



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

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

Werner René Urizar Muñoz

Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA
ELÉCTRICA, EN EDIFICIO 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

WERNER RENÉ URIZAR MUÑOZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ALBERTO NAVARRO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. 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 AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, EN EDIFICIO 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 Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de octubre de 2018.

Werner René Urizar Muñoz

Guatemala, Enero 13'2020.

Ingeniero
Ing. Oscar Argueta Hernandez
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad.

Estimado Ing. Argueta:

Por este medio hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante Werner René Urizar Muñoz CUI 1692215390901 y registro académico 8013872 con título "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, EN EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS-MINFIN-, A TRAVÉS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS-MEM-, considerando que el mismo cumple a cabalidad con los objetivos propuestos al momento de su aprobación.

Por lo tanto, lo remito a su persona que sirva continuar con el trámite respectivo, además de que el autor como el suscrito en calidad de ASESOR NOMBRADO, somos responsables del contenido del trabajo de graduación.

Atentamente,



Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes

Asesor

Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes
Ingeniero Electricista
Colegiado 8339

Guatemala, 30 de septiembre de 2020.
Ref.EPS.DOC.333.09.2020.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

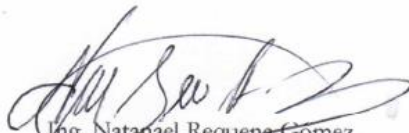
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Werner René Urizar Muñoz** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **8013872 y CUI 1692 21539 0901**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, EN EDIFICIO 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 Requena Gómez
Asesor-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 30 de septiembre de 2020.
Ref.EPS.D.152.09.2020.

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

Estimado Ingeniero Rivera Castillo:

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 AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, EN EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS-MINFIN-, A TRAVES DEL MINISTERIO DE ENERGÍA y MINAS-MEM-," que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Werner René Urizar Muñoz**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes y supervisado por el Ing. Natanael Requena Gómez.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
- ESCUELA INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA

Ref. EIME 12. 2021-
Guatemala, 4 de FEBRERO 2021.


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

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN AHORRO Y USO
EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DEL
MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS-MINFIN-, A TRAVÉS
DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS -MEM- del
estudiante, Werner René Urizar Muñoz, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Fermamdo Alfredo Moscoso Lira
Coordinador Área de Potencia

SFO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA

REF. EIME 12. 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; WERNER RENÉ URIZAR MUÑOZ titulado: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD EN AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO 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, 4 DE FEBRERO 2,021.

DTG. 321-2021

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

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por permitirme llegar a cumplir una de mis más grandes metas, por sus infinitas bendiciones y perdón en mi vida.

Mis padres

José Luis Urizar Mendoza y Almira Floridalma Muñoz Fuentes de Urizar, toda mi vida les agradeceré mi existencia, sus enseñanzas, consejos, apoyo y su amor incondicional.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por brindarme los estudios y formación como estudiante y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por permitirme llegar a cumplir una de mis más grandes metas, por sus infinitas bendiciones y perdón en mi vida.
- Mis padres** José Luis Urizar Mendoza y Almira Floridalma Muñoz Fuentes de Urizar, por brindarme sus consejos, apoyo en mis estudios y en mi vida.
- Mi esposa** Ruth Nohemí Morán Quevedo de Urizar, por su apoyo para este logro y su amor infinito.
- Mis hijos** Carlos Alberto, Karen y Stephany Urizar Morán, por brindarme su apoyo, ánimo y amor.
- Mis amigos** Juan José Morales y Juan Francisco García, por su apoyo y ánimo.
- PADEGUA** Por ser la empresa que además de trabajo, me brindó la oportunidad para este logro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN.....	1
1.1. Reseña histórica.....	1
1.2. Misión.....	1
1.3. Visión.....	1
1.4. Valores.....	1
1.5. Funciones.....	2
1.6. Normas ISO.....	3
1.6.1. ISO 50001.....	5
1.6.2. ISO 50002.....	6
2. GENERALIDADES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	9
2.1. Definición de instalación eléctrica.....	9
2.2. Objetivos de una instalación eléctrica.....	9
2.2.1. Seguridad.....	9
2.2.2. Eficiencia.....	10
2.2.3. Economía.....	10
2.2.4. Flexibilidad.....	10
2.2.5. Accesibilidad.....	10

2.3.	Elementos de una instalación eléctrica	10
2.3.1.	Acometida	11
2.3.2.	Centro de carga	11
2.3.3.	Conductores.....	11
2.3.4.	Pruebas para conductores.....	12
2.3.4.1.	Pruebas de recepción.....	13
2.3.4.2.	Pruebas en sistema de puesta a tierra.....	21
2.3.5.	Canalización.....	24
2.3.5.1.	Tubos conduit	24
2.3.5.2.	Ductos.....	25
2.3.6.	Protecciones eléctricas.....	25
2.3.6.1.	Fusibles	26
2.3.6.2.	Interruptores termomagnéticos.....	26
2.3.6.3.	Relevadores.....	27
2.4.	Sistema de puesta a tierra	30
2.4.1.	Conexión a tierra.....	31
2.4.2.	Resistividad eléctrica de tierra.....	31
2.4.3.	Elementos principales del sistema de puesta a tierra	32
2.4.3.1.	Electrodos de conexión a tierra	32
2.4.3.2.	Líneas de enlace a tierra	32
2.4.3.3.	Puntos de conexión a tierra.....	32
2.4.4.	Líneas principales de tierra.....	32
2.4.5.	Conductores de protección	33
2.4.6.	Tomacorrientes con SPT para uso doméstico y uso general.....	33
2.4.7.	Clases de electrodos	34

2.4.7.1.	Electrodo de varilla de acero recubierto de cobre	34
2.4.7.2.	Estructura metálica del edificio	35
2.4.7.3.	Electrodos de concreto armado o UFER	35
2.4.7.4.	Anillo de tierra	36
2.4.8.	Conectores	36
2.4.9.	Mejoramiento de resistencia a tierra.....	37
2.4.10.	Clasificación de los sistemas de puesta a tierra por su uso	37
2.4.10.1.	Sistema de puesto a tierra para protección	38
2.4.10.2.	Sistema de puesto a tierra para funcionamiento.....	38
2.4.10.3.	Sistema de puesto a tierra provisional ...	38
2.5.	Sistema de pararrayos	38
2.5.1.	Pararrayos.....	39
2.5.2.	Tipos de pararrayos	40
2.5.2.1.	Pararrayos punta simple Franklin (PSF).....	40
2.5.2.2.	Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)	41
2.5.2.3.	Pararrayos avanzados.....	42
2.5.3.	Diseño de protección contra rayos	43
2.5.3.1.	Método de la esfera rodante.....	43
2.5.3.2.	Método del ángulo de protección	44
2.5.3.3.	Método de enmallado	45
2.5.4.	Normativa de pararrayos.....	45
2.5.5.	Accesorios.....	46

2.6.	Supresores de tensión	46
2.6.1.	Ventajas y desventajas	46
2.6.2.	Tipos de supresores de tensión.....	47
2.6.2.1.	Supresores contra sobretensiones permanentes.....	47
2.6.2.2.	Supresores contra sobretensiones transitorias	48
2.6.3.	Selección del supresor de tensión.....	48
2.6.3.1.	Supresores tipo 1.....	49
2.6.3.2.	Supresores tipo 2.....	49
2.6.3.3.	Supresores tipo 3.....	50
2.7.	Banco de capacitores.....	50
2.8.	Diagrama unifilar	52
2.8.1.	Elementos típicos en un diagrama unifilar.....	52
2.8.2.	Normas aplicadas a los diagramas unifilares	53
2.9.	Análisis de cortocircuito	54
2.9.1.	Qué es el cortocircuito y su importancia en el sistema eléctrico	54
2.9.1.1.	Definición	55
2.9.1.2.	Objetivo de un estudio de cortocircuito	56
2.9.1.3.	Importancia del estudio de cortocircuito	56
2.9.1.4.	Fuentes alimentadoras de corrientes de cortocircuito.....	58
2.9.2.	Los tipos de fallas más recurrentes en la instalación eléctrica y métodos de solución	61
2.9.2.1.	Características del cortocircuito	62
2.9.2.2.	Fallas más comunes en el sistema	66

	2.9.2.3.	Métodos de solución	67
3.		ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	73
	3.1.	Fluctuaciones de voltaje.....	73
	3.2.	Sobretensiones transitorias.....	74
	3.3.	Interrupciones de energía	75
	3.4.	Ruido eléctrico (interferencia)	76
	3.5.	Armónicas	76
	3.5.1.	La importancia de las armónicas en los sistemas actuales.....	77
	3.5.2.	Fuentes de armónicas.....	77
	3.5.2.1.	Fuentes tradicionales de armónicas	77
	3.5.2.2.	Fuentes nuevas de armónicas.....	78
	3.5.2.3.	Fuentes futuras de armónicas	78
	3.5.3.	Efectos de armónicas.....	79
	3.5.4.	Factor K.....	80
	3.6.	Normas aplicables a la calidad de energía eléctrica	81
	3.7.	Instrumento utilizado para la medición de la calidad de energía	96
	3.7.1.	Analizador de red clasificación A Dranetz	97
	3.7.2.	Características técnicas	98
	3.7.3.	Aplicaciones	100
4.		EFICIENCIA ENERGÉTICA	101
	4.1.	Ahorro energético.....	103
	4.2.	Cambio tecnológico.....	104
	4.2.1.	Tecnologías de iluminación	104
	4.2.2.	Tecnologías de aire acondicionado	110
	4.2.3.	Tecnologías de máquinas eléctricas.....	112

4.3.	Etiquetas energéticas.....	114
5.	DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES EN EL EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS MINFIN.....	117
5.1.	Descripción del edificio	117
5.1.1.	Ubicación	117
5.1.2.	Detalles del edificio	118
5.1.3.	Instalaciones eléctricas.....	122
5.1.4.	Inventario de equipos de oficina e iluminación	141
5.2.	Mediciones y análisis	147
5.2.1.	Equipo utilizado para mediciones	148
5.2.2.	Mediciones y análisis en transformador 1	149
5.2.2.1.	Análisis de tensión.....	149
5.2.2.2.	Análisis de intensidad.....	158
5.2.2.3.	Factor K en transformador 1.....	163
5.2.2.4.	Frecuencia de tensión	164
5.2.2.5.	Análisis de demanda y energía	166
5.2.2.6.	Análisis de potencia.....	167
5.2.2.7.	Informe de cumplimiento	169
5.2.2.9.	Hábitos de consumo	177
5.2.3.	Mediciones y análisis en iluminación.....	179
6.	PROPUESTAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	189
6.1.	Implementar otra fuente de energía eléctrica	189
6.1.1.	Sistema eólico/turbinas eólicas	189
6.1.1.1.	Ubicación del MINFIN.....	190
6.1.1.2.	Datos.....	192
6.1.1.3.	Equipo propuesto.....	195

6.1.1.4.	Normativas	203
6.2.	Cambio de sistema de iluminación	204
6.2.1.	Diseño de iluminación propuesto para áreas de oficinas en edificio torre	204
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	207
7.1.	Presupuesto de sistema eólico	207
7.2.	Presupuesto de Sistema de Iluminación.....	208
7.3.	Resumen de presupuestos de sistemas eólico y de iluminación	209
CONCLUSIONES		215
RECOMENDACIONES.....		217
BIBLIOGRAFÍA.....		219

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquemas eléctricos de relevador.....	29
2.	Diagrama e imagen de relé electromagnético	30
3.	Contribuciones de distintas fuentes a la corriente de cortocircuito	61
4.	Asimetría de la corriente de cortocircuito	64
5.	Aportación de corriente de cortocircuito de diversas fuentes.....	65
6.	Fotografía del sector donde se ubica el Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN	118
7.	Fotografía de la torre y anexo del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN	120
8.	Fotografía de la torre del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN.....	120
9.	Plano de torre y anexo.....	121
10.	Plano de sótano (3 niveles)	122
11.	Diagrama unifilar general del MINFIN	124
12.	Distribución de equipos en subestación	125
13.	Subestación unitaria 2 MW (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11)	126
14.	Transformador seco (4-10)	127
15.	Medidor de energía en subestación	129
16.	Interruptor combinado con fusibles de media tensión en subestación	130
17.	Tablero de distribución de emergencia TDE 1 (12-13-14)	131
18.	Interruptor tipo ACB (<i>Air Circuit Breaker</i>) en tablero de distribución TDE 1	132

19.	Planta de Emergencia 725 kW (Equipo Electrónico) (15).....	132
20.	Tablero de distribución normal TDN 1 (16)	133
21.	Tablero TDN 1 (16) (ver banco de capacitores)	133
22.	Unidades del sistema de alimentación ininterrumpida y tablero de derivación (bypass) interno.....	134
23.	Tablero de derivación (<i>bypass</i>) externo	134
24.	Bandeja porta cable en subestación	135
25.	Ducto barra en subestación.....	135
26.	Canaleta metálica en ducto vertical de torre	136
27.	Caja de registro del sistema de puesta a tierra en subestación	137
28.	Conexión entre barra de neutro y barra de tierra en subestación.....	137
29.	Medición de tierra en subestación.....	138
30.	Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)	139
31.	Pararrayos punta simple Franklin (PSF)	139
32.	Tableros ubicados en sótanos.....	140
33.	Tableros ubicados en cuarto de estación de bombeo.....	141
34.	Distribución de cargas eléctricas nivel 7	143
35.	Distribución de cargas eléctricas nivel 12	145
36.	Distribución de cargas eléctricas nivel 15	147
37.	Analizador de Redes, marca Dranetz, modelo HDPQ <i>Guide</i> Clasificación A	148
38.	Registrador de redes, marca AEMC, modelo PEL 105.....	148
39.	Luxómetro, marca IMPELSA, modelo 6610	149
40.	Gráficas de tensión fases y neutro	150
41.	Gráficas de desequilibrio de tensión transformadores 1 y 2	152
42.	Gráficas de armónicos de tensión (<i>THDV</i>) fases	154
43.	Gráfica del Índice de parpadeo de tensión a corto plazo (<i>Pst</i>).....	155
44.	Gráfica del índice de parpadeo de tensión a largo plazo (<i>Plt</i>)	156
45.	Gráfica con interrupción de suministro de tensión	156

46.	Gráfica de forma de onda en interrupción de suministro de tensión.....	157
47.	Curva ITIC eventos en transformador 1	158
48.	Gráficas de intensidad fases y neutro	160
49.	Gráficas de armónicos de intensidad (<i>THDI</i>) fases y neutro	161
50.	Gráfica de armónicos de intensidad (<i>THDI</i>)	162
51.	Gráfica de factor de potencia.....	163
52.	Gráfica de factor K fases y neutro en transformador 1.....	163
53.	Gráfica de factor K en transformador 1	164
54.	Gráfica de frecuencia de tensión	165
55.	Gráficas de demanda y energía	167
56.	Gráfica de energía consumida 2016 a 2018	174
57.	Gráfica de costo de energía 2016 a 2018	174
58.	Gráfica de demanda registrada 2016 a 2018	175
59.	Gráfica de factor de potencia 2016 a 2018	176
60.	Gráfica de costo de multa por factor de potencia 2016 a 2018.....	176
61.	Planta de distribución actual de luminarias nivel 7.....	180
62.	Planta de distribución actual de luminarias nivel 12.....	181
63.	Planta de distribución actual de luminarias nivel 15.....	182
64.	Ubicación edificios torre y anexo del MINFIN.....	191
65.	Azotea del edificio torre	192
66.	Información de la Instalación MINFIN.....	193
67.	Gráfica de velocidad del viento MINFIN	194
68.	Turbina eólica de eje vertical de 2 kW	195
69.	Características de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	196
70.	Diagrama de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	198
71.	Gráfica velocidad de viento y potencia de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	199
72.	Estructura de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	200

73.	Esquema de conexión para sistema de turbinas eólicas de eje vertical de 2 kW	202
74.	Ubicación propuesta para turbinas eólicas en azotea de edificio torre del MINFIN	203
75.	Planta de distribución de luminarias propuesta por ala de oficinas (2 alas por nivel)	205
76.	Gráfica de pronóstico de energía consumida al 2020	211
77.	Gráfica de pronóstico de energía consumida al 2020 con generación eólica y ahorro en iluminación	212

TABLAS

I.	Voltajes de prueba	19
II.	Tolerancia admisible respecto al valor nominal de tensión, en porcentaje.....	87
III.	Tolerancias de desbalance de tensión	88
IV.	Tolerancias para la distorsión armónica de tensión	90
V.	Tolerancias de corrientes armónicas individuales.....	93
VI.	Tolerancias para el <i>flicker</i> generado por el usuario.....	94
VII.	Inventario nivel 7	142
VIII.	Inventario nivel 12.....	144
IX.	Inventario nivel 15.....	146
X.	Informe de potencia	168
XI.	Informe de cumplimiento EN50160	170
XII.	Historial de consumo de energía eléctrica en edificio del MINFIN.....	173
XIII.	Encuesta realizada a empleados del nivel 12 del MINFIN.....	178
XIV.	Resumen de sistema de iluminación actual nivel 7	179
XV.	Resumen de sistema de iluminación actual nivel 12.....	181
XVI.	Resumen de sistema de iluminación actual nivel 15.....	182

XVII.	Resumen consumo/día torre.....	186
XVIII.	Datos metereológicos MINFIN.....	193
XIX.	Especificaciones técnicas de turbina eólica de eje vertical de 2 kW....	197
XX.	Producción anual de energía de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	199
XXI.	Producción de sonido de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	200
XXII.	Lista de partes de turbina eólica de eje vertical de 2 kW	201
XXIII.	Comparación consumo/día de sistemas de iluminación	206
XXIV.	Presupuesto sistema eólico	207
XXV.	Presupuesto sistema de iluminación	208
XXVI.	Resumen de presupuestos de sistemas eólicos e iluminación	210

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
lm/w	Relación existente entre el flujo luminoso (en lúmenes) emitido por una fuente de luz y la potencia (en vatios).
pu	Sistema de unidad que consiste en una normalización de todas las cantidades eléctricas (voltajes, corrientes, potencias e impedancias).
Hz.	Unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Medidas.
GWh	Unidad de medida de energía eléctrica equivalente a mil millones de vatios suministrados en una hora.
MW	Unidad de potencia equivalente a diez mil vatios.
kVA	Unidad de potencia aparente equivalente a mil volt-amperio.
kWh	Unidad de potencia equivalente a mil vatio suministrados en una hora.
kW	Unidad de potencia equivalente a mil vatios.
ms	Unidad de tiempo equivalente a una milésima fracción de un segundo.
μs	Unidad de tiempo equivalente a una millonésima fracción de un segundo.
rms	Valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica.

GLOSARIO

ACB	Acrónimo de <i>Air Circuit Breaker</i> / Interruptor automático conocido como “de bastidor abierto” o “de corte en aire”.
ANSI	Acrónimo de <i>American National Standards Institute</i> / Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, organización que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en Estados Unidos.
AWG	Acrónimo de <i>American Wire Gage</i> utilizadas para identificar calibres de conductores eléctricos.
ESL	Acrónimo de <i>Electron Simulated Luminescence</i> / luminiscencia para estimulación de electrones.
IEA	Acrónimo de <i>International Energy Agency</i> / Agencia Internacional de la Energía.
IEC	Acrónimo de <i>International Electrotechnical Commission</i> / Comisión Electrotécnica Internacional, es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
IEEE	Acrónimo de <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> / Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

ISO	Acrónimo de <i>International Organization for Standardization</i> / Organismo Internacional de Estandarización.
Led	Acrónimo de <i>Light Emitting Diode</i> / diodo emisor de luz.
Lumen	Unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.
Lux	Unidad del Sistema Internacional de Medidas para la iluminancia o nivel de iluminación.
NFPA	Acrónimo de <i>National Fire Protection Association</i> / Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
NTDOID	Acrónimo de Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
SGEn	Acrónimo de sistemas de gestión de energía.
TDD	Factor de distorsión total de la demanda.
THD	Factor de distorsión armónica.
VRF	Acrónimo de <i>Variable Refrigerant Flow</i> / Flujo de Refrigerante Variable.

RESUMEN

El presente trabajo contiene información sobre la auditoría energética realizada en el edificio sede del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas, MEM, constituye el Ejercicio Profesional Supervisado por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

En los antecedentes de la institución; se realiza la reseña histórica; misión; visión; valores y funciones desarrolladas. Además, se da un detalle de las Normas ISO que fueron base para el desarrollo del trabajo. En las generalidades de las instalaciones eléctricas, se hace un detalle de conceptos que están relacionados con una instalación eléctrica.

En los conceptos del estudio de calidad de energía eléctrica; se incluyen normas técnicas aplicables al tema, se informa del instrumento utilizado para la medición de calidad de energía. Se realiza un detalle del edificio e instalaciones eléctricas del MINFIN, inventarios eléctricos de los niveles 7, 12 y 15, el equipo utilizado para mediciones.

Se describe una propuesta de sistema eólico como una fuente renovable y otra de sistema de iluminación más eficiente en partes específicas del edificio para lograr ahorros energéticos y económicos en lo que se refiere a energía eléctrica y se evalúan económicamente los presupuestos para sistemas eólico y de iluminación propuestos, donde se detallan la inversión y la recuperación de capital.

OBJETIVOS

General

Realizar una auditoría energética en el edificio sede del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN, para diagnosticar los sistemas eléctricos y el uso de energía eléctrica en los mismos y proponer mejoras más eficientes.

Específicos

1. Realizar estudio energético que proporcione información del estado y funcionamiento actuales de las instalaciones eléctricas.
2. Analizar información obtenida para detectar posibles puntos de mejoras para hacer más eficiente el uso de energía eléctrica.
3. Realizar propuestas de fuentes renovables y tecnologías eficientes para lograr un ahorro energético y económico.
4. Evaluar económicamente las propuestas de fuentes renovables y tecnologías eficientes realizadas para visualizar costos y recuperación de capital para recomendar soluciones viables.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Energía y Minas MEM es una de las instituciones designadas para la fomentación del Plan Nacional de Energía y la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, colabora con el MEM para elaborar auditorías energéticas en diferentes edificios de instituciones públicas con la finalidad de promover prácticas, uso de nuevas tecnologías y uso de fuentes de energía renovable para la eficiencia y el ahorro energético. Como consecuencia de lo anterior, el presente trabajo muestra una parte de la auditoría energética realizada en el edificio sede del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN y su correspondiente información de sus instalaciones eléctricas, de donde se realizan propuestas que dan como resultado ahorro energético y económico.

Las instalaciones eléctricas en el edificio del MINFIN tienen existencia de varias décadas y en su mayor parte aún se están utilizando tecnologías anteriores para su funcionamiento. En la auditoría energética anterior se consideraron algunas mejoras ya realizadas que están cumpliendo con el objetivo buscado y en esta última auditoría energética se analizan los beneficios obtenidos principalmente en iluminación y se sugieren nuevas propuestas de fuentes renovables y tecnologías eficientes para mejorar el uso eficiente de la energía eléctrica, obtener reducción en su consumo y reducir su costo económico.

1. ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN

1.1. Reseña histórica

Fundado el 7 de octubre de 1825, su sede está localizada en 8ª. Avenida 20-65, Zona 1 de la capital. Ministerio encargado de dirigir las finanzas del país guatemalteco, lo cual lo hace responsable de cumplir y hacer cumplir todo lo relativo al régimen jurídico hacendario del Estado, incluye la recaudación y administración de los ingresos fiscales, la gestión de financiamiento tanto interno como externo, la ejecución presupuestaria, el registro y control de los bienes que son el patrimonio del Estado.

1.2. Misión

Administrar los recursos financieros y patrimoniales del Estado, de manera eficaz, equitativa y transparente para alcanzar el bien común.

1.3. Visión

Ser ejemplo de administración y gestión pública cuyos resultados produzcan un impacto positivo en el desarrollo de Guatemala.

1.4. Valores

- Institucionales
 - Actitud de servicio
 - Excelencia

- Profesionalismo
- Solidaridad
- Transparencia

- Personales
 - Respeto
 - Honradez
 - Lealtad
 - Responsabilidad
 - Disposición al cambio

1.5. Funciones

- Formular la política fiscal y financiera del corto, mediano y largo plazo en función de la política económica y social del Gobierno.
- Proponer al Organismo Ejecutivo la política presupuestaria y las normas para su ejecución.
- Dirigir, coordinar y consolidar el proyecto del presupuesto general de ingresos y egresos del Estado.
- Proponer a la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) normas para desconcentrar la recaudación de impuestos.
- Coordinar con la SAT la programación de ingresos derivados de la recaudación tributaria.
- Transferir los recursos asignados en el presupuesto a los organismos y entidades del Estado.
- Evaluar la ejecución presupuestaria del Estado cada cuatrimestre y proponer a la Presidencia de la República medidas correctivas que en el ámbito de su competencia sean necesarias.

- Definir la política para seleccionar proyectos y programas de inversión social, los cuales serán realizados con fondos propios, préstamos y cooperación externa.
- Fijar normas y procedimientos operativos relacionados con el sistema de contrataciones y adquisiciones del Estado de acuerdo con la ley.

1.6. Normas ISO

Las Normas ISO son un conjunto de normas orientadas a ordenar la gestión de una empresa en sus distintos ámbitos. La alta competencia internacional acentuada por los procesos globalizadores de la economía y el mercado y el poder e importancia que ha ido tomando la figura y la opinión de los consumidores, ha propiciado que dichas normas, pese a su carácter voluntario, hayan ido ganando un gran reconocimiento y aceptación internacional.

Las Normas ISO son establecidas por el Organismo Internacional de Estandarización (ISO), y se componen de estándares y guías relacionados con sistemas y herramientas específicas de gestión aplicables en cualquier tipo de organización.

El desarrollo y diversificación de las Normas ISO han sido muy importantes, desdoblándose en diferentes ramas o familias que tratan aspectos diversos como la calidad, el medio ambiente, la seguridad, riesgos laborales y la responsabilidad social. El proceso es continuo y periódicamente van apareciendo actualizaciones y nuevos ámbitos de tratamiento.

- Finalidades y ventajas de las Normas ISO

Las Normas ISO se crearon con la finalidad de ofrecer orientación, coordinación, simplificación y unificación de criterios a las empresas y organizaciones con el objeto de reducir costos y aumentar la efectividad, así como estandarizar las normas de productos y servicios para las organizaciones internacionales.

Las Normas ISO se han desarrollado y adoptado por multitud de empresas de muchos países por una necesidad y voluntad de homogeneizar las características, los parámetros de calidad, seguridad de los productos y servicios.

- Ventajas de las Normas ISO para las empresas

Con base en esta finalidad y objetivo inicial y debido al gran prestigio y enorme seguimiento alcanzado, las Normas ISO suponen importantes beneficios para las empresas, compañías y organizaciones en general:

- Proporcionan elementos para que una organización pueda alcanzar y mantener mayores niveles de calidad en el producto o servicio.
- Ayudan a satisfacer las necesidades de un cliente cada vez más exigente.
- Permite a las empresas reducir costos, conseguir más rentabilidad y aumentar los niveles de productividad.
- Constituye uno de los medios más eficaces para conseguir ventaja competitiva.
- Reducir rechazos o incidencias en la producción o en la prestación de servicios.
- Implementar procesos de mejora continua.

- Conseguir un mayor y mejor acceso a grandes clientes y administraciones a los mercados internacionales.

Los beneficios sobrepasan el ámbito de las empresas y administraciones y sus clientes; que se ven favorecidos por un mejor servicio, alcanzando también a los gobiernos y que gracias a las Normas ISO pueden:

- Asegurarse de que los bienes y servicios cumplen con los requisitos obligatorios relacionados con la calidad, la seguridad o el medio ambiente, entre otras cuestiones.
- Controlar el comercio exterior con otros países.

1.6.1. ISO 50001

La Norma ISO 5001 es la nueva norma internacional de sistemas de gestión de la energía (SGEn). Es la primera norma de sistemas de gestión de la energía internacional tras un amplio número de normas nacionales y regionales, como la Norma EN 16001. La Norma ISO 50001 SGEn se basa en el modelo de sistema de gestión que ya está asimilado e implantado por organizaciones en todo el mundo. El ciclo de mejora de Deming *Plan-Do-Check-Act* (en español planificar-hacer-verificar-actuar) es una estrategia basada en la mejora continua de la calidad en cuatro pasos que sustenta la norma, como en el caso de la Norma ISO 9001, ISO 14001 y otras normas de sistemas de gestión establecidos.

La organización ISO estima que la norma podría influir hasta en un 60 % del consumo mundial de energía.

La Norma ISO 50001 ha sido diseñada para poder ser implementada en cualquier organización independientemente de su tamaño, sector y ubicación geográfica.

La certificación ISO 50001 ofrece una gama de beneficios para su organización:

- Ayudar a las organizaciones a un consumo más eficiente de los recursos.
- Facilitar la transparencia/comunicación en la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión energética.
- Ayudar a evaluar y priorizar la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Proporcionar el marco de eficiencia energética a lo largo de toda la cadena de suministro.
- Facilitar la mejora de la gestión energética de los proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Integración con los sistemas de gestión ya existentes en su organización.

1.6.2. ISO 50002

La Norma ISO 50002 especifica los requisitos del proceso de realización de una auditoría energética en relación con la eficiencia energética. Es aplicable a todos los tipos de establecimientos, organizaciones, y todas las formas de uso de la energía.

Esta norma especifica los principios de la realización de auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante las auditorías energéticas y los resultados de las auditorías energéticas.

No se encuentran dentro de los objetivos de esta norma el análisis del sistema de gestión de energía de una organización ya que se describen en la norma ISO 50003; el propósito de esta norma internacional es definir el conjunto mínimo de requisitos que conducen a la identificación de oportunidades para la mejora de la eficiencia energética.

- Auditorías energéticas

Una auditoría de energía es un análisis detallado de la eficiencia energética de una organización, equipo, sistema o proceso y es el primer paso en un proceso de mejora, básico para obtener un conocimiento exhaustivo del perfil de consumo de energía de una instalación. A través de la realización de mediciones y controles sobre el uso de energía en una instalación, se obtiene información sobre el desempeño energético de la misma y sobre su eficiencia energética.

La auditoría ofrece información sobre el uso y el rendimiento actual de las instalaciones y proporciona información para la mejora de la eficiencia energética y de sus beneficios financieros asociados: ahorros, mejoras con y sin inversión, inversiones y períodos de retorno de inversión. Una auditoría energética puede apoyar una revisión de la energía y puede facilitar el seguimiento, la medición y el análisis como se describe en la Norma ISO 50001, o puede ser utilizado de forma independiente.

Esta norma internacional permite diferencias en el enfoque y en términos de alcance, la cobertura y la auditoría objetiva y trata de armonizar los aspectos comunes de las auditorías energéticas con el fin de mejorar la claridad y la transparencia.

Toda esta información, estructurada según su importancia, nos permite desarrollar un plan de acción de mejora, priorización según su importancia o impacto, las oportunidades para mejorar la eficiencia energética, y reduciendo el consumo de una organización, instalación o proceso específico.

2. GENERALIDADES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

2.1. Definición de instalación eléctrica

Es el conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilizan. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, dispositivos sensores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones y soportes.

2.2. Objetivos de una instalación eléctrica

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Además, debe ser económica, flexible y de fácil acceso.

2.2.1. Seguridad

Una instalación segura es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que están cerca, lo cual se recomiendan protecciones para las personas que trabajan cerca de una instalación eléctrica y también protecciones para los equipos.

2.2.2. Eficiencia

El diseño de una instalación debe hacerse cuidadosamente para evitar consumos o pérdidas innecesarias en los elementos que la constituyen que no se estén utilizando.

2.2.3. Economía

Para cualquier proyecto, se debe pensar su realización con la menor inversión posible pero no se recomienda dedicar demasiadas horas/hombre al proyecto porque son parte importante del costo.

2.2.4. Flexibilidad

Se entiende por instalación flexible aquella que puede adaptarse a pequeños cambios en su diseño.

2.2.5. Accesibilidad

Una instalación debe tener las provisiones necesarias para permitir el acceso a todas aquellas partes que puedan requerir mantenimiento y también los elementos necesarios para entender el diseño de la instalación como especificación completa, planos y diagramas necesarios.

2.3. Elementos de una instalación eléctrica

Los elementos comúnmente encontrados en una instalación eléctrica se describirán incluyendo tanto las funciones como las características más importantes.

2.3.1. Acometida

Es el punto donde se hace la conexión entre la red y el alimentador que abastece al usuario. La acometida también puede entenderse como la línea que por un lado entronca con la red eléctrica de alimentación y por el otro tiene conectado el sistema de medición.

2.3.2. Centro de carga

Es el conjunto de elementos agrupados en determinado lugar donde se controla la alimentación de energía eléctrica de una instalación o de una zona (sección o rama).

2.3.3. Conductores

Los conductores son elementos que conducen la corriente eléctrica de las fuentes a las cargas o que interconectan los elementos de control y por razones de protección de los propios conductores y de seguridad, normalmente estos conductores se encuentran instalados dentro de canalizaciones eléctricas de distinta naturaleza y cuya aplicación depende del tipo de instalación eléctrica de que se trate.

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (Cu) o aluminio (Al) debido a su buena conductividad y que comercialmente no tienen un costo alto ya que hay otros que tienen un costo elevado que hacen antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas, aun cuando tienen mejor conductividad.

Los conductores se fabrican de sección circular de material sólido o como cables dependiendo la cantidad de corriente por conducir y su utilización, aunque en algunos casos se fabrican en secciones rectangulares o tubulares para altas corrientes. Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número que corresponde a lo que comúnmente se conoce como el calibre y que normalmente se sigue el sistema americano de designación AWG (*American Wire Gage*) siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas. Para conductores con un área mayor del designado como 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el circular mil siendo así como un conductor de 250 corresponderá a aquel cuya sección sea de 250 000 CM y así sucesivamente.

2.3.4. Pruebas para conductores

Todo sistema de conductores o cables debe ser sometido a pruebas eléctricas que permitan conocer el estado general de éstos, lo cual garantiza un apropiado funcionamiento y sobre todo permite brindar mantenimiento adecuadamente, no es posible instalar un sistema sin hacer ningún tipo de pruebas, pues entonces no se tiene ninguna seguridad de que brinde el servicio apropiadamente. Existen dos tipos de pruebas, las de recepción que sirven para conocer las condiciones del cable y las de mantenimiento que se realizan cuando el sistema ya ha sido puesto en marcha. Algunas de las pruebas son destructivas y otras no destructivas, lo cual se especificará en los siguientes puntos.

2.3.5. Pruebas de recepción

Son pruebas que se hacen después de que un cable ha sido instalado, pero antes de ponerlo en servicio normal, con el fin de detectar daños en el embarque o instalación, o errores en la mano de obra de los empalmes y terminales.

- Normatividad
 - Para la instalación de cable se debe considerar el uso de las siguientes normas y reglamentos:
 - Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución NTDOID.
 - No basta con mencionar las normas vigentes que existen, sino también aquellas que se rigen bajo parámetros diferentes, en este caso existen dos instituciones que se encargan de evaluar las normas internacionales y que están integradas por expertos en la materia. De acuerdo a su experiencia, se toman como referencia diferentes filosofías que se adoptan para la creación o modificación de las normas, dichas instituciones son IEEE e IEC.
 - La IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) es una asociación que se encarga de la estandarización, entre otras cosas. Está formada por especialistas en ingeniería eléctrica, electrónica, computación, informática y telecomunicaciones. Además de que produce más del 30 % de la literatura sobre los temas de ingeniería antes mencionados.

- La IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) es una organización de nivel mundial que se encarga de preparar y publicar normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines.
- Inspección visual

La inspección visual consiste simplemente en revisar el cable recorriendo su trayectoria minuciosamente buscando la presencia de algún posible daño que haya sufrido durante la instalación, lo cual será indeseable, o algún otro elemento externo que pueda dañarlo a largo plazo como piedras, vidrios, entre otros. Asimismo, se revisa visualmente que los accesorios hayan sido adecuadamente instalados y se encuentren en óptimas condiciones para ser puestos en servicio. La principal revisión que debe de hacerse en una inspección visual tiene que ver con los siguientes puntos:

- Identificación de la ruta del cable
 - Placas de identificación de los cables
 - Identificación de las terminales del circuito
 - Identificación de los registros de paso
 - Identificación de los registros de empalme
 - Verificación de las conexiones de tierra
 - Verificación de los soportes en los registros
- Si se ha revisado que las condiciones de cada uno de los puntos anteriores son aceptables, entonces se procede con las siguientes pruebas:

- La inspección visual consiste en revisar si un conductor eléctrico presenta alguna desviación en su construcción o bien, causada por algún otro agente, y si ocurriera, tratar de determinar la causa.
- La inspección dimensional de un cable consiste en la verificación del tamaño y forma de los elementos que componen un conductor eléctrico, cada elemento debe tener las dimensiones adecuadas en su construcción, los cuales deberán estar dentro de las especificaciones por las normas correspondientes.
- Inspección física de la red bajo prueba, desde los equipos eléctricos, como son los interruptores, hasta los centros de distribución, pasando por las canalizaciones, las cuales pueden ser aéreas, subterráneas, submarinas, en charolas, en conductos o combinaciones de éstas.
- Inspección de las conexiones a tierra, soportes del cable, empalmes o terminales.
- Preparación de los cables para realizar pruebas eléctricas, lo cual consiste en aislar o individualizar los cables o circuitos bajo prueba, para poder aplicar alguna o algunas pruebas previas a la puesta en servicio, con la finalidad de anticiparse a la aparición de una posible falla durante la operación de los cables.

Las pruebas verifican que los materiales metálicos (conductor, blindajes, entre otras) y los plásticos (aislamientos, cubiertas, entre otras) estén dentro de los valores permitidos por las especificaciones de la norma correspondiente.

- Pruebas eléctricas: la manera más eficaz de conocer las condiciones de un cable de energía es mediante las pruebas eléctricas, que permiten comprender el estado general del sistema que se ha instalado, en este

caso para comprobar que el cable y sus accesorios se encuentran en condiciones para ponerse en servicio.

- Faseo: se realiza cuando un circuito de cables ha sido instalado, es importante identificar perfectamente las fases A, B y C del circuito a lo largo de toda su trayectoria y evitar un cruzamiento de fases en los puntos de conexión a los demás equipos como lo son transformadores, interruptores, entre otros.
- Continuidad: otra de las pruebas principales que deben realizarse a un circuito de cables recién instalado que aún no ha sido puesto en servicio es la continuidad, por lo cual esta prueba permite confirmar que tanto el conductor como la pantalla electrostática no están interrumpidos a lo largo del circuito bajo prueba, en el caso de que existiera alguna discontinuidad en cualquiera de estos elementos existe entonces una posibilidad potencial de falla.

Esta prueba permitirá asegurar que el conductor y la pantalla electrostática (para el caso de cables con pantalla), son continuos a lo largo de la línea bajo pruebas (faseo).

La razón para realizar la prueba en el conductor, es la de comprobar que el cable es capaz de conducir energía eléctrica entre dos puntos de conexión. Y en la pantalla electrostática, es la de asegurar que la pantalla sea continua a lo largo del cable, y en caso que estuviese interrumpida, indicará que tenemos un punto donde existe la posibilidad de tener una gran concentración de energía. La determinación de continuidad se realiza con un *megger* de características adecuadas.

- Resistencia de aislamiento: en cables de media tensión (5-60 kV), es recomendable realizar la prueba a 5 kV como mínimo. Sirve para determinar el estado que guarda el aislamiento en general. Es útil para evidenciar fallas graves de instalación o de mano de obra defectuosa. Para la medición de la resistencia de aislamiento se utiliza un *megger* que puede ser manual, eléctrico o con motor, conectando el borne positivo al conductor para medir el borne negativo a la pantalla del cable y al sistema de tierras.

Debido a que un cable actúa como un capacitor cilíndrico, antes de tomarse las lecturas se debe esperar determinado tiempo para que se cargue. En el caso de que el cable no cuente con pantalla metálica sobre el aislamiento, no se puede realizar una medición confiable a menos que el cable esté enterrado en suelo húmedo.

Esta prueba proporciona información acerca del estado operativo del aislamiento, es decir, del grado de deterioro que pudiera tener el aislamiento, por efecto de la humedad o por otro agente que afecte al aislamiento del cable, inclusive por algún daño mecánico, con sus variantes en cuanto al tiempo aplicado, el cual puede ser de 1 minuto, a 5 minutos o inclusive hasta 10 minutos, cuando se desea determinar el índice de polarización.

La determinación de la resistencia del aislamiento del cable, como la de cualquier aislamiento eléctrico, se efectúa con un *megger* de voltaje y características adecuadas.

- Alta tensión: para los cables de potencia de tensiones grandes existen dos tipos de pruebas que determinan las condiciones en las que el

sistema de cables se encuentra, ya sea en corriente continua o en corriente alterna, cada una de las cuales tiene sus ventajas y desventajas.

- Corriente directa: se hace para verificar la integridad del aislamiento del sistema de cables. Es una prueba destructiva del tipo pasa-no-pasa, y muestra dónde están los puntos débiles del sistema. Se usa principalmente en cables nuevos con aislamiento seco (que nunca han sido energizados). Se pueden usar también en todo tipo de cables con aislamiento laminado, de cualquier edad.

La prueba consiste en aplicar alta tensión a corriente directa y efectuar mediciones de las corrientes de fuga en el cable. Se traza una curva voltaje de prueba-corriente de fuga y se analizan los resultados contra una curva patrón de un cable con buen aislamiento.

Esta prueba está normalizada por NFPA 70E (seguridad eléctrica en lugares de trabajo, Norma de la *National Fire Protection Association* para cables de energía que van desde 5 hasta 115 Kv. Si bien es cierto que es considerada como prueba dieléctrica severa, también es cierto que los niveles de pruebas para aceptación y mantenimiento, están determinados por las normas aplicables y generalmente son niveles inferiores a lo indicado para las pruebas en fábrica. Por otra parte, en el medio de los cables subterráneos es una inmejorable herramienta para diagnosticar sobre su estado operativo (del conjunto cable-empalme-terminal) o sobre la calidad de la mano de obra de la instalación de accesorios.

Para casos muy particulares, los niveles de voltaje aplicado se determinan con base en la vida útil ya aprovechada del cable (edad del cable) y al

comportamiento de la corriente de fuga al incrementarse el potencial paso por paso.

Así como una recomendación práctica se puede decir que los voltajes de prueba varían con el tiempo de la forma que lo indica la tabla I:

Tabla I. **Voltajes de prueba**

Voltaje de prueba	Valor de norma (en %)
De fábrica	100
De aceptación	80
De 0 a 1 año	60
De 1 a 5 años	45
De 5 años en adelante	30

Fuente: elaboración propia.

Esta prueba proporciona información acerca del comportamiento del sistema aislante al ser sometido a un alto potencial, si el aislamiento tuviese una falla, esta prueba logrará manifestarla. La prueba de *Hi-pot* en c.d. se realiza mediante un equipo de pruebas dieléctricas, el cual consta de una fuente de corriente directa de cierta capacidad y su módulo de control. Es recomendable efectuar esta prueba en forma monopolar, pero también ocasionalmente por alguna razón en especial también puede efectuarse en forma tripolar.

- Corriente alterna a muy baja frecuencia: También es una prueba destructiva del tipo pasa-no-pasa. La ventaja de esta contra la de cd. es que no introduce cargas espaciales al seno del aislamiento (XLPE) del cable.

- Descargas parciales: una descarga parcial es una descarga eléctrica que se manifiesta en el seno del aislamiento entre el conductor y la pantalla, la razón de su presencia es debido a varios factores, como las cavidades que resultan de un proceso de extrusión defectuoso en fábrica (contaminación), así como resultado de un proceso de envejecimiento térmico o bien esfuerzos mecánicos mayores a los permitidos por la normatividad.

Otros tipos de cavidades se deben a imperfecciones en las interfaces y en los traslapes de las cintas. Un aspecto muy importante que debe conocerse sobre las descargas parciales es que para que se inicien éstas, el sistema debe estar sometido constantemente a sobre voltajes, lo cual produce que las cavidades en el seno del aislamiento crezcan y se conviertan en arborescencias.

Existen tres formas en las que se manifiestan las cargas parciales y se mencionan a continuación:

- Las descargas parciales se pueden iniciar de manera momentánea durante un transitorio de voltaje, pero no se mantiene, por lo tanto, no hay descargas parciales durante la operación normal.
- Las descargas parciales se pueden iniciar durante un transitorio de voltaje y puede someterse durante la operación normal.
- Las descargas parciales se presentan y se mantienen en condiciones de operación normal.

2.3.5.1. Pruebas en sistema de puesta a tierra

La Norma IEEE 81 presenta técnicas de campo para diversos tipos de mediciones en el sistema de puesta a tierra sometido a prueba. También describe procedimientos de prueba que promueven la seguridad del personal y la propiedad.

- Pruebas de electrodo de tierra: puede existir una tensión letal entre el electrodo de tierra bajo prueba y un suelo remoto durante las condiciones de rutina o si se produce una falla del sistema de potencia que implica el suelo de la estación mientras se llevan a cabo pruebas de tierra. El aumento de potencial del suelo puede estar en el orden de varios miles de voltios. Los voltajes paso y tacto alrededor del electrodo de tierra bajo prueba, equipo de prueba y terrenos remotos también pueden ser letales.

Por lo general, se desarrolla y revisa un plan de prueba con el personal de prueba aplicable. Es necesario seguir reglas de seguridad adecuadas. Dado que los electrodos de corriente y potencial se encuentran en puntos que representan tierra remota, los cables a estos electrodos se tratan como si pudiera existir una posible tensión entre los cables de prueba y cualquier punto de la red de tierra de la estación. El área principal de preocupación involucra fallas del sistema o rayos, que pueden causar voltajes tan altos como varios miles de voltios que se producen entre el suelo de la estación y los puntos remotos. También es importante entender que la señal de prueba inyectada a un electrodo de corriente remota también puede resultar en voltajes táctiles significativos. Las siguientes precauciones pueden reducir estos peligros, aunque también podrían ser necesarias otras precauciones:

- Las manos u otras partes del cuerpo no pueden completar el circuito entre puntos de posible diferencia de alto potencial. Los guantes y calzado con clasificación dieléctrica pueden reducir los peligros asociados con los cables de prueba de manipulación que se extienden fuera de la rejilla de tierra de la estación.
- Los cables y los electrodos de prueba expuestos deben estar aislados de los trabajadores y del público en general antes de aplicar voltajes de prueba. Los cables y electrodos de prueba expuestos también deben estar aislados de los trabajadores y del público antes de conectar los cables a una rejilla de tierra de la estación o a sus sistemas de puesta a tierra que pueden estar expuestos a corrientes de falla de tierra del sistema.
- Se aplica una señal para períodos de prueba cortos, y todos los cables de prueba se eliminan rápidamente después que se complete la prueba.
- Si la corriente remota y las sondas potenciales no están a la vista del personal de prueba o si los cables de prueba se encuentran en un área accesible al público, estos puntos están bajo observación continua utilizando un observador en contacto por radio con el operador del equipo de prueba, siempre y cuando se aplique la señal de prueba o la potencia remota sean superiores a 50 V. Uno o más cables de prueba que están conectados eléctricamente a una red de tierra pueden causar una transferencia de potencial en condiciones de falla que superarían con creces 50 V, y un observador sería necesario siempre y cuando los cables de prueba estén conectados a la red de tierra.

- Si los extremos sin conexión a tierra de los cables de prueba son paralelos a una línea energizada para varios cientos de pies, entonces se puede inducir una tensión peligrosa en los cables de prueba si las corrientes grandes fluyen en la línea energizada. Este problema a veces se puede mitigar mediante la orientación física de los cables de prueba, la puesta a tierra o ambos.
- Pruebas de continuidad de tierra del pararrayos: las pruebas de continuidad de tierra del pararrayos requieren un cuidado especial por las siguientes razones:
 - La base del pararrayos puede acercarse al potencial de la tierra si el cable de tierra se desconecta mientras el terminal primario permanece energizado. Nunca desconecte la tierra de un pararrayos por ningún motivo mientras el terminal principal permanezca conectado a una línea energizada.
 - Extremadamente alta, las corrientes de conmutación o relámpagos de corta duración se pueden descargar en la tierra y pueden superar los 50 000 A.
 - Un fallo del sistema puede ocurrir si un pararrayos falta durante la prueba.
 - Los cables de tierra del pararrayos se pueden probar siempre y cuando se apliquen las precauciones de seguridad suficientes.
 - Pruebas de tierra de alambre neutral y protector
 - La desconexión de cables neutros y de protección puede generar tensiones peligrosas. Este peligro puede ocurrir si la línea está energizada o no, debido al flujo de corriente a través de los cables de protección interconectados, o el acoplamiento

mutuo con otros circuitos energizados. Los procedimientos de trabajo adecuados pueden mitigar estos peligros.

- Pruebas de tierra neutral del equipo
- Pueden producirse altas tensiones y posiblemente dañar a las personas o al equipo, si los neutros están desconectados de equipos energizados.

2.3.6. Canalización

Se entiende por canalización a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, además, protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de cortocircuito.

Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

2.3.6.1. Tubos conduit

Es un tipo de tubo de metal o plástico usado para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones.

Los tubos conduit metálicos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales, los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero; distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared.

En la clasificación de los tubos conduit no metálicos o plásticos está el tubo PVC, es la designación comercial que se da al tubo rígido de policloruro de vinilo (PVC), también en esta clasificación se encuentra el tubo de polietileno.

2.3.6.2. Ductos

Son otros medios de canalización de conductores eléctricos que se usan en las instalaciones eléctricas visibles, debido a que no se pueden montar embutidos en pared o dentro de vigas de concreto. Se fabrican de canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapaderas atornilladas y su aplicación se encuentra en instalaciones industriales. Su instalación requiere de algunas precauciones como, por ejemplo, que no existan tuberías de agua cercanas, o bien se restringe su uso en áreas catalogadas como peligrosas.

Los ductos ofrecen ventajas en comparación con los tubos conduit debido a que ofrecen mayor espacio para alojar conductores y son más fáciles de alambrear, en sistemas menores de distribución en un mismo ducto se pueden tener circuitos múltiples, ofreciendo además la ventaja de ser fácil de alambrear, teniéndose un mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación de calor. Tienen la desventaja de que requieren de mayor mantenimiento.

2.3.7. Protecciones eléctricas

Son dispositivos de protección que al presentarse una falla abre el circuito eléctrico y lo logra con dos funciones: detectar o sensar la falla y ejecutar la interrupción. A continuación, se describen algunos de los dispositivos de protección más utilizados.

2.3.7.1. Fusibles

Se puede decir que los fusibles son el elemento de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas. En términos sencillos se trata de un conductor con una calibración precisa para fundirse cuando la corriente que circula por él pasa de cierto límite. Entonces los fusibles cubren las funciones del sensor y del interruptor.

El elemento fusible está colocado dentro de una estructura con terminales y bases para su fijación con los aislamientos necesarios, los que limitan el nivel de voltaje. El elemento fusible puede estar rodeado de aire, arena de cuarzo o algún otro material para enfriar los gases del arco y restablecer el medio dieléctrico.

2.3.7.2. Interruptores termomagnéticos

El interruptor termomagnético se utiliza con mucha frecuencia debido a que es un dispositivo de construcción compacta que puede realizar funciones de conexión o desconexión, protección contra cortocircuito y contra sobrecarga en instalaciones de baja tensión.

Está constituido por una caja moldeada con terminales y una palanca para su accionamiento. En el interior están los contactos (uno fijo y otro móvil) que tienen una cámara para la extinción del arco. El sistema de disparo trabaja a base de energía almacenada: al operar la palanca para cerrar los contactos, se oprime un resorte donde se almacena la energía, al operar los dispositivos de protección se libera la energía y la fuerza del resorte separa los contactos.

La protección contra sobrecarga está constituida por una barra bimetálica que dependiendo del valor que tenga la corriente, así como del tiempo que se mantenga, provoca el disparo que abre los contactos. Esta misma barra está colocada a cierta distancia de una pieza ferromagnética. Cuando la corriente se eleva a valores muy altos (cortocircuito) se crean fuerzas electromagnéticas de atracción capaces de provocar que los contactos se abran en un tiempo corto. De esta manera se logra la protección contra cortocircuito. Estos interruptores tienen una calibración que en algunos casos sólo el fabricante puede modificar.

2.3.7.3. Relevadores

En estas protecciones eléctricas está el relevador térmico o bimetal y es aquel que tiene un elemento sensor de temperatura de tipo bimetálico, constituido por dos láminas de distinto coeficiente de dilatación térmica unidas mecánicamente mediante un proceso de laminación. La circulación de una corriente eléctrica a través del elemento bimetálico o la corriente que fluye en una resistencia enrollada sobre el bimetal aislado provoca variaciones de temperatura que deforman al bimetal y accionan un microinterruptor. Estos elementos son poco sensibles a las variaciones de la temperatura ambiente. La aplicación más importante de los bimetales es como sensores de sobrecarga en motores (sobre todo de inducción de jaula de ardilla), ya que están sujetos al mismo régimen térmico que los conductores del devanado del motor. Entonces operan cuando una corriente superior a la de calibración permanece por varios minutos, pero permiten que fluya la corriente de arranque (de 5 a 6 veces la nominal) sin enviar la señal de disparo y al mismo tiempo arranques y paros frecuentes en intervalos muy cortos sí provocan el disparo. La calibración depende de la constante térmica, que a su vez está definida por la masa del material y sus propiedades físicas, así como de la distancia a la que esté

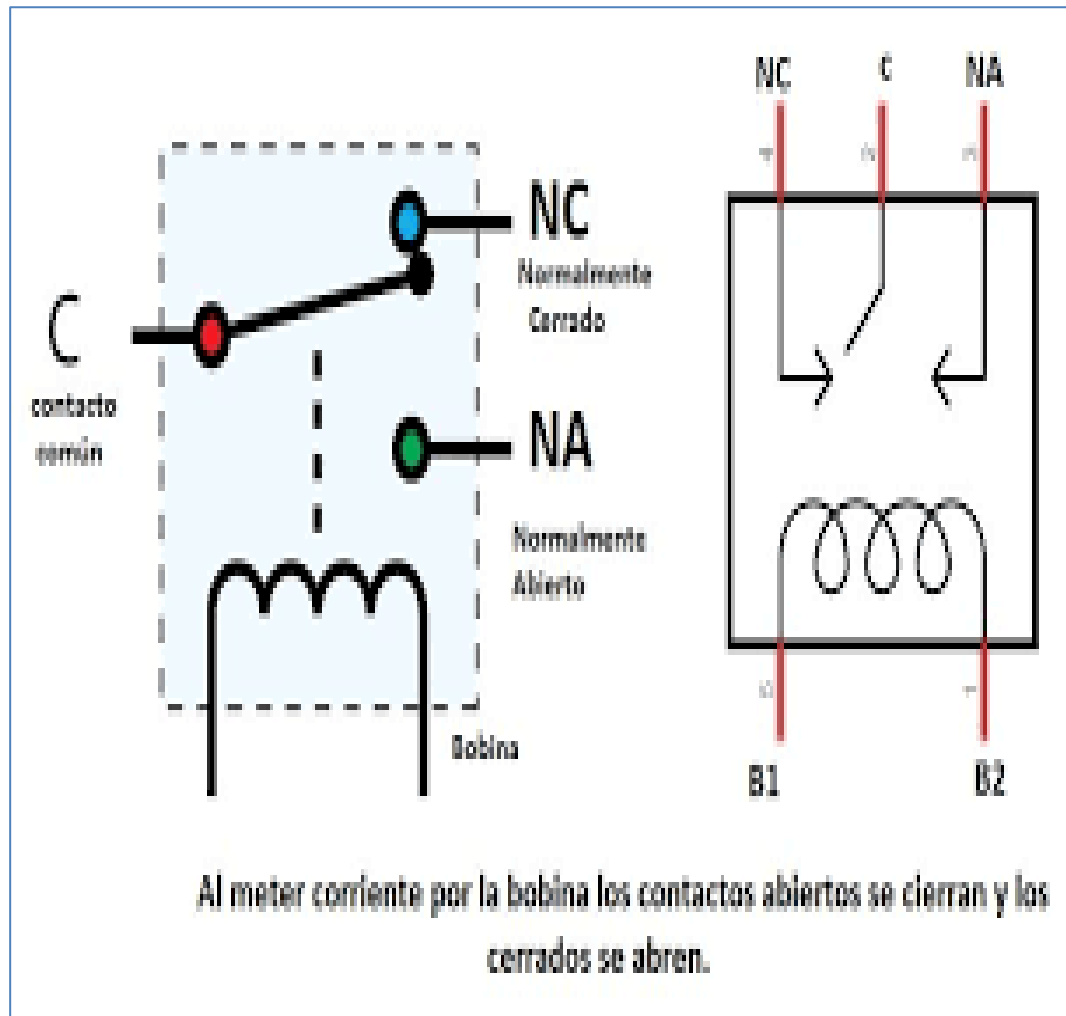
colocado el microinterruptor (distancia de calibración). A cada motor de cierta potencia y voltaje corresponde un relevador bimetálico preciso.

También están los relevadores electromagnéticos que son elementos que operan por la interacción de flujos electromagnéticos producidos en diversos núcleos o trayectorias magnéticas por corrientes proporcionales a las corrientes o voltajes de los circuitos que se desea vigilar. La proporcionalidad puede ser: lineal, cuadrática, diferencial, integral o cualquier otra función en el tiempo, que al alcanzar cierto valor hace operar a uno o varios contactos del relevador y se transmite la señal a otro equipo.

Normalmente se requieren transformadores de corriente o potencial para la señal que recibe el relevador, el cual dispone de varias terminales para corrientes de 0 a 5 amperes. Los relevadores electromagnéticos más importantes son: de corriente máxima, de protección diferencial, de voltaje, de secuencia de fase, de pérdida de campo, instantáneos y de tiempo. Existen algunos otros que se utilizan en líneas de transmisión como los de distancia, de impedancia y direccionales, entre otros.

También está el relevador de presión súbita que es un sensor mecánico provisto de contactos eléctricos. Básicamente se trata de una válvula de presión (tipo escape) que está colocada entre el depósito de aceite de un transformador y el medio ambiente. Cuando la presión del tanque rebasa el límite permitido se vence la fuerza de un resorte, los contactos cambian de estado y se interrumpe la alimentación eléctrica al transformador. En caso de una falla incipiente, el aceite reacciona y poco a poco se descompone produciendo gases que aumentan la presión en el depósito. Cuando se llega al valor de calibración, el relevador de presión súbita envía una señal de disparo.

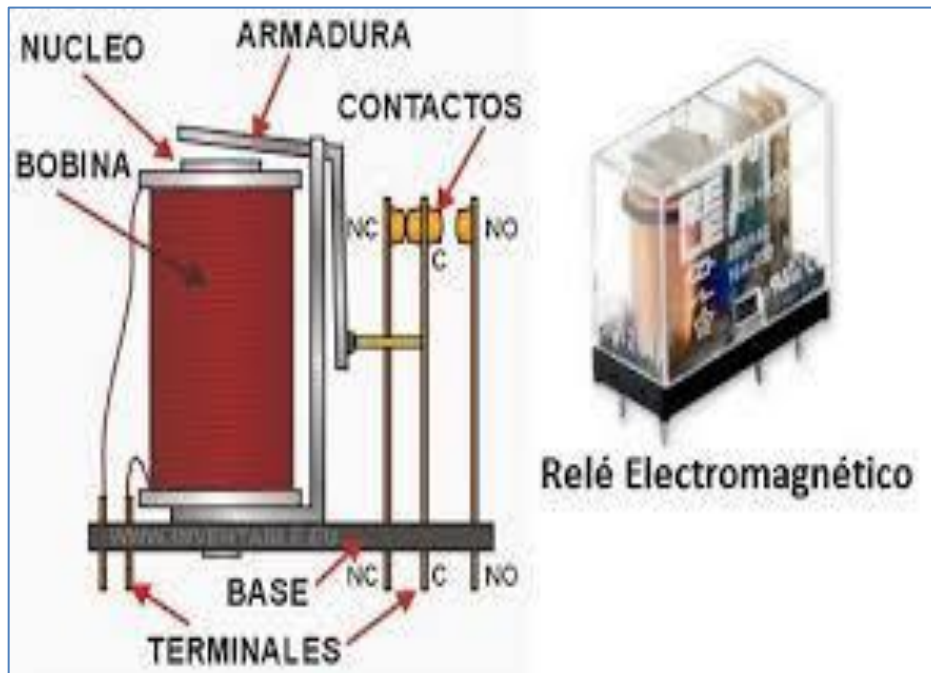
Figura 1. Esquemas eléctricos de relevador



Fuente: Areatecnología. *Esquemas eléctricos de relevador.*

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

Figura 2. Diagrama e imagen de relé electromagnético



Fuente: Areatecnologia. *Diagrama e imagen de relé electromagnético.*

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

2.4. Sistema de puesta a tierra

De acuerdo a la Norma IEEE 81, un sistema de puesta a tierra es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conectan a la tierra o algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grande que cumple la función de la tierra.

En una instalación eléctrica la conexión a tierra tiene una importancia primordial para la protección del personal y de los equipos. Una instalación eléctrica no puede considerarse adecuada si no tiene un sistema de puesta a tierra que cumpla con todos los requisitos para proporcionar esta protección.

2.4.1. Conexión a tierra

La conexión a tierra de todas las partes metálicas que no deben estar energizadas es una medida elemental de protección para evitar desgracias personales. En caso de que el aislamiento de un conductor falle y se establezca una vía de corriente con una parte metálica conectada a tierra, se reduce el voltaje entre el objeto y tierra, y la corriente que fluye hacia tierra provoca la operación de la protección del circuito correspondiente. Las instalaciones eléctricas se conectan a tierra para reducir el riesgo de *shock* al personal y a la vez proporcionar una trayectoria a tierra para las corrientes inducidas en la instalación por descargas atmosféricas; para cumplir con estos objetivos, es esencial que las conexiones a tierra tengan una resistencia muy baja.

Idealmente, una conexión a tierra debe tener una resistencia de cero ohmio. La NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 ohmios o menos. En nuestro país, las Normas NTDROID recomiendan 25 ohmio o menos para sistemas de un solo electrodo o multiaterrizado, 5 ohmio para sistemas subterráneos y 3 ohmio o menos para subestaciones según su capacidad.

2.4.2. Resistividad eléctrica de tierra

La resistencia a tierra de un sitio puede variar dentro de un rango muy amplio, ya que depende del tipo de material que tenga el suelo; de su contenido de humedad y de la temperatura. Para instalaciones importantes se recomienda medir la resistividad de la tierra del lugar de la instalación para diseñar las tomas de tierra. Cuanto menor sea la resistividad, más fácilmente se pueden alcanzar valores bajos para la resistencia de la instalación de los sistemas de puesta a tierra.

2.4.3. Elementos principales del sistema de puesta a tierra

Los sistemas de puesta a tierra, dependiendo de la instalación que se trate, pueden estar constituidos por diferentes elementos, pero principalmente están formados por los siguientes:

2.4.3.1. Electrodo de conexión a tierra

Son cuerpos metálicos puestos en contacto directo con el suelo con el fin de dispersar en el mismo las corrientes eléctricas canalizadas por los demás elementos del sistema de puesta a tierra.

2.4.3.2. Líneas de enlace a tierra

Son conductores o cables trenzados de cobre electrolítico semiduro desnudo o con aislamiento; el tipo y calibre se seleccionan en cada caso particular, de acuerdo con los requerimientos de cada instalación en particular.

2.4.3.3. Puntos de conexión a tierra

Los conectores que unen los conductores a electrodos o a conductores entre sí, deben ser del tipo soldable, o bien, existen también atornillables. En cada conexión de cable a electrodo se debe considerar un conector del tipo mecánico, en lugar accesible para pruebas de medición.

2.4.4. Líneas principales de tierra

Las líneas principales de tierra estarán formadas por conductores que partirán del punto de puesta a tierra y a las cuales estarán conectadas las

derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas generalmente a través de los conductores de protección.

2.4.5. Conductores de protección

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar la protección contra los contactos indirectos.

En el circuito de puesta a tierra, los conductores de protección unirán las masas a la línea principal de tierra.

En otros casos reciben igualmente el nombre de conductores de protección, aquellos conductores que unen las masas:

- Al neutro de la red
- A otras masas
- A elementos metálicos distintos de las masas
- A un relé de protección

2.4.6. Tomacorrientes con SPT para uso doméstico y uso general

El concepto de sistema de puesta a tierra se aplica a un tercer cable o alambre conductor que va conectado a la tierra o al suelo, éste se conecta en el tercer conector de los tomacorrientes que también se les llama polarizados.

El sistema de puesta a tierra protegerá a todo el equipo conectado a un tomacorriente de cualquier sobrecarga que pudiera originar y asimismo, brindará seguridad y tranquilidad a los usuarios.

Es importante mencionar al hablar de sistemas de puesta a tierra que sobre todo se busca el máximo aprovechamiento de la potencia de entrada a los aparatos y equipos, así como la compatibilidad y acoplamiento efectivo entre las fuentes de energía y las cargas eléctricas ya que es común encontrar.

2.4.7. Clases de electrodos

En un sistema de puesta a tierra, el electrodo provee la conexión física para disipar la corriente a tierra. Existen 2 tipos básicos de electrodos: el natural, que está intrínsecamente dentro de la instalación que incluye todo el metal enterrado como tuberías de agua, la estructura del edificio (si está efectivamente conectada a tierra) y el metal de refuerzo de la cimentación.

Los electrodos fabricados son instalados específicamente para mejorar el desempeño de los sistemas de puesta a tierra que incluyen mallas de alambre, platos metálicos, conductor de cobre desnudo y varillas directamente enterradas en el terreno.

En los siguientes puntos se explica algunos tipos de electrodos

2.4.7.1. Electrodo de varilla de acero recubierto de cobre

La varilla de tierra es el electrodo más utilizado, está constituida por un núcleo de acero, así como un recubrimiento de cobre aplicado mediante un

proceso electrolítico garantizando así una unión a nivel molecular para asegurar óptimo desempeño durante su vida útil.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos, los electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical y si no es este el caso, se pueden enterrar horizontales.

2.4.7.2. Estructura metálica del edificio

La estructura metálica de los edificios puede ser usada como electrodo, siempre que esté bien puesta a tierra, esto es que su impedancia a tierra sea baja.

Para que sea baja la impedancia, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores del sistema de puesta a tierra y en caso de haber sellos formados por películas plásticas, se deben puentear éstos.

2.4.7.3. Electroodos de concreto armado o UFER

Consisten en utilizar en las estructuras nuevas, el acero del concreto armado como electrodo principal, siempre y cuando la cimentación haya sido diseñada para este fin con los cables de tierra adecuados conectados a las varillas. Los electrodos de concreto tienen una resistencia a tierra menor o igual que las varillas de cobre de un tamaño comparable.

En lugares que es posible que caigan descargas atmosféricas en el sistema de puesta a tierra con electrodos de concreto, éstos deben

complementarse con electrodos de otro tipo, para que las grandes corrientes debidas a esas descargas no causen ningún daño por fractura al evaporar muy rápidamente el agua presente en el concreto.

2.4.7.4. Anillo de tierra

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG (por resistencia mecánica) y de longitud no menor a 6 metros enterrado a una profundidad de 800 mm y que rodee al edificio o estructura.

Estos anillos de tierra se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones o de cómputo, para proveer un plano equipotencial para edificios y equipos.

2.4.8. Conectores

Los conectores de conductores de sistemas de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados, es aconsejable que no contengan soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, entre otros) para evitar falsos contactos, ya que pierde características de seguridad la malla, si se llegara a abrir.

Los conectores a presión a usarse en sistemas de puesta a tierra deben ser adecuados para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra y cuando se usen enterrados, deben ser del tipo apropiado.

2.4.9. Mejoramiento de resistencia a tierra

La reducción artificial de la resistencia a tierra por tratamiento del suelo (sales o componentes similares) no se recomienda, excepto como un último recurso. Cualquier tratamiento efectivo se puede utilizar para períodos cortos, aunque se incremente gradualmente el riesgo de corrosión. Es mucho mejor hacer el uso de un terreno orgánico, se puede recurrir a la colocación de carbón o grafito en polvo.

De acuerdo con la textura del suelo puede aplicarse un tratamiento químico que logre reducir la resistividad entre un 15 % y hasta un 90 %. Para este fin se puede utilizar cloruro de sodio (sal común), sulfato de magnesio o sulfato de cobre. La aplicación de estos productos se hace en una zanja alrededor del electrodo, pero de tal forma que no entren en contacto directo con él. Al principio los efectos del tratamiento no son apreciables, pero mejoran con el tiempo o humedeciendo la zona. En caso de que se decida mejorar la conductividad únicamente mojando el suelo que rodea al electrodo, debe mantenerse constantemente húmedo para que resulte adecuado.

2.4.10. Clasificación de los sistemas de puesta a tierra por su uso

A continuación, se describe la clasificación de los sistemas de puesta a tierra por su uso.

2.4.10.1. Sistema de puesto a tierra para protección

Significa drenar a tierra las corrientes de falla de todos los elementos metálicos (no conductores) que formen parte de la instalación eléctrica, incluyendo equipos para protección de las personas.

2.4.10.2. Sistema de puesto a tierra para funcionamiento

Se refiere a que una parte del sistema eléctrico debe mantenerse a potencial de tierra para su buen funcionamiento; en los sistemas de distribución, los neutros de los transformadores, generadores, bases de los pararrayos, los circuitos de comunicación para eliminar ruidos e interferencias, en los circuitos electrónicos para señal de referencia, entre otros.

2.4.10.3. Sistema de puesto a tierra provisional

Es una conexión a tierra con carácter provisional que debe garantizar seguridad a la integridad física de las personas. Es común utilizarla en trabajos de mantenimiento de elementos eléctricos, que normalmente se haya energizado y temporalmente fuera de servicio.

2.5. Sistema de pararrayos

Un sistema de pararrayos es creado para la protección de un recinto contra las tormentas eléctricas, este sistema proporciona una seguridad que en caso de impactar un rayo contra nuestras instalaciones este será direccionado desde nuestro pararrayos hasta la tierra y así se evitará algún daño en las

instalaciones e incluso la pérdida de vida, pues la electricidad que contienen estos rayos es muy amplia.

Los sistemas básicos se encuentran compuestos por puntas captadoras de rayos, bajantes encargados de direccionar la energía ocasionada por el rayo y un sistema de puesta a tierra que disipa la energía del rayo. En la actualidad existen dos tecnologías que logran un mayor rendimiento y que además cuentan con respaldo científico y certificaciones, estas son:

- PCD; pararrayo con dispositivo cebado
- Jaula de Faraday

Este fenómeno natural es imposible de controlar, por ello es recomendable que se cuente con un sistema como estos bien diseñados y con cálculos exactos, ya que se logra la protección de las personas, equipos electrónicos y el recinto. Sin embargo, para su instalación se debe de realizar un estudio completo que determine que se necesita, donde se necesita y cómo instalarlo.

2.5.1. Pararrayos

Un pararrayos es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo y canalizar la descarga eléctrica hacia tierra, de modo tal que no cause daños a construcciones o personas. Este artilugio fue inventado en 1752 por Benjamín Franklin mientras efectuaba una serie de experimentos sobre la propiedad que tienen las puntas agudas, puestas en contacto con la tierra, de descargar los cuerpos electrizados situados en su proximidad. Este primer pararrayos se conoce como pararrayos Franklin en homenaje a su inventor.

2.5.2. Tipos de pararrayos

A continuación, se realiza la descripción de los tipos de pararrayos que existen:

2.5.2.1. Pararrayos punta simple Franklin (PSF)

Son electrodos de acero o de materiales similares acabados en una o varias puntas, denominados punta simple Franklin, no tienen ningún dispositivo electrónico ni fuente radioactiva. Su medida varía en función del modelo de cada fabricante, algunos fabricantes colocan un sistema metálico cerca de la punta para generar un efecto de condensador.

Durante el proceso de la tormenta se generan campos eléctricos de alta tensión entre nube y tierra. Las cargas se concentran en las puntas más predominantes a partir de una magnitud del campo eléctrico. Alrededor de la punta o electrodo aparece la ionización natural o efecto corona, resultado de la transferencia de energía. Este fenómeno es el principio de excitación para trazar un canal conductor que facilitará la descarga del fenómeno rayo.

En función de la transferencia o intercambio de cargas se pueden apreciar, en la punta del pararrayos, chispas diminutas en forma de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos (efecto corona). Este fenómeno arranca una serie de avalancha electrónica por el efecto campo, un electrón ioniza un átomo produciendo un segundo electrón, éste a su vez junto con el electrón original puede ionizar otros átomos produciendo así una avalancha que aumenta exponencialmente.

Las colisiones no resultantes en un nuevo electrón provocan una excitación que deriva en el fenómeno luminoso. A partir de ese momento, el aire cambia de características gaseosas al límite de su ruptura dieléctrica (trazador o canal ionizado). El rayo es el resultado de la saturación de cargas entre nube y tierra, se encarga de transferir en un instante, parte de la energía acumulada; el proceso puede repetirse varias veces.

2.5.2.2. Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta. Incorporan un sistema electrónico que genera un avance teórico del trazador; otros incorporan un sistema piezoeléctrico que genera un efecto similar. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo, una vez que se produce la carga del dispositivo electrónico de excitación (cebador). Las medidas de los cabezales varían en función del modelo de cada fabricante. No incorporan ninguna fuente radioactiva.

El principio de funcionamiento sigue siendo el mismo que los pararrayos tipo Franklin, la diferencia tecnológica de estos equipos está en el sistema electrónico, que aprovecha la influencia eléctrica del aumento de potencial entre la nube y la tierra para autoalimentar el cebador. Son componentes electrónicos que están alojados normalmente en el interior de un envase metálico y colocado en la parte más cercana de la punta del pararrayos y sirve para excitar la avalancha de electrones (ionización).

La excitación del rayo se efectúa ionizando el aire por impulsos repetitivos. Según aumente gradualmente la diferencia de potencial entre el pararrayos y la

nube, aparece la ionización natural o efecto líder. Son mini descargas que salen de la punta con más intensidad para ionizar el aire más lejos; este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor intermitente que facilitará la descarga del fenómeno rayo.

El conjunto electrónico (cebador) está dentro de la influencia directa de los efectos térmicos, electrodinámicos y electromagnéticos que genera el impacto del rayo durante la descarga. En función de la intensidad de descarga del rayo, la destrucción del dispositivo electrónico es irreversible. A partir de ese momento la eficacia del PDC no está garantizada.

2.5.2.3. Pararrayos avanzados

En la actualidad la protección de circuitos eléctricos (líneas de alta tensión por ejemplo) incluye dispositivos de descarga que no deben confundirse con pararrayos. Su función consiste en descargar a tierra las tensiones producidas por los rayos, de una forma más eficiente que la simple descarga a tierra por un cable con poca resistencia.

Estos dispositivos se utilizan en la actualidad de dos tipos: los de resistencia Variable y los de óxido de zinc. Los primeros asocian una serie de explosores y unas resistencias no lineales (varistancias) capaces de limitar la corriente después del paso de la onda de choque. Se caracterizan por su tensión de extinción a frecuencia industrial más alta bajo la cual el pararrayos puede descebarse espontáneamente. Los segundos están constituidos solo por varistancias y reemplazan a los anteriores cada vez más, ya que su característica principal es la no linealidad de las varistancias de ZnO, que facilitan que la resistencia pase de 1,5 mohms a 15 ohms entre la tensión de servicio y la tensión nominal de descarga.

La combinación de un pararrayos Franklin y uno de estos dispositivos puede ser una eficaz protección contra el rayo, si lo que se busca es atraerlo y descargarlo.

2.5.3. Diseño de protección contra rayos

Al realizar la evaluación de riesgo frente a rayos por medio de la norma internacional IEC 62305-2, se podrá encontrar que nivel de riesgo tiene la estructura (I, II, III o IV) y de acuerdo a ello proceder a hacer el cálculo mediante uno de los tres métodos aceptados: método de esfera rodante, método del ángulo de protección, método del enmallado.

2.5.3.1. Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante es aplicable para estructuras con altura menor a 55 metros.

Antes de realizar este método se deberá haber calculado el análisis de riesgo de acuerdo a la norma IEC 62305-2. Debido a que el análisis de riesgo arrojará un nivel que puede ser I, II, III o IV con el cual se dispone de un radio de la esfera rodante equivalente.

Después de tener el radio de la esfera rodante se deberá aplicar el método que consiste en hacer rodar la esfera del radio calculado sobre la estructura a proteger en tres dimensiones. Se considera como protegidos aquellos puntos que se encuentran en la zona definida por la superficie de la esfera y la superficie exterior de dicha estructura. Los puntos en que la esfera toca a las diferentes partes de la estructura y el suelo son susceptibles de ser alcanzadas por las descargas.

El posicionamiento de los terminales de captación debe realizarse de manera tal que la esfera rodante escogida por el nivel de protección nunca toque ninguna parte de la estructura, de este modo la esfera siempre estará soportada por algún elemento del sistema de captación, la distribución de la esfera rodante por la estructura deberá ser en tres dimensiones.

En estructuras más altas que el radio de la esfera rodante, pueden existir rayos que impacten los costados de estas. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es punto factible de ser impactado. Sin embargo, la probabilidad que los rayos impactan los costados es prácticamente despreciable para estructuras menores a 60 metros.

2.5.3.2. Método del ángulo de protección

El método del ángulo de protección es útil para edificaciones con formas simples, pero está limitado a la altura de los mismos y el tamaño del sistema de captación. Es más comúnmente utilizado para complementar el método de malla o de la esfera rodante proporcionando protección a los elementos que sobresalen de la superficie plana. Estructuras en el techo tales como antenas, ventilación, ascensores, paneles solares, aires acondicionados, entre otros.

El método del ángulo de protección se puede utilizar en estructuras tales como:

- Edificios de forma simple con superficies planas.
- Edificios de forma simple con superficies inclinadas, el ángulo de la protección se hace referencia a partir de una línea perpendicular desde la superficie hasta la punta de la varilla.

Antes de realizar este método se deberá haber calculado el análisis de riesgo de acuerdo a la Norma IEC 62305-2. Debido a que el análisis de riesgo arrojará un nivel que puede ser I, II, III o IV con el cual se establece el ángulo de protección. La altura se escoge a partir de la altura relativa que tiene el elemento con la superficie a proteger y a partir de ahí se colocan las puntas captadoras de tal manera que la estructura quede siempre dentro de la zona de protección de la punta. Se considera que la ubicación del sistema de captación es adecuada si la estructura completa a ser protegida está dentro del volumen de protección. El diseño se deberá hacer en tres dimensiones.

2.5.3.3. Método de enmallado

El método de enmallado es útil para proteger superficies planas como techos y terrazas. Según este método se debe instalar una retícula de conductores sobre la estructura con una separación que dependerá del nivel de protección definido en el análisis de riesgo hecho.

2.5.4. Normativa de pararrayos

La evaluación del nivel de riesgo por rayos, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2.

2.5.5. Accesorios

Entre los accesorios para la instalación del sistema de pararrayos se cuenta con los siguientes:

- Piezas de adaptación que facilitan la conexión de la punta captadora a la red conductora.
- Mástiles para la fijación y soporte de puntas captadoras a estructura mediante anclajes o placas base.
- Sistemas de anclaje o fijación para mástiles de diferente medida.

2.6. Supresores de tensión

Un supresor de tensión también conocido por SPD, protector eléctrico o protector de sobretensión, es un dispositivo diseñado para proteger dispositivos eléctricos de picos de tensión ya que gestionan o administran la energía eléctrica de un dispositivo electrónico conectado a este. Un supresor de tensión intenta regular el voltaje que se aplica a un dispositivo eléctrico bloqueando o enviando a tierra voltajes superiores a un umbral seguro.

2.6.1. Ventajas y desventajas

Las ventajas son un voltaje estable y regulación de sobrevoltajes y las desventajas es que no sirven en apagones y generan ruido a la línea eléctrica, además de un consumo extra.

2.6.2. Tipos de supresores de tensión

En los siguientes párrafos se realiza la descripción de supresores de tensión.

2.6.2.1. Supresores contra sobretensiones permanentes

Las sobretensiones permanentes son aumentos de tensión superior al 10 % de la tensión nominal y duración indeterminada. La alimentación de equipos con una tensión superior a aquella para la que han sido diseñados puede generar:

- Sobrecalentamiento de los equipos.
- Reducción de la vida útil.
- Incendios.
- Destrucción de los equipos.
- Interrupción del servicio.

La protección contra sobretensiones permanentes requiere de un sistema distinto que en las sobretensiones transitorias. En vez de derivar a tierra para evitar el exceso de tensión, es necesario desconectar la instalación de la red eléctrica para evitar que llegue la sobretensión a los equipos. El uso de supresores es indispensable en áreas donde se dan fluctuaciones de valor de tensión de la red.

2.6.2.2. Supresores contra sobretensiones transitorias

Las sobretensiones transitorias son picos de tensión que alcanzan valores de decenas de kilovoltios y de corta duración, causan la destrucción de equipos conectados a la red provocando:

- Daños graves o destrucción de los equipos
- Interrupción del servicio

En algunas instalaciones un solo supresor contra sobretensiones puede ser suficiente. Sin embargo, en muchas otras, se necesitará más de un paso de protección, de esta forma se consigue un mayor poder de descarga asegurando una tensión residual pequeña.

2.6.3. Selección del supresor de tensión

De acuerdo con las Normas IEC, dependiendo de la exposición de la instalación a las sobretensiones, serán necesarios supresores de diferentes capacidades de descarga.

Otro punto a considerar a la hora de hacer la selección del supresor son los equipamientos que se requieren proteger, ya que el nivel de protección dado por el supresor deberá ser inferior al valor que el equipo pueda soportar. De acuerdo con la capacidad de descarga o nivel de protección (U_p), los supresores están divididos en tres tipos.

Existen en el mercado supresores que basan su tecnología en varistores, descargadores de gas y vía chispas, siendo necesaria su combinación en función de la capacidad de descarga requerida.

La protección ideal es proteger por escalones, usando los diferentes tipos de supresor y seleccionando los dispositivos más adecuados para la instalación.

2.6.3.1. Supresores tipo 1

Según la Norma IEC 61643-11 los supresores de tensión que pertenecen a esta clase deben ser equipos capaces de soportar ondas de gran energía del tipo 10/350 μ s, y se recomienda su uso en acometidas de baja tensión en el cuadro del tablero general aguas debajo del totalizador general.

Los supresores tipo 1 son necesarios cuando es de esperar una descarga directa de rayo, por ejemplo:

- Edificios de gran altura (más de 35 metros) con sistema de protección externa contra rayos.
- Protección de industrias con sistemas de protección externa.
- Hospitales, edificios públicos o de patrimonio cultural, etc. con distancia inferior a 50 metros de una instalación con protección externa.
- Protección de viviendas rurales con sistema de protección externa.

2.6.3.2. Supresores tipo 2

- Supresores con capacidad para derivar a tierra corrientes altas en curva 8/20 μ s.
- Nivel de protección (Up) medio.
- Son los más ampliamente utilizados porque ofrecen un nivel de protección compatible con la mayoría de equipos que se conectan a la red de alimentación.

- Su uso es adecuado como protección media cuando se tengan instalados supresores de tipo 1 como primer escalón en viviendas, comercios.
- Los supresores tipo 2 deben instalarse siempre aguas debajo de los supresores tipo 1 en todas las instalaciones con protección externa, en el cuadro de baja tensión. Su instalación en cabecera será suficiente cuando no exista protección externa.

2.6.3.3. Supresores tipo 3

- Supresores con capacidad para derivar a tierra corrientes medias en curva 8/20 μ s.
- Nivel de protección (Up) bajo.
- Deben instalarse para la protección de equipos sensibles tanto en el caso de viviendas como de industria, o en equipos que estén a una distancia superior a 20 metros de donde esté instalado el supresor tipo 2.

2.7. Banco de capacitores

Los bancos de capacitores son equipos que regularmente se instalan en los sistemas eléctricos, tanto en baja como en mediana y alta tensión, ya que son de utilidad para corregir el factor de potencia y evitar las penalizaciones que la empresa suministradora impone, mejorar el perfil de voltaje, principalmente durante condiciones de arranque de motores o conexión de cargas de gran magnitud. Cuando se emplean como parte de los filtros de armónicos, ayudan a reducir las corrientes armónicas que circulan por la red eléctrica, evitando pérdidas eléctricas y desgaste en los equipos.

Los bancos de capacitores se han usado para la compensación de los requerimientos de potencia reactiva y elevación de tensión en los sistemas de potencia. Los capacitores son dispositivos que consisten en dos superficies conductoras separadas por un dieléctrico. Éstos tienen la capacidad de almacenar energía electrostática, la cual se halla en un campo eléctrico y se debe relacionar directamente con la carga eléctrica que se almacena en el dispositivo.

Es de suma importancia que se tomen en cuenta diversas variables cuando se selecciona un banco de capacitores, ya que de no hacerse o no evaluarse por un especialista podrían ocasionar problemas. Entre estas variables, cabe mencionar: designar el objetivo de la instalación (ayudar durante el arranque de los motores, corregir el factor de potencia, mejorar el perfil de voltaje, filtrar armónicos, entre otros), la localización, el tipo de cargas que se tienen en el punto de conexión, si será un banco fijo o ajustable.

En el caso del banco fijo, por ejemplo, siempre se encontrará conectado a la línea de alimentación; pero, dependiendo de la aplicación que se le dé, puede ser conectado o desconectado con los arrancadores de los motores. Los bancos fijos son, además, bastante útiles cuando se requiere mejorar el factor de potencia de una carga o un grupo de cargas cuya demanda de potencia reactiva sea esencialmente constante. En contraste, el banco automático de capacitores consta de un conjunto de celdas capacitivas de valores distintos y también idénticos, según el arreglo, los cuales se encuentran agrupados para obtener el factor de potencia con variaciones de carga.

Para la corrección del factor de potencia, intervienen únicamente las demandas de P (potencia real) y Q (potencia reactiva), las cuales son suministradas hacia la carga. Después de registrar los datos, el factor de potencia se calcula de la relación que hay entre la potencia real y la reactiva.

La corrección del factor de potencia consiste en disminuir la potencia reactiva que demanda la carga, de forma que los KVA tiendan a ser iguales a los kilowatts.

2.8. Diagrama unifilar

Un esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. El diagrama unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente el diagrama unifilar tiene una estructura de árbol, aunque no es la única.

2.8.1. Elementos típicos en un diagrama unifilar

La siguiente es una relación no exhaustiva de elementos gráficos que se suelen encontrar en un diagrama unifilar.

- Cuadros eléctricos: todos los componentes que se encuentran en el interior de un mismo cuadro eléctrico se representan en el interior de un polígono (probablemente un rectángulo). Este polígono representa al cuadro eléctrico y se suele dibujar con una línea discontinua. Además, es conveniente que una etiqueta identifique a qué cuadro hace referencia cada polígono por medio de un rótulo técnico en el margen inferior derecho.
- Circuito: un circuito es una rama del diagrama unifilar con dos extremos. El extremo superior puede ser el inicio del diagrama unifilar o estar conectado a otro circuito arriba. El extremo inferior puede estar conectado a uno o más circuitos, o a un receptor.

- Número y características de los conductores: el número de conductores de un circuito se representa mediante unos trazos oblicuos, y paralelos entre sí, que se dibujan sobre la línea. Solamente se representan los conductores activos (no el de tierra), por lo que es habitual encontrar dos, tres o cuatro trazos, para circuitos monofásicos, trifásicos sin neutro y trifásicos con neutro respectivamente. Junto a cada rama se indican las características del conductor, como número de conductores, sección, material, aislamiento, canalización, entre otros.
- Aparata de protección o maniobra: en algunas ramas del diagrama unifilar es posible encontrar aparata de protección o de maniobra, como, por ejemplo, interruptores diferenciales, magnetotérmicos o relés. También es usado para prácticas o instalaciones sobre planos.
- Receptores: las ramas inferiores del diagrama unifilar alimentan a receptores eléctricos, tales como lámparas, tomas de corriente, motores, entre otros. Cada grupo de receptores iguales en un mismo circuito se representa mediante un único símbolo. Debajo del símbolo del receptor se indican algunos datos de interés, como la designación del receptor, la cantidad, la potencia de cálculo de la línea, la longitud máxima o la caída de tensión en el punto más alejado de la línea. Puede darse el caso de que uno o varios receptores sean otro cuadro eléctrico (o subcuadro) que se alimenta del cuadro anterior (o cuadro principal).

2.8.2. Normas aplicadas a los diagramas unifilares

En los últimos años 1996 a 1999 se han visto modificados los símbolos gráficos para esquemas eléctricos, a nivel internacional con la Norma IEC

60617, que se ha adoptado a nivel europeo en la norma EN 60617 y que finalmente se ha publicado en España como la Norma UNE-EN 60617.

2.9. Análisis de cortocircuito

Para el análisis de cortocircuito se realiza una descripción la cual se realiza a continuación:

2.9.1. Qué es el cortocircuito y su importancia en el sistema eléctrico

La planificación, el diseño y la operación de los sistemas eléctricos, requiere de minuciosos estudios para evaluar su comportamiento, confiabilidad y seguridad. Los estudios típicos que se realizan son los flujos de potencia, estabilidad, coordinación de protecciones, cálculo de cortocircuito, entre otros. Un buen diseño debe estar basado en un cuidadoso estudio que incluye la selección de voltaje, tamaño de equipamiento y selección apropiada de las protecciones.

La mayoría de los estudios necesitan de un complejo y detallado modelo que represente al sistema eléctrico, generalmente establecido en la etapa de proyecto. Los estudios de cortocircuito son típicos ejemplos de éstos, siendo esencial para la selección de equipos y el ajuste de sus respectivas protecciones.

Las dimensiones de una instalación eléctrica y de los materiales que se instalan, así como la determinación de las protecciones de las personas y bienes, precisan el cálculo de las corrientes de cortocircuito en cualquier punto de la red. Un estudio de cortocircuito tiene la finalidad de proporcionar

información sobre corrientes y voltajes en un sistema eléctrico durante condiciones de falla.

2.9.1.1. Definición

Un cortocircuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta el punto de falla. Se puede decir, que un cortocircuito es también el establecimiento de un flujo de corriente eléctrica muy alta, debido a una conexión por un circuito de baja impedancia, que prácticamente siempre ocurren por accidente. La magnitud de la corriente de cortocircuito es mucho mayor que la corriente nominal o de carga que circula por el mismo. Aún en las instalaciones con las protecciones más sofisticadas se producen fallas por cortocircuito.

La corriente eléctrica de carga produce trabajo útil, mientras que la corriente de cortocircuito produce efectos destructivos. La magnitud de la corriente que fluye a través de un cortocircuito depende principalmente de dos factores:

- Las características y el número de fuentes que alimentan al cortocircuito.
- La oposición o resistencia que presente el propio circuito de distribución.

En condiciones normales de operación, la carga consume una corriente proporcional al voltaje aplicado y a la impedancia de la propia carga. Si se presenta un cortocircuito en las terminales de la carga, el voltaje queda aplicado únicamente a la baja impedancia de los conductores de alimentación y a la impedancia de la fuente hasta el punto de cortocircuito, ya no oponiéndose la impedancia normal de la carga y generando una corriente mucho mayor.

2.9.1.2. Objetivo de un estudio de cortocircuito

El objetivo del estudio de cortocircuito es calcular el valor máximo de la corriente y su comportamiento durante el tiempo que permanece el mismo. Esto permite determinar el valor de la corriente que debe interrumpirse y conocer el esfuerzo al que son sometidos los equipos durante el tiempo transcurrido desde que se presenta la falla hasta que se interrumpe la circulación de la corriente.

2.9.1.3. Importancia del estudio de cortocircuito

Un aspecto importante a considerar en la operación y planificación de los sistemas eléctricos es su comportamiento en condiciones normales, sin embargo, también es relevante observar en el estado transitorio, es decir, ante una contingencia. Esta condición transitoria en las instalaciones se debe a distintas causas y una gran variedad de ellas está fuera del control humano.

Ante ello los equipos o sistemas pueden sufrir daños severos temporales o permanentes en condiciones de falla. Por lo tanto, es necesario definir equipos y esquemas de protección adecuados al momento de diseñar las instalaciones, de tal forma que se asegure el correcto desempeño de la red eléctrica, apoyada por los dispositivos de monitoreo, detección y señalización.

Debido a lo indicado, se hace indispensable realizar estudios de cortocircuito para determinar los niveles de corriente ante fallas, las cuales permiten obtener información necesaria para seleccionar correctamente la capacidad de los equipos en función de los requerimientos mínimos que deben cumplir y así soportar los efectos de las contingencias. Sin embargo, la

presencia de fallas es una situación indeseable en un sistema eléctrico, pero lamentablemente no se pueden prever pues se presentan eventualmente teniendo diversos orígenes, por lo que ante estas condiciones, se debe estar en posibilidad de conocer las magnitudes de las corrientes de cortocircuito en todos los puntos de la red.

En general, se puede mencionar que un estudio de cortocircuito sirve para:

- Determinar las capacidades interruptivas de los elementos de protección como son interruptores, fusibles, entre ellos.
- Realizar la coordinación de los dispositivos de protección contra las corrientes de cortocircuito.
- Permite realizar estudios térmicos y dinámicos que consideren los efectos de las corrientes de cortocircuito en algunos elementos de las instalaciones como son: sistemas de barras, tableros, cables, entre otros.
- Obtener los equivalentes de Thevenin y su utilización con otros estudios del sistema, como son los de estabilidad angular en los sistemas de potencia y ubicación de compensación reactiva en derivación, entre otros.
- Calcular las mallas de puesta a tierra, seleccionar conductores alimentadores.

Se debe entender que la duración del cortocircuito es el tiempo en segundos o ciclos durante el cual, la corriente de falla se presenta en el sistema. El fuerte incremento de calor generado por tal magnitud de corriente, puede destruir o envejecer los aislantes del sistema eléctrico, por lo tanto, es de

vital importancia reducir este tiempo al mínimo mediante el uso de las protecciones adecuadas.

Las contingencias originadas por un cortocircuito son comunes en las instalaciones eléctricas, por tal motivo la importancia de conocer sus características, cómo se origina, quien incrementa su valor, como estudiarlo, como protegerse ante esta situación, entre otras, es de gran relevancia en el sistema eléctrico. Si se protege adecuadamente ante adversidades provocadas o no por el ser humano, evitamos cualquier contingencia, como un incendio, una electrocución, fallas en los equipos, entre otros.

Las contingencias eléctricas, en especial con el cortocircuito, si se conoce todo lo relacionado a él o gran parte, cuando se presente, estará controlado y eliminado en ese momento, pero mientras la cultura sobre las instalaciones eléctricas no cambie, el peligro estará latente.

2.9.1.4. Fuentes alimentadoras de corrientes de cortocircuito

Las fuentes principales de corrientes de cortocircuito son los generadores existentes en el sistema eléctrico y la generación remota de la compañía suministradora de energía eléctrica, los motores y condensadores sincrónicos, así como los motores de inducción, los cuales antes de que suceda la falla representan una carga para el sistema, pero en condiciones de cortocircuito, se comportan como generadores durante un tiempo relativamente corto, ya que utilizan para su movimiento la energía almacenada en su masa (energía cinética) y en la de las máquinas acopladas a ellos. En la figura 3 se muestra el flujo de corriente de cortocircuito de acuerdo a la aportación de cada elemento mencionado anteriormente.

La corriente que cada una de estas máquinas rotatorias aporta a la falla está limitada por su impedancia y decrece exponencialmente con el tiempo a partir del valor que adquiere inmediatamente después de la falla. Entonces la impedancia que las máquinas rotatorias presentan al cortocircuito es variable. Otro de los factores que influyen sobre la magnitud de la corriente de cortocircuito son el momento, tipo y ubicación de la falla.

Para que la compañía suministradora realice la distribución de energía de manera adecuada, necesita de una inmensa cantidad de elementos interconectados. En un sistema típico los generadores no se ven afectados por la aportación de cortocircuito proveniente de una planta industrial, solo existe un incremento en su corriente de carga que tiende a permanecer constante.

Si no fuera por la existencia de líneas de transmisión y distribución, así como de transformadores que se ubican en medio del suministrador y el consumidor, la compañía suministradora estaría aportando corriente de falla de forma infinita. Para facilidad de los cálculos de cortocircuito, la representación de la compañía suministradora es una impedancia equivalente referida al punto de acometida, además de proporcionar un valor de MVA_{cc} .

Cuando ocurre un cortocircuito en el circuito al cual está conectado el generador, éste continúa produciendo voltaje porque la excitación de campo se mantiene y el primomotor sigue moviéndolo a velocidad normal. El voltaje generado produce una corriente de cortocircuito de gran magnitud la cual fluye del generador (o generadores) al punto de falla.

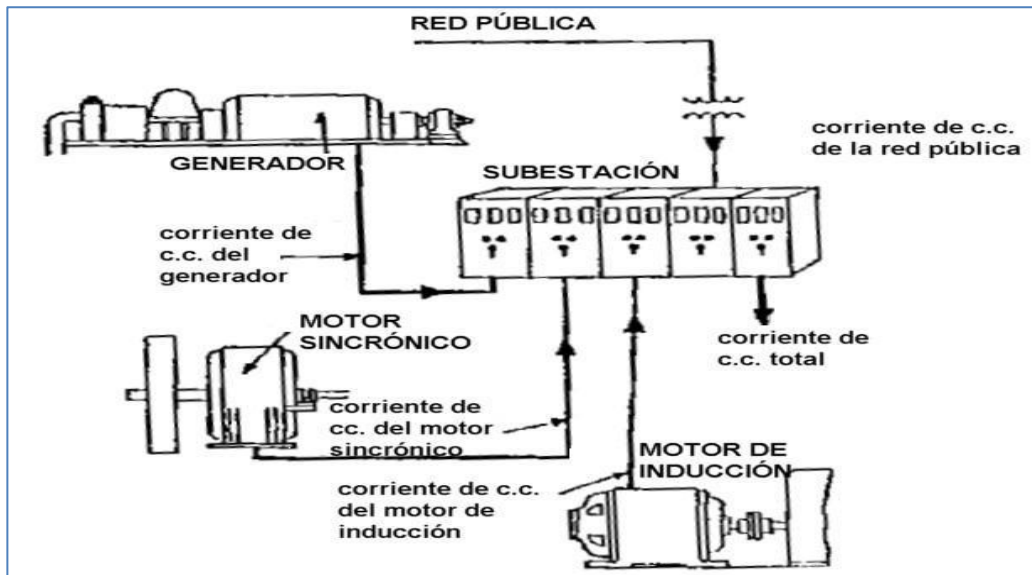
El motor síncrono actúa como generador y entrega corriente de cortocircuito en el momento de una falla. Tan pronto como la falla se establece, el voltaje en el sistema se reduce a un valor muy bajo. Consecuentemente el

motor deja de entregar energía a la carga mecánica y empieza a detenerse. Sin embargo, la inercia de la carga y el rotor impiden al motor que se detenga, en otras palabras, la energía rotatoria de la carga y el rotor mueven al motor síncrono como un primomotor mueve a un generador.

Los motores de inducción presentan el mismo efecto que un motor síncrono en el momento de una falla, la inercia de la carga y el rotor siguen moviendo al motor. Sin embargo, existe una diferencia, el motor de inducción presenta un flujo, el cual funciona similarmente como el flujo producido en el campo de corriente directa en el motor síncrono.

Este flujo del rotor no decae instantáneamente y la inercia sigue moviendo al motor, esto origina una tensión en el devanado del estator causando una corriente de cortocircuito que fluye hasta el punto de falla mientras el flujo del motor decae a cero.

Figura 3. **Contribuciones de distintas fuentes a la corriente de cortocircuito**



Fuente: GÓMEZ, Marcial Daniel. *Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales*. p.127.

2.9.2. Los tipos de fallas más recurrentes en la instalación eléctrica y métodos de solución

No hay duda que las fallas eléctricas por cortocircuito y sobrecarga son las más comunes en las instalaciones, sin embargo, la que requiere mayor atención y estudio es la originada por corto circuito, debido a su naturaleza y las consecuencias que trae consigo. Entre las causas más frecuentes por cortocircuito se puede mencionar las debidas a la ruptura o debilitamiento del aislamiento de conductores o equipos y los producidos por agentes ambientales, así como contacto accidental de conductores en líneas aéreas por efecto del viento o por movimiento de los postes a causa de temblores o accidentes automovilísticos, o bien simplemente son errores de conexión.

En virtud de que el cortocircuito trae consigo un incremento súbito del valor de la corriente, se produce también un incremento inmediato del campo magnético asociado a esa corriente, hay que recordar que el campo magnético es directamente proporcional a la corriente eléctrica.

Típicamente se producen chispas y fusión de los conductores en el lugar en que estos se unieron para provocar la falla por cortocircuito. En otras palabras, el cortocircuito sublima a los cables, es decir pasa de ser sólido a gas sin ser líquido, debido a una emisión descontrolada de electrones, los cuales tienden a salir y por lo tanto aparenta que explota o que saca esas chispas, o sea se presenta un arco eléctrico. También se puede desprender material de los conductores a causa de la corriente tan intensa. Estos elementos pueden causar a su vez que se produzca fuego en materiales consumibles o explosiones en atmósferas peligrosas. Además, los aislamientos de los conductores se calientan rápidamente y también pueden incendiarse.

2.9.2.1. Características del cortocircuito

Una corriente en régimen normal es una onda senoidal a 60 Hz y de amplitud constante, pero cuando sucede un cortocircuito, la onda de corriente sigue siendo senoidal con la misma frecuencia, pero va decreciendo exponencialmente desde un valor inicial máximo hasta su valor en régimen estacionario, ya que el cortocircuito es esencialmente de carácter transitorio. Lo anterior se observa en la figura 4 en la curva de la corriente total.

El período de ocurrencia de falla por cortocircuito se divide en una serie sucesiva de intervalos casi estacionarios, los cuales son el período subtransitorio, transitorio y estacionario o permanente. Se tiene que tomar en cuenta el concepto de impedancia para determinar la corriente correspondiente

a cada uno de estos estados o intervalos. Esta impedancia es variable con el tiempo en las máquinas rotativas.

En las máquinas rotativas de corriente alterna generalmente la impedancia puede modelarse como una reactancia inductiva debido a la naturaleza inductiva de sus arrollados, por lo que generalmente se consideran tres reactancias asociadas a cada uno de los intervalos en los que se divide la falla:

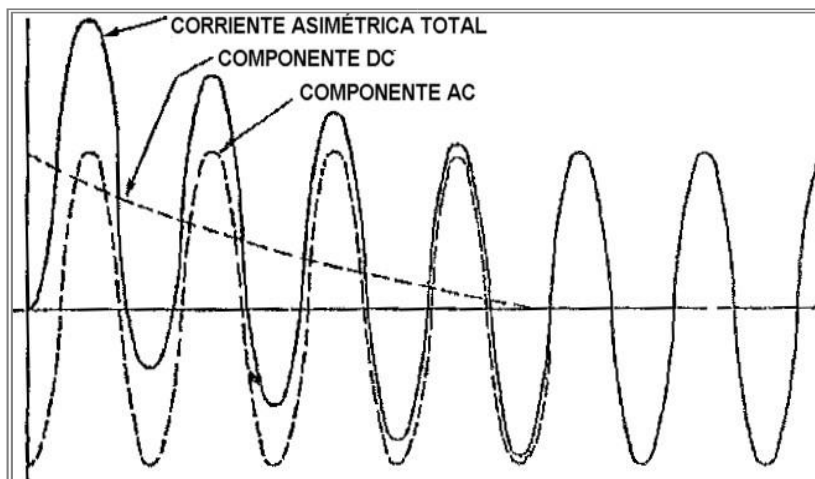
- La reactancia subtransitoria X_d'' que es la reactancia aparente del arrollado del estator en el instante del cortocircuito y determina el flujo de corriente en los primeros 30 ciclos (hasta $\frac{1}{2}$ segundo) aproximadamente.
- La reactancia transitoria X' que determina la corriente durante el período siguiente al subtransitorio y abarca el rango de tiempo entre $\frac{1}{2}$ y 2 segundos después de la ocurrencia del cortocircuito.
- La reactancia sincrónica X_s , la cual determina el flujo de corriente cuando se establece el período estacionario.

Dependiendo de la magnitud y desfase en el tiempo entre las ondas de tensión y de corriente de un sistema en el momento de cortocircuito, la corriente de falla puede presentar características de asimetría con respecto al eje normal de la corriente; en general esto ocurre cuando la onda de tensión normal se encuentra en un valor distinto a su pico máximo en el momento de ocurrencia de la falla. Para producir la máxima asimetría el cortocircuito siempre debe ocurrir cuando la onda de tensión se encuentre pasando por cero. En un sistema trifásico balanceado, la máxima corriente asimétrica ocurre solamente en una de las fases del sistema (cualquiera de las tres).

La asimetría de la corriente de cortocircuito surge debido a que la corriente que fluye tiene dos componentes: el componente de corriente alterna y un

componente de corriente directa, tal como ocurre en los circuitos RL de corriente alterna. Esta componente d.c. decrece a medida que pasa el tiempo ya que su energía se disipa en forma de calor por la resistencia del circuito (efecto Joule). Debido a esto, la relación de decrecimiento es inversamente proporcional a la relación entre la resistencia y reactancia del circuito (X/R), es decir entre más baja es la relación X/R , más rápido es el decrecimiento. Como se observa en la figura 4, el valor máximo de la corriente asimétrica ocurre cerca del medio ciclo a partir del instante del cortocircuito.

Figura 4. **Asimetría de la corriente de cortocircuito**

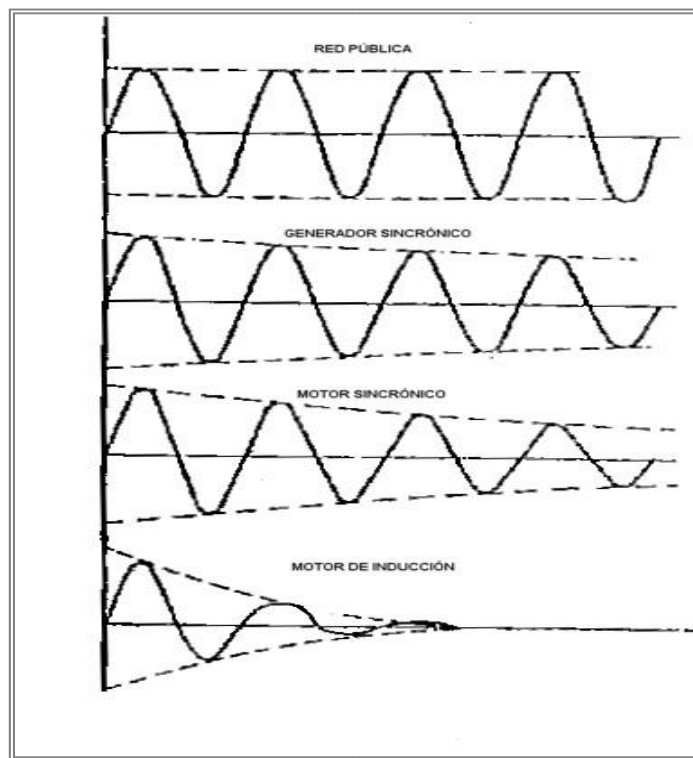


Fuente: GÓMEZ, Marcial Daniel. *Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales*.
p.129.

Como se dijo anteriormente, las corrientes de cortocircuito tienen varias fuentes, las cuales contribuyen en forma diferente dependiendo de su naturaleza (ver figura 5). A causa de que las corrientes de las máquinas rotativas decrecen a medida que se reduce el flujo después del cortocircuito, la corriente de falla total decae con el tiempo. Considerando solamente la parte simétrica de la corriente, la magnitud es máxima en el primer medio ciclo luego

del cortocircuito y de un valor más bajo unos pocos ciclos después. Nótese que la componente del motor de inducción desaparecerá completamente luego de uno o dos ciclos, exceptuando los motores más grandes en la cual se puede presentar por más de cuatro ciclos.

Figura 5. **Aportación de corriente de cortocircuito de diversas fuentes**



Fuente: GÓMEZ, Marcial Daniel. *Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales*. p.130.

Cuando la corriente nominal o capacidad del equipo es expresada como una corriente rms total de primer ciclo (asimétrica) o corriente de cresta de primer ciclo, la actividad de la corriente de cortocircuito simétrica calculada es multiplicada por un factor de multiplicación correspondiente encontrado en el estándar aplicable para obtener la actividad de corriente rms total (asimétrica)

de primer ciclo adecuada o la actividad de corriente de cresta del primer ciclo, para comparación.

2.9.2.2. Fallas más comunes en el sistema

Se sabe que normalmente las corrientes de cortocircuito son muy elevadas, entre 5 y 20 veces el valor máximo de la corriente de carga en el punto de falla. Las fallas por cortocircuito se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Simétricas (balanceadas). En las fallas simétricas, las corrientes de las tres fases del sistema son iguales en el instante del cortocircuito, por ejemplo:
 - Cortocircuito trifásico: sucede cuando se ponen en contacto las tres fases en un mismo punto del sistema. Es el cortocircuito más severo en la mayoría de los casos.
 - Cortocircuito trifásico a tierra: se ponen en contacto las tres fases y tierra en un mismo punto del sistema (muy raro).

- Asimétricas (desbalanceadas): aquí, las corrientes en las tres fases del sistema no son iguales en el instante de falla. Entre estas fallas existen:
 - Cortocircuito básico (fase a fase): esta falla aparece cuando se ponen en contacto dos fases cualesquiera del sistema.
 - Cortocircuito bifásico a tierra (dos fases a tierra): en ésta sucede lo mismo que en la anterior con la salvedad que también entra en contacto la tierra.

- Cortocircuito monofásico (fase a tierra): ocurre al ponerse en contacto una fase cualquiera con la tierra del sistema. Esta falla es la más frecuente en las instalaciones eléctricas.

Para entender cómo se originan estas fallas más a fondo, es necesario echar mano de varias herramientas matemáticas, tales como diagramas unifilares, sistemas en por unidad, las componentes simétricas, diagramas de secuencia, entre otros. Cada herramienta tiene una influencia importante en el estudio de cada falla, así como en los métodos de solución.

2.9.2.3. Métodos de solución

Existen diferentes tipos de solución para el análisis de fallas (estudio de cortocircuito), entre los cuales se destacan el método de las componentes simétricas que es un método exacto, pero que comúnmente se confunde con el método denominado por unidad. A continuación, se describen estos dos métodos mencionados.

- Método de las componentes simétricas: este método se basa principalmente en el desarrollo de las componentes simétricas y su relación con las redes de secuencia. Se toman en cuenta las siguientes consideraciones:
- Dibujar un diagrama correspondiente al punto de falla en donde se muestre todas las conexiones de las fases en dicho punto, se indicarán corrientes, voltajes, impedancias considerando su polaridad y direcciones.
- Escribir las ecuaciones que relacionan los voltajes y corrientes conocidas para el tipo de falla en estudio.

- Transformar corrientes y voltajes del punto anterior de fase abc a secuencias 012.
- Examinar corrientes de secuencia para determinar la conexión apropiada de las terminales F y N de las redes de secuencia para satisfacer las condiciones del punto 3.
- Examinar los voltajes de secuencia para obtener la conexión apropiada de las terminales F y N de las redes de secuencia para satisfacer los puntos 3 y 4.

Después de realizar los puntos anteriores, se obtienen diferentes ecuaciones de cálculo de la corriente de falla en análisis, entonces:

- Falla monofásica:

$$I_{a_0} = \frac{E_{a_1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} ;$$

$$I_a = 3I_{a_0}$$

- Falla bifásica:

$$I_{a_1} = \frac{E_{a_1}}{Z_1 + Z_2} ;$$

$$I_b = -I_c = -j\sqrt{3} I_{a_1}$$

- Falla bifásica a tierra:

$$I_{a_1} = \frac{E_{a_1} Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} ;$$

$$I_b + I_c = 3I_{a_0}$$

- Falla trifásica:

$$I_{a_1} = \frac{E_{a_1}}{Z_1} ;$$

$$I_a = I_{a_1}$$

Además de las consideraciones anteriores y de las ecuaciones mencionadas, este método debe en primera instancia definir una potencia base en MVA o kVA y un voltaje base en kV y posteriormente convertir todas las impedancias del sistema a valores en por unidad en dichas bases. Inmediatamente después se debe realizar una reducción de todas las impedancias a una sola en el punto de falla, es decir, aplicar el teorema de Thevenin al sistema.

- Método porcentual (método por unidad): este método como ya se mencionó en ocasiones se confunde con el anterior, debido a que su procedimiento es muy parecido. Se basa principalmente en encontrar valores en por unidad de todos los equipos que se encuentran en el sistema, por lo que el procedimiento se reduce en encontrar la reactancia equivalente del sistema según las leyes de los circuitos eléctricos, las resistencias particulares de cada elemento significativo del sistema.

Para cada punto de falla previsto deberá resolver la red resultante, no olvidando considerar las reactancias de máquinas rotatorias que sea necesario incluir en la red, dependiendo del número de ciclos en que se desee calcular la corriente de cortocircuito. En circuitos de alta y media tensión, es de interés conocer la corriente momentánea (1/2 a 1 ciclo) y la corriente para interrupción (8 ciclos), en tanto que en baja tensión solo la corriente momentánea es de interés.

El método basa sus cálculos en la ecuación general para sistemas en por unidad y es:

$$\text{Valor en por unidad} = \frac{\text{un número}}{\text{número base}}$$

Este método es generalmente el más apropiado cuando en el circuito existen diversos niveles de voltaje.

El número base es también llamado valor unidad ya que en el sistema de por unidad tiene un valor unitario. Así, una tensión base es también tensión en unidad. El símbolo que usa para expresar valores en por unidad es X , usando también la abreviatura pu como subíndice de la magnitud en cuestión X_{pu} .

2.9.3. Efectos del cortocircuito

Si bien el cortocircuito es un fenómeno que por lo regular es accidental, no está por demás conocer los efectos que trae consigo. Estos son muy variados, pero los más importantes son:

- El efecto Joule: los sólidos tienen generalmente una estructura cristalina, ocupando los átomos o moléculas los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras. Cuando el cristal es sometido a una diferencia de potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido debiendo en su recorrido atravesar la intrincada red de átomos que lo forman. En su camino, los electrones chocan con estos átomos perdiendo parte de su energía cinética, que es cedida en forma de calor.

Este efecto se define como la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente. En otras palabras, es el calentamiento de los equipos eléctricos debido a la gran circulación de corriente y matemáticamente se escribe como sigue:

$$Q = I^2 R t$$

Donde:

Q = es la energía calorífica producida por la corriente

I = es la intensidad de la corriente que circula

R = es la resistencia eléctrica del conductor

t = es el tiempo de duración de la falla

Asimismo, la potencia disipada por el efecto Joule es:

$$P = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

- Esfuerzos electromecánicos.
- Se producen entre otros lugares, en las máquinas eléctricas, las cuales resultan afectadas de forma considerable.
- Destrucción física del lugar de la falla cuando se producen grandes arcos eléctricos.
- Interrupción del suministro eléctrico debido a la necesaria apertura del circuito eléctrico por parte de los dispositivos de protección para despejar la falla y evitar mayores daños en el sistema. Este es el más notorio.
- Efectos dinámicos y térmicos debidos a las corrientes de cortocircuito.

Los efectos de un cortocircuito dependen directamente de la energía que tiene que ser disipada por el arco, esto es:

$$W_{cc} = \int_0^t V_i dt$$

Donde:

V = es el voltaje en los extremos del arco o del elemento considerado.

i = es la corriente de cortocircuito.

t = es el tiempo que permanece la condición de cortocircuito.

Esta expresión no incluye energía calorífica disipada a través de todos los conductores por lo que circula la corriente de cortocircuito.

La magnitud de una falla de cortocircuito puede ser tal que produzca explosiones y provoque la destrucción de equipos completos, tableros, transformadores e interruptores, entre otros, pero sobre todo puede producir condiciones de peligro para las personas que estén próximas a la instalación.

Es conveniente hacer notar que en el diseño de ampliaciones o modificaciones a una instalación debe, además de contemplar las condiciones normales de operación, incluir un análisis de los cambios que sufre el nivel de la corriente de falla de cierto punto.

Finalmente, el estudio de cortocircuito es fundamental para el buen funcionamiento de una instalación eléctrica, no solo dará una visión de qué capacidad deben tener los equipos de protección, cuántos tipos hay, cómo elegirlos. Más que todo esto nos indica el grado de peligrosidad que presenta el sistema, esto envuelve tanto a equipos como a las personas.

3. ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La calidad de la energía eléctrica se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

Se puede decir que el objetivo de la calidad de la energía eléctrica es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

A continuación, se describen los disturbios más comunes que afectan la calidad de la energía eléctrica, más utilizados y aceptados en este campo, tanto por fabricantes como usuarios de equipo de monitoreo de la calidad de la energía eléctrica.

3.1. Fluctuaciones de voltaje

Significa una disminución momentánea en la magnitud del voltaje rms, con una duración que va desde 10 ms (0,6 ciclos) hasta 2,5 seg. (150 ciclos), causado por una falla remota en algún lugar del sistema de potencia. En lo que se refiere a las variaciones en el voltaje de alimentación de corta duración, la magnitud del voltaje será de 0,1 a 0,9 pu. en el caso de los abatimientos de voltajes, también conocidos como *SAGS* o *DIPS* y para las elevaciones momentáneas o *Swells*, va de 1,1 a 1,8 pu., que no son tan comunes. Las

condiciones de alto o bajo voltaje pueden presentarse en circuitos durante la desconexión de cargas de gran tamaño o durante períodos de sobrecargas.

Una depresión severa se define como aquella menor que el 85 % de la tensión nominal. Si estas condiciones se presentan con frecuencia o durante períodos prolongados, pueden dar lugar a envejecimiento de componentes electrónicos en sistema digitales y errores durante el almacenamiento o lectura de la información. Su presencia puede, algunas veces, detectarse visualmente al presentarse parpadeo o disminución del nivel de iluminación en lámparas, o reducción encogimiento del área de despliegue en monitores de televisión o computadoras.

El llamado efecto de parpadeo o *flicker*, que en realidad son variaciones rápidas de voltaje cuyo efecto se manifiesta principalmente en el ojo humano y, por lo tanto, es de tipo fisiológico, pudiendo presentar molestias a los usuarios del alumbrado. El problema del *flicker* es ocasionado, la mayoría de las veces, por los equipos y aparatos conectados a las propias instalaciones eléctricas, por ejemplo: el arranque de los motores de los refrigeradores, la acción de los elevadores (arranque-paro), los hornos de arco eléctrico, los arranques de motores y las soldadoras de arco eléctrico.

3.2. Sobreteniones transitorias

Estas se presentan en forma de impulsos de voltaje de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes, con una duración menor a dos milisegundos. Los impulsos involucran altas frecuencias, por eso son amortiguados rápidamente por la componente resistiva del circuito y no son conducidos a largas distancias desde su fuente. Pueden excitar la resonancia de los circuitos y producir transitorios oscilatorios cuyo

valor instantáneo de voltaje cambia rápidamente de polaridad. Los impulsos pueden tener su origen en las descargas atmosféricas, en maniobra de interruptores y al conectar o desconectar capacitores para la corrección del factor de potencia. Estos constituyen los llamados picos de voltaje.

A diferencia de las sobretensiones temporales y exceptuando el caso crítico de rayos muy cerca de las instalaciones que producen chispas en los contactos, estas sobretensiones no presentan una indicación clara de su existencia, que pueda detectarse visualmente en circuitos de alumbrado o en alguna otra forma. Sin embargo, dado que su nivel puede llegar a alcanzar valores de cinco veces o más el voltaje nominal, su efecto consiste en aplicar esfuerzos excesivos al aislamiento de diversos equipos o disturbios a componentes electrónicos sensibles.

Esto último puede traer como consecuencia la interrupción de programas en procesos de computadoras, pérdida de información almacenada en memoria o daño a los elementos mismos (hardware). Otros factores transitorios dentro de esta clasificación son las operaciones de conexión o desconexión de motores eléctricos en elevadores, equipos de aire acondicionado, refrigeradores, entre otros.

3.3. Interrupciones de energía

Las interrupciones instantáneas de energía provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento pueden tener una duración de hasta varios ciclos.

Deben tomarse las medidas necesarias para reducir al mínimo las salidas instantáneas generalmente producidas durante tormentas eléctricas. Esto es

posible con el uso de nuevas tecnologías, por ejemplo, utilizando aisladores con entrehierro y limitadores de corriente.

Las interrupciones temporales de energía, generalmente ocurren por algún disturbio en el sistema eléctrico (fallas en el sistema de potencia, accidentes que involucran la red de distribución, fallas de transformadores o generadores) o por sobrecargas en la red de baja tensión. Su duración puede ser desde algunos milisegundos hasta varias horas.

3.4. Ruido eléctrico (interferencia)

Una forma común de disturbios en sistemas de cómputo es el ruido eléctrico, generado por sistemas de transmisión de señales de radio, operación de lámparas fluorescentes y controladores de atenuación de niveles de iluminación. Este tipo de ruido puede afectar la operación de computadoras al producir diversos problemas durante la ejecución de programas.

3.5. Armónicas

Las armónicas son corrientes y voltajes senoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la línea eléctrica, que es 60 Hz. Las armónicas distorsionan la forma de onda del voltaje y la corriente de 60 Hz. suministradas de su forma senoidal de algunos pocos a muchos ciclos.

Cada armónica se expresa en términos de su orden. Por ejemplo, las armónicas de orden segunda, tercera y cuarta, tienen frecuencias de 120, 180 y 240 Hz. Conforme se incrementa el orden, la frecuencia de las armónicas y su magnitud normalmente disminuye. Por eso, las armónicas de orden inferior, usualmente la quinta y la séptima tienen el mayor efecto en el sistema de

potencia. Si no existiera resonancia, el máximo valor posible de una corriente armónica expresada en por ciento de la fundamental es $100/h$, donde h es el orden de la armónica. Así, la quinta armónica alcanzará 20 % de la fundamental, mientras que la novena armónica alcanzará 11,1 %.

3.5.1. La importancia de las armónicas en los sistemas actuales

Existe un gran número de dispositivos que producen distorsiones armónicas. En nuestros días, la distorsión armónica constituye un gran problema debido al uso de cargas no lineales. Algunas de estas fuentes han existido desde la implantación de los sistemas de potencia, otras han existido, pero en números más pequeños durante muchos años atrás. Una vez más, el progreso tecnológico ha traído consigo una contaminación grave del medio (en este caso, eléctrico), por lo tanto, es preciso aprender a controlarlo a base de una técnica adecuada.

3.5.2. Fuentes de armónicas

A continuación, se detalla la clasificación de las fuentes principales que producen estos disturbios en la red de energía eléctrica:

3.5.2.1. Fuentes tradicionales de armónicas

Anteriormente, la propagación de armónicas se relacionaba con el diseño y la operación de transformadores y máquinas rotatorias; de hecho, la primera fuente generadora de armónicas en esos días era la corriente magnetizante de los transformadores de potencia.

Los transformadores y máquinas rotatorias modernas, trabajando en estado estable, no provocan una distorsión significativa en la red eléctrica, pero cuando hay fluctuaciones de voltaje en la red y cuando operan fuera de sus especificaciones de rango, pueden aumentar su contenido armónico con niveles de distorsión considerables. Otras cargas que producen armónicas son la luz fluorescente y los hornos de arco.

3.5.2.2. Fuentes nuevas de armónicas

En la actualidad, otra de las principales fuentes de distorsiones armónicas son los inversores y rectificadores con control de ángulo de fase.

Las líneas de transmisión de corriente directa producen problemas para los sistemas de control de rizado. Las armónicas en frecuencias altas, causan errores en los sistemas de comunicación, dentro de estos se pueden mencionar la interferencia sobre las líneas telefónicas, pues al acoplarse las armónicas mutuamente con la red del sistema de potencia a las frecuencias mismas, hay falla. Estas armónicas afectan la operación de ciertos equipos, como son: motores de corriente continua, computadoras, máquinas de control numérico, etcétera; que son muy sensibles a la distorsión en la señal recibida.

3.5.2.3. Fuentes futuras de armónicas

A largo plazo, se prevé un aumento importante en el contenido de armónicas en las redes eléctricas debido al uso en gran escala de autos eléctricos que requieren recargar sus baterías en grandes bancos de rectificación.

Otras posibles fuentes de armónicas serán aquellas que requerirán la conversión de grandes volúmenes de energía, posiblemente producidas por fuentes no convencionales (eólica, solar, entre otros), el uso de cicloconvertidores para operación de máquinas de baja velocidad y alto par, el uso de dispositivos de conversión directa de energía como baterías de almacenamiento y celdas de combustible.

3.5.2.4. Efectos de armónicas

En capacitores la impedancia decrece al incrementarse la frecuencia, así los capacitores actúan como un sumidero a donde las armónicas convergen, también causan la ruptura del material aislante. Sin embargo, los capacitores no producen armónicas. La industria del sistema de alimentación puede entrar en resonancia con capacitores a varias frecuencias armónicas, causando grandes corrientes y voltajes. Los capacitores secos no disipan muy bien el calor y, por consiguiente, son más susceptibles al daño por armónicas. Los capacitores usados en computadoras son particularmente susceptibles cuando éstas no están usualmente protegidas por fusibles o relevadores.

En los transformadores, las armónicas de voltaje causan alto voltaje y esfuerzos en el aislamiento; normalmente esto no es un problema significativo.

En motores ocasionan incremento de las pérdidas y las armónicas de voltaje producen campos magnéticos rotatorios a una velocidad correspondiente a la frecuencia armónica.

Las bobinas en interruptores pueden no operar apropiadamente en presencia de corrientes armónicas.

En discos de relevadores de inducción electromecánica producen componentes adicionales al par, originando un efecto de retraso de tiempo en las características de operación del relevador.

3.5.3. Factor K

Los transformadores en instalaciones que contienen cargas no lineales pueden ver las corrientes de las cargas con contenido de armónicas, esto produce pérdidas más altas en el transformador debido a corrientes circulantes en los conductores de los devanados y partes estructurales, dando como resultado temperaturas de operación mayores que las normales. Como resultado de esto, la vida esperada de los transformadores se puede reducir sensiblemente.

La carga de los transformadores está restringida a corrientes senoidales con un contenido de armónicas menor del 5 % como lo establece ANSI/IEEE 57.12.00 sección 4.1.5, sin embargo, en las normas actuales para transformadores, cuando se espera que éstos operen con cargas no lineales, se especifica un concepto conocido como Factor K para transformadores y se debe indicar en su placa de características Aplicable para cargas con corriente no senoidales con un factor K que no exceda _____” y el fabricante inserta el valor.

Los transformadores (y los motores) son generalmente las cargas ferromagnéticas más grandes conectadas a cualquier sistema de distribución, la característica de un motor como carga tiende a ser más lineal que la de los transformadores debido a que los motores tienen un entrehierro.

Por otra parte, los transformadores son típicamente la primera componente que se ve en los sistemas de distribución. Aún con saturación parcial en los transformadores, el núcleo de hierro produce una corriente de magnetización armónica que difiere sustancialmente de una onda senoidal.

3.6. Normas aplicables a la calidad de energía eléctrica

La calidad de la energía eléctrica también se refiere a la normalización del suministro eléctrico mediante reglas que fijan los niveles, parámetros básicos, forma de onda, armónicos, niveles de distorsión armónica, interrupciones, entre otros. Es habitual que existan reglas que regulen la calidad del suministro eléctrico según los países o zonas de suministro, así como, los diversos sistemas: baja, media o alta tensión, corriente alterna o continua, sistemas monofásicos, bifásicos o trifásicos, todos ellos englobados entre los distintos modos de generar o transportar electricidad.

La calidad de suministro de energía eléctrica suele referirse a la calidad de la onda de tensión de la energía eléctrica en sistemas de tensión alterna, no obstante, existen normativas que también contemplan las perturbaciones de las ondas de intensidad propias del consumo que ejerce el cliente sobre la tensión suministrada por la fuente, que en muchos casos es la compañía eléctrica.

La energía eléctrica al ser un bien de consumo, debe mantener una determinada calidad, ya que de lo contrario, afectaría a todos los equipamientos que dependieran de un modo directo o indirecto de ésta. En materia de armónicos, también existen regulaciones al respecto, no pudiendo excederse los límites marcados por cada normativa.

A continuación, se describirán algunas de las normas más utilizadas para la calidad de la energía eléctrica.

- Norma EN50160: describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales y en el punto de entrega al cliente. Como dice su primer apartado: da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no los valores típicos en la red general de distribución.

Define los límites para la frecuencia nominal de la tensión suministrada, la amplitud de la tensión, las variaciones de la tensión suministrada, las variaciones rápidas de la tensión (amplitud de las variaciones y serenidad de los parpadeos), los huecos de tensión, las interrupciones de corta y larga duración del suministro, las sobretensiones temporales y transitorias, el desequilibrio de la tensión suministrada, las tensiones armónicas e inter armónicas y la transmisión de señales de información por la red, así como los protocolos de medida.

Es importante resaltar que la norma es solo aplicable en condiciones normales de operación e incluye una lista de operaciones en las que los límites no son aplicables, como las operaciones realizadas después de una falla, acciones industriales o cortes de suministro debidos a eventos externos.

Se hace resaltar que para el análisis del instrumento utilizado para la medición de la calidad de energía eléctrica para este trabajo se utilizan estas normas.

- Estándar IEEE 1159: define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia.

Las variaciones de corta duración comprenden los *Sags*, las interrupciones y los *Swells*. Cada tipo se clasifica en instantáneo, momentáneo o temporal dependiendo de su duración. Las variaciones de corta duración (*Swells*, *Sags* e interrupciones sostenidas) se producen casi siempre por condiciones de fallo, por la conexión de cargas que requieren grandes corrientes de arranque.

Dependiendo de la ubicación de la falla se pueden producir sobretensiones, subtensiones o interrupciones temporales. Sin importar el lugar en el cual se localice la falla (lejos o cerca del punto de estudio), su efecto sobre la tensión va ser una variación de corta duración.

- Estándar IEEE 519: en la recomendación IEEE 519 se encuentran las recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia. Existe un efecto combinado de todas las cargas no lineales sobre el sistema de distribución, el cual tiene una capacidad limitada para absorber corrientes armónicas. Los operadores de red de energía eléctrica tienen la responsabilidad de suministrar óptimo nivel de tensión y forma de onda. La IEEE 519 hace referencia no solo al nivel absoluto de armónicos producido por una fuente individual sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Donde existan problemas, a causa de la inyección excesiva de corriente armónica o distorsión de tensión, es obligatorio para el suministrador y el consumidor, resolver estos problemas. Por tal motivo el propósito de esta norma es el de recomendar límites en la distorsión armónica de acuerdo básicamente a dos criterios:

- Existe una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.
- Se establece una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

En la IEEE 519 por un lado se recomiendan los niveles máximos de distorsión armónica en función del valor de la relación de corto circuito (SCR) y el orden de la armónica, por otro lado, también identifica niveles totales de distorsión armónica.

Todos los valores de distorsión de corriente se dan en base a la máxima corriente de carga (demanda). La distorsión total está en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD.

La IEEE 519 establece también otros parámetros de la calidad de la energía eléctrica como lo son los siguientes:

Flicker de tensión. Los lineamientos para el parpadeo de tensión ocasionado por consumidores individuales, se encuentran recomendados en la IEEE 519.

Distorsión de la tensión. Los límites armónicos de tensión recomendados se basan en niveles lo suficientemente pequeños como para garantizar que el equipo de los suscriptores opere satisfactoriamente.

Como es común, los límites se imponen sobre componentes individuales y sobre la distorsión total para la combinación de todos los voltajes armónicos (distorsión armónica).

- Normas técnicas del servicio de distribución –NTSD-: el objetivo es establecer los derechos y obligaciones de las distribuidoras y los usuarios del servicio eléctrico, así como los índices o indicadores de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía en Guatemala. Además, verifican las tolerancias permisibles, métodos de control, indemnizaciones, sanciones o multas respecto a los siguientes parámetros:
 - Calidad del producto
 - Incidencia del usuario en la calidad del producto
 - Calidad del servicio técnico
 - Calidad del servicio comercial

Estas normas establecen las obligaciones del distribuidor, del usuario, del administrador del mercado mayorista (AMM) y del comercializador, respectivamente. Cada una de las partes debe velar por el cumplimiento de dichas normas, ya que de lo contrario pueden ser penalizados legal y económicamente.

Al evaluar la calidad del producto, estas normas indican que los parámetros a medir y evaluar de parte del distribuidor con respecto a los límites permitidos son:

- Regulación de tensión
- Desbalance de tensión en servicios trifásicos
- Distorsión armónica
- *Flicker*

Mientras tanto, las incidencias a evaluar por parte del usuario son:

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

El período de medición mínimo aceptado por las NTSD para la recolección de datos de los parámetros previamente citados será de siete días continuos. La medición de regulación y desbalance de tensión deberá hacerse en intervalos de quince minutos mientras que para la distorsión armónica y *flicker* se medirán cada diez minutos.

Al índice utilizado para evaluar la tensión en el punto de entrega del distribuidor en un intervalo de medición (k) se le denomina índice de calidad de regulación de tensión y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) = \Delta V_k (\%) = (|V_k - V_n| / V_n) * 100$$

Donde:

V_k = valor eficaz de tensión (RMS)

V_n = valor de tensión nominal

Tabla II. **Tolerancia admisible respecto al valor nominal de tensión, en porcentaje**

Tensión	Tolerancia admisible respecto del valor nominal, en %					
	Etapa					
	Transición		Régimen A partir del mes 1 al 12		Régimen A partir del mes 13	
	Servicio urbano	Servicio rural	Servicio urbano	Servicio rural	Servicio urbano	Servicio rural
Baja	12	15	10	12	8	10
Media	10	13	8	10	6	7
Alta	Transición		Régimen A partir del mes 1 al 12		Régimen A partir del mes 13	
	7		6		5	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución*. NTSD. <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.
Consulta: febrero de 2020.

La energía es considerada de mala calidad si en un lapso mayor al 5 % del período de medición total, las mediciones muestran que la regulación de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

El control para la regulación de tensión dependerá, si se trata de baja tensión, donde se debe realizar una medición por cada circuito de salida de las subestaciones; si se trata de media o alta tensión, se debe hacer una medición por cada veinticinco usuarios, independientemente del nivel de tensión en que se realice la medición de potencia y energía. Si como resultado de estas mediciones se observa el incumplimiento de las tolerancias fijadas, los distribuidores deberán indemnizar a los usuarios que hayan sido afectados, hasta que pueda comprobarse que el problema ha sido solucionado.

El índice para evaluar desbalance de tensión en servicios trifásicos se determina sobre la base de comparación de los valores eficaces (RMS) de tensión de cada fase en cada intervalo de medición (k):

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

Donde:

$\Delta\text{DTD} (\%)$ = porcentaje de desbalance de tensión de parte del distribuidor

V_{max} = tensión máxima en cualquiera de las fases, durante el intervalo de medición (k)

V_{min} = tensión mínima en cualquiera de las fases, durante el intervalo de medición (k)

V_a = tensión en la fase a, durante el intervalo de medición (k)

V_b = tensión en la fase b, durante el intervalo de medición (k)

V_c = tensión en la fase c, durante el intervalo de medición (k)

La tolerancia de desbalance de tensión admitida será la siguiente:

Tabla III. **Tolerancias de desbalance de tensión**

Tensión	Desbalance de Tensión, ΔDTD , en %
	Etapa de régimen A partir de mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución.*

–NTSD-. <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.

Consulta: febrero de 2020.

Si en un lapso mayor al cinco por ciento del correspondiente total del período de medición, dichas mediciones muestran que el desbalance de la tensión ha excedido el rango de tolerancias, se considera que la energía eléctrica es de mala calidad. El número de mediciones será en igual cantidad y

pueden ser en los mismos puntos que los utilizados para el control de la regulación de tensión.

Al igual que con la regulación de tensión, los distribuidores están obligados a indemnizar a los usuarios con servicio trifásico por aquellos servicios en los que se compruebe que la calidad del producto ha excedido los valores fijados por las normas.

Continuando con los parámetros que deben regularse por parte del distribuidor, se tiene el índice de calidad de distorsión armónica de la tensión que se expresa en forma de porcentaje y se calcula de la siguiente forma:

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

$$\text{DAIT (\%)} = (V_i / V_1)$$

Donde

DATT = distorsión armónica total de tensión

DAIT = distorsión armónica individual de tensión

V_i = componente de tensión de la armónica de orden i

V_1 = componente de tensión de la frecuencia fundamental

Para encontrar los valores de tolerancias para la distorsión armónica se hará referencia a la tabla IV:

Tabla IV. Tolerancias para la distorsión armónica de tensión

Orden de la armónica (n)	Distorsión armónica individual de tensión, DAIT (%)	
	Baja y Media tensión $V \leq 60 \text{ kV}$	Alta tensión $60 \text{ kV} < V \leq 230 \text{ kV}$
Impares no múltiplos de 3		
5	6,0	2,0
7	5,0	2,0
11	3,5	1,5
13	3,0	1,5
17	2,0	1,0
19	1,5	1,0
23	1,5	0,7
25	1,5	0,7
> 25	$0,2+1,03^{*}25/n$	$0,1+0,6^{*}25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	5,0	2,0
9	1,5	1,0
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
> 21	0,2	0,2
Pares		
2	2,0	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,5	0,4
10	0,5	0,4
12	0,2	0,2
> 12	0,2	0,2
Distorsión armónica total de Tensión, DATT, en %	8	3

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución.*

-NTSD-. [http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/ Normas%20Tecnicas /03% 20NTSD .pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf).

Consulta: febrero de 2020.

Cuando en un lapso mayor al cinco por ciento del período de medición correspondiente, las mediciones muestran que la distorsión ha excedido el rango de tolerancias establecidas, entonces se considera que la energía eléctrica es de mala calidad. Para propósitos de evaluación de estas normas se utiliza hasta la armónica de orden 40.

Al haberse comprobado que las condiciones de distorsión armónica de tensión han excedido las tolerancias previamente indicadas, los distribuidores deberán indemnizar a los usuarios hasta que se pueda comprobar que dichos problemas fueron resueltos.

Los usuarios conectados en el punto de medición donde se excedan las tolerancias establecidas serán los únicos indemnizados, exceptuando a los que sean los que producen los armónicos del problema.

Finalmente, el último parámetro que se debe analizar del lado del distribuidor es el *flicker* que deberá ser medido por el índice de severidad de corto plazo Pst, definido por la Norma IEC 1000-3-7.

El índice de tolerancia máxima para el *flicker* está dado por:

$$Pst \leq 1$$

Donde

Pst = índice de severidad del *flicker* de corto plazo

Se considera energía eléctrica de mala calidad si en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del empleado en las mediciones se encuentra que el *flicker* ha excedido el índice de tolerancia anteriormente descrito.

De la misma forma que se tienen tolerancias y cálculos para la indemnización de los usuarios que se ven afectados por los diferentes parámetros a medir, así existen parámetros que los mismos usuarios deben mantener y en caso que esto no suceda deberán ser ellos quienes indemnicen al distribuidor, por ser quienes afectan la calidad del producto.

El primero de estos parámetros será el índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga que es medida en el punto de conexión y se calcula de la siguiente forma para tensiones mayores de 1 kV y potencia de carga mayor a los 10 kW:

$$DAT1 = (\sqrt{\sum I_i^2} / I_1) * 100$$

$$DAI1 = (I_i / I_1) * 100$$

Donde:

DAT1 = distorsión armónica total de corriente

DAI1 = distorsión armónica individual de corriente

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

I_1 = componente de intensidad de corriente de la armónica fundamental

Si se tiene una tensión menor a 1 kV y potencias menores a 10 kW, se utilizará la siguiente expresión:

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

Donde:

I_i = límite de tolerancia establecida para la intensidad armónica

La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al que esté conectado y al orden del armónico. Combinando estos factores se tiene la siguiente tabla de tolerancias para distintos niveles de tensión, potencia y orden de armónicos:

Tabla V. **Tolerancias de corrientes armónicas individuales**

Orden de la armónica (n)	P ≤ 10 kW V ≥ 1 kV	P > 10 kW 1 kV < V ≤ 60 kV	P > 50 kW V > 60 kV
	Intensidad armónica máxima (amp)	Distorsión armónica individual de corriente DAII, en %	
Impares no múltiplos de 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1
11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,20	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
>25	4,5/n	0,2+0,8*25/n	0,4
Impares múltiplos de 3			
3	4,60	16,6	7,5
9	0,80	2,2	2,2
15	0,30	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
>21	4,5/n	0,3	0,4
Pares			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
>12	3,68/n	0,3	0,5
Distorsión armónica total de corriente DATI, en %	-	20	12

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución.*

NTSD. <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.

Consulta: febrero de 2020.

En cuanto el distribuidor verifique que alguno de sus usuarios ha excedido las tolerancias mostradas en la tabla V, entonces se procederá al pago de la

indemnización correspondiente por parte del usuario al distribuidor y esta debe calcularse en función de la distorsión penalizable individual de armónicas.

Al igual que pasa con el distribuidor, el *flicker* también es un parámetro que debe ser controlado por parte de los usuarios para evitar el pago de indemnizaciones, al igual que para el distribuidor el *flicker* generado por un usuario será determinado por el índice de severidad de *flicker* de corto plazo (Pst) medido sobre la impedancia de referencia.

Así pues, en la siguiente tabla se indican las tolerancias de este parámetro cuando es generado por el usuario:

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

Carga (SI) kW	Pst
Tensión: (≤ 1 kV)	
SI ≤ 20	1,00
$20 < SI \leq 30$	1,26
$30 < SI \leq 50$	1,58
SI > 50	1,86
Tensión: (1 kV $< V \leq 230$ kV)	
SI / Scc $\leq 0,005$	0,37
$0,005 < SI / Scc \leq 0,02$	0,58
$0,02 < SI / Scc \leq 0,04$	0,74
SI / Scc $> 0,04$	0,80

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución.*

NTSD. <http://www.cnee.gov.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.

Consulta: febrero de 2020.

Donde:

S_{cc} = capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición de *flicker* (kVA).

Para el cálculo de la indemnización cuando el usuario excede las tolerancias permitidas, se debe definir antes la distorsión penalizable individual de *flicker* (DPIFk) que no es más que el valor de distorsión por fluctuaciones rápidas de tensión detectado en cada intervalo de medición (k).

El último parámetro, pero no el menos importante, que debe ser considerado por parte del usuario es el factor de potencia. El valor mínimo admitido dependerá de la potencia del usuario teniendo la siguiente clasificación:

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

El control para el factor de potencia se realizará en el punto de medición o en la acometida del usuario, en períodos mínimos de siete días, registrando datos de energía activa y reactiva. El factor de potencia se determinará, efectuando mediciones tanto el período horario de punta como en el resto del día, de acuerdo a lo indicado a continuación:

$$F_{pot} = \text{EnergAct} / \sqrt{(\text{EnergAct}^2 + \text{EnergReact}^2)}$$

Donde:

F_{pot} = factor de potencia para el período horario (p)

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

EnergReact = energía reactiva registrada en el período de registro para el período horario (p)

Todo lo relativo a la indemnización por bajo factor de potencia debe ser incluido en el contrato entre el distribuidor y el usuario, siempre considerando lo estipulado en los pliegos tarifarios fijados por la comisión.

En este trabajo no se detallan formulaciones y tablas con respecto al cálculo de las indemnizaciones económicas en caso de exceder las tolerancias de los parámetros medidos tanto de parte del distribuidor como del usuario debido a que no se realiza un análisis económico de los resultados de la medición de parámetros porque en ningún caso se excede dichas tolerancias.

También no se detallan las regulaciones estipuladas por estas normas respecto a calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial debido a que únicamente se hace análisis de los resultados de la medición de parámetros en los cuales intervienen el distribuidor y el usuario.

3.7. Instrumento utilizado para la medición de la calidad de energía

Para analizar la calidad de energía es necesaria la instalación de analizadores de medida eléctrica, más complejos, precisos y completos que un sencillo medidor eléctrico. Un analizador eléctrico de calidad de energía, debe ser capaz de analizar por sí mismo todos los fenómenos eléctricos no deseados que podrían afectar a la carga o a la fuente suministradora de la energía eléctrica.

En el caso de sistemas de corriente alterna, deberá ser capaz de realizar osciloperturbografías con un muestreo superior a las 128 muestras por ciclo eléctrico (50 o 60 ciclos por segundo, según sistemas en el caso más habitual) y por canal de medida, sin multiplexación de ningún tipo de los muestreos de los diversos canales, analizando los ciclos pre y post evento. Es necesario también sea capaz de categorizar los fenómenos registrados según dicten las normas vigentes anteriormente mencionadas.

La precisión de medida, debe ser al menos del tipo fiscal clase 0,2 s, ya que debe exigirse la mayor precisión posible.

Los analizadores de calidad de energía deben estar instalados continuamente en el punto de acometida de la compañía distribuidora al cliente. Los equipos portátiles no son recomendables ya que no se encuentran constantemente analizando y podrían ser retirados o desconectados, invalidando cualquier tipo de campaña de medida.

3.7.1. Analizador de red clasificación A Dranetz

Para este trabajo se utilizó el analizador de calidad de energía Dranetz HDPQ *Guide* (Portátil) que ofrece la mejor combinación de valor y tecnología de Dranetz, este es un instrumento portátil de mano con una pantalla LCD táctil tipo tableta de 7" incorporada. Mide todos los estándares actuales de la industria, incluyendo IEC 61000-4-30 Clase A, IEC 61000-4-7, IEEE 1159, IEEE 519, IEEE 1459 y más. Equipado con 8 canales independientes, las configuraciones automáticas brindan detección instantánea de circuitos y configuraciones, asegurando que el instrumento esté listo para recopilar datos con éxito en segundos.

Se puede seleccionar la duración y el modo de recopilación de datos, incluida la solución de problemas, el registro de datos, las encuestas de calidad de energía, la energía y el equilibrio de carga. Permite revisar datos y cambiar la configuración de forma remota desde prácticamente cualquier teléfono inteligente, tableta y dispositivo móvil, así como con computadoras portátiles y de escritorio con PC y MAC tradicionales. Simplemente se conecta el instrumento, se cierran los gabinetes en un entorno seguro y la interfaz VNC junto con su software Dran-View 7 basado en Windows, o sus aplicaciones para Apple o Android a través de internet o WI-FI para control remoto desde cualquier lugar con conectividad al instrumento.

3.7.2. Características técnicas

- Precisión
 - Calidad de energía de alta definición y monitoreo de energía-1 000 Vrms, AC/DC, 512 muestras/ciclo.
 - Ocho canales, 4 voltajes y 4 corrientes.
 - Módulos de respuesta-directividad de corte, identificación del capacitor PF, motor-categorización automática de eventos.
 - PQ avanzado-IEC 61000-4-30 cumple con clase A y IEEE 1159.
 - Armónicos-IEC 61000-4-7, IEEE 519 (2014)
 - Capacidades transitorias-V e I-actividades de forma de onda, más allá de los requisitos estándar.
 - Mediciones de potencia avanzadas IEEE 1459.
 - Buffer de activación/desactivación de 10 000 ciclos.
 - EN 50160 edición 3.

- Comunicaciones
 - Internet, WI-FI, USB, bluetooth
 - VNC para control remoto completo desde Draw-View 7 o una aplicación de terceros
 - Aplicaciones de Apple y Android con medición y alarma en tiempo real.
 - Panel de control

- Seguro y robusto
 - Seguridad contra el arco eléctrico
 - Certificación UL/CUL y aprobación CE
 - Gabinete robusto con una funda no conductora, amortiguadora de golpes y fácil de sujetar.
 - Caída probada a 6 pies
 - Retenedor del cable de alimentación
 - Administración de cables en caballete y gancho
 - Detección automática del circuito y comentarios sobre la conexión correcta del instrumento.

- Interfaz de usuario
 - Pantalla táctil a color WVGA de 7”.
 - Configuraciones automáticas-PQ, demanda y energía.
 - GUI similar a una tableta que se maneja con íconos, tiene accesos directos a la barra de tareas y un tablero de instrumentos.

- Productividad
 - Miniinforme: capturas de pantalla, archivo XML (fácilmente subido y enviado por correo).
 - PQ y *Energy Dashboard* para alarmar en tiempo real.
 - Pantalla más grande para un análisis local más productivo.
 - Módulos de respuesta-categorización automática de eventos.
 - Software de análisis de calidad de energía Dran-View 7 basado en Windows.
 - *Kit* de rescate-parte de Dran-View 7, corrige problemas con el cableado, la orientación del CT, los errores de tiempo y más.
 - Postprocesamiento-parte de Dran-View 7, computa los armónicos y otros parámetros de las formas de onda registradas por el instrumento.

3.7.3. Aplicaciones

- Monitoreo de calidad de energía, encuestas y diagnósticos
- Pruebas motoras y diagnóstico
- Grabación de fallas
- Pruebas de arranque para transformadores, motores, entre otros
- Gestión de energía y encuestas de carga
- Registro de datos
- Análisis armónico
- Producción de energía alternativa-solar, viento-cadenas de paneles, baterías, inversores, interconexión de redes
- Pruebas de conformidad
- Prueba de parpadeo
- Prueba de capacitores

4. EFICIENCIA ENERGÉTICA

El uso eficiente de la energía, a veces simplemente llamado eficiencia energética, es el objetivo de reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios. Las mejoras en eficiencia energética se logran generalmente mediante la adopción de una tecnología o un proceso de producción más eficientes o mediante la aplicación de métodos comúnmente aceptados para reducir las pérdidas de energía.

Hay muchas motivaciones para mejorar la eficiencia energética. La reducción del uso de energía reduce los costos de energía y puede generar un ahorro financiero para los consumidores, si el ahorro de energía compensa cualquier costo adicional de implementar una tecnología de eficiencia energética. Reducir el uso de energía también se considera una solución al problema de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según la Agencia Internacional de Energía o IEA (*International Energy Agency*)), la eficiencia energética mejorada en edificios, procesos industriales y transporte podría reducir las necesidades de energía en el mundo en el 2050 en un tercio, y ayudar a controlar las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Otra solución importante es eliminar los subsidios a la energía dirigidos por el gobierno que promueven el alto consumo de energía y el uso ineficiente de energía en más de la mitad de los países del mundo.

Se dice que la eficiencia energética y la energía renovable son los pilares gemelos de la política de energía sostenible y son prioridades altas en la jerarquía energética sostenible. En muchos países, también se considera que

la eficiencia energética tiene un beneficio de seguridad nacional porque puede utilizarse para reducir el nivel de las importaciones de energía de países extranjeros y puede reducir la tasa de energía a la que se agotan los recursos energéticos nacionales.

Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden reducir el consumo energético para disminuir costos y promover sustentabilidad económica, política y ambiental. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así su beneficio. El consumo de la energía está directamente relacionado con la situación económica y los ciclos económicos, por lo que es necesaria una aproximación global que permita el diseño de políticas de eficiencia energética. A partir del 2008 la ralentización del crecimiento económico significó una reducción del consumo a nivel global que tuvo su efecto sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica, buscando la generación a partir de energías renovables y una mayor eficiencia en la producción y el consumo, que también se denomina ahorro de energía.

Como órgano regulador del subsector eléctrico guatemalteco, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ha realizado múltiples esfuerzos para promover la eficiencia en la demanda de energía en el país, propiciando con esto que el empleo de la nueva generación de energía eléctrica sirva para atender el crecimiento de una demanda neta sin desperdicios.

De las acciones llevadas a cabo por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en materia de uso racional y eficiente de la energía, se tiene la

presentación de eficiencia energética entre las principales muestras documentales que engloban la experiencia alcanzada. En dicha presentación con la promoción de la eficiencia energética se persigue, principalmente:

- Reducir los indicadores de intensidad energética del país.
- Lograr beneficios económicos y sociales.
- Modificar el mercado, la gestión energética y los hábitos de consumo.
- Mitigar los impactos ambientales.

Los objetivos se han de alcanzar a través de acciones en:

- La creación del marco legal.
- Aplicar medidas en los sectores de consumo.
- En el fomento de equipos y tecnologías eficientes y medidas de gestión.

4.1. Ahorro energético

El ahorro energético también conocido como eficiencia energética o ahorro de energía, es un concepto clave para el desarrollo sostenible. En un planeta donde los recursos naturales –especialmente los energéticos- son derrochados, el plan de ahorro energético surge como necesidad de economizar los recursos disponibles, salvaguardar las fuentes de energía no renovables y reducir el impacto del cambio climático en el planeta.

El concepto de ahorro está cada vez más presente en cualquier lugar de medio mundo, que apuestan por métodos de ahorro energético para ahorrar dinero y frenar las consecuencias negativas del uso desmedido de recursos energéticos.

4.2. Cambio tecnológico

El cambio tecnológico o cambio en tecnología hace referencia a la incorporación de nuevas tecnologías, formas de uso, nuevas reglamentaciones y nuevos productos derivados de la tecnología. Es un proceso temporal y acumulativo, que incrementa la habilidad de los grupos para resolver sus problemas sociales, económicos y cotidianos.

En otro sentido, el cambio tecnológico también puede ser caracterizado en términos generales como el efecto combinado de varias actividades tecnológicamente relacionadas y diferenciadas, tales como invención, innovación, desarrollo, transmisión y difusión.

Igualmente puede ser entendido como un conjunto de actividades enfocadas en la solución de un problema.

4.2.1. Tecnologías de iluminación

A continuación, se hace un repaso de las diferentes tecnologías que se encuentran en el mercado para iluminar espacios.

- **Incandescencia:** son las bombillas que la Unión Europea decidió hace unos años que tendrían que dejar de fabricarse. Paulatinamente han ido desapareciendo de las tiendas. La razón era muy sencilla, su rendimiento energético es muy bajo, el filamento que se calentaba genera un 90 % de calor y solo un 10 % de la energía que se empleaba, servía para generar luz, ésta era la que tenía el rendimiento luminoso más bajo de todas las tecnologías que hay en el mercado: 12-18 lm/W.

- Halógenas: la lámpara halógena es una variante de la lámpara incandescente, con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno (como yodo o bromo). El filamento y los gases se encuentran en equilibrio químico, mejorando el rendimiento del filamento y aumentando su vida útil. El vidrio se sustituye por un compuesto de cuarzo, que soporta mucho mejor el calor (lo que permite lámparas de tamaño mucho menor, para potencias altas). Algunas de estas lámparas funcionan a baja tensión (por ejemplo 12 voltios), por lo que requieren de un transformador para su funcionamiento. La lámpara halógena tiene un rendimiento un poco mejor que la incandescente: 18-22 lm/W y su vida útil se aumenta hasta las 2 000 y 4 000 horas de funcionamiento.
- Lámpara fluorescente compacta (CFL, *compact fluorescent lamp*): es un tipo de lámpara que aprovecha la tecnología de los tradicionales tubos fluorescentes para hacer lámparas de menor tamaño que puedan sustituir a las lámparas incandescentes con pocos cambios en la armadura de instalación y con menor consumo. La luminosidad emitida por un fluorescente depende de la superficie emisora, por lo que este tipo de lámparas aumentan su superficie doblando o enrollando el tubo de diferentes maneras.

Otras mejoras en la tecnología fluorescente han permitido, asimismo, aumentar el rendimiento luminoso desde los 40-50 lm/W hasta los 80 lm/W. También la sustitución de los antiguos balastos electromagnéticos por balastos electrónicos ha permitido reducir el peso y el característico parpadeo de los fluorescentes tradicionales. Por otro lado, comentar que uno de los grandes problemas que generan este tipo de bombillas es que

uno de los componentes que tienen dentro del tubo es mercurio, el problema es que son difíciles de reciclar y se han dado casos en los que después de romperse una bombilla ha habido muertos por la inhalación de este componente. También hay que decir que ya hay fabricantes que han cambiado el mercurio por una amalgama de metales.

- Led: una halufa de led (*Light Emitting Diode*, diodo emisor de luz) es una lámpara de estado sólido que usa leds como fuente luminosa. Debido a que la luz capaz de emitir un led no es muy intensa para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes como las incandescentes o las fluorescentes compactas, las lámparas led están compuestas por agrupaciones de leds, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada.

Actualmente, las lámparas de led se pueden usar para cualquier aplicación comercial, desde el alumbrado decorativo hasta el de viales y jardines presentado ciertas ventajas, entre las que destacan su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, aguante a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil, pero también con ciertos inconvenientes como su elevado costo inicial.

Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de led deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje de corriente alterna (CA) estándar. Los leds se dañan a altas temperaturas, por lo que las lámparas de led tienen elementos de gestión del calor, tales como disipadores y aletas de refrigeración. El rendimiento luminoso es de 15 a 130 lm/W.

Lo más interesante de esta tecnología es que tiene un gran rendimiento luminoso y eso significa que con muy pocos vatios puede tener la misma cantidad de luz que con otras bombillas, esto es debido, en parte, a que apenas generan calor y utilizan gran parte de la energía que reciben para generar la luz.

- ESL: acrónimo de *electron simulated luminescence*, que quiere decir luminiscencia por estimulación de electrones. Esta tecnología ya salió al mercado a través de una empresa que comercializó el modelo Vu1. Sin embargo, no es una tecnología nueva porque ya se utilizaba en las televisiones antiguas.

El principio de funcionamiento de la tecnología ESL consiste en hacer incidir un haz de electrones contra una pantalla recubierta con algún material fluorescente produciendo su iluminación, que era como funcionaban las televisiones con pantallas de tubo. Solo que las bombillas ESL tienen vacío en su interior y no contienen ningún material peligroso, como mercurio, por lo que su reciclado es más sencillo.

La vida estimada de una bombilla Vu1 es de 11 000 horas, lo que la pone casi al nivel de las CFL. Consume 19,5 vatios para producir una iluminación de 500 lumens, lo que la coloca entre una bombilla CFL y una incandescente.

El nuevo bulbo será atenuable al 100 % con capacidades reales de encendido instantáneo y uso en cualquier aplicación actual. Estas bombillas salieron a la venta en el año 2012 pero apenas han tenido repercusión, parecen interesantes porque vienen a resolver el problema del reciclado en las fluorescentes.

- Nanotubos de carbono: se trata de un nuevo tipo de fuente de luz plana fabricada con nanotubos de carbono, muy eficiente y con muy bajo consumo de energía: alrededor de 0,1 vatios por cada hora de funcionamiento, es decir, cerca de un centenar de veces menos que las led.

La electrónica basada en el carbono, especialmente los nanotubos de carbono (CNT), se perfila como la sucesora del silicio para la fabricación de materiales semiconductores. Este material puede permitir una nueva generación de dispositivos brillantes, de baja potencia y de bajo costo, que podrían desafiar el dominio de las led.

Los científicos japoneses han trabajado en la optimización de este dispositivo, basándose en una pantalla de fósforo y una sola pared de nanotubos de carbono altamente cristalinos (SWCNTs), como electrodos en una estructura de diodo. Comentan que es como un campo de filamentos de tungsteno reducido a proporciones microscópicas.

Los expertos han ensamblado el dispositivo con una mezcla líquida de un disolvente orgánico combinado con un producto químico similar al jabón, conocido como agente tensioactivo. Se pinta con la mezcla sobre cada electrodo positivo o cátodo, y se rasca la superficie con papel lija para formar un panel de luz capaz de producir una corriente grande, estable, homogénea de emisiones con bajo consumo de energía. Comentan que su sencillo panel podría obtener una alta eficiencia de luminosidad, de 60 lúmenes por vatio, lo que supone un excelente potencial para un dispositivo de iluminación con bajo consumo de energía.

Estos expertos han explicado que este nuevo dispositivo tiene un sistema de luminiscencia que funciona más como si fueran tubos de rayos catódicos con nanotubos de carbono en calidad de cátodos y una pantalla de fósforo en una cavidad de vacío que actúa como el ánodo. Bajo un fuerte campo eléctrico, el cátodo emite haces apretados de alta velocidad de los electrones, a través de sus puntas de nanotubos Sharp, un fenómeno llamado emisión de campo.

Luego, los electrones vuelan por el vacío en la cavidad y golpean la pantalla de fósforo. Comentan que han encontrado que un cátodo como una pared simple de nanotubos de carbono altamente cristalina y un ánodo con la pantalla de fósforo mejoran la estructura y obtienen una buena homogeneidad de brillo.

Por otro lado, se encuentran otros tipos de bombillas con tecnologías diferentes que tienen un rendimiento luminoso más alto, pero se utilizan para iluminación más específica. A continuación, un breve resumen de sus rendimientos luminosos:

- Lámpara incandescente: 10 a 15 lm/W
- Lámpara halógena: 15 a 25 lm/W
- Lámpara led: 15 a 130 lm/W
- Mercurio alta presión: 35 a 60 lm/W
- Lámpara fluorescente compacta: 50 a 90 lm/W
- Lámpara fluorescente: 60 a 95 lm/W
- Halogenuros metálicos: 65 a 120 lm/W
- Sodio alta presión: 80 a 150 lm/W
- Sodio baja presión: 100 a 200 lm/W

4.2.2. Tecnologías de aire acondicionado

Un aparato de aire acondicionado sirve, tal y como indica su nombre, para el acondicionamiento del aire. Este es el proceso más completo de tratamiento del ambiente en un local cerrado y consiste en regular la temperatura, ya sea calefacción o refrigeración, el grado de humedad, la renovación o circulación del aire y su limpieza, es decir, su filtrado o purificación. Con el paso de los años y la evolución tecnológica ha ido mejorando tanto en higiene como en seguridad con el desarrollo de equipos más eficientes y que brindan mayor confort al consumidor final.

Los sistemas de aire acondicionado tienen aplicaciones domésticas, industriales, comerciales y automotrices. Con el aire acondicionado se vive de manera más confortable y saludable y muchos procesos industriales se efectúan de manera más eficiente. Infinidad de servicios y productos vitales dependen del aire acondicionado y para su funcionamiento es necesaria la existencia de circuitos integrados, microprocesadores y electrónica de alta tecnología.

Un claro ejemplo son los equipos *inverter* y los equipos de flujo de refrigerante variable o vrf (*variable refrigerant flow*), que son más eficientes debido a que trabajan bajo demanda. Esto quiere decir que cuando un ambiente climatizado llega a la temperatura programada, el equipo reduce el nivel de enfriamiento a un porcentaje mucho menor. Con esto se logra mantener una temperatura más estable, además de permitir un ahorro energético considerable, en comparación con equipos convencionales o de expansión directa (*chiller*).

Una nueva tecnología de aire acondicionado que no es sólo inteligente, sino también eficiente presenta modelos que tienen incorporadas nuevas funciones como parada inteligente, que permite que los sensores detecten la presencia de personas. La tecnología equilibra la temperatura para mantenerla estable de acuerdo con los ajustes que se inicia en el momento de entrar y se apaga al salir, permitiendo el ahorro de energía.

Estas unidades tienen sensores de infrarrojos, y controlan el calor y ajustan las aletas separadas en el dispositivo, para manipular el flujo de calor o aire frío. La unidad está adquiriendo constantemente datos termográficos revisando cada 30 segundos y dividiendo la zona explorada en cuadrantes, el análisis de datos es capaz de ubicar personas y percibir su temperatura. Este ajuste enfriamiento híbrido regula el aire fresco a partes específicas para asegurarse de que la temperatura sea óptima.

En conclusión, el avance de la tecnología y la innovación a la que se ha llegado en los últimos tiempos en el campo de climatización nos ha conducido a la creación de aires acondicionados de una enorme eficacia. La era de las máquinas inteligentes se está convirtiendo en una nueva realidad.

- Clasificación de aire acondicionado.
- Expansión directa (expansión de refrigerante dentro del serpentín de enfriamiento de aire).
- Expansión indirecta (unidad enfriadora de agua).
- Tipos de equipos de aire acondicionado.
 - Residencial
 - Ventana

- Mini Split o Múltiples
 - *Split* con distribución de aire por ductos
 - Paquete con distribución de aire por ductos
 - Portátiles
 - Sistemas múltiples (*Chiller*, VRF, VRFZ)
 - PTAC
- Comercial e industrial
 - Minisplit de alta capacidad
 - Paquete con distribución de aire por ductos
 - Split con distribución de aire por ductos
 - PTAC

4.2.3. Tecnologías de máquinas eléctricas

Una máquina eléctrica es un dispositivo capaz de transformar cualquier forma de energía en energía eléctrica o a la inversa y también se incluyen en esta definición las máquinas que transforman la electricidad en la misma forma de energía, pero con una presentación distinta más conveniente a su transporte o utilización. Se clasifican en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores.

Los generadores transforman energía mecánica en eléctrica, mientras que los motores transforman la energía eléctrica en mecánica haciendo girar un eje. El motor se puede clasificar en motor de corriente continua o motor de corriente alterna. Los transformadores y convertidores conservan la forma de la energía, pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica tiene un circuito magnético y dos circuitos eléctricos; habitualmente, uno de los circuitos eléctricos se llama excitación, porque al ser recorrido por una corriente eléctrica, produce los amperivuellos necesarios para crear el flujo establecido en el conjunto de la máquina.

Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en rotativas y estáticas. Las máquinas rotativas están provistas de partes giratorias, como las dinamos, alternadores, motores. Las máquinas estáticas no disponen de partes móviles, como los transformadores.

En las máquinas rotativas, hay una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. El rotor suele girar en el interior del estator. Al espacio de aire existente entre ambos se le denomina entrehierro. Los motores y generadores eléctricos son el ejemplo más simple de una máquina rotativa.

Los seres humanos usamos las máquinas eléctricas en casa, en la oficina, en el transporte, entre otros, de hecho en todas partes. En las estaciones generadoras se usan máquinas eléctricas para producir energía eléctrica. Dependiendo de la fuente primaria de energía (hidráulica, termoeléctrica, eólica) se usa determinado tipo de máquina (síncrona, de inducción,) una vez que se transmite la energía eléctrica a las grandes ciudades y a los centros de consumo, las máquinas eléctricas se emplean como motores en diversas aplicaciones: en las licuadoras, refrigeradores, aires acondicionados, bombas, entre otros.

En la actualidad hay aplicaciones muy significativas por el impacto que tienen o pueden tener en nuestra vida diaria:

- Uso de motores eléctricos en vehículos, ya sea sustituyendo o complementando a los motores de combustión interna.

- Uso de motores en robots, fijos o móviles, en sus diferentes modalidades.
- Uso de generadores en parques eolieléctricos.

Para las diferentes aplicaciones, además de los motores eléctricos, se requiere el uso de la electrónica de potencia para el acondicionamiento de señales y el control automático para lograr que los dispositivos funcionen de la forma deseada. Es deseable que los profesionales manejen estos aspectos para aplicarlos adecuadamente en el contexto tecnológico actual.

4.3. Etiquetas energéticas

La etiqueta energética o de eficiencia energética es un adhesivo que señala la calificación energética de un electrodoméstico o edificio según una escala que evalúa su consumo.

Esta escala de calificación energética se compone de siete letras correlativas de la A a la G, siendo A la mejor calificación y G la peor.

Además, también constará de, si se trata de la etiqueta de un piso, información relacionada con el consumo anual de energía y el consumo de CO_2 anual, y de datos relacionados con sus funciones, si se trata de la etiqueta de un electrodoméstico, se puede encontrar la capacidad útil de un congelador, la potencia de secado o el nivel de decibeles que produce, entre otras prestaciones de cada aparato.

La etiqueta energética y los certificados energéticos caducan a los 10 años de su emisión. Eso quiere decir que, a poder ser, es recomendable renovar los electrodomésticos una vez pasado ese período o, por lo menos, comprobar su estado y funcionamiento. En cuanto al certificado energético de

un piso, si va a venderse o alquilarse, se recomienda hacer las remodelaciones que correspondan para sumar valor añadido y calidad al inmueble con un certificado actualizado y positivo.

5. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES EN EL EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZAS PÚBLICAS MINFIN

5.1. Descripción del edificio

A continuación, se realiza la descripción del diagnóstico actual de las instalaciones en el edificio del Ministerio de Finanzas Públicas, MINFIN, su ubicación, entre otras.

5.1.1. Ubicación

El edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN está ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de Guatemala en la 19 Calle y 8ª. Avenida Zona 1, ubicado de sur a norte, con acceso desde todos los puntos cardinales.

Figura 6. **Fotografía del sector donde se ubica el Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN**



Fuente: Google map. *Edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN.*

https://www.sicultura.gt/directory-directorio_c/listing/edificio-de-finanzas-publicas/. Consulta: 20 de noviembre de 2020.

5.1.2. **Detalles del edificio**

El edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN es un complejo de edificaciones constituidos por varios cuerpos con diferente geometría y métodos constructivos divididos por juntas de construcción con un área aproximada de 49 333 m².

La torre, cuerpo 1, marcos de estructura metálica y losas de concreto fundidas sobre formaleta metálica, consta de 18 niveles, del nivel 1 al nivel 18 y un cuarto de máquinas en azotea con un área aproximada de 29 808 m².

El anexo, cuerpo 2, marcos de estructura metálica y losas de concreto sobre formaleta metálica, consta de 3 niveles, del nivel 1 al nivel 3, con un área aproximada de 3 136 m².

Los sótanos 1, 2 y 3, cuerpos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, columnas y losas de concreto prefabricadas y fundidas in situ y marcos de estructura metálica y losas de concreto sobre formaleta metálica con un área de 15 078 m².

La rampa de acceso al edificio del Ministerio de Finanzas, así como la pérgola, tienen cuerpo 4, columnas y losa de concreto con un área aproximada de 1 311 m².

La plaza ubicada sobre una parte de la losa del Sótano 1.

El perímetro o piel de la torre del Ministerio de Finanzas Públicas y el anexo está conformada en su fachada norte y sur por ventanas de aluminio y parteluces, mientras que la fachada este y oeste por muros de mampostería y ventanas de aluminio.

Sobre la fachada este se encuentra ubicado el módulo de estructuras metálicas del sistema contra incendio.

La torre donde se encuentra el edificio de Finanzas Públicas es rectangular con su lado largo de este a oeste y lado corto de norte a sur.

El anexo donde se encuentra la torre del edificio es cuadrado.

Figura 7. **Fotografía de la torre y anexo del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN**



Fuente: Google map. *Edificio del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN.*
https://www.sicultura.gt/directory-directorio_c/listing/edificio-de-finanzas-publicas/. Consulta: 20 de noviembre de 2020.

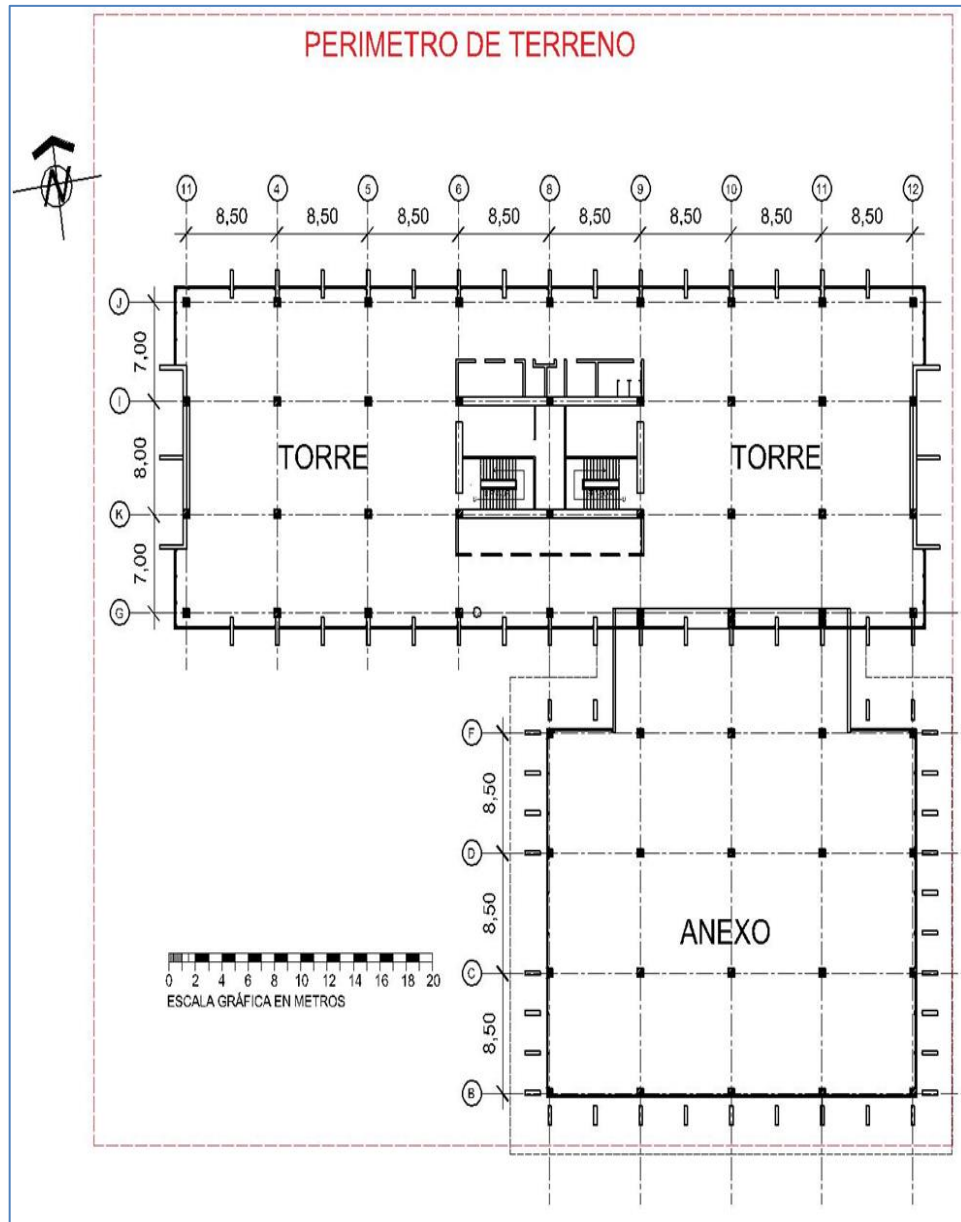
Figura 8. **Fotografía de la torre del Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN**



Fuente: MINFIN. *Edificio del Ministerio de Finanzas Públicas.*
https://www.sicultura.gt/directory-directorio_c/listing/edificio-de-finanzas-publicas/.

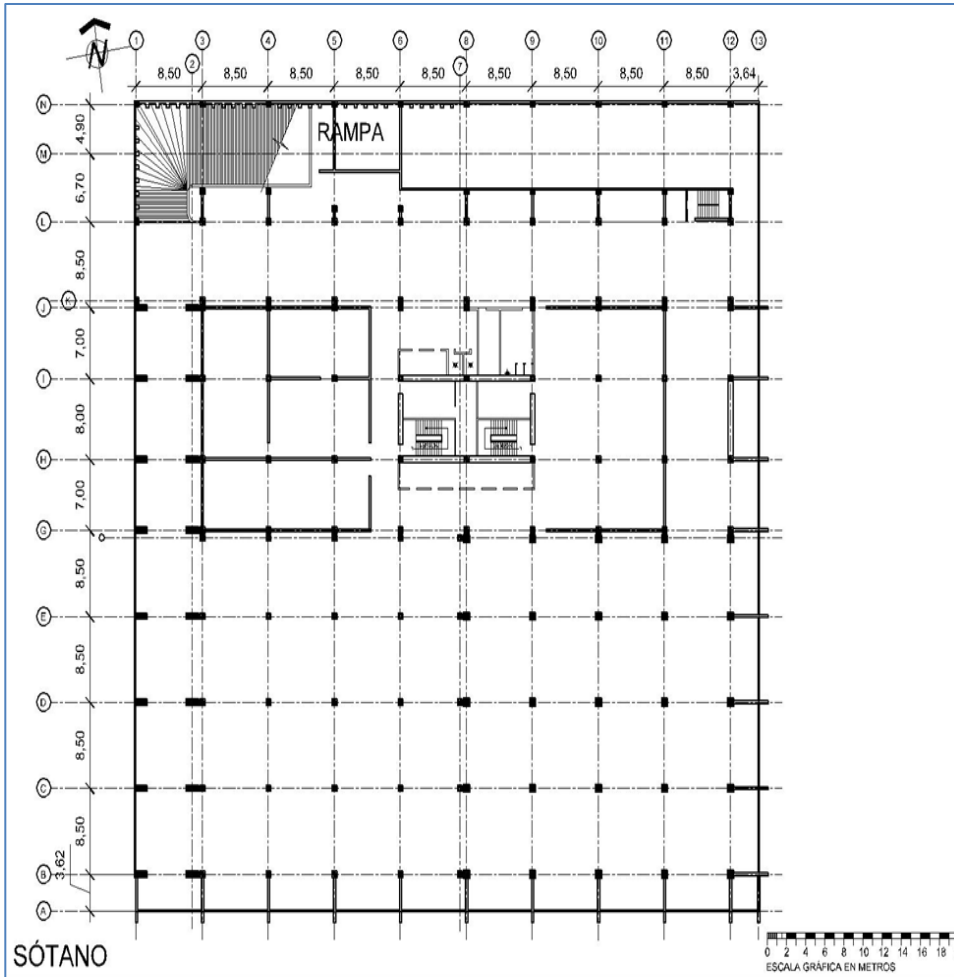
Figura 9. **Plano de torre y anexo**

(La torre tiene 18 niveles y el anexo tiene 3 niveles)



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 10. **Plano de sótano (3 niveles)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

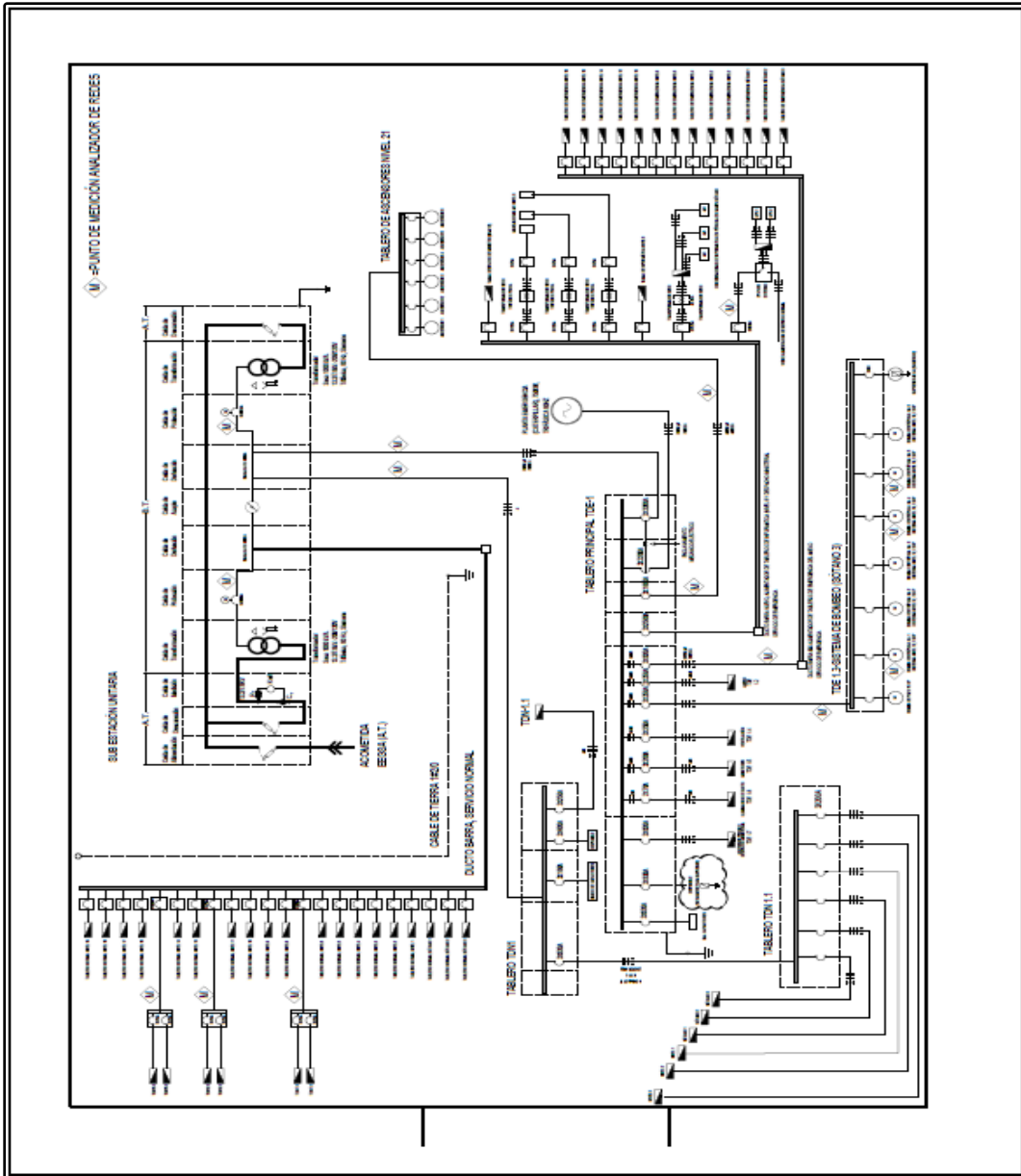
5.1.3. **Instalaciones eléctricas**

Las instalaciones del ministerio cuentan con suministro de energía eléctrica de parte de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA) Contador F73822 Correlativo 660620 con tarifa de media tensión con demanda fuera de punta (MTDFP).

Según se observa en el siguiente diagrama unifilar, la subestación eléctrica del edificio del MINFIN tiene 2 transformadores secos, uno de ellos, suministra energía eléctrica a la torre del Ministerio de Finanzas y sus respectivos sótanos, y otro suministra al anexo.

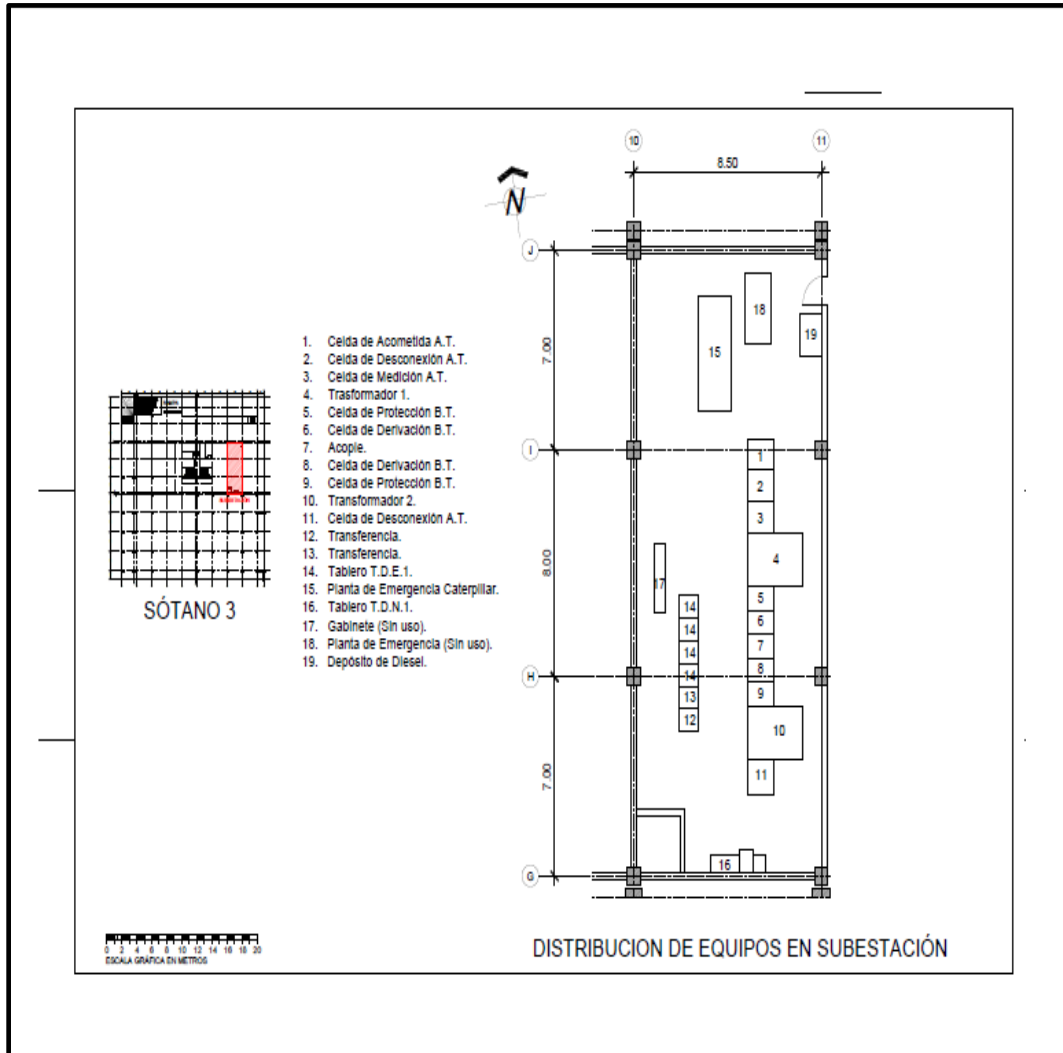
En el presente informe se detallarán actividades enfocadas al suministro de energía eléctrica para los niveles 1 a 18 utilizados en su mayoría para oficinas que componen la torre sin incluir sótanos. También se analizarán detalles referidos al transformador 1 de la subestación eléctrica que suministra la energía al edificio torre.

Figura 11. Diagrama unifilar general del MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 12. **Distribución de equipos en subestación**
 (La subestación se encuentra instalada en el sótano 3)



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 13. **Subestación unitaria 2 MW (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Según se muestra en la figura 13, la subestación eléctrica del edificio del MINFIN se encuentra ubicada en el interior del Sótano 3 del edificio. El equipo de dicha subestación está diseñado para interiores según se observa y es de marca Siemens. Según las partes numeradas en distribución de equipos en Subestación (figura 12), esta parte de la subestación está compuesta por lo siguiente:

- Celda de acometida de media tensión
- Celda de desconexión de media tensión
- Celda de medición de media tensión
- Transformador 1
- Celda de protección de baja tensión
- Celda de derivación de baja tensión
- Acople
- Celda de derivación de baja tensión
- Celda de protección de baja tensión
- Transformador 2
- Celda de desconexión de alta tensión

Figura 14. **Transformador seco (4-10)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Como se mencionó anteriormente, la subestación del edificio cuenta con 2 transformadores secos (figura 14) con las siguientes características:

- Marca: Siemens GEAFOL
- Potencia: 1 000 kVA (1 MVA)
- Fases: 3
- Frecuencia: 60 Hertz
- Factor de potencia: 0,80
- Baja tensión: en vacío 217/125 V.

En carga 208/120 V. – 2 661 Amp.

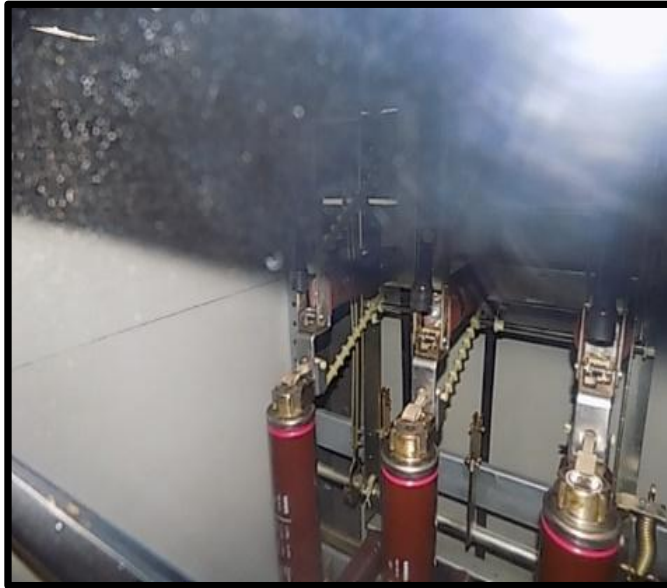
- Grupo de conexión: Dyn5
- Temperatura ambiente máxima: 40 °C
- Altitud de instalación: 1 500 m snm
- Refrigeración: AN
- Niveles de aislamiento: frecuencia industrial (kV) AT 38-BT 3
Impulso atmosférico (kV) AT 95-BT
- Límite de elevación de temperatura en devanados: 105 °C
- Impedancia a 110 °C E 13 200 V.: 6,04 %
- Norma: IEC 726

Figura 15. **Medidor de energía en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 16. **Interruptor combinado con fusibles de media tensión en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 17. **Tablero de distribución de emergencia TDE 1 (12-13-14)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

La figura 17 muestra el tablero de distribución de emergencia y de mayor capacidad, el cual está compuesto por 2 interruptores automáticos tipo ACB (ver figura 18) que funcionan como transferencia automática y proporcionan protección al mismo tablero y también al equipo electrógeno, y por varios interruptores termomagnéticos que suministran energía a otros tableros de distribución menor. 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 18. **Interruptor tipo ACB (*Air Circuit Breaker*) en tablero de distribución TDE 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 19. **Planta de Emergencia 725 kW (Equipo Electrónico) (15)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

El edificio del MINFIN cuenta con una planta de emergencia (figura 19) marca Caterpillar con potencia de 725 kW (906 kVA), de 3 fases, frecuencia de 60 Hz, 220 V, 2 380 amperios y factor de potencia de 0,80.

Figura 20. **Tablero de distribución normal TDN 1 (16)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 21. **Tablero TDN 1 (16) (ver banco de capacitores)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 22. **Unidades del sistema de alimentación ininterrumpida y tablero de derivación (bypass) interno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 23. **Tablero de derivación (bypass) externo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Las figuras 22 y 23 muestran las unidades del sistema de alimentación ininterrumpida y sus tableros de derivación ubicados en el nivel 6 del MINFIN

para asegurar el suministro de energía de alta calidad para el centro de cómputo. Adicional cuenta con la planta de emergencia para cumplir con dicho propósito.

Figura 24. **Bandeja porta cable en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 25. **Ducto barra en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 26. **Canaleta metálica en ducto vertical de torre**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Las figuras 24, 25 y 26 muestran algunas de las canalizaciones para conductores eléctricos utilizadas en las instalaciones del MINFIN.

Figura 27. **Caja de registro del sistema de puesta a tierra en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 28. **Conexión entre barra de neutro y barra de tierra en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 29. **Medición de tierra en subestación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

La figura 27 muestra una de varias cajas de registro que tiene el sistema de puesta a tierra ubicadas en la subestación del MINFIN. Según se observa, en dichas cajas de registro conectadas entre sí, se encuentran las conexiones entre varillas de cobre y cables desnudos por medio de soldadura exotérmica que conforman el sistema y las cuales también son utilizadas para mantenimiento y revisiones.

La figura 28 muestra la conexión directa de la barra de neutro con la barra de tierra y la figura 29 muestra una de las mediciones de tierra que se realizaron. En dichas mediciones se obtuvieron valores que cumplen con las Normas NTDOID que especifican valor máximo a 2 ohmios para este tipo de subestación de 2 MVA.

Figura 30. **Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 31. **Pararrayos punta simple Franklin (PSF)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

El sistema de pararrayos del MINFIN cuenta con un pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) (ver figura 30), según se observa se encuentra sobre la terraza del cuarto de máquinas ubicado sobre la azotea del edificio la torre y está conectado al sistema de puesta a tierra por un conductor de bajada con trayectoria interior en el edificio. Según Norma UNE 21186 cada PDC estará unido a tierra y necesita al menos dos bajantes en el caso de instalaciones sobre estructuras de altura superior a 28 metros.

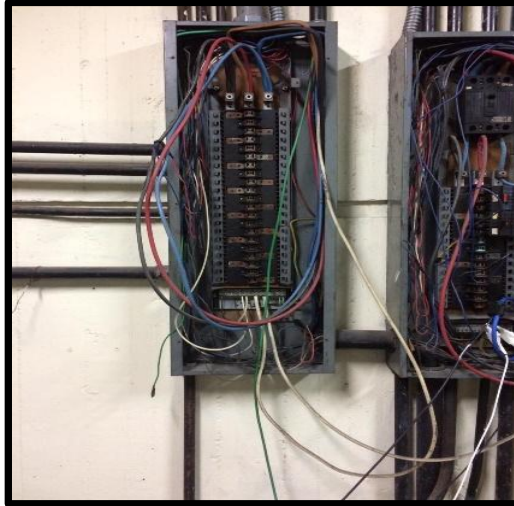
Cuenta con 3 pararrayos punta simple Franklin (PSF) (ver figura 31) distribuidos y conectados a un anillo perimetral en la azotea, que también está conectado a otro anillo perimetral en la parte baja del edificio por medio de la estructura metálica interna de las fundiciones de concreto y este último conectado al sistema de puesta a tierra ubicado en el sótano 3 del edificio.

Figura 32. **Tableros ubicados en sótanos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 33. **Tableros ubicados en cuarto de estación de bombeo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Las figuras 32 y 33 muestran imágenes de algunos tableros que se encuentran en sótanos y cuarto de estación de bombeo que necesitan revisar y ordenar el cableado y también colocar sus tapaderas para evitar cualquier inconveniente a que están expuestos.

1.1.1. Inventario de equipos de oficina e iluminación

Para esta parte se realizó un inventario de cargas eléctricas compuestas por equipos de oficina e iluminación existentes en los niveles 7, 12 y 15 del edificio y que se pueden utilizar como estándar para las demás instalaciones. También se escogieron estos niveles en especial porque cuentan con 3 tipos de luminarias o sistemas de iluminación que permiten realizar una evaluación comparativa.

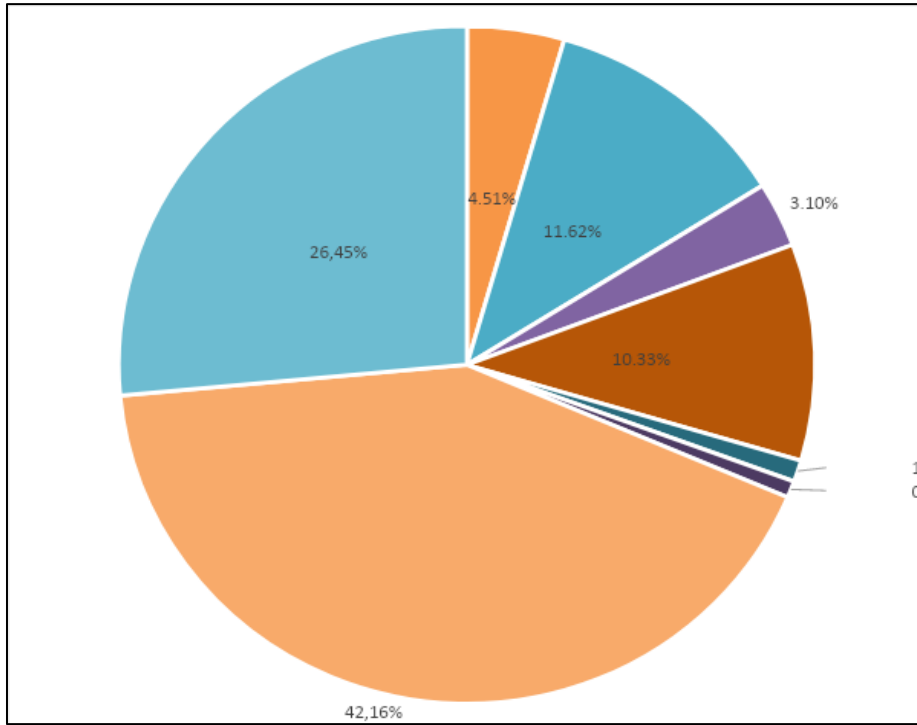
Tabla VII. **Inventario nivel 7**

(Área total 1 656 m²: Oficinas 886 m², salones de conferencias 590 m², sanitarios 60 m², gradas/ascensores 120 m²)

Descripción	Cantidad	Watts promedio	Watts totales	Porcentaje de watts instalados	Horas Uso	Índice
Computadora escritorio		125	875	4,51 %	8	
Computadora portátil	18	125	2 250	11,62 %	8	
Impresora	6	100	600	3,10 %	8	
Microonda	2	1 000	2 000	10,33 %	8	
Cafetera	2	100	200	1,03 %	8	
Oasis	1	150	150	0,80 %	8	
Lámpara tipo panel led oficinas	204	40	8 160	42,16 %	8	9,21 w/m ²
lámpara tipo panel led salones de conferencias	128	40	5 120	26,45 %	4	8,68 w/m ²
Puesto de trabajo en horario normal	42		19 355		134 kWh-día	460,83 w/puesto
Tomacorrientes 110 v	179					

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Distribución de cargas eléctricas nivel 7**



Fuente: elaboración propia.

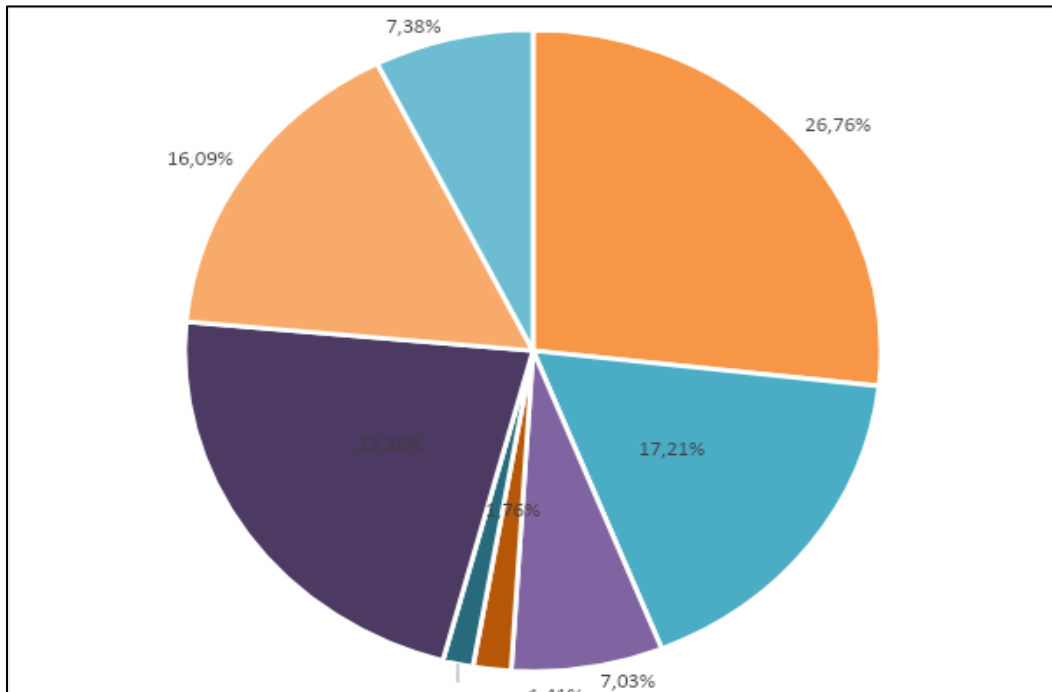
Tabla VIII. **Inventario nivel 12**

(Área total 1 656 m²: Oficinas 888 m², cocina-cafetería 588 m², sanitarios 60 m², gradas/ascensores 120 m²)

Descripción	Cantidad	Watts promedio	Watts totales	Porcentaje de watts instalados	Horas uso	Índice
Computadora escritorio	61	125	7 625	26,76 %	8	
Computadora portátil	-----	125	-----	----%	8	
Impresora láser, impresora normal / plotter	7	700	4 900	17,21 %	8	
Microonda	2	1 000	2 000	7,03 %	8	
Cafetera	2	250	500	1,76 %	8	
Refrigeradora	1	400	400	1,41 %	8	
Lámpara tipo tubo led 9 w. oficinas	176	36	6 336	22,26 %	8	7,14 w /m ²
lámpara tipo tubo led 9 w. cocina - cafetería	128	36	4 608	16,19 %	4	7,84 w/m ²
Ventiladores	21	100	2 100	7,38 %	4	
Puesto de trabajo en horario normal	47		28 469		201 kWh-día	605,72 watt/puesto
Tomacorrientes 110 v	155					

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Distribución de cargas eléctricas nivel 12**



Fuente: elaboración propia.

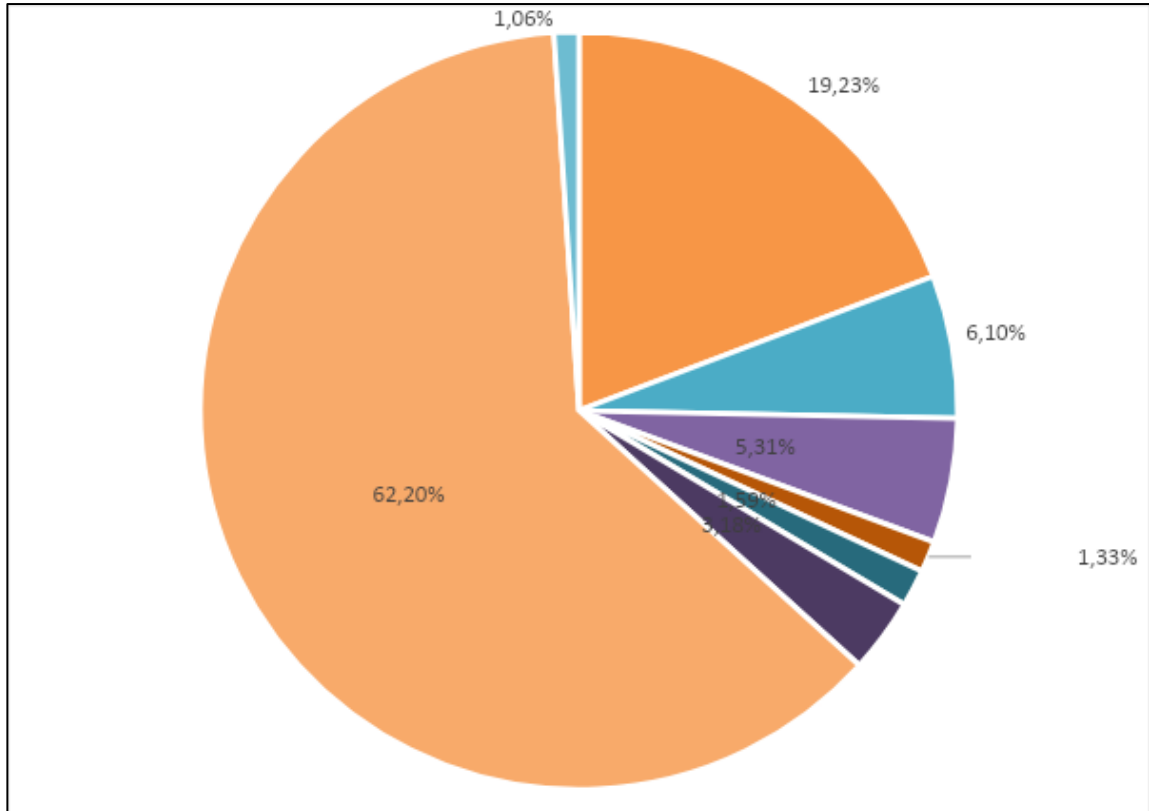
Tabla IX. **Inventario nivel 15**

(Área total 1 656 m²: Oficinas 1 476 m², sanitarios 60 m², gradas/ascensores 120 m²)

Descripción	Cantidad	Watts promedio	Watts totales	Porcentaje de watts instalados	Horas uso	Índice
Computadora escritorio	58	125	7 250	19,23 %	8	
Computadora portátil	----	---	-----	-----%	8	
Impresora	23	100	2 300	6,10 %	8	
Microonda	2	1 000	2 000	5,31 %	8	
Cafetera	2	250	500	1,33 %	8	
Oasis	4	150	600	1,59 %	8	
Refrigeradora	3	400	1 200	3,18 %	8	
Lámpara 2 U 32 w, Oficinas	335	70	23 450	62,20%	8	15,89 w/m ²
Ventiladores	4	100	400	1,06%	4	
Puesto de trabajo en horario normal	58		37 700		300 kWh-día	650 watt/puesto
Tomacorrientes 110 v	171					

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Distribución de cargas eléctricas nivel 15**



Fuente: elaboración propia

Según se observa en tablas VII, VIII y IX inventarios y en figuras 34, 35 y 36 distribución de cargas eléctricas en niveles 7, 12 y 15 correspondientemente, la mayor carga eléctrica corresponde a iluminación.

5.2. Mediciones y análisis

Para realizar la descripción de las mediciones y análisis del equipo que se utilizará en el presente trabajo de graduación, se detallará el equipo a que se estará utilizando.

5.2.1. Equipo utilizado para mediciones

A continuación, se desarrolla una descripción del equipo utilizado para las mediciones.

Figura 37. **Analizador de Redes, marca Dranetz, modelo HDPQ**
Guide Clasificación A



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 38. **Registrador de redes, marca AEMC, modelo PEL 105**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 39. **Luxómetro, marca IMPELSA, modelo 6610**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2.2. Mediciones y análisis en transformador 1

Como se mencionó anteriormente, el transformador 1 de la subestación eléctrica suministra la energía a lo que denominamos torre y sótanos, por lo cual se tomaron mediciones con el analizador de redes utilizado en dicho transformador.

5.2.3. Análisis de tensión

- Regulación de tensión: en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de la tensión o voltaje para cada una de las fases A, B y C incluyendo neutro durante el período de medición.

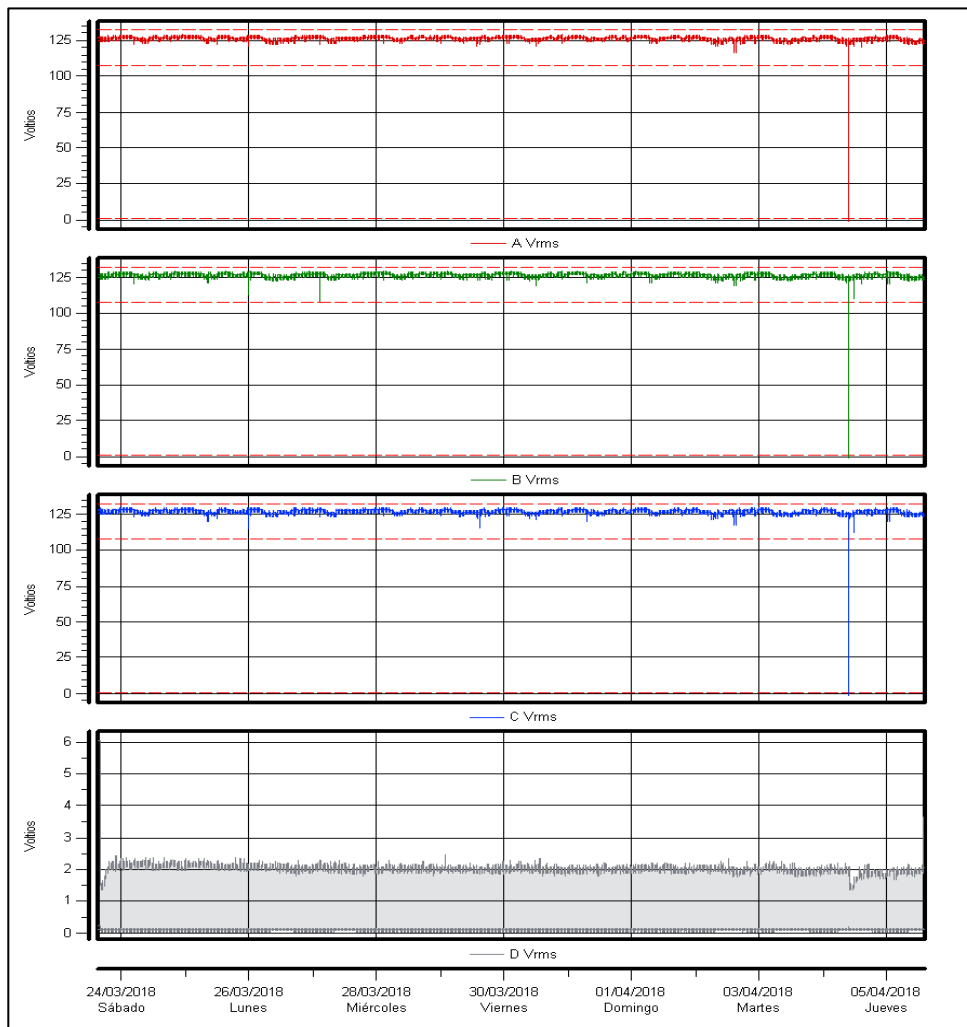
Como se puede observar, tomando en cuenta las Normas EN50160 programadas en el equipo utilizado para la medición de calidad de energía, los valores de tensión se mantienen entre el rango $\pm 10\%$ (ver tabla XI) aunque también se observan algunas disminuciones de tensión.

Igualmente, tomando en cuenta las Normas NTSD, los valores de tensión se mantienen entre el rango $\pm 8\%$ (ver tabla II).

En ambas normas no se excede la tolerancia permitida con respecto a tensión y por este parámetro se puede decir que la energía es de buena calidad.

Figura 40. **Gráficas de tensión fases y neutro**

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Desequilibrio (desbalance) de tensión: en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento del desequilibrio de tensión o voltaje durante el período de medición en los transformadores 1 y 2 correspondientemente.

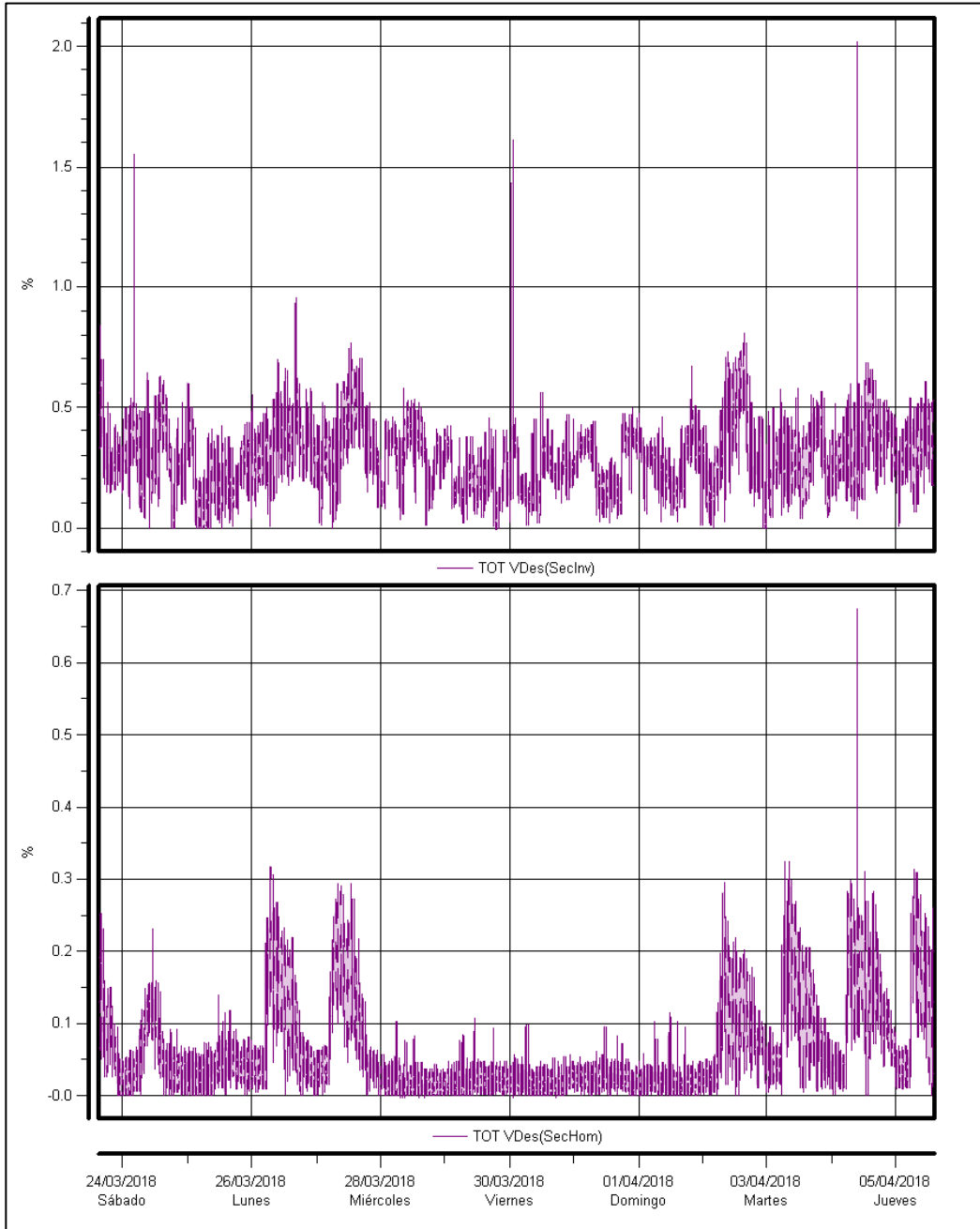
Como se puede observar, tomando en cuenta las Normas EN50160 programadas en el equipo utilizado para la medición de calidad de energía, los valores de desequilibrio de tensión se mantienen entre el rango 0-2 % (ver tabla XI) aunque también se observan algunas alzas en desequilibrio de tensión.

Igualmente, tomando en cuenta las Normas NTSD, los valores de desequilibrio o desbalance de tensión se mantienen entre el rango de 3 % (ver tabla III).

En ambas normas no se excede la tolerancia permitida con respecto a desequilibrio o desbalance de tensión y por este parámetro se puede decir que la energía es de buena calidad.

Figura 41. Gráficas de desequilibrio de tensión transformadores 1 y 2

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Distorsión armónica de tensión: en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de armónicos de tensión para cada una de las fases A, B y C durante el período de medición.

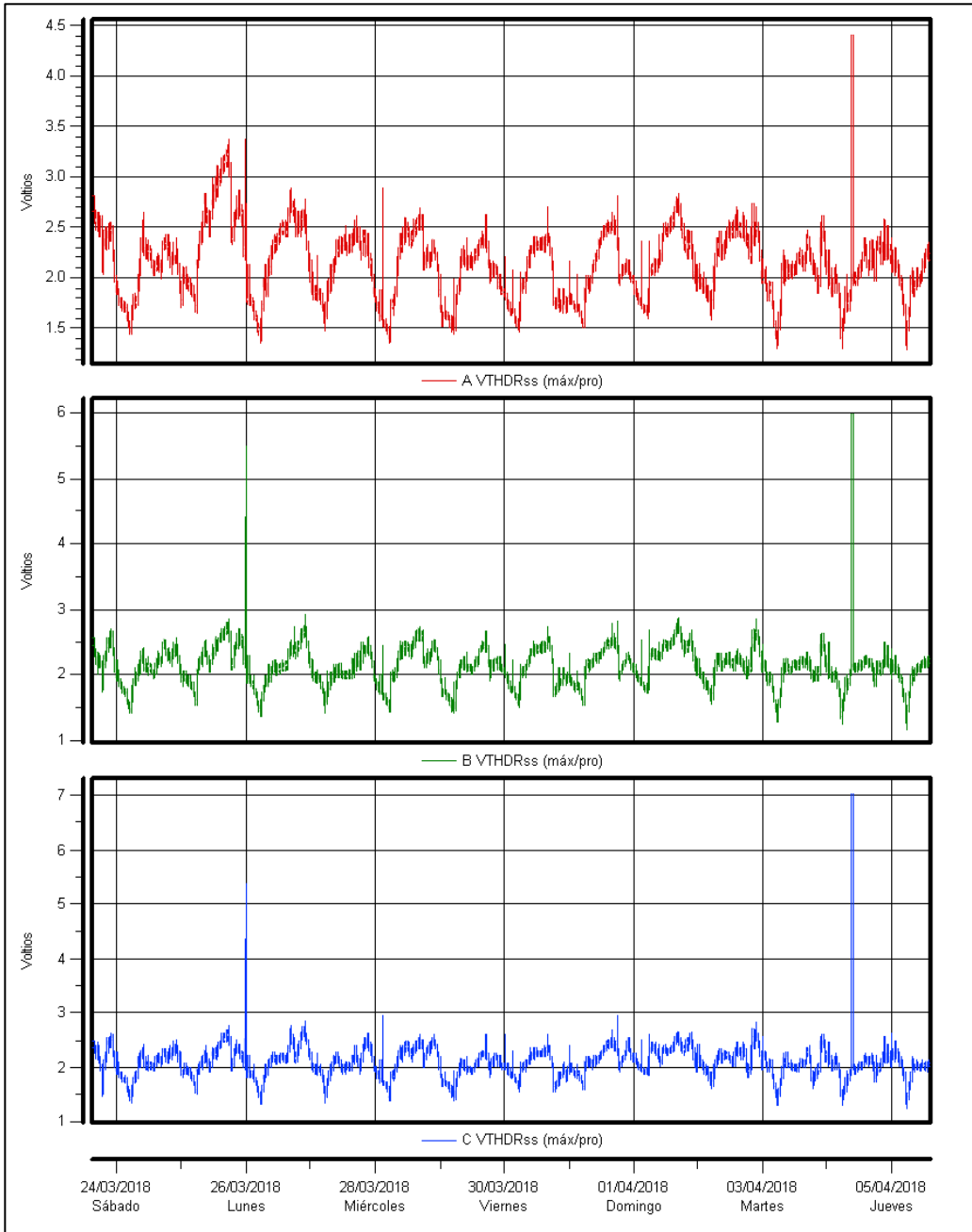
Como se puede observar, tomando en cuenta las Normas EN50160 programadas en el equipo utilizado para la medición de calidad de energía, el porcentaje de armónicos de tensión se mantiene por debajo del límite establecido de 8 % (ver tabla XI).

Igualmente, tomando en cuenta las Normas NTSD, el porcentaje de armónicos de tensión se mantiene por debajo del límite establecido de 8 % (ver tabla IV).

En ambas normas no se excede el límite permitido con respecto a armónicos de tensión y por este parámetro se puede decir que la energía es de buena calidad.

Figura 42. Gráficas de armónicos de tensión (THD_V) fases

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00



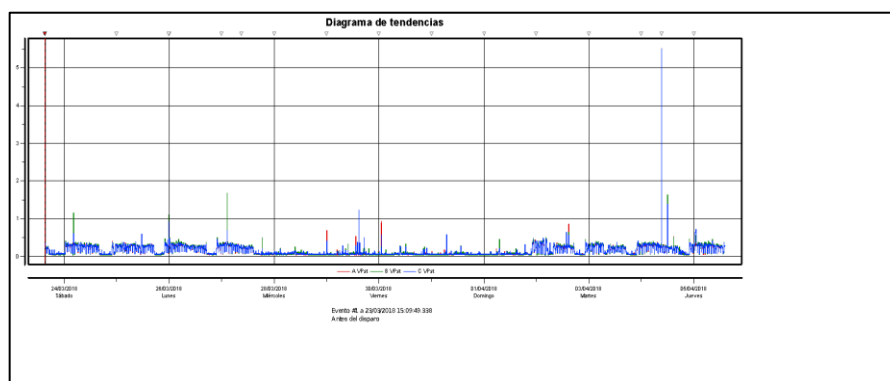
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Parpadeo (*flicker*) de tensión: en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento del parpadeo o *flicker* respecto a la tensión.

Como se puede observar, tomando en cuenta las Normas EN50160 programadas en el equipo utilizado para la medición de calidad de energía, los valores de los índices de parpadeo o *flicker* de tensión a corto plazo (P_{st}) y a largo plazo (P_{lt}) cumplen porque se mantienen menores a 1 y también cumple con las Normas NTSD que establecen el mismo valor para el índice de parpadeo o *flicker* de tensión a corto plazo (P_{st}). También se observan algunas variaciones mayores a 1 que no excedan el lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del empleado en las mediciones.

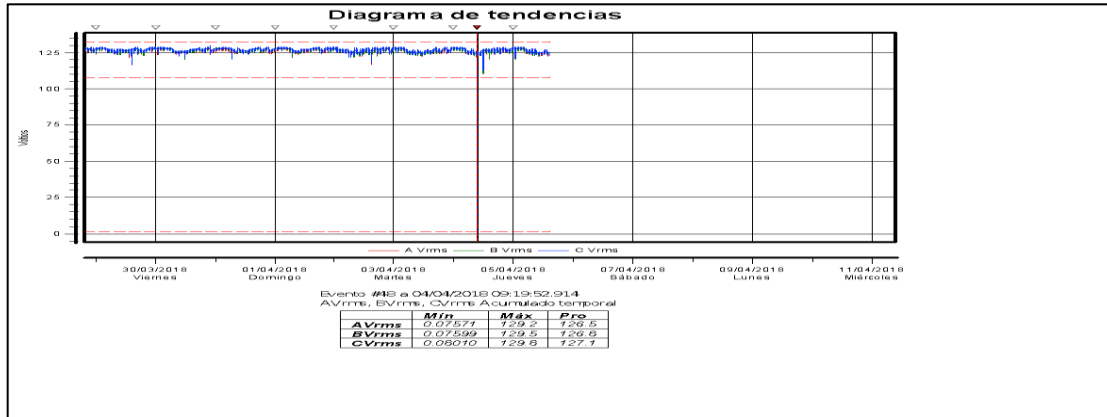
En ambas normas no se exceda el índice permitido con respecto a parpadeo o *flicker* de tensión a corto plazo (P_{st}) y por este parámetro se puede decir que la energía es de buena calidad.

Figura 43. **Gráfica del Índice de parpadeo de tensión a corto plazo (P_{st})**



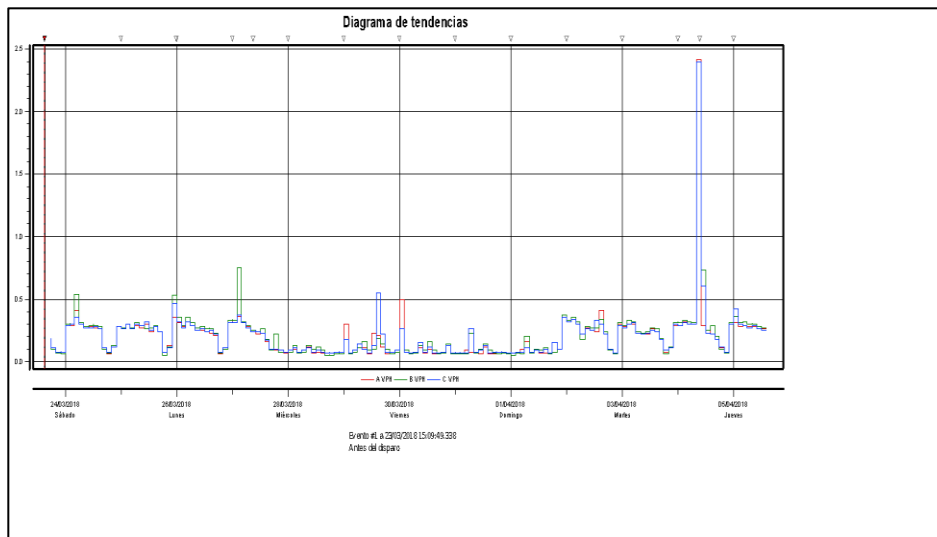
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 44. Gráfica del índice de parpadeo de tensión a largo plazo (P_{lt})



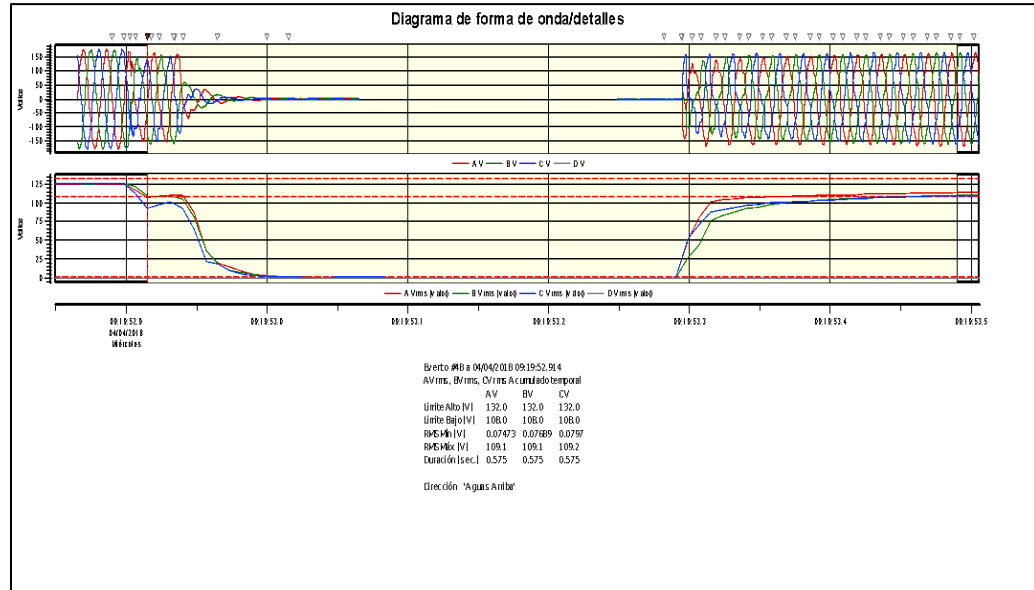
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 45. Gráfica con interrupción de suministro de tensión



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

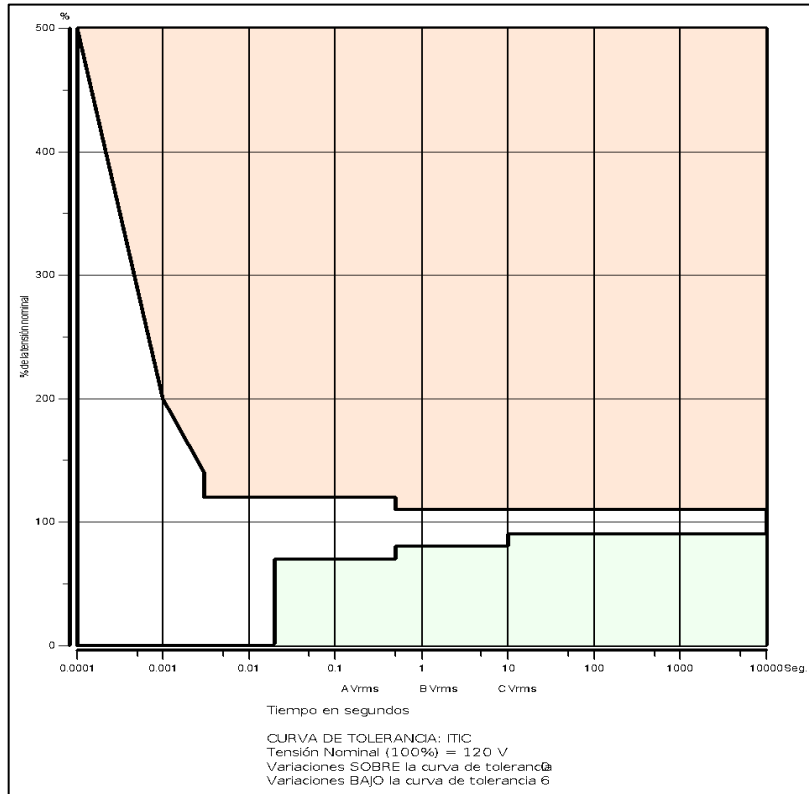
Figura 46. **Gráfica de forma de onda en interrupción de suministro de tensión**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

En la figura 45 se marca una interrupción de suministro de tensión ocurrida el día 04/04/2018 y en la figura 46 se muestra la forma de onda de la tensión y la respectiva deformación en el instante que ocurrió dicha interrupción. Como se puede apreciar fue un suceso instantáneo que lógicamente interrumpió todas las actividades en el edificio.

Figura 47. **Curva ITIC eventos en transformador 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

En la figura 47 se puede observar que se registraron variaciones bajo la curva de tolerancia y que no se registraron variaciones sobre la curva de tolerancia durante el período de medición.

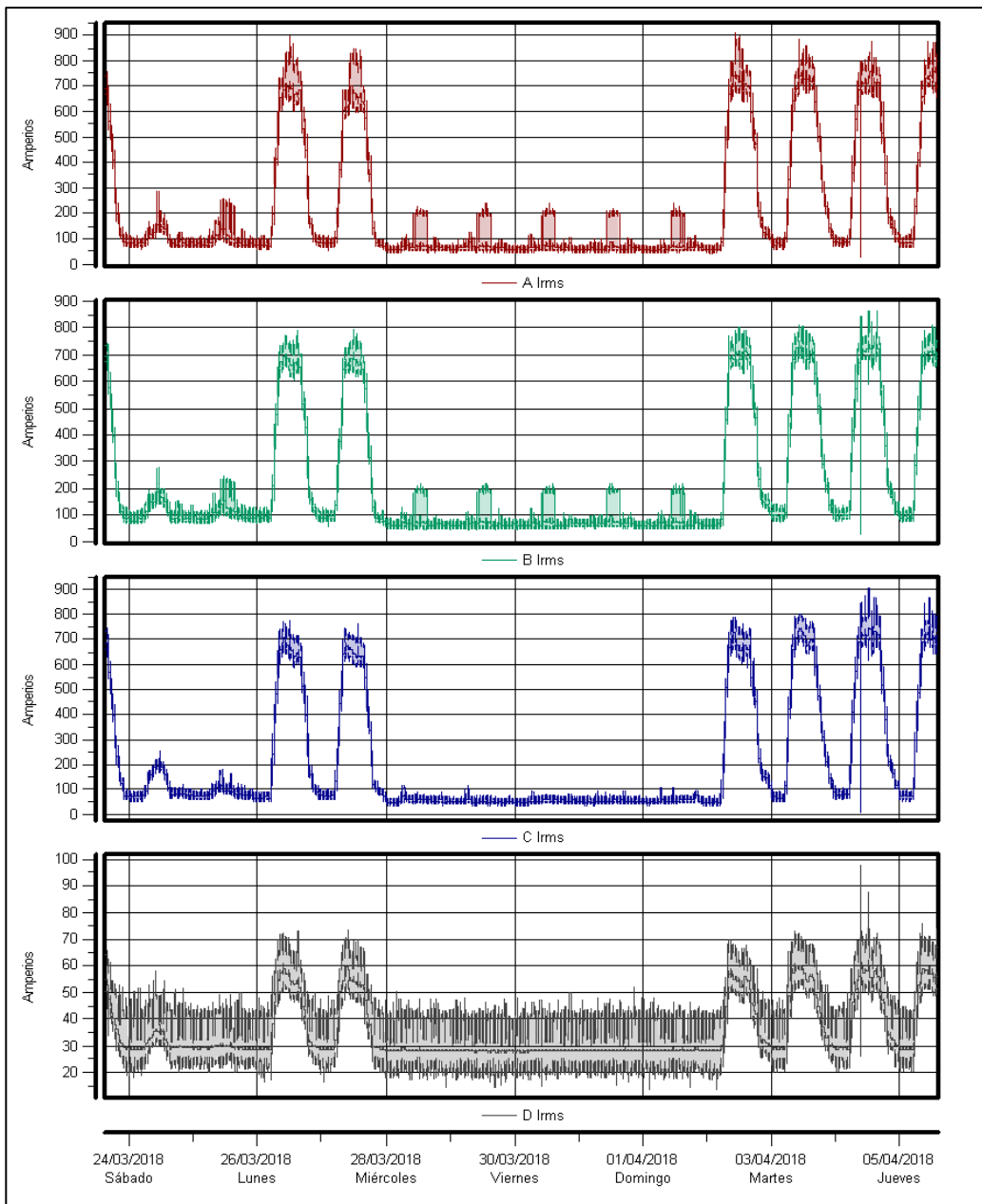
5.2.3.1. Análisis de intensidad

En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de la intensidad o corriente para cada una de las fases A, B y C incluyendo neutro durante el período de medición.

En dichas gráficas se observan valores mínimos de intensidad o corriente durante el fin de semana y días de feriado de semana Santa abarcados en este período de medición. También se observa desbalance de intensidad entre fases por lo que se sugiere un estudio para efectuar un balance de cargas entre fases.

Figura 48. Gráficas de intensidad fases y neutro

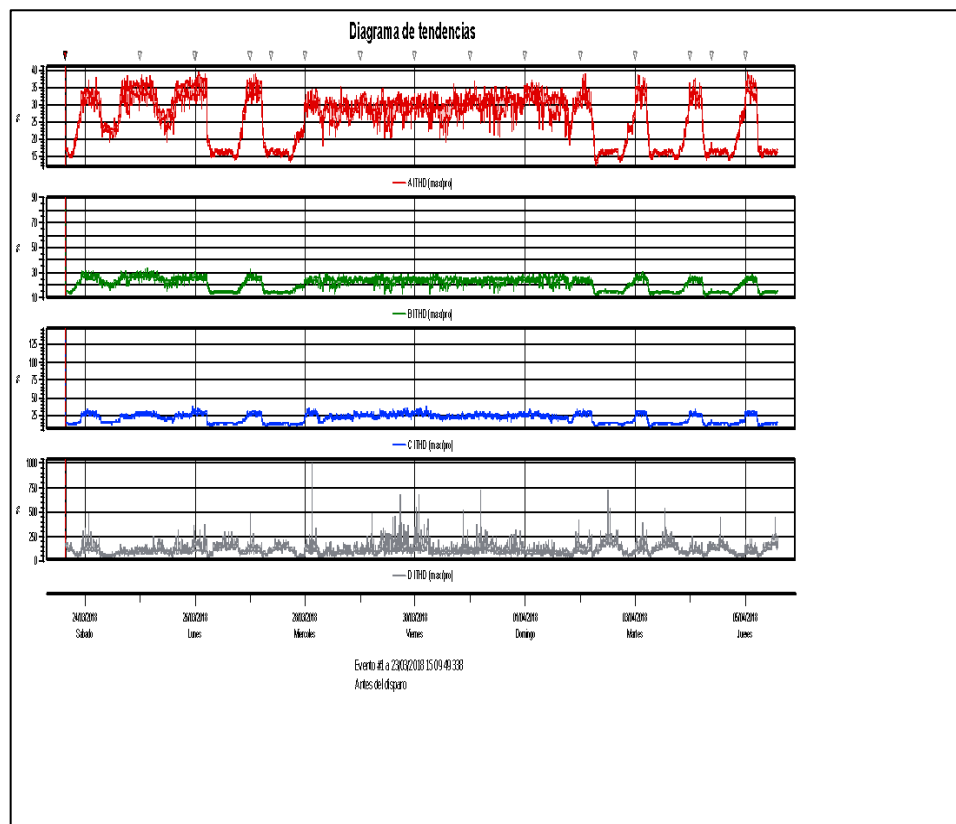
Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

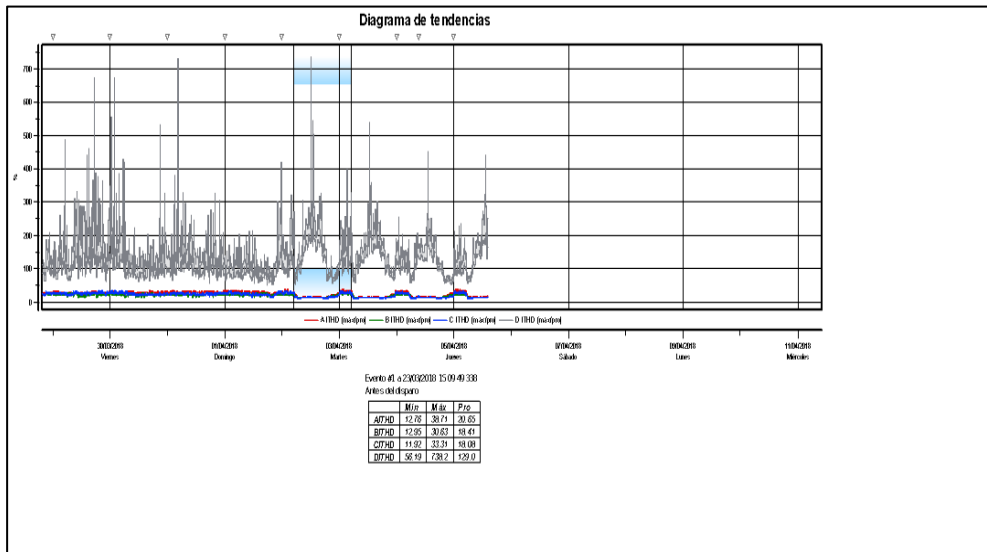
- Distorsión armónica de intensidad: en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de armónicos de intensidad para cada una de las fases A, B y C incluyendo neutro durante el período de medición. Tomando en cuenta las Normas NTSD y observando la figura 49, el porcentaje de armónicos de intensidad se mantiene por debajo del límite establecido 20 % (ver tabla V) en las fases, pero ese límite se sobrepasa en el neutro por lo que se recomienda una revisión de esta situación.

Figura 49. Gráficas de armónicos de intensidad (THD_I) fases y neutro



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 50. Gráfica de armónicos de intensidad (THD_I)

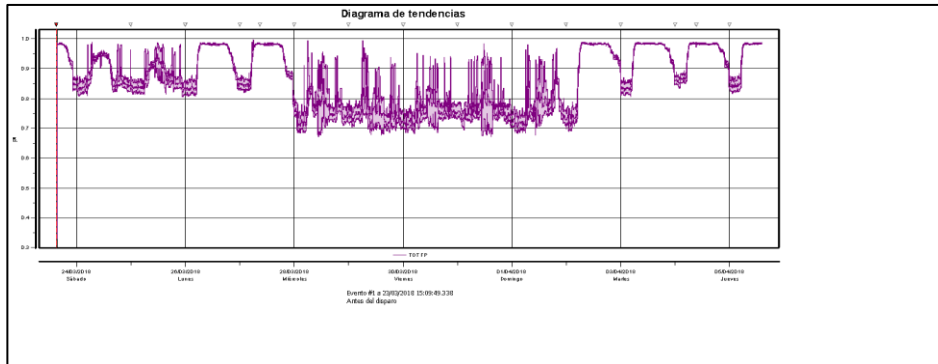


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Factor de potencia: en la figura 52 se muestra el comportamiento del factor de potencia durante el período de medición.

Se observa que el valor promedio de factor de potencia es mayor a 0,90 que es el valor mínimo admitido para potencia del usuario superior a 11 kW según Normas NTSD.

Figura 51. Gráfica de factor de potencia

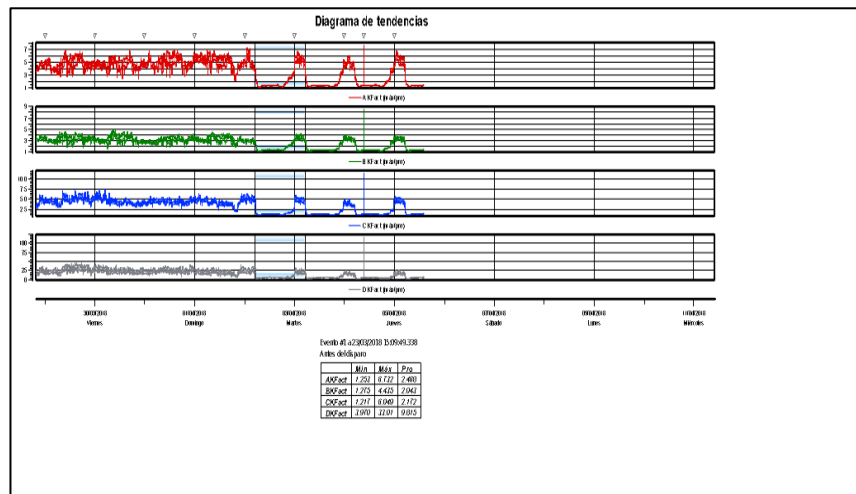


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2.3.2. Factor K en transformador 1

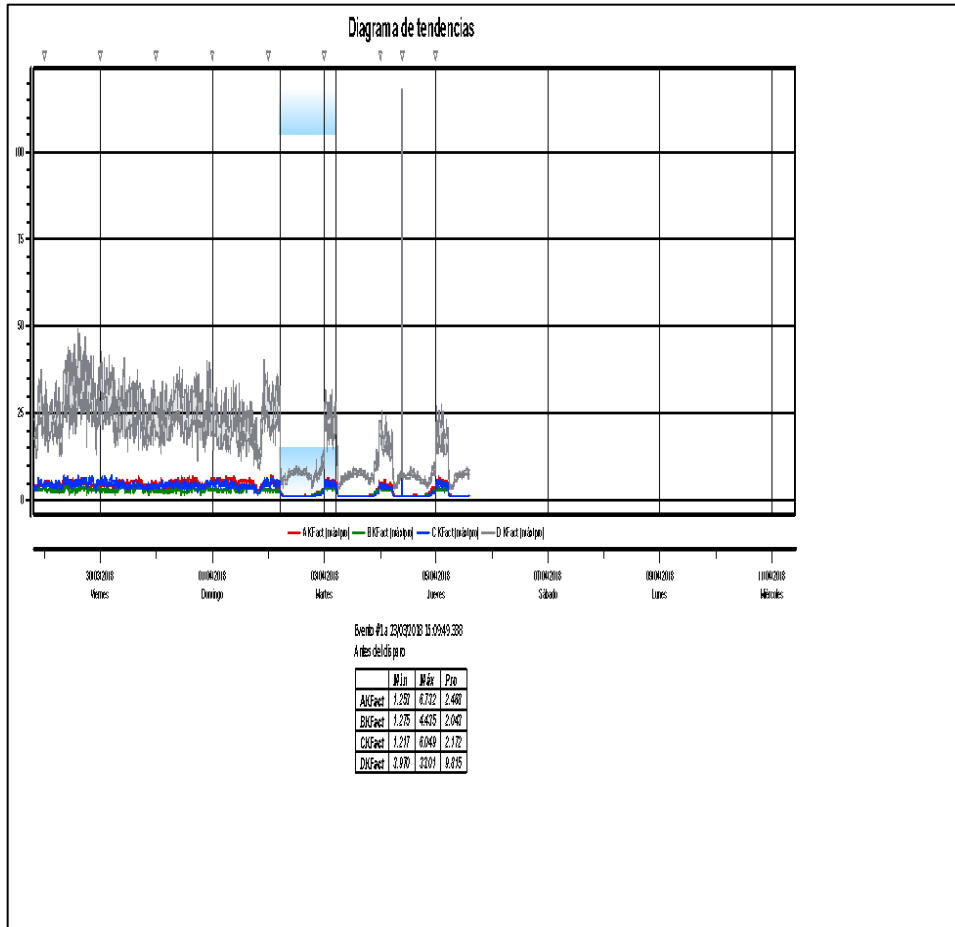
En la figura 52 se realiza la descripción del factor K fases y neutro de transformador 1.

Figura 52. Gráfica de factor K fases y neutro en transformador 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Figura 53. Gráfica de factor K en transformador 1

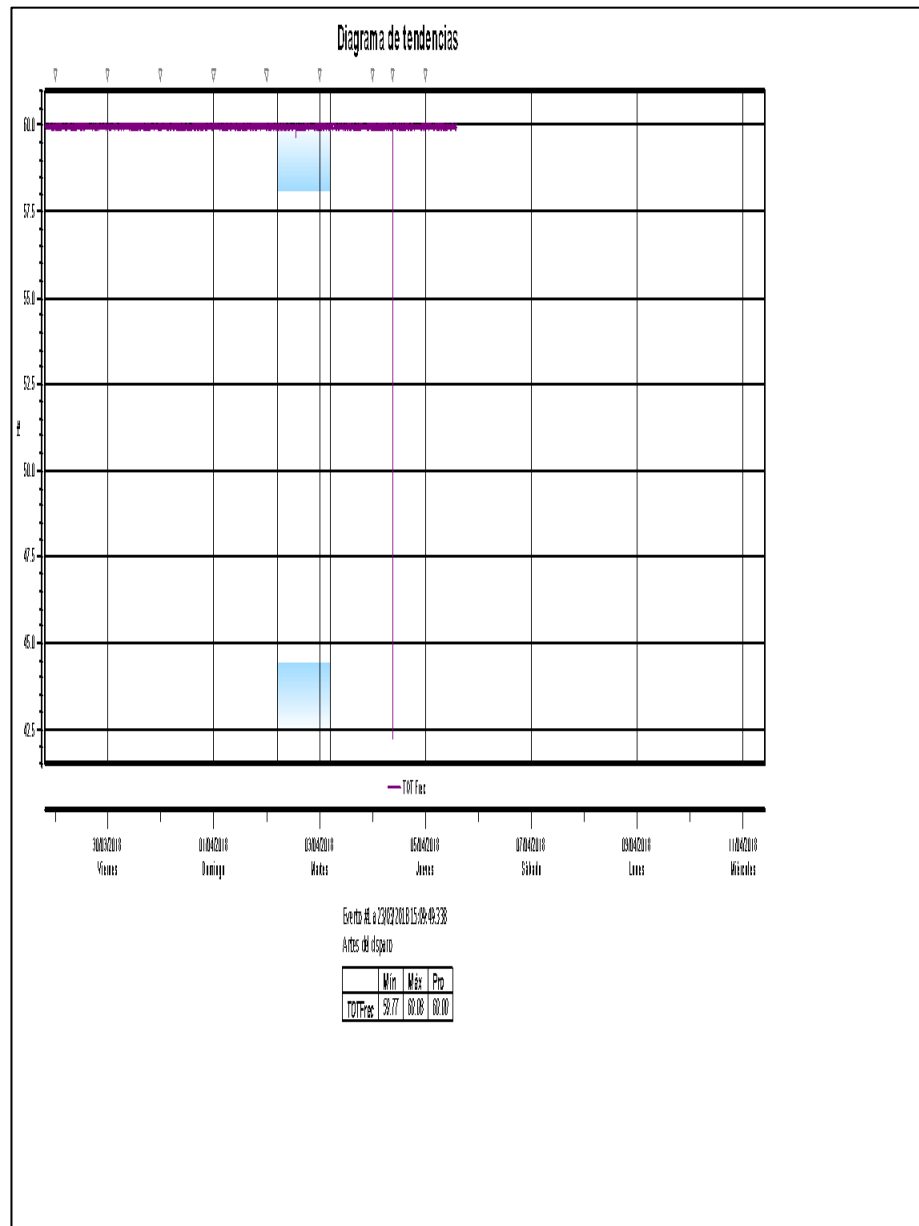


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2.3.3. Frecuencia de tensión

En la figura 54 se detalla la frecuencia de tensión que se puede apreciar.

Figura 54. Gráfica de frecuencia de tensión



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

En la figura 54 se observa que la frecuencia en el suministro de voltaje se mantiene en el rango permitido de ± 1 % según Norma EN50160.

5.2.3.4. Análisis de demanda y energía

En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de demanda y energía durante el período de medición.

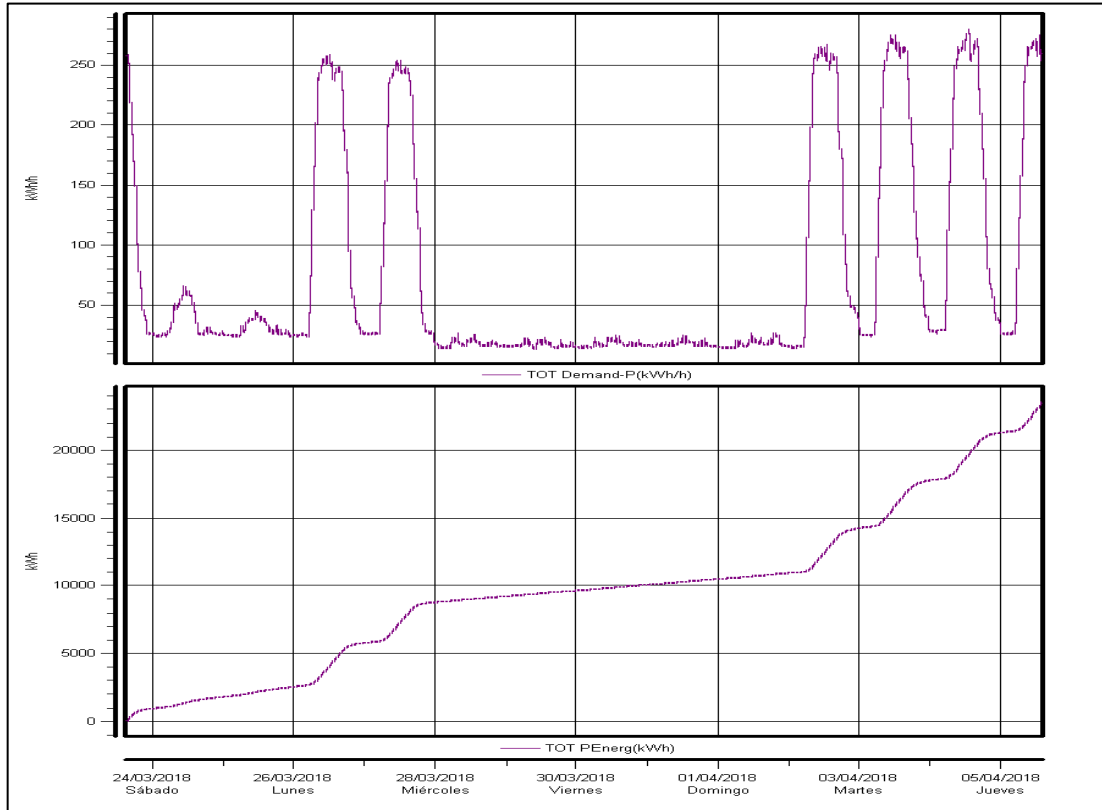
En la figura 55 de demanda se observan valores mínimos durante el fin de semana y días de feriado de semana Santa abarcados en este período de medición. También se observa que la demanda no se excedió de 300 kVA, lo que significa que este transformador está trabajando a menos del 30 % de su capacidad y es muy probable que su eficiencia esté en un valor bajo.

Lo mismo se observó en el otro transformador de la subestación según mediciones realizadas, por lo que se podría trabajar con un solo transformador para mejorar su eficiencia y contar con un segundo transformador para cualquier emergencia.

En la gráfica de energía se observa alza mínima durante el fin de semana y días de feriado de Semana Santa abarcados en este período de medición.

Figura 55. **Gráficas de demanda y energía**

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2.3.5. **Análisis de potencia**

En la tabla X se muestran valores de potencia, factor de potencia, demanda y energía para cada una de las fases A, B y C incluyendo neutro durante el período de medición. Como se puede observar el factor de potencia promedio está bastante cercano a 0,90 que es lo requerido.

Tabla X. **Informe de potencia**

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 05/04/2018 14:20:00

POTENCIA

POTENCIA ACTIVA P(W)

	A	B	C	D	TOTAL		
Mín kW	3,90	-50,90	-39,80	-0,001	-5,22	en	23/03/2018 15:20:00
Máx kW	106,77	100,96	101,14	0,041	296,74	en	04/04/2018 13:10:00
Mediana kW	8,29	10,20	8,13	0,000	26,51		
Promedio kW	24,82	25,89	24,82	0,000	75,52		

POTENCIA APARENTE, S(VA)

	A	B	C	D	TOTAL		
Mín kVA	6,24	4,90	4,80	0,002	19,58	en	29/03/2018 10:00:00
Máx kVA	108,91	102,89	102,39	0,218	301,42	en	04/04/2018 13:10:00
Mediana kVA	10,06	11,70	9,51	0,003	31,12		
Promedio kVA	26,49	27,37	26,23	0,004	80,09		

POTENCIA REACTIVA Q, A LA FREC. FUND.

	A	B	C	D	TOTAL		
Mín kVAR	-2,118	-0,006	-84,065	-,001	-72,126	en	23/03/2018 15:20:00
Máx kVAR	14,308	70,461	12,622	0,002	32,480	en	26/03/2018 11:20:00
Mediana kVAR	1,495	2,934	1,583	0,000	5,915		
Promedio kVAR	2,497	3,605	2,690	0,000	8,793		

Continuación tabla X.

FACTOR DE POTENCIA

	A	B	C	D	TOTAL		
Mín	-0,969	-0,581	0,002	-0,418	0,330	en	23/03/2018
15:20:00							
Máx	0,990	0,990	0,990	0,407	0,998	en	27/03/2018
05:50:00							
Mediana	0,827	0,871	0,856	0,053	0,848		
Promedio	0,840	0,877	0,855	0,073	0,860		

DEMANDA

DEMANDA DE POTENCIA ACTIVA

	A	B	C	D	TOTAL		
Mín kWh/h					14,26	en	29/03/2018
10:00:00							
Máx kWh/h					279,86	en	04/04/2018
13:10:00							
Mediana kWh/h					26,47		
Promedio kWh/h					75,50		

ENERGÍA

ENERGÍA ACTIVA (WH)

	A	B	C	D	TOTAL		
kWh	7718	8057	7725	0,120	23499	en	05/04/2018 14:20:00

Fuente: elaboración propia.

5.2.3.6. Informe de cumplimiento

En la tabla XI suministrada por el equipo de medición utilizado para este trabajo se muestran valores de diferentes parámetros durante el período de medición que no están fuera de rango, es decir, la entrega de energía por parte

de la suministradora estuvo en los rangos permitidos, o sea que, la energía es de buena calidad.

El estándar EN50160 es la normativa europea que determina los parámetros aceptables en la entrega de la empresa suministradora de energía a los consumidores, es decir, la calidad de energía. En la práctica es responsabilidad de ambos, distribuidor y usuario.

Se hace mención que las Normas NTSD es normativa guatemalteca y en los análisis de los diferentes parámetros durante el período de medición, también no están fuera de rango, es decir, la entrega de energía por parte de la suministradora estuvo en los rangos permitidos, o sea que, la energía es de buena calidad.

Tabla XI. **Informe de cumplimiento EN50160**

Medido desde 23/03/2018 15:09:49 hasta 30/03/2018 15:09:49

Tensión Nominal (Un) = 120 V

Frecuencia de la Tensión de alimentación

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

Variaciones de la tensión suministrada

Cumplimiento:

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

Variaciones rápidas de tensión

No disponible

Parpadeo

Continuación tabla XI.

Cumplimiento:

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

Desequilibrio de la tensión suministrada

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

Armónicos

Todos los valores mostrados son del 95%

Limite (% de Un)	A	B	C	Estado	
THD	<8,00%	2,12%	1,99%	1,92%	PASA
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

Alimentación de voltaje señales principales

90 Hz – 7680 Hz PASA

7680 Hz – 100 khz no disponibles para este instrumento

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2.3.7. Consumo de energía eléctrica

En la tabla XII se detalla el consumo de energía eléctrica en el edificio del MINFIN durante el 2016 al 2018, y se pueden observar las siguientes apreciaciones:

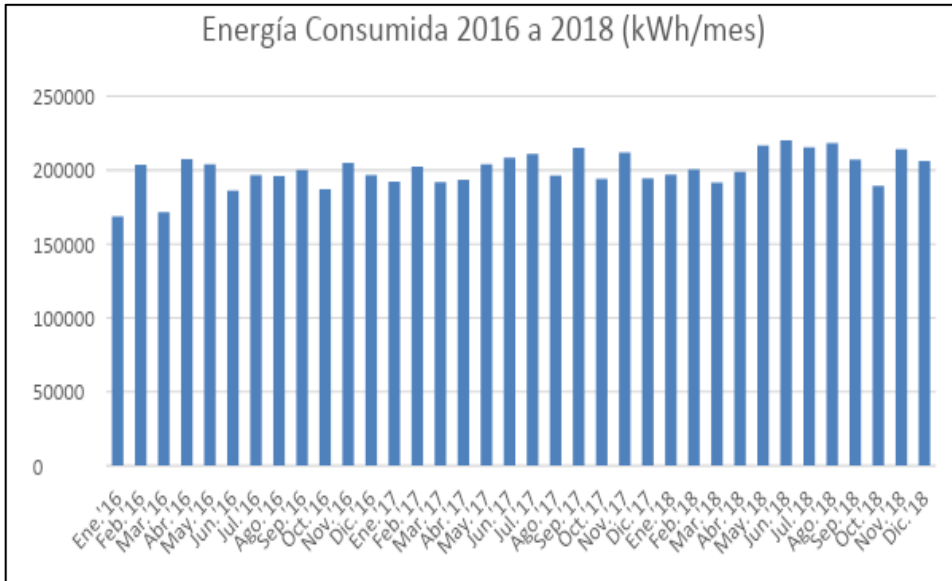
- Según total de energía consumida se obtiene promedio de 2 404 357 kWh de energía consumida anual.
- Según total facturado se obtiene un costo anual promedio de energía consumida de Q 2 527 942,15 incluyendo impuestos.
- Según total facturado y energía consumida se obtiene un costo promedio de Q 1,05 por kWh incluyendo impuestos.
- Según la diferencia entre potencia contratada y demanda registrada se obtienen promedio de potencia contratada adicional de 694 kW por mes y promedio de costo adicional de Q 8 198,53 por mes, lo que se vuelve promedio de costo adicional de Q 98 382,31 por año. Para obtener un ahorro económico significativo se recomienda cambiar la potencia contratada a 625 kW (50 % de la actualmente contratada), ya que el promedio de demanda registrada es de 561 kW y estaría cubierta cualquier eventualidad.
- En los 2 últimos años se mejoró el factor de potencia por lo que ya no se ha pagado multa por ese rubro.

**Tabla XII. Historial de consumo de energía eléctrica en edificio del
MINFIN**

Contador:		F73822								
Tarifa:		Demanda mayor fuera de punta								
Correlativo:		660620								
			Energía consumida	Demanda registrada	Potencia contratada		Factor de potencia		Diferencia potencia contratada y demanda registrada	
	Mes	Total factura	kWh.	kW.	kW.	Costo			kW.	Costo
1	Ene.'16	Q192 270,40	168 745	552,70	1 250	Q15 057,55	0,8804	Q3 259,98	697,30	Q8 399,70
2	Feb.'16	Q211 776,27	203 557	553,10	1 250	Q15 188,07	0,9128		696,90	Q8 467,65
3	Mar.'16	Q184 801,64	171 378	539,70	1 250	Q15 188,07	0,8955	Q737,72	710,30	Q8 630,47
4	Abr.'16	Q217 774,31	207 572	572,90	1 250	Q15 188,07	0,9005		677,10	Q8 227,07
5	May.'16	Q214 509,24	204 036	566,20	1 250	Q15 188,07	0,9013		683,80	Q8 308,48
6	Jun.'16	Q198 454,34	185 994	535,90	1 250	Q15 188,07	0,8976	Q423,56	714,10	Q8 676,64
7	Jul.'16	Q207 714,91	196 686	535,90	1 250	Q15 106,10	0,8954	Q848,00	714,10	Q8 629,81
8	Ago.'16	Q206 054,56	195 920	534,20	1 250	Q15 106,10	0,9003		715,80	Q8 650,36
9	Sep.'16	Q210 415,03	200 226	534,20	1 250	Q15 106,10	0,8968	Q598,45	715,80	Q8 650,36
10	Oct.'16	Q195 162,19	187 227	539,30	1 250	Q15 106,10	0,8798	Q3 444,16	710,70	Q8 588,72
11	Nov.'16	Q195 433,05	204 946	544,30	1 250	Q15 106,10	0,9052		705,70	Q8 528,30
12	Dic.'16	Q199 094,64	196 770	527,50	1 250	Q15 106,10	0,8981		722,50	Q8 731,33
13	Ene.'17	Q194 581,32	192 202	514,10	1 250	Q15 085,78	0,9091		735,90	Q8 881,30
14	Feb.'17	Q203 511,66	202 284	534,20	1 250	Q15 085,78	0,9116		715,80	Q8 638,72
15	Mar.'17	Q195 412,73	191 963	544,30	1 250	Q15 085,78	0,9302		705,70	Q8 516,83
16	Abr.'17	Q197 401,83	193 307	552,70	1 250	Q15 085,78	0,9357		697,30	Q8 415,45
17	May.'17	Q205 206,67	203 920	554,40	1 250	Q15 085,78	0,9646		695,60	Q8 394,93
18	Jun.'17	Q209 499,51	208 317	544,30	1 250	Q15 085,78	0,9683		705,70	Q8 516,83
19	Jul.'17	Q212 065,16	210 937	547,70	1 250	Q15 016,09	0,9705		702,30	Q8 436,64
20	Ago.'17	Q200 401,96	196 353	559,40	1 250	Q15 016,09	0,9733		690,60	Q8 296,09
21	Sep.'17	Q216 458,29	214 984	579,60	1 250	Q15 016,09	0,9729		670,40	Q8 053,43
22	Oct.'17	Q196 058,08	194 210	557,80	1 250	Q15 016,09	0,9748		692,20	Q8 315,31
23	Nov.'17	Q210 193,60	211 798	552,70	1 250	Q15 016,09	0,9780		697,30	Q8 376,58
24	Dic.'17	Q197 321,15	194 423	566,20	1 250	Q15 016,09	0,9803		683,80	Q8 214,40
25	Ene.'18	Q203 786,04	197 046	561,10	1 250	Q15 016,09	0,9815		688,90	Q8 275,67
26	Feb.'18	Q207 078,06	200 509	579,90	1 250	Q15 233,26	0,9795		670,10	Q8 166,25
27	Mar.'18	Q199 185,28	191 494	562,80	1 250	Q15 233,26	0,9780		687,20	Q8 374,64
28	Abr.'18	Q213 620,17	198 769	574,60	1 250	Q15 233,26	0,9651		675,40	Q8 230,84
29	May.'18	Q229 867,84	216 686	589,70	1 250	Q15 233,26	0,9604		660,30	Q8 046,82
30	Jun.'18	Q232 601,35	220 169	579,60	1 250	Q15 233,26	0,9584		670,40	Q8 169,90
31	Jul.'18	Q236 502,22	215 257	567,80	1 250	Q12 945,62	0,9605		682,20	Q7 065,20
32	Ago.'18	Q239 445,71	218 400	567,80	1 250	Q12 945,62	0,9592		682,20	Q7 065,20
33	Sep.'18	Q229 382,15	207 200	581,30	1 250	Q12 945,62	0,9620		668,70	Q6 925,39
34	Oct.'18	Q223 330,81	189 344	562,80	1 250	Q12 945,62	0,9597		687,20	Q7 116,98
35	Nov.'18	Q248 302,15	214 154	571,20	1 250	Q12 945,62	0,9609		678,80	Q7 029,99
36	Dic.'18	Q249 152,14	206 289	561,10	1 250	Q12 945,62	0,9643		688,90	Q7 134,59
		Q7 583 826,46	7 213 072	20 003,00				Q9 311,87	24 997,00	Q295 146,93

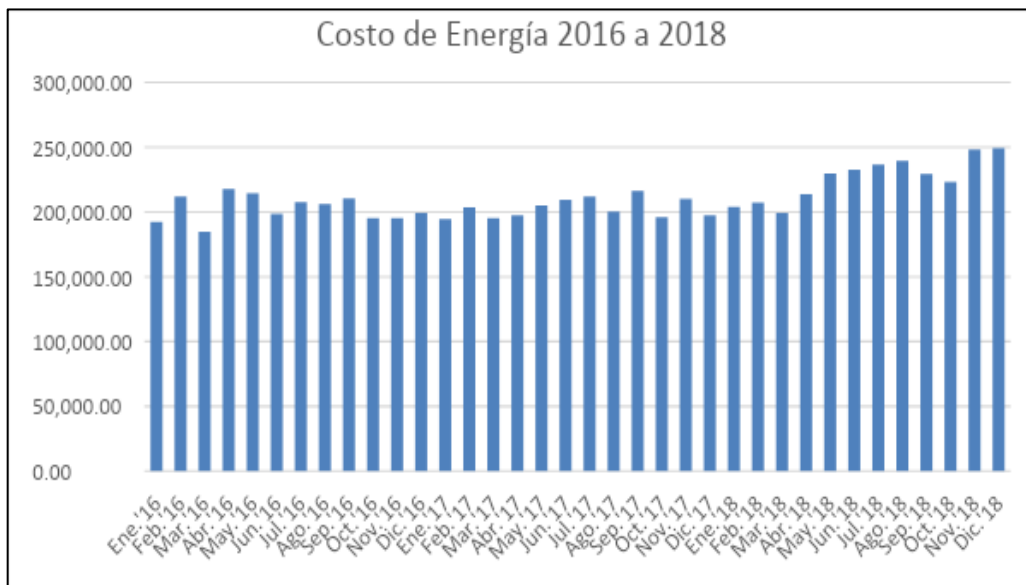
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Gráfica de energía consumida 2016 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

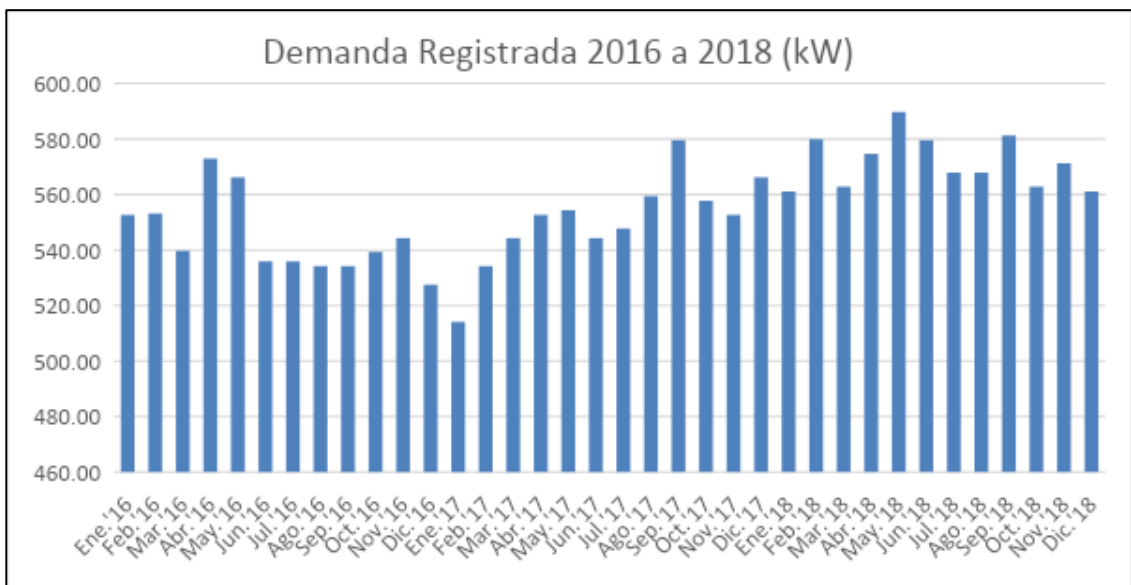
Figura 57. **Gráfica de costo de energía 2016 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

En las figuras 56 y 57 se observa que desde los primeros meses del 2018 existe la tendencia a aumentar la energía consumida y el costo de energía en el edificio del MINFIN por lo que se recomienda tomar medidas para mejorar la eficiencia energética en las instalaciones.

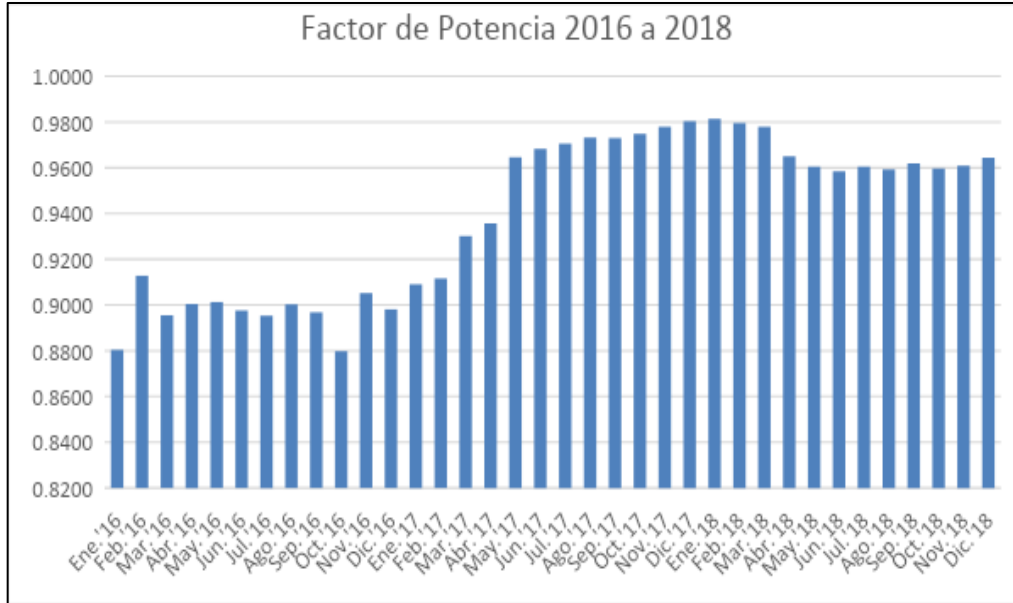
Figura 58. **Gráfica de demanda registrada 2016 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

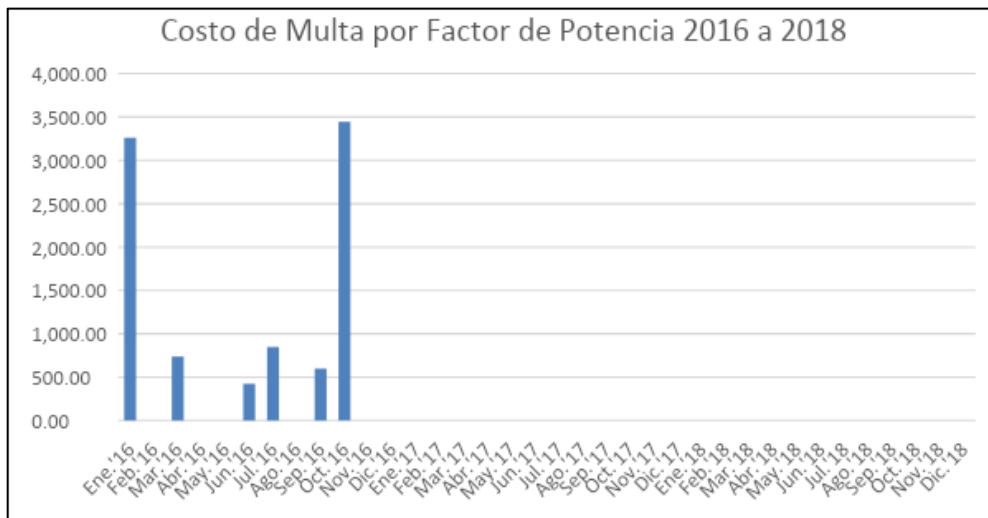
En la figura 58 se observa que la demanda registrada no excede de 600 kW., por lo que se considera que la potencia contratada actualmente está estimada en un valor muy alto (1 250 kW.) y podría recontratarse por un valor de 625 kW. (50 % de la potencia contratada actualmente).

Figura 59. **Gráfica de factor de potencia 2016 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Gráfica de costo de multa por factor de potencia 2016 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 59 se observa que en el 2016 el factor de potencia tuvo valores menores a 0,90 que es el mínimo requerido según normas y por la misma razón se observa en la figura 60 el costo de la multa por factor de potencia bajo durante ese año. También se observa que durante 2017 y 2018 no se tuvo ese inconveniente.

5.2.3.8. Hábitos de consumo

Para obtener información relacionada con los hábitos de consumo del personal del ministerio, se realizó una encuesta al personal del nivel 12 sobre el uso de recursos e instalaciones con las que cuenta el edificio.

Dicha encuesta muestra que en general existen buenos hábitos y prácticas de consumo energético en el personal del ministerio y que también tienen conocimiento de planes de ahorro energético y de reciclaje de residuos, y de posibles alternativas de energía eléctrica. También muestra que en varios renglones existe una posibilidad de ahorro, por lo que se recomienda implementar un plan de ahorro energético más específico para que todo el personal del edificio utilice la configuración de ahorro de energía eléctrica en el equipo a su disposición y que lo desconecte de la red de suministro eléctrico por medio de regletas para que sea práctico, utilice la iluminación en puestos de trabajo de forma eficiente y apoye la utilización de nuevas fuentes de energía renovable.

A continuación, se muestra el resultado de la encuesta realizada que refleja los hábitos de consumo del personal.

Tabla XIII. Encuesta realizada a empleados del nivel 12 del MINFIN

No.	Pregunta	Respuesta			Observaciones
		Si	No	S/R	
1	¿Normalmente su horario de trabajo es de?				8:00 AM - 4:30 PM 46 6:00 AM - 3:30 PM 1
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		Posibilidad de ahorro
4	¿Al quedar el equipo conectado pero en modo de descanso, cree usted que existe consumo de energía eléctrica?	39	6	2	Posibilidad de ahorro
5	¿Desconecta de la red de suministro eléctrico, cualquier tipo de equipo conectado a la misma?	17	29		Equipo de cómputo 1 posibilidad de ahorro
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 <i>timer</i> 1 posibilidad de ahorro
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		Posibilidad de ahorro
9	¿Alguna sugerencia para lograr el propósito de volver eficiente el uso de la energía que se consume en la institución?	33	7	7	Posibilidad de ahorro
10	¿Considera que es satisfactorio el nivel de iluminación en su lugar de trabajo?	42		1	Demasiado--- 4 posibilidad de ahorro
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.

5.2.4. Mediciones y análisis en iluminación

La torre cuenta con 18 niveles de oficinas, de los cuales también se consideraron 3 niveles representativos para el estudio de los sistemas de iluminación actuales, siendo estos los niveles 7, 12 y 15.

Tabla XIV. Resumen de sistema de iluminación actual nivel 7

Tipo de luminaria	Cantidad	Watts/luminaria	Watts instalados	% del 100 % de carga instalada	Horas de Trabajo	Densidad
Lámpara tipo panel led oficinas	204	40	8 160	42,16 %	8	9,21 w/m ²
Lámpara tipo panel led salones de conferencias	128	40	5 120	26,45 %	4	8,68 w/m ²
Nivel lumínico promedio	650 lux		Hora de medición 3-4 PM			

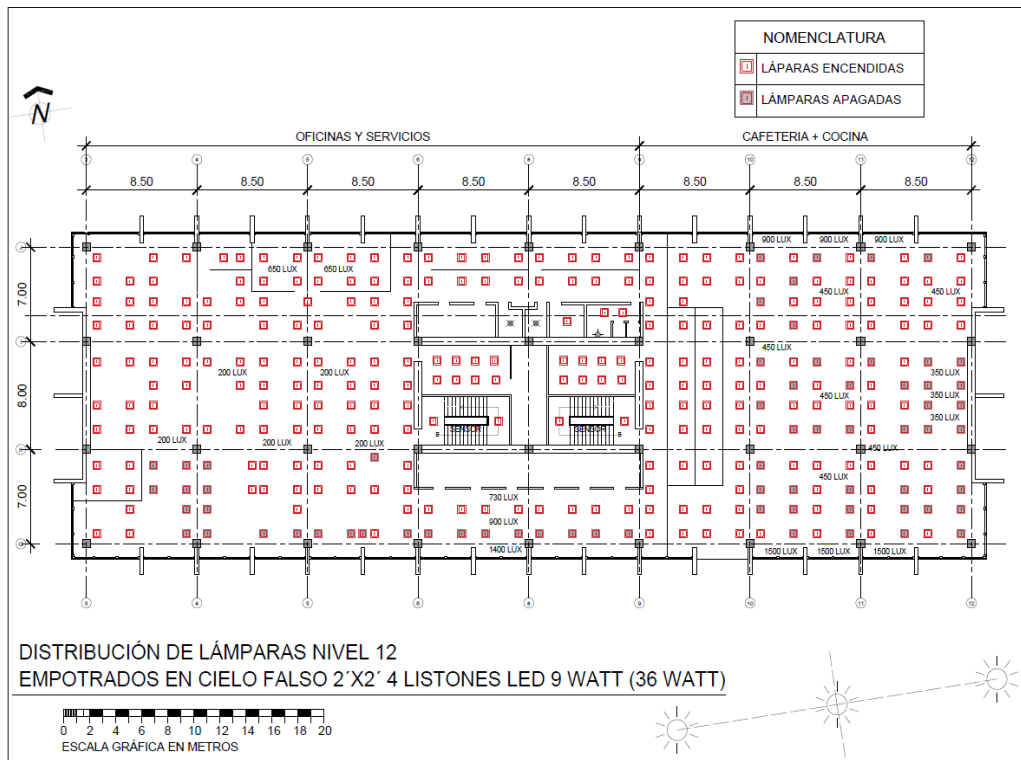
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Resumen de sistema de iluminación actual nivel 12

Tipo de Luminaria	Cantidad	Watts/luminaria	Watts instalados	% del 100 % de carga instalada	Horas de Trabajo	Densidad
Lámpara Tipo tubo led 9 w. oficinas	176	36	6 336	22,26 %	8	7,14 w/m ²
Lámpara Tipo tubo led 9 w. cocina-cafetería	128	36	4 608	16,19 %	4	7,84 w/m ²
Nivel lumínico promedio		200-450 lux	Hora de medición 3-4 PM			

Fuente: elaboración propia

Figura 62. Planta de distribución actual de luminarias nivel 12



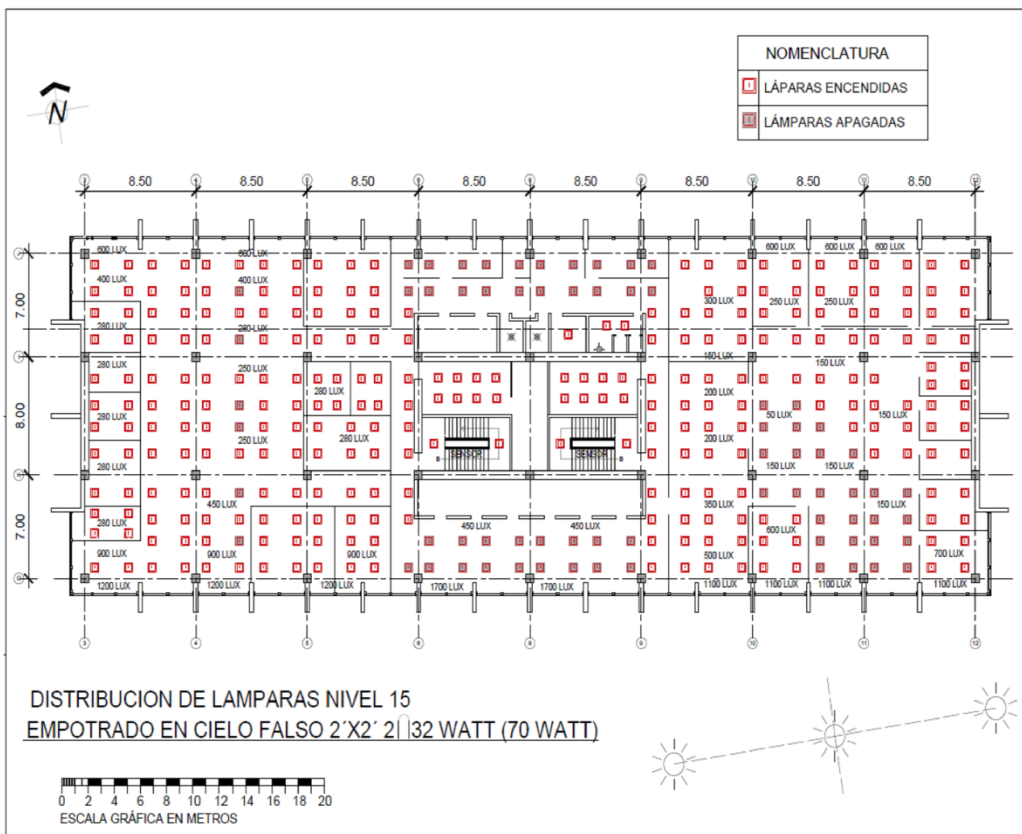
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Tabla XVI. Resumen de sistema de iluminación actual nivel 15

Tipo de Luminaria	Cantidad	Watts/luminaria	Watts instalados	% del 100 % de carga instalada	Horas de Trabajo	Densidad
Lámpara tipo fluorescente 2 U 32 w, oficinas	335	70	23 450	62,20 %	8	15,89 w/m ²
Nivel lumínico promedio	150-250 lux		Hora de medición 3-4 PM			

Fuente: elaboración propia.

Figura 63. Planta de distribución actual de luminarias nivel 15



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

De las tablas XIV, XV y XVI que corresponden a resúmenes de sistema de iluminación actual en Niveles 7, 12 y 15 se observa:

- Que el porcentaje de la carga instalada correspondiente a la iluminación es el mayor, siendo para el nivel 7 (atípico) de tecnología led con uso para oficinas y salones de conferencias de 68,61 %, para el nivel 12 (atípico) de tecnología led con uso para oficinas y cafetería de 38,35 % y para el nivel 15 (típico) de tecnología fluorescente con uso para oficinas de 62,20 %.
- Que durante el período laboral de horario normal, la contribución de la iluminación natural contiguo al perímetro del edificio denominado torre es considerable y en algunos casos duplica la iluminación requerida obligando al uso de cortinas para regular el flujo lumínico. Por la posición del edificio, la fachada sur es la más beneficiada, aunque, la carga térmica aumenta debido a la exposición al sol.
- Que el nivel de iluminación en el nivel 7 que se obtiene con lámparas tipo Panel led y tomando en cuenta la contribución de la iluminación natural sobrepasa el nivel lumínico requerido para oficinas (500 lux), lo que sugiere un estudio para la utilización de dispositivos, por ejemplo, fotoceldas que permitan la atenuación y luminarias atenuables, de manera de adaptar el flujo lumínico y reducir el consumo de energía.
- Que el nivel de iluminación en el nivel 12 que se obtiene con lámparas utilizando 4 tubos led de 9 watt en el período laboral normal, incluso con el aporte de la iluminación natural, no llega al requerido de 500 lux, quedándose en un promedio de 350 lux y una carga por metro cuadrado similar a la del nivel 7.
- Que el nivel 15 tiene el nivel de iluminación más bajo (200 lux promedio), 40 % del necesario para el tipo de actividad que se desarrolla con una carga por metro cuadrado similar a la del nivel 7 y 12, incluso con la

contribución de la iluminación natural aportado por las ventanas. Las lámparas que utilizan son de tecnología fluorescente con 2 tubos U de 32 watt con balastro electrónico, tecnología de una generación anterior al sistema led.

- Por tanto, el cambio de tecnología en el sistema de iluminación es necesario para lograr un consumo menor de energía, un nivel de iluminación adecuado y una mejor contribución a la disminución de los gases de efecto invernadero.

- Análisis de sistemas de iluminación
 - Nivel 7 ala oeste (oficinas)
 - Tipo de luminarias: panel led, empotradas en cielo falso de 2'x2', marca lightec
 - Cantidad: 141 unidades (funcionando el 100 %)
 - Nivel lumínico: 650 lux promedio (medición a las 3:00 PM con aporte de ventanas)
 - Consumo: 40 *watts*, 5 640 *watts* totales
 - Área aproximada: 600 m²
 - Índice: 9,40 *watt/m*²

 - Nivel 7 ala este (salones de conferencias y vestíbulo)
 - Tipo de luminarias: panel led, empotradas en cielo falso de 2'x2', marca lightec
 - Cantidad: 144 unidades (funcionando el 100 %)
 - Nivel lumínico: 650 lux promedio al centro del área (medición a las 3:00 PM con aporte de ventanas)
 - Consumo: 40 *watts*, 5 760 *watts* totales

- Área aproximada: 600 m²
- Índice: 9,60 *watt/m*²

- Nivel 12 ala oeste (oficinas y pasillo de acceso)
 - Tipo de luminarias empotradas en cielo falso de 2'x2', 4 tubos led de 9 *watts*
 - Cantidad: 125 unidades (107 funcionando y 18 apagadas)
 - Nivel lumínico: 200 lux promedio al centro del área (medición a las 3:00 PM con aporte de ventanas, pero con cortinas de tela).
 - Consumo: 36 *watts*, 4 500 *watts* totales
 - Área aproximada: 600 m²
 - Índice: 7,50 *watt/m*²

- Nivel 12 ala este (cafetería y cocina)
 - Tipo de luminarias: empotradas en cielo falso de 2'x2', 4 tubos led de 9 *watts*.
 - Cantidad: 142 unidades (102 funcionando y 40 apagadas)
 - Nivel lumínico: 400 lux promedio al centro del área (medición a las 3:00 PM con aporte de ventanas, pero sin cortinas)
 - Consumo: 36 *watts*, 5 112 *watts* totales
 - Área aproximada: 600 m²
 - Índice: 8,52 *watt/m*²

- Nivel 15 ala oeste (oficinas sin área central) y ala este (oficinas)
 - Tipo de luminarias: empotradas en cielo falso de 2'x2', 2 tubos U de 32 *watts*, balastro electrónico
 - Cantidad: 292 unidades (259 funcionando y 33 apagadas)

- Nivel lumínico: 200 lux promedio al centro del área (medición a las 3:00 PM con aporte de ventanas, pero con cortinas de tela)
- Consumo: 70 watts, 20 440 *watts* totales
- Área aproximada: 1 200 m²
- Índice: 17,03 watt/m²

Tabla XVII. **Resumen consumo/día torre**

(Niveles 7, 12 y 15, no incluye área central)

NIVEL	Tipo de Luminaria	Tipo de Lámpara	Cantidad de Luminarias	Watt x Luminaria	Watts totales Instalados	Área (m ²)	Iluminancia promedio (lux)	Índice (watt/m ²)	Consumo Estimado Día Laboral (kWh)
7 Oficinas	2'X2' Empotrada en cielo falso	Panel LED	141	40	5 640	600	650	9,40	39,48 10 hrs. al 70%
7 Salones		Panel LED	144	40	5 760	600	650	9,60	23,04 4 hrs. al 100%
12 Oficinas		Tubos LED 4 de 9 watts	125	36	4 500	600	200	7,50	31,50 10 hrs. al 70%
12 Comedor		Tubos LED 4 de 9 watts	142	36	5 112	600	450	8,52	20,45 4 hrs. al 100%
15 Oficinas		Tubos fluorescentes 2 U de 32 watts, balastro electrónico	292	70	20 440	1 200	250	17,03	143,08 10 hrs. al 70%

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XVII se aprecia que la nueva tecnología usada en el nivel 7 (panel led que implica mayor costo inicial, cambio de lámpara completa, mayor iluminancia) como en el nivel 12 (tubos led que implica menor costo inicial y se

pueden reponer los tubos, menor iluminancia), permite un ahorro en la potencia instalada y en el consumo de energía en relación a la tecnología fluorescente del nivel 15.

Si se implementa la tecnología de panel led en el nivel 15 y demás niveles con tecnología fluorescente con la misma distribución de luminarias, se logra un decremento del 42,86 % en el consumo (ver tabla XVII) y un aumento mayor al 100 % en la iluminancia (lux) en el plano de trabajo. Como se mencionó anteriormente, con la utilización de dispositivos para reducir la iluminancia al nivel recomendado, dicho decremento puede ser mayor.

El decremento de consumo de energía estimado puede ser aún mayor si se agregan dispositivos como sensores de movimiento o *timer*, alcanzando según estadísticas de proveedores de dichos dispositivos un 20-60 % adicional.

6. PROPUESTAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS

6.1. Implementar otra fuente de energía eléctrica

Para implementar otra fuente de energía eléctrica se realiza una descripción la cual consiste en:

6.1.1. Sistema eólico/turbinas eólicas

El viento se genera por un calentamiento irregular de la superficie terrestre por parte del sol. Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, la cual acciona un generador que produce energía eléctrica limpia. Actualmente las turbinas eólicas son versátiles fuentes de electricidad. Su álabe o palas tienen un diseño aerodinámico que les permite capturar la mayor cantidad de energía del viento, debido a que las hace rotar, accionando una flecha acoplada al generador y así obtener electricidad.

La energía eólica se genera por los grandes equipos denominados turbinas eólicas, ya que se agrupan en parques eólicos. Sin embargo, existen otras posibilidades de aprovechar la energía del viento a pequeña escala y con inversiones más reducidas.

Existen en el mercado turbinas eólicas pequeñas que presentan capacidades desde pocos vatios hasta 20 kilovatios. El uso de estos equipos suele ser doméstico y equipos algo más grandes son adecuados para pequeñas industrias, edificios y viviendas. Estos equipos por lo general están compuestos por un rotor, un generador o alternador montado en una estructura,

una torre, el cableado y los componentes del sistema de balance: controladores, inversores y baterías.

Los patrones de viento en un entorno urbano son complejos. Las corrientes de aire pasan por alrededor y por encima de los edificios lo que genera turbulencias. Estas condiciones hacen que las turbinas eólicas de eje vertical sean más adecuadas que las turbinas de eje horizontal.

Las turbinas de eje vertical funcionan mejor con velocidades de viento más bajas y están menos sometidas a las tensiones ocasionadas por las turbulencias. Las turbinas eólicas de eje horizontal instaladas sobre los tejados de los edificios transmiten vibraciones poco recomendables para su estructura.

Las turbinas de eje vertical no son afectadas por los cambios de dirección del viento ni por las turbulencias. Son idóneas para colocarlas en los muros o en los tejados.

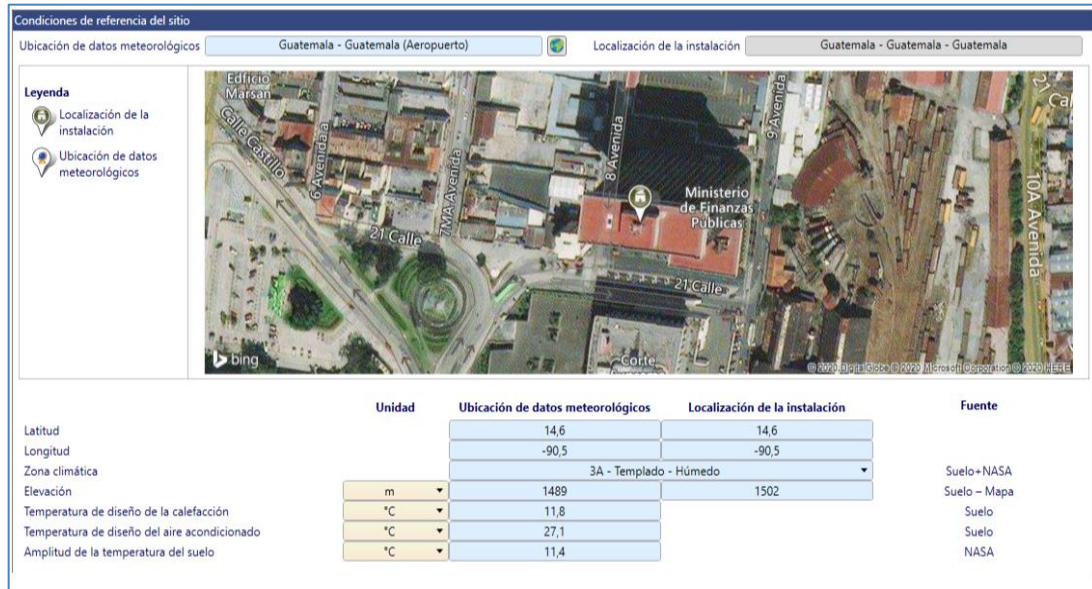
Otra ventaja que presentan las turbinas eólicas de eje vertical consiste en que el generador de electricidad puede estar colocado debajo de los rotores, y por tanto, puede colocarse dentro de la envolvente del edificio.

Este tipo de aparatos son silenciosos, fiables, fáciles de instalar y con bajo costo de mantenimiento.

6.1.1.1. Ubicación del MINFIN

En la figura 64 se realiza la descripción y ubicación de los edificios de torre y anexos del Ministerio de Finanzas.

Figura 64. Ubicación edificios torre y anexo del MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando Software RETScreen.

En la figura 64 se aprecian las 2 azoteas disponibles, para la colocación de turbinas eólicas únicamente se considera la azotea del edificio torre.

Figura 65. **Azotea del edificio torre**



Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen 2020.

6.1.1.2. Datos

A continuación, se realiza una descripción de la figura 66 de la instalación del Ministerio de Finanzas.

Figura 66. Información de la Instalación MINFIN

Información de la instalación

Tipo de instalación: Comercial/Institucional

Tipo: Edificio de oficinas

Descripción: Edificio de oficinas

Preparado para: Preparado para

Preparado por: Preparado por

Nombre de la instalación: Ministerio de Finanzas Públicas MINFIN

Dirección: 8a. Avenida 20-65, Zona 1

Ciudad/Municipalidad: Guatemala

Provin./Estado: Guatemala

País: Guatemala



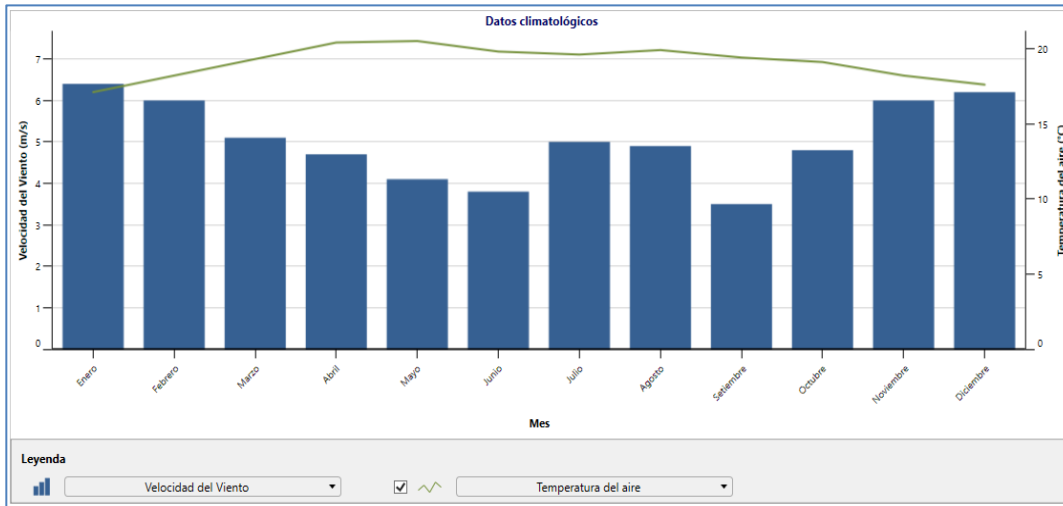
Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen 2020.

Tabla XVIII. Datos meteorológicos MINFIN

Mes	Temperatura del aire		Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción	Grados-días de refrigeración
	°C	%								
Enero	17,1	72,4%	10,23	5,18	86,7	6,4	18,3	28	220	
Febrero	18,2	69,9%	5,88	5,73	86,6	6,0	20,0	0	230	
Marzo	19,3	70,5%	13,64	6,02	86,6	5,1	22,0	0	288	
Abril	20,4	70,3%	40,50	6,05	86,5	4,7	23,5	0	312	
Mayo	20,5	75,1%	114,39	5,48	86,5	4,1	22,7	0	326	
Junio	19,8	81,2%	201,90	5,16	86,5	3,8	21,1	0	294	
Julio	19,6	79,2%	172,98	5,45	86,6	5,0	20,5	0	298	
Agosto	19,9	78,3%	199,02	5,34	86,6	4,9	20,4	0	307	
Setiembre	19,4	83,5%	221,70	4,73	86,5	3,5	20,0	0	282	
Octubre	19,1	80,1%	145,08	4,76	86,5	4,8	19,7	0	282	
Noviembre	18,2	77,2%	52,80	4,90	86,6	6,0	18,7	0	246	
Diciembre	17,6	74,5%	15,19	4,95	86,7	6,2	18,0	12	236	
Anual	19,1	76,0%	1.193,31	5,31	86,6	5,0	20,4	40	3.320	
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo	
Medido a	m					10	0			

Fuente: elaboración propia, empleando software RETScreen 2020.

Figura 67. Gráfica de velocidad del viento MINFIN



Fuente: elaboración propia, empleando Software RETScreen 2020.

Según tabla XVIII el valor promedio anual de velocidad del viento es de 5,0 m/s y este valor se tomará en consideración para el funcionamiento de las turbinas eólicas.

En la figura 67 se observa el comportamiento de la velocidad del viento durante los meses del año y se supone que la generación eólica obtenida durante el año también presentará ese comportamiento.

6.1.1.3. Equipo propuesto

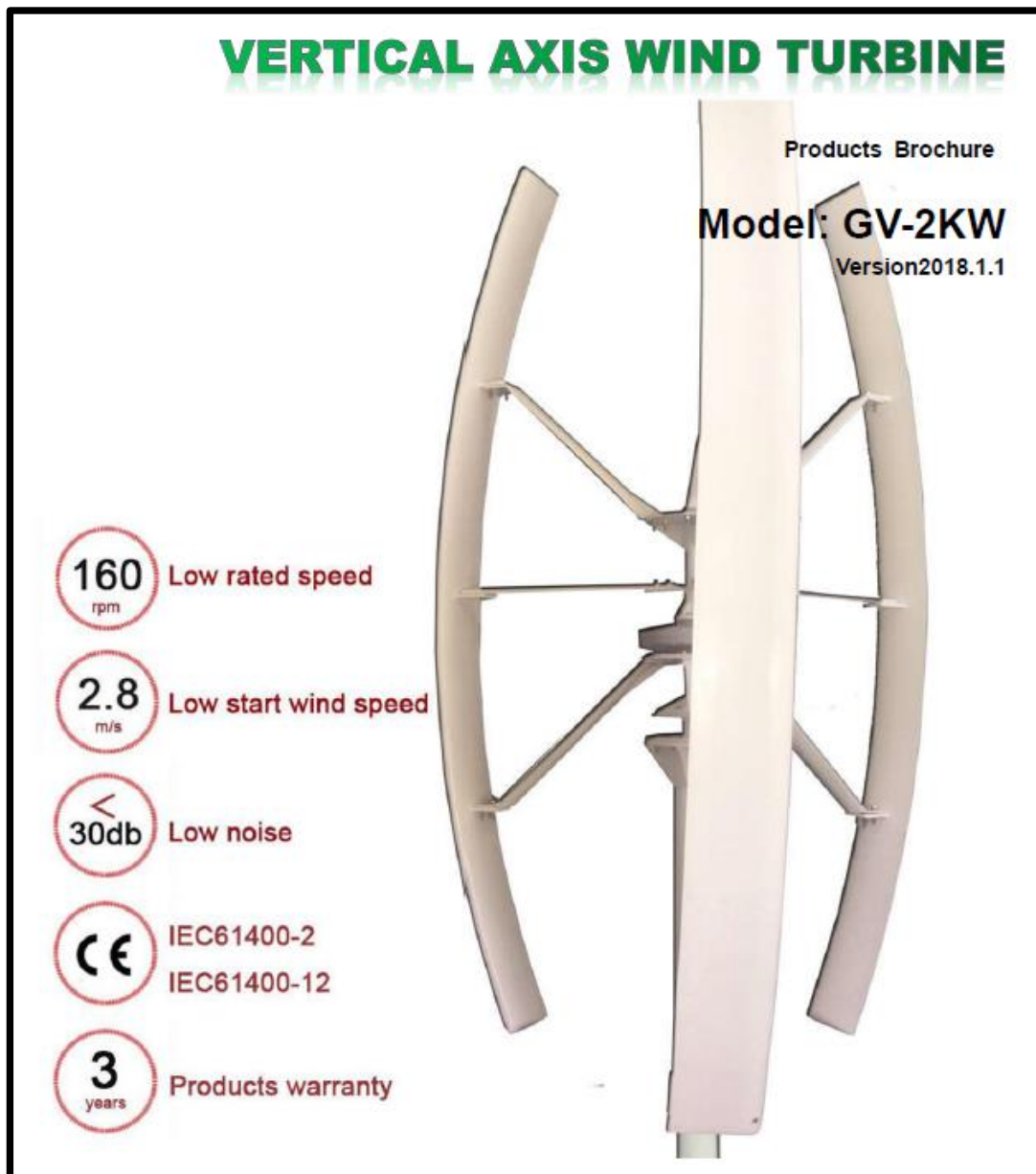
En la figura 68 se describe la turbina eólica de eje vertical de 2 Kw.

Figura 68. **Turbina eólica de eje vertical de 2 kW**



Fuente: Greefenergy. *Turbina eólica de eje vertical de 2 kW*. www.greefenergy.com.
Consulta 10 de noviembre de 2020.

Figura 69. Características de turbina eólica de eje vertical de 2 kW



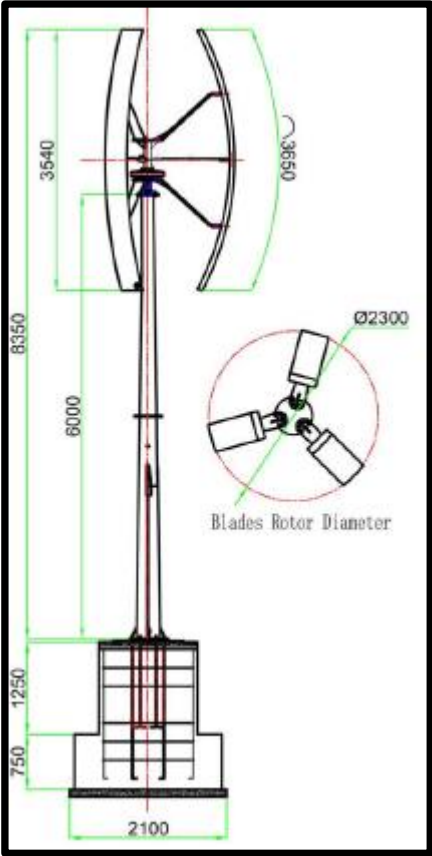
Fuente: Greefenergy. *Turbina eólica de eje vertical de 2 kW.* www.greefenergy.com. Consulta 10 de noviembre de 2020.

Tabla XIX. **Especificaciones técnicas de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**

Technical specification	
Model	GV-2KW
Performance	
Rated Power	2kW
Max Power	2.5kW
Start Wind Speed	2.8m/s (6.27mph)
Rated Wind Speed	11m/s(24.64mph)
Working Wind Speed	3-25m/s (6.72-56 mph)
Safety Wind Speed	50m/s(112mph)
Physical Parameters	
Blades Length	3.65M(11.97ft)
Blades Rotor Diameter	2.3M(7.54ft)
Blades Material &Quantity	FRP /3PCS
Mill Weight	285kg
Swept Area	8.395 m²
Tower Height	6m(19.68ft.)
Generator Parameters	
Generator Type	Axial Flux Coreless outer rotor disc permanent magnet direct drive generator
Rated Speed	160RPM
Start Torque	<0.3N.M
Option Voltage	24-380V
Protection Method	Electromagnetic Brake +PWM
Protection Grade	IP54
Working Temperature	-40-50°C
Life time	20 Years

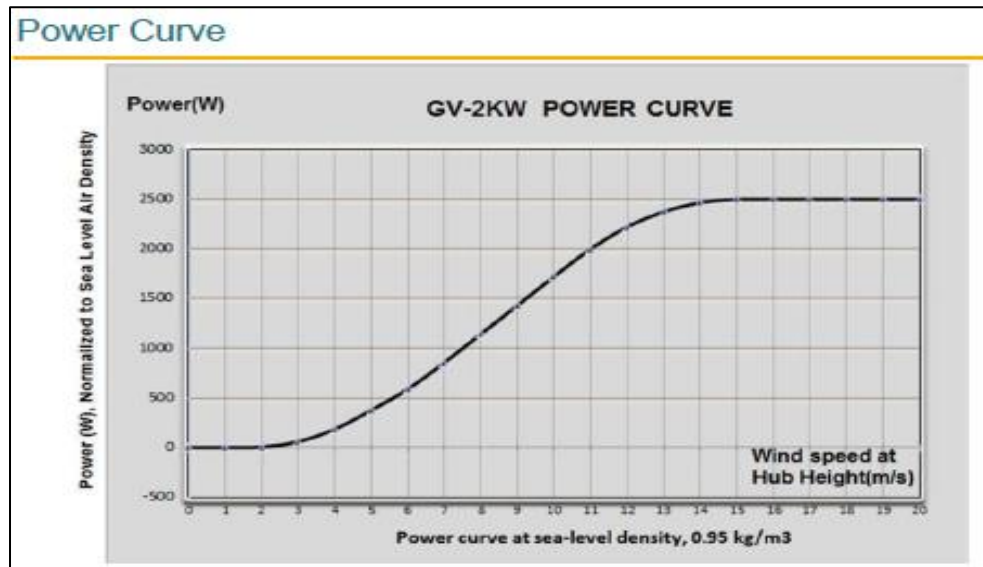
Fuente: Greeenergy. *Especificaciones técnicas de turbina eólica de eje vertical de 2 kW*
www.greeenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

Figura 70. Diagrama de turbina eólica de eje vertical de 2 kW



Fuente: Greefenergy. *Diagrama de turbina eólica de eje vertical de 2 kW.*
www.greefenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

Figura 71. **Gráfica velocidad de viento y potencia de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**



Fuente: Greefenergy. *Gráfica velocidad de viento y potencia de turbina eólica de eje vertical de 2 kw.* www.greefenergy.com. Consulta 10 de noviembre de 2020.

Tabla XX. **Producción anual de energía de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**

Annual Energy Production							
Annual Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9
Production (kWH)	700	1750	3500	5080	7000	9630	12440
Annual Wind Speed(m/s)	10	11	12	13	14	15	16
Production(kWH)	14890	17520	19270	20585	21460	21900	21900

This data will have ±10% difference according to local condition.

Fuente: Greefenergy. *Producción anual de energía de turbina eólica de eje vertical de 2 kW* www.greefenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

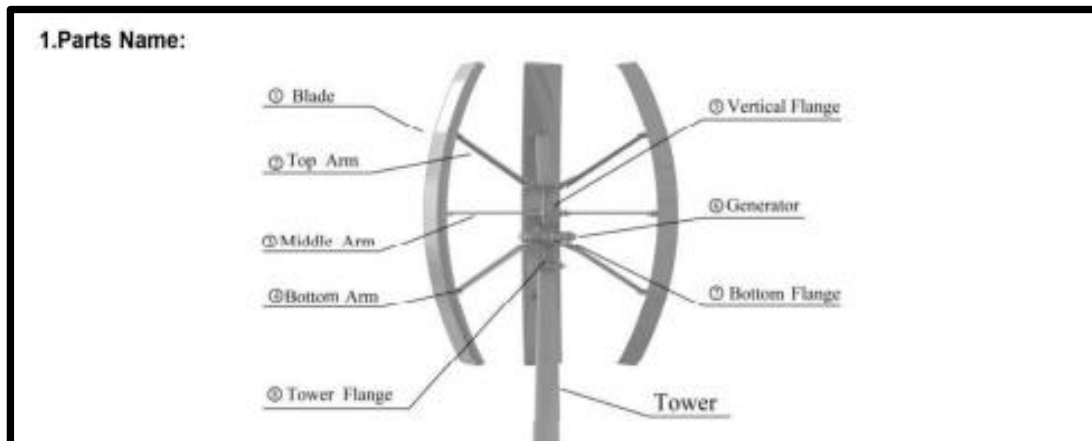
Tabla XXI. **Producción de sonido de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**

Sound Data									
Test position: At 15m away from generator (average value of 3 point-rears, left, right)									
Wind Speed (m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sound(dB)	1.35	3.08	6.22	9.45	13.44	22.09	32.55	36.45	37.22
Wind Speed (m/s)	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sound(dB)	45.33	45.22	45.33	45.43	45.54	45.66	45.76	45.85	46.00

Note: The sound value includes wind noise.










Fuente: Greefenergy. *Producción de sonido de turbina eólica de eje vertical de 2 kW.*
 www.greefenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2021.

Figura 72. **Estructura de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**



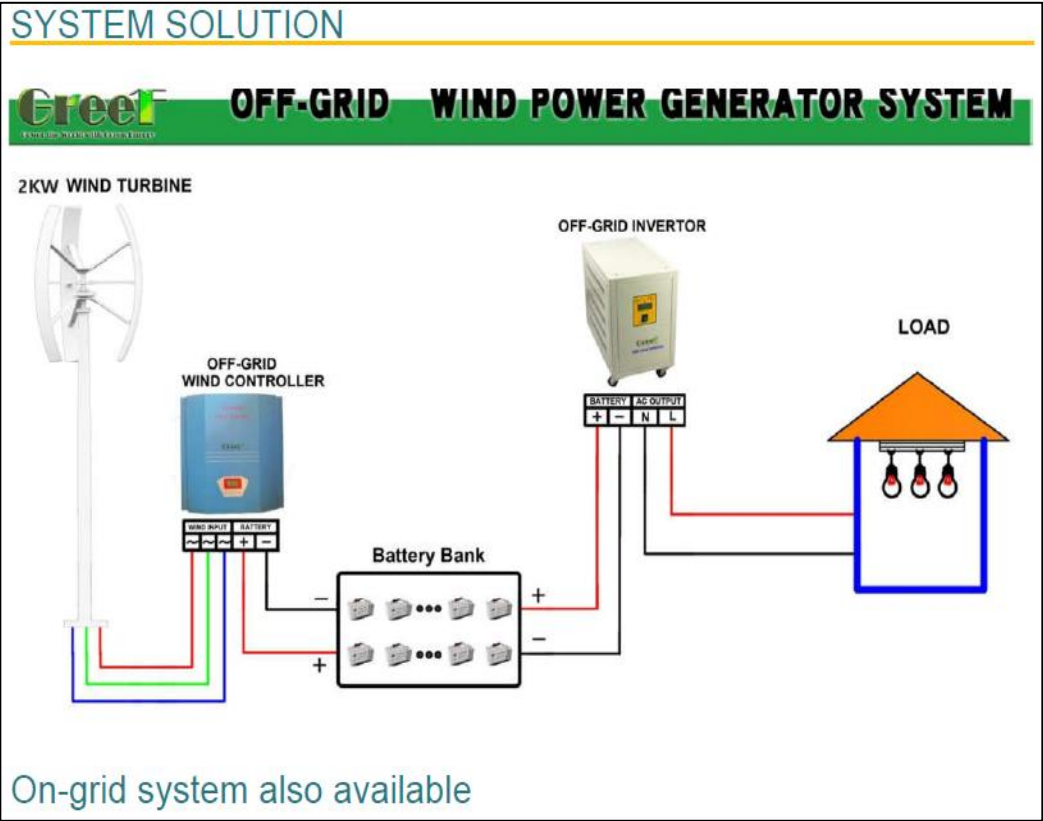
Fuente: Greefenergy. *Estructura de turbina eólica de eje vertical de 2 kW.*
 www.greefenergy.com. Consulta: 10 de enero de 2020.

Tabla XXII. **Lista de partes de turbina eólica de eje vertical de 2 kW**

2.Product packing list:				
No.	Name	Components pictures	Quantity	Packing method
1	Blades	① 	3	Packed in one box
2	Support Arms (Top/Bottom)	② 	6	Packed in one box
	Middle Arm	③ 	3	
3	Vertical Flange	⑤ 	1	Packed in one box
	Tower Flange	⑥ 	1	
	Carton(Bolt,Screw etc)		1	
4	AC Generator	⑧ 	1	Packed in one box
	Bottom Flange	⑦ 		
		 Delivery as a whole		

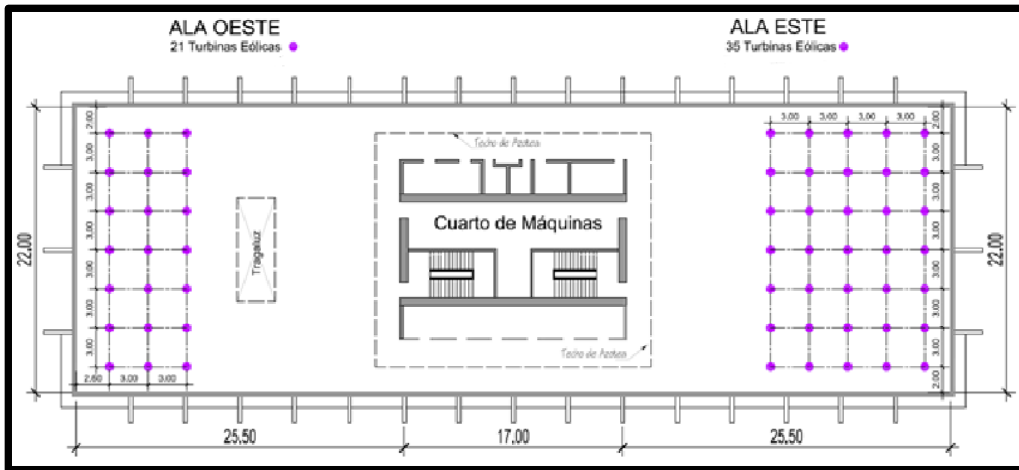
Fuente: Greefenergy. *Lista de partes de turbina eólica de eje vertical de 2 kW.*
www.greefenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

Figura 73. Esquema de conexión para sistema de turbinas eólicas de eje vertical de 2 kW



Fuente: Greefenergy. Esquema de conexión para sistema de turbinas eólicas de eje vertical de 2 kW. www.greefenergy.com. Consulta: 10 de noviembre de 2020.

Figura 74. **Ubicación propuesta para turbinas eólicas en azotea de edificio torre del MINFIN**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Como se mencionó anteriormente, se considera útil únicamente la azotea del edificio torre para la instalación de 56 turbinas eólicas de eje vertical de 2 kW. y según se estima producirán 196 000 kWh. Anualmente que corresponde al 8,15 % del promedio de la energía consumida anual (2 404 357 kWh según facturación).

6.1.1.4. Normativas

- Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, Decreto No.52-2003 y su reglamento Gubernativo No. 211-2005.
- Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía NTGDR, resolución CNEE-227-201.

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 usuario autoprodutor con excedentes de energía, el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, produzca por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes.

Los usuarios autoprodutores que cuenten, dentro de sus instalaciones de consumo, con excedentes de energía renovable para inyectarla al sistema de distribución, pero que manifiesten expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deberán informar al distribuidor involucrado de la situación y así podrán operar en esta modalidad.

6.2. Cambio de sistema de iluminación

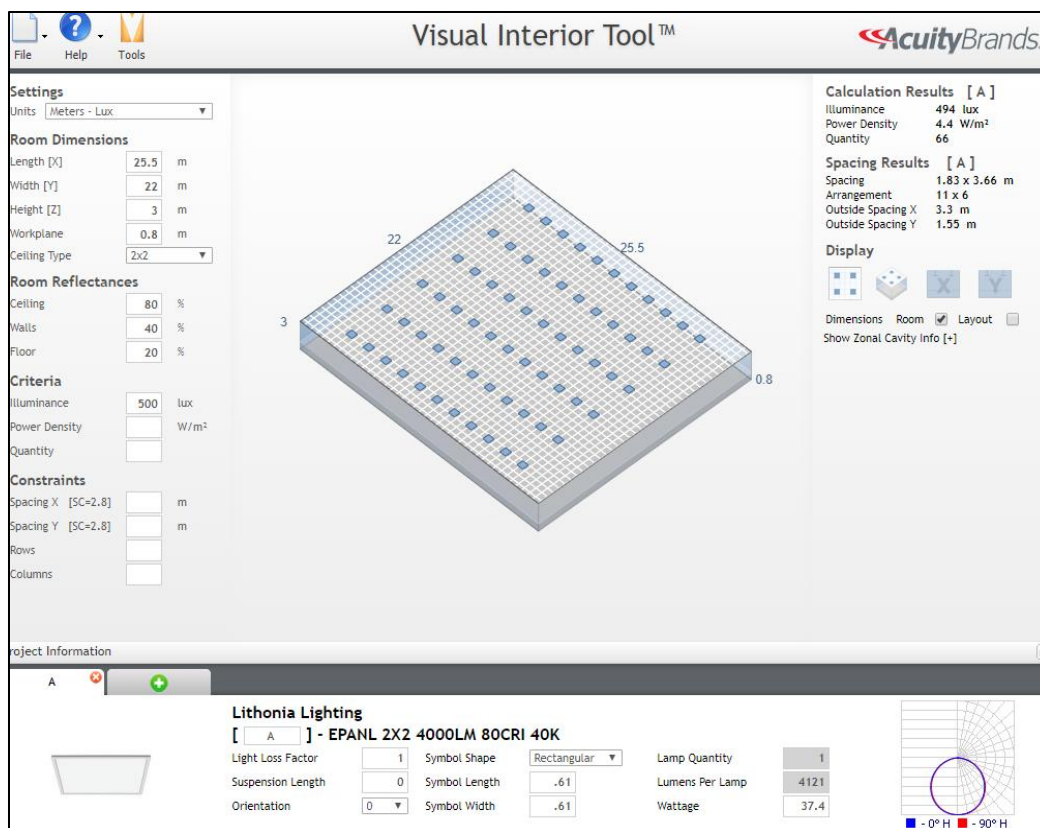
A continuación, se realiza una descripción de cambio de sistema de iluminación.

6.2.1. Diseño de iluminación propuesto para áreas de oficinas en edificio torre

Para 16 niveles (no se toman en cuenta niveles 7 y 12 ya con lámparas de tecnología led) sin incluir áreas de baños, pasillos, gradas y ascensores:

- Luminaria a usar: tipo panel led, 2'x2', para empotrar en cielo falso
- Cantidad de luminarias: 132 (alas este y oeste)
- Nivel lumínico promedio: 494 lux
- Consumo: 37,4 watts, 4 936,8 *watts* totales
- Área aproximada: 1 122 m² oficinas
- Índice (densidad): 4,4 *watt/m*²

Figura 75. **Planta de distribución de luminarias propuesta por ala de oficinas (2 alas por nivel)**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Visual Lighting, Lithonia Lighting.

Tabla XXIII. **Comparación consumo/día de sistemas de iluminación**

NIVEL	Tipo de Luminaria	Tipo de Lámpara	Cantidad de Luminarias	Watts x Luminaria	Watts totales Instalados	Área Oficinas (m ²)	Iluminancia promedio (lux)	Índice (watt /m ²)	Consumo estimado Día Laboral (kWh)
15 Oficinas (ACTUAL)	2'X2' Empotrada en cielo falso	Tubos fluorescentes 2 U de 32 watts, balastro electrónico	292	70	20 440	1 200	250	17,03	143,08 10 hrs. al 70 %
16 niveles similares (PROPUESTO)		Panel led	132	37,4	4 936,8	1 122	494	4,4	34,56 10 hrs. al 70 %

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XXIII se observa que el consumo diario efectuando el cambio a luminarias tipo panel led se reduce en 75,85 % lo cual contribuye al ahorro energético.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1. Presupuesto de sistema eólico

A continuación, se presenta el presupuesto que tendrá a la adquisición del sistema eólico.

Tabla XXIV. Presupuesto sistema eólico

Cantidad de turbinas eólicas de eje vertical en azotea de edificio torre	56
Tiempo de vida del equipo	20 años
Costo de turbina eólica de eje vertical de 2 kW (precio actual aproximado)	Q 3 958072
Inversión	Q 221 688,32
Generación anual estimada por turbina eólica de eje vertical de 2 kW (velocidad) de viento 5,0 m/s	3 500 kWh
Generación eólica anual y total	196 000 kWh
Costo total anual promedio /según facturación	2 404 357 kWh
Costo de Kwh promedio	Q 1,05
Aporta anual por generación	Q 205 800,00
Reducción anual por generación	8,15 %
Reducción en emisiones de GEI (huella de carbono)	115 189 Kg de Co _{2e}
Método de recuperación simple de capital	
Inversión/aporte anual por generación	Q. 221 688/Q 205 800,00
Tiempo de vida	108 años

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la cantidad de energía anual (generación eólica anual) suministrada por el sistema eólico es menor al 10 % del suministrado por la empresa suministradora de energía y que es en el horario fuera de punta (horario laboral normal), durante el cual se presenta el mayor consumo de energía en el Edificio, la posibilidad de que la energía generada por el sistema eólico ingrese o inyecte al sistema de distribución es nula, por lo que no hay necesidad de colocar un medidor bidireccional. Este tipo de suministro puede considerarse como el proporcionado por una planta de generación interna por combustible fósil. Ver normativas.

7.2. Presupuesto de Sistema de Iluminación

A continuación, se presenta el presupuesto de sistema de iluminación del proyecto.

Tabla XXV. Presupuesto sistema de iluminación

Cantidad de luminarias tipo panel led según propuesta para 16 niveles	2 112
Tiempo de vida teórico de luminaria	35 000 (9,58 años con días laborales de 10 horas)
Tiempo de vida real de luminaria	8 años (estimado)
Costo de luminaria (precio actual aproximado)	Q 306,00
Inversión	Q. 646 272,00
Potencia requerida por luminaria	37,4 watts
Potencia instalada total	78,99 kW
Consumo estimado en día laboral de 10 horas al 70 %	552,93 kWh
Consumo anual estimado (260 días laborales)	143 761,8 k-wh

Continuación de la tabla XXV.

Ahorro energético anual (75,85 % de consumo por tecnología fluorescente, ver tabla XIII.	451 525 kWh
Consumo total anual promedio (según facturación)	2 404 357 kWh
Costo de kWh promedio	Q. 1,05
Aporte anual por ahorro energético	Q. 474 101,25
Reducción en facturación anual	18,78 %
Reducción en Emisiones de GEI (huella de carbono)	265 361 Kg de CO ₂ e
Método de Recuperación Simple de Capital	
Inversión/aporte anual por ahorro energético	Q646 272,00/Q474 101,25
1,36 años	

Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que a partir del cambio de tecnología en iluminación prácticamente en la mayor parte del edificio torre se obtienen los beneficios de mejor iluminación y utilización más eficiente de la energía.

Adicionalmente, al implementar este cambio de tecnología en iluminación en el edificio anexo también se obtienen los mismos beneficios.

7.3. Resumen de presupuestos de sistemas eólico y de iluminación

En la tabla XXIV se presenta el resumen de presupuestos de sistemas eólico y de iluminación.

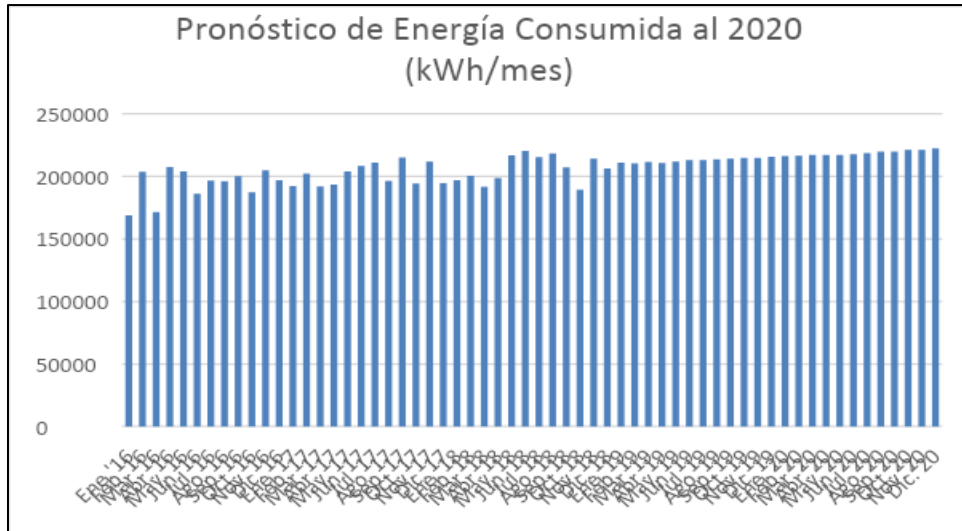
Tabla XXVI. **Resumen de presupuestos de sistemas eólicos e iluminación**

Sistema eólico	
Generación eólica anual	196 000 kWh
Aporte anual de generación	Q205 800,00
Reducción en Emisiones de GEI (huella de carbono)	115 189 Kg. de CO ₂ e
Sistema de Iluminación	
Ahorro energético anual (75,85% de consumo por tecnología fluorescente, ver tabla XXIII)	451 525 kWh
Aporte anual de ahorro energético	Q474 101,25
Reducción en Emisiones de GEI (huella de carbono):	265 361 Kg. de CO ₂ e
TOTALES	
Energía anual generada y ahorro en iluminación	647 525 kWh
Aporte anual en generación y ahorro en iluminación	Q679 901,25
Reducción en Emisiones de GEI (huella de carbono):	380 550 Kg. de CO ₂ e

Fuente: elaboración propia.

Según se observa en los presupuestos de sistema eólico y de iluminación, ambos proyectos son viables, según ese método, el tiempo de recuperación de capital es corto.

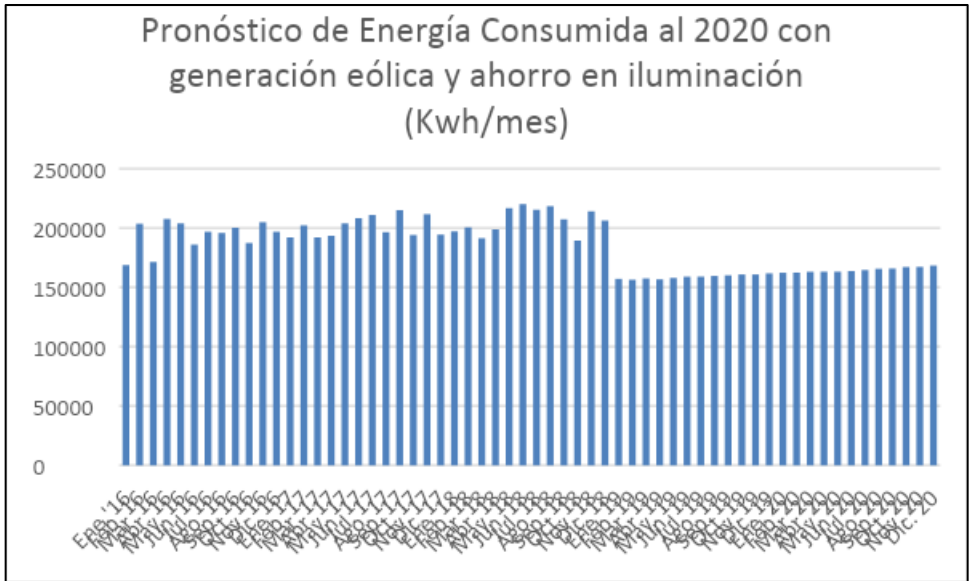
Figura 76. **Gráfica de pronóstico de energía consumida al 2020**



Fuente: elaboración propia.

Según se observa en la figura 76, los valores del pronóstico de energía consumida al 2020 presentan una tendencia leve a aumentar en el tiempo. Se puede considerar que la misma situación se presentará con el costo de la energía consumida.

Figura 77. **Gráfica de pronóstico de energía consumida al 2020 con generación eólica y ahorro en iluminación**



Fuente: elaboración propia.

Según se observa en la figura 77, los valores del pronóstico de energía consumida al 2020 que incluye la instalación de turbinas eólicas como sistema de energía renovable y la instalación de luminarias tipo panel led para lograr ahorro energético, disminuyen en 26,93 % aunque presentan una tendencia leve a aumentar en el tiempo.

El costo de la misma energía consumida también se reduce con el mismo porcentaje considerando el cambio mínimo para el costo unitario de energía distribuida, lo cual representa un ahorro económico considerable para la Institución.

También cabe mencionar que con dichas implementaciones se logran reducir las Emisiones de GEI (Huella de Carbono) considerablemente según los datos obtenidos.

CONCLUSIONES

1. El estado de las instalaciones eléctricas dentro del área de la subestación, se encuentran identificadas y en buen estado. Únicamente en algunos niveles se observa canalización y tableros desarmados.
2. En el período de medición en la subestación eléctrica, los parámetros de tensión o voltaje de la empresa distribuidora, de acuerdo a la norma europea EN50160 y Norma Nacional NTSD, estuvieron en los rangos y límites permitidos.
3. Al final del período de medición de este trabajo, se constató que de parte del MINFIN se estaban realizando tareas de verificación de parámetros eléctricos en la subestación, lo que significa que cuentan con un plan de mantenimiento en funciones.
4. Considerando que la demanda real promedio mantiene la misma tendencia, se observa que la potencia contratada está sobreestimada y se puede ajustar a un 50 %. En el último año se pagó Q96 000,00 aproximadamente a EEGSA por ese concepto que se puede cambiar a ahorro económico.
5. Con la implementación de medidas de eficiencia en Hábitos de Consumo, implementando fuentes renovables de energía como Sistema Eólico y utilización de nuevas tecnologías como luminarias tipo led en las instalaciones del MINFIN, se puede lograr un ahorro energético y económico.

6. Las medidas pueden implementarse por etapas de manera que para el 2027 se cumpla con el cuarto eje de acción del plan de política energética 2013-2027 que tiene como meta que el 30 % de las instituciones públicas del Estado utilicen eficientemente la energía.
7. La posibilidad de implementar el sistema eólico es viable con un retorno de capital aceptable.
8. La implementación de tecnología led en luminarias al utilizar tipo panel, proporcionan el mayor impacto en la proyección para lograr la eficiencia en el consumo de energía, ya que, la carga de iluminación en el Edificio es alta. Adicionalmente, se logra mayor iluminancia.

RECOMENDACIONES

1. Instalar alfombra aislante en la parte posterior de la subestación y al frente de los demás tableros ubicados en el área, de manera de prevenir eventuales electroshock a personal del ministerio.
2. Continuar con las mediciones en puntos estratégicos con énfasis en el dimensionamiento o ajuste de las protecciones de ramales principales.
3. Ajustar la potencia contratada a un valor de 625 kW (50 % de la actualmente contratada), de manera que se ajuste más a la demanda real y significaría un ahorro anual significativo.
4. Implementar cursos o pláticas con respecto al buen uso y buenas prácticas en el uso de la energía en oficinas del edificio.
5. Implementar el sistema eólico en el edificio torre para obtener mayor ahorro energético.
6. Cambiar a luminarias tipo panel led en los demás niveles del edificio para obtener los mismos beneficios.
7. Realizar un estudio de retorno de capital para datos de las mejoras sugeridas en función de anticipo, tasas de interés y tiempo de financiamiento según los presupuestos anuales del ministerio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Afinidad Eléctrica. *Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología Bluetooth.* [en línea]. <<http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php?IdArticulo=57>>. [Consulta: febrero de 2019].
2. Alcancelibre. *Introducción a las tierras físicas.* [en línea]. <http://www.alcancelibre.org/filemgmt_data/files/Introduccion_a_la_tierra_fisica.pdf>. [Consulta: febrero e3 2019].
3. BRATU, Neagu; CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño.* 2a. ed. México: Alfaomega. 1992. 240 p.
4. CENIDET Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. *Máquinas eléctricas y sus aplicaciones.* [en línea]. <<https://www.cenidet.edu.mx/maquinas-electricas-y-sus-aplicaciones-56-entrada.php>>. [Consulta: junio de 2019].
5. Constructor eléctrico Energy Management. *Banco de capacitores.* [en línea]. <<https://constructorelectrico.com/bancos-de-capacitores/>>. [Consulta: febrero de 2019].
6. Departamento de Energía, EE.UU. *Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad.* [en línea].

<<https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42071.pdf>>. [Consulta: diciembre de 2019].

7. Dranetz. *Dranetz HDPQ Guía Portátil Analizador de Calidad de Energía*. [en línea]. <<http://www.dranetz.com/product-services/current-dranetz-products/dranetz-hdpq-guide/#tab-3>>. [Consulta: abril de 2019].
8. Economía simple.net. *Ahorro energético*. [en línea]. <<https://www.economiasimple.net/glosario/ahorro-energetico>>. [Consulta: abril 2019].
9. Eléctrica aplicada. *Diseño sistema de apantallamiento y protección contra rayos*. [en línea]. <<https://www.electricaplicada.com/disenosistema-de-apantallamientoyproteccion-contra-rayos/>>. [Consulta: febrero de 2019].
10. ENERGUATE. *Normativa*. [en línea]. <www.energuate.com/normativa-0>. [Consulta: marzo de 2019].
11. ENRÍQUEZ HASPER, Gilberto. *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales*. 3a ed. Reimpresión México: Limusa, S.A. de C.V., 1989. 577 p.
12. Factorenergía. *Etiqueta de eficiencia energética*. [en línea]. <<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/etiqueta-de-eficiencia-energetica/>>. [Consulta: abril 2019].

13. _____. *El ABC de la calidad de la Energía Eléctrica*. México: Limusa, S.A. de C.V., 2008. 265 p.
14. Global ProTechnologies. *Nuevas Tecnologías en Aire Acondicionado*. [en línea]. <<http://globalprotechnologies.com/2016/11/17/nuevas-tecnologias-en-aire-acondicionado/>>. [Consulta: junio 2019].
15. GÓMEZ, Marcial Daniel. *Análisis de Contingencias Eléctricas en Centros Comerciales*. [en línea]. <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/801/A7.pdf>>. [Consulta: agosto de 2019].
16. HOLGUIN, Marcos; GOMEZCOELLO, David. *Análisis de calidad de energía en el Nuevo Campus de la Universidad Politécnica Salesiana*. [en línea]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS_GT000145.pdf>. [Consulta: marzo de 2019].
17. Ideas e Inventos. *Nuevas Tecnologías en Aire Acondicionado*. [en línea]. <<http://www.ideaseinventos.es/2013/08/28/nueva-tecnologia-en-aire-acondicionado/>>. [Consulta: junio de 2019].
18. IES Don Bosco. *Simbología eléctrica*. [en línea]. <https://www.iesdonbosco.com/data/electronica/simbologia_electrica.doc>. [Consulta: marzo de 2019].
19. INELEC Ingeniería y Proyectos Eléctricos. *Nuevas Tecnologías en Sistemas de Aire Acondicionado*. [en línea].

<<https://es.slideshare.net/BASINYER/aire-acondicionado-nuevas-tecnologas>>. [Consulta: junio de 2019].

20. Instituto de Ingeniería Eléctrica FING. *Cálculo de Las Corrientes de Cortocircuito*. [en línea]. <https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/iiee/Documentos/Teorico/Calculo_de_las_corrientes_de_cortocircuito.pdf>. [Consulta: agosto de 2019].
21. Ingenieros.es portal. *ISO 50002:2014. Una herramienta para optimizar el desarrollo de las auditorías energéticas*. [en línea]. <<http://www.ingenieros.es/noticias/ver/iso-50002:2014-una-herramienta-para-optimizar-el-desarrollo-de-las-auditorias-energeticas/5200>>. [Consulta: mayo de 2019].
22. ISOTools. *¿Qué son las Normas ISO y cuál es su finalidad?*. [en línea]. <<https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-Iso-y-cual-es-su-finalidad/>>. [Consulta: mayo de 2019].
23. IT Services DATEL. *Pararrayos*. [en línea]. <<https://it-services.com/blog/2018/06/20/pararrayos/>>. [Consulta: febrero de 2019].
24. LRQA España. *ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía*. [en línea]. <<http://www.lrqa.es/certificaciones/iso-50001-eficiencia-energetica/>>. [Consulta: mayo de 2019].
25. Made-in-China Connecting Buyers with Chinese Suppliers. *Aerogeneradores de Eje Vertical*. [en línea]. <https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Vertical-Axis-Wind-Turbines_euoiein_1.html?gclid=EAlaIQobChMlvqO3ze785gIvEliG>

Ch1LJQqUEAMYASAAEgLBcPD_BwE>. [Consulta: diciembre de 2019].

26. Ptolomeo. UNAM. *Manual para la instalación de cables de energía de media tensión*. [en línea]. <<https://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/659/A10.pdf>>. [Consulta: junio de 2019].
27. RELSAMEX ELECTRIC. *Varilla para sistema de tierras de 5/8"X3 m. (Electrodo para tierra física)*. [en línea]. <https://www.relsamex.com/shop/distribucion_subterranea/varilla-sistema-tierras-58-x-3m-electrodo-tierra-fisica/>. [Consulta: febrero de 2019].
28. Ruelsa. *Sistemas de puesta a tierra*. [en línea]. <<https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe80.html>>. [Consulta: febrero de 2019].
29. Técnica para audiovisuales. *Tecnologías para la iluminación*. [en línea]. <https://tecnicaparaaudiovisuales.wordpress.com/2015/04/16/tecnologias_iluminacion/>. [Consulta: abril de 2019].
30. TECPA. *Energías Renovables, Turbinas Eólicas Pequeñas*. [en línea]. <<https://www.tecpa.es/turbinas-eolicas-pequenas/>>. [Consulta: diciembre de 2019].

