del conductor neutral del ramal, que sale del transformador y alimenta las cargas no lineales se compone de 7 cables 350 MCM, lo que representa una capacidad de conducción teórica de 2 450 amperios; por lo que el valor máximo registrado de 63,46 amperios, en el período de medición, no tiene ningún efecto. Pero, sobre todo, en función de los datos para la THD<sub>i</sub>, que ayuda a compensar dicho efecto, la demanda no llega a sobrepasar en ningún momento, durante el período de medición, el 30 % de la capacidad del transformador.

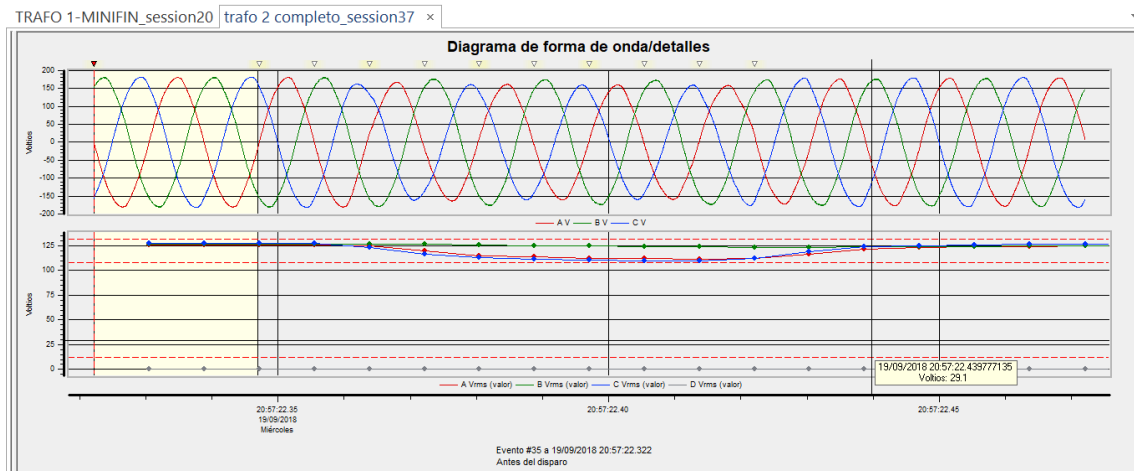
Figura 84. Transformador n°2, corrientes de fase



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

- Valores Pico: Fase A = 823,20 amp. Fase B = 803,20 amp. Fase C = 773,00 y en el Neutral = 34,92 amperios.

Figura 85. Transformador n°2, forma de onda



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Tabla XV. Reporte de THD<sub>v</sub> en el transformador n°2

**Transformador n°2, subestación MINFIN**

**EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO**

Sitio: TRAFO n°2 MINFIN completo, semana #1 (17/09/2018 15:00:00.0 hasta 24/09/2018 15:00:00.0)

Tensión nominal (Un) = 120 V

**Armónicos**

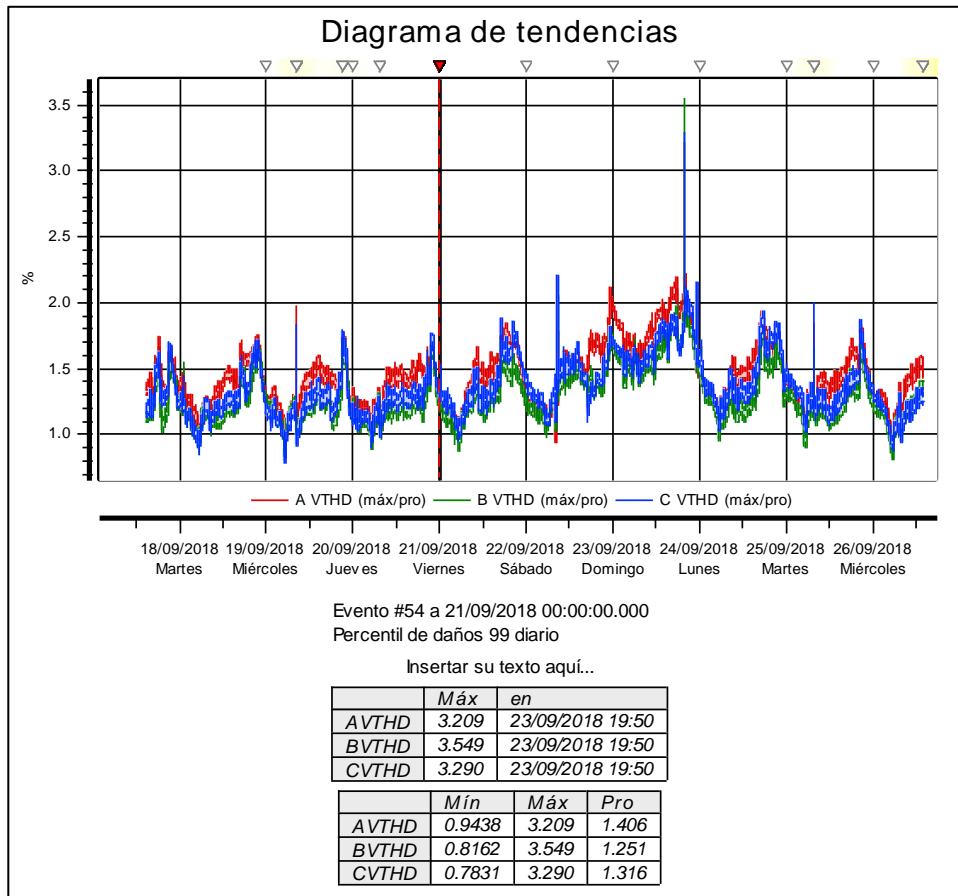
Todos los valores mostrados son del 95 %

THD	Limite (% de Un) <b>&lt;8,00 %</b>	A	B	C	Estado
		1,89 %	1,65 %	1,72 %	PASA
H02	<2,00 %	0,04 %	0,04 %	0,04 %	PASA
H03	<5,00 %	0,78 %	0,64 %	0,44 %	PASA
H04	<1,00 %	0,03 %	0,04 %	0,04 %	PASA
H05	<6,00 %	1,71 %	1,51 %	1,56 %	PASA
H06	<0,50 %	0,02 %	0,03 %	0,03 %	PASA
H07	<5,00 %	0,86 %	0,77 %	0,97 %	PASA
H08	<0,50 %	0,03 %	0,04 %	0,04 %	PASA
H09	<1,50 %	0,13 %	0,16 %	0,15 %	PASA
H10	<0,50 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	PASA
H11	<3,50 %	0,35 %	0,31 %	0,31 %	PASA
H12	<0,50 %	0,01 %	0,02 %	0,02 %	PASA
H13	<3,00 %	0,22 %	0,18 %	0,23 %	PASA
H14	<0,50 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	PASA
H15	<0,50 %	0,08 %	0,06 %	0,08 %	PASA
H16	<0,50 %	0,02 %	0,03 %	0,02 %	PASA
H17	<2,00 %	0,16 %	0,11 %	0,15 %	PASA
H18	<0,50 %	0,01 %	0,02 %	0,01 %	PASA
H19	<1,50 %	0,08 %	0,10 %	0,13 %	PASA
H20	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H21	<0,50 %	0,09 %	0,05 %	0,11 %	PASA
H22	<0,50 %	0,01 %	0,02 %	0,03 %	PASA
H23	<1,50 %	0,08 %	0,08 %	0,07 %	PASA
H24	<0,50 %	0,02 %	0,02 %	0,03 %	PASA
H25	<1,50 %	0,07 %	0,05 %	0,13 %	PASA

Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

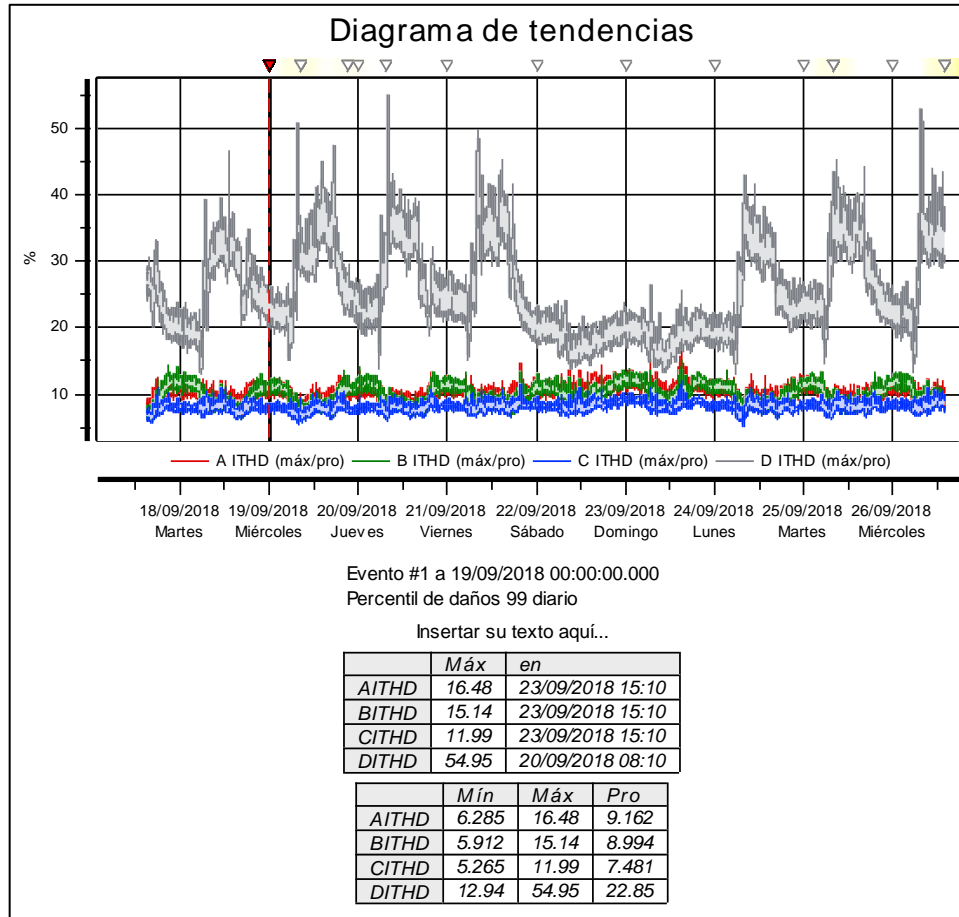
La normativa NTSD, indica que la tolerancia para la distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor en lo que corresponde a la distorsión armónica total de tensión es del 8 %, lo cual se cumple para este período de medición.

Figura 86. THDv transformador n°2, subestación MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

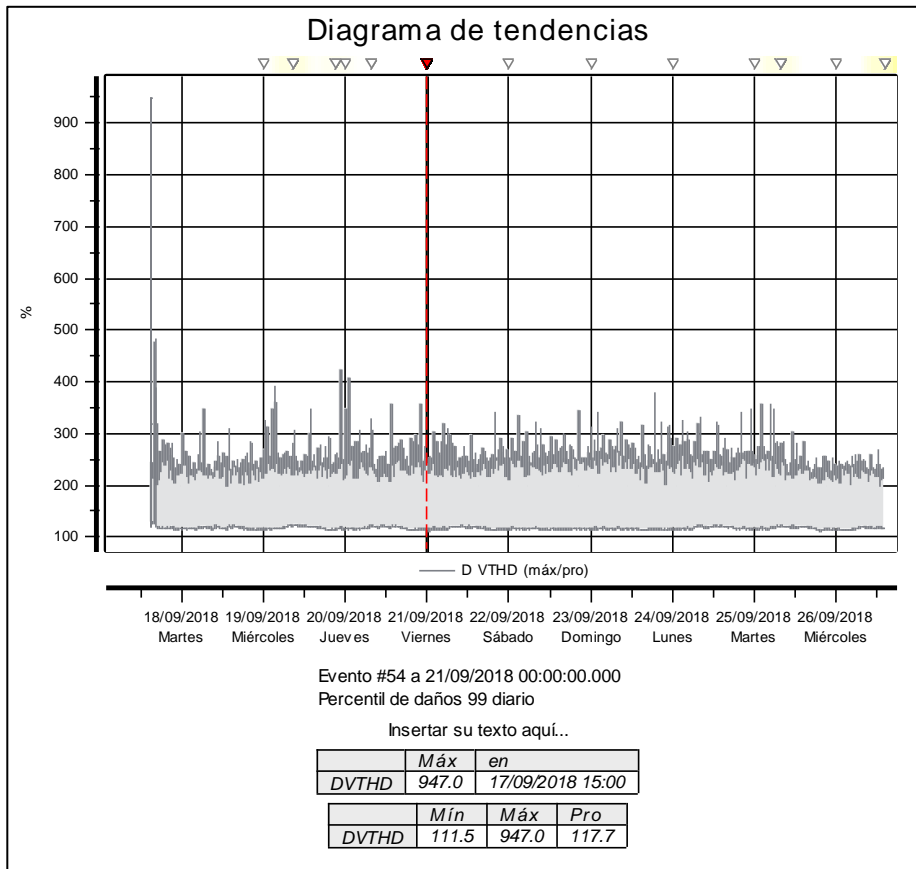
Figura 87. THD<sub>i</sub>, transformador n°2, subestación MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

La normativa NTSD indica que la tolerancia para la distorsión armónica total de corriente debe ser igual o menor a 20 % para potencias mayores a 10 kW y voltajes entre 1 kV y 60 kV. Para las fases se cumple, pero no se cumple para el neutral.

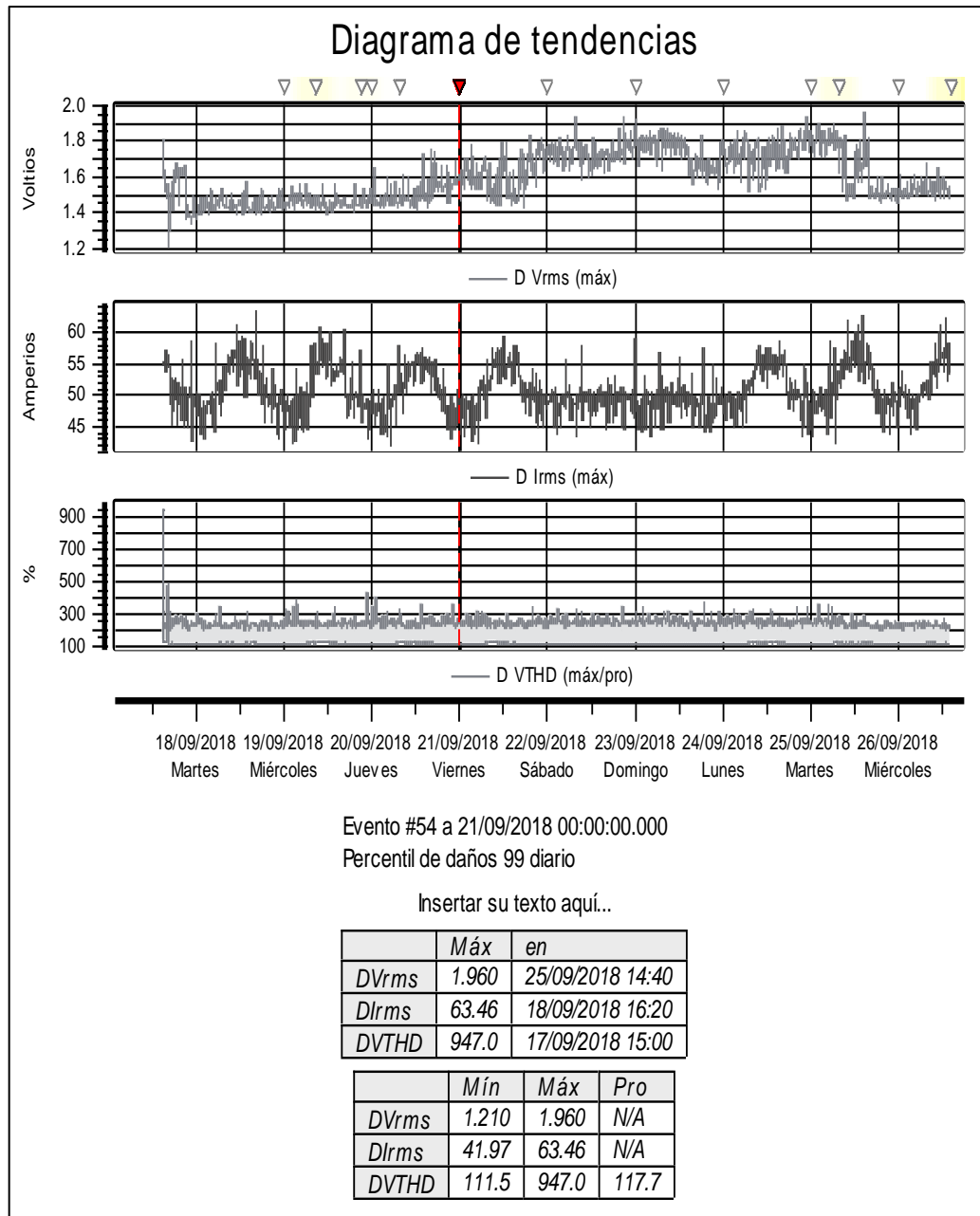
Figura 88. THD<sub>v</sub> en el neutral del transformador n°2



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

El conductor neutral presenta una distorsión armónica total promedio de 117,7 %, por lo que no cumple con la normativa de la NTDS, y exige un análisis de lo que está sucediendo.

Figura 89. **Comportamiento de voltaje, corriente y THD<sub>v</sub> en el neutral transformador n°2**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.



Tabla XVI. Reporte de THDv en el transformador n°1

Transformador n°1, subestación MINFIN

EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO

Sitio: TRAF0 n°1 MINIFIN, semana #1 (23/03/2018 15:09:49.0 hasta 30/03/2018 15:09:49.0)

Tensión nominal (Un) = 120 V

Armónicos

Todos los valores mostrados son del 95 %

THD	Limite (% de Un)	A	B	C	Estado
	<b>&lt;8,00 %</b>	<b>2,12 %</b>	<b>1,99 %</b>	<b>1,92 %</b>	<b>PASA</b>
H02	<2,00 %	0,03 %	0,03 %	0,04 %	PASA
H03	<5,00 %	1,11 %	1,03 %	1,11 %	PASA
H04	<1,00 %	0,05 %	0,05 %	0,06 %	PASA
H05	<6,00 %	1,87 %	1,75 %	1,70 %	PASA
H06	<0,50 %	0,02 %	0,04 %	0,03 %	PASA
H07	<5,00 %	1,05 %	1,05 %	1,12 %	PASA
H08	<0,50 %	0,01 %	0,02 %	0,01 %	PASA
H09	<1,50 %	0,43 %	0,32 %	0,38 %	PASA
H10	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H11	<3,50 %	0,44 %	0,37 %	0,44 %	PASA
H12	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H13	<3,00 %	0,26 %	0,21 %	0,24 %	PASA
H14	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H15	<0,50 %	0,15 %	0,19 %	0,19 %	PASA
H16	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H17	<2,00 %	0,17 %	0,21 %	0,15 %	PASA
H18	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H19	<1,50 %	0,31 %	0,27 %	0,30 %	PASA
H20	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H21	<0,50 %	0,08 %	0,10 %	0,11 %	PASA
H22	<0,50 %	0,01 %	0,00 %	0,01 %	PASA
H23	<1,50 %	0,10 %	0,07 %	0,07 %	PASA
H24	<0,50 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	PASA
H25	<1,50 %	0,15 %	0,13 %	0,14 %	PASA

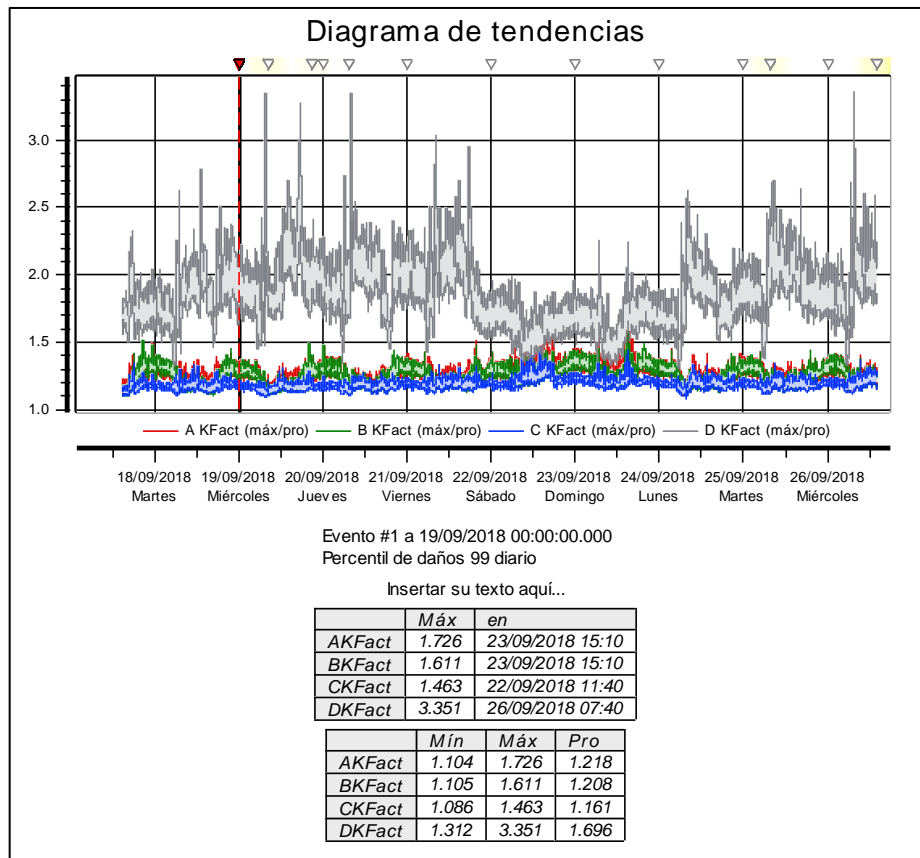
Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

La normativa NTSD, indica para la tolerancia de la distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor, en lo que corresponde a la armónica total de tensión, es del 8 %, lo cual se cumple para este período de medición.

### 6.3.9. Factor K, transformadores n°1 y n°2 de subestación

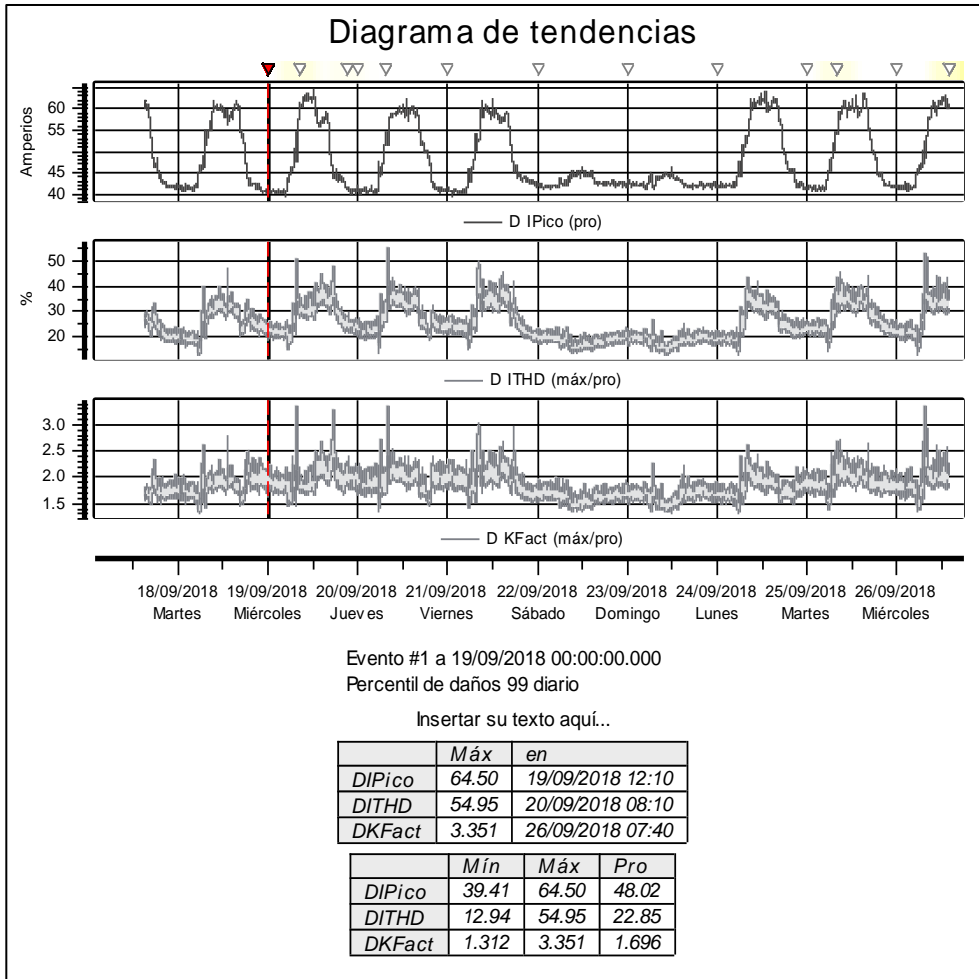
La determinación del factor K, aunque es opcional en para los parámetros de calidad de energía, indica la capacidad que tienen los transformadores para manejar las corrientes no sinusoidales.

Figura 90. Factor K en transformador n°2 de la subestación MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

Figura 91. **Factor K en conductor neutral de transformador n°2, muestra la relación entre factor K, THD<sub>I</sub> y corriente**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

### 6.3.10. Frecuencia del voltaje de suministro

En la siguiente tabla se muestra el cumplimiento del parámetro de frecuencia de suministro en el período de medición.

Tabla XVII. Reporte de cumplimiento de frecuencia de suministro

---

#### EN50160 INFORME DE CUMPLIMIENTO

Sitio: TRAF0 n°2 MINFIN completo, semana #1 (17/09/2018 15:00:00.0 hasta 24/09/2018 15:00:00.0)

Tensión nominal (Un) = 120 V

#### Frecuencia de la tensión de alimentación

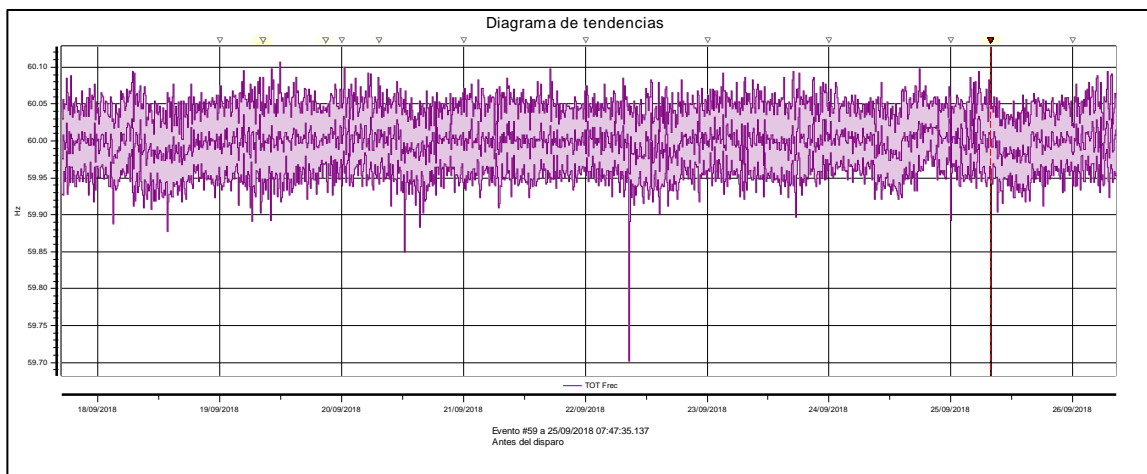
Rango	Umbral	Cumplimiento
60 Hz +1 %/-1, %	99,5%	100,0 %
60 Hz +4 %/-6 %	100,0 %	100,0 %



---

Fuente: elaboración propia, empleando *software* equipo Dranetz HDPQ.

Figura 92. Frecuencia del voltaje de suministro



Fuente: elaboración propia, empleando *software* de equipo Dranetz HDPQ.

### 6.3.11. Sistema de puesta a tierra en el MINFIN

El sistema de puesta a tierra física existente en las instalaciones del MINFIN, es el conocido como neutro efectivamente conectado a tierra. En estos casos, el neutro del sistema se conecta de manera directa y sólidamente al sistema de electrodos de tierra. Una de las características de este tipo de conexión es la ausencia de sobretensiones en el comportamiento del sistema. En este tipo de conexión, la corriente de falla generalmente es elevada, porque depende de la potencia de cortocircuito del sistema y de la reactancia del sistema, vista desde el punto en el cual ocurra la falla. Debido a ello, la falla debe ser despejada en el menor tiempo posible, y el circuito asociado a la misma, desconectado. Entre sus beneficios está, como ya se mencionó, que no existen sobretensiones transitorias, debido a que la magnitud de la impedancia de secuencia cero, generalmente, es mucho menor que el valor de la impedancia de secuencia positiva de la red. Si existen, como es el caso del MINFIN, transformadores que trabajan en paralelo, puede ocurrir que la impedancia de secuencia cero sea mayor que la secuencia positiva. Este riesgo se minimiza si se trabaja con un solo transformador.

La subestación del MINIFIN cuenta con una malla de puesta a tierra conformada por electrodos (varillas *Copper Weld*), que construyen una retícula, unidos entre sí, por cables de cobre desnudos, que utilizan soldadura exotérmica, para unión cable-varilla. Se realizaron mediciones de la resistencia de sistema en las cajas de registro ubicadas en dicho recinto; para ello, se utilizó un telurómetro de pinza marca Extech, modelo 382357. Las mediciones arrojaron datos menores a  $1\Omega$  (ver figuras 96 y 97).

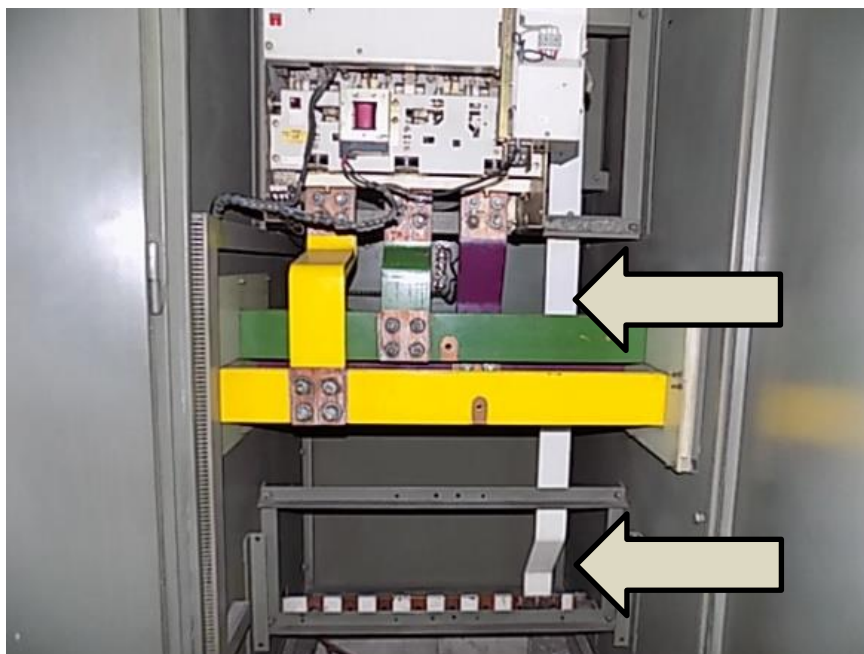
Las normativas internacionales no proporcionan un dato específico para un valor de resistencia adecuado. La IEEE STD, 142-2007 capítulo 4, menciona que

valores entre 1 ohmio y 5 ohmios se consideran adecuados para instalaciones como edificios, plantas industriales o comercios, pero esto dependerá del valor de corriente de falla del sistema. El NEC versión 2017, indica que, para un sistema de un electrodo, el máximo permitido es 25 ohmios, pero, esto no debe interpretarse en el sentido de que 25 ohmios sea un valor de resistencia satisfactorio. La normativa UNE 21186 estipula que el valor debe ser el más bajo posible, e inferior a 10 ohmios. Las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución NTDOID de Guatemala, en su tabla 17, dan un valor máximo permitido de 3 ohmios para subestaciones con capacidades menores a 1 MVA.

Las cajas de registro se encuentran bien identificadas y en buen estado.

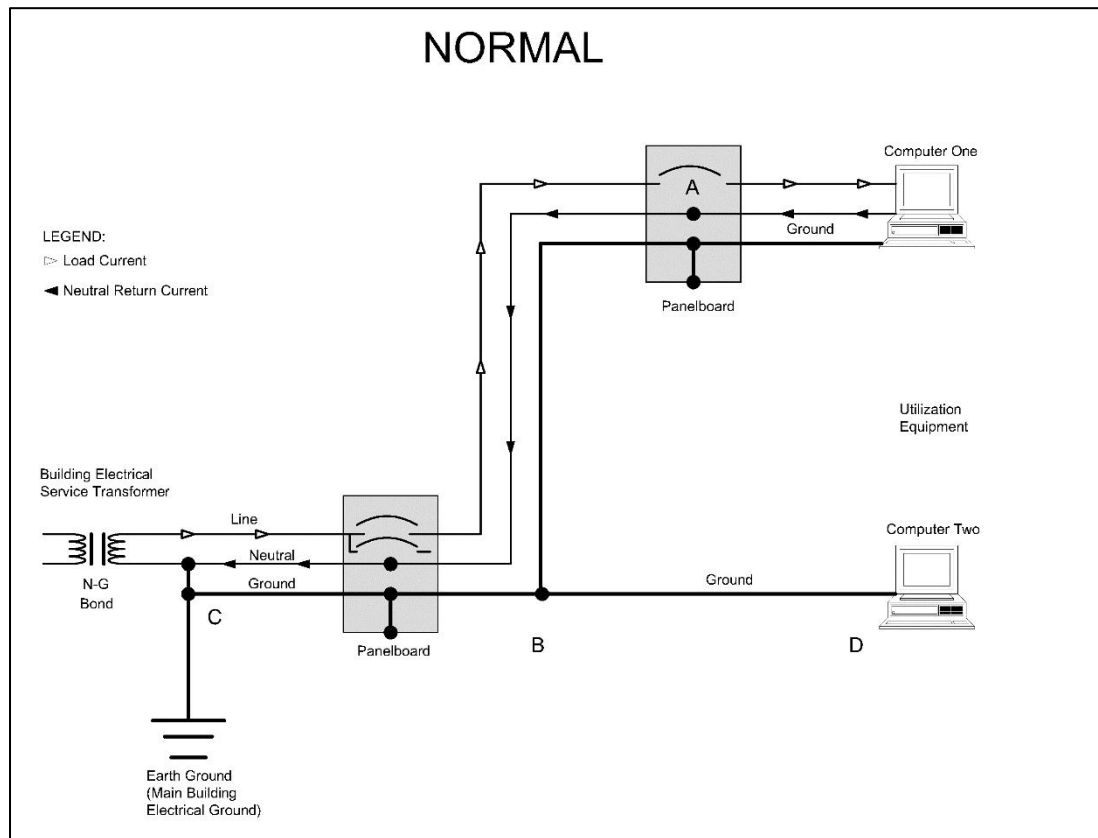
Un buen sistema de tierra garantiza la seguridad de las personas, de las instalaciones y un buen desempeño del equipo en operación.

Figura 93. **Conexión entre barra de neutro y barra de tierra en subestación, (neutro efectivamente conectado a Tierra)**



Fuente: elaboración propia, Subestación, sótano 3 del MINFIN.

Figura 94. **Esquema de conexión: neutral efectivamente conectado a tierra en subestación MINFIN. No hay corrientes en conductores de tierra**



Fuente: The Dranetz-BMI Field Handbook for Power Quality Analysis.

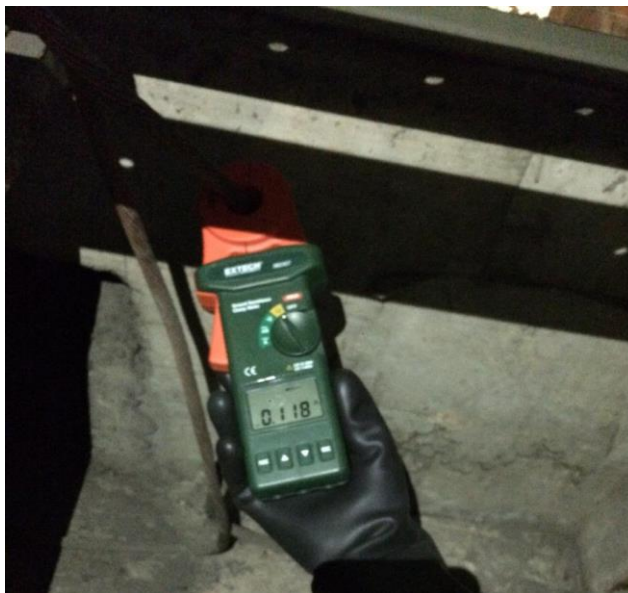


Figura 95. **Caja de registro y mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, Subestación del MINFIN.

Figura 96. **Medición de tierra en subestación unitaria en cable de unión de barra de tierra a malla de tierra**



Fuente: elaboración propia, Subestación del MINFIN.

Figura 97. **Medición de tierra en caja de registro de malla**



Fuente: elaboración propia, Subestación del MINFIN.

### **6.3.12. Sistema de pararrayos en el MINFIN**

El edificio del MINFIN, cuenta con un pararrayo de cebado (PDC), ubicado sobre el cuarto de máquinas del edificio La Torre. En la figura 96, se observa que el pararrayos sobresale más de 2 metros sobre las antenas, por lo cual, cumple con la normativa UNE 21.186:2011. El pararrayos cuenta con una sola bajante., La normativa anterior solicita mínimo 2 bajantes y para edificios de altura mayor a 60 metros, cuatro bajantes.

El edificio cuenta también con 2 puntas Franklin. No se observó cable de unión entre ellas; cada una tiene una bajante. Se encuentran ubicadas en un nivel inferior al cuarto de máquinas, por debajo del pararrayos PDC.

Figura 98. **Pararrayos PDC sobre terraza cuarto de máquinas MINFIN**



Fuente: elaboración propia, azotea del MINFIN.

#### **6.4. Diagnóstico físico de subestación**

Los transformadores de la subestación, según se constató, reciben un mantenimiento constante, lo cual permite que su estado físico esté en forma adecuada.

Es importante tomar en cuenta que los ramales que van al tablero TDE-1 y al tablero anexo, que salen de la subestación unitaria, no cuentan actualmente con interruptor termomagnético de salida.

El recinto se encuentra en buenas condiciones de limpieza, iluminación, orden; sin embargo, aloja algunos accesorios que, de preferencia, deberían no encontrarse en el mismo, como son luminarias en desuso y el tanque de combustible. Se recomienda colocar alfombras aislantes al frente de los tableros

y en la subestación, para aumentar la protección al darle mantenimiento u operar los dispositivos; colocar extinguidores y etiquetar los tableros para Arc Flash.

## **6.5. Diagnóstico físico en instalaciones varias**

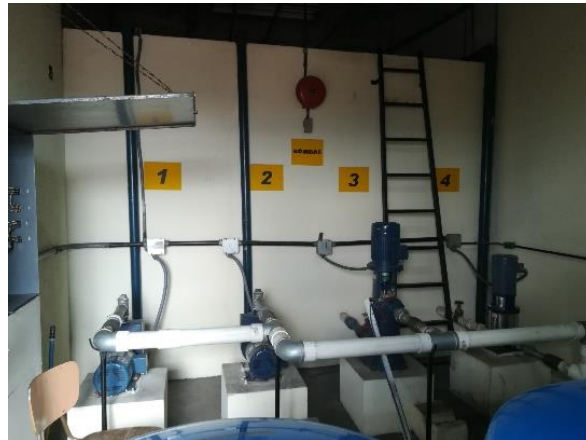
En la revisión de campo, se constató visualmente que la mayoría de las instalaciones se encuentran en buenas condiciones de operación; ejemplo de lo dicho está: el cuarto de máquinas de los ascensores en La Torre, los cuartos de los SAI ubicados en el sótano, el cuarto del sistema de bombeo hidroneumático, en nivel 15; sin embargo, existen puntos focalizados, como el cuarto de bombas de elevación, ubicados en el cisterna del sótano y algunos tableros en el sótano 1, que deben revisarse y ordenarse, para evitar cualquier eventualidad que represente una falla en el sistema.

**Figura 99. Cuarto de máquinas de ascensores en azotea edificio La Torre, en buenas condiciones de operación**



Fuente: elaboración propia, Cuarto máquinas de ascensores del MINFIN.

Figura 100. **Cuarto de bombeo en nivel 15, edificio La Torre, en buenas condiciones de operación**



Fuente: elaboración propia, Cuarto de bombeo, nivel 15 del MINFIN.

Figura 101. **Tableros ubicados en sótanos, deben revisarse, ordenarse y colocarles las tapaderas**



Fuente: elaboración propia, Cuarto bombeo sótano 3 del MINFIN.

Figura 102. **Tableros ubicados en cuarto de estación de bombeo, cisterna, sótano 3, deben revisarse, ordenarse y colocarles las tapaderas**



Fuente: elaboración propia, Cuarto bombeo sótano 3 del MINFIN.

## **6.6. Equipos de medición**

El conjunto de equipos que se utiliza para realizar mediciones en el sistema eléctrico. Puede servir para crear estímulos, para capturar respuestas, para enrutar la señal.

Figura 103. **Equipo Dranetz HD PQ, utilizado en salidas de transformadores n°1 y 2 de subestación, (PCC) y otros ramales importantes**



### Configuración Dranetz HDPQ

Firmware	V2.2.3
Número de serie	HDPGAMA095
Sitio/Nombre de fichero	TRAFO 1-MINIFIN
Medido desde	23/03/2018 15:09:49
Medido hasta	05/04/2018 14:20:00
Sincronización	Estándar A
Configuración	4 HILOS / 3 SONDAS (WYE)
Tipo de Monitorización	ESTÁNDAR PQ IEC
Tensión nominal	120.0 V
Intensidad nominal	40.8 A
Frecuencia nominal	60.0 Hz

Fuente: Dranetz. *Manual User Guide HD PQ*. p. 15.

Figura 104. **Equipo AEMC, PEL 105, utilizado en mediciones realizadas en niveles 7, 12, y 15**



Fuente: Dranetz. *Manual User Guide HD PQ*. p. 15.





## **7. EFICIENCIA ENERGÉTICA, ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA Y GASES DE EFECTO INVERNADERO**

### **7.1. Razones para la administración de la energía**

- Ambientales: reducir los efectos nocivos al ambiente, como lo es la lluvia ácida, calentamiento global, degradación de la capa de ozono, es decir, contribución a un desarrollo sustentable.
- Económicos: mejorar la competitividad, al mejorar el costo-competitividad aumentando la TIR (tasa interna de retorno), lo que perfecciona el margen de utilidad y minimiza el costo de financiamiento. Apoya la gestión de mantenimiento. Aumenta la confiabilidad. Deben también tomarse en cuenta otros parámetros financieros como lo son: el valor presente neto y el valor de costo beneficio.
- Social: ayudar a una seguridad energética. Mejora la imagen de la empresa. Mejora niveles de servicio y tiempos de entrega.

### **7.2. Conceptos básicos**

- La administración de la energía se puede expresar como: El uso razonable y efectivo de la energía para maximizar la utilidad (minimizar costo) y mejorar la posición competitiva.

- Y la eficiencia energética como una práctica que tiene como objeto maximizar la producción al reducir el consumo de energía, sin afectar la calidad de servicio ni las condiciones laborales de comodidad.
- Eficiencia y balance de energía de salida es igual a la energía de entrada por la eficiencia. La energía de entrada es la de salida más la de pérdidas.

$$E_{\text{salida}} = \eta * E_{\text{entrada}} \quad E_{\text{ingreso}} = E_{\text{salida}} + E_{\text{pérdidas}}$$

- Eficiencia y costo unitario de salida es el costo unitario de entrada dividido entre la eficiencia. Es decir, son inversamente proporcionales, a una eficiencia baja, un costo unitario de energía de salida (útil) alto.

La eficiencia no es conservación de la energía, si se entiende que la segunda es obtenida cuando se reduce el consumo de la energía al no utilizarla, por consiguiente, al ahorrar su utilización. En cambio, la eficiencia se logra cuando se reduce el consumo de energía en la elaboración de las mismas unidades productivas o sin afectar los niveles de comodidad que el sistema produce. Por ejemplo, la misma cantidad de luxes en el ambiente de trabajo, pero con una mejora en el consumo (kW-h), lo cual se puede lograr al cambiar de tecnología de lámparas. En resumen, la eficiencia energética contribuye a la conservación de la energía.

$$CUE_{\text{ingreso}} (Q/GJ) = X_{(Q)} / E_{\text{ingreso}} (GJ) \quad CUE_{\text{out}} = 1 / \eta \quad (CUE_{\text{ingreso}})(Q/GJ)$$

### **7.3. Objetivos de la eficiencia energética según el Cuarto Eje de Acción de la Política Energética 2013-2027 y/o Segundo Eje del Plan Nacional de Energía 2017-2032**

- Institucionalizar la eficiencia energética en las entidades públicas
- Promover buenas prácticas en la utilización de la energía.
- Implementar tecnología para el uso eficiente de la energía.

### **7.4. Sistema de Gestión de la Energía (SGE<sub>n</sub>)**

Un Sistema de Gestión (SG) es la forma en que una organización gestiona todas las partes interrelacionadas en su actividad y desempeño, para alcanzar sus objetivos y un Sistema de Gestión de la Energía (SGE<sub>n</sub>). Permite a una organización definir una estructura probada para lograr la mejora continua del desempeño energético y del sistema de gestión de la energía en sus diversos procesos.

Es básico entender el concepto de desempeño energético, el cual involucra conceptos de uso de la energía, eficiencia energética y consumo de energía. Es importante hacer ver que cada organización establece cómo mide su desempeño energético, para medirlo en el tiempo. Si esto se logra lleva consigo, entre otras materias, la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

La normativa ISO 50001 constituye una herramienta para que las organizaciones logren mejorar su desempeño energético en forma permanente, planeada, medible y con mejora continua.

#### **7.4.1. Indicadores de desempeño energético (IDE<sub>ns</sub>)**

Un indicador de desempeño energético (IDE<sub>ns</sub>) tiene el mismo concepto que corresponde a los indicadores que se utilizan en diversas actividades, y que se conocen como indicadores clave de desempeño (KPI).

El IDE<sub>ns</sub> es un valor cuantitativo que pretende medir y aportar información sobre el desempeño energético de una organización. Según el tipo de organización, el IDE<sub>ns</sub>, debe ser el apropiado para la misma.

En el caso de la organización denominada Ministerio de Finanzas Públicas, (MINFIN), la cual se ubica en el sector de servicios, las opciones más recomendadas para IDE<sub>ns</sub> utilizadas se basan en repercutir el consumo de energía en otras unidades medibles, como lo son la superficie del edificio en el que se realiza la actividad, el número de empleados que trabaja para la organización o las horas de trabajo realizadas:

- Consumo energético / superficie del edificio
- Consumo energético / número de empleados
- Consumo energético / horas trabajadas
- Consumo energético / personas atendidas o visitas

Es decir, es la organización, en este caso el MINFIN, la que determina qué indicador le puede ser más representativo. En este trabajo, se incluirá los tres primeros indicadores de la lista anterior.

#### **7.4.2. Compromiso de Alta Dirección para la implementación del SGE**

Generalmente, corresponde a los niveles gerenciales tomar las principales decisiones estratégicas y operativas de la organización. Deben asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para la implementación y la mejora del desempeño energético. Deben asignar a un representante como responsable del SGE, conferir recursos y definir la política energética de la organización.

En el MINFIN, la tarea recae sobre el director administrativo y su equipo.

Normalmente, es un hecho que para poder implementar el SGE se necesiten cambios en los procesos o hábitos de consumo, los cuales pueden, al principio, tener alguna resistencia al cambio, por lo que el compromiso de la alta dirección es esencial.

#### **7.4.3. Política energética**

Es una declaración para que los miembros de la organización puedan entenderla fácilmente y aplicarla en sus actividades laborales; tiene que ser la indicada para la magnitud del uso y consumo de la energía, y debe incluir un compromiso de mejora continua en el desempeño energético, también asegurar la disponibilidad de información y de recursos para alcanzar los objetivos y metas; además, debe incluir un compromiso con los requisitos legales aplicables u otros que la organización suscriba relacionados con el uso, consumo de energía y eficiencia energética. Debe apoyar la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño para mejorar el desempeño energético.

Es importante que sea divulgada ampliamente en todas las áreas de la organización y las partes interesadas. Por último, debe ser revisada periódicamente y/o actualizada, si es necesario.

#### **7.4.3.1. Ejemplo de un enunciado para política energética**

El Ministerio de Finanzas Públicas (MINFIN) consciente de su papel protagónico dentro de las instituciones públicas; y en consecuencia con la Política Energética del Gobierno de Guatemala y de su Misión y Visión, y con el compromiso de brindar un aporte a la seguridad energética y al desarrollo sustentable, se ha propuesto como meta estar dentro del 30 % de las instituciones públicas que hayan implementado un uso eficiente de la energía para el año 2027.

El MINFIN se propone alcanzar un desempeño energético mejorado comprometiéndose a:

- Mejorar el desempeño energético continuamente.
- Mejorar los hábitos de consumo de energía por parte del personal.
- Fomentar el uso eficiente de la energía.
- Apoyar la adquisición de tecnologías nuevas o mejorar las existentes, en especial de fuentes renovables.
- Apoyar la adquisición de productos eficientes en energía.

#### **7.4.4. Planificación del sistema de gestión energética (SGE)**

La planificación del SGE es de suma importancia. Dentro de esta planificación, se debe reunir la información de consumo de energía y se debe

analizar con el fin de identificar los usos significativos de la energía y las variables que lo afectan. En el caso del MINIFIN, se obtuvo la información de 48 meses correlativos, desde el 3 enero 2015 hasta el 4 enero del 2019. Es importante hacer notar el período de información acumulada, porque esto implica un mayor conocimiento del comportamiento.

#### **7.5. Datos del consumo de energía eléctrica y potencia (MINFIN) desde el 2015 al 2018**

La tabla XVIII recopila los datos de la facturación mensual realizada por la Empresa Eléctrica de Guatemala por la prestación del suministro de energía eléctrica utilizada en las instalaciones del MINFIN durante el período del 2015 al 2018.

Dicha facturación incluye: costos y montos mensuales por consumo energía, costos y montos mensuales de la demanda registrada, costos y montos mensuales de la demanda contratada y costos y montos mensuales del factor de potencia.

Los datos registrados se utilizaron para generar los gráficos que permitieron visualizar el comportamiento de dichas variables durante los 4 años registrados y hacer comparaciones en el comportamiento anual superponiendo los 4 años.

También se utilizaron para generar gráficos con la proyección del impacto que, se estima, tendrá la implementación del proyecto de eficiencia energética y de esta manera poder evaluar si ameritan o no invertir en los mismos.



Tabla XVIII. Datos de consumo de energía eléctrica y potencia durante el período 2015 -2018

CONTADOR #		F73822													
TARIFA		DEMANDA MAYOR FUERA DE PUNTA													
CORRELATIVO		660620													
NOTA: existen 3 contadores adicionales, pero, no conectados a la subestación principal, cuyo consumo no sobrepasa el 2.5% de consumo de la subestación															
Fecha	DÍAS	CARGO FIJO	ENERGÍA				DEMANDA REGISTRADA			POTENCIA CONTRATADA		FACTOR DE POTENCIA			
			kWh-mes	kWh-día	Costo - Mes	Costo kWh	Demanda								
2-ene-15	2-feb-15	31	Q 794,66	205 129,00	6 617,06	Q 197 895,58	Q 0,9647	544,30	Q 14 944,80	Q 27,4569	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,0933	0,9115	Q -
2-feb-15	4-mar-15	30	Q 794,66	211 290,00	7 043,00	Q 203 838,80	Q 0,9647	579,60	Q 15 914,03	Q 27,4569	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,0933	0,9186	Q -
4-mar-15	1-abr-15	28	Q 794,66	195 329,00	6 976,04	Q 188 440,49	Q 0,9647	562,80	Q 15 452,76	Q 27,4569	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,0933	0,9211	Q -
1-abr-15	2-may-15	31	Q 794,66	198 711,00	6 410,03	Q 147 249,29	Q 0,7410	539,70	Q 14 695,28	Q 27,2286	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,0933	0,9052	Q -
2-may-15	2-jun-15	31	Q 794,66	211 336,00	6 817,29	Q 156 604,85	Q 0,7410	572,90	Q 15 598,16	Q 27,2267	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,0933	0,9099	Q -
2-jun-15	2-jul-15	30	Q 794,66	201 418,00	6 713,93	Q 149 255,47	Q 0,7410	564,50	Q 15 369,45	Q 27,2267	1 250,00	Q 15 116,60	Q 12,1333	0,9086	Q -
2-jul-15	3-ago-15	32	Q 800,54	212 716,00	6 647,38	Q 149 477,97	Q 0,7027	549,40	Q 14 957,45	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,58	Q 12,0461	0,9061	Q -
3-ago-15	1-sep-15	29	Q 800,54	193 373,00	6 668,03	Q 135 885,36	Q 0,7027	541,00	Q 14 728,76	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,58	Q 12,0461	0,9067	Q -
1-sep-15	1-oct-15	30	Q 800,54	190 262,00	6 342,07	Q 133 692,19	Q 0,7027	541,00	Q 14 728,76	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,58	Q 12,0461	0,8991	Q 164,79
1-oct-15	2-nov-15	32	Q 800,54	188 530,00	5 891,56	Q 132 282,28	Q 0,7017	546,00	Q 14 864,88	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,58	Q 12,0461	0,8963	Q 710,91
2-nov-15	3-dic-15	31	Q 800,54	202 369,00	6 528,03	Q 141 992,72	Q 0,7017	532,60	Q 14 500,05	Q 27,2250	1 250,00	Q 15 057,88	Q 12,0463	0,8790	Q 3 444,16
3-dic-15	4-ene-16	32	Q 800,54	186 202,00	5 818,81	Q 130 648,52	Q 0,7016	552,70	Q 15 047,29	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,56	Q 12,0460	0,8804	Q 3 528,85
4-ene-16	2-feb-16	29	Q 800,54	168 745,00	5 818,79	Q 118 400,21	Q 0,7017	552,70	Q 15 047,29	Q 27,2251	1 250,00	Q 15 057,00	Q 12,0456	0,8804	Q 3 259,98
2-feb-16	4-mar-16	31	Q 809,14	203 557,00	6 566,35	Q 138 363,65	Q 0,6797	555,31	Q 15 060,15	Q 27,1203	1 250,00	Q 15 188,07	Q 12,1505	0,9128	Q -
4-mar-16	1-abr-16	28	Q 809,14	171 378,00	6 120,64	Q 116 490,14	Q 0,6797	539,70	Q 14 695,28	Q 27,2286	1 250,00	Q 15 188,07	Q 12,1505	0,8955	Q 737,72
1-abr-16	3-may-16	32	Q 809,14	207 572,00	6 486,63	Q 142 636,07	Q 0,6872	572,90	Q 15 586,17	Q 27,2057	1 250,00	Q 15 188,07	Q 12,1505	0,9005	Q -
3-may-16	2-jun-16	30	Q 809,14	204 036,00	6 801,20	Q 140 206,28	Q 0,6872	566,20	Q 15 403,90	Q 27,2058	1 250,00	Q 15 188,07	Q 12,1505	0,9013	Q -
2-jun-16	1-jul-16	29	Q 809,14	185 994,00	6 413,59	Q 127 808,52	Q 0,6872	535,90	Q 14 579,56	Q 27,2057	1 250,00	Q 15 188,07	Q 12,1505	0,8976	Q 423,56
1-jul-16	2-ago-16	32	Q 819,74	196 686,00	6 146,44	Q 134 910,59	Q 0,6895	535,90	Q 14 578,36	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,8954	Q 848,00
2-ago-16	1-sep-16	30	Q 819,74	195 920,00	6 530,67	Q 134 385,69	Q 0,6895	534,20	Q 14 532,12	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,9002	Q -
1-sep-16	3-oct-16	32	Q 819,74	200 226,00	6 257,06	Q 137 339,74	Q 0,6895	534,20	Q 14 532,12	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,8968	Q 598,45
3-oct-16	2-nov-16	30	Q 819,74	187 227,00	6 240,90	Q 122 457,91	Q 0,6541	539,30	Q 14 670,86	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,8790	Q 3 444,16
2-nov-16	2-dic-16	30	Q 819,74	204 946,00	6 831,53	Q 134 047,48	Q 0,6541	544,30	Q 14 806,87	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,8902	Q -
2-dic-16	3-ene-17	32	Q 819,74	196 770,00	6 149,06	Q 128 699,51	Q 0,65406	527,50	Q 14 349,86	Q 27,2035	1 250,00	Q 15 106,10	Q 12,0849	0,8981	Q -
3-ene-17	1-feb-17	29	Q 821,69	192 202,00	6 627,66	Q 125 772,54	Q 0,65438	514,10	Q 13 985,04	Q 27,2030	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9091	Q -
1-feb-17	3-mar-17	30	Q 821,69	202 284,00	6 742,80	Q 132 370,04	Q 0,65438	534,20	Q 14 531,82	Q 27,2030	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9116	Q -
3-mar-17	1-abr-17	29	Q 821,69	191 963,00	6 619,41	Q 125 616,15	Q 0,65438	544,30	Q 14 806,57	Q 27,2030	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9302	Q -
1-abr-17	3-may-17	32	Q 821,69	193 307,00	6 040,84	Q 127 484,60	Q 0,65949	552,70	Q 14 529,39	Q 26,2880	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9357	Q -
3-may-17	2-jun-17	30	Q 821,69	203 920,00	6 797,33	Q 134 483,79	Q 0,65949	554,40	Q 14 574,08	Q 26,2880	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9646	Q -
2-jun-17	4-jul-17	32	Q 821,69	208 317,00	6 509,91	Q 137 383,57	Q 0,65949	544,30	Q 14 308,57	Q 26,2880	1 250,00	Q 15 085,78	Q 12,0686	0,9683	Q -
4-jul-17	3-ago-17	30	Q 823,69	210 937,00	7 031,23	Q 139 416,23	Q 0,66094	547,70	Q 14 996,91	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9795	Q -
3-ago-17	1-sep-17	29	Q 823,69	196 353,00	6 770,79	Q 129 777,32	Q 0,66094	559,40	Q 14 704,46	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9753	Q -
1-sep-17	3-oct-17	32	Q 823,70	214 984,00	6 718,25	Q 142 051,40	Q 0,66094	579,60	Q 15 235,44	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9729	Q -
3-oct-17	2-nov-17	30	Q 823,70	194 210,00	6 473,67	Q 126 344,27	Q 0,65955	557,80	Q 14 662,40	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9748	Q -
2-nov-17	4-dic-17	32	Q 823,70	211 798,00	6 618,69	Q 137 786,75	Q 0,65956	552,70	Q 14 528,34	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9780	Q -
4-dic-17	3-ene-18	30	Q 823,70	194 423,00	6 480,77	Q 127 133,92	Q 0,65390	566,20	Q 14 883,21	Q 26,2861	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9803	Q -
3-ene-18	1-feb-18	29	Q 823,70	197 046,00	6 794,69	Q 132 206,02	Q 0,67094	561,10	Q 14 752,47	Q 26,2921	1 250,00	Q 15 016,09	Q 12,0129	0,9815	Q -
1-feb-18	2-mar-18	29	Q 838,08	200 509,00	6 914,10	Q 134 528,40	Q 0,67093	579,90	Q 15 062,70	Q 25,9747	1 250,00	Q 15 233,26	Q 12,1866	0,9795	Q -
2-mar-18	3-abr-18	32	Q 838,08	191 494,00	5 984,19	Q 128 479,72	Q 0,67093	562,80	Q 14 797,16	Q 26,2920	1 250,00	Q 15 233,26	Q 12,1866	0,9778	Q -
4-abr-18	3-may-18	29	Q 838,08	198 769,00	6 854,10	Q 139 824,89	Q 0,70345	574,60	Q 14 999,90	Q 26,1045	1 250,00	Q 15 233,26	Q 12,1866	0,9651	Q -
4-may-18	4-jun-18	31	Q 838,08	216 686,00	6 989,87	Q 152 428,84	Q 0,70345	589,70	Q 15 394,09	Q 26,1050	1 250,00	Q 15 233,26	Q 12,1866	0,964	Q -
5-jun-18	9-jul-18	34	Q 838,08	220 169,00	6 475,56	Q 154 879,31	Q 0,70346	579,60	Q 15 130,43	Q 26,1050	1 250,00	Q 15 233,26	Q 12,1866	0,9584	Q -
10-jul-18	2-ago-18	23	Q 711,03	215 257,00	9 359,00	Q 161 259,79	Q 0,74915	567,80	Q 14 285,34	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,9565	Q -
3-ago-18	3-sep-18	31	Q 711,03	218 400,00	7 045,16	Q 163 614,58	Q 0,74915	567,80	Q 14 285,34	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,9592	Q -
3-sep-18	3-oct-18	30	Q 711,03	207 200,00	6 906,67	Q 155 224,09	Q 0,74915	581,30	Q 14 624,98	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,962	Q -
3-oct-18	2-nov-18	30	Q 711,03	189 344,00	6 311,47	Q 150 848,46	Q 0,79669	562,80	Q 14 159,54	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,9597	Q -
2-nov-18	3-dic-18	31	Q 711,03	214 154,00	6 908,19	Q 170 614,19	Q 0,79669	571,20	Q 14 370,88	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,9609	Q -
3-dic-18	4-ene-19	32	Q 711,03	206 289,00	6 446,53	Q 164 348,29	Q 0,79669	561,10	Q 14 116,77	Q 25,1591	1 250,00	Q 12 945,62	Q 10,3565	0,9643	Q -
			Q 38 488,48	9 609 737,00		Q 6 836 926,47		554,83	Q 709 770,04			Q 712 196,64			Q 17 160,58
								PROMEDIO DE DEMANDA							

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de los 48 recibos emitidos por la EEGSA, para el medidor de energía ubicado en la subestación del MINFIN, n°. F7382 y correlativo 660620, proporcionados por el Departamento de Administración MINFIN.

Tabla XIX. **Datos relevantes de historial de consumo 48 meses**

CONCEPTO	MONTO
Consumo energía (promedio 48 meses)	200 202,85 kWh-mes
Consumo energía (promedio 12 últimos meses)	206 276,42 kWh-mes
Costo kWh (promedio 48 meses)	Q 0,7169
Costo kWh (promedio 12 últimos meses)	Q 0,7301
Costo Mensual energía (promedio 48 meses)	Q 142 435,97
Costo mensual energía (12 últimos meses)	Q 150 688,05
Demanda (promedio 48 meses)	554,83 kWh-h
Demanda (promedio 12 últimos meses)	571,64 kWh-h
Facturación total (promedio 12 últimos meses)	Q 2 162 372,57

Fuente: elaboración propia, con base en facturación mensual.

Figura 105. **Medidor de energía en subestación, registra el consumo de energía, demanda de potencia y factor de potencia de transformadores n°. 1 y 2**



Fuente: elaboración propia, Subestación del MINFIN.

## 7.6. Análisis comparativo de datos (*Benchmarking*), contabilidad energética y contabilidad financiera

El índice de utilización de la energía (*Energy Utilization Index*) EUI, por sus siglas en inglés, es una medida para comprender el rendimiento energético de cualquier instalación. Es una declaración del número de Kilowatt-hora, usados anualmente por m<sup>2</sup>, en un espacio determinado.

Para las instalaciones del MINFIN, se dice que para el año 2105, en el que se consumieron 2 396 665 kWh, en un área de 49, 333 m<sup>2</sup>, el valor EUI es de 48,58 kWh / m<sup>2</sup> / año.

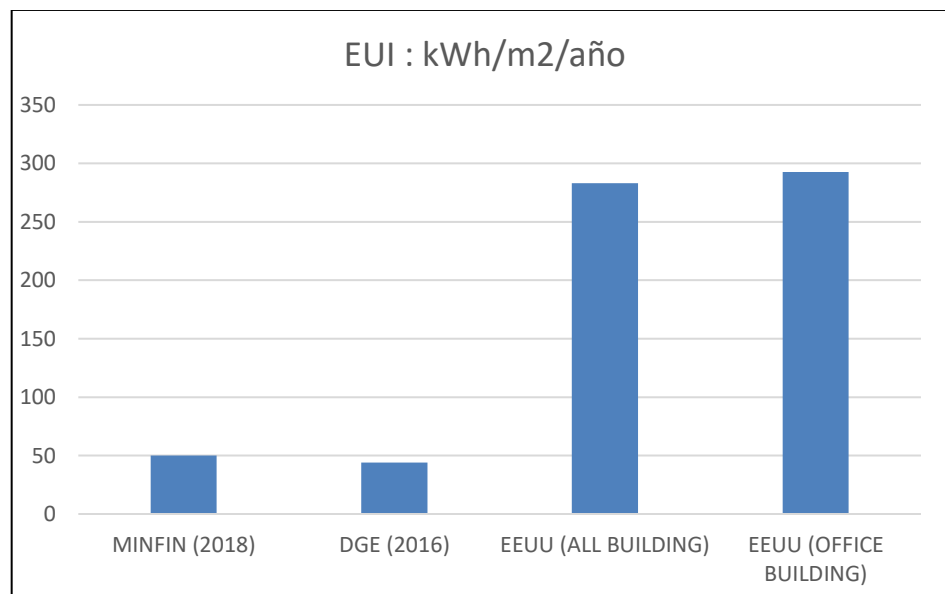
- Para el 2016 EUI = 47,08 kWh / m<sup>2</sup> / año
- Para el 2017 EUI = 48,94 kWh / m<sup>2</sup> / año, y
- Para el 2018 EUI = 50,17 kWh / m<sup>2</sup> / año

Si se tiene en cuenta que un valor promedio del EUI, en edificios localizados en EEUU, es de 282,92 kWh/ m<sup>2</sup>/año (89 800 Btu / ft<sup>2</sup> / yr) y para edificios de oficinas de 292,69 kWh/m<sup>2</sup>/año (92,900 Btu / ft<sup>2</sup> / yr), podría asumirse que el edificio que alberga el MINFIN su consumo es muy eficiente, porque demanda un 63 % menos de energía que un edificio similar ubicado en esa región. Ahora bien, debido a que la situación geográfica y hábitos de consumo son muy diferentes, no es recomendable realizar dicho análisis; lo que es recomendable realizar es un estudio comparativo, (*benchmarking*), en relación con otros edificios localizados en la Ciudad de Guatemala, que presten servicios similares y que sean del sector público y, de preferencia, con una envolvente similar.

Si el análisis se realiza para el costo de la energía (sin tomar en cuenta la potencia ni impuestos), se obtiene el Índice de costo de energía, (*Energy Cost Index*) o ECI, por sus siglas en inglés.

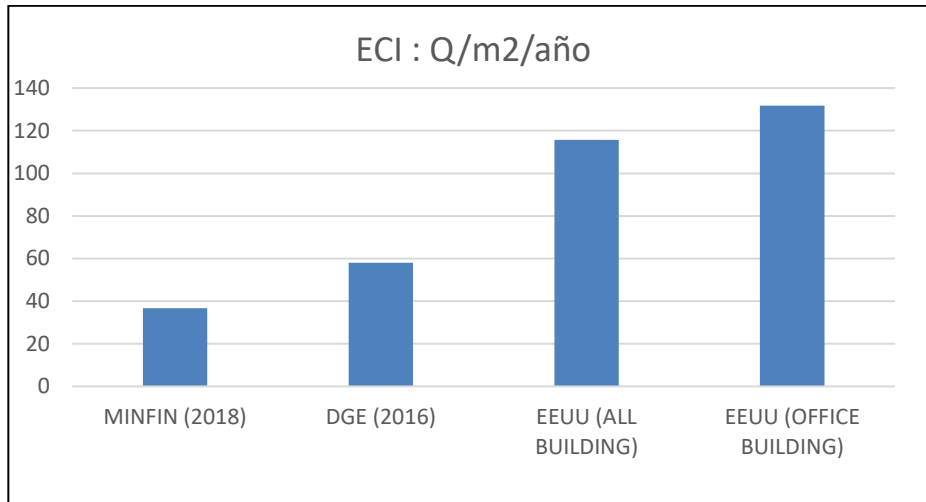
Para el año 2018, se tiene:  $ECI = Q\ 1\ 808\ 256,58 / 49,33\ m^2 = Q\ 36,65\ m^2 / \text{año}$ . Los valores del ECI, para EEUU, son alrededor de  $Q115,65 / m^2 / \text{año}$  ( $\$1,51/\text{ft}^2/\text{yr}$ ) para edificios, y  $Q\ 131,84 / m^2 / \text{año}$  ( $\$1,71/\text{ft}^2/\text{yr}$ ), valores que difieren en mucho, en relación con el ámbito de Guatemala.

Figura 106. Índice de la utilización de la energía (EUI) (*Energy Utilization Index*)



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 107. Índice del costo de la energía (ECI), (*Energy Cost Index*)

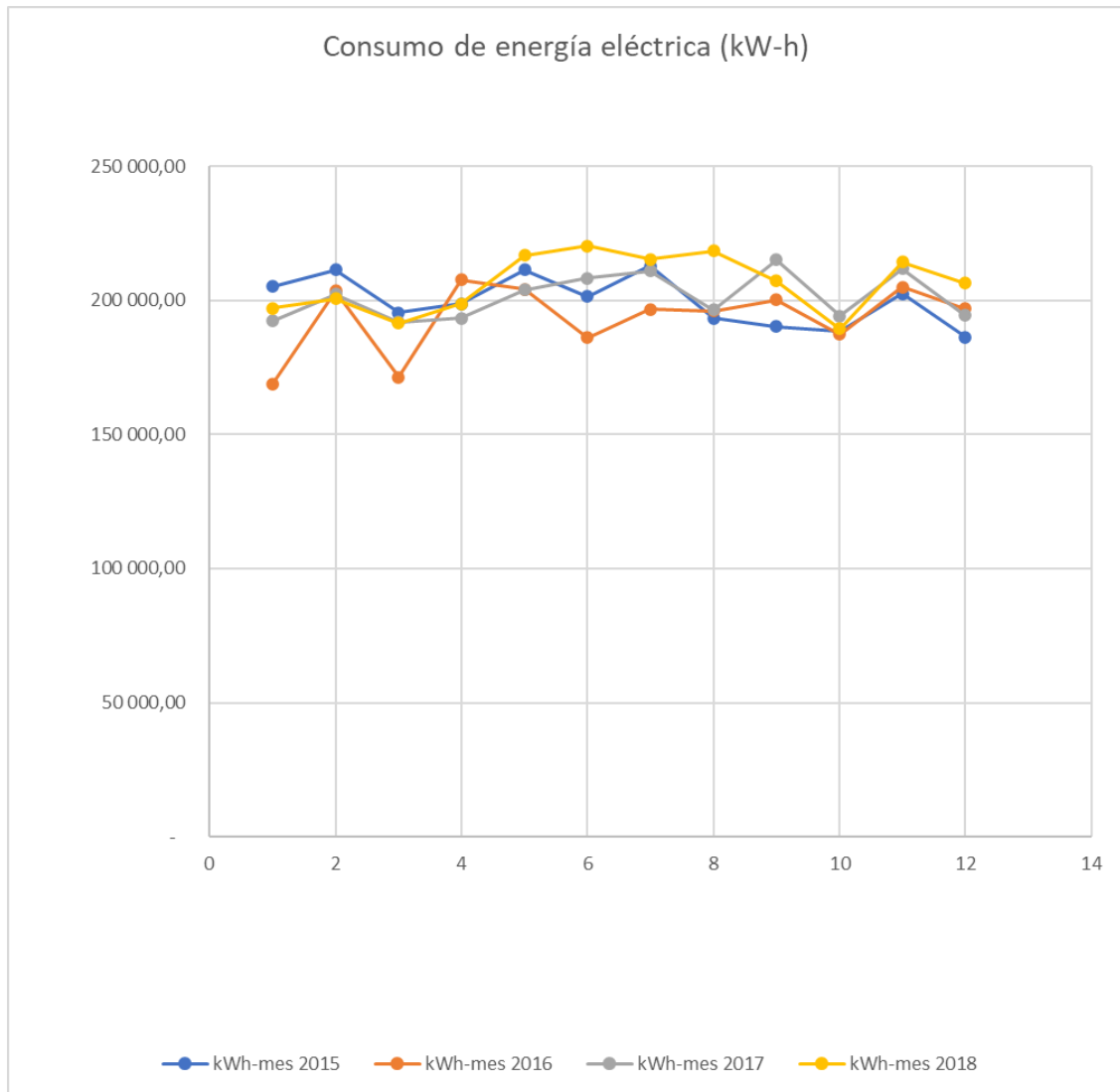


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 7.7. Análisis de los gráficos obtenidos de los datos de consumo y tendencias de consumo de energía: consumo total, costo total, costo unitario

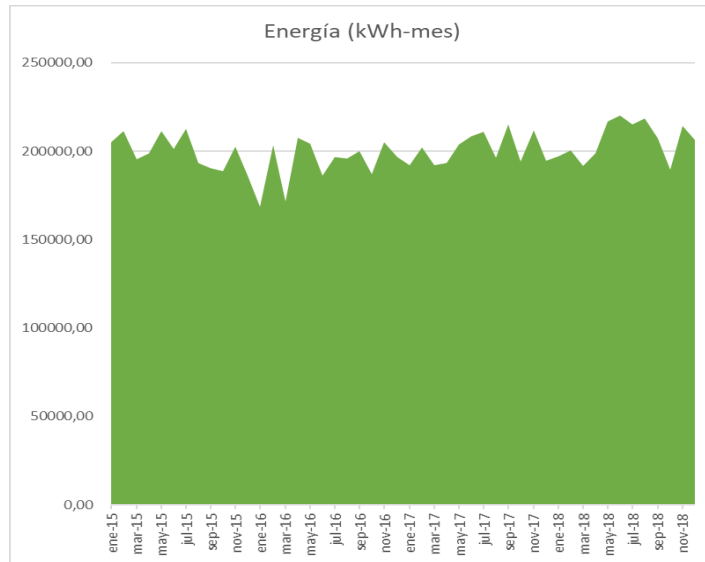
Se analizan los gráficos de consumo de los distintos años, para determinar una tendencia y elaborar una proyección en el comportamiento del mismo que incluya los aportes de las propuestas técnicas para el uso eficiente de la energía en las instalaciones del MINFIN, de manera de poder evaluar si dichas propuestas son o no viables de implementar.

Figura 108. **Gráfico de consumo de energía eléctrica 2016 -2018 (datos anuales combinados)**



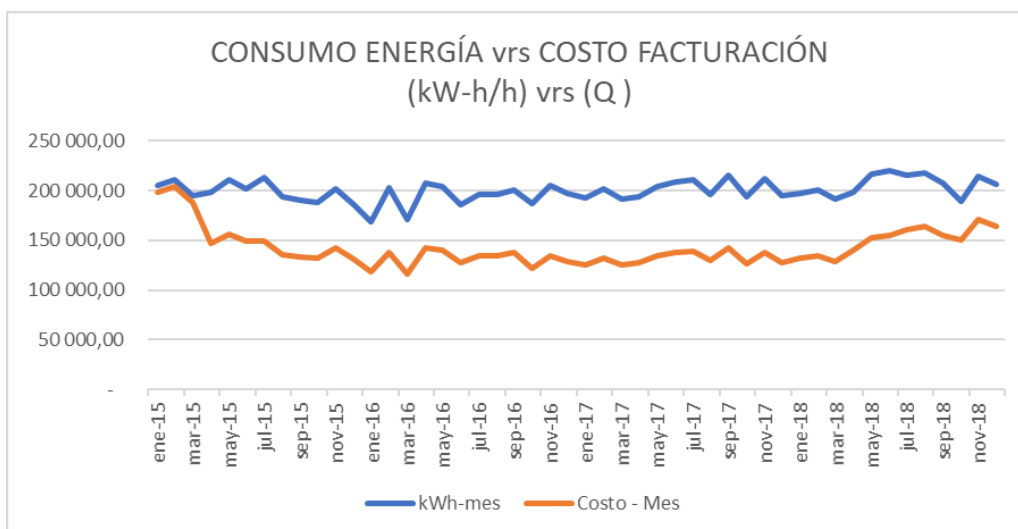
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 109. **Gráfico de consumo de energía del 2015 al 2018**



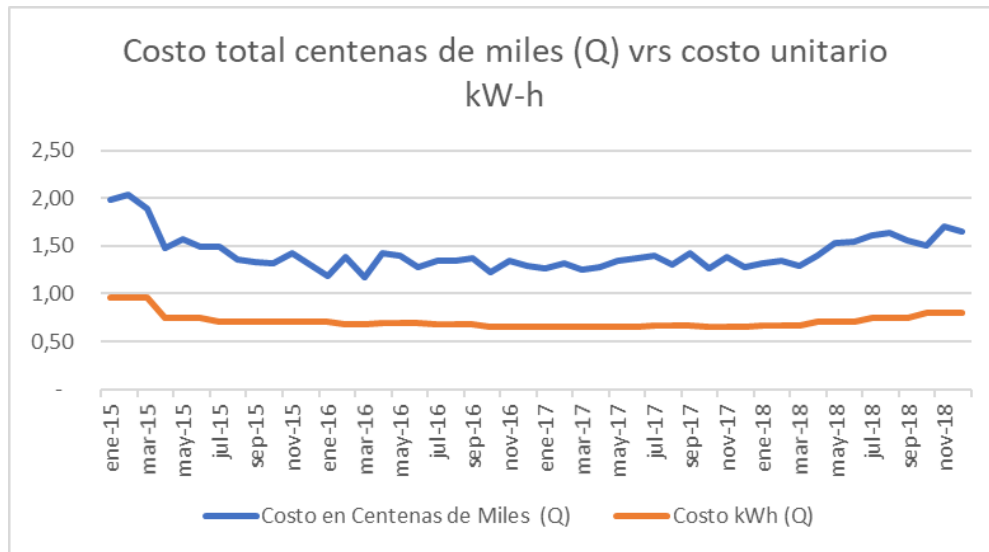
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 110. **Gráfico consumo energía y costo del 2015 al 2018**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 111. **Gráfico comportamiento del costo unitario del kW-h y su impacto en el costo total (2015 al 2018)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La energía es la capacidad de realizar un trabajo específico, por lo tanto, la energía eléctrica está relacionada directamente en el caso del MINFIN, cuya actividad principal es proveer servicios a otras entidades gubernamentales y público en general, el consumo de la energía eléctrica está básicamente concentrado en dichas actividades, es decir, el mayor consumo se da en los sistemas de iluminación y alimentación de equipos de oficina y los equipos de apoyo a la realización de dichas tareas, como son los ascensores y el equipo de bombas del sistema hidráulico.

La figura 108 muestra que el comportamiento del consumo de energía ha tenido variantes durante los cuatro años consecutivos, pero el 2016 es el año de menor consumo-promedio (193 588,08 kW-h), y el 2018 el de mayor consumo-promedio (206 272,42 kW-h)



La figura 109 muestra que el Consumo de mayor valor en los 48 meses se registró en junio del 2018, el cual es de 220 169 kW-h, y el menor valor fue registrado en de enero del 2016, es de 168 745 kW-h. Ha mantenido un valor promedio de 202 085 kW-h mes.

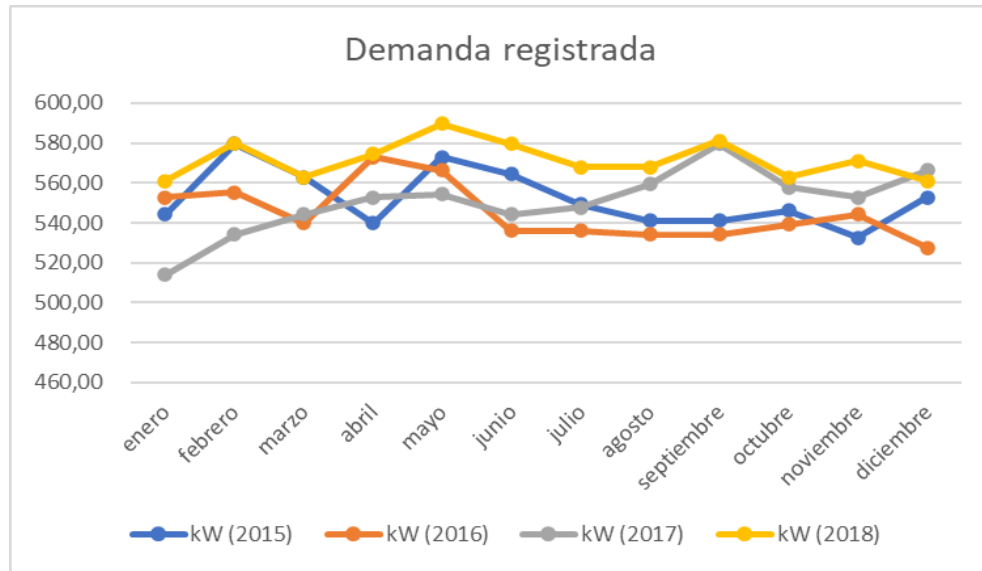
Lo más importante de resaltar es que el consumo va al alza, por lo que cualquier medida que implique eficiencia energética debe ser aplicado lo antes posible.

Las figuras 110 y 111 revelan que el costo del consumo de energía es directamente proporcional al consumo con un pequeño impacto al alza, por el aumento del costo unitario.

#### **7.8. Análisis de datos y tendencia de la demanda: consumo total, costo total, costo unitario**

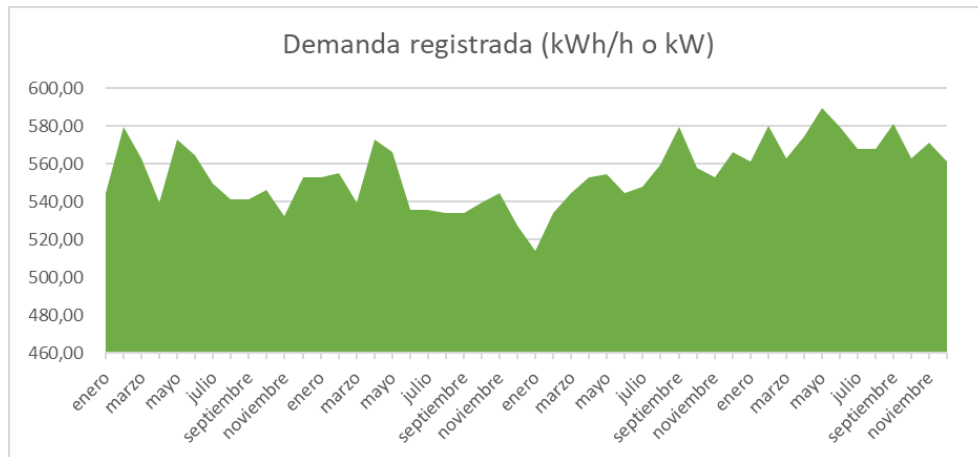
En los siguientes gráficos se muestran los datos anuales de la demanda en los períodos del 2015 al 2018, combinando los datos de los 4 períodos en un mismo espacio, para facilitar la visión del comportamiento de la demanda en los diferentes meses de cada año y la potencia contratada, ya que, es así se logra ajustar el diferencial entre ambos valores, de manera de que se optimice el pago de los mismos.

Figura 112. **Gráfico de demanda registrada 2015 -2018 (datos combinados)**



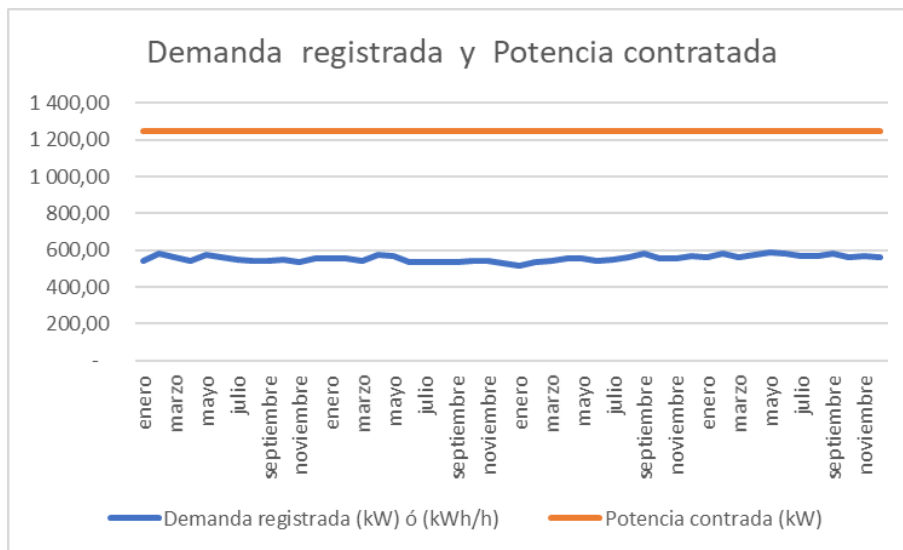
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 113. **Gráfico de demanda registrada 2015 – 2018**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 114. **Gráfico de demanda registrada y potencia contratada 2015 - 2018**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La demanda eléctrica se determina a partir del consumo de energía de un equipo o máquina y equivale al valor promedio de potencia eléctrica en un intervalo de 15 minutos.

$$\text{Demanda} = \text{energía (kW-h)} / \text{intervalo (h)}$$

A pesar de que su unidad de medición, es la misma que la potencia eléctrica, el método para calcularla es distinto, pues la potencia eléctrica corresponde a un valor instantáneo en un momento determinado.

En la figura 112, se aprecia que, en el período analizado, que la demanda en el período 2018, ha sido la de mayor valor promedio y que es en este período, el segundo trimestre, el que mayor demanda ha tenido en los 4 años registrados.

Este comportamiento no es similar en los 4 períodos analizados, ya que en el período 2017 fue en el tercer trimestre cuando ocurrió el mayor registro promedio.

En la figura 113, en el período analizado, se aprecia un valor máximo registrado en el mes de mayo del 2018, con un valor de 589,7 kWh/h (kW) y un valor mínimo de 514,10 kWh/h (kW), registrado en el de enero del 2016. En los cuatro años, se tiene un valor de 554,83 kWh/h (kW). Se observa que en el 2018 se incrementa el valor promedio a 571,64 kWh/h (kW).

Al igual que en el consumo de energía en la demanda. También existe una tendencia clara al alza. Ahora bien, para reducir la demanda, lo más aconsejable es lo que se conoce como administración de la demanda, esto implica analizar el perfil de demanda, monitorear los equipos que estén funcionando en simultáneo y determinar si su uso se puede modificar, de manera de poder escalonarlo, o bien, determinar qué ha cambiado en el horario de trabajo o cantidad de personal que exija mayor demanda, debido a los equipos en uso en simultáneo.

Potencial ahorro, en el gráfico de la figura 114, es posible ver, que la potencia contratada con cargo fijo podría ajustarse a un valor menor, ya que, su valor está por debajo de la curva de la demanda. Un valor para usar podría ser 650 kW, es decir, un ajuste a la baja de 600 kW, que a un costo de Q 10,3565. Lo que da un total de Q 6 213,90 mensual o Q 74 566,80 anual. Esta decisión es con base en que el mayor dato registrado para la potencia ha sido de 589,7 kWh/h o kW, durante un período de 4 años consecutivos (el dato del costo de potencia es de la factura emitida el 4 de enero del 2019).

Ciertamente, no es un ahorro en consumo, como consecuencia de eficiencia, pero representa un 2,88 % menos en la facturación de ese mes en particular (sin tomar en cuenta el IVA). Esto puede tener mayor repercusión, ya

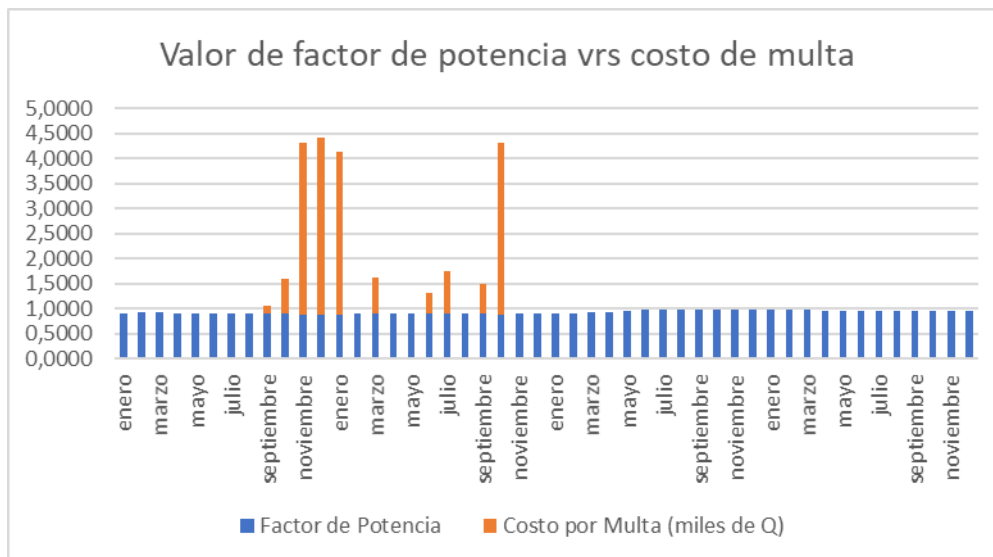
que, a partir de febrero del 2020, de acuerdo a la resolución de la CNEE 153-2018 Acápito 28, se estará implementando el sistema de tarifa horaria para consumidores con demanda de potencias mayores a 11 kW.

Otro recurso a considerar, desde el punto de vista estrictamente técnico, para lograr un menor costo de operación, puede ser optar por inscribirse como gran consumidor, ya que el consumo lo permite. Por otra parte, para esta gestión no es el único requerimiento a cumplir, hay que tomar muy en cuenta todo lo concerniente a la ley de contrataciones vigente para el sector público.

#### **7.9. Análisis de gráfico elaborado con los datos del factor de potencia obtenidos de facturación: valor y costo por multa**

Se realizó un gráfico del valor del factor de potencia y su implicación en pago de multa por estar fuera de norma, esto es útil para evaluar si las medidas correctivas a implementarse se justifican en función de su coste y el coste de las multas.

Figura 115. **Gráfico de valor de factor de potencia y costo de multa generada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

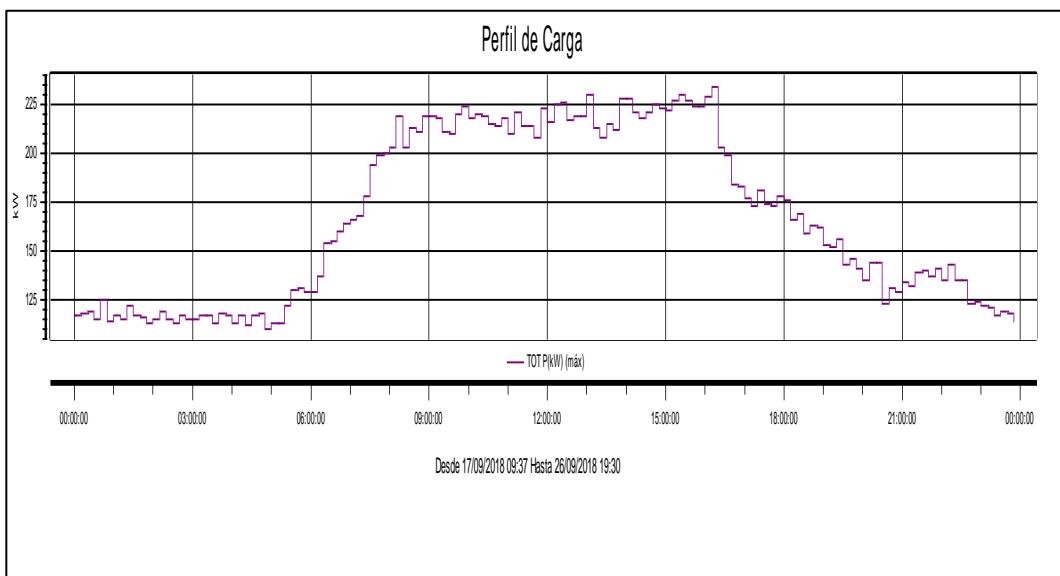
En el gráfico de la figura 115, se observa que el valor del factor de potencia generó multa, por estar por debajo de un valor de 0,90, según normativa NSTD, en 11 meses de los 48 analizados, y que en los últimos 26 meses su valor promedio ha sido de 0,9565, lo que implica que la potencia aparente está siendo aprovechada adecuadamente, al tener un alto componente de potencia activa, que es la que se traduce en la producción trabajo. En la subestación existe, un banco de capacitores.

#### 7.10. **Análisis de datos perfil de carga de potencia activa requerida en los transformadores n°2 y n°1 de la subestación**

El análisis de los datos de perfil de carga de potencia activa, se utilizan para determinar los horarios de mayor consumo de potencia activa y analizar la

posibilidad de variar los hábitos de consumo o el uso simultáneo de cargas importantes.

**Figura 116. Gráfico de perfil de carga en semana laboral durante el período de medición 18 al 26 de septiembre 2018, transformador n°2**

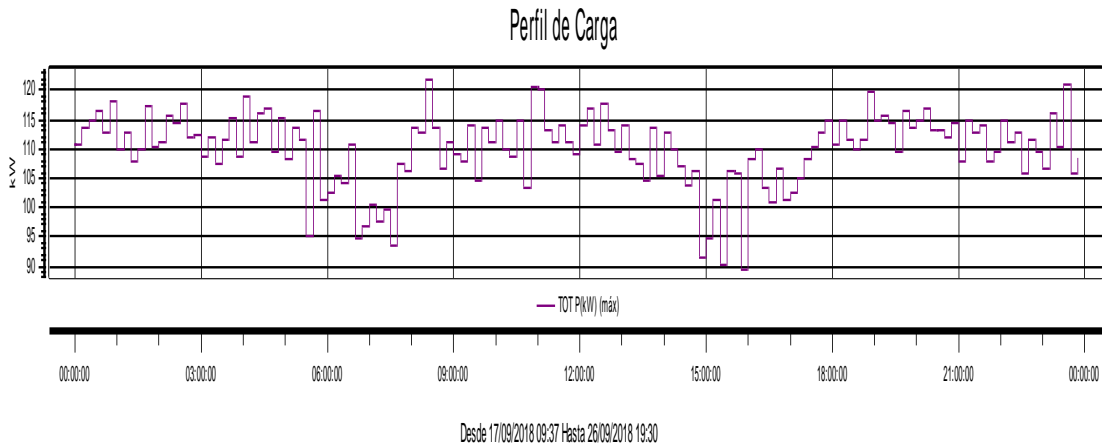


Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

En la figura 116, se aprecia que la demanda es casi constante desde la 8 a. m. hasta las 4:30 p.m., aproximadamente, que básicamente corresponde a la jornada normal de trabajo.

Lo más importante para resaltar es que durante el período de 0:00 a 6.00 a. m. se registran datos por sobre los 100 kW, y por debajo de los 125 kW. Este monto es significativo, por lo que se recomienda hacer un inventario de cargas que se utilizan en ese período y verificar si son realmente necesarias.

Figura 117. **Gráfico de perfil de carga en fin de semana, durante el período de medición transformador n°2**

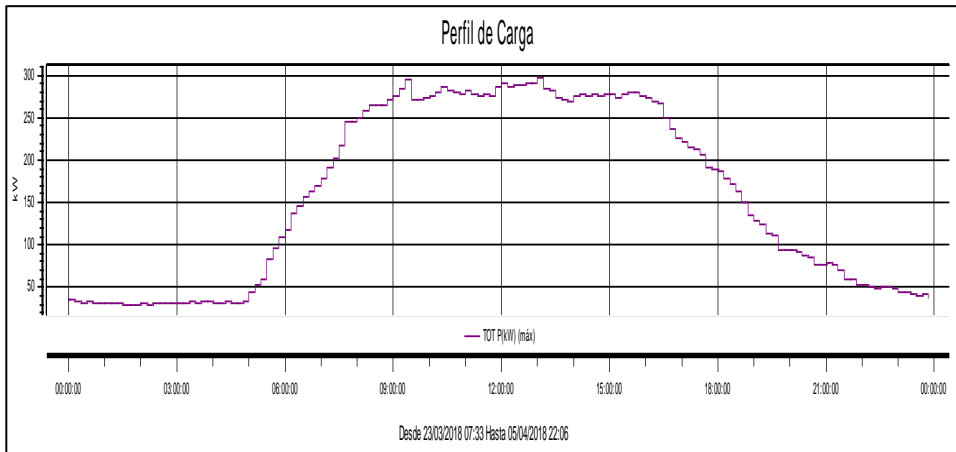


Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HDPQ.

En la figura 117, se logra visualizar que, en el período de fin de semana analizado, (23 y 24, septiembre 2018), existieron requerimientos de potencia de hasta 125 kW y cuando menos de 90 kW, lo que sugiere hacer un inventario de equipo en uso, para poder tomar decisiones en cuanto a lo indispensable de su uso.

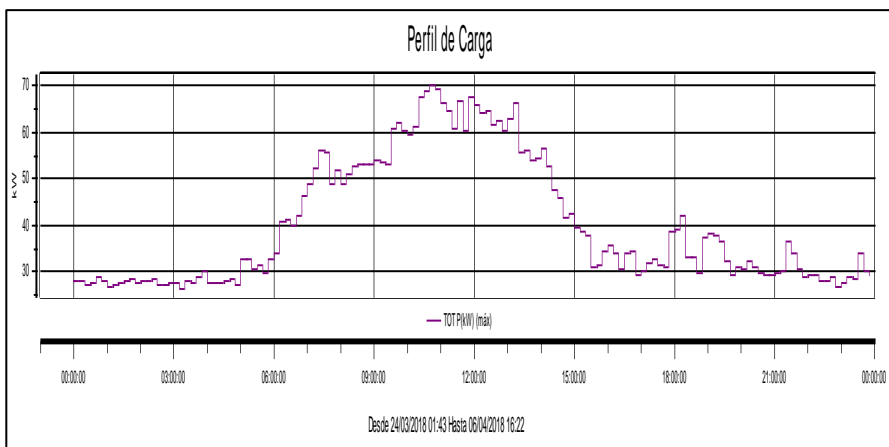


**Figura 118. Gráfico de perfil de carga en semana laboral durante el período de medición 23 marzo 2018 al 5 abril 2018, transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HD PQ.

**Figura 119. Gráfico de perfil de carga en fin de semana durante el período de medición 23 mar 18 al 5 abril 2018, transformador n°1**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo Dranetz HPDQ.

El transformador n°2 alimenta todas las cargas importantes que están en el sistema de emergencia del edificio La Torre y las cargas de sistema normal del edificio El Anexo; Entre las cargas principales, están los ascensores y el sistema de bombeo ubicado en los sótanos.

Desde el punto de vista de eficiencia y ahorro, se aprecia en la figura 123 que existe un consumo considerable en fin de semana, por lo que se sugiere evaluar el inventario de cargas en uso y ver la posibilidad de dejar operando las máquinas indispensables, para el tipo de actividad que se realice en este período.

#### 7.11. Hábitos de consumo (encuesta)

Se realizó una encuesta piloto a 47 empleados de la oficina del Departamento Administrativo del MINFIN (nivel 12), con el objetivo de identificar posibilidades de eficiencia energética.

Tabla XX. **Resultados de encuesta realizada en nivel 1 de oficinas del Ministerio de Finanzas Públicas**

No.	Pregunta	Respuesta			Observaciones
		Si	No	S/R	
1	¿Normalmente, su horario de trabajo es de?				8:00 a. m. - 4:30 p. m. 46 6:00 a. m.- 3:30 p. m.
2	¿Algunas veces su horario se extiende y con qué frecuencia?	22	24	1	Diario 11 Algunas veces 11
3	¿Utiliza en su equipo disponible la configuración de ahorro de energía?	36	11		
4	¿Al quedar el equipo, conectado, pero en modo de descanso, cree usted que existe consumo de energía eléctrica?	39	6	2	
5	¿Desconecta de la red de suministro eléctrico, cualquier tipo de equipo conectado a la misma?	17	29		Equipo de cómputo 1

Continuación de la tabla XX.

6	¿Cree necesario que existan sensores de movimiento y presencia, para controlar el sistema de iluminación o prefiere que el control sea manual, con interruptores?	30	7	2	Ambos 7 Con timer 1
7	¿Conoce de algún plan de ahorro energético para su lugar de trabajo?	36	10	1	
8	¿Considera positivo que el Ministerio decida utilizar energía renovable, para suministrar energía a las instalaciones?	45	1		
9	¿Alguna sugerencia para lograr el propósito de volver eficiente el uso de la energía que se consume en la institución?	33	7	7	
10	¿Considera que es satisfactorio el nivel de iluminación en su lugar de trabajo?	42		1	Demasiado--- 4
11	¿Tiene algún problema con la energía eléctrica?	1	44	1	Falta de UPS -1
12	¿Conoce de algún plan de reciclaje de residuos? ¿Cuál?	41	3	3	Reciclaje de residuos 29 Política de Gestión Ambiental 9 Oficina Verde 1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Los resultados de la encuesta realizada abren un abanico de posibilidades para la eficiencia energética en las instalaciones del MINFIN.

#### **7.11.1. Propuestas de mejora con base en los resultados de la encuesta**

Preguntas: 1 y 2

- El 97,8 % tiene un horario de 8 a. m. a 4:30 p.m., solo una persona ingresa a las 6:00 a. m. y egresa a las 3:30 p. m.
- El 51 % no realiza trabajo fuera de horario.
- El 47 % realiza trabajos en horario extraordinario, y de ese, 47 % el 50 % lo hacer a diario, y el otro 50 % eventualmente.

### Propuesta para preguntas 1 y 2

- Al considerar que las actividades laborales se desarrollan en horario normal, se recomienda implementar un método y un supervisor para verificar que todos los equipos no necesarios o no utilizados queden desconectados totalmente de la red, en períodos fuera de horario normal de trabajo, en períodos de fin de semana o en períodos de vacaciones.
- Evaluar el programa del horario de operación de las luminarias a horarios de trabajo, de manera de desconectar las áreas en que no se utilicen o se desarrollen actividades.

### Preguntas 3, 4 y 5

El 23 % de los encuestados no utiliza la configuración de ahorro de energía; 12 % de los encuestados cree que los equipos, al quedar en modo descanso, no consumen energía y el 61 % no desconecta los equipos de la red.

### Propuestas para preguntas 3 y 4

- Es fundamental, desarrollar un plan de información y de motivación para que exista el conocimiento y compromiso para el aprovechamiento del recurso energético.
- Realizar un inventario de equipos, con el objetivo de identificar si poseen o no el sistema de ahorro energético *Energy Star*®
- Lograr, con el apoyo de la gerencia, migrar de equipos, que no tengan sistema de ahorro *Energy Star*® a equipos que si lo tengan.

- Lograr que el Departamento de Compras utilice y esté comprometido con la adquisición de equipos de alta eficiencia energética; y utilizar esto como argumento de compra, sin menoscabo de considerar otros temas como serían: garantías, tiempo de vida y coste.
- Configuración el modo de espera de pantallas en pantalla negra, es el que menos consume energía. El tiempo de configuración debe consultarse con los usuarios de cada departamento. El 70 % del consumo de un equipo de cómputo se da en la pantalla
- Migrar al uso de computadoras portátiles, ya que consumen menos energía que las de escritorio. Esto requiere una inversión que hay que evaluar versus el ahorro que se logre. Estadísticas muestran que los equipos portátiles, en promedio, gastan de un 50 % a un 80 % de menos energía, que uno de escritorio.
- Implementar un plan de mantenimiento preventivo, por ejemplo: limpieza de difusores de lámparas, revisión de balastos, entre otros
- Es importante considerar la implementación del uso de regletas de conexión/desconexión, para lograr una fácil desconexión de todos los equipos, y tener en cuenta la capacidad del equipo conectado, pueden necesitarse más de una regleta por puesto de trabajo.

#### Pregunta 5

El 64 % apoya el uso de sensores, esto es positivo, demuestra que el personal está con actitud proactiva, respecto a la eficiencia.

## Propuestas para pregunta 5

- Proponer la implementación de un plan piloto con el uso de sensores de presencia, y utilizar, según sea el caso, dispositivos con tecnología ultrasónica o dispositivos de tecnología infrarroja, o bien, dispositivos que conjugan ambas, en especial en recintos ocupados por servicios sanitarios, archivos, salas de sesiones. Esta solución puede tener impacto entre un 20 % a un 60 % del gasto en iluminación.<sup>1</sup>
- Proponer y evaluar el uso de fotoceldas o cualquier dispositivo para el aprovechamiento de la iluminación natural en las áreas contiguas a las ventanas, puede representar un ahorro entre el 25 % y 60 %.<sup>2</sup>
- Evaluar en cada ambiente, según su uso, la iluminancia (lux) óptima, y colocar luminarias, que brinden esa iluminancia, con un rendimiento máximo en watt/m<sup>2</sup>, en resumen, para cada ambiente la iluminancia necesaria al costo de energía mínimo.

## Preguntas 8 y 10

### Propuestas para preguntas 8 y 10

El 95 % del personal apoya el uso de nuevas tecnologías que utilicen fuentes renovables y eficientes de energía, lo cual, es uno de los objetivos principales del presente trabajo, con ello se logra reducir la huella de carbono.

---

<sup>1</sup> VONNIEDA B, MANICCIA D, & TWEED A. *Un análisis del potencial de ahorro energético y de costos de los sensores de presencia para sistema de iluminación comerciales*, Actas de la Sociedad de Ingeniería Luminosa, papel # 43.

<sup>2</sup> REINHART CF. Efectos del diseño de Interiores en la disponibilidad de luz diurna en oficinas abiertas, Actas de la conferencia Estudio de la Comisión Americana para un Entorno de energía Eficiente (ACE).

- Cambio progresivo de luminarias a tecnología led.
- Utilización de sistema fotovoltaico para generación de energía eléctrica.
- Utilización de motores de alta eficiencia.
- Utilización de equipos que permitan mantener controlados los armónicos en la red del sistema eléctrico.
- Implementación de equipos de aire acondicionado que se adapten a la demanda de comodidad, con sistemas inteligentes de detección y sistemas VRF (flujo variable de refrigerante).

#### **7.11.2. Propuesta concreta para eficiencia energética, con respecto al consumo en modo de espera o consumo en *Standby***

Es el consumo de energía que se da en los equipos cuando no están desempeñando sus funciones principales, es decir, cuando están en modo de espera, otra forma de nombrarlo es consumo fantasma. Este tipo de consumo de energía se puede evitar en lo posible. Su tratamiento tiene su mayor reto, en lograr que el recurso humano, se encuentre consciente y comprometido para poder cambiar sus hábitos de uso, si bien la parte técnica tiene varias soluciones, es el recurso humano el protagonista para tener éxito en este propósito.

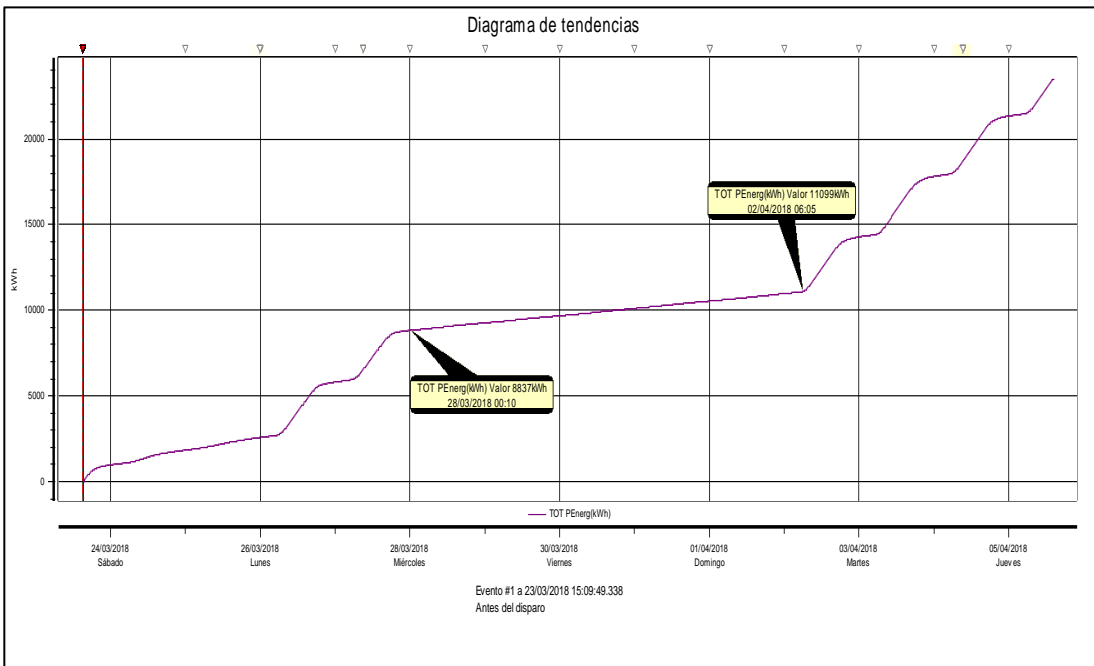
Un método fácil para implementar es el uso de regletas que facilite el desconectar todo el equipo de un puesto de trabajo, al no estar en horarios de trabajo normales. Para poder evaluar si este consumo es importante dentro de las instalaciones de oficinas del MINFIN, se hicieron mediciones puntuales en 3 niveles distintos. A continuación, se presentan las gráficas de los consumos en horarios en jornada laboral, (diurnos), y consumos en horarios fuera de jornada laboral (nocturnos). El consumo de energía que se lleva a cabo en los equipos que están en espera se debe analizar y evitar en lo posible.

En las figuras 115 y 116, se grafica el consumo tanto en horario normal como fuera de este horario en el transformador que alimenta las cargas del sistema de operación normal del edificio, puede apreciarse en las mismas que el consumo en horarios fuera de períodos laborales, existe y es considerable: Ahora bien, este consumo no necesariamente se debe al consumo en modo de espera de los equipos; puede haber otros equipos funcionando que no estén en este modo. Para ahondar un poco en el tema, se procedió a realizar mediciones en 3 niveles distintos de oficinas, para verificar si el aporte de este consumo es importante, y si vale la pena o no la inversión necesaria en tratar de eliminarlo.

En las figuras de la 120 a la 127, se constata la existencia de dicho consumo, y que su valor, al final, es considerable para realizar la inversión en tratar de erradicarlo. Se estimará un monto del consumo y el monto de la inversión.



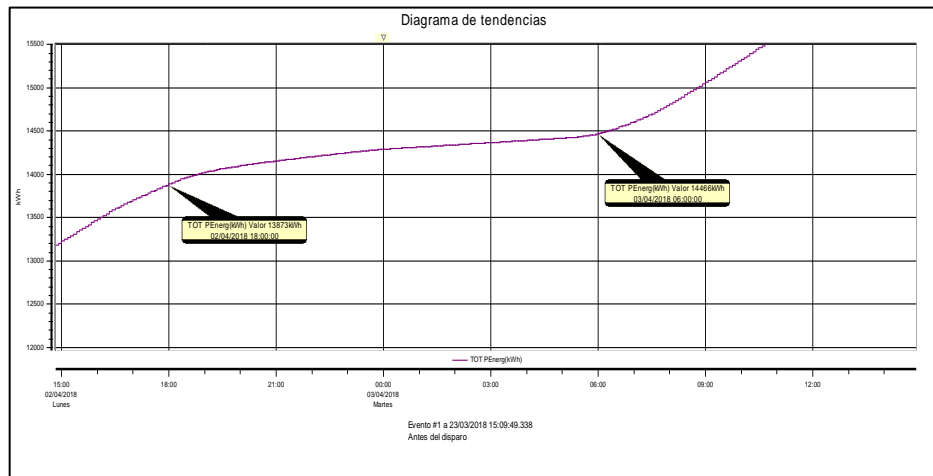
**Figura 120. Consumo de energía en período de asueto Semana Santa, en el transformador n°1 (servicio normal) del miércoles 28 abril desde las 0:00 h para las 6:00 h del lunes 2 de abril.**  
**Consumo registrado: 2 262 kWh**



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo DRANETZ HPDQ.

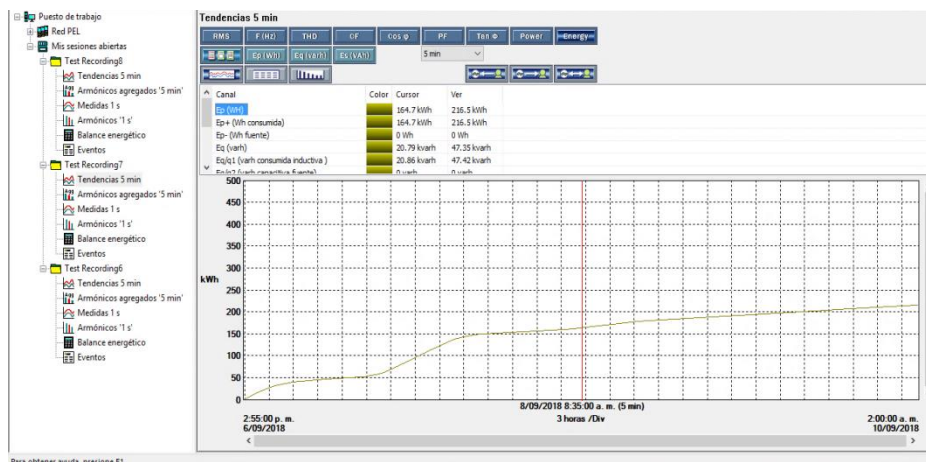
Figura 121. Consumo de energía horario nocturno, transformador n°1 de las 18:00 h del 2 abril 2018 a las 6:00 h del 3 de abril 2018.

Consumo registrado: 593 kWh



Fuente: elaboración propia, empleando software equipo DRANETZ HDPQ.

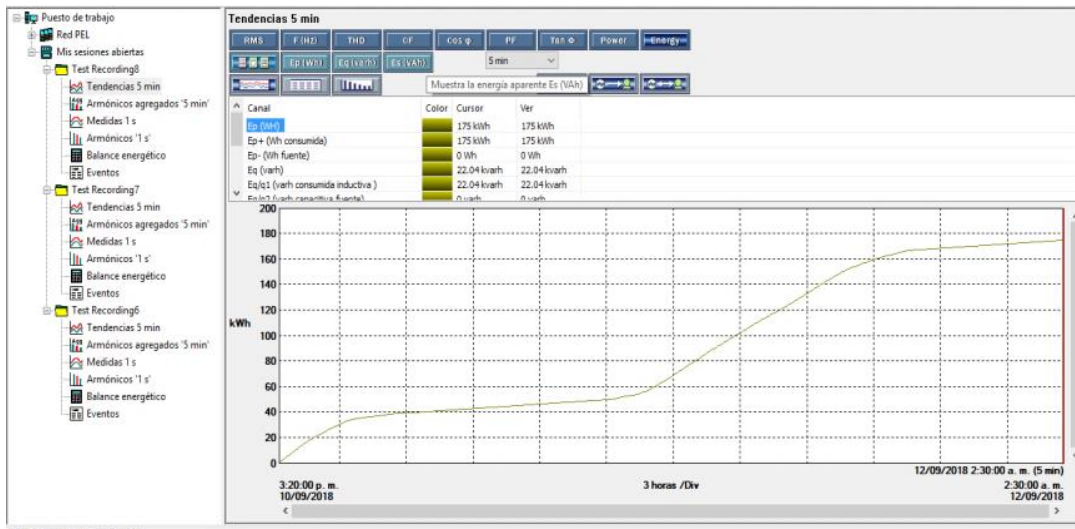
Figura 122. Comportamiento del consumo nivel 12, día/noche semana laboral + fin de semana, días: del 6/9/18 al 10/9/18



Fuente: elaboración propia, empleando software de equipo AEMC.

En la gráfica de la figura 120, se aprecia que existe un consumo de energía en el período nocturno y también en el fin de semana, en horarios fuera de jornada normal de trabajo, nótese el cambio de pendiente de la curva con respecto al consumo en horario de jornada laboral normal.

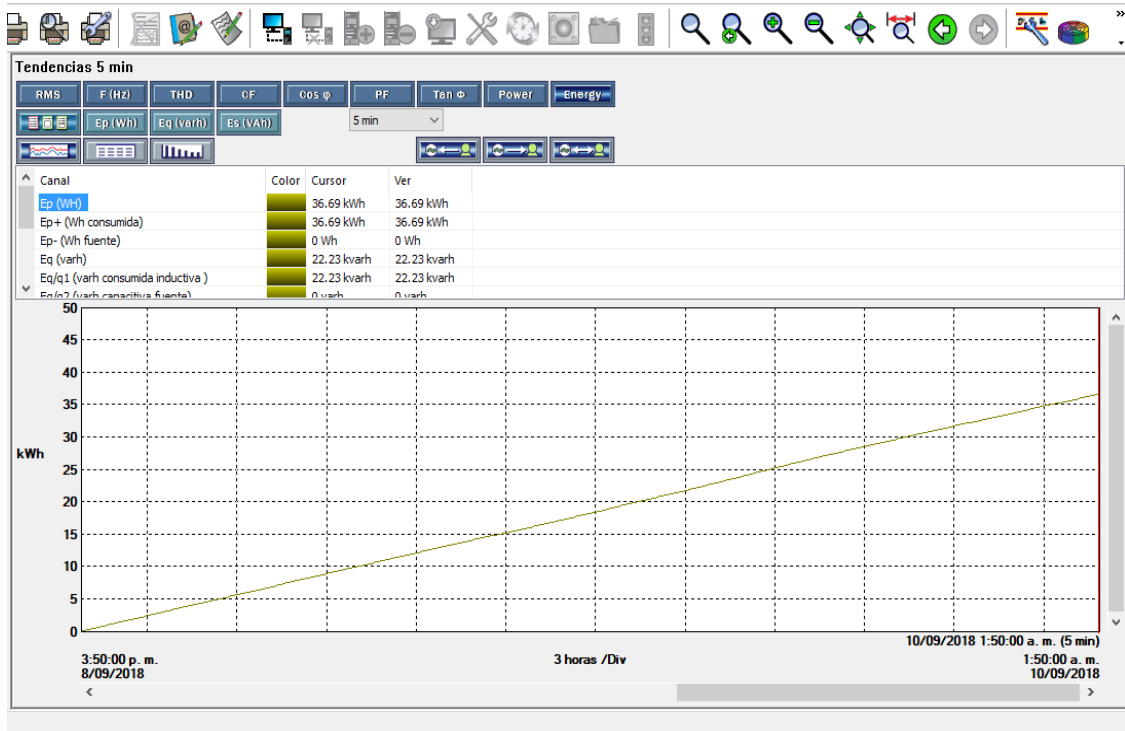
Figura 123. **Comportamiento del consumo nivel 15, día / noche semana laboral sin fin de semana, días: del 10/9/18 al 12/9/18**



Fuente: elaboración propia, empleando software de equipo AEMC.

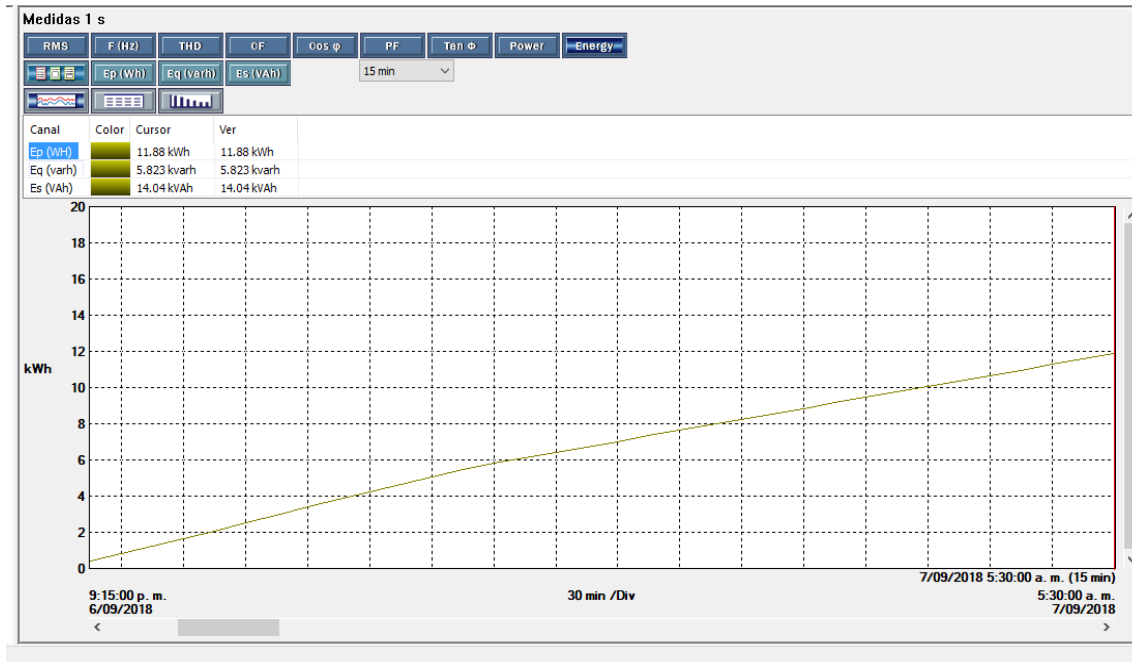
Al igual que en las gráficas de las figuras 121 y 122, en la gráfica 123 se aprecia un consumo de energía en el período nocturno, la pendiente de consumo es menor que la mostrada en el período diurno. La pendiente mayor en el horario de jornada normal de trabajo entre las 2 gráficas es por la tecnología de las luminarias. El nivel 12 tiene tipo led, mientras en el nivel 15 son del tipo fluorescentes.

Figura 124. Consumo de energía nivel 12, período fin de semana fuera de horario normal de trabajo de las 3:50 p. m. del 8/9/18 a las 1:50 a. m. 10/9/18 (37kWh)



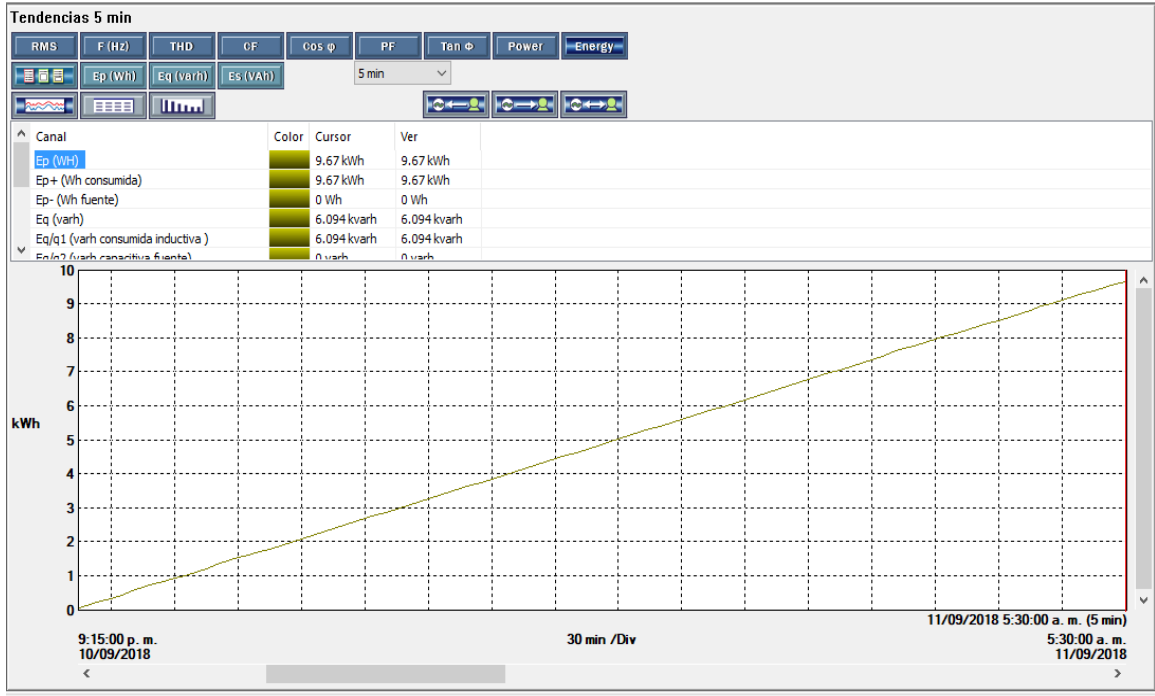
Fuente: elaboración propia, empleando software de Equipo AEMC.

Figura 125. Consumo de energía nivel 12 período nocturno fuera de horario normal de trabajo, de las 9:15 p. m. del 6/9/18 a las 5:30 a. m. del 7/9/18 (12 kWh)



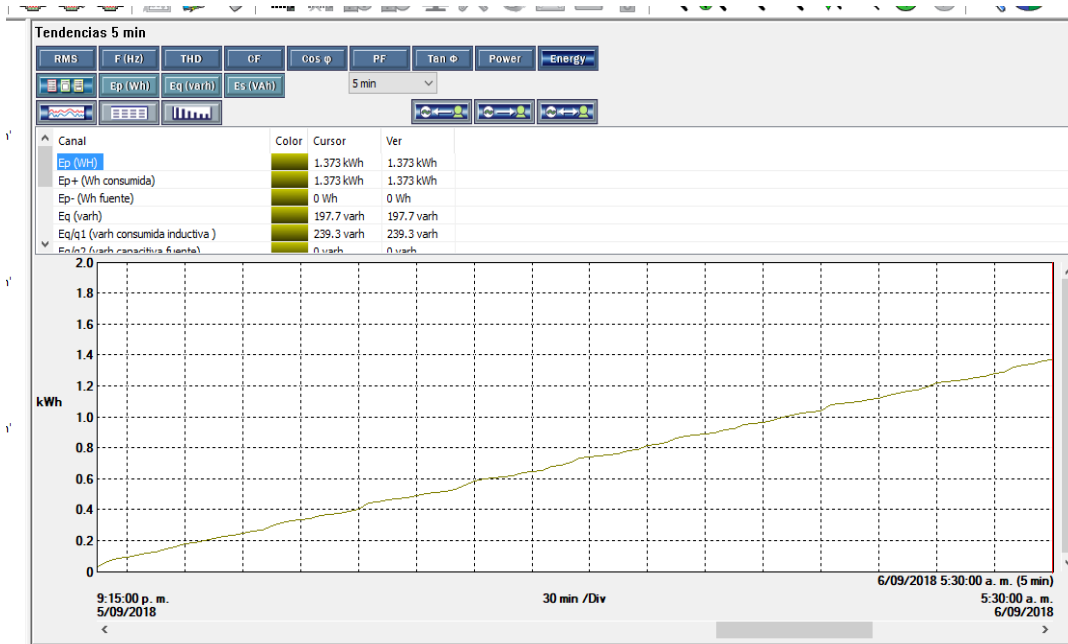
Fuente: elaboración propia, empleando software de Equipo AEMC.

Figura 126. Consumo de energía nivel 15 período nocturno fuera de horario normal de trabajo



Fuente: elaboración propia, empleando software de Equipo AEMC.

Figura 127. Consumo de energía nivel 7 período nocturno fuera de horario normal de trabajo



Fuente: elaboración propia, empleando software de equipo AEMC.

Tabla XXI. Evaluación de consumo en modo espera (*standby*) (52 fines de semana

NIVEL	Fecha de Inicio de medición	Fecha final de medición	kWh del período	Costo por Cargo Fijo	Costo de kWh	Costo total de 1 fin de semana	kWh- Anuales (52 fines de semana)	Costo anual de los kWh (52 fines de semana)
12	3:50 p.m. sábado .8/9/18	1:50 a.m. lunes 10/9/18	36,6	Q 0,1529	Q.0,67934	Q 25,017	1 903,20	Q 1 308,88
18 Niveles							34 257,60	Q 23 415,90

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXII. **Evaluación de consumo en modo espera, (*standby*) horario nocturno entre 2 días laborales consecutivos, (260) noches**

Nivel	Fecha de inicio de medición	Fecha final de medición	kWh del período	Costo por cargo Fijo	Costo de kWh	Costo total de una noche entre 2 días laborales consecutivos	kWh- Anuales (260 noches en semana laboral)	Costo anual de los kWh (260 noches en semana laboral)
12	9.15 p. m. jueves 6/9/18	5:30 a. m. viernes 7/9/18	11,74	Q 0,0041	Q 0,67934	Q 8,0244	3 052,40	Q 2 086,36
15	9.15 p. m. lunes 10/9/18	5:30 a. m. martes 11/9/18	8,86	Q 0,0041	Q 0,67934	Q 6,0559	2 303,6	Q 1 574,54
7	9:15 p. m. miércoles 6/9/18	5:30 a. m. jueves 7/9/18	1,044	Q 0,0041	Q 0,67934	Q 0,7135	271,44	Q 185,51
<b>Promedio</b>			<b>7,21</b>			Q4,7172	1 875,81	Q1 282,13
<b>Total 18 Niveles</b>							<b>33 764,5</b>	<b>Q23 078,34</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

De los resultados de las tablas XXI y XXII se obtienen los datos finales siguientes:

Tabla XXIII. **Resumen del análisis para consumo en modo espera o *standby* para los puestos de trabajo de La Torre**

kWh anuales por consumo fin de semana	kWh anuales por consumo nocturno entre 2 días laborales consecutivos	Costo anual (Q) por consumo de fin de semana	Costo anual (Q) por consumo nocturno entre 2 días laborales consecutivos
34 257,60	33 764,50	Q23 415,90	Q23 078,34
68 022,10		Q46 494,24	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Si se implementan regletas de conexión/desconexión u cualquier otro mecanismo, que permitan una fácil maniobra de desconexión de los equipos de las estaciones de trabajo, y si se asume que se logra un 60 % de efectividad en la propuesta de implementación, se puede estimar una disminución en el consumo de 40 813,26 kWh-año, y un ahorro anual económico de Q 27 724,44.



En la siguiente tabla, se aprecia que el retorno de la inversión se logra en un período de tiempo de 1,17 años.

Tabla XXIV. **Costo de Inversión con base en censo de cargas**

Nivel	Tomacorrientes	Puestos de Trabajo (REGLETAS)	Costo de Regleta	Costo por Nivel
7	179	42	Q36.83	Q 1 546,86
12	155	47	Q36.83	Q 1 731,44
15	171	58	Q36.83	Q 2 136,14
TOTAL				<b>Q 5 414,44</b>
Promedio x nivel				<b>Q 1 804,66</b>
Inversión por 18 niveles (aproximado)				<b>Q 32 483,99</b>
Ahorro en consumo anual de energía				<b>Q 27 724,44</b>
Tiempo recuperación (años), método de análisis: recuperación simple				<b>1,17 años</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXV. **Resumen de la implementación de regletas u otro mecanismo que logre reducir en un 60 % el consumo en modo espera o en *standby***

Ahorro en consumo de energía eléctrica (kWh – año)	Ahorro en costo por consumo de energía	Inversión en regletas	Reducción en % de la facturación actual	Reducción en emisiones de GEI. (huella de carbono) (*)
<b>27 208,04</b>	<b>Q 27 724,44</b>	<b>Q 32 483,99</b>	<b>1,5 %</b>	<b>15 990,16 KgCO<sub>2</sub>e</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

(\*) Nota: el factor para el cálculo de las emisiones de GEI, se tomó de los datos suministrados en la presentación y plática inaugural de proyecto del EPS. (Factor de Emisiones de la Red Eléctrica de Guatemala = (0,4877+0.10) KgCO<sub>2</sub>e/kWh)

## 7.12. Gases de efecto invernadero (GEI)

Estos gases son el resultado de procesos que se llevan a cabo, tales como la combustión de combustibles fósiles especialmente en la producción de energía, manejo de rellenos sanitarios, minas de carbón, operaciones con petróleo y gas natural, uso de fertilizantes, y procesos industriales. El de mayor producción es el dióxido de carbono, le sigue el metano y en tercer lugar el óxido nitroso. Para las evaluaciones se unifican los tres gases en un solo parámetro, generando así un equivalente del metano y óxido nitroso con respecto al dióxido de carbono (ver tabla XXV).

Tabla XXVI. **Potencialidad de los gases de efecto invernadero**

<b>Gases de efecto invernadero de mayor impacto</b>	<b>Potencialidad de efecto invernadero (GWP) por sus siglas en inglés, <i>Global warming potential of a Gas.</i></b>
CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)	1
CH <sub>4</sub> (metano)	21
N <sub>2</sub> O (óxido nitroso)	310

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La potencialidad de 310 del óxido nitroso indica, por ejemplo, que una tonelada de este gas tiene 310 más impacto en el calentamiento que una tonelada de dióxido de carbono.

Lo importante es saber que, las expectativas de crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono son del 1,9 anual entre el 2001 y el 2025. Por lo que los objetivos de este trabajo y de la Política Energética de Guatemala, se esfuerzan en lograr que dichas emisiones sean las menos posibles, para alcanzar un mejor desempeño energético en los procesos que se llevan a cabo en el país y en sus instituciones.

En Guatemala, según la Segunda Comunicación sobre Cambio Climáticos del Ministerio de Ambiente y Recursos naturales, las emisiones de GEI del sector de energía aportan un 39 % del total.

El potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, se obtiene a través de un modelo matemático que debe basarse en los acuerdos del Protocolo de Kioto, este análisis combina los diferentes factores de emisiones de GEI con otro tipo de información, como lo es la matriz de generación, la cantidad de energía entregada, las pérdidas en las líneas, el clima y otros.

Tabla XXVII. **Factor de emisiones de la red eléctrica en Guatemala**

Por energía consumida Kg CO <sub>2</sub> e / kWh			
Factor de emisión de red	0,41877	Factor de transmisión y distribución	0,10

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Balances energéticos*.

<http://www.mem.gob.gt/energia/estadisticas-energia/balances-energeticos/>. Consulta: 25 de mayo de 2020.

## **8. PROPUESTA TÉCNICA: USO TECNOLOGÍAS PARA LOGRAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MINFIN**

Con la información ya recabada en los capítulos anteriores, en especial en lo establecido en los diagramas de Pareto y los hábitos de consumo, se analizaron las tecnologías que aportarían para lograr el objetivo planteado al inicio del trabajo.

Se ha determinado que el mayor consumo de energía se da en el sistema de Iluminación y en la alimentación a equipos de oficina y no en las máquinas rotativas, por lo que el primer enfoque se hizo hacia el estudio de la prefactibilidad económica del cambio de luminarias del tipo fluorescente a lámparas de tecnología led.

La propuesta concreta será evaluar técnica y financieramente la sustitución, en los 16 niveles de oficinas del edificio La Torre, de las 5 193 luminarias existentes con tubos fluorescentes (70 watt), y que brindan una iluminación promedio de 250 lux, por 4 320 luminarias tipo panel led (18,80 watt) que, según estudio, brindarían 497 lux promedio (no se toman en cuenta 2 niveles de dicho edificio, en el que ya existe la tecnología led), y la generación por medio de sistema fotovoltaico, con capacidad de 145 530 kWpico, para inyección de energía al sistema del MINFIN.

Un beneficio que va adherido a este análisis es la mejora en el nivel de iluminación, lo cual incide en el bienestar y rendimiento del personal que labora en dichas estancias.

## 8.1. Propuesta: uso de tecnología led para cambio de luminarias

Se conoce como led o diodo emisor de luz, a los dispositivos semiconductores que producen luz visible cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos.

Los ledes son un tipo de iluminación de estado sólido, SSL, (por sus siglas en inglés de *Solid State Lighting*).

También existen los diodos orgánicos emisores de luz, conocidos como OLED, (por sus siglas en inglés *organic light-emitting diode*) y los polímeros emisores de Luz, conocidos como, LEP, (por sus siglas en inglés *light emitting polymers*). Estos últimos se usan en luminarias conocidas en el medio como paneles led. Otro uso importante de este tipo se da en las pantallas de los TV.

### Características de la iluminación led

- Direccionalidad: emiten luz en una dirección específica, los bulbos, tanto incandescente como fluorescente, emiten luz en todas direcciones, lo cual, los hace menos eficientes.
- Vida útil: los ledes no se queman como los otros tipos de bulbos, por lo que su vida útil se define en forma diferente.
- Vida útil se define como la predicción de cuando los lúmenes decaen en un 30 %.
- Disipación de calor: ya que los ledes no radian calor como los bulbos incandescentes y fluorescentes; el calor generado desde la fuente debe

ser alejado de los ledes, esto se logra con el disipador de calor, el cual es un dispositivo pasivo que absorbe y disipa el calor en el entorno circundante. Respecto a este trabajo, es importante tomar en cuenta que lo mejor es que estos dispositivos que han ganado la categoría *energy star* han sido probados para asegurar la disipación adecuadamente hasta el final de la vida nominal del led.

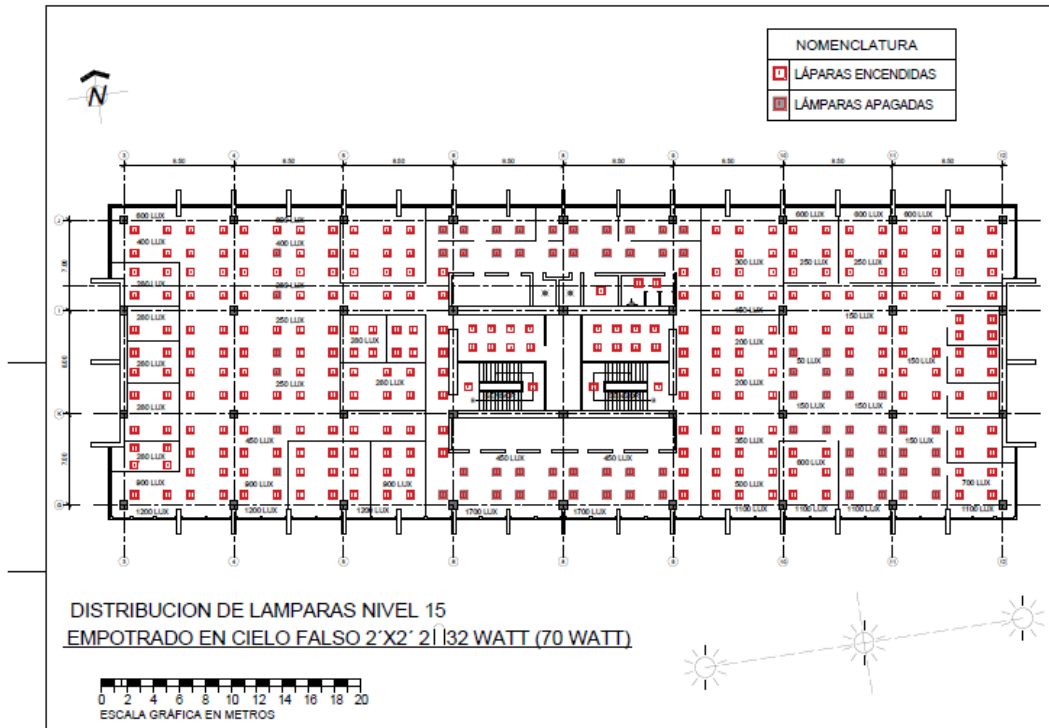
**Tabla XXVIII. Comparación de la eficacia luminosa (lumen/watt) de la tecnología led y otras tecnologías convencionales de iluminación**

<b>Tipo de producto</b>	<b>Eficacia luminosa (lumen/watt)</b>
Led A 19, lámpara (blanco cálido)	94
Led Par 38, lámpara, (blanco cálido)	78
Led de pantalla 2'X4'(blanco cálido)	131
Led high/low bay (blanco cálido)	119
Descarga de alta intensidad (High watt)	115
Sistema lineal fluorescente	108
Descarga de alta intensidad (low watt)	104
Lámparas compactas fluorescentes	73
Lámparas halógenas	20
Incandescentes	15

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Del censo de cargas realizado se obtiene que en el edificio del MINFIN, se utiliza para brindar iluminación a los ambientes de oficinas, salones, pasillos y servicios sanitarios con luminarias empotradas en cielo falso, de 2 pulgadas x 2 pulgadas con difusores acrílicos y con 2 lámparas (tubos), fluorescentes de 32 watt c/u y balastro. Únicamente en los niveles 12 y 7 se cuenta con luminarias de tecnología led. En el nivel 12, (Departamento Administrativo), se tienen luminarias con 4 listones led, de 9 watt c/u y en nivel 7 se tienen luminarias tipo panel led de 40 watt.

Figura 128. **Distribución actual de luminarias nivel 15, tipo de luminaria: empotrar en cielo falso, 2'x2', 2 tubos U de 32 watt c/u., tecnología fluorescente**

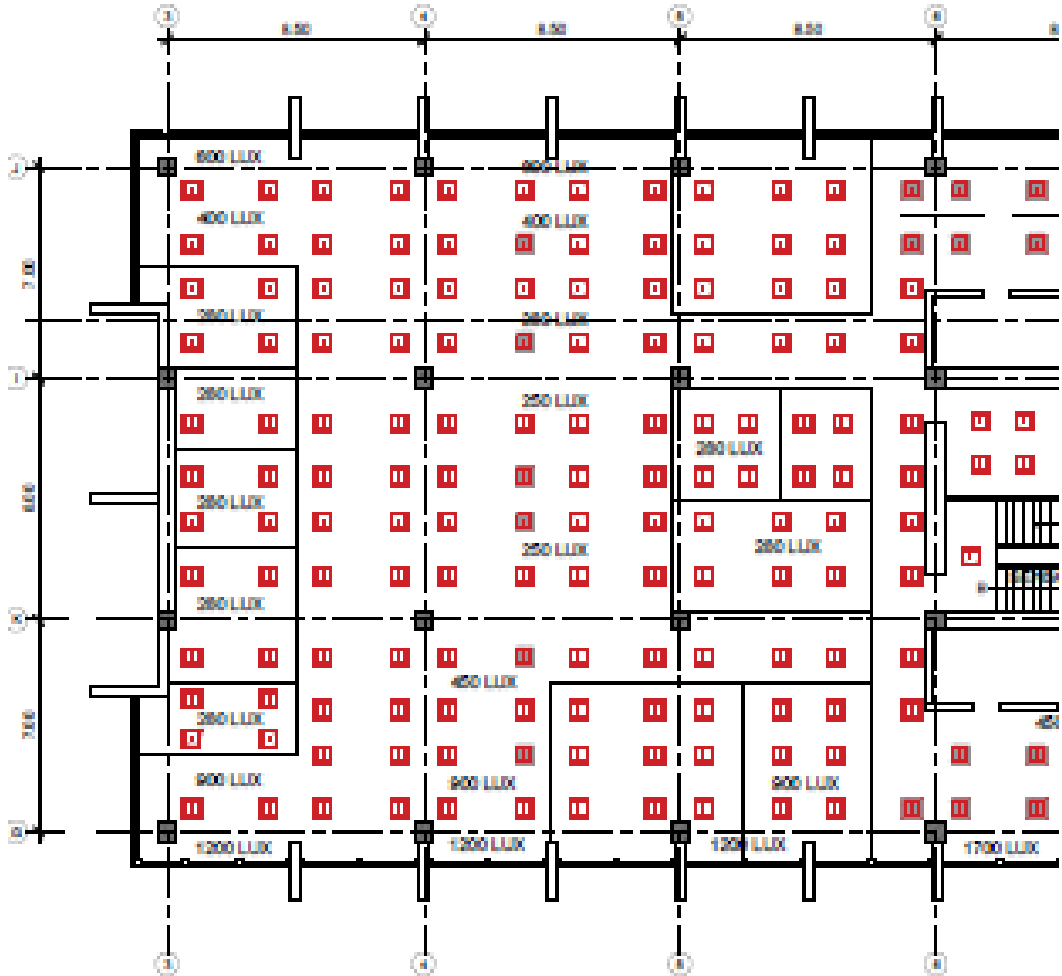


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Las Luminarias instaladas en los niveles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14 y 16 son de características similares a las de este nivel.

El valor promedio del factor de potencia obtenido el martes 11/9/2018 fue de 0,987, horario normal laboral, de 8:00 a. m. a 6:00 p. m. utilizando luminarias y equipos de oficina.

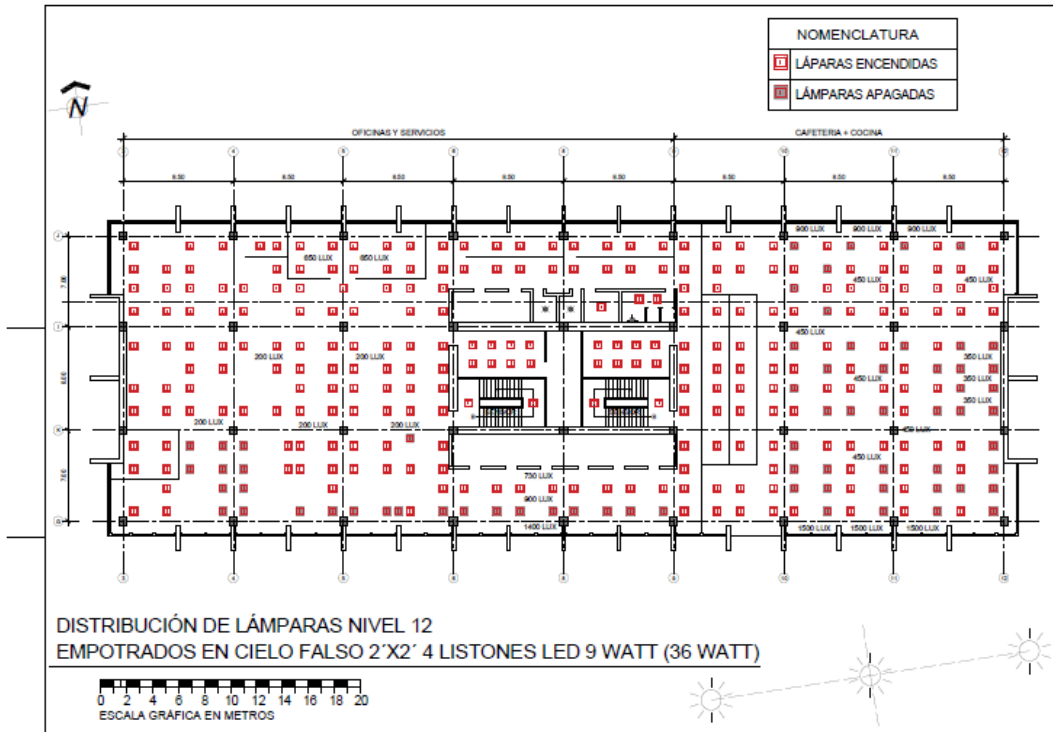
Figura 129. Iluminancia nivel 15: en el área central 250 lux de un ala, en áreas cercanas a ventanas lado sur 600 /400 lux y áreas cercanas a ventanas lado norte 900/1200 lux



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.



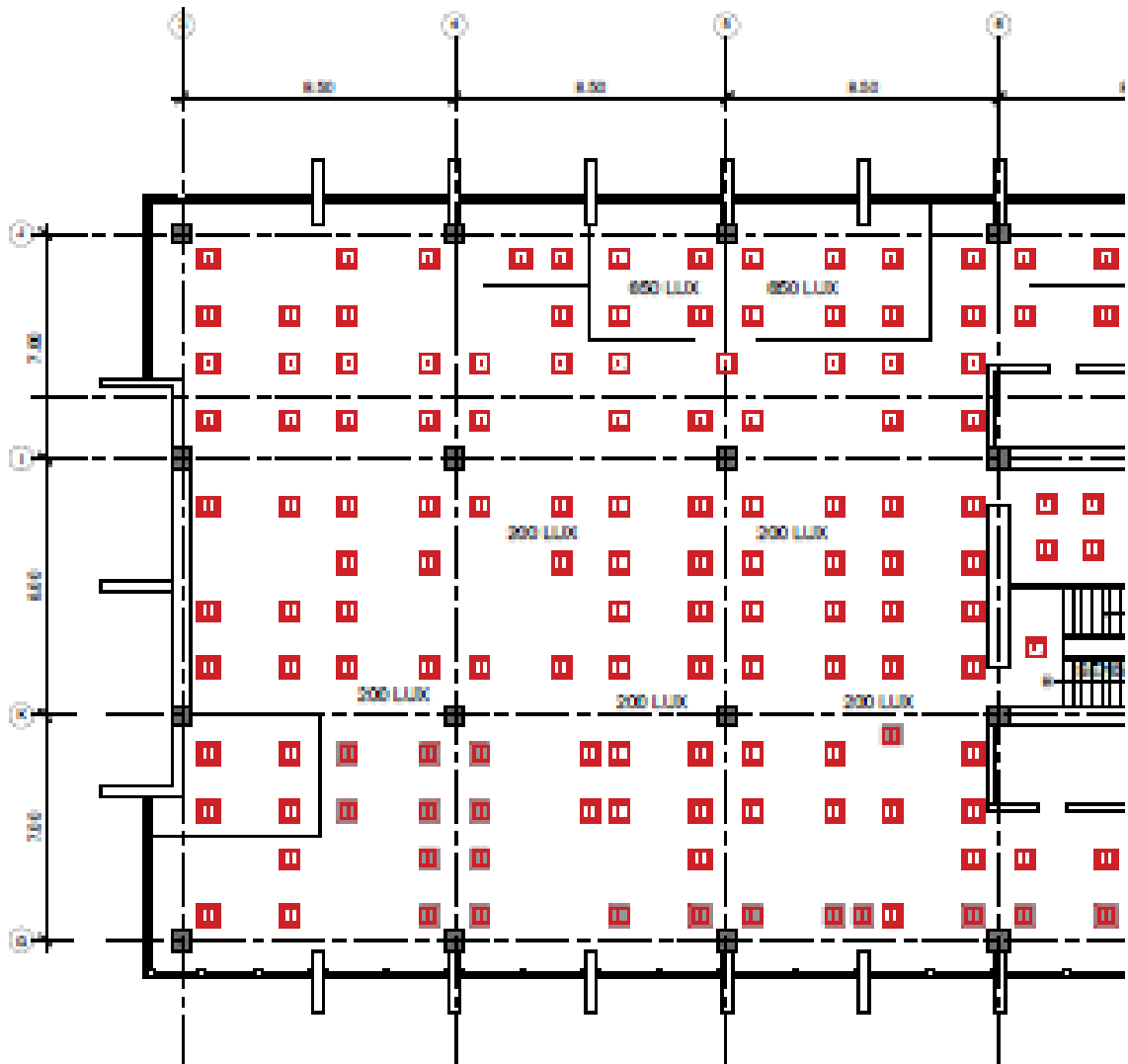
Figura 130. **Distribución actual de luminarias nivel 12, tipo de luminaria, empotrada en cielo falso, 2'x2', 4 listones led (36 watt)**



Fuente elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

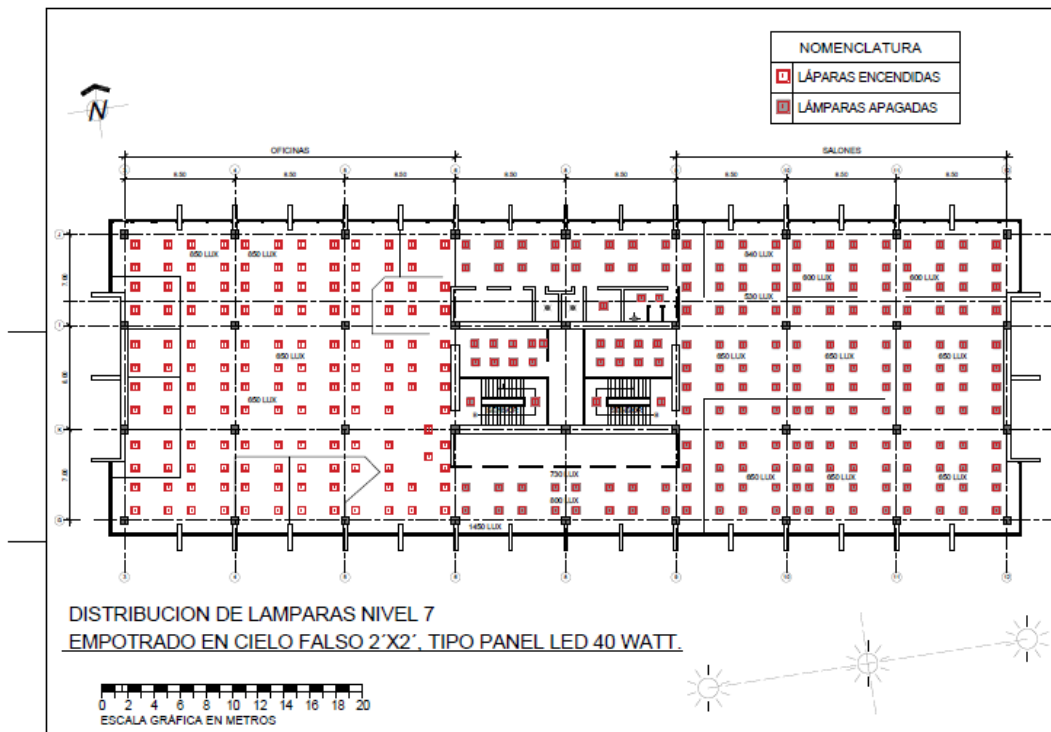
El valor promedio del factor de potencia obtenido el viernes 7/9/2018 fue de 0,984, horario normal laboral, de 8:00 a. m. a 6:00 p. m. al utilizar luminarias y equipos de oficina.

Figura 131. Iluminancia nivel 12: 200 lux en el área central de una ala y 650 lux en el área cercana a ventanas perimetrales del lado sur



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

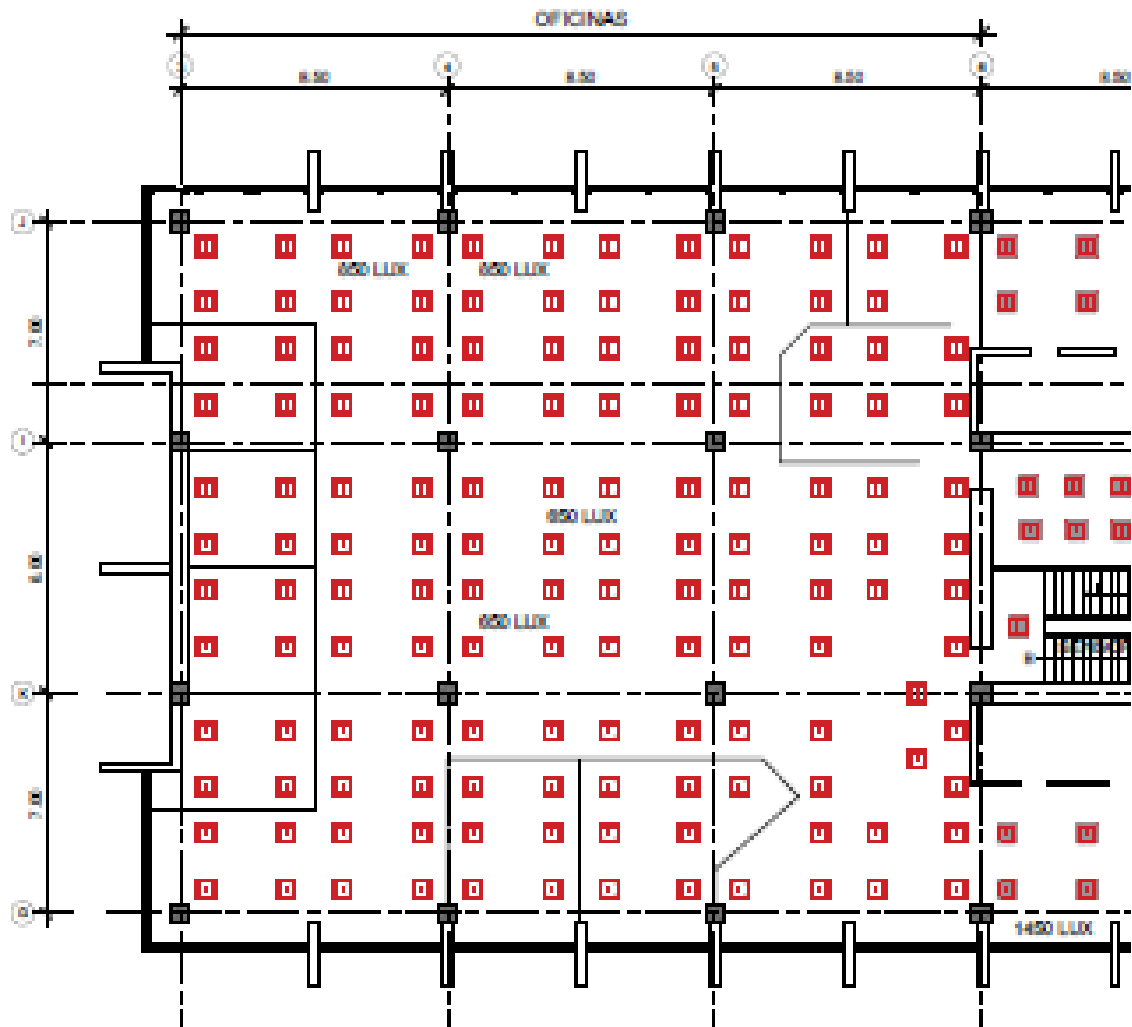
Figura 132. **Distribución actual de luminarias, nivel 7, luminaria empotrada 2'x2', tipo pantalla led, (PLED's). 40 watt**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El valor promedio del factor de potencia obtenido el miércoles 5/9/2018 fue de 0,986, horario normal laboral, de 8:00 a. m. a 6:00 p. m. al utilizar luminarias y equipos de oficina.

Figura 133. Iluminancia nivel 7: en el área central de un ala, 650 lux, en área cercana a ventanas lado sur 650 lux y en área cercana a ventanas lado norte, 1 400 lux



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

De las figuras 128 a la 133, se aprecia que la mejor iluminancia se da en el nivel 7 con el sistema de luminarias tipo pantalla led (PLEDs), en la que se

obtienen niveles de 650 lux en relación a los otros 2 niveles, en la siguiente tabla se resumen los datos.

Tabla XXIX. **Cantidad de luminarias en oficinas, vestíbulos, parqueos, entre otros, tipo de luminarias, edificio de ubicación e iluminancia promedio**

Ubicación de luminarias	Tipo de luminaria							
	2'x2' 2 tubos U, <b>70 watt</b>		2'X2' Panel led, <b>40 watt</b>		2'X2' 4 listón led. <b>36 watt</b>		Fluorescente 2x32 lineal <b>70 watt</b>	
	cantidad	Lux	cantidad	lux	cantidad	lux	cantidad	lux
Torre oficinas	5 193	250	332	650	304	250		
Anexo oficinas	648	200						
Estacionamiento y circulación							537	50
Totales	5 841 luminarias	408,870 watt	332 luminarias	13,280 watt	304 luminarias	10,944 watt	537 luminarias	37,590 watt
Área (m <sup>2</sup> )	26 944		1684		1684		6681	
<b>Watt/m<sup>2</sup></b>	<b>13,49</b>		<b>7,88</b>		<b>6,49</b>		<b>5,62</b>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

\*Nota 1: debido a que las mediciones de iluminancia se realizaron por la tarde, el valor de referencia usado para la Iluminancia, es el tomado en el centro del área de oficinas, por estar menos influenciado por la luz natural de ventanas, se consideró que el horario de trabajo es de 8 a. m. a 4 p. m.

En el sótano el valor no está influenciado por luz natural.

\*Nota 2: en algunos ambientes no se pudo constatar físicamente, los datos provienen de planos existentes en archivo del Departamento de Mantenimiento.

\*Nota 3: el área tomada en cuenta en sótanos fue el área de circulación y parqueo, no se toma el área central, ni el área de bodegas.

Al tener en cuenta que la iluminancia recomendada para oficinas es de 500 lux, (tablas IES) y que la mejor iluminancia se logra con los paneles led se proponen los siguientes diseños, de manera de poder realizar posteriormente un análisis económico.

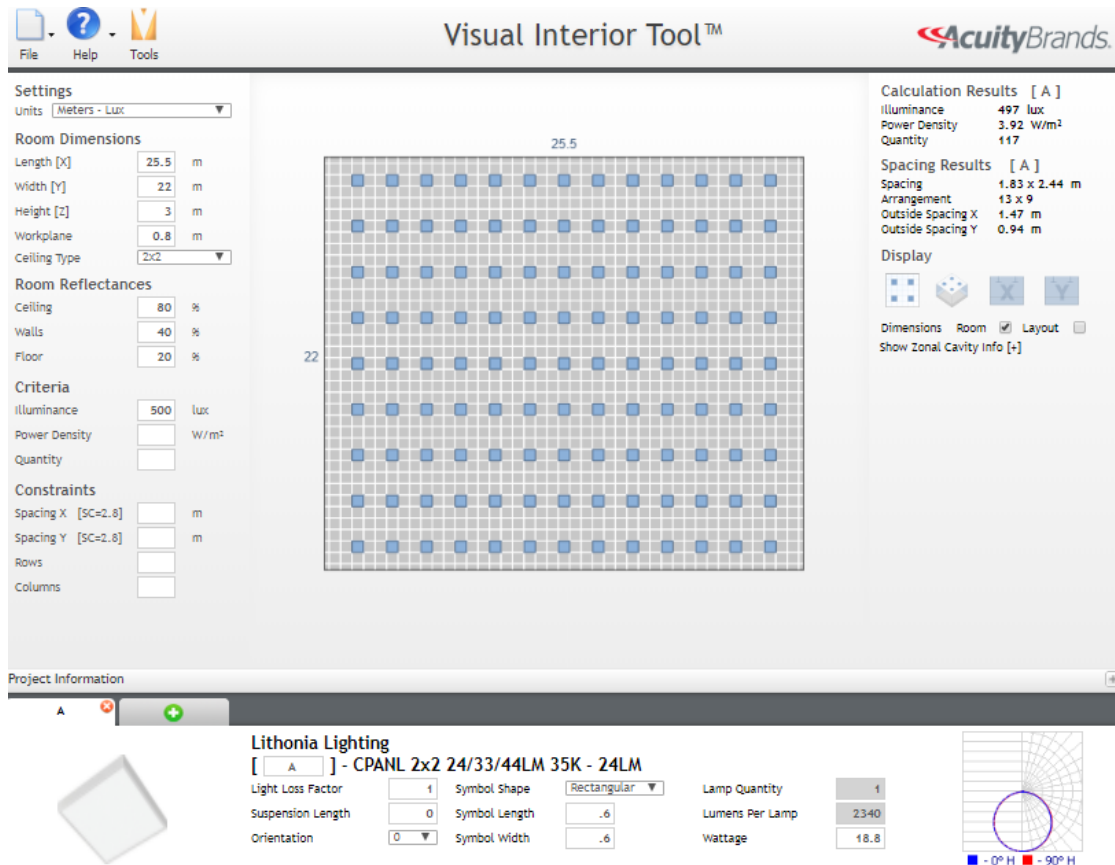
### **8.1.1. Diseños propuestos**

Con los datos lumínicos requeridos para el mejor desempeño de las actividades realizadas en los diferentes ambientes y al tener en cuenta la forma y distribución del cielo falso existente, se planteó una solución utilizando luminarias que permitan obtener el nivel lumínico adecuado, con un menor consumo de energía y a un coste adecuado para obtener una recuperación de inversión dentro de los parámetros aceptables para este tipo de proyecto.

#### **8.1.1.1. Edificio La Torre**

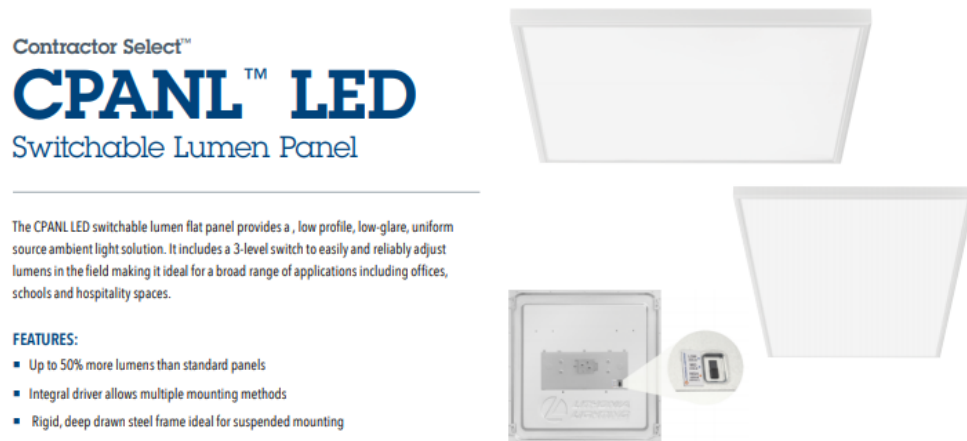
Se identificaron las actividades que se desarrollan en los distintos ambientes y niveles del edificio La Torre, y se planteó la mejor distribución de luminarias para obtener lo descrito en la el párrafo 8.1.1. Se utilizaron luminarias tipo panel led de un tamaño adecuado para sustituir las existentes sin provocar ninguna modificación en el reticulado del cielo falso.

Figura 134. **Diseño para obtener 500 lux en el área de oficinas de un ala de un nivel típico de La Torre, con luminaria tipo panel led de 2 340 lumen, cantidad**



Fuente: elaboración propia, empleando software Visual Lighting, Lithonia Lighting.

Figura 135. **Luminaria propuesta: panel led (PLEDs) 2,340 lumen o similar**



Fuente: elaboración propia, empleando software Visual Lighting, Lithonia Lighting.

Con la validación de la iluminancia requerida, satisfecha con el diseño anterior se elabora las siguientes tablas.

Tabla XXX. **Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo panel led (LEPs) en el edificio de La Torre, cálculos para 8 horas de jornada laboral, 260 días al año y costo de Q 0,6793 kWh**

16 niveles	Watt x luminario	Cantidad de luminarias TORRE	kWatt Totales	LUX Promedio	kWh-año	Costo kWh anual
Sistema actual	70	5,193	363.51	250	756,100.80.	Q513 619,27
Sistema propuesto	18,8	4320	81,12	497	168 929,28	Q 114 753,65
Ahorro en consumo de energía y costo de la misma					77,65 %	

\*Nota: no se toman en cuenta los 2 niveles que cuentan con tecnología led.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.



Al tomar los valores de la tabla XXIX, se puede calcular el monto de la inversión y su retorno por medio del método de “retorno simple” (*Simple payback*), además de obtener una mejor iluminancia.

**Tabla XXXI. Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio La Torre**

Cantidad luminarias	Costo promedio de 3 cotizaciones	Inversión en (Q)	Ahorro anual en costo por consumo de energía	Tiempo de recuperación de Inversión
4320	Q306,00	Q1 321 920,00	Q 398 865,62	3,31 años

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Este mismo ejercicio se repitió para el edificio El Anexo, obteniendo los siguientes resultados.

### **8.1.1.2. Edificio El Anexo**

Se identificaron las actividades que se desarrollan en los distintos ambientes y niveles del edificio El Anexo, y se planteó la mejor distribución de luminarias para obtener lo descrito en la el párrafo 8.1.1. Se utilizaron luminarias tipo panel led de un tamaño adecuado, para sustituir las existentes sin provocar ninguna modificación en el reticulado del cielo falso.

Tabla XXXII. **Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo panel led (LEPs) en el edificio El Anexo, cálculos para 8 horas de jornada laboral, 260 días al año y costo de Q0,6793 kWh**

3 niveles	Watt x luminario	Cantidad de luminarias	kWatt Totales	LUX Promedio	kWh-año	Costo kWh anual
Sistema actual	70	648	45,36	200	94 348,80.	Q 64 091,13
Sistema propuesto	18.8	540	10,15	510	21 116,16	Q 14 344,20
Ahorro en consumo de energía y costo de la misma					77,61 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXIII. **Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio El Anexo**

Cantidad luminarias	Costo promedio de 3 cotizaciones	Inversión en (Q)	Ahorro anual en costo por consumo de energía	Tiempo de recuperación de inversión
540	Q306,00	Q165 240,00	Q49 749,93	3,31 años

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

El tipo de análisis, retorno simple, no toma en cuenta el costo del financiamiento, el costo de mantenimiento, la depreciación, el costo de la mano de obra de quitar luminarias existentes y colocar las nuevas, y otros factores que deben analizarse con más detenimiento.

El objetivo del mismo es dar un dato del tiempo estimado de recuperación de la inversión y sugerir la viabilidad de la implementación de la tecnología y el

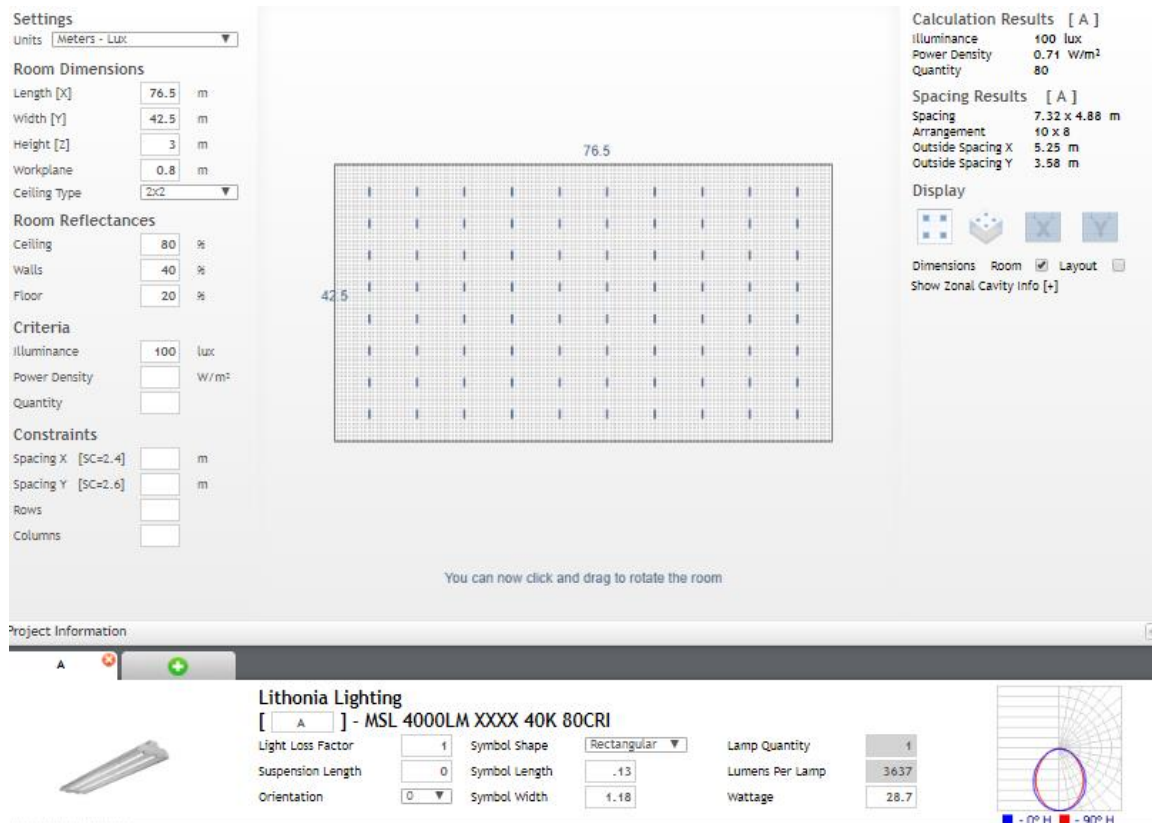
diseño propuesto o una variante del mismo para lograr la eficiencia energética y el ahorro económico por consumo en el edificio de La Torre y El Anexo.

Es importante hacer ver que, con menos cantidad de luminarias, menos consumo y menor coste de operación se obtienen mejores niveles de iluminancia, lo que tiene una repercusión sobre el desempeño de las labores cotidianas dentro de las oficinas. Para poder evaluar esto hay que, como se ha planteado en capítulos anteriores, realizar mediciones, para cuantificar y proyectar la mejora en el desempeño energético.

#### **8.1.1.3. Parqueos y áreas de circulación vehicular en sótanos**

El diseño de la iluminación de sótanos duplica la iluminación actual y la distribuye uniformemente, se utilizaron luminarias del tipo industrial, con tecnología led. No se incluyeron sistemas de sensores de movimiento.

Figura 136. Diseño de un área de parqueos de sótano 1 y 2, para obtener 100 lux de iluminancia promedio (iluminancia actual 50 lux)



Fuente: elaboración propia, empleando software Visual Lighting, Lithonia Lighting.

Figura 137. **Luminaria propuesta: 2 listón led, 3637 lumen, o similar**



Fuente: elaboración propia, empleando software Visual Lighting, Lithonia Lighting.

Tabla XXXIV. **Sustitución de luminarias existentes por luminarias tipo listón led, en parqueos y áreas de circulación, cálculos para 14 horas de jornada laboral, 312 días al año y costo de Q 0,6793 kWh**

3 niveles	Watt x luminario	Cantidad de Luminarias	kWatt Totales	LUX Promedio	kWh-año	Costo kWh anual
Sistema Actual	70	426	29,82	50	130 253,76	Q 88 481,37
Sistema Propuesto	28.7	312	8,95	100	39 112,81	Q 26 569,33
Ahorro en consumo de energía y costo de la misma					66,97 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXV. **Inversión y tiempo de recuperación en luminarias del edificio parqueos y áreas de circulación de sótanos**

Cantidad luminarias	Costo promedio de 3 cotizaciones	Inversión en (Q)	Ahorro anual en costo por consumo de energía	Tiempo de recuperación de inversión
312	Q185,00	Q 57 720,00	Q61 912,04	0,93 años

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXVI. **Resumen de la implementación de tecnología led para sustitución de luminarias**

Ahorro en consumo de energía eléctrica (kWh – Año)	Ahorro en costo por consumo de energía	Inversión en luminarias	Reducción en % de la facturación actual	Reducción en emisiones de GEI. (huella de carbono) (*)
751 545,11	Q 510 524,59	Q 1 544 880,00	27,28 %	441 683,06 Kg CO <sub>2</sub> e

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

(\*) Se utilizó el factor de emisión red para Guatemala de 0,4877+ 0,10 (T&D).

## 8.2. Propuesta: uso de fuente renovable de generación de energía eléctrica/ paneles fotovoltaicos

Según datos obtenidos del Plan de Energía 2017-2032 respecto a la matriz de generación eléctrica del país, para el 2016, el 58 % de la misma, proviene de fuentes renovables; y de ese 58 %, apenas el 3 % es proveniente de generación solar (192 GWh), ahora bien, si tiene en cuenta la situación geográfica de

Guatemala, en cuanto a irradiación solar, las nuevas regulaciones que permiten la interconexión con el sistema eléctricos nacional y el mejoramiento de esta tecnología y su costo, se hace necesario, analizar esta posibilidad para determinar su posible implementación y lograr la eficiencia energética en las instalaciones del MINFIN.

### **8.2.1. Tecnología fotovoltaica**

Un sistema fotovoltaico genera energía eléctrica a partir de la energía solar, proceso que se lleva a cabo dentro de las celdas de material del panel.

Los paneles están fabricados con obleas de materiales como el silicio monocristalino, (simple Si), silicio policristalino (poly Si), cinta de silicio (ribbon Si) o tecnologías de película delgada. Las obleas son convertidas en celdas solares mediante líneas de producción, que utilizan procesos y maquinaria típica de la industria de los semiconductores. La luz solar incide sobre las celdas, creando pares huecos-electrones, y así carga, tanto el material tipo p como el material tipo n de las obleas de silicio. Un típico módulo de silicio cristalino consiste en un circuito serie de 36 celdas, que entregan corriente directa (DC), cercana a los 12 voltios. La eficiencia típica en la conversión de energía solar a energía eléctrica en módulos de silicio cristalino está en un rango entre el 11 % y 15 %.

Dentro de las tecnologías de película delgada, se encuentran 4 clasificaciones; su nombre se deriva de los materiales activos de las celdas: telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre e indio (CIS), silicio amorfo (a-Si) y silicio de película delgada (thin film-Si). La más comercial es la de silicio amorfo

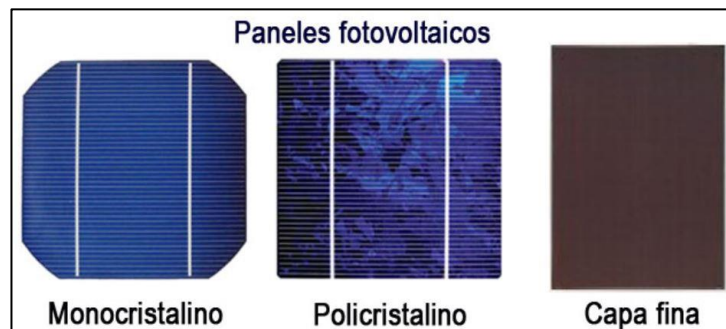
Figura 138. **Obleas de silicio cristalino simple (mono)**



Fuente: Google. Com. *Obleas de silicio simples.*

[https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fhttp2.mlstatic.com%2FD\\_NQ\\_NP\\_790284-MLM31290610358\\_072019-](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fhttp2.mlstatic.com%2FD_NQ_NP_790284-MLM31290610358_072019-.). Consulta: 25 de mayo de 2020.

Figura 139. **Celdas solares de tecnologías diferentes**



Fuente: Google. Com. *Celdas solares.*

<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiy-67->.

Consulta: 25 de mayo de 2020.



Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar, dependiendo de la aplicación de su uso final, de la siguiente manera:

- Conexión a la red de distribución, (On-Grid por sus siglas en inglés)
- Sin conexión a la red de distribución (Off-Grid por sus siglas en inglés)
- Para aplicaciones con sistemas de bombeo

Los componentes usuales del sistema fotovoltaico son:

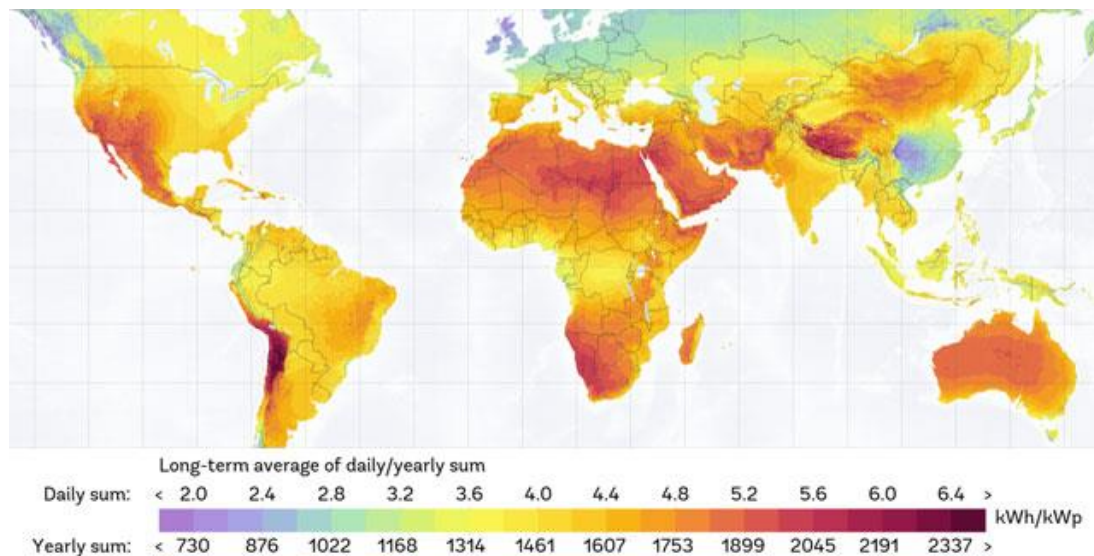
- Módulos fotovoltaicos.
- Baterías.
- Inversor.
- Controladores para administrar el almacenamiento y la entrega de energía a la carga.
- Estructura de sustentación de los paneles y otros equipos.
- Contador de energía y cables.

Estos componentes no son requeridos en todas las instalaciones de paneles fotovoltaicos, por ejemplo: para sistemas conectados a la red, como es el caso del MINFIN no se necesitan las baterías ni los controladores. Si la entrega a la carga se hace en DC, no se necesita inversor. Cada caso hay que evaluarlo en particular.

### 8.2.2. Radiación solar

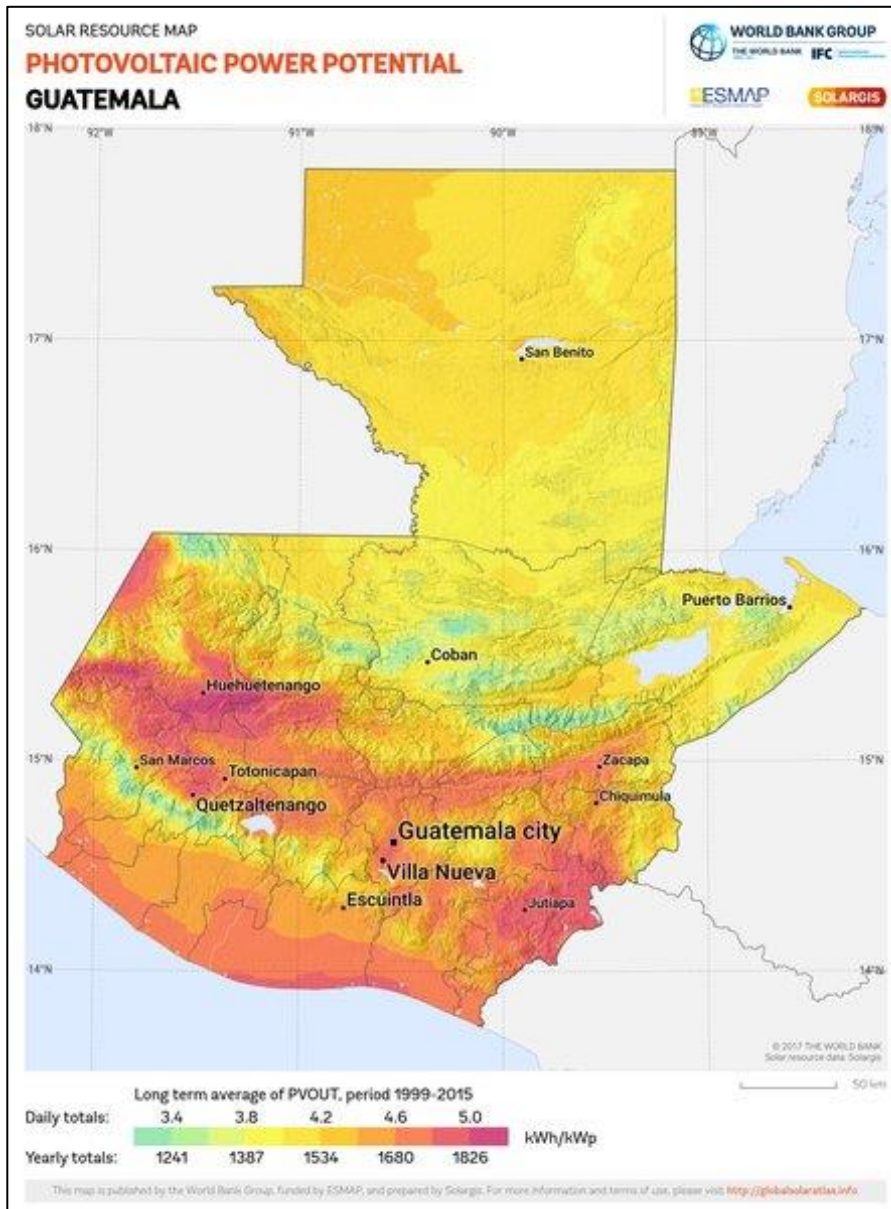
El potencial solar en Guatemala es alto, el valor promedio anual de radiación solar global para todo el país es de 5,3 kWh / m<sup>2</sup> / día. Es considerado como un valor promedio alto con respecto a otros países. La radiación depende de la latitud del lugar, la época del año, la altura del lugar y las condiciones meteorológicas. En las siguientes figuras, se muestra la certeza de que el sistema fotovoltaico, desde el punto de vista geográfico del MINFIN, es viable, en especial la figura 141, que se refiere exactamente a la ubicación del edificio, con un dato de 5,31 kWh / m<sup>2</sup> / día de irradiación horizontal, dado por el satélite de la NASA (por sus siglas en inglés *National Aeronautics and Space Administration*).

Figura 140. Cartografía de radiación solar mundial



Fuente: Atlas Solar Global. *Atlas de viento global*. <http://globalsolaratlas.info/>. Consulta: 25 de mayo de 2020.

Figura 141. Irradiación solar Guatemala y su potencial fotovoltaico



Fuente: Google. com. *Mapa solar de Guatemala.*

[https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwi7rc\\_P463IAhWKzlkKHYiZBYUQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fsolargis.com%2Fmaps-and-gis-data%2Fdownload%2Fguatemala&psig=AOvVaw3kYP9tGQr3fOgt1-RO7P73&ust=1571761933233708](https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwi7rc_P463IAhWKzlkKHYiZBYUQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fsolargis.com%2Fmaps-and-gis-data%2Fdownload%2Fguatemala&psig=AOvVaw3kYP9tGQr3fOgt1-RO7P73&ust=1571761933233708). Consulta: 2 de junio de 2020.

### 8.2.3. Ubicación del proyecto MINFIN

Para el aprovechamiento óptimo del sistema fotovoltaico que se propuso, es importante tener la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar del proyecto, para orientar adecuadamente los equipos y lograr el mayor soleamiento posible.

Figura 142. Latitud/longitud, proyecto fotovoltaico MINFIN

The screenshot shows the RETScreen Expert software interface. The main window displays a satellite map of the project location in Lima, Peru, with a red pin marking the 'Ministerio de Finanzas Públicas'. The map includes street names like 'Calle Castilla', '7MA Avenida', '8 Avenida', '9 Avenida', and '10A Avenida'. Below the map, a table provides site reference conditions for both the climate data location and the facility location.

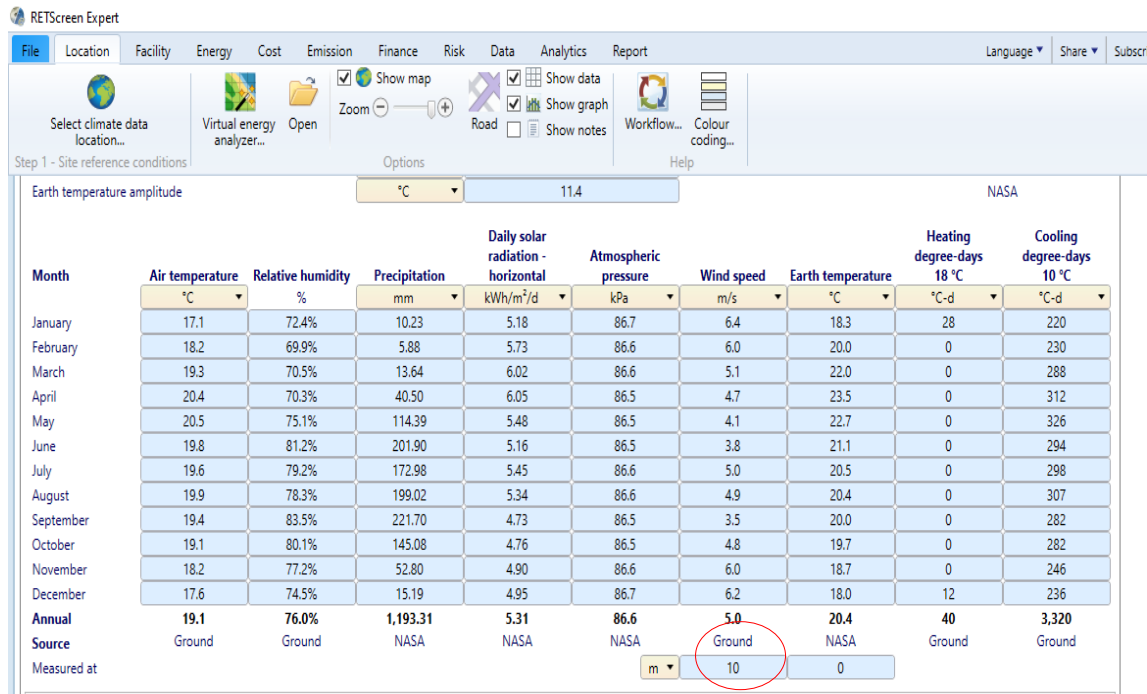
	Unit	Climate data location	Facility location	Source
Latitude		14.6	14.6	
Longitude		-90.5	-90.5	
Climate zone		3A - Warm - Humid		Ground+NASA
Elevation	m	1489	1502	Ground - Map
Heating design temperature	°C	11.8		Ground
Cooling design temperature	°C	27.1		Ground
Earth temperature amplitude	°C	11.4		NASA

At the bottom of the interface, there is a table for monthly climate data:

Month	Air temperature	Relative humidity	Precipitation	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days 18 °C	Cooling degree-days 10 °C
-------	-----------------	-------------------	---------------	------------------------------------	----------------------	------------	-------------------	---------------------------	---------------------------

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Figura 143. Datos con respecto a la ubicación del MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

De la figura 143, se deduce que los meses con mayor irradiación horizontal son marzo, abril y los de menor irradiación horizontal son septiembre y octubre. La irradiancia promedio anual fue de 5,31 kWh / m<sup>2</sup> / día.

Datos Relevantes para el estudio:

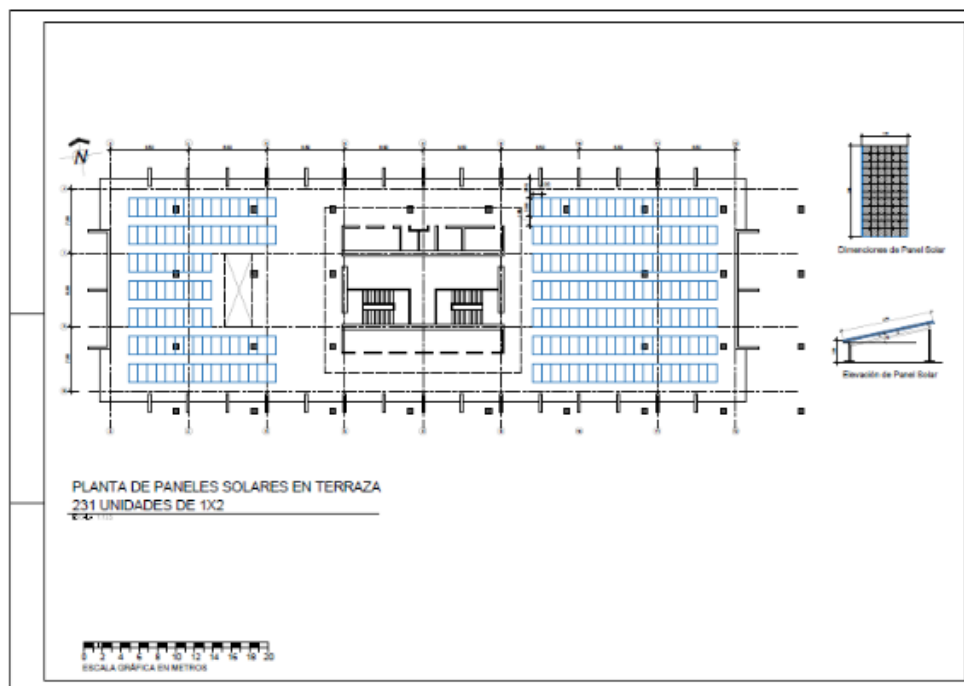
- Altitud
- Altitud
- Clima
- Irradiación solar anual, irradiación por épocas, irradiación por día

- Áreas disponibles para colocación de paneles, tomando en cuenta accesos y sombras que puedan afectar.

#### 8.2.4. Determinación del área disponible para instalación y cantidad propuesta de paneles fotovoltaicos

Verificada la viabilidad del proyecto con respecto a la irradiación solar se determinaron las áreas posibles para la colocación de los paneles fotovoltaicos, resultando las 2 terrazas, tanto del edificio La Torre, como del edificio El Anexo adecuada para tal fin, ya que no tienen equipos instalados y no se ven afectadas por las sombras de otras edificaciones.

Figura 144. **Ubicación de paneles fotovoltaicos sobre terraza (techo), del edificio de La Torre**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

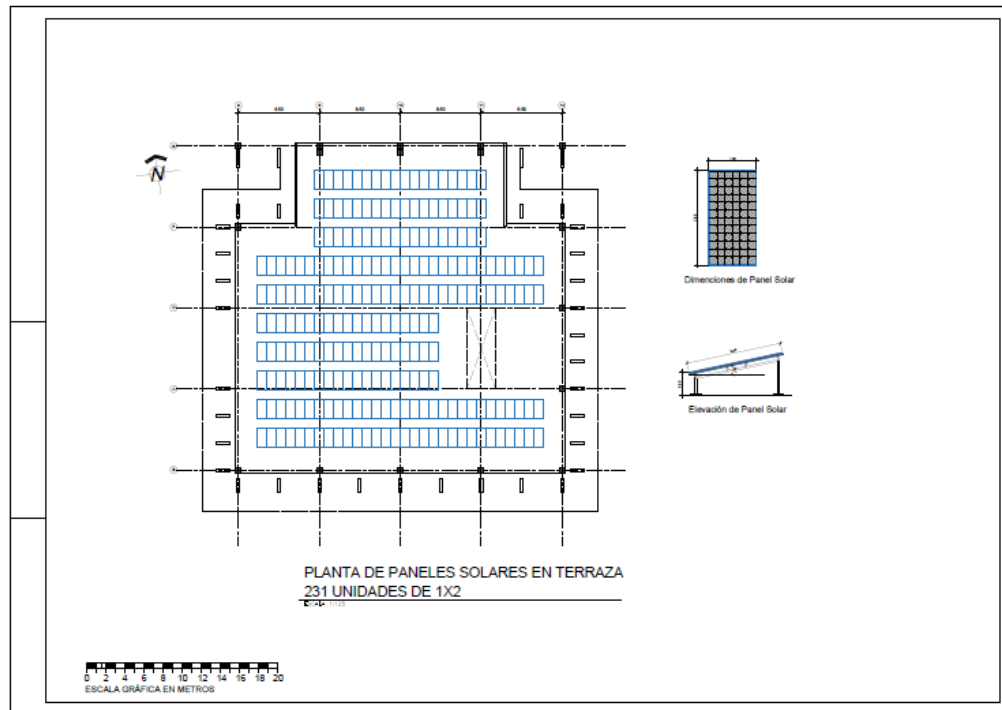
En la ubicación de los paneles en la terraza de este edificio, se tiene en cuenta que sobre el ala oeste se produce sombra, durante parte de la mañana, proyectada por el cuarto de máquinas ubicado en la parte central del edificio, por lo que los paneles se retiraron para evitar la afectación de dicha sombra.

Figura 145. **Disponibilidad de uso de terraza edificio La Torre**



Fuente: elaboración propia, azotea de edificio del MINFIN.

Figura 146. **Ubicación de paneles fotovoltaicos sobre la terraza (techo);  
del edificio El Anexo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Aunque este edificio es de menor altura que el de La Torre, su terraza es aprovechable, ya que se ve poco afectada por la proyección de la sombra del edificio La Torre, la mayor parte del tiempo de irradiación solar, está libre de la misma. Lo único que se tomó en cuenta para la distribución de los paneles, fue el tragaluz que permite luz cenital a los ambientes interiores.

El área disponible permite la colocación de 231 paneles fotovoltaicos por terraza, para un gran total de 462 paneles fotovoltaicos, los cuentan con una irradiación solar de 521 kWh-m<sup>2</sup>-año al menos por 4,6 horas al día.



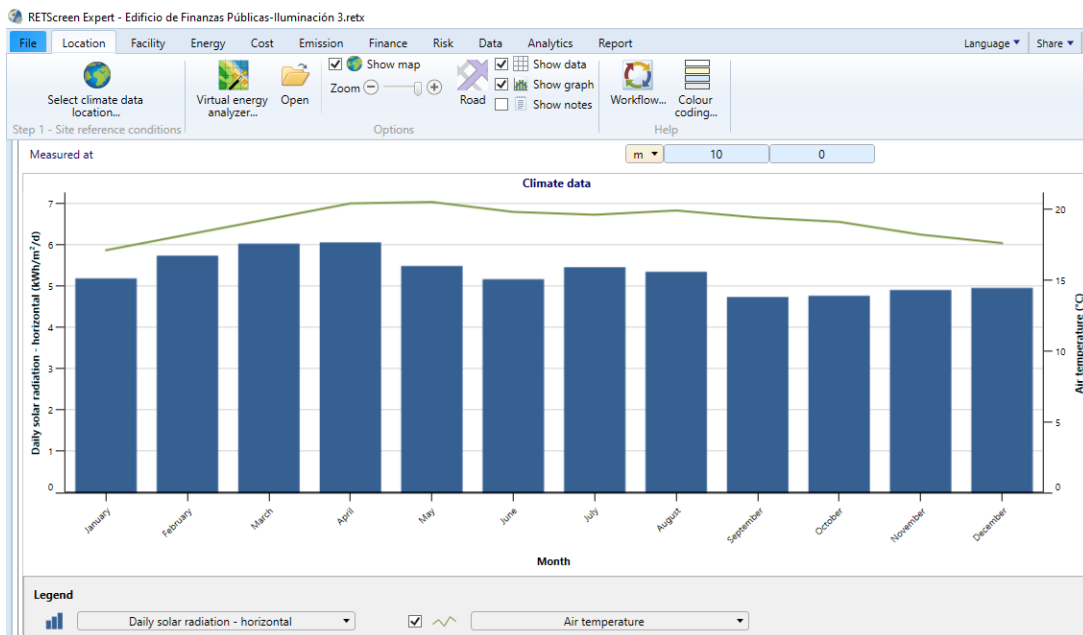
Tabla XXXVII. Datos de ubicación

Concepto	Dato
Latitud	14 ° 37' 42" N
Longitud	90 ° 30' 40" W
Elevación	1 501 msnm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Con estos datos el programa RETScreen®expert determina la irradiación solar.

Figura 147. Irradiación solar por mes



Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Tabla XXXVIII. Datos de energía generada

Concepto	Dato
<b>INSTALACIÓN</b>	
Modo de rastreo solar	Fijo
Inclinación de paneles	12° orientado hacia el sur
Azimut	7.5° SW
<b>PANEL FOTOVOLTAICO</b>	
Tecnología	Policristalino (Poly-Si)
Potencia máxima de panel en condiciones de laboratorio	315 watt
Cantidad de paneles	462 unidades
Capacidad total en kW	145.53
Fabricante	Rene Sola
Modelo	Virtus II
Eficiencia	10 %
Temperatura nominal de funcionamiento de celda:	45 °C (asignado por programa)
% de Pérdidas misceláneas	2 %
Coefficiente de temperatura	0.4 % - °C
<b>INVERSOR</b>	
Potencia	8 kW
Eficiencia	95 %
% de Pérdidas misceláneas	2 %
Costo inicial de sistema de paneles	Q 1 232 962,50 (\$164 395,00)
Costo inicial por kW	Q 8479,09 (\$ 1130,54)

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Con los datos de las tablas XXXVIII y XXXIX, el programa calcula la energía generada.

Tabla XXXIX. **Resumen energía generada / ahorro**

Concepto	Dato
Energía generada kWh-año (ahorrada)	<b>248 300 kWh - año</b>
Costo de energía ahorrada	Q 174, 852,86 (\$23 313,71)
Factor de capacidad	19,5 %

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Figura 148. **Datos resumen de programa**

Summary		
Capacity factor	%	19.5%
Initial costs	\$/kW	1,130
O&M costs (savings)	\$/kW-year	164,395
Energy saved	kWh	248,300

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Tabla XL. **Datos de energía consumida**

<b>Concepto</b>	<b>Dato</b>
Watt totales sistema actual	363 510
Watt totales sistema propuesto	81 216
Costo de kWh (Q)	Q 0,7042 (\$ 0,0933) (*)
Cantidad de luminarias existente (fluorescentes)	5193 (70 watt)
Cantidad de luminarias propuestas (panel led)	4320 (188 watt)
Costo total de luminarias, sistema propuesto	Q1 321 920,00 (\$176256,00)
Horas diarias de trabajo	10 (**)

Fuente: elaboración propia, empleando software Microsoft Word, los datos de facturación de la EEGSA y la encuesta a colaboradores del MINFIN

### 8.3. Evaluación de la rentabilidad de la propuesta

Para la evaluación de rentabilidad de la propuesta, existen los denominados Indicadores de viabilidad financiera. Los resultados del programa dan 4 indicadores que permitirán tomar las decisiones adecuadas.

- Evaluación de período de recuperación simple (*Simple Payback Period*) o (SPP), también se conoce como período de recuperación de la inversión (*Payback Period*). Esta evaluación permite determinar el número de años necesarios para recuperar una inversión inicial a través de los rendimientos de los proyectos.

La fórmula es:  $SPP = \text{Costo inicial} / \text{ahorro anual}$

La ventaja de esta este tipo de evaluación es la simplicidad y el fácil entendimiento. Presenta desventajas en el sentido que no considera el valor temporal del dinero y no considera ninguno de los costos o beneficios de la inversión después del período de recuperación.

No requiere una estimación específica de la vida útil del proyecto, pero supone que la vida útil es más larga que el periodo de recuperación. Lo recomendable es realizar este análisis acompañado de las metodologías de flujo de efectivo descontado.

- Tasa de descuento (TIR), conocida con sus siglas en inglés como (IRR) *Internal Rent of Return*. Es la Tasa de Descuento que hace que el valor presente neto (VPN) del proyecto sea cero. Si la tasa interna de retorno TIR es mayor que la tasa de descuento de la organización el proyecto es rentable, este indicador puede presentar algún tipo de análisis especial, si se presentan ciertas variantes en los flujos de caja, por lo que es importante tenerlo en cuenta, esto puede evaluarse con el método de la tasa interna de retorno modificada, también conocida como la *Modified Internal Rate of Return* (MIRR).
- Flujo de efectivo con descuento y el valor presente neto (VAN), también conocido como *Net Present Value* (NPV). El enfoque principal es reducir los flujos de caja de efectivo que ocurren en diferentes momentos a una base común a través de los usos de la tasa de descuento. Constituye un enfoque fundamental que es necesario utilizar para contabilizar correctamente los costos de energía y los ahorros en diferentes años.

Es importante tener en cuenta el concepto de la tasa de descuento o tasa mínima atractiva de devolución, conocida por sus siglas en inglés como (MARR), (*minimum attractive rate of return*). El valor de la misma es un valor específico que es dado por el Departamento de Contabilidad Corporativo de la empresa u organización, es el valor usado para la evaluación de inversiones. La magnitud de la misma depende de la fuente de capital que se usará para financiar el proyecto, en otras palabras, su magnitud dependerá de la mezcla de capital y

deuda que se utilice para financiar el proyecto. También es conocida como el costo de capital ponderada promedio o *Weigthed Average Cost of Capital* (WACC).

El programa realiza la evaluación tomando en cuenta la fórmula para proyectos finitos. Si los valores para el Valor Presente Neto son Positivos el proyecto es viable.

- Relación costo-beneficio (RBC), *Benefit-Cost Ratio*, (B-C), calcula el valor presente de todos los beneficios y calcula el valor presente de todos los costos; toma la relación de las dos sumas. Es importante tener en cuenta las definiciones precisas de los que se considera como un costo y lo que se considera como un beneficio. Los beneficios consideran todas las ventajas y también las desventajas para el usuario. Por otro lado, los costos consideran los costos menos los ahorros en los que incurre el patrocinador. Se necesita una relación beneficio/costo mayor que 1, para que el proyecto sea rentable, un valor razonable podría ser entre 1,25 y 1,5.

Para el análisis financiero y emisión de gases de efecto invernadero se utiliza el software RETScreen®expert. Para lo cual hay que, adicionalmente a los datos de costo de energía ahorrada, consumida y localización del edificio, se deben aportar también los siguientes datos:

Tabla XLI. Datos del edificio MINFIN

Concepto	Dato
Área del edificio La Torre (oficinas)	30592 m <sup>2</sup>
Tipo de instalación	Institucional – comercial
Tipo de actividad	Oficinas
Punto de evaluación comparativa ( <i>Benchmark</i> )	245 watt/m2

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Tabla XLII. Datos de costos y ahorro

Concepto	Monto Asignado (Input)
<b>Costos iniciales</b>	
Estudio de factibilidad	Q 15 000,00 (\$ 2000,00)
Diseño y planificación	Q 10 000,00 (\$ 1333,33)
Montaje y desmontaje de luminarias	Q 233 460,00 (\$ 31 128,00)
Montaje de sistema fotovoltaico y conexiones	Q 39 000,00 (\$ 5200,00)
Imprevistos en montaje de luminarias	Q 7 000,00 (\$ 933,00)
Inversión inicial en luminarias y FV	Q 2 555 286,75 (\$ 340, 704,90)
<b>TOTAL</b>	<b>Q 2 859 746,75 (\$ 381 299,56)</b>
<b>COSTOS ANUALES</b>	
Mantenimiento y monitoreo	Q 13 500,00 (\$ 1 800,00)
Costo de consumo por operación (kWh-Año) sistema iluminación propuesto	Q 114 753,6 (\$ 15 300,00)
<b>TOTAL</b>	<b>Q 128 253,62 (\$ 17 100,48)</b>
<b>GASTOS NO EFECTUADOS (AHORRO)</b>	
Costo consumo (kWh-año) de sistema de iluminación actual	Q 513 619,27 (\$ 68 482,56)
<b>TOTAL</b>	<b>Q 513 619,27 (\$ 68 482,56)</b>

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Tabla XLIII. **Parámetros financieros**

Concepto	Asignación
<b>Generales</b>	
Tasa de aumento en costo combustible	2 %
Tasa de inflación	6 %
Tasa de descuento	25 %
Tasa de reinversión	12 %
Vida útil del proyecto	20 años
<b>FINANCIAMIENTO</b>	
Tasa de endeudamiento	50 %
Deuda	Q 1 429 873,37 (\$ 190 649,78)
Inversión	Q 1 429 873,37 (\$ 190 649,78)
Tasa de interés de la deuda	20 %
Tiempo del endeudamiento	14 años
<b>IMPUESTOS</b>	
ISR	25%
Método de depreciación	Línea recta
Base de la tasa de depreciación	96.6 %
Período de depreciación	20 años

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Tabla XLIV. **Indicadores financieros para evaluación del proyecto**

Pre-tax IRR - equity	%	44.1%
Pre-tax MIRR - equity	%	19.8%
Pre-tax IRR - assets	%	23.2%
Pre-tax MIRR - assets	%	15.7%
After-tax IRR - equity	%	35.1%
After-tax MIRR - equity	%	18.3%
After-tax IRR - assets	%	18.2%
After-tax MIRR - assets	%	14.2%
Simple payback	yr	3.2
Equity payback	yr	3
Net Present Value (NPV)	\$	155,665
Annual life cycle savings	\$/yr	31,967
Benefit-Cost (B-C) ratio		1.8
Debt service coverage		2.9
GHG reduction cost	\$/tCO <sub>2</sub>	-46.1

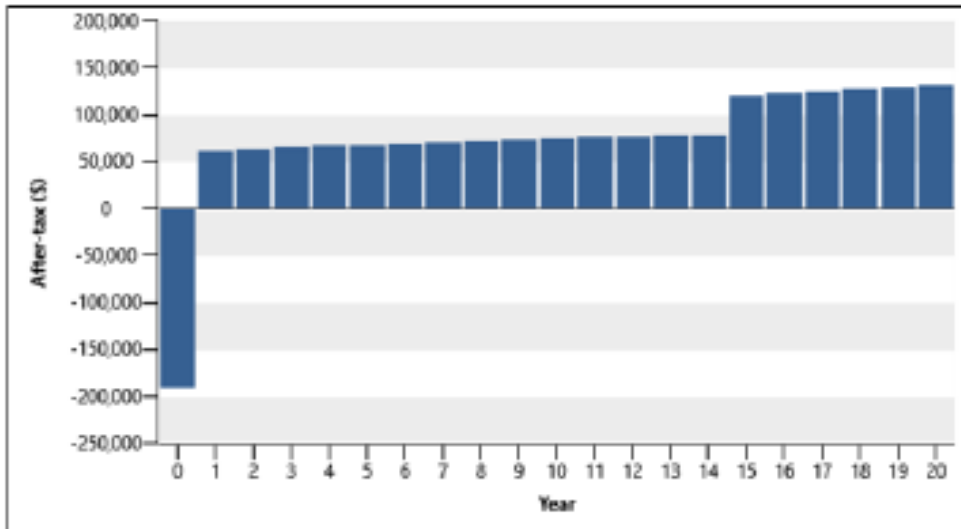
Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.



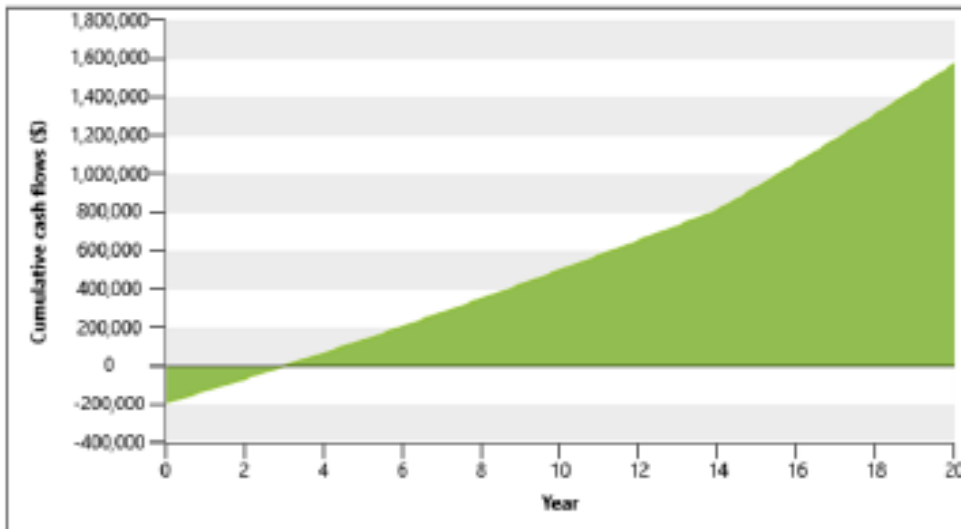
Figura 149. Gráfico de flujo de caja

### Cash flow

#### Annual

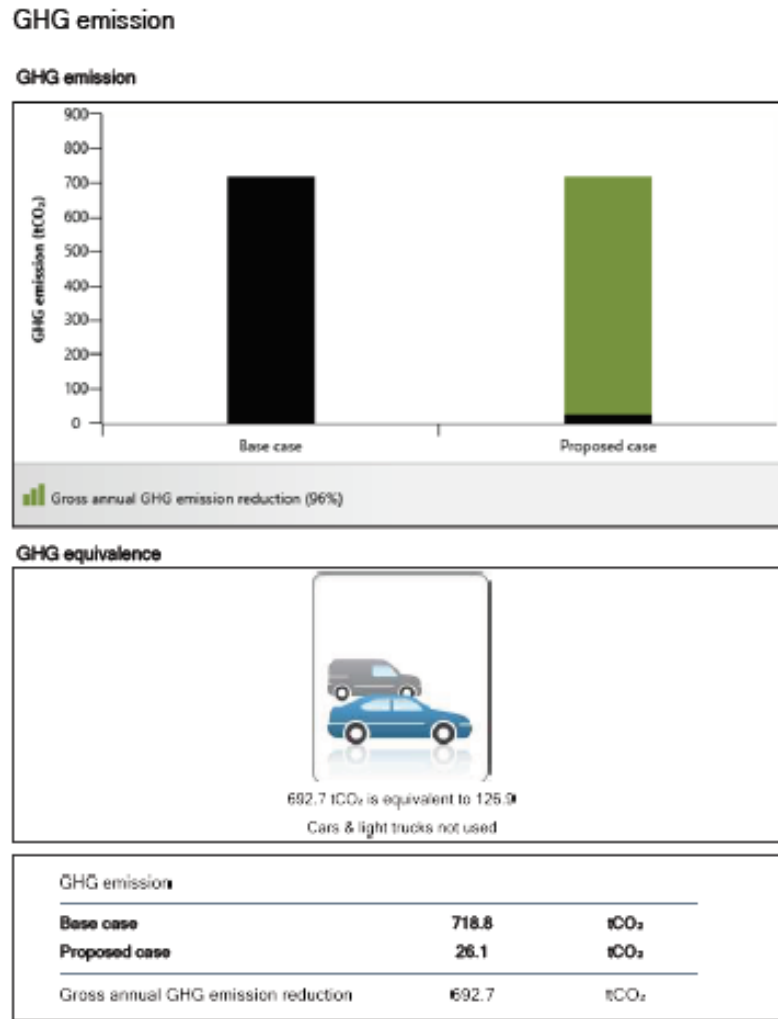


#### Cumulative



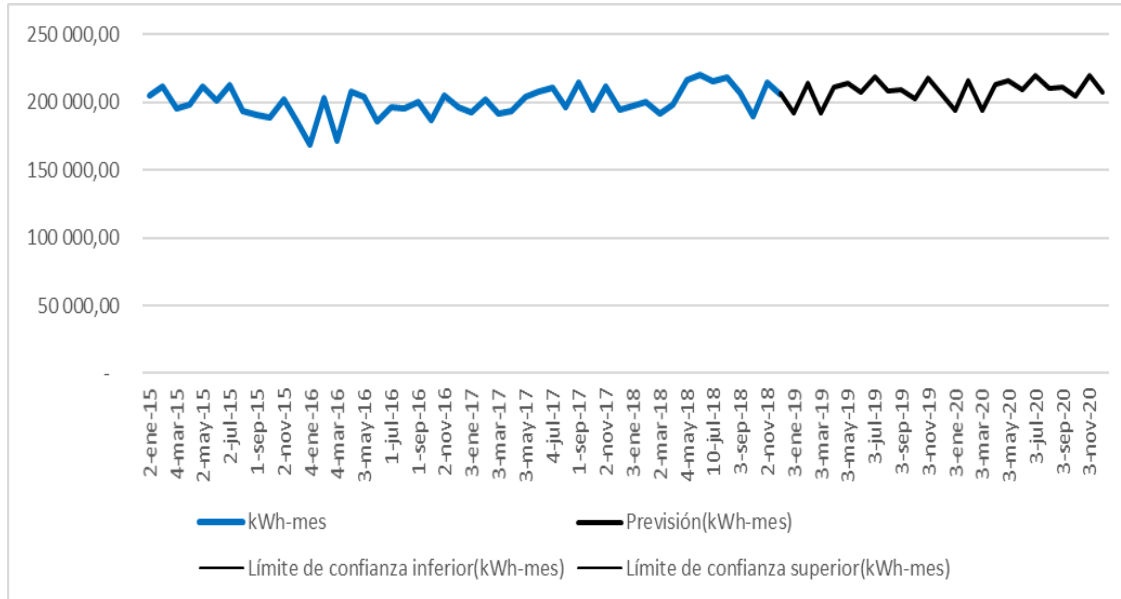
Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert

Figura 150. Ahorro de gases de efecto invernadero (GEI)



Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen®expert.

Figura 151. **Pronóstico de consumo de energía sin aplicación de medidas de mejora fecha límite diciembre 2020**

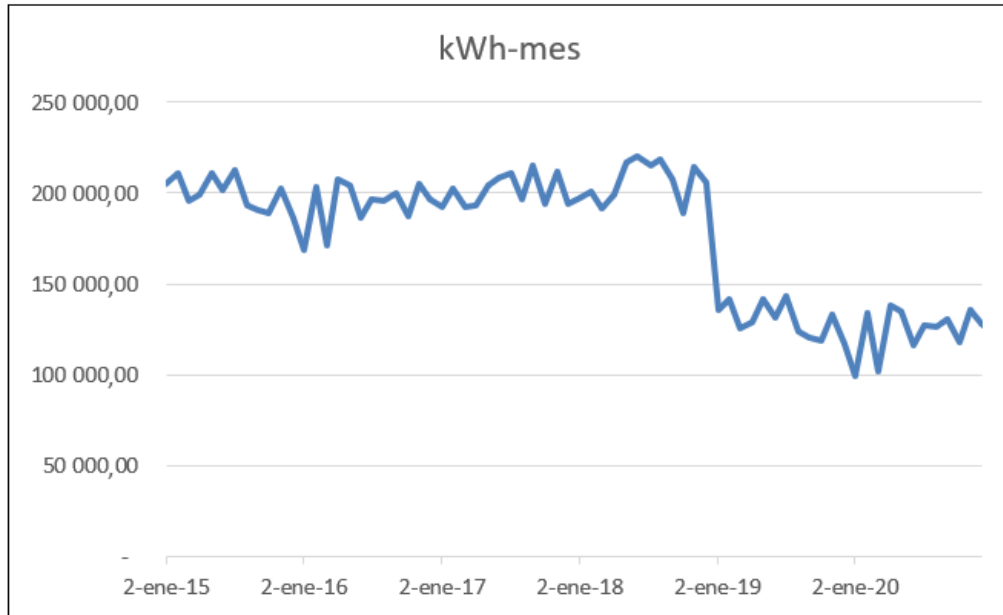


Fuente: elaboración propia, con datos de facturas EEGSA 2015/18.

En la figura 151, se puede apreciar que, de no implementar ningún cambio, el pronóstico es que el consumo se mantendrá igual, con una ligera tendencia al alza.

En relación con costo, hay que tomar en cuenta que las nuevas tarifas se basarán en la banda horaria, aunque el consumo se mantenga con poca variación, el incremento en la facturación será apreciable.

Figura 152. **Proyección de consumo si se aplican las medidas de mejora, (sustitución de luminarias edificio La Torre y generación fotovoltaica)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La figura 152, muestra claramente el efecto en el decremento del monto de la energía que se requiere de la empresa suministradora, (EEGSA), lo cual representa una disminución de la facturación.

Si a este ahorro se le adiciona el que representa el ajuste al monto de la potencia contratada, el ahorro económico se estaría situando al menos en un 40 % de la facturación actual.



## CONCLUSIONES

Al sistema eléctrico subestación y tableros principales:

1. Los registros de mediciones de corrientes (valores promedio) de fases no superaron los 830 amperios en ambos transformadores, al tomar de referencia que la capacidad de los mismos es de 1 MW, y su disponibilidad de corriente, según placa, es de 2661 amperios. Se concluye que las barras y componentes de la subestación unitaria están cargados al 31,2 %, lo que implica que tienen un margen para ampliar la carga en un 68,8 %, y que no existen problemas de sobrecalentamiento por sobrecarga. Los interruptores termomagnéticos de protección de barras son de 3 000 amperios nominales y las barras de 4 000 amperios.
2. Los cables de alimentación (7#350 MCMxf+7# 350 MCM p/ neutral) al tablero TD E1, (cargas críticas) pueden conducir al 80 % de su capacidad, 1 960 amperios. Los datos registrados en el período de medición no superaron los 800 amperios. Se concluye que dichos conductores están trabajando a un 40 % de su capacidad lo que da un rango de holgura del 60 %, esto se traduce que no existes problemas de sobrecalentamientos.
3. El ducto barra de alimentación a las cargas de servicio normal del edificio La Torre, salen de la subestación transformador 1, pues no existe otro ramal derivado de las barras. Las corrientes registradas en dicho transformador son las mismas que se conducen por el ducto barra en mención y las conclusiones son las mismas.

4. La capacidad del neutral es la misma que la capacidad de los conductores de fase; esto, da robustez y seguridad al sistema, ya que, en el caso de subir el amperaje en dicho conductor por el contenido armónico, podría absorber esta elevación sin poner en riesgo la instalación, aunque esto de ninguna manera mitiga, ni es la solución, por lo menos, no lo agrava.
5. El sistema de transferencia automática del tablero TD E1 está compuesto por dos interruptores tipo ACB con enclaves eléctricos y mecánicos.
6. La subestación cuenta con un mecanismo de acople o desacople entre transformadores, lo cual puede ser utilizado para, poder transferir la carga actual a un único transformador, y mejorar su eficiencia, o bien, para darles mantenimiento.
7. La capacidad de los interruptores de salida de los transformadores es de 3 000 amperios y las barras de 4 000 amperios, lo cual permitiría, sin problemas, transferir la carga a un solo transformador, esto puede mejorar la eficiencia en la operación de los mismos.
8. Los Interruptores termomagnéticos de los tableros principales de la subestación son de gran robustez,  $I_{cs} = I_{cu}$
9. Existe un buen sistema de tierra en la subestación, el mismo se mantiene en buen estado.
10. Existen dos sistemas de pararrayos, pero, según normativa respectiva, no se cumple con el número de bajantes para un edificio de esta envergadura.

11. No se registraron problemas de sobre temperatura en los elementos de la subestación.

Calidad de energía:

12. Según los informes de cumplimientos de la norma EN 50160, obtenidos del Equipo Dranetz Clase A (ver figura 104), instalado en el punto de acople en la subestación (ver figura 46), respecto a los parámetros que inciden en el concepto de calidad de la energía de suministro de energía, de la normativa en mención, y que se mostraron a lo largo de este capítulo, se concluye que dentro de los períodos de medición realizados en ambos transformadores, tanto el voltaje de suministro, el parpadeo, el desequilibrio del voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, cumplen con dicha norma. Se presentaron varios eventos transitorios que quedaron registrados en la curva ITC, de los cuales 8 fueron de bajo curva, y ninguno sobre la curva. El que no se hayan dado eventos sobre la curva es de sumo interés. Se presentó una interrupción de energía. Existe un desbalance considerable de corrientes de las fases y un THDi considerable, pero que no logran tener impacto en el desbalance del Voltaje y el THD<sub>V</sub>.
13. La Norma Técnica del Sistema de Distribución (NTSD) especifica valores para la tolerancia admisible para la regulación de la tensión (voltaje) del 8 % en el servicio urbano, en la etapa de régimen a partir del mes 13, en el servicio urbano en baja tensión, parámetro que se cumplió en los períodos de medición.
14. La Norma Técnica del Sistema de Distribución (NTSD) especifica valores para la tolerancia en el desbalance de la tensión (voltaje), del 3 % en el



servicio urbano, en la etapa de régimen a partir del mes 13, parámetro que cumplió en los períodos de medición.

15. Respecto a la distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor, la NTSD, estipula un valor de 8 % máximo para la DATT, valor que también se cumple en los períodos de medición.
16. El parpadeo tiene para su índice de severidad de corto plazo ( $P_{st}$ ) una tolerancia menor a la unidad, valor que también se cumple en el período de medición.
17. Respecto a la distorsión armónica de la corriente generada por el usuario, la cual tiene para la DATI una tolerancia de 20 % máximo, es un valor que se cumple en las 3 fases, pero, fue sobrepasado en el conductor neutral, hecho que debe ser estudiado con más detenimiento y controlado.

Uso de la energía y eficiencia energética:

18. La mayor carga instalada está en el sistema de iluminación, seguida por los equipos de oficina, luego está los equipos como aire acondicionado, bombas y ascensores. (Pareto, capacidad instalada por tipo de carga)
19. El mayor consumo de energía se da en la iluminación y la alimentación de equipos de oficina, le siguen los equipos de aire acondicionado, los ascensores y, por último, se sitúan los equipos de bombeo de elevación y pozo. (Pareto, uso de la energía)

20. La mejor opción para buscar la eficiencia, así como la implementación de nuevas tecnologías, se da en el sistema de iluminación y la alimentación de los equipos de oficina.
21. Se concluye que el consumo de la energía con base al historial de consumo de 4 años, tendrá una ligera tendencia al alza en los próximos años, por lo que es urgente plantear, de acuerdo a los objetivos del presente trabajo, soluciones que permitan el ahorro y la eficiencia energética.
22. Que el valor de la potencia contratada puede ser reducida al 60 %, con el correspondiente ahorro en su cobro.
23. Con base en los resultados de la encuesta y al diagrama de Pareto del uso de la energía, se plantea la reducción de un 60 % del consumo de energía en modo espera, (*standby* o fantasma).
24. Con base en diagrama de Pareto del uso de la energía y al censo de cargas, se plantea el uso de tecnología led, para la sustitución de las luminarias de La Torre, el Anexo y los sótanos, con lo que se obtuvo un ahorro considerable en el consumo.
25. Se opta por la generación de energía por el sistema fotovoltaico, como fuente renovable de la misma.
26. Se concluye que con la propuesta técnica de sustituir las luminarias de 16 niveles del edificio La Torre por paneles led, en vez de las existentes fluorescentes, y al generar energía con 462 paneles solares ubicados en las terrazas de ambos edificios, se logra un proyecto rentable, con los

siguientes indicadores financieros: una tasa interna de retorno del 44,1 % (TIR) mayor que la tasa de descuento asumida del 19,8 %, un valor presente neto, con valor positivo (\$ 155 665), una relación beneficio-costo, (RBC) mayor a 1,5 y un período de retorno simple de 3,2 años, menor a la vida útil del proyecto.

27. La eficiencia lograda por el cambio de tecnología, aunada a la generación con fuentes renovables, permite una reducción de los gases de impacto invernadero (GEI) en 692,70 tCO<sub>2</sub>e, al usar el factor de red para el sistema de Guatemala, el cual se basa en la matriz de generación.
28. Los factores que ponen en mayor riesgo la inversión son: el costo de la energía y el costo de los equipos y luminarias a implementar, la tasa de interés se sitúa en un tercer lugar en su aportación al riesgo.
29. El consumo de energía con las implementaciones podrá tener un valor del 60 % del consumo actual.
30. Al implementarse las medidas planteadas, el MINFIN estará cumpliendo con el Plan Nacional de Energía 2017-2032

## RECOMENDACIONES

1. Implementar una política energética en el MINFIN, de manera de lograr los objetivos en la eficiencia energética.
2. Hacer un estudio comparativo (*benchmark*) con otros edificios que brinden este tipo de servicio y, de preferencia, con las dimensiones y características similares, con el fin de tener una base de datos.
3. Realizar un estudio de cortocircuito, para realizar una coordinación de protecciones con base en las curvas de disparo de los interruptores termomagnéticos de la subestación y tableros principales, tanto de emergencia como normales.
4. Realizar un balance o equilibrio en las fases, aunque hay métodos y programas que permiten evaluar y proponer soluciones para dicha solución, la misma, está fuera del alcance de este trabajo.
5. Realizar un estudio del THDi en los ramales que alimentan equipos con variadores de frecuencia, y lo amerita; colocar filtros ya sea pasivos o activos, para poder controlar los efectos de la misma y que no afecten red aguas arriba.
6. Hacer un estudio minucioso de la frecuencia de la armónica que puede estar causando un problema de disparo en el banco de condensadores colocado en el tablero TDE 1.1. Si bien es cierto, que el parámetro de la

THD<sub>v</sub> está en norma, no implica que una en especial esté ocasionando el problema en mención.

7. Retirar del recinto de la subestación las luminarias en desuso, así como el tanque de combustible.
8. Solicitar las pruebas en vacío y baja carga de los transformadores a la empresa que les brinda mantenimiento.
9. Analizar la posibilidad, en función de la eficiencia y de la carga actual instalada, trabajar con un solo transformador.
10. Bajar el valor de la potencia contratada.
11. Analizar, tomando en cuenta todos los factores involucrados, la posibilidad de inscribirse como gran consumidor ante el distribuidor.
12. Realizar un plan de mantenimiento en los tableros de los sótanos.
13. Implementar automatización para el funcionamiento de los equipos de bombeo ubicado en el sótano, además de habilitar la bomba que se encuentra en desuso.
14. Hacer, al menos, dos bajantes para el sistema de pararrayos del tipo de dispositivo de cebado.
15. Gestionar ante el Ministerio de Energía y Minas, mediante el procedimiento dictado en el Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, que se conozca, evalúe

y califique la presente propuesta de generación de energía renovable, para el edificio del MINFIN, y así obtener la calificación.

16. Gestionar ante el Ministerio de Energía y Minas la certificación de reducción de emisiones, en el que se hace constar que el proyecto desarrollado utiliza fuentes de energía renovable.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AChEE *Guía de Implementación de sistemas de Gestión de Energía basado en la ISO 5001*. Chile: Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2018. 32 p.
2. CAPEHART, Bayne; TURNER, Wayne; KENNEDY, William. *Guide to Energy Management*. Estados Unidos: The Fairmont Press Inc., 2016. 749 p.
3. COGUANOR NTG/ISO 50001 (Traducción Oficial). *Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso*. Guatemala: COGUANOR, 2011. 32 p.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas del Servicio de Distribución –NTSD- Resolución CNEE No. 09-99*. Guatemala: CNEE, 1999. 114 p.
5. Copper Development Association. *Power Quality Application Guide, Voltage Disturbance*. [en línea]. <<https://copperalliance.org.uk/knowledge-base/resource-library/power-quality-utilisation-guide/>>. [Consulta: 25 de mayo de 2020].
6. Diagnósticos Energéticos. *Programa Integral de Asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica de Guatemala*. Guatemala: FIDE y CNEE., 2010. 67 p.



7. Dranetz BMI. *Field Handbook for Power Quality Analysis*. Estados Unidos: Dranetz, 2003. 283 p.
8. Dranetz Standard for Energy & Power Measurement in partnership with the NJATC. *Power Quality Analysis*. Estados Unidos: Dranetz, 2010. 229 p.
9. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto, *La calidad de la energía en los sistemas eléctricos*. México: Limusa, 2009. 457 p.
10. European Standard. *EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution system*. Bélgica: CENELEC, 2010. 44 p.
11. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. *IEEE Recommended Practice and Requirements form Harmonic Control in Electric Power System*, Estados Unidos: IEEE, 2014. 17 p.
12. Ministerio de Energía y Minas; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Plan nacional de energía 2017 – 2032*. Guatemala: MEM, 2017. 101 p.
13. Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2013 – 2027*. Guatemala: Gobierno de Guatemala, 2017. 51 p.
14. PEREZ, Ángel; BRAVO, Nicolas; LLORENTE, Manuel. *La Amenaza de los Armónicos y sus soluciones*. España: Thomas / Paraninfo, 2007. 205 p.

15. Phillips. *Manual de Alumbrado*. España: Paraninfo, 1975. 327 p.
16. RETScreen International. *Clean Energy Project Analysis, Engineering & Cases Textbook*. 3a ed. Canada: Natural Resources, 2005. 456 p.

