



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

**PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE  
INFORMATICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DEL VICEMINISTERIO DE  
SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE  
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-**

**Edgar Rolando Ramírez López**

Asesorado por el Ing. Jorge Gallina Rucal

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORIA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE  
INFORMÁTICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DEL VICEMINISTERIO DE  
SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE  
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDGAR ROLANDO RAMÍÍEZ LÓPEZ**  
ASESORADO POR EL ING. JORGE GALLINA RUCAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

## FACULTAD DE INGENIERÍA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

### HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE  
INFORMÁTICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DEL VICEMINISTERIO DE  
SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE  
AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de febrero de 2020.

**Edgar Rolando Ramírez López**





Guatemala, 19 de enero de 2022.  
REF.EPS.DOC.3.01.2022.

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 **Edgar Rolando Ramírez López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201212891** y CUI **2290 72178 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMÁTICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES (VISAR) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA)"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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



c.c. Archivo



Guatemala 19 de enero de 2022.  
REF.EPS.D.9.01.2022.

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMÁTICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES (VISAR) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA)"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Edgar Rolando Ramírez López**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Jorge Gallina Rucal y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

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

Ing. Oscar Argueta  
Director  
Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Oscar Argueta

Por este medio me permito dar aprobación al informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado " **PLANIFICACION DE UNA AUDITORIA ENERGETICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMATICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION -MAGA-**" desarrollado por el estudiante **Edgar Rolando Ramírez López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201212891** y CUI **2290 72178 0101**, previo a optar por el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Con base a la revisión y corrección de dicho trabajo, considero que ha alcanzado los objetivos propuestos, por lo cual solicito cordialmente sus buenos oficios para darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



---

Ing. Jorge Gallina Rucal  
Asesor EPS

**Jorge Gallina Rucal**  
**Ingeniero Mecánico Electricista**  
**Colegiado No. 14,840**



REF. EIME 10.2022.  
31 DE MARZO 2022

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: PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMÁTICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES (VISAR) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA), del estudiante: Edgar Rolando Ramírez López, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑADA A TODOS

Ing. José Anibal Silva de los Angeles  
Coordinador de Electrotécnica



sro





ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF. EIME 17.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Director de EPS, del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al Informe final de EPS del estudiante Edgar Rolando Ramírez López: " **PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMATICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DEL VICEMINISTERIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-**", procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo


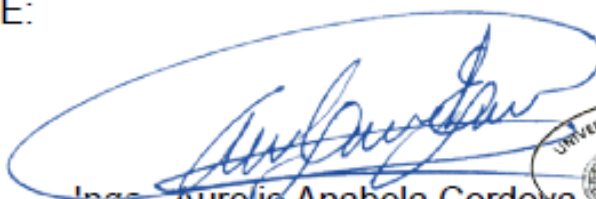
Guatemala, 7 de marzo de 2023.

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

LNG.DECANATO.OI.650.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PLANIFICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE DATOS DE INFORMATICA EN EL EDIFICIO MONJA BLANCA Y EL EDIFICIO DEL VICEMINISTERIO DE VICEMINISTERIO DE SANIDAD AGROPECUARIA Y REGULACIONES -VISAR- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN -MAGA-**, presentado por: **Edgar Rolando Ramírez López**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

### **Mis padres**

Edgar Ramírez y Mildred de Ramírez. Por ser los principales promotores de mis sueños y metas, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

### **Mis hermanas**

Ellen Ramírez y Ceci Ramírez por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

### **Mis tíos**

Claudia Ramírez, Evelyn Ramírez, Henry López, Marlon López, y a todos mis tíos, por ser una importante influencia en mi carrera, y brindarme el apoyo para seguir adelante.

**Mis Abuelos**

A mi abuelo Raúl López y abuela Hortensia Ramírez, aunque ya no se encuentran con nosotros, siempre estarán en mi mente su apoyo en todo momento. A mi abuela Violeta Cifuentes, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por enseñarme el camino de la vida.

**Mis sobrinos**

Madelin Barrera y Emilio Barrea, que sus sonrisas me hacen crecer y sentirme afortunado de tenerlos conmigo.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Por estar siempre en todos los momentos de estudio y ser una importante influencia a través del camino universitario y de la vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi alma mater y casa de estudios que me albergo durante los años de mi formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la unidad académica que me brindo con todo lo necesario dentro de sus edificios para adquirir el conocimiento en mi carrera mecánica eléctrica.
<b>Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación</b>	Por brindarme todo el apoyo correspondiente para realizar el ejercicio profesional supervisado en sus instalaciones al proveerme de todos los recursos necesarios.
<b>Asesor-supervisor EPS</b>	Ingeniero Natanael Requena, por todo su apoyo en la realización del ejercicio profesional supervisado.
<b>Mi asesor</b>	Ingeniero Jorge Gallina Rucal, por toda su ayuda brindada, recomendaciones, consejos y tiempo aportado hacia mi persona para la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XVII
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. DATOS GENERALES Y ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes de la institución pública.....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Funciones del MAGA.....	2
1.1.3. Misión .....	2
1.1.4. Visión .....	3
1.1.5. Organigrama.....	3
1.1.6. Ubicación .....	5
1.2. Servicios prestados por la institución .....	6
1.3. Aspecto legal .....	7
1.3.1. Política Energética 2013-2027 .....	7
1.3.2. Plan Nacional de Energía 2017-2032 .....	8
1.3.3. Ley General de Electricidad en Guatemala .....	9
1.4. Normativas técnicas .....	10
1.4.1. Norma EN 50160 .....	10
1.4.2. ISO 50001.....	11
1.4.3. ISO 50002.....	14
1.4.4. IEC 6100-4-30 .....	14

1.4.5.	Normas Técnicas de Servicio de Distribución, NTSD.....	15
1.4.6.	Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones NTCSTS .....	17
1.4.7.	Estándar IEEE 1159.....	18
1.4.8.	Norma ISO-14001 .....	19
1.5.	Acuerdo Gubernativo 229-2014 .....	20
1.6.	Auditoría energética .....	20
1.7.	Calidad de la energía .....	20
1.8.	Eficiencia energética .....	21
2.	GENERALIDADES DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	23
2.1.	Instalaciones eléctricas .....	23
2.1.1.	Conceptos generales de una instalación eléctrica ..	23
2.1.2.	Instalaciones monofásicas y trifásicas .....	23
2.1.3.	Tipos de materiales eléctricos y mecánicos .....	24
2.1.4.	Protecciones en instalaciones eléctricas.....	25
2.1.4.1.	Tableros de distribución .....	26
2.1.4.1.1.	Interruptores en caja de lámina.....	26
2.1.4.2.	Fusibles .....	26
2.1.4.3.	Interruptores termomagnéticos.....	27
2.1.4.3.1.	Curva de disparo.....	27
2.1.4.3.2.	Curvas del interruptor termomagnético .....	30
2.1.4.4.	Pruebas de disparo .....	35
2.1.5.	Cortocircuito .....	37
2.1.5.1.	Método de componentes simétricas (teorema de Fortescue) .....	37

2.2.	Elementos de una instalación eléctrica .....	41
2.2.1.	Conductores .....	42
2.2.2.	Acometida.....	47
2.3.	Objetivos de una instalación eléctrica .....	47
2.3.1.	Eficiencia .....	47
2.3.2.	Mantenimiento .....	47
2.3.3.	Seguridad .....	48
2.3.4.	Flexibilidad.....	48
2.3.5.	Accesibilidad.....	48
2.4.	Red de tierras .....	49
2.4.1.	Puesta a tierra .....	49
2.4.2.	Resistividad eléctrica .....	49
2.4.2.1.	Método de Wenner .....	49
2.4.2.2.	Método de Schlumberger .....	51
2.4.2.2.1.	Ecuación de Dwight.....	52
2.4.2.3.	Elementos que intervienen en la resistividad de un terreno .....	53
2.4.2.4.	Electrodos de puesta a tierra .....	53
2.4.3.	Medición de tierra en el edificio del VISAR.....	54
2.5.	Diseño de una puesta a tierra.....	56
2.5.1.	Conductores .....	58
2.5.2.	Tensiones tolerables.....	61
2.5.3.	Corriente admisible de malla $I_G$ .....	62
2.5.4.	Potencial admisible de malla GPR.....	64
2.5.5.	Tensiones de paso y contacto reales .....	64
2.5.6.	Lugar donde se realizará el estudio de tierras .....	69
2.5.7.	Conductor .....	69
2.5.8.	Tensiones tolerables.....	70

2.5.9.	Cálculo básico de diseño de tierras con estándar IEEE 80-2013 .....	71
2.5.10.	Corriente admisible de malla .....	74
2.5.11.	Potencial admisible de malla .....	74
2.5.12.	Tensiones de paso y contacto reales .....	74
2.5.13.	Seguridad del diseño de tierras .....	76
2.5.13.1.	Métodos químicos para disminuir la resistividad del suelo .....	76
2.6.	Pararrayos .....	77
2.6.1.	Diseño de pararrayos .....	77
2.6.1.1.	Pararrayos Franklin .....	78
2.6.1.2.	Jaula de Faraday .....	79
2.6.1.3.	Pararrayos de puntas ionizantes .....	79
2.6.1.4.	Pulsar de helita .....	80
3.	ANÁLISIS HISTÓRICOS DE CONSUMOS .....	81
3.1.	Evaluación histórica de consumos energéticos .....	81
3.1.1.	Consumo de energía eléctrica .....	81
3.1.2.	Consumo térmico .....	91
3.2.	Inventario de equipos .....	91
3.2.1.	Equipos .....	91
3.2.1.1.	Listado total de equipos .....	91
3.2.1.2.	Consumo eléctrico por equipo .....	93
3.2.1.3.	Promedio de tiempo de equipos en uso .....	94
3.2.2.	Iluminación .....	95
3.2.2.1.	Listado total de luminarias .....	96
3.2.2.2.	Consumo eléctrico por luminaria .....	96

3.2.2.3.	Promedio de tiempo en operación de cada luminaria .....	97
3.2.2.4.	Promedio de consumo eléctrico diario .....	98
3.2.2.5.	Eficiencia lumínica .....	98
3.2.3.	Equipos térmicos .....	99
3.2.3.1.	Listado de equipos de aire acondicionado y refrigeración .....	99
3.2.3.2.	Consumo eléctrico por equipo térmico .....	100
3.3.	Identificación de franja horaria.....	101
3.3.1.	Encuesta sobre consumos energéticos, hábitos de consumo .....	101
3.3.2.	Identificación horario laboral .....	108
4.	MEDICIONES ENERGÉTICAS .....	109
4.1.	Mediciones eléctricas .....	109
4.1.1.	Equipo utilizado .....	109
4.1.1.1.	Analizador de redes Fluke .....	109
4.1.1.2.	Multímetro.....	112
4.1.1.3.	Cámara termográfica Fluke .....	113
4.1.1.4.	Medidor de lúmenes Fluke.....	114
4.1.2.	Medición y análisis de consumos .....	115
4.1.2.1.	Análisis de corrientes.....	115
4.1.2.2.	Desbalance de corriente del sistema en el edificio del VISAR .....	118
4.1.2.3.	Análisis de voltaje .....	119
4.1.2.4.	Desbalance de tensión del sistema en el edificio del VISAR .....	125

4.1.2.5.	<i>Flicker</i> .....	126
4.1.2.6.	Análisis calidad de la frecuencia .....	127
4.1.2.7.	Análisis de potencia activa, reactiva y aparente .....	129
4.1.2.8.	Análisis factor de potencia.....	131
4.1.2.9.	Análisis de armónicos .....	132
4.1.2.9.1.	Filtros activos y pasivos.....	136
4.1.3.	Levantamiento eléctrico .....	140
4.1.3.1.	Identificación de tableros.....	140
4.1.3.1.1.	Tableros principales ....	146
4.1.3.1.2.	Tableros de distribución .....	147
4.1.3.2.	Conductores en la instalación eléctrica .....	148
4.1.3.2.1.	Dimensionamiento de conductores.....	149
4.1.3.2.2.	Método por caída de tensión.....	150
4.1.3.2.3.	Método por corriente ...	152
4.1.3.3.	Tipos de fallas eléctricas .....	154
4.1.3.3.1.	Interrupciones .....	154
4.1.3.3.2.	Subtensión .....	155
4.1.3.3.3.	Sobretensión .....	155
4.1.3.3.4.	Distorsión de la forma de onda .....	155
4.1.3.3.5.	Fluctuaciones de tensión.....	159

	4.1.3.3.6.	Fluctuaciones de la frecuencia.....	160
	4.1.3.3.7.	Cortocircuito .....	160
4.2.		Mediciones y análisis termográficos de la instalación eléctrica .....	160
4.2.1.		Mantenimiento tableros eléctricos .....	167
	4.2.1.1.	Mantenimiento preventivo por ultrasonido .....	168
4.2.2.		Tipos de fallas termográficas .....	169
	4.2.2.1.	Calentamiento de Joule .....	170
	4.2.2.2.	Acaparamiento de corriente.....	171
	4.2.2.3.	Falso contacto .....	171
4.3.		Evaluación y estudio de la iluminación .....	172
4.3.1.		Medición luxes en las áreas de trabajo del VISAR y Área de Informática, Monja Blanca .....	172
	4.3.1.1.	Niveles de Iluminación en las áreas de trabajo, según Acuerdo Gubernativo 229-2014 .....	173
5.		PLAN ENÉRGETICO .....	181
5.1.		Realización del plan energético.....	181
	5.1.1.	Análisis histórico de facturación eléctrica .....	181
5.2.		Proyección de consumo de energía eléctrica 2018-2028.....	183
6.		ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	187
6.1.		Análisis de mejora de la energía eléctrica del VISAR.....	187
	6.1.1.	Propuestas de utilización de energía renovables .	187
	6.1.1.1.	Propuesta de sistema fotovoltaico .....	188



6.1.1.2.	Plan para la incorporación de paneles fotovoltaicos .....	189
6.2.	Propuesta y análisis para mejorar la iluminación del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.....	195
6.2.1.	Incorporación de sistema de iluminación con tecnología led .....	195
6.3.	Análisis económicos de las propuestas sugeridas .....	198
6.3.1.	Incorporación de paneles fotovoltaicos para autoalimentación .....	198
6.3.2.	Implementación de iluminación led .....	199
6.4.	Gases de efecto invernadero .....	201
CONCLUSIONES.....		205
RECOMENDACIONES .....		207
REFERENCIAS.....		209
APÉNDICES.....		215
ANEXOS.....		239

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación ....	4
2.	Organigrama del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones .....	5
3.	Ubicación geográfica del edificio Monja Blanca MAGA .....	6
4.	Estructura de la norma .....	12
5.	Curva de disparo interruptor termomagnético .....	28
6.	Curva B de disparo.....	30
7.	Curva C de disparo .....	31
8.	Curva D de disparo .....	32
9.	Curva MA de disparo.....	33
10.	Curva Z de disparo.....	34
11.	Curva de prueba disparo térmico .....	35
12.	Diagrama interruptor termomagnético .....	36
13.	Curva prueba de disparo magnético .....	37
14.	Diagrama fasorial de tensiones a neutro de un sistema trifásico .....	39
15.	Diagrama de corrientes descompuestas en componentes simétricas ...	41
16.	Método de igualmente espaciado .....	50
17.	Curva de resistividad típica .....	51
18.	Varas separadas de manera desigual.....	52
19.	Diagrama de bloque para el diseño de una puesta a tierra, según estándar IEEE 80-2013.....	57
20.	Diseño de malla de tierra .....	73
21.	Estructura de un pararrayo.....	78

22.	Sistema jaula de Faraday .....	79
23.	Proyección del consumo energético en kWh para el 2021 , según datos históricos.....	85
24.	Proyección de consumo energético en kWh para el 2021 , según datos históricos.....	90
25.	Encuesta calidad energética.....	102
26.	Encendido y apagado de luces cuando no se usan.....	103
27.	Horario laboral .....	103
28.	Luz natural .....	104
29.	Ahorro de energía en los equipos.....	104
30.	PC encendida por largos tiempos.....	105
31.	Desenchufar los equipos utilizados.....	105
32.	Carga de teléfonos y <i>laptop</i> .....	106
33.	Daños de equipos.....	106
34.	Hábitos de consumo .....	107
35.	Tiempo deja encendido la luz .....	107
36.	Consumo energético 1 día hábil VISAR en kW .....	108
37.	Sondas amperimétricas del analizador de redes Fluke .....	110
38.	Analizador de redes Fluke .....	111
39.	Multímetro TRUPER Mut-33 .....	112
40.	Cámara termográfica Fluke TiS 45 .....	113
41.	Medidor de lúmenes Fluke 941 .....	114
42.	Gráfica corriente línea A .....	115
43.	Gráfica corriente línea B .....	116
44.	Voltaje línea A.....	119
45.	Voltaje línea B.....	120
46.	Voltaje línea C.....	120
47.	Histograma armónica de voltaje.....	133
48.	Histograma armónicos de corriente .....	134

49.	Filtro activo .....	136
50.	Filtro reductor armónico CA .....	137
51.	Filtro reductor armónico trifásico .....	138
52.	Filtro pasivo .....	139
53.	Transformadores MAGA 50 KVA C/U .....	141
54.	Tablero principal Área Informática 3er nivel Monja Blanca .....	142
55.	Transformadores VISAR 25 KVA C/U .....	143
56.	<i>Breaker</i> principal del VISAR .....	144
57.	Tablero principal VISAR .....	145
58.	Tablero informática .....	161
59.	Tablero aires acondicionados Área de Informática del edificio MAGA .....	162
60.	Tablero área cubículos VISAR .....	164
61.	Tablero principal VISAR .....	165
62.	Porcentaje de eficiencia VISAR .....	178
63.	Porcentaje de eficiencia Área Informática, Monja Blanca .....	178
64.	Proyección del consumo de energía para el año 2028 del VISAR .....	184
65.	Proyección del consumo de energía para el año 2028 del MAGA .....	185
66.	Diagrama de puesta de sistema fotovoltaico .....	188
67.	Sistema fotovoltaico .....	189
68.	Tubo fluorescente .....	197
69.	Cambio tubo fluorescente por led .....	197
70.	Emisión de dióxido de carbono en porcentaje de diferentes sectores .....	202

## TABLAS

I.	Tolerancias para el desbalance de tensión por parte del distribuidor .....	16
II.	Límites de corta y larga duración .....	19
III.	Clasificación de conductores y características de los aislamientos .....	44
IV.	Capacidad de los conductores eléctricos en función de su calibre y aislamiento.....	46
V.	Cuadro de resistencia y resistividad del terreno .....	54
VI.	Valores típicos de resistividad del suelo .....	55
VII.	Constantes de los materiales.....	60
VIII.	Valores de $D_f$ .....	63
IX.	Datos para calcular las tensiones de paso y contacto reales.....	75
X.	Descripción del servicio de energía eléctrica .....	82
XI.	Tarifa factura del contador principal del mes de septiembre año 2019 ...	82
XII.	Consumo de energía eléctrica kWh año 2018 .....	82
XIII.	Consumo de energía eléctrica kWh año 2019 .....	83
XIV.	Costos de energía eléctrica años 2018-2019.....	84
XV.	Contador principal del edificio Monja Blanca, MAGA.....	86
XVI.	Tarifa facturada del contador principal del mes de junio año 2018 .....	86
XVII.	Consumo de energía eléctrica kWh año 2018 .....	87
XVIII.	Consumo de energía eléctrica kWh año 2019 .....	88
XIX.	Costos de energía eléctrica años 2018-2019.....	88
XX.	Listado de equipos que se encuentran actualmente en funcionamiento en el edificio VISAR .....	92
XXI.	Listado equipos que se encuentran en funcionamiento en el Área Informática, Monja Blanca .....	92
XXII.	Consumo energético edificio VISAR .....	93
XXIII.	Consumo energético Área de Informática, Monja Blanca .....	93

XXIV.	Tiempo promedio del funcionamiento de los equipos diario del VISAR.....	94
XXV.	Tiempo promedio del funcionamiento de equipos diario del Área de Informática, Monja Blanca.....	94
XXVI.	Listado total de luminarias en el edificio VISAR .....	96
XXVII.	Listado total de luminarias en el Área de Informática, Monja Blanca.....	96
XXVIII.	Consumo eléctrico luminarias edificio VISAR.....	97
XXIX.	Consumo eléctrico luminarias Área de Informática, Monja Blanca.....	97
XXX.	Tiempo promedio del funcionamiento de las luminarias a diario del edificio VISAR .....	98
XXXI.	Tiempo promedio del funcionamiento de las luminarias a diario del Área de Informática, Monja Blanca .....	98
XXXII.	Listado equipos térmicos en el edificio VISAR .....	99
XXXIII.	Listado equipos térmicos en el Área de Informática, Monja Blanca .....	100
XXXIV.	Consumo energía eléctrica de equipos térmicos VISAR .....	100
XXXV.	Consumo energía eléctrica de equipos térmicos Área de Informática .	101
XXXVI.	Análisis de corriente de línea A .....	117
XXXVII.	Análisis de corriente de línea B .....	117
XXXVIII.	Desbalance de tensión .....	118
XXXIX.	Voltaje línea A respecto tierra .....	121
XL.	Voltaje línea B respecto tierra .....	122
XLI.	Voltaje línea C respecto tierra .....	123
XLII.	Voltaje entre A y B.....	123
XLIII.	Voltaje entre B y C .....	124
XLIV.	Voltaje entre C y A .....	124
XLV.	Desbalance de tensión.....	125
XLVI.	<i>Flickr</i> de corto plazo del edificio del VISAR .....	126
XLVII.	Porcentaje al 95 % del Pst y Plt .....	127

XLVIII.	Frecuencia VISAR .....	128
XLIX.	Potencias del edificio del VISAR en cada línea .....	129
L.	Factor de potencia VISAR.....	131
LI.	Distorsión armónica de voltaje .....	132
LII.	Distorsión armónica de corriente .....	133
LIII.	Tablero principal del VISAR .....	146
LIV.	Tablero Área de Informática, Monja Blanca .....	147
LV.	Número de tableros de distribución VISAR.....	147
LVI.	Tableros de distribución Área Informática, Monja Blanca .....	148
LVII.	Conductores del VISAR .....	149
LVIII.	Conductores del Área de Informática, Monja Blanca .....	149
LIX.	Área de los conductores .....	151
LX.	Factores de temperatura ambiente .....	153
LXI.	Factores números de conductores .....	153
LXII.	Tolerancias para la distorsión armónica de tensión .....	157
LXIII.	Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga .....	158
LXIV.	Cuadro de temperatura tablero informática MAGA .....	161
LXV.	Cuadro de temperatura tablero aires acondicionados Área de Informática del edificio MAGA.....	163
LXVI.	Cuadro de temperatura tablero área cubículos VISAR .....	164
LXVII.	Cuadro de temperatura tablero principal VISAR .....	166
LXVIII.	Medición luxes VISAR .....	172
LXIX.	Medición luxes Área Informática, Monja Blanca .....	173
LXX.	Intensidad mínima de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo, según Acuerdo Gubernativo 229-2014 .....	174
LXXI.	Comparación niveles de iluminación edificio del VISAR con Acuerdo Gubernativo 229-2014 .....	175
LXXII.	Comparación niveles de iluminación del Área de Informática, Monja Blanca con Acuerdo Gubernativo 229-2014 .....	175

LXXIII.	Eficiencia lumínica en área del VISAR .....	176
LXXIV.	Eficiencia lumínica en Área de Informática, Monja Blanca .....	177
LXXV.	Historial de consumo MAGA con factura años 2018-2019.....	181
LXXVI.	Historial de consumo VISAR con factura años 2018-2019.....	182
LXXVII.	Parámetros panel solar .....	191
LXXVIII.	Parámetros controlador de carga .....	192
LXXIX.	Parámetros inversor .....	193
LXXX.	Descripción de costos sistema solar fotovoltaico .....	194
LXXXI.	Datos tubo led .....	196
LXXXII.	Resumen de costos y ahorros con sistema fotovoltaico.....	199
LXXXIII.	Comparación fluorescente y led .....	200
LXXXIV.	Proyección de cuadro comparativo costos y consumo energético .....	200
LXXXV.	Resumen de costos implementación de tubos led .....	201





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Amperio
<b>I</b>	Corriente
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>I<sub>cc</sub></b>	Corriente de corto circuito
<b>F<sub>p</sub></b>	Factor de potencia
<b>F</b>	Faradios
<b>F</b>	Frecuencia
<b>Hz</b>	Herzios
<b>kWh</b>	Kilo vatio hora
<b>KW</b>	Kilo vatios, mil vatios
<b>KV</b>	Kilovolt
<b>KVAR</b>	Kilovolt amperio
<b>Lm</b>	Lumen
<b>Lx</b>	Lux
<b>M</b>	Metro
<b>MA</b>	Miliamperio
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>Ms</b>	Milísegundo
<b>GΩ</b>	Mil millones de ohmios
<b>KV</b>	Mil voltios
<b>Ω</b>	Ohmios
<b>R</b>	Resistencia
<b>ρ</b>	Resistividad
<b>W</b>	Vatios
<b>V</b>	Voltio, voltaje



## GLOSARIO

<b>Acometida</b>	Conexión eléctrica donde conecta la red de distribución de la empresa proveedora de energía eléctrica con la caja o tableros principales de una instalación eléctrica, para suministrar energía eléctrica al lugar.
<b>Aislante</b>	Material eléctrico que no deja pasar la electricidad fácilmente.
<b>Amperio</b>	Magnitud de corriente eléctrica, equivale a 1 coulomb/segundo.
<b>Armónico</b>	Fallas en la red eléctrica que suelen ser provocadas al conectar cargas no lineales.
<b>Analizador de redes</b>	Dispositivo que analiza y mide parámetros eléctricos.
<b><i>Breaker</i></b>	Interruptor termomagnético que protege el sistema eléctrico al existir una sobrecarga, este se abre para que no exista paso de corriente.
<b>Bobina</b>	Alambre enrollado en material conductor que provoca inducción al pasarle corriente eléctrica. Su unidad de medida es el henrio (H).

<b>Circuito</b>	Está compuesto de diversos dispositivos eléctricos que están conectados en paralelo o en serie para cambiar la energía eléctrica en otra clase de energía.
<b>Condensador</b>	Dispositivo que almacena energía eléctrica.
<b>Conductor</b>	Material que permite el camino de corriente eléctrica, el cobre se utiliza más por ser económico.
<b>Corriente</b>	Movimiento de electrones dentro de un conductor a una velocidad de coulumb/segundo.
<b>Cortocircuito</b>	Falla provocada cuando entran en contacto dos líneas de un circuito.
<b>Energía eléctrica</b>	Movimiento de electrones que pasan a través de un conductor de un lado a otro al existir una diferencia de potencial.
<b>EEGSA</b>	Empresa guatemalteca encargada de distribuir, comercializar y generar energía eléctrica al país. Por sus siglas, Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.
<b>Factor de potencia</b>	Eficiencia eléctrica de un sistema.
<b>Kilowatt hora</b>	Energía consumida en 1 hora por 1000 watts.
<b>IEEE</b>	Asociación mundial dedicada a la estandarización de normas eléctricas.

<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización o estandarización. Asociación internacional que establece normas y estándares para la calidad y eficiencia.
<b>Línea viva</b>	Línea de fase que está energizada.
<b>Lumen</b>	Determina el flujo luminoso de una fuente emisora de luz. Su símbolo es lm.
<b>Lux</b>	Unidad que mide cuanta luz hay sobre un área superficial.
<b>Neutro</b>	Conductor que sirve para el retorno de la corriente eléctrica.
<b>NEC</b>	Código Eléctrico Nacional.
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos.
<b>VISAR</b>	Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones.

**Voltaje**

Fuerza necesaria para generar corriente eléctrica en un circuito.

## **RESUMEN**

Se presenta un estudio de calidad energética de los edificios anexos al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), siendo estos el Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y el del Área de Informática, Monja Blanca.

Se analizó la información que se obtuvo de las mediciones eléctricas, con la finalidad de elaborar una auditoría energética e implementar propuestas para la mejora del consumo eléctrico y diversos parámetros eléctricos. Para la eficiencia energética usaron varios equipos específicos como un analizador de redes, medidor de temperaturas, medidor de lúmenes, multímetro, entre otros.

En la presentación del informe se presentaron temas como la eficiencia energética, que tiene como objetivo reducir el consumo de energía eléctrica. El objetivo esencial del estudio es presentar un uso más eficiente de los recursos energéticos con que se cuentan, logrando con ello reducir y aumentar la eficiencia, el recurso humano tiene que jugar un papel protagónico para este objetivo con sus hábitos de consumo, su educación y conocimiento energético.

Se proponen propuestas para el ahorro energético, sus medidas de mejora para la reducción del consumo eléctrico con una proyección económica de 10 años.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar una auditoría energética de las instalaciones eléctricas de los edificios del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y del Área de Informática del Ministerio de Agricultura de Ganadería y Alimentación (MAGA), ubicado en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala, edificio Monja Blanca.

### **Específicos**

1. Evaluar los niveles de armónicos de voltaje y corriente eléctrica que existen en el edificio del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR).
2. Evaluar los niveles de iluminación en los edificios del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y el Área de Informática del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).
3. Presentar propuestas para la utilización de energías renovables.
4. Evaluar la calidad y consumo de la energía eléctrica que se provee actualmente en las instalaciones del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR).

5. Realizar un estudio termográfico de los paneles eléctricos de los edificios del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y del Área de Informática del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).
6. Evaluar el factor de potencia del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y compararlo con los rangos permisibles de las normas técnicas de distribución.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó un análisis de una auditoría energética de los edificios del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), los cuales son el Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) junto con el Área de Informática del edificio Monja Blanca, por la antigüedad en su construcción, lo deteriorado de su acometida eléctrica, surgió la necesidad de realizar una evaluación y diagnóstico de la situación actual de las instalaciones eléctricas. Con la ayuda del programa de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y el apoyo del MAGA se realizó la actividad de manera adecuada.

Mediante la Política Energética 2013-2027 y el documento *Guía práctica para realizar auditorías energéticas* elaboradas por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), se logró establecer un plan de auditoría energética. Los objetivos principales son el uso eficiente y productivo de la energía eléctrica, de la cual una de las acciones a realizar son estudios técnicos que evalúen el impacto económico en la energía y uso eficiente de la energía eléctrica para los siguientes 10 años en las instituciones públicas de la República de Guatemala.

Se efectuó un estudio completo de las instalaciones eléctricas de los edificios del Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR) y el Área de Informática del edificio Monja Blanca, tales como conexiones correctas, dimensionamientos de conductores, protecciones eléctricas acordes al consumo de la carga eléctrica. También se evaluaron aspectos importantes como la corriente, potencia reactiva y activa, voltaje, factor de potencia.



## **1. DATOS GENERALES Y ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN**

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la República de Guatemala es una institución gubernativa responsable de vigilar por la ejecución adecuada de los trabajos agrícolas del país, tomar medidas de acción para plagas que afecten en una producción agrícola.

### **1.1. Antecedentes de la institución pública**

En las siguientes secciones se describirá la reseña histórica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR), asimismo, las funciones principales que ejercen cada una y la misión como la visión de las instituciones públicas.

#### **1.1.1. Reseña histórica**

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)

Creado en 1981, su objetivo, velar por la protección de la ganadería, agricultura, comercios, industrias y obras públicas de la República de Guatemala.

Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR)

Creado en 1998, por Acuerdo Gubernativo 278-98, cuyo fin es cuidar la sanidad de las variedades forestales, animales, hidrobiológicas y vegetales.

También vigila la protección de los cultivos, en agricultura, de enfermedades y plagas.

### **1.1.2. Funciones del MAGA**

Tiene varias funciones que se ejecutan en alguna circunstancia específica. A continuación, hay una lista de varias funciones que ejecuta.

- Promover políticas de uso de recursos naturales.
- Promover la educación del medio ambiente y agropecuaria con la ayuda de la población.
- Diseñar políticas para el comercio exterior de productos forestales, agropecuarios e hidrobiológicos.
- Promover al progreso de empresas forestales, agropecuarias e hidrobiológicas para el crecimiento del país.
- Seguridad alimenticia de la población y ampliar la disponibilidad del conocimiento a consumidores, comercializadoras y productores.

### **1.1.3. Misión**

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)

Su misión es la de innovar y modernizar el sector agrícola, hidrobiológico, forestal y agropecuario del país. La cual desarrolla capacidades productivas y comerciales para la seguridad alimenticia.

- Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR)

Su misión es la de impulsar el desarrollo rural en todo el país, la cual fomenta la convicción jurídica, la innovación y renovación agrícola.

#### **1.1.4. Visión**

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)

Fomentar el progreso sustentable con el propósito de que los productores hidrobiológicos, agropecuarios y forestales consigan un desarrollo pleno, mediante el uso imparcial de medios de información relacionado a la producción y uso sustentable de los recursos naturales.

- Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR)

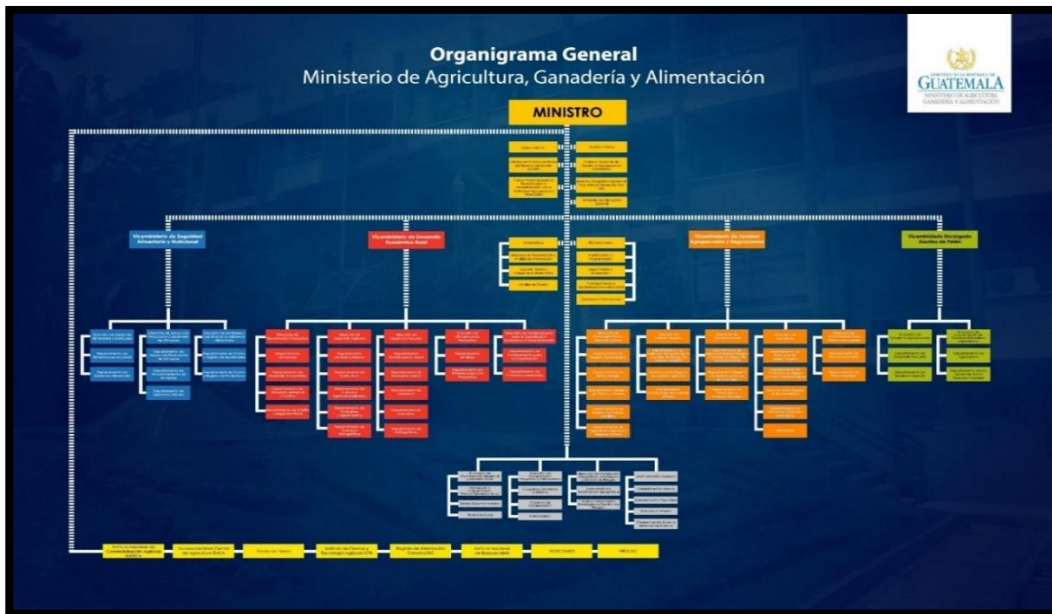
Utilizar los recursos naturales sostenibles del país para promover el desarrollo de una agricultura y alimentación adecuadas en los mercados de productores nacionales e internacionales.

#### **1.1.5. Organigrama**

La figura 1 describe la organización institucional del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.



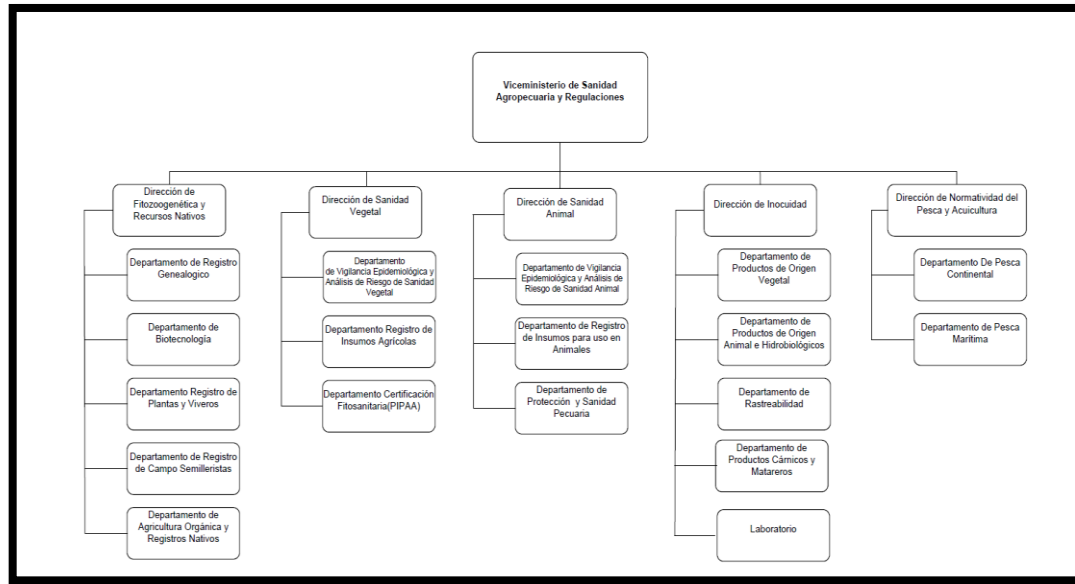
Figura 1. **Organigrama del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación**



Fuente: MAGA. (2018). *Estructura orgánica*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.maga.gob.gt/download/orga-ma.jpg>.

Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR). La figura 2 describe la organización institucional.

Figura 2. **Organigrama del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones**

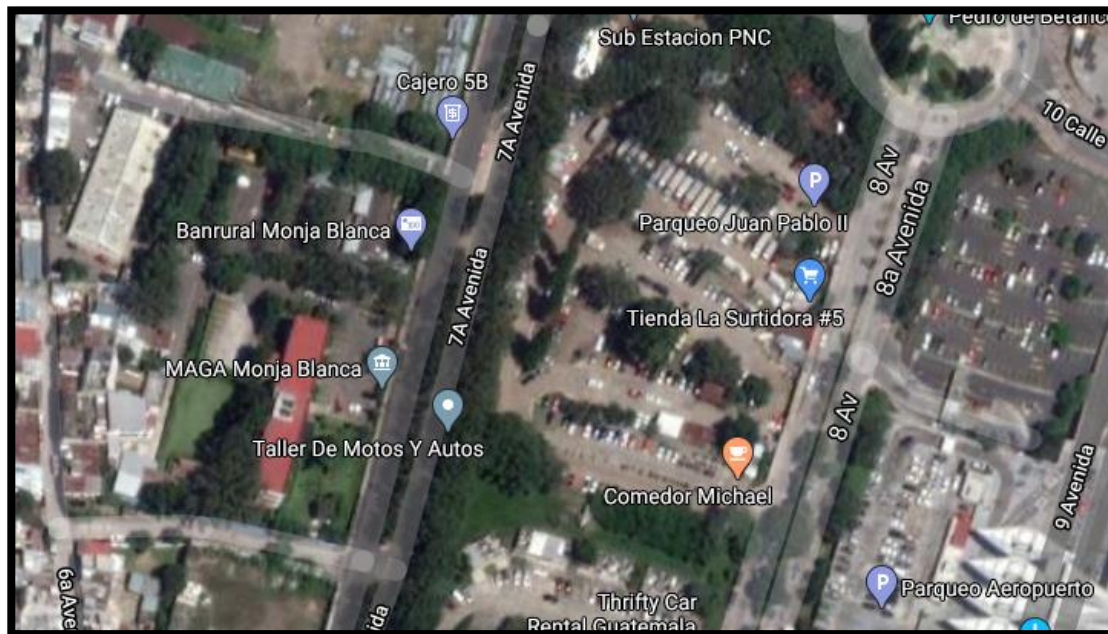


Fuente: MAGA. (2018) *Manual de organización y funciones nueva estructura. Organigrama específico*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de [https://www.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/uiip/enero13/6/manual\\_visar.pdf](https://www.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/uiip/enero13/6/manual_visar.pdf).

### 1.1.6. Ubicación

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos (MAGA), se encuentra en la 7 avenida 12-90, zona 13 Ciudad de Guatemala.

Figura 3. **Ubicación geográfica del edificio Monja Blanca, MAGA**



Fuente: Google Maps. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de [www.google.com.gt/maps/place/MAGA+Monja+Blanca./@14.5891663,90.533554,557m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8589a1677644d37f:0xd5329b6f8324eb08!8m2!3d14.5891663!4d-90.5326337](https://www.google.com.gt/maps/place/MAGA+Monja+Blanca./@14.5891663,90.533554,557m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8589a1677644d37f:0xd5329b6f8324eb08!8m2!3d14.5891663!4d-90.5326337).

## 1.2. **Servicios prestados por la institución**

Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones (VISAR)

Se compone de varias subdirecciones, encargadas de velar por el buen funcionamiento del ministerio, y de sus direcciones: Sanidad Animal, Inocuidad, Normatividad de la Pesca y Agricultura, Sanidad Vegetal y la Dirección de Fitozoogenética.

Cada dependencia administrativa vela por el buen funcionamiento del departamento del viceministerio.

- Trabajar juntos para conservar y proteger los recursos naturales renovables y gestionar los alimentos naturales no procesados.
- Manejo racional de los recursos biológicos acuáticos nacionales.
- Crear oportunidades para promover negocios en la industria agrícola.

### **1.3. Aspecto legal**

En los siguientes apartados se describen los documentos utilizados para lo relacionado a la auditoría energética.

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

Esta política se ha actualizado para reforzar los requisitos nacionales de eficiencia, competitividad y sostenibilidad en el uso y aprovechamiento de los recursos. Su contribución al desarrollo dependerá, también del trabajo coordinado y simultáneo entre los sectores privado y público, con la intervención activa de la ciudadanía en el proceso sobre este tema.

Se consideran 5 puntos importantes de operación para esta política energética:

- Seguridad y abastecimiento de electricidad a precios competitivos: transformar la generación eléctrica a través de energías renovables.

- Seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos: impulsar la promoción de diferentes clases de combustibles en todo el país.
- Exploración y explotación de reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional: el objetivo es producir gas y petróleo doméstico.
- Ahorro y uso eficiente de la energía: promover el ahorro energético del 30 por ciento en el consumo eléctrico por parte de los organismos estatales.
- Reducir el consumo doméstico de leña.

Esta política, también implementa el plan nacional de uso económico y eficiente de la energía.

### **1.3.2. Plan Nacional de Energía 2017-2032**

Documento público elaborado por el Ministerio de Energía y Minas en colaboración con la Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia y la Dirección de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente, con el propósito de desarrollar el aprovechamiento de la energía eléctrica sustentable en el país. Para alcanzar los objetivos del Plan Energético Nacional se proponen tres ejes estratégicos.

- Primer eje: Aprovechamiento sostenible de los recursos renovables, el principal objetivo es aprovechar al máximo los recursos naturales renovables para la producción y el consumo de electricidad. Estos recursos naturales deben ser sostenibles a través del tiempo para lograr

beneficios climáticos y ambientales, como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Segundo eje: Eficiencia y ahorro energético, este refuerza las metas y actividades del cuarto eje de la Política Energética 2013-2027, promoviendo la eficiencia energética en los sectores institucionales, comerciales, residenciales del país. También implementa los mecanismos existentes para ahorrar energía y usarla de manera eficiente.
- Tercer eje: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, prioriza las acciones realizadas en los ejes anteriores para rebajar las emisiones de gases de efecto invernadero en cada sector.

### **1.3.3. Ley General de Electricidad en Guatemala**

Ley que establece las normas para el buen funcionamiento de la energía eléctrica del país. Crea la Comisión Nacional de Electricidad y el agente del mercado mayorista para regular la distribución de la electricidad en todo el país. La comisión se asegurará de cumplir las siguientes funciones:

- Cumplir con las obligaciones de los oferentes y franquiciados, proteger los derechos de los usuarios, prevenir actos que atenten contra la libre competencia y prevenir actos de abuso o discriminación.
- Determinar las tarifas de transmisión y distribución de energía eléctrica y tramitarlas de conformidad con esta ley.

## **1.4. Normativas técnicas**

Se utilizaron varias normas para conocer los datos técnicos que se necesitan para lograr realizar una auditoría energética. Las normas técnicas son documentos aprobados por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) que describen directrices o características que aseguran un proceso o servicio adecuado.

### **1.4.1. Norma EN 50160**

En esta Norma EN 50160 se determinan diversos parámetros de voltaje, así como propiedades de la tensión suministrada por las redes de distribución

- Tensión de alimentación: voltaje eficaz que se localiza en un punto del suministro de red.
- Tensión de entrada declarada (Uc): tensión nominal en el sistema eléctrico.
- Variación de tensión: alteración de la tensión provocada por la variación de carga total en un sistema de red de distribución.
- Parpadeo (*flicker*): alteración en la intensidad de luz apreciable por el ojo humano que es provocada por variaciones de tensión.
- Severidad del parpadeo: magnitud de la cual es producida por el *flicker*, se evalúa por medio de lo siguiente:

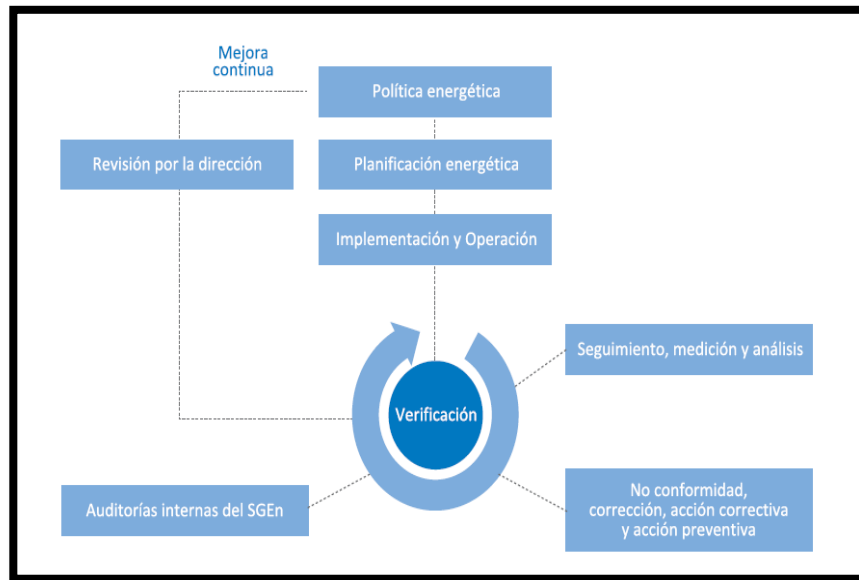
- Severidad de corta duración (Pst): medida obtenida en un periodo de 10 minutos.
- Severidad de larga duración (Plt): se calcula de una serie de 12 valores en un intervalo de 2 horas.
- Calidad de la frecuencia: tiene que ser de 60 Hz (América), no debe de oscilar en más de 1 % durante el 99 % de 1 año calendario y no más de 4-6 % durante el 100 % del tiempo.
- Desequilibrio de la tensión suministrada: el 95 % del valor inverso de la tensión debe estar entre 0-2 % de la componente directa en un tiempo de 1 semana.

#### **1.4.2. ISO 50001**

Sistemas de Administración de la Energía (SGEn), establece los requerimientos que debe tener una organización para administrar la energía, cual organizar la optimización del manejo energético, velar por su eficiencia energética y la disminución del impacto medio ambiental.



Figura 4. **Estructura de la norma**



Fuente: ISO 50001:2011. (2011). Consultado el 20 de octubre de 2020. *Gestión de la energía. Estructura de la norma*. Recuperado de <https://www.isotools.org/pdfs/monografico-ISO-50001.pdf>.

Se presentan todos los puntos de la gestión de la norma.

- Responsabilidad de la dirección: las autoridades de alto mando de la empresa deben demostrar que están comprometidas con el beneficio del ahorro energético, mejorando continuamente su eficacia, poseyendo los recursos necesarios y definiendo con precisión los roles y responsabilidades de los participantes en el sistema de gestión energética.
- Política energética: para formalizar la obligación de la gerencia, la empresa debe desarrollar una política que establezca un marco de compromisos para la mejora continua, provisión de recursos y metas.

- Planificación: comprender el consumo energético, los puntos que inciden en el consumo declarado y la necesidad de diagnóstico energético, con el foco en mejorar el sistema, determinar los requisitos legales, establecer líneas base energéticas e indicadores de gestión.
- Implementación y operación: orientar las operaciones críticas y garantizar la capacidad, la formación y la conciencia de los empleados. De igual manera en el diseño de las instalaciones organizativas, asegurar la comunicación activa y el control operativo, y analizar la gestión energética a la hora de obtener servicios, productos y equipos energéticos que tengan un impacto significativo en el uso energético.
- Verificación: las operaciones deben ser verificadas mediante monitoreo, seguimiento, medición y análisis, evaluación del cumplimiento de requisitos legales y otros, auditorías internas, no conformidades, acciones correctivas y preventivas y controles de registros.

¿Qué ventajas tiene un SGE?

- Internas
  - Disminuir los gases de efecto invernadero
  - Energía sustentable
  - Disminuir costos de energía
- Externas
  - Incremento en la competitividad de la organización.

- Mejoramiento de la imagen pública de la empresa al mostrarse ante la sociedad como comprometida responsablemente con la sostenibilidad ambiental.
- Incremento en la rentabilidad al haber disminución de los consumos y costos energéticos.

La implementación de la Norma ISO 50001:2011 en el mundo establece un marco alusivo para la optimización y conservación de la energía en plantas industriales, instalaciones comerciales, organizaciones y en general cualquier tipo de organización.

#### **1.4.3. ISO 50002**

ISO 50002: 2014 especifica los requisitos para realizar procesos de auditoría energética que tengan que ver con la eficiencia energética. Establece el inicio de la auditoría energética.

El propósito de esta norma internacional es definir los requisitos para identificar oportunidades de mejoras de eficiencia energética. Una auditoría energética en una empresa incluye un estudio de la eficiencia energética.

Los resultados de la auditoría incluyen información sobre el consumo y el rendimiento energético actuales y proporcionan recomendaciones prioritarias para mejorar el rendimiento energético y los beneficios financieros.

#### **1.4.4. IEC 6100-4-30**

Describe métodos de medición para los parámetros eléctricos y determina la calidad de energía, basándose en estos para obtener resultados confiables.

Los parámetros medidos son: desequilibrios de voltajes, *flicker*, armónicos, frecuencias, variaciones de voltajes y magnitud de voltaje.

#### **1.4.5. Normas Técnicas de Servicio de Distribución, NTSD**

El propósito de esta norma: “velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios y emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico, con respecto a la calidad del servicio de distribución de energía eléctrica” (CNEE, 1999, p. 4).

Los objetivos principales de las normas técnicas del servicio de distribución se mencionan en el siguiente artículo:

Artículo 2. Objetivo de las normas. Establecer derechos y obligaciones de los prestatarios y usuarios del servicio eléctrico de distribución, índices o indicadores de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el punto de entrega como en el punto de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, Indemnizaciones, sanciones y/o multas. (CNEE, 1999, p. 6)

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

El desbalance de tensión se encuentra en las normas NTSD, la cual es la siguiente:

Artículo 27: El índice de calidad de la tensión de alimentación desequilibrada del distribuidor. El índice se determina comparándolo con el valor rms efectivo de la tensión de cada fase, medido en el punto de entrega y registrado en cada intervalo de medida (k). (CNEE, 1999, p. 19)

El desbalance se adquiere de la siguiente ecuación:

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

Donde:

Vb: voltaje en la fase b

Vmin: voltaje mínimo en cualquiera de las fases

$\Delta DTD$  (%): desbalance de tensión

Vc: voltaje en la fase c

Vmax: voltaje máximo en cualquiera de las fases.

Va: voltaje en la fase a

En el artículo 28 de las normas de distribución se mencionan los límites de desbalances de tensión tolerables para baja, media y alta tensión. Se describe en la tabla I.

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

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

Fuente: NTSD. (2017). *Normas técnicas de servicio de distribución. Desbalance de tensión en servicios trifásicos*. p. 19.

El factor de potencia se mide de acuerdo al mínimo de potencia contratada del usuario y se definen en el siguiente artículo de las Normas Técnicas del Servicio de Distribución:

Artículo 49. “El valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo a la potencia del usuario, de la siguiente forma: - Usuarios con potencias de hasta 11 kW 0.85 -usuarios con potencias superiores a 11 kW 0.90” (CNEE, 1999, p. 3).

#### **1.4.6. Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones, NTCSTS**

El desbalance de corriente, se encuentra en el artículo 31 de las NTCSTS:

Artículo 31. Calidad del desbalance de corriente. “El índice para evaluar el desbalance de corriente de los participantes, se determinará sobre la base de comparación de los valores de corriente de cada fase, medidos en el punto de entrega y registrados en cada intervalo de medición” (CNEE, 1999, p. 11).

El desbalance se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta DIP (\%) = [3(Imp)/(Ia + Ib + Ic)] \times 100$$

Donde:

Ia: corriente de fase a.

Imp: corriente máxima de desviación en cualquiera de las fases con respecto al promedio de la corriente de todas las fases.

Ic: corriente de fase c.

$\Delta$ DIP (%): desbalance de corriente.

Ib: corriente de fase b.

El límite de desbalance se encuentra en el siguiente artículo de las NTCSTS:

Artículo 32. Se establece una tolerancia para el desbalance de corriente del diez por ciento (10 %). Se considera que un participante afecta la calidad del servicio de energía eléctrica cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del correspondiente al total del período de medición mensual, las mediciones muestran que el desbalance de la corriente ha excedido el rango de tolerancias establecidas (CNEE, 1999, p. 11).

#### **1.4.7. Estándar IEEE 1159**

Esta norma determina siete fenómenos que ocurren en la red eléctrica: variaciones de frecuencia, desequilibrio de voltaje, transitorios, variaciones de voltaje, cambios a largo plazo, distorsión de la forma de onda y cambios a corto plazo. Los cambios a corto plazo incluyen flacidez, fractura e hinchazón. Cada tipo se divide en instantáneo o instantáneo temporal, según su duración.

Tabla II. **Límites de corta y larga duración**

Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
<b>1.0 Variaciones corta duración</b>		
<b>1.1 Instantánea</b>		
1.1.1 Hueco	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
1.1.2 Swell	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
<b>1.2 Momentánea</b>		
1.2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u.
1.2.2 Hueco	30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
1.2.3 Swell	30 ciclos – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
<b>1.3 Temporal</b>		
1.3.1 Interrupción	3 s – 1 min	< 0.1 p.u.
1.3.2 Hueco	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
1.3.3 Swell	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
<b>2. variaciones larga duración</b>		
2.1 Interrupción	> 1 min	0.0 p.u.
2.2 Subtension	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
2.3 Sobretension	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

Fuente: Holguin, M. (2010). Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la universidad politécnica salesiana. p. 41.

#### **1.4.8. Norma ISO-14001**

Esta norma fue creada por la organización internacional de normalización (ISO), para ayudar a la implementación de proyectos de gestión ambiental en una empresa, ya sea del sector privado o público.

La norma requiere que las empresas desarrollen un plan de gestión ambiental, que incluye: metas y objetivos ambientales, políticas y procedimientos para lograr estas metas, responsabilidades claras, actividades de capacitación del personal, documentos y sistemas para controlar cualquier cambio y progreso. La norma describe los procesos que deben seguir las empresas y les exige que cumplan con las leyes ambientales nacionales.



### **1.5. Acuerdo Gubernativo 229-2014**

Acuerdo gubernativo creado en el año 1957 que su principal función es la de velar por la seguridad de los trabajadores dentro de una empresa para proteger su salud, vida e integridad física. El empleador tiene que cumplir con la debida implementación de medidas de seguridad como:

Al abastecimiento, desgaste y sostenimiento de equipos de protección que estén debidamente certificados por normas internacionales.  
Colocar sistemas y equipos de protección.

### **1.6. Auditoría energética**

Esta incluye un estudio completo de los factores técnicos y económicos que inciden en el consumo de todas las instalaciones o equipos consumidores de energía del edificio estudiado. El objetivo de la auditoría energética es proporcionar un informe técnico que detalle las medidas adecuadas para el uso y la gestión correcta y razonable de la energía.

### **1.7. Calidad de la energía**

Para que los dispositivos eléctricos conectados en una instalación eléctrica funcionen correctamente es necesario una buena calidad de la energía, esta se da cuando se suministra energía eléctrica a una instalación de modo correcto. Para identificar y resolver los problemas del sistema de energía es necesario un estudio de calidad de energía.

Al realizar un estudio de calidad de la energía se consigue encontrar las fallas principales (interrupción del suministro eléctrico, variaciones de voltaje y

distorsión de la forma de onda de voltaje provocado por armónicos en la red), lo que requiere cinco pasos básicos:

- Estudio de los datos recolectados
- Planificación, así como la preparación del lugar
- Verificar el consumo de energía
- Aplicar soluciones correctivas

### **1.8. Eficiencia energética**

Es el uso efectivo de la energía. La cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera está en aumento, de manera que mejorar la eficiencia energética ayuda a proteger el planeta, porque no se trata solo de utilizar equipos que consuman menos energía también está de nuestra parte consumir menos y de manera más ecológicamente.



## **2. GENERALIDADES DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

### **2.1. Instalaciones eléctricas**

Conjunto de dispositivos que permiten la transmisión y distribución de energía eléctrica desde el punto de suministro eléctrico al equipo que depende de él. Las instalaciones eléctricas incluyen: cables, equipos de control local o remoto, contactos, paneles, transformadores, interruptores, sensores y bancos de condensadores. Las instalaciones eléctricas usualmente están abiertas, visibles, ocultas u ocultas.

#### **2.1.1. Conceptos generales de una instalación eléctrica**

El propósito de una instalación eléctrica es proporcionar energía eléctrica para lugares públicos, instalaciones, edificios e infraestructuras. Incluye el equipo necesario para confirmar su normal funcionamiento.

#### **2.1.2. Instalaciones monofásicas y trifásicas**

Las instalaciones monofásicas son predominantes en lugares domésticos. Se caracterizan por ser de corriente alterna monofásica y potencias de contrato de hasta 10 kW. Una instalación trifásica consta de tres fases, cada una con corriente alterna que divide el dispositivo en porciones de potencia constante. Los siguientes cables se utilizan para proporcionar instalaciones monofásicas:

- Bipolares compuesto por dos conductores
- Tripolares compuesto por tres conductores

Diferencias entre monofásico y trifásico en una instalación eléctrica.

- Instalaciones monofásicas
  - La tensión nominal es de 120/220 V
  - Una fase y corriente alterna
  - Utilizada en instalaciones domésticas y pequeñas empresas
  
- Instalaciones trifásicas
  - La tensión nominal es de 380/440 V
  - Utilizada en grandes empresas manufactureras e industriales
  - Se compone de tres fases con corrientes alternas diferentes

### **2.1.3. Tipos de materiales eléctricos y mecánicos**

Los materiales utilizados en los dispositivos eléctricos correctamente diseñados están certificados y aprobados por las normas internacionales. Estos materiales incluyen diversos tipos de cables, conductos y conductores, dispositivos de defensa y cajas de conexiones. El conducto está construido de forma para guardar cables, alambres y varillas conductores, y pueden ser metálicos o no metálicos.

El conducto de metal se puede instalar en el exterior o en el interior, en habitaciones secas o húmedas, y proporciona una excelente protección de los cables.

Los tipos más utilizados son:

- *Green Field* (metálico flexible).
- Rígido (pared gruesa).
- Pared delgada.
- Canalizaciones (modos de instalación).
- Canalización fijada a pared: se instala en el exterior o cerca de la pared.
- Canal (electrocanal): cáscara sellada, con tapa removible, encargada de proteger cables y conductores aislados.
- Canal de cables: se monta en el interior o en la superficie del suelo o en el interior y en la superficie del techo.
- Bandeja de cables: construido por un cimiento continuo, que contiene paredes laterales y no tiene tapa. Puede estar perforada o no.
- Conducto (caño): cáscara sellada de sección circular empleada para instalaciones o cambio de cables y conductores aislados por enhebrado.
- Conducto de sección no circular: cáscara sellada no circular, que se utiliza para instalaciones o cambio de cables y conductores aislados por enhebrado.

#### **2.1.4. Protecciones en instalaciones eléctricas**

Las funciones generales que cumplen los dispositivos de seguridad y control en instalaciones eléctricas son las siguientes:

- Los circuitos de iluminación deben estar apartados de los demás.
- El calibre del conductor de iluminación debe tener un tamaño mínimo núm.12.

- Dependiendo de las cargas del sistema, se instalarán los tableros de distribución necesarios.

#### **2.1.4.1. Tableros de distribución**

Se les llama, también centros de carga, consisten de dos o más interruptores de navaja, con palanca o con interruptores automáticos termomagnéticos. Se instalan cerca de los centros de carga en lugares accesibles donde no afecte el diseño estético del lugar.

##### **2.1.4.1.1. Interruptores en caja de lámina**

Denominado, también interruptor de seguridad, se trata de un interruptor de cuchilla con una entrada externa y una barra para hacer funcionar al interruptor. Se caracteriza por tener lo siguiente:

- Contienen un mecanismo de protección superiores a 30 amperios
- El mango puede estar abierto o cerrado

#### **2.1.4.2. Fusibles**

Dispositivo de seguridad eléctrica, que consta de un filamento metálico interno que se rompe durante una sobrecarga o un cortocircuito, lo que hace que el material se derrita debido al calor y abra el circuito, cortando la corriente. Hay dos tipos:

- Fusibles de tapón: son los más utilizados en instalaciones eléctricas domésticas y son de capacidades de 10, 15, 20 y 30 A.

- Tipo cartucho: de fácil mantenimiento debido a que se puede reemplazar el filamento de metal o fusible después de que este haya funcionado. Se presenta en dos tipos según su capacidad de conducción de corriente, los que tienen casquillos de 3 a 60 A y los que tienen cuchillas de 75 A.

#### **2.1.4.3. Interruptores termomagnéticos**

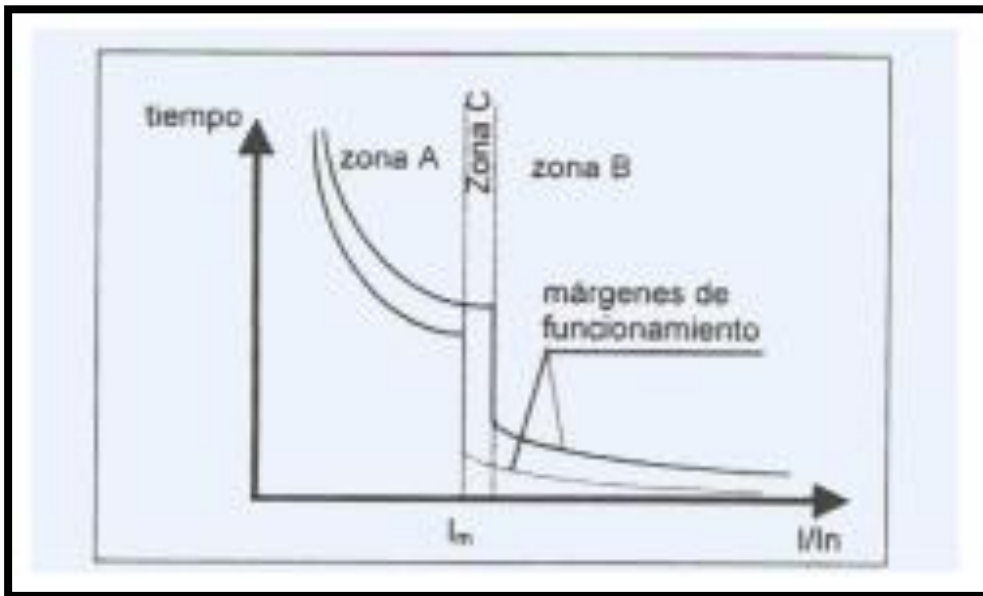
La función principal de este dispositivo de protección es abrir el circuito inmediatamente cuando existe una sobrecarga, y se compone de un elemento magnético y térmico. El elemento magnético está formado por una bobina, en el que su núcleo es móvil y puede encender o abrir el interruptor, y el circuito se abre instantáneamente cuando se produce un aumento de corriente; y el elemento térmico es la composición de 2 elementos metálicos con coeficientes

##### **2.1.4.3.1. Curva de disparo**

Cuando la corriente es lo suficientemente alta (como la generada durante un cortocircuito), crea un campo magnético más fuerte en su núcleo que puede desviar el resorte de apertura, interrumpiendo así el circuito.



Figura 5. **Curva de disparo interruptor termomagnético**



Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. Protección de las instalaciones de baja tensión*. Consultado el 20 de octubre de 2020.  
Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

La figura 5 muestra la curva del tiempo de disparo del interruptor automático en función de la corriente de disparo. Hay tres áreas de actividad:

- Zona A: zona térmica por sobrecarga llamado disparo térmico.
- Zona B: ocurre cuando hay cortocircuito y es llamado disparo electromagnético.
- Zona C: cambio entre las zonas A y B.

La activación electromagnética produce varios tipos de curvas, a continuación, se describen las más conocidas y sus usos:

- Tipo A: protegen las líneas alimentadas por el semiconductor. la corriente  $i_m$  (intensidad de disparo magnético) es de 2 a 3 in.
- Tipo b: protegen los receptores cuando no hay sobrecarga en el sistema.  $i_m$  se comprende entre 3 y 5 in.
- Tipo C: protegen las instalaciones domesticas incluidos los circuitos de iluminación,  $i_m$  se encuentra entre 5 y 10 in.
- Tipo D: protegen equipos eléctricos como transformadores, motores, entre otros.  $i_m$  se encuentra entre 10 y 14 in.
- Tipo G: protección cuando no hay una gran sobrecarga en el sistema.  $i_m$  se comprende entre 5 y 8 in.
- tipo h: cuando hay demasiada sobrecarga en el sistema, se desconectarán más rápido que antes.
- Tipo K: protegen equipos eléctricos como motores de la misma manera que la clase d, pero con una protección de sobrecarga térmica menor.  $i_m$  oscila entre 10 y 14 in.
- Tipo Z: para proteger circuitos electrónicos. la corriente de disparo  $i_m$  en el rango 2.4 y 3.6 in.
- Tipo lcp-M: se usa para la protección de interruptores de control y potencia. la intensidad de disparo magnético se comprende entre 5 y 8 in.

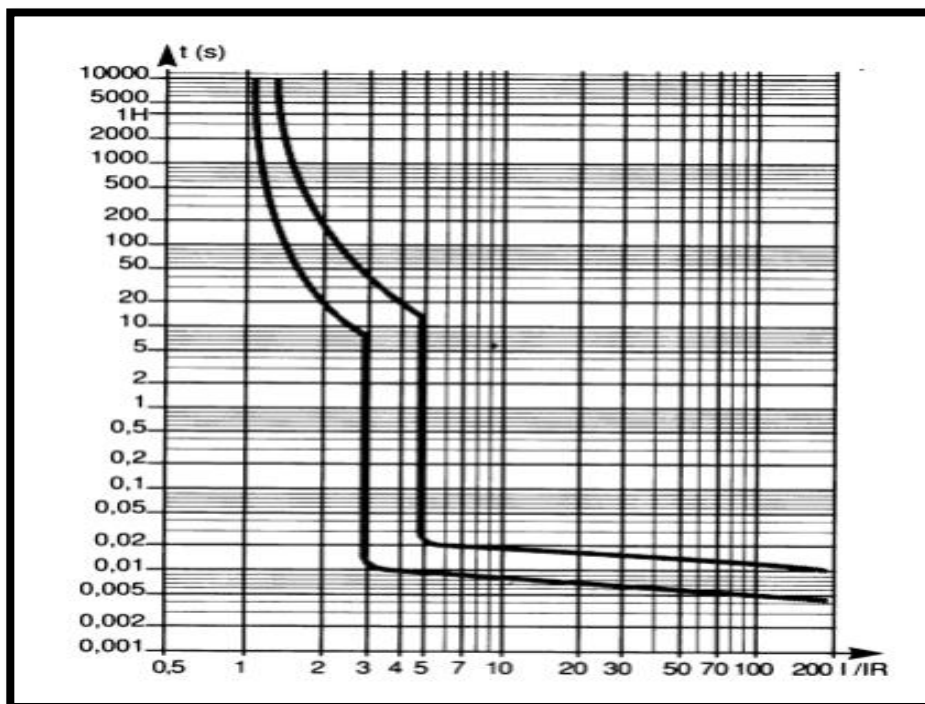
#### 2.1.4.3.2. Curvas del interruptor termomagnético

Cada tipo de curva se disparará de acuerdo a su intensidad nominal, y cada interruptor con una curva específica se utilizan en diversos tipos de instalaciones.

- Curva B

Se encuentran en generadores o líneas de transmisión. Como se muestra en la figura 6, el interruptor automático cambia de 3 - 5 in en su región magnética y de 1.1 - 1.4 in en la región térmica.

Figura 6. Curva B de disparo



Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC.*

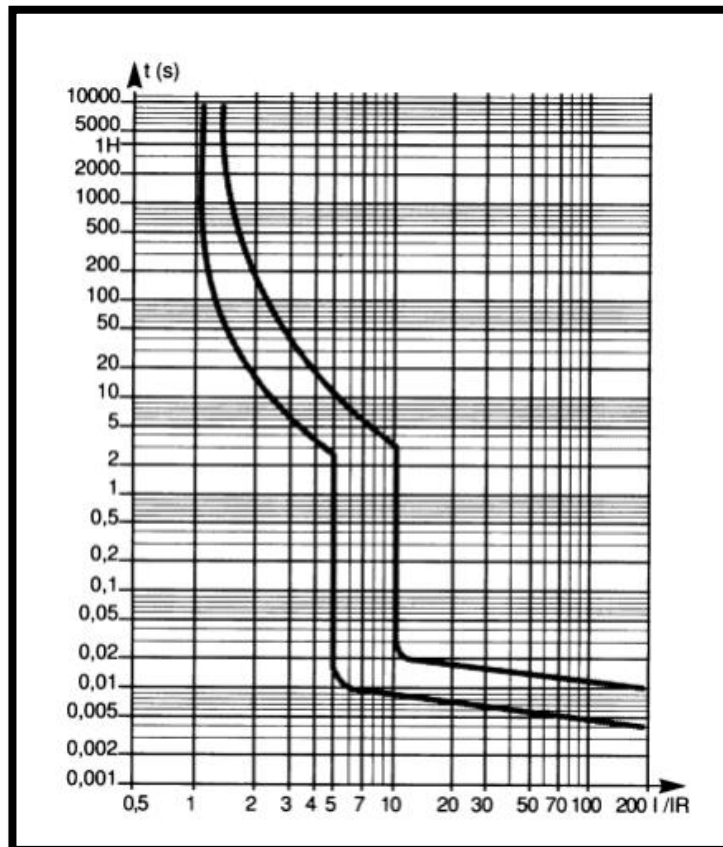
*Protección de las instalaciones de baja tensión.* Consultado el 20 de octubre de 2020.

Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

- Curva C

Esta protección se coloca en instalaciones domesticas como el sistema de iluminación y poder. El disparo en su zona magnética se da entre 5 y 10  $I_n$  como se observa en la figura 7 y entre 1.14 y 1.45  $I_n$  en su zona térmica.

Figura 7. **Curva C de disparo**

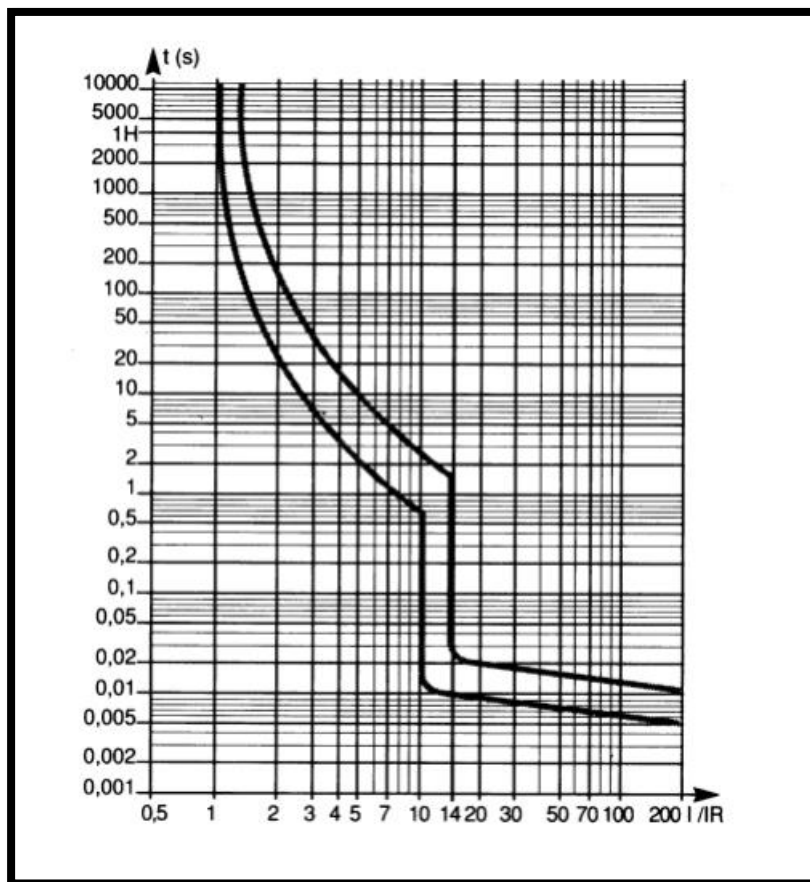


Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. Protección de las instalaciones de baja tensión*. Consultado el 20 de octubre de 2020.  
 Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

- Curva D

Esta protección está en los dispositivos de arranque de motor y del transformador. como se muestra en la figura 8, el interruptor automático se mueve entre 10 a 14  $I_n$  en su región magnética y de 1.1 a 1.4  $I_n$  en la región térmica.

Figura 8. **Curva D de disparo**

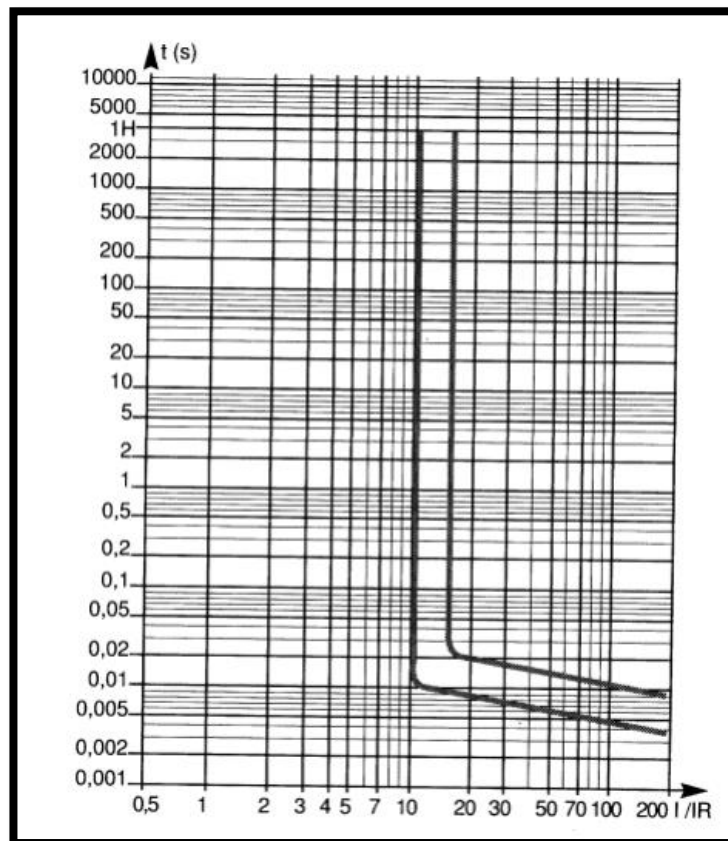


Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. Protección de las instalaciones de baja tensión*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

- Curva MA

Se encuentra en instalaciones donde haya motores, puede ser similar a la curva D, pero el tipo MA de curva no tiene protección contra sobrecargas. El disparo del interruptor en su zona magnética  $12 I_n$  como se contempla en la figura 9, no se da disparo en su zona térmica.

Figura 9. Curva MA de disparo

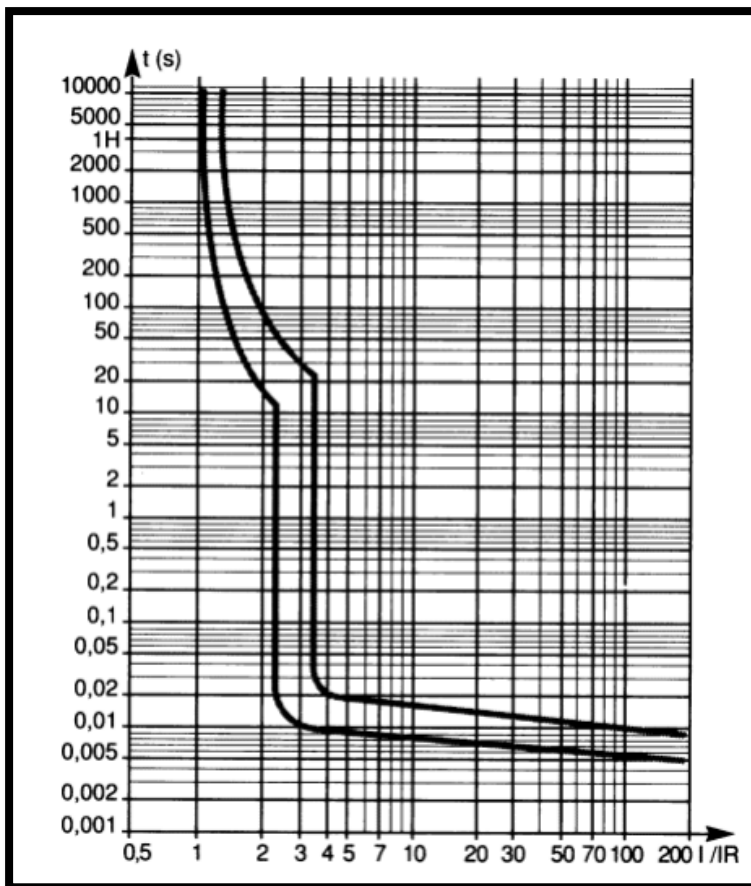


Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. protección de las instalaciones de baja tensión*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

- Curva Z

Esta protección se coloca para proteger equipos electrónicos. El disparo del interruptor en su zona magnética se da entre 2.4 y 3.6 in como se contempla en la figura 10, no se da disparo en su zona térmica.

Figura 10. **Curva Z de disparo**



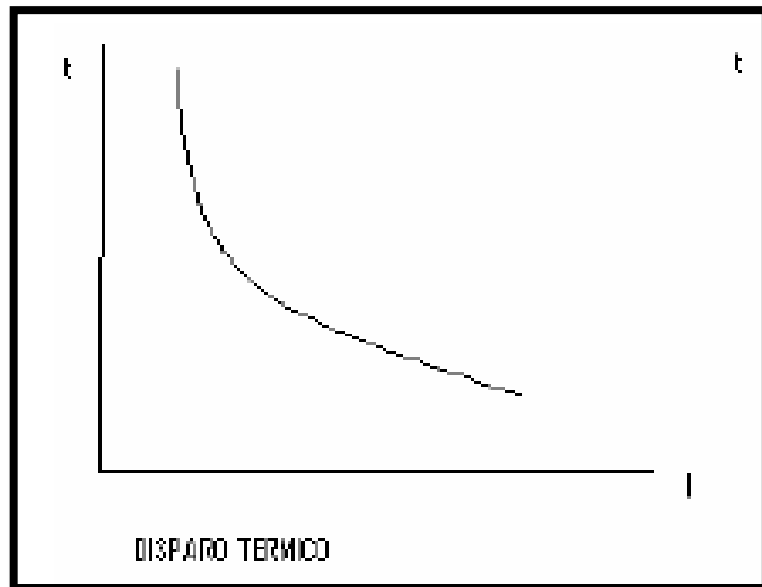
Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión* e ITC. *Protección de las instalaciones de baja tensión*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

#### 2.1.4.4. Pruebas de disparo

Prueba de corto circuito térmico: en esta prueba de disparo se hace pasar una corriente por un conductor paralelo al elemento metálico del interruptor, provocando que el conductor se caliente.

Un elemento térmico compuesto de varios metales diferentes soldados entre sí, la prueba causa deformación en el metal. Durante la sobrecarga constante, este elemento se dobla, lo que encamina a un sesgo del dispositivo de operación, exponiendo los contactos, lo cual provoca un disparo en el interruptor, abriendo los puntos.

Figura 11. **Curva de prueba disparo térmico**

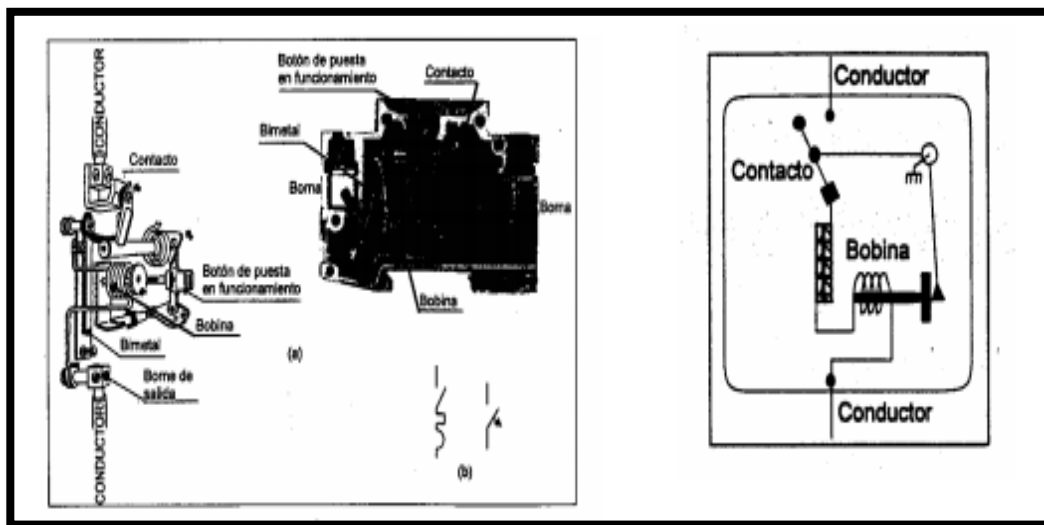


Fuente: Koenigsberger, R. (1982). *Instalaciones eléctricas*. p. 84.



Prueba de disparo magnético: a medida que aumenta la corriente dentro del núcleo, se genera un campo magnético que mueve el resorte en movimiento, interrumpiendo el circuito.

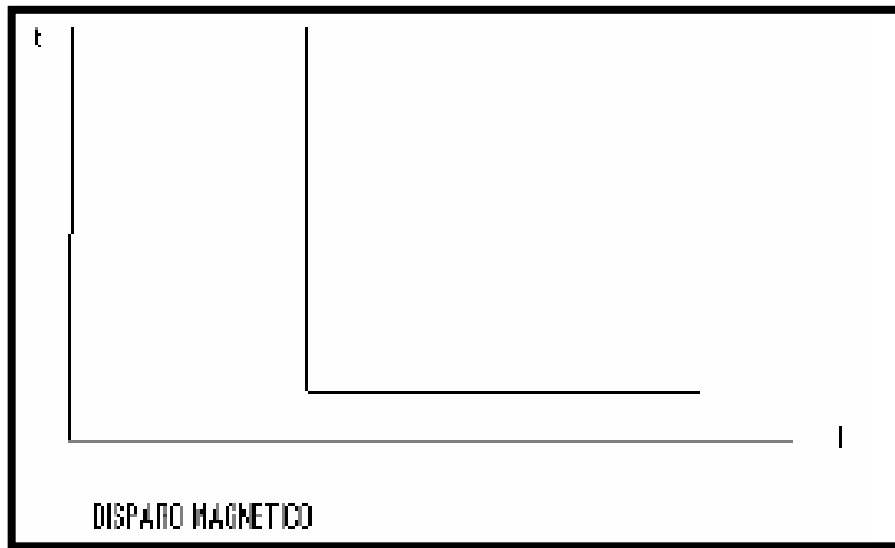
Figura 12. **Diagrama interruptor termomagnético**



Fuente: Boletín oficial del Estado. (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. Protección de las instalaciones de baja tensión*. Consulta: 20 de octubre de 2020.  
Recuperado de <http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

Como se muestra en la figura 12, la bobina se conecta en serie con la corriente consumida por su armadura y se conecta mecánicamente en el dispositivo de encendido cuando supera un cierto valor. Para evitar esto, el interruptor debe ser brusco para que el bimetálico no funcione porque reacciona lentamente.

Figura 13. **Curva prueba de disparo magnético**



Fuente: Koenigsberger, R. (1982). *Instalaciones eléctricas*. p. 84.

### **2.1.5. Cortocircuito**

Un cortocircuito ocurre cuando dos puntos potenciales entran en contacto entre sí, provocando una corriente enorme. La corriente de cortocircuito es mucho mayor que la corriente nominal o la corriente de carga que fluye a través de ella. Incluso cuando se instala con la protección más avanzada, aún puede ocurrir un cortocircuito.

#### **2.1.5.1. Método de componentes simétricas (teorema de Fortescue)**

El método de componentes simétricas se usa en un circuito trifásico para encontrar la corriente de cortocircuito y se implementa usando el teorema de

Fortescue, Grainger y Stevenson (1996) en su libro *Análisis de potencias* primera edición, definen un término de simetría como:

El trabajo de Fortescue prueba que un sistema desbalanceado de  $n$  fasores relacionados, se puede resolver con  $n$  sistemas de fasores balanceados llamados componentes simétricas de los fasores originales. Los  $n$  fasores de cada conjunto de componentes son iguales en longitud, y los ángulos entre fasores adyacentes de un conjunto son iguales. (p. 391)

Este método se puede usar para calcular el error de asimetría en un sistema trifásico simétrico, incluso si solo ocurre un error en condiciones de estado estable. Un sistema trifásico de corriente o tensión está equilibrado si la tensión o corriente de las tres fases tiene el mismo valor RMS y la diferencia de fase entre las dos fases es de  $120^\circ$ .

De acuerdo con la descripción de los componentes de simetría de Grainger y Stevenson (1996), un sistema trifásico desequilibrado se puede dividir en tres sistemas equilibrados.

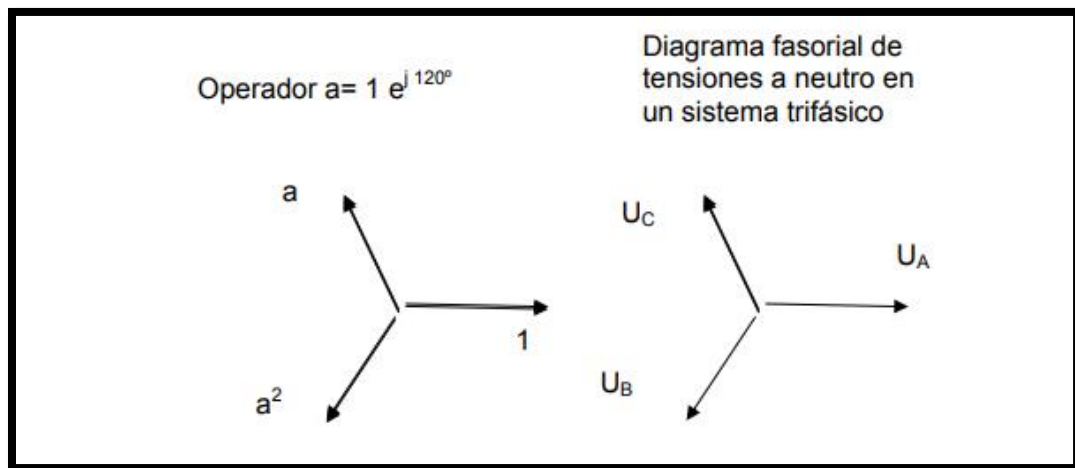
“Componentes de secuencia positiva que consisten en tres fasores de igual magnitud desplazados uno de otro por una fase de  $120^\circ$  y que tienen la misma secuencia de fase que los fasores originales” (p. 392).

“Componentes de secuencia negativa que consisten en tres fasores iguales en magnitud, desplazados en fase uno de otro en  $120^\circ$ , y que tienen una secuencia de fases opuesta a la de los fasores originales” (p. 392).

“Componentes de secuencia cero que consisten en tres fasores iguales en magnitud y con un desplazamiento de fase cero uno de otro” (p. 392).

El método de componentes simétricas resuelve circuitos trifásicos en condiciones de asimétrica. Al utilizar las componentes simétricas se encuentran un conjunto de variables asimétricas (flujo magnético, voltaje, corriente), dividiéndolo en varios sistemas simétricos, en la que serán del mismo número de fases del sistema.

Figura 14. **Diagrama fasorial de tensiones a neutro de un sistema trifásico**



Fuente: Universidad de Buenos Aires Argentina Facultad de Ingeniería. (2008). *Componentes simétricas*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/6509/CompSim-Versi%F3n%2031-3-08.pdf>.

Al utilizar fasores la transformación de Fortescue quedaría como lo siguiente:

$$\Rightarrow \text{Componentes simétricas} \begin{cases} \dot{U}^0 = \frac{1}{3} * (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \text{homopolar (secuencia cero)} \\ \dot{U}^+ = \frac{1}{3} * (\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C) \text{directa (secuencia positiva)} \\ \dot{U}^- = \frac{1}{3} * (\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C) \text{inversa (secuencia negativa)} \end{cases}$$

*Respecto a la fase "A"*

Expresando las ecuaciones en forma matricial, quedaría:

$$[\dot{U}'] = [s]^{-1}[\dot{U}]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}^0 \\ \dot{U}^+ \\ \dot{U}^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} \quad \text{ó} \quad [\dot{U}^{0+-}] = [s]^{-1}[\dot{U}_{ABC}]$$

Esta expresión es una transformada inversa de Fortescue.

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{U}^0 \\ \dot{U}^+ \\ \dot{U}^- \end{bmatrix} \quad \text{ó} \quad [\dot{U}_{ABC}] = [s][\dot{U}^{0+-}] \quad \text{o} \quad [U] = [s][U']$$

La última es la transformación de Fortescue directa. Lo hecho anteriormente se realizó para determinar las componentes de una sola fase, en este caso en referente a la fase A, para encontrar las otras componentes.

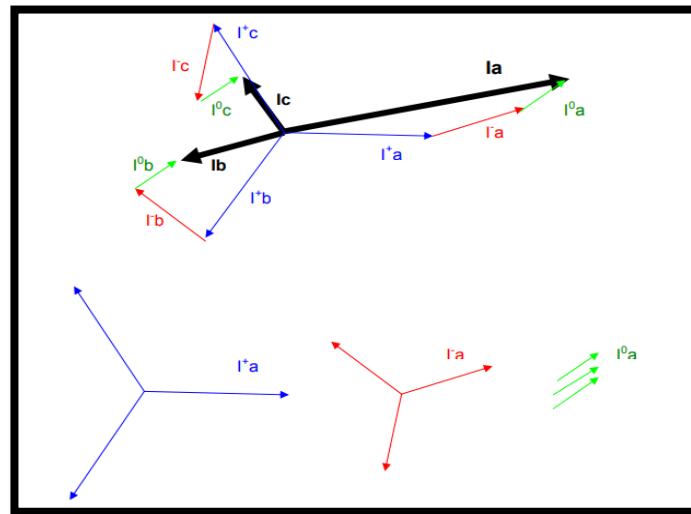
Como:

$$\sum U_{LÍNEA} = 0$$

Una secuencia particular de corrientes provoca una caída de voltaje en un circuito delta o estrella que tiene una impedancia simétrica en cada fase. El resultado le permite crear un circuito monofásico de tres órdenes que se supone que tiene los mismos datos que el circuito original.

Las tensiones de secuencia cero y negativa se miden en respecto para tierra o neutro. En la figura 15 se muestra un ejemplo de un sistema completo.

Figura 15. **Diagrama de corrientes descompuestas en componentes simétricas**



Fuente: Universidad de Buenos Aires Argentina Facultad de Ingeniería. (2008). *Componentes simétricas*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/6509/CompSim-Versi%F3n%2031-3-08.pdf>.

## 2.2. Elementos de una instalación eléctrica

A continuación, se describirán el conjunto de elementos que componen una instalación eléctrica en la cual podemos encontrar usualmente equipos de

medición, acometidas, interruptores, arrancadores, salidas de alumbrado y enchufes, entre otros.

### **2.2.1. Conductores**

- Los alimentadores: son conductores que van desde el interruptor principal, hasta la caja de *breakers*. Se utilizan colores en específico para cada cable, las líneas vivas se representan de color rojo y negro, verde para tierra y blanco para neutro.
- Tablero principal: es el lugar donde se localizan los dispositivos de protección de una instalación eléctrica. Debe tenerse en cuenta para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos de instalación, control, manipulación, distribución y conexión.
- Conductor: material eléctrico capaz de llevar la energía desde la fuente hasta el punto de consumo. El aluminio y el cobre son los metales más utilizados en las instalaciones eléctricas debido a su alta conductividad.
- Aislamientos eléctricos: son aquellos que separan el núcleo conductor del exterior. Es muy difícil distribuir circuitos en el sistema de energía si los cables no tienen ningún tipo de aislamiento. Esto ayuda a evitar cortocircuitos en la placa.

Los materiales aislantes más comunes utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son los polímeros de caucho y los termoplásticos. Los termoplásticos son materiales hechos de plásticos que cambian sus propiedades cuando se calientan o se enfrían.

PE: polietileno termoplástico, opera con temperatura de 60 °C  
XLPE: polietileno reticulado, opera con temperatura de 90 °C  
PVC: policloruro de vinilo, opera con temperaturas entre 70 y 80 °C  
EPR: goma etilen-propilénica, opera con temperatura de 90 °C

Los aislamientos tienen la siguiente denotación:

H: resistencia de calor hasta un 75 °C  
W: resistencia a la humedad  
R: aislamiento de tipo hule  
N: cubierta de nylon  
X: aislamiento de polímero sintético barnizado  
UF: para uso subterráneo  
T: aislamiento termoplástico  
HH: resistente al calor hasta 90 °C



**Tabla III. Clasificación de conductores y características de los aislamientos**

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEMP. OP. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACIÓN
Hule sintético o matl. Termofijo	RH	75	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor	Resistente a la humedad, retardadora de la flama, no metálica	Lugares secos
Hule sintético o matl. Termofijo	RHH	90	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor y a la flama		Lugares secos o húmedos
Hule sintético o matl. Termofijo	RHW	75	Hule sintético o material Termofijo resistente al calor, a la humedad y a la flama	Resistente a la humedad y a la propagación de la flama	Lugares secos o mojados
Hule sintético o matl. Termofijo	RHW/RHH	75/90	Material termofijo de etileno propileno, EPR, resistente al calor, a la humedad y a la propagación de la flama	Material elastomérico, termofijo, resistente a la humedad y a la flama	Lugares mojados/ Lugares secos y húmedos
Polietileno vulcanizado	RHW/RHH	75/90	Polietileno vulcanizado resistente al calor, a la humedad y a la flama	Ninguna	Lugares mojados/ Lugares secos y húmedos
Cable para acometida aérea	CCE	60	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama	Termoplástico resistente a la humedad y a la intemperie	Lugares secos y mojados
Cable para acometida aérea	BM-AL	75	Termoplástico resistente a la humedad y a la intemperie	Ninguna	Lugares secos y mojados
Termoplástico para tableros	TT	75	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la propagación de incendio, de baja emisión de humos y gas ácido	Ninguna	Lugares secos y húmedos. Alambrado de tableros
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60	Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados
Cable plano acometidas aéreas	TWD	60	Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados
Cable plano acometida aérea y sistemas foto voltaico	TWD-UV	60	Termoplástico resistente a la humedad, a la intemperie y a la propagación de incendio	Ninguna	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea
Termoplástico resistente al calor y a la flama	THHN	90	Termoplástico resistente al calor y a la propagación de la flama	Nylon o equivalente	Lugares secos solamente

Fuente: Araya Díaz, J. y Sandoval Ortega, F. (2001). *Conductores eléctricos*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de [https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES\\_ELECTRICOS](https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES_ELECTRICOS).

La selección de conductores se basa en la conductividad (capacidad de transportar corriente) y la caída de voltaje máxima permitida. American Wire Gauge (AWG) determina el grosor de los conductores en función del tamaño del área de la sección transversal del conductor, medida en milímetros cuadrados y miles de círculos, lo que determina la capacidad de corriente.

Generalmente, se utilizan conductores de cobre y aluminio, en instalaciones eléctricas pequeñas se utilizan conductores de cobre porque posee mejor aptitud de conducción ante un conductor de aluminio.

En la tabla IV, la capacidad de los conductores viene dada por su espesor y aislamiento. De acuerdo con el Código Eléctrico Nacional (NEC), esta tabla se encuentra en la sección 310, que regula la selección de conductores eléctricos de cobre o aluminio con factores de corrección de temperatura adjuntos.

Tabla IV. **Capacidad de los conductores eléctricos en función de su calibre y aislamiento**

Calibre mm <sup>2</sup>	Temperatura nominal del conductor						Calibre AWG o kcmils
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Fuente: National Electric Code. (2017). *Tabla 310-16 capacidad de corriente*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.tooltexas.org/wp-content/uploads/2018/08/2017-NEC-Code-2.pdf>.

### **2.2.2. Acometida**

Equipo eléctrico que se conecta a la red de distribución principal de la empresa de energía y utiliza esta energía en el sitio de la instalación eléctrica.

Las cometidas se conforma por:

- Conductores de acometida
- Conductores de entrada
- Sistema de medición (medidores)
- Sistema de desconexión (interruptores)

### **2.3. Objetivos de una instalación eléctrica**

Las instalaciones eléctricas deben permitir la distribución segura y eficiente de electricidad a todos los equipos conectados. Además, la instalación debe ser flexible, económica y fácil de operar.

#### **2.3.1. Eficiencia**

Es eficiente cuando se evitan consumos innecesarios como por ejemplo el fácil acceso a desconectar secciones de alumbrado o equipos cuando no se estén utilizando.

#### **2.3.2. Mantenimiento**

En una instalación eléctrica se deben efectuar periódica y sistemáticamente.

Para encontrar dispositivos que estén funcionando correctamente y en caso de que algún elemento este fallando, se haga alguna reposición.

### **2.3.3. Seguridad**

Una instalación eléctrica segura es una que no genera peligro para los equipos eléctricos suministrados o instalados por el usuario. Una de las principales formas de cuidar a los usuarios que trabajan cerca de instalaciones eléctricas es conectar a tierra todas las partes metálicas del sistema. Debe incluir un mecanismo para evitar que la puerta del panel se abra durante el uso.

La planificación debe centrarse en todos los operadores de la industria, personas en escuela, oficinas, etc. En las instalaciones eléctricas, las partes peligrosas deben asegurarse y ubicarse en lugares convenientes para evitar incendios y accidentes.

### **2.3.4. Flexibilidad**

Una instalación flexible es aquella que puede adaptarse a cualquier cambio que se realice en ella.

### **2.3.5. Accesibilidad**

En una instalación eléctrica bien diseñada, el total de dispositivos eléctricos que puedan requerir mantenimiento deben ser accesibles. Como el lugar para el montaje y desmontaje de grandes equipos eléctricos y el pasillo detrás del tablero. También es necesario contar con planos de instalación como diagramas y gráficos.

## **2.4. Red de tierras**

Su principal función es de evitar descargas eléctricas al usuario. Es un sistema de varillas conectadas a la tierra que dispersan la corriente eléctrica hacia la tierra del lugar.

### **2.4.1. Puesta a tierra**

El principal objetivo es de proteger a los usuarios de equipos eléctricos conectados en un sistema eléctrico. También protege a los circuitos de pérdidas de corriente que pueden ser ocasionados por cables en mal estado.

### **2.4.2. Resistividad eléctrica**

La resistividad eléctrica es importante conocerla en el lugar donde se desea realizar un diseño de puesta a tierra, para conocer la capacidad que tiene el suelo de conducir corriente eléctrica, el valor de resistividad puede variar según sea el tipo de suelo, la humedad, sales solubles y demás compuestos.

#### **2.4.2.1. Método de Wenner**

En este método se utilizan 4 varillas que se entierran en el suelo donde se desea realizar el estudio de resistividad, a una profundidad  $b$ , separadas entre si a una distancia  $a$  en línea recta. Luego se pasa corriente en los extremos de las varillas para medir el voltaje entre las varillas de en medio. Despejando la resistencia de la ley de ohm se obtiene el valor de esta.

$$R = \frac{V}{I}$$

Una vez se obtiene el valor de resistencia con el método de arreglo de Wenner se tiene el valor de resistividad. Igualmente, espaciado o arreglo Wenner.

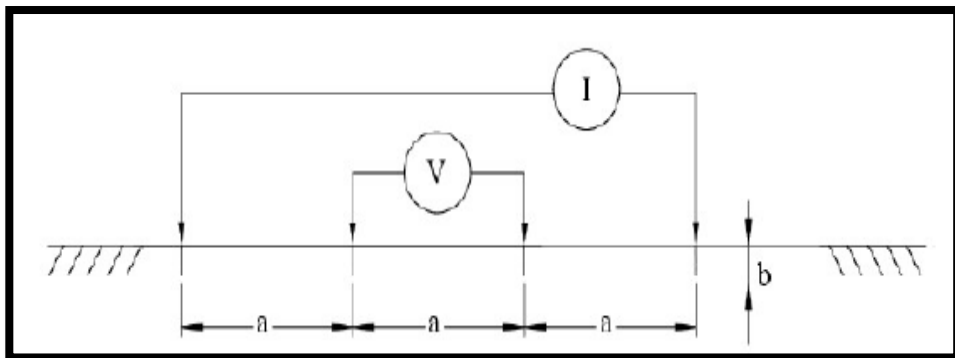
Con la resistencia obtenida del método de Wenner se utiliza la siguiente fórmula para encontrar el valor de resistividad teórica del terreno donde se realiza el estudio de diseño de tierra.

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Usualmente, la distancia  $b$  tiene un valor muy pequeño que, por lo general, no es superior a  $0.1a$ , entonces se puede asumir que  $b=0$ . Sustituyendo los valores anteriormente descritos en la fórmula de resistividad se obtiene que la fórmula quedaría de la siguiente forma:

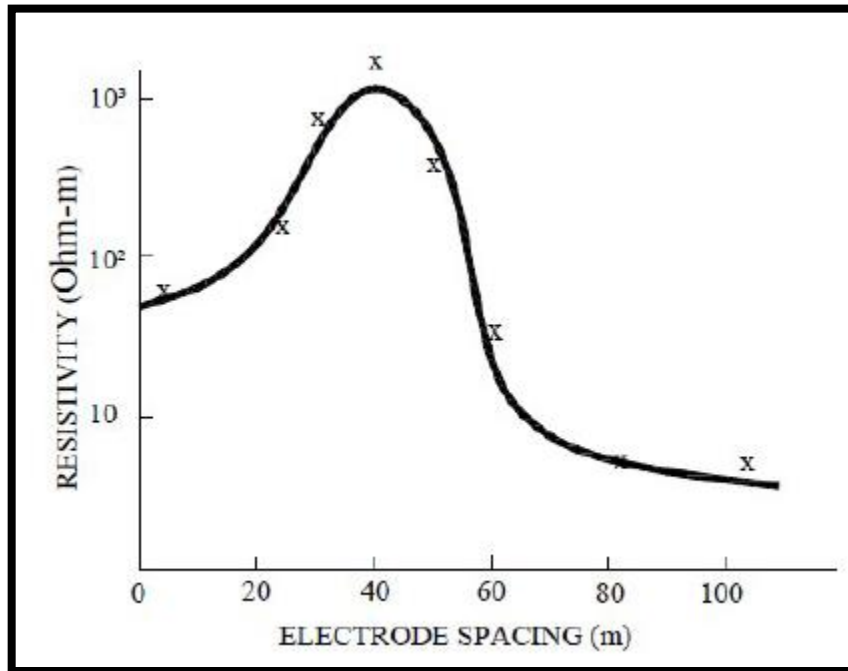
$$\rho_a = 2\pi a$$

Figura 16. **Método de igualmente espaciado**



Fuente: Sinchi Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. p. 6.

Figura 17. Curva de resistividad típica



Fuente: Sinchi. Sinchi., F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. p. 5.

#### 2.4.2.2. Método de Schlumberger

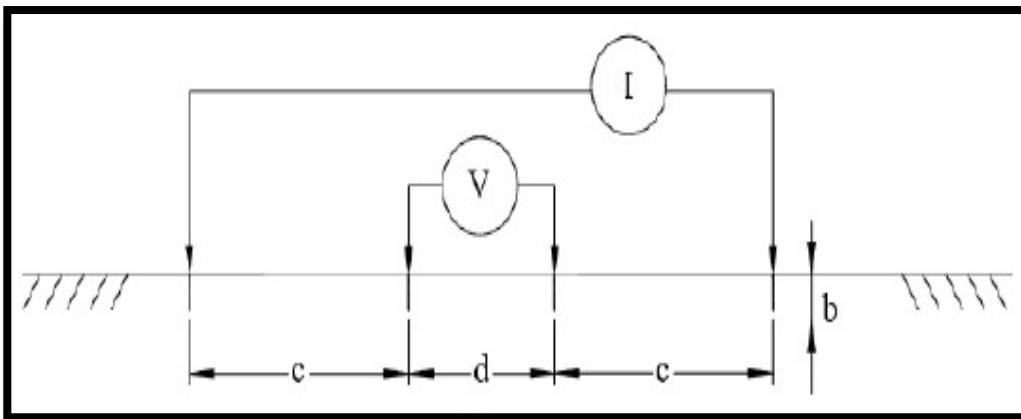
En este método las varillas de en medio se ponen en un intervalo  $d$  que comúnmente esta distancia es muy cercana y las varillas exteriores se colocan a una distancia  $c$  muy alejadas de las de en medio. Por lo tanto, al medir a diferentes profundidades solo se necesita cambiar de lugar las varillas de los extremos.



Si se asume que  $b < c$  y  $d$ ; y  $2c > d$ , entonces, al sustituir los valores en la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\rho_a = \frac{\pi c(c + d)R}{d}$$

Figura 18. **Varas separadas de manera desigual**



Fuente: Sinchi Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. p. 6.

#### 2.4.2.2.1. Ecuación de Dwight

Es ideal que un sistema de tierras tenga un valor pequeño de resistencia. En industrias, subestaciones, centros comerciales o edificios el valor debería ser de 1-5 ohms. Las normas NTDOID especifican que no debe exceder de 25 ohms. Todas las ecuaciones que describe Dwight son utilizadas para sistemas de baja resistencia. En este informe se utilizó las ecuaciones de longitud  $L$  (ver anexo 4 para verificar configuraciones de diferentes varillas).

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Donde:

P: resistividad del terreno [ $\Omega$  m]

L: longitud de la varilla [m]

A: radio de la varilla [m]

#### **2.4.2.3. Elementos que intervienen en la resistividad de un terreno**

La resistividad del terreno se verá afectada por varios factores que se describen a continuación.

- Humedad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales
- Salinidad
- Temperatura
- Naturaleza del terreno

#### **2.4.2.4. Electrodo de puesta a tierra**

Son varillas que se adhieren al suelo y se usan para hallar áreas de más humedad y menos resistencia. Los electrodos se fabrican en tubos o varillas de acero galvanizado o cobre soldado, debido a su resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.

### 2.4.3. Medición de tierra en el edificio del VISAR

En los terrenos ubicados en las afueras del edificio del VISAR se utilizó el medidor de tierras MEGGER DET4TD2. Las ecuaciones utilizadas fueron las de Wenner. Se pusieron 4 varillas a una separación de  $a = 4$  m cada una y enterradas con valor  $h = 0.1$  a.

Se realizó la medición 10 veces para encontrar un valor promedio de resistividad y utilizando la ecuación de Wenner se obtuvieron los valores.

$$\rho_a = 2\pi aR$$

Tabla V. **Cuadro de resistencia y resistividad del terreno**

Edificio del VISAR		
No.	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )
1	6.55	164.62
2	6.52	163.87
3	5.58	140.24
4	5.59	140.49
5	5.58	140.24
6	5.58	140.24
7	5.59	140.49
8	5.65	142.00
9	6.53	164.12
10	5.69	143.01

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Luego de encontrar los valores de resistividad del terreno del VISAR, se compara con los valores típicos de resistividad del suelo de la tabla VI.

Tabla VI. **Valores típicos de resistividad del suelo**

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega \cdot m</math>)</b>
<b>Terrenos</b>	De algunas unidades a 30
<b>Limo</b>	20 a 100
<b>Humos</b>	10 a 150
<b>Turba húmeda</b>	5 a 100
<b>Arcilla plástica</b>	50
<b>Margas y arcillas compactas</b>	100 a 200
<b>Margas del jurásico</b>	30 a 40
<b>Arena arcillosa</b>	50 a 500
<b>Arena silíceas</b>	200 a 3 000
<b>Suelo pedregoso cubierto de césped</b>	300 a 500
<b>Suelo pedregoso desnudo</b>	1,500 a 3,000
<b>Calizas blandas</b>	100 a 300
<b>Calizas compactas</b>	1,000 a 5,000
<b>Calizas agrietadas</b>	500 a 1000
<b>Pizarras</b>	50 a 300
<b>Rocas de mica y cuarzo</b>	800
<b>Granitos y gres procedente de alteración</b>	1,500 a 10,000
<b>Granitos y gres muy alterados</b>	100 a 600

Fuente: CHAUVIN ARNOUX IBÉRICA, S. A. (2015). *Guía de la medición a tierra*. Consultado el 15 de septiembre de 2021. Recuperado de [https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat\\_guia\\_de\\_medicion\\_de\\_tierra\\_ed2.pdf](https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf).

Analizando los valores de la resistencia con las normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID), la cual indica en el artículo 33 que:

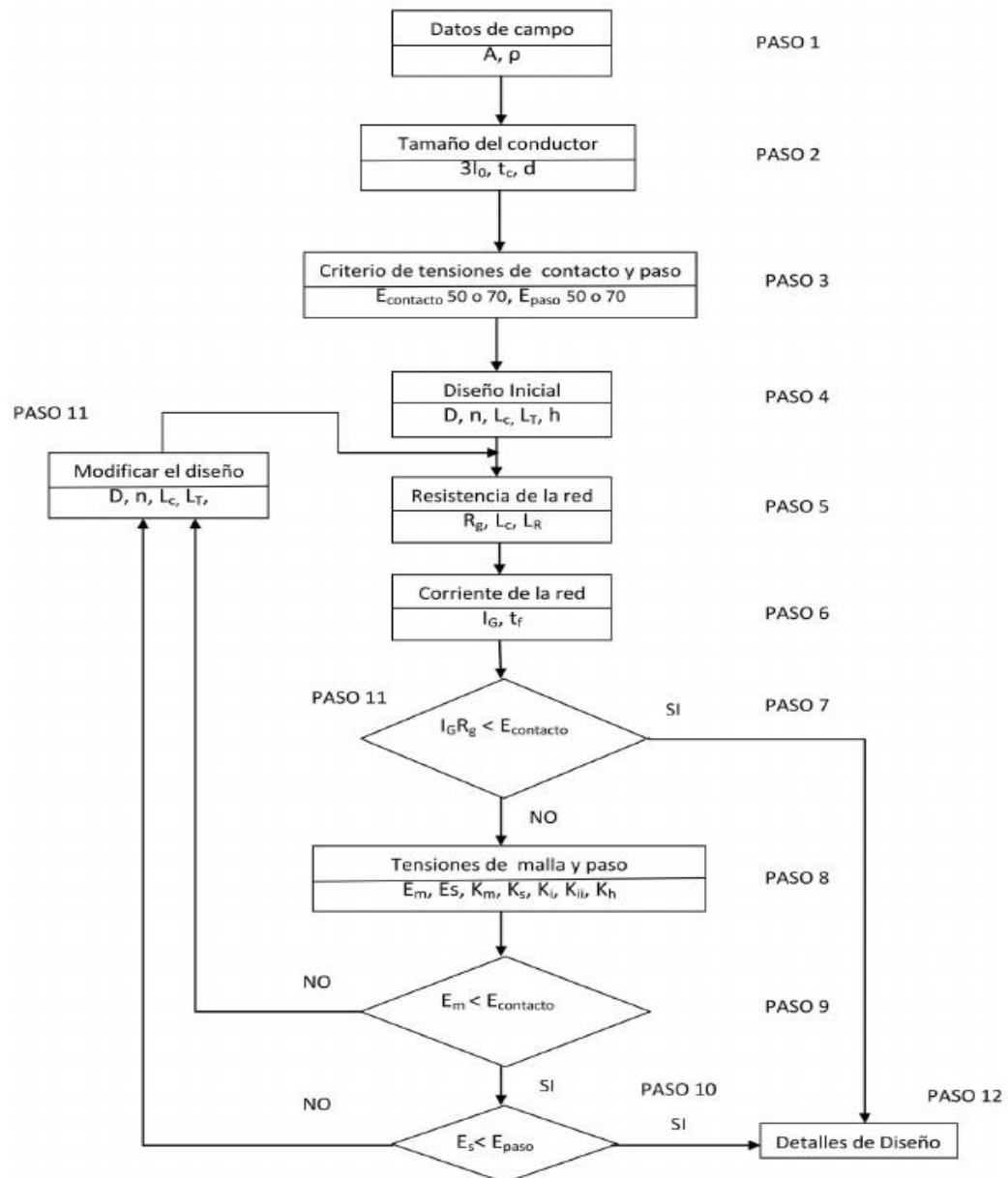
La resistencia a tierra de una conexión individual a través de un electrodo deberá ser lo más cercana a cero ohmios, y en ningún caso deberá ser mayor de 25 Ohmios. Cuando la resistencia es mayor de 25 ohmios, deberán usarse dos o más electrodos hasta alcanzar este valor. El valor citado, es el máximo admisible medido en época seca. (CNEE, 1999, p. 46)

Al comparar las tablas V y VI, la naturaleza del terreno edificio del VISAR está dentro de los Margas y arcillas compactas que están comprendidos entre 100 a 200 ( $\Omega \cdot m$ ). El valor de resistencia de tierra está muy por debajo del máximo recomendado (25  $\Omega$ ), por lo que no es necesario un diseño de tierra complejo, serían suficientes electrodos de toma a tierra.

## **2.5. Diseño de una puesta a tierra**

Para el diseño de una puesta a tierra se debe tomar en cuenta la norma IEEE 80-2013 la cual dicta los pasos a seguir para hacer el diseño. En esta norma especifica los parámetros esenciales que son necesarios para el diseño de puesta a tierra como lo son la cantidad de varillas, ubicación del terreno, espaciamiento y longitud. Usualmente se entierran las varillas a una distancia de 0.3 – 0.5m y la distancia entre las varillas comúnmente es de 3 a 7 m. La figura 19 describe el diagrama de bloques.

Figura 19. Diagrama de bloque para el diseño de una puesta a tierra, según estándar IEEE 80-2013



Fuente: IEEE- SA Standard Board. (2013). *Diagrama de bloques del procedimiento del diseño, según el estándar IEEE 80-2013*. p. 92.

### **2.5.1. Conductores**

Un buen conductor dictara la longevidad del sistema de puesta a tierra durante muchos años. Los conductores que se utilizan en los sistemas de puesta a tierra son:

- Cobre

Conductor utilizado más frecuentemente y también presenta buena conductividad eléctrica.

- Acero con revestimiento de cobre

Se instala en lugares donde el robo de material sea frecuente.

- Aluminio

No es utilizado tan frecuentemente porque presenta las siguientes desventajas:

Están sujetos a abrasión en algunos terrenos y no es recomendado su uso bajo tierra.

La corriente alterna puede desgastar el conductor en condiciones determinadas.

- Acero

Se utiliza cuando el cobre no puede ser instalado por las circunstancias del terreno.

## Cálculo del calibre del conductor

Se determina utilizando la fórmula:

$$A_{mm^2} = \frac{I_F}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde:

$\rho_r$ : resistividad del conductor a tierra con temperatura de referencia  $T_r$  [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ].

$I_F$ : máxima corriente de falla asimétrica [kA].

$\alpha_r$ : coeficiente térmico de resistividad a temperatura referencia  $T_r$  [ $1/^\circ\text{C}$ ].

TCAP: factor de capacidad térmica por unidad de volumen, los valores se observan en la tabla VII [ $\text{J}/(\text{cm}^3 * ^\circ\text{C})$ ].

$T_m$ : temperatura de fusión máxima [ $^\circ\text{C}$ ].

$K_0$ : es  $1/\alpha_0$  o  $(1/\alpha_0) - T_r$  [ $^\circ\text{C}$ ].

$T_r$ : temperatura de referencia de las constantes de los materiales [ $^\circ\text{C}$ ].

$\alpha_0$ : coeficiente térmico de resistividad a  $0^\circ\text{C}$  [ $1/^\circ\text{C}$ ].

$A_{mm^2}$ : área transversal del conductor [ $\text{mm}^2$ ].

$t_c$ : tiempo de corriente de falla [s].

$T_a$ : temperatura ambiente [ $^\circ\text{C}$ ].

A una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  se describen en la tabla VII los valores de  $\alpha_r$  y

$\rho_r$ .



Tabla VII. **Constantes de los materiales**

Descripción	Conductividad del material (%)	Factor $\alpha_r$ a $20^\circ C$ ( $1/^\circ C$ )	$K_0$ a $0^\circ C$ ( $^\circ C$ )	Temperatura de fusión $T_m$ ( $^\circ C$ )	$\rho_r$ a $20^\circ C$ ( $\mu\Omega \cdot cm$ )	Capacidad térmica $TCAP$ [ $J/(cm^3 \cdot ^\circ C)$ ]
Cobre destemplado trenzado suave	100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.4
Cobre comercial trenzado duro	97.0	0.00381	242	1084	1.78	3.4
Alambre de acero con revestimiento de cobre	40.0	0.00378	245	1084	4.40	3.8
Alambre de acero con revestimiento de cobre	30.0	0.00378	245	1084	5.86	3.8
Varilla de acero con revestimiento de cobre	17.0	0.00378	245	1084	10.1	3.8
Alambre de acero con revestimiento de aluminio	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.561
Acero, 1020	10.8	0.00377	245	1510	15.90	3.8
Varilla de acero con revestimiento inoxidable	9.8	0.00377	245	1400	17.50	4.4
Varilla de acero con capa de zinc	8.6	0.00320	293	419	20.10	3.9
Acero inoxidable 304	2.4	0.00130	749	1400	72.00	4.0

Fuente: Sinchi Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. p. 11.

Se selecciona el conductor al cumplir con lo siguiente:

- Debe ser capaz de resistir el aprovechamiento mecánico y la corrosión en toda la vida útil del sistema.
- Debe tener una conductividad alta para evitar caídas de voltaje peligrosas.
- Es importante aplicar el factor de seguridad a todo el sistema de puesta a tierra.

### **2.5.2. Tensiones tolerables**

Las tensiones tolerables de paso y contacto se deben de encontrar para la seguridad del ser humano. En las siguientes fórmulas se describe como encontrar los valores de estas tensiones para personas de 50 y 70 kg.

Tensión de paso con peso corporal de 50 y 70 kg:

$$E_{paso\ 50kg} = (1,000 + 6C_s X \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{paso\ 70kg} = (1,000 + 6C_s X \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Tensión de contacto con peso corporal de 50 kg y 70 kg:

$$E_{contacto\ 50kg} = (1,000 + 1.5C_s X \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{contacto\ 70kg} = (1,000 + 1.5C_s \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$C_s$  factor de decremento de la capa superficial

$E_{paso}$  tensión de paso [V]

$\rho_s$  resistividad de la capa superficial del suelo [ $\Omega \cdot m$ ]

$t_s$  tiempo de falla [s]

$E_{contacto}$  tensión de contacto [V]

Usualmente la duración del tiempo  $t_s$  y  $t_f$  se consideran iguales. Valores comunes de  $t_s$  y  $t_f$  varían entre 0.25 s a 1 s. El valor de  $C_s$  se encuentra de la siguiente ecuación:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

Donde:

$h_s$  espesor de la capa superficial [m]

$p$  resistividad del suelo [ $\Omega \cdot m$ ]

Al no haber capa superficial el factor  $C_s=1$ , por lo tanto,  $p_s=p$ .

### 2.5.3. Corriente admisible de malla $I_G$

Con el fin de evitar sobrecargas se necesita que la corriente de falla pase sobre una malla de tierra. El valor de corriente máxima de malla se obtiene con la siguiente fórmula:

$$I_G = D_f * I_g = D_f * S_f * I_f$$

Donde:

- $S_f$  factor de división de corriente de falla  
 $I_g$  corriente eficaz simétrica de la malla [A]  
 $I_f$  corriente eficaz de falla simétrica a tierra[A]  
 $D_f$  factor de disminución para toda la duración  $t_f$  de la falla  
 $I_G$  corriente de malla máxima [A]

En la tabla VIII se encuentran los valores del factor  $D_f$ . Se utiliza el factor de disminución para calcular el valor rms y eficaz de la corriente a un tiempo de falla  $t_f$ .

Tabla VIII. Valores de  $D_f$

Duración de falla, $t_f$		Factor de decremento, $D_f$			
Segundos	Ciclos a 60 Hz	$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Fuente: Sinchi Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. p. 18.

#### 2.5.4. Potencial admisible de malla GPR

La fórmula para encontrar el valor del potencial máximo de malla GPR es la siguiente:

$$GPR = I_G * R_g$$

Donde:

$R_g$  resistencia de la malla [ $\Omega$ ]

Cuando  $GPR > E_{\text{contacto}}$ , los equipos se pueden conectar al sistema de tierra.

#### 2.5.5. Tensiones de paso y contacto reales

La tensión de paso real se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{L_s}$$

Donde:

$L_s$  longitud efectiva del conductor para la tensión de paso [m]

$K_s$  factor de espaciamiento para la tensión de paso

$\rho$  resistividad del suelo [ $\Omega$  m]

$E_s$  tensión de paso [V]

$K_i$  factor de corrección para la geometría de la malla

Para encontrar el valor de la longitud efectiva  $L_s$  del conductor se utiliza la siguiente fórmula:

$$L_s = 0.75 * L_C + 0.85 * L_R$$

Donde:

$L_R$  longitud total de todas las varillas instaladas [m]

$L_C$  longitud total del conductor de la malla [m]

El factor de esparcimiento se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Donde:

$n$  número de conductores paralelos en una malla

$h$  profundidad donde se encuentra instalada la malla [m]

$D$  espaciamiento entre conductores paralelos [m]

El factor de corrección se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n$$

La tensión de contacto real se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_M}$$

Donde:

$L_M$  longitud efectiva del conductor de la malla para la tensión de contacto [m]

$E_m$  tensión de contacto [V]

$K_m$  factor de espaciamiento para la tensión de contacto

El factor de corrección  $K_m$  se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

$K_h$  factor de ponderación correctivo de acuerdo a la profundidad de la malla.

$d$  diámetro del conductor de la malla [m].

$K_{ii}$  factor de ponderación correctivo que se ajusta para efectos de conductores internos.

Para mallas donde las varillas se instalan a lo largo de su perímetro o en sus esquinas el factor  $K_{ii}$  equivale a 1.

$$K_{ii} = 1$$

Y cuando las mallas no tienen varillas instaladas, pocas o ninguna el factor  $K_{ii}$  equivale de la siguiente manera:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}}$$

$K_h$  equivale a:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$h_0 = 1$  m (profundidad de referencia de la malla)

Para el cálculo del número de conductores en paralelo de una malla:

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

Donde:

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

$n_d = 1$  para mallas rectangulares, en forma de "L" y cuadradas.

$n_b = 1$  para mallas cuadradas.

$n_c = 1$  para mallas rectangulares y cuadradas.

Lo que resulta en:

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A}\right)^{\frac{0.7A}{L_x L_y}}$$

$$n_b = \frac{D_n}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$



Donde:

- A      área de la malla [m<sup>2</sup>]
- D<sub>m</sub>    distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla [m]
- L<sub>C</sub>    longitud total del conductor de la malla [m]
- L<sub>y</sub>    longitud máxima de los conductores de malla en dirección de y [m]
- L<sub>p</sub>    longitud perimetral de la malla [m]
- L<sub>x</sub>    longitud máxima de los conductores de malla en dirección de x [m]

La longitud efectiva de la malla cuando las varillas se encuentran posicionadas en las esquinas, se obtiene con la ecuación:

$$L_M = L_C + L_R$$

Donde:

- L<sub>R</sub>    longitud total de todas las varillas instaladas [m]
- L<sub>C</sub>    longitud total del conductor de la malla [m]

La longitud efectiva de la malla cuando las varillas se encuentran posicionadas en las esquinas y a través de todo el perímetro, se obtiene con la ecuación:

$$L_M = L_C + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R$$

- L<sub>R</sub>    longitud de cada varilla instalada [m]

### **2.5.6. Lugar donde se realizará el estudio de tierras**

En las cercanías del edificio del viceministerio se encuentra un terreno en donde se realizaron las medidas de tierra física eléctrica con aparatos de medición, para el diseño de una tierra física se tomará un área de 5 metros largo y un ancho de 5 metros, siendo el área total 25 m<sup>2</sup>. El valor promedio de resistividad es de 147.93  $\Omega \cdot m$ , el cual se obtuvo de la tabla V.

### **2.5.7. Conductor**

Se tomó como referencia una corriente de falla a tierra  $I_f = 1,000 \text{ A}$ , mediante la tabla VIII se obtuvo el valor del factor de decremento  $D_f$  si se toma en cuenta el valor  $X/R = 10$  con un tiempo de falla  $t_f = 0.50s$ , entonces el factor  $D_f$  sería de 1.026.

El valor de corriente de falla asimétrica se encontró la ecuación:

$$I_F = I_f \times D_f$$

$$I_F = 1,000 \times 1.026$$

$$I_F = 1,026 \text{ A}$$

Con esta corriente podemos encontrar el diámetro necesario del conductor que se utilizara en el sistema de puesta a tierra.

Con el fin de hacer el diseño lo más seguro posible se utilizará el conductor tipo alambre de acero con revestimiento de cobre, el cual tiene una conductividad del 30 % y su temperatura ambiente de 20 °C.

Con la ecuación del calibre del conductor (ver capítulo 2.5.1) se obtiene lo siguiente:

$$A_{mm^2} = 4.36 \text{ mm}^2$$

El resultado se compara con la tabla IV y así se encontró que el calibre del conductor es de #10 AWG.

### **2.5.8. Tensiones tolerables**

La Norma IEEE 80-2013 describe las tensiones tolerables como:

La importancia de aumentar el límite de las tensiones de paso y de contacto tolerables, con la distribución de una pequeña capa superficial de grava, que normalmente tiene un espesor entre 0.10 m y 0.15 m, la cual cuenta con una resistividad de  $3,000 \Omega \cdot \text{m}$ . (Sinchi Sinchi, 2017, p. 42)

Para calcular las tensiones tolerables es indispensable encontrar el valor del factor de decremento de la capa superficial  $C_s$ , el valor de  $C_s$  se encontró de las fórmulas descritas en el capítulo 2.5.2. El factor  $C_s$  tendría el siguiente valor:

$$C_s = 0.70$$

Las tensiones de contacto y paso para una persona de 70 Kg se calcularon con un tiempo de falla de 0.50 s.

$$E_{paso \ 70kg} = 3,019.63 \text{ V}$$

$$E_{contacto \ 70kg} = 921.43 \text{ V}$$

### 2.5.9. Cálculo básico de diseño de tierras con estándar IEEE 80-2013

Instalar conductores a lo largo de todo el perímetro del terreno para tener un sencillo acceso a los conductores de puesta a tierra de los equipos. La siguiente fórmula se utilizó para encontrar la resistencia de las varillas que se utilizarán en el edificio del VISAR:

$$R_{var} = \left( \frac{\rho}{2\pi L} \right) \left[ \ln \left( \frac{4L}{r} \right) - 1 \right]$$

Donde:

Rvar resistencia de las varillas [ $\Omega$ ]

L longitud varilla [m]

r radio de la varilla [m]

p resistividad del suelo [ $\Omega \cdot m$ ]

Para cálculos del diseño de tierra se utilizarán longitudes de varillas de 2.4 m y radio de 5/8". Sustituyendo los datos anteriores en la fórmula de resistencia, la ecuación queda como:

$$R_{var} = \left( \frac{147.93}{2\pi * 2.4} \right) \left[ \ln \left( \frac{4 * 2.4}{0.0158} \right) - 1 \right]$$
$$R_{var} = 53.06 [\Omega]$$

Se utilizarán 2 varillas de modo que la resistencia que se obtuvo anteriormente se divide por el número de varillas que se utilizarán, lo cual da como resultado 26.53  $\Omega$ . Estas varillas tienen que estar unidas por un cable conductor.

La resistencia del conductor se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_{cond} = \left( \frac{\rho}{2\pi L} \right) * \left( \ln \left( \frac{2L}{r} \right) + \ln \left( \frac{L}{p} \right) - 2 \right)$$

Donde:

Rcond          resistencia del cable conductor [ $\Omega$ ]

L          longitud del conductor [m]

r          radio del conductor [m]

p          resistividad del suelo [ $\Omega \cdot m$ ]

p          profundidad [m]

Si se utiliza un conductor calibre #2/0, el cual es un calibre recomendado en corrientes de fallas de entre 400 a 5,000 A, que tiene radio de 0.00463 m, distancia de 15 m y una profundidad de 0.5m, se calculará la resistencia del conductor:

$$R_{cond} = \left( \frac{147.93}{2\pi * 15} \right) * \left( \ln \left( \frac{2 * 15}{0.00463} \right) + \ln \left( \frac{15}{0.5} \right) - 2 \right)$$

$$R_{cond} = 15.97 [\Omega]$$

El valor de la resistencia total se obtuvo mediante la ecuación en paralelo de 2 resistencias. Al sustituir los valores encontrados de resistencias se obtiene que la resistencia total es de 9.97 ohms.

$$R_{sistema} = \frac{R_{var} * R_{cond}}{R_{var} + R_{cond}}$$

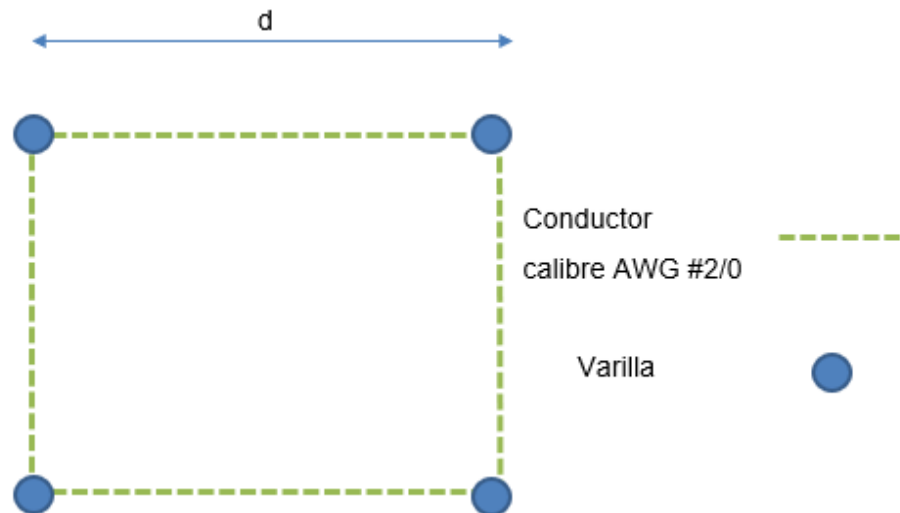
$$R_{sistema} = \frac{26.53 * 15.97}{26.53 + 15.97}$$

$$R_{sistema} = 9.7 [\Omega]$$

La resistencia total está dentro del valor permitido de las normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución, si se requiere cambiar el valor de resistencia, podemos aumentar el número de varillas y cambiar el tipo del conductor.

El diseño básico de una malla de tierra quedaría de la siguiente manera:

Figura 20. **Diseño de malla de tierra**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Donde:

- d es igual a 5 m
- 4 varillas de 2.4 m c/u

#### **2.5.10. Corriente admisible de malla**

Si el valor del factor de división  $f_s=1$ , entonces la corriente máxima de falla quedaría de la siguiente manera:

$$I_G = 1,026 A$$

#### **2.5.11. Potencial admisible de malla**

El potencial máximo de malla se calcula de la ecuación del capítulo 2.5.4 y con la resistencia de malla que se obtuvo en el diseño de conexión a tierra.

$$GPR = 10,229.22 V$$

$GPR > E_{\text{contacto}}$ , es necesario el diseño de tierra en el edificio del VISAR.

#### **2.5.12. Tensiones de paso y contacto reales**

Las variables necesarias para encontrar las tensiones de paso y contacto reales se describen en la tabla IX.

Tabla IX. Datos para calcular las tensiones de paso y contacto reales

Variables del sistema	
Descripción	Valores
Resistividad del terreno = p	147.93
Profundidad de la malla = h	0.5 m
Diámetro del conductor = d	0.00926 m
Distancia entre conductores = D	15 m
Longitud de varilla = Lr	2.4 m
Longitud total de las varillas = LR	4.8 m
Corriente de malla = IG	1,026 A
Longitud de la malla en el eje x = Lx	5 m
Longitud de la malla en el eje y = Ly	5 m
Longitud total del conductor horizontal = LC	25 m
Longitud del perímetro = Lp	25 m
h0	1
Número de conductores paralelos = n	2
Longitud efectiva del conductor para la tensión de paso = Ls	22.83
Factor de espaciamiento para la tensión de paso = Ks	0.33
Factor de corrección para la geometría de la malla = Ki	0.94
Longitud efectiva del conductor para tensión de contacto = LM	28.53 m
Factor de ponderación correctivo para efectos de conductores internos = Kii	1
Factor de ponderación correctivo = Kh	1.22
Factor espaciamiento para la tensión de contacto = Km	1.26

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Con los valores de la tabla IX, se calcularon las tensiones reales de las ecuaciones del capítulo 2.5.5.

$$E_{paso} = 2,062.24 V$$

$$E_{contacto} = 6,328.66 V$$



### 2.5.13. Seguridad del diseño de tierras

Según dicta la Norma IEEE 80-2013 para que un diseño de puesta a tierra sea seguro el valor  $E_m < E_{\text{contacto}}$  y el valor  $E_s < E_{\text{paso}}$ .

$$E_{\text{paso}} = 2,062.24 \text{ V} < E_{\text{paso } 70\text{kg}} = 3,019.63 \text{ V}$$

El valor de  $E_m$  es menor que  $E_{\text{paso}}$ , por consiguiente, cumple con la norma, pero la tensión de contacto  $E_s$  no es menor a  $E_{\text{contacto}}$ .

$$E_{\text{contacto}} = 6,328.66 \text{ V} \text{ No es menor a } E_{\text{contacto } 70\text{kg}} = 921.43 \text{ V}$$

La resistividad del terreno influye en el valor de tensión de contacto real, por eso es recomendable disminuir la resistividad por medio de métodos químicos que la norma IEEE 80 recomienda.

Se pueden utilizar los siguientes materiales para reducir la resistividad del suelo como refuerzo de tierra, bentonita y electrodos de grado químico. Al aplicar un químico en el suelo donde se instalarán los conductores y varillas al suelo la resistividad se reducirá.

#### 2.5.13.1. Métodos químicos para disminuir la resistividad del suelo

- Bentonita: arcilla natural compuesta de roca volcánica que ayuda a aumentar la resistencia del terreno. Una de las propiedades más importantes de la bentonita es que tiene una cierta resistividad específica de  $2.5 \Omega \cdot \text{m}$  y puede retener la humedad hasta en un 300 %, que significa que puede retener el agua en forma líquida o en vapor.

- Sales y compuestos minerales: para incrementar la conductividad del terreno donde se van a instalar los electrodos o varillas se pueden utilizar minerales como el sulfato de cobre, cloruro de magnesio y el sodio o calcio. Pero el inconveniente más importante al aplicar estos minerales es que se mueven del lugar donde se aplicaron en medida que pasa el tiempo.
- Electrodos especiales: estos electrodos están huecos y se pueden llenar de sales. El electrodo está lleno de orificios, para que las sales que se metieron adentro del electrodo puedan penetrar el terreno.
- Revestimiento de concreto: se vierte concreto en toda la varilla o electrodo. Las propiedades químicas del concreto sirven para retener la humedad del terreno, y se comporta también como un semiconductor alcanzando resistividades entre 30 a 90  $\Omega \cdot m$ .

## **2.6. Pararrayos**

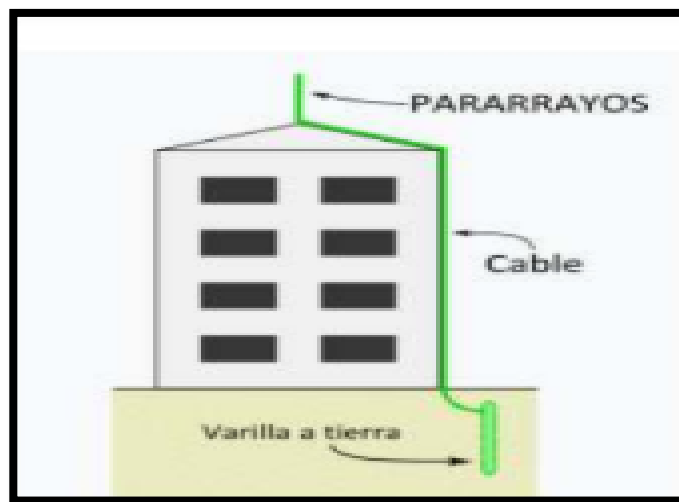
Es un dispositivo que se compone de una varilla de metal, su principal objetivo es atraer los rayos ionizantes generados en las nubes circundantes y poder transferir su carga hacia la tierra, logrando así daños físicos y materiales. En su extremo hay un conductor conectado que va directamente a tierra donde está conectado a un sistema de puesta a tierra en la que se disipara el rayo.

### **2.6.1. Diseño de pararrayos**

La instalación del pararrayo consta de un eje de metal que puede estar hecho de acero inoxidable, acero, cobre o aluminio, con un cabezal receptor. El receptor se conecta con el sistema de puesta a tierra con un cable conductor. La función del pararrayo es conducir la electricidad producida por un rayo a través

de un conductor hacia la puesta a tierra del sistema, debido a esto los pararrayos se instalan en la parte más alta de las edificaciones. Los pararrayos más comunes que se encuentran son:

Figura 21. **Estructura de un pararrayo**



Fuente: Borda Luza, H., Espinosa Sánchez, K., y González Puma, S. (2017). *Informe-pararrayo*  
- nota: 19. p. 11.

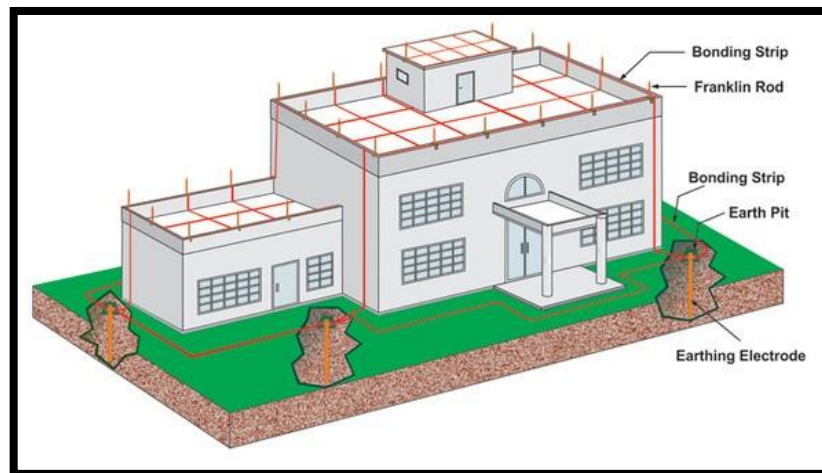
#### **2.6.1.1. Pararrayos Franklin**

Se compone de una pieza central, vástago principal y cuatro más laterales. Un sistema Franklin es el más fácil de usar y el más económico para proteger espacios pequeños. Debido a que el pararrayo franklin es utilizado en áreas pequeñas, es necesario instalar una gran cantidad de puntas solo para proteger el edificio, lo que conduce a una instalación costosa, por lo que los sistemas de puntas Franklin no se usan con frecuencia en la actualidad.

### 2.6.1.2. Jaula de Faraday

El sistema jaula de Faraday consiste en distribuir la corriente causada por el rayo a través de toda la red de tierra y neutralizarla haciendo pasar la corriente por todos los diferentes bloques de puesta a tierra.

Figura 22. Sistema jaula de Faraday



Fuente: *Jaula de Faraday: Qué es y cómo funciona.* (2021). Consultado el 5 de noviembre 2021. Recuperado de <https://www.para-rayos.com/jaula-de-faraday-que-es-como-funciona/>.

### 2.6.1.3. Pararrayos de puntas ionizantes

El principal objetivo de este tipo de pararrayos es de atraer un rayo ionizando el aire para excitar, conducir y llamar la descarga a tierra, de manera que no cause daños a las personas o edificaciones.

#### **2.6.1.4. Pulsar de helita**

Cuando un rayo golpea el suelo, crea una sacudida en toda la estructura conductora. El tipo helita emite una señal que consta de pulsos de alto voltaje, de una amplitud y frecuencia específicas y controladas. Los pararrayos helita extraen la energía eléctrica necesaria para generar pulsos de alto voltaje del campo circundante, que persiste durante las tormentas.

### **3. ANÁLISIS HISTÓRICOS DE CONSUMOS**

En el siguiente capítulo se estudiará el consumo energético del año 2018 y 2019 del edificio del VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca del MAGA con las facturas brindadas por el departamento de servicios generales del MAGA, para hacer las proyecciones a futuro de consumo hacia el 2021.

#### **3.1. Evaluación histórica de consumos energéticos**

A continuación, se describe el consumo y costo energético del edificio del VISAR y el edificio de Monja Blanca a partir de las facturas de los años 2018 y 2019 que fueron proporcionadas por el departamento de servicios generales del MAGA. Así como, se hicieron proyecciones a futuro del consumo energético de ambos edificios.

##### **3.1.1. Consumo de energía eléctrica**

La energía eléctrica de las instalaciones del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones son abastecidas por la empresa distribuidora Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA).

La energía eléctrica procede de tres transformadores localizados en las afueras del MAGA, dichos transformadores son de 25 kVa cada uno. La tarifa que se suministra es de baja tensión con demanda fuera de punta por sus siglas BTDFP, según el artículo CNEE-145-207 de la comisión nacional de energía eléctrica esa tarifa mensual se aplica a usuarios con límite de potencia mayor a 11 kW.

Tabla X. Descripción del servicio de energía eléctrica

Contador	Tarifa	Voltaje	Fases
K64595	BTDFP	120/208 V	3

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XI. Tarifa factura del contador principal del mes de septiembre  
año 2019

Tarifa baja tensión dem fuera de punta BTDFP k64595			
Cargos	Precios (Q)	Consumo (kWh)	Total (Q)
Cargo fijo por cliente	112.500439		112.5
Energía	0.997878	2,294	2,289.13
Demanda registrada (sin IVA)	22.454698	34.5	774.69
Potencia contratada (sin IVA)	27.854719	48	1,337.03
Total cargo (sin IVA)			4,513.35
Total cargo (con IVA)			5,054.95
Tasa municipal A. P		13 %	586.73
Total factura			5,641.68

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XII. Consumo de energía eléctrica kWh año 2018

Historial de energía (kWh) año 2018	
Mes	Consumo energía (kWh)
Enero	361
Febrero	559
Marzo	1,651
Abril	2,414
Mayo	2,623

Continuación tabla XII.

<b>Junio</b>	<b>2,411</b>
<b>Julio</b>	1,935
<b>Agosto</b>	2,465
<b>Septiembre</b>	2,176
<b>Octubre</b>	2,309
<b>Noviembre</b>	1,095
<b>Diciembre</b>	1,195

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

El consumo de energía para el año 2019 se denota en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Consumo de energía eléctrica kWh año 2019**

<b>Historial de energía (kWh) año 2019</b>	
<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kWh)</b>
<b>Enero</b>	711
<b>Febrero</b>	736
<b>Marzo</b>	2,012
<b>Abril</b>	2,539
<b>Mayo</b>	3,082
<b>Junio</b>	3,568
<b>Julio</b>	2,914
<b>Agosto</b>	2,638
<b>Septiembre</b>	2,294
<b>Octubre</b>	2,234



Continuación tabla XIII.

<b>Noviembre</b>	<b>1,502</b>
<b>Diciembre</b>	<b>1,506</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Se registra un promedio de energía de 1,766.17 kWh en el año 2018 y 2,144.64 kWh en el año 2019.

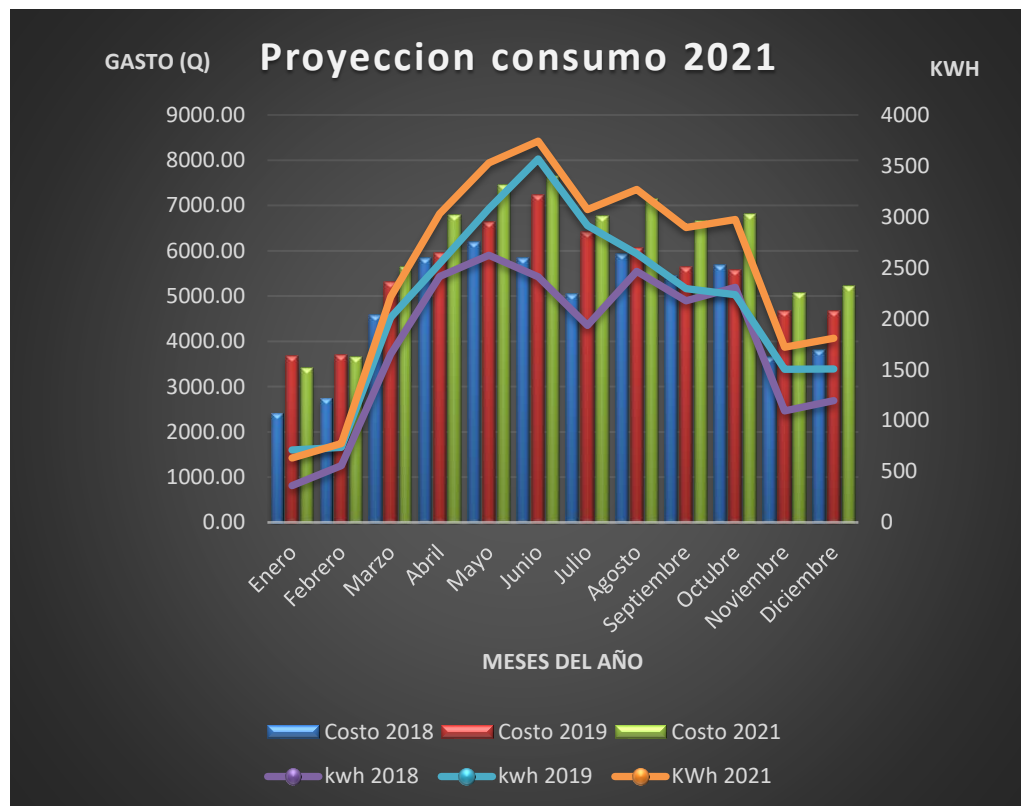
Tabla XIV. **Costos de energía eléctrica años 2018-2019**

<b>Costos energía eléctrica años 2018-2019</b>		
<b>Mes</b>	<b>Costo total factura (Q)</b>	
	<b>Año 2018</b>	<b>Año 2019</b>
<b>Enero</b>	2,414.59	3,661.52
<b>Febrero</b>	2,745.14	3,698.32
<b>Marzo</b>	4,568.21	5,292.74
<b>Abril</b>	5,842.02	5,947.28
<b>Mayo</b>	6,190.94	6,624.59
<b>Junio</b>	5,837.01	7,230.80
<b>Julio</b>	5,042.34	6,420.65
<b>Agosto</b>	5,927.16	6,065.16
<b>Septiembre</b>	5,444.68	5,641.68
<b>Octubre</b>	5,666.72	5,568.53
<b>Noviembre</b>	3,639.98	4,655.47
<b>Diciembre</b>	3,806.93	4,660.46

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

El promedio de cuanto se gastó mensualmente con la energía consumida del año 2018 es de Q 4,760.48 y la del año 2019 es de Q 5,455.60.

Figura 23. **Proyección del consumo energético en kWh para el 2021, según datos históricos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Como se muestra en la figura 23, se prevé que para el año 2021, el consumo de la energía eléctrica aumente gradualmente y, por consiguiente, el costo de la energía también aumentará.

La energía eléctrica es suministrada por la empresa eléctrica EGGSA, la instalación principal que alimenta al edificio del MAGA es suministrada por una

red de media tensión que proviene de 3 transformadores (50 kVA cada uno) que se encuentran en las afueras del edificio.

En la instalación se encuentra un banco de capacitores que sirve para controlar el factor de potencia. Se estudiará en específico el Área de Informática, de la cual tiene su tablero principal.

Tabla XV. **Contador principal del edificio Monja Blanca, MAGA**

Contador	Tarifa	Voltaje	Fases
<b>N76393</b>	MTDfp	120/208 V	3

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La tarifa del contador principal del MAGA es de media tensión con demanda fuera de punta por sus siglas MTDfp, según el artículo CNEE-145-207 de la comisión nacional de energía eléctrica esa tarifa mensual se aplica a usuarios con potencia mayor a 11 kW.

Tabla XVI. **Tarifa facturada del contador principal del mes de junio, año 2018**

<b>Tarifa de media tensión con demanda fuera de punta (MTDfp) N76393</b>			
<b>Cargos</b>	<b>Precios (Q)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Total (Q)</b>
<b>Cargo fijo por cliente</b>	240.946937		240.946937
<b>Energía</b>	0.748532	29.520	22.096.66
<b>Demanda registrada (sin IVA)</b>	22.656521	114.4	2,591.91
<b>Potencia contratada (sin IVA)</b>	29.406222	123.2	3,622.85
<b>Total cargo (sin IVA)</b>			28,552.36

Continuación tabla XVI.

<b>Total cargo (con IVA)</b>		<b>31,978.65</b>
<b>Tasa municipal A. P</b>	13 %	3,711.81
<b>Total factura</b>		35,690.46

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XVII. **Consumo de energía eléctrica kWh año 2018**

<b>Historial de energía (kWh) año 2018</b>	
<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kWh)</b>
<b>Enero</b>	23,260
<b>Febrero</b>	24,750
<b>Marzo</b>	28,550
<b>Abril</b>	27,674
<b>Mayo</b>	29,875
<b>Junio</b>	29,520
<b>Julio</b>	27,760
<b>Agosto</b>	29,040
<b>Septiembre</b>	29,760
<b>Octubre</b>	28,240
<b>Noviembre</b>	25,040
<b>Diciembre</b>	25,200

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XVIII. **Consumo de energía eléctrica kWh año 2019**

<b>Historial de energía (kWh) año 2019</b>	
<b>Mes</b>	<b>Consumo energía (kWh)</b>
<b>Enero</b>	23,280
<b>Febrero</b>	22,000
<b>Marzo</b>	27,840
<b>Abril</b>	28,320
<b>Mayo</b>	27,200
<b>Junio</b>	30,640
<b>Julio</b>	30,880
<b>Agosto</b>	29,040
<b>Septiembre</b>	27,360
<b>Octubre</b>	28,080
<b>Noviembre</b>	27,600
<b>Diciembre</b>	26,720

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Se registra un promedio de energía de 27,389 kWh en el año 2018 y 27,413 kWh en el año 2019.

Tabla XIX. **Costos de energía eléctrica años 2018-2019**

<b>Costo energía eléctrica años 2018-2019</b>		
<b>Mes</b>	<b>Costo total factura (Q)</b>	
	<b>Año 2018</b>	<b>Año 2019</b>
<b>Enero</b>	29,719.91	31,253.67
<b>Febrero</b>	30,479.67	31,443.54
<b>Marzo</b>	34,284.42	38,407.40
<b>Abril</b>	33,872.59	39,124.89

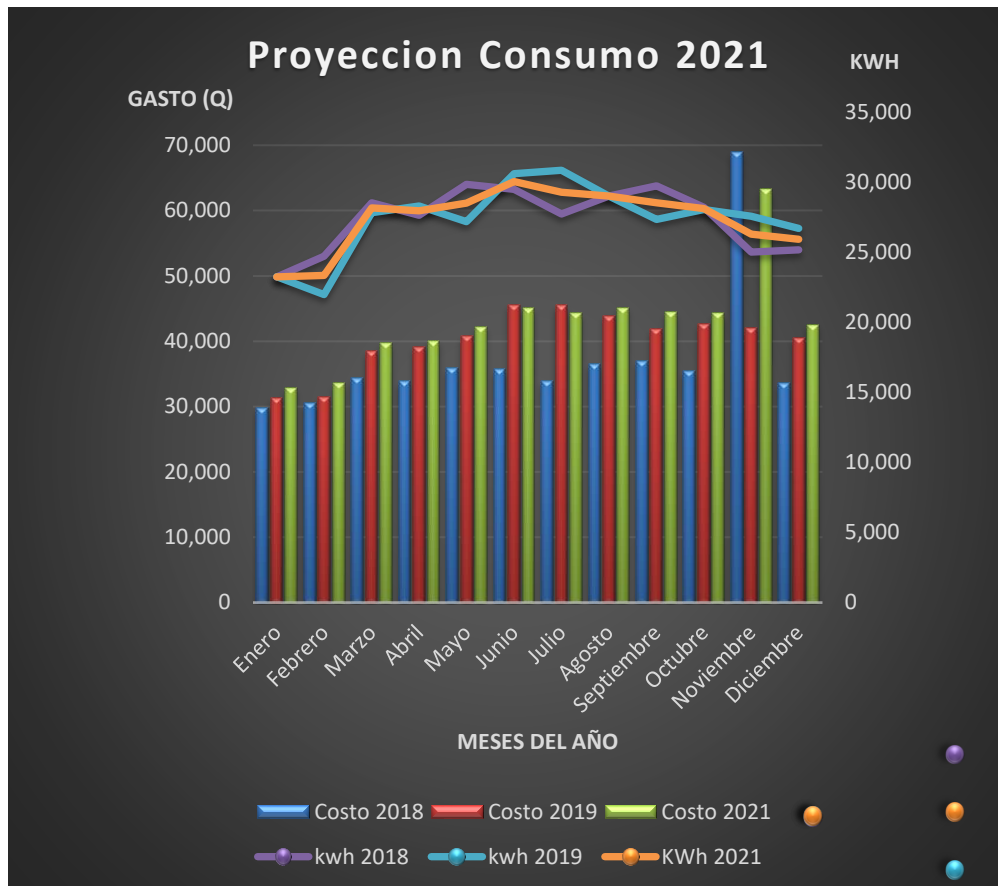
Continuación tabla XIX.

<b>Mayo</b>	<b>35,773.39</b>	<b>40,678.80</b>
<b>Junio</b>	35,690.46	45,552.40
<b>Julio</b>	33,885.10	45,533.76
<b>Agosto</b>	36,507.27	43,864.25
<b>Septiembre</b>	36,888.63	41,768.70
<b>Octubre</b>	35,335.93	42,666.79
<b>Noviembre</b>	68,964.44	41,982.62
<b>Diciembre</b>	33,545.59	40,507.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

El costo promedio del año 2018 es de Q 37,078.95 y la del año 2019 es de Q 40,231.99.

Figura 24. **Proyección de consumo energético en kWh para el 2021, según datos históricos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la figura 24 se observa que para el año 2021 el consumo de energía eléctrica aumentará, pero no será tan grande. Como el consumo aumenta el costo de la energía aumentará. También se aprecia que el mes de noviembre la energía y el costo subirá considerablemente.

### **3.1.2. Consumo térmico**

El consumo térmico del VISAR corresponde a los refrigeradores y aires acondicionados. El consumo promedio es del 10.2 kWh/día.

En el Área de Informática, el consumo eléctrico proviene de los aires acondicionados ubicados en el cuarto del servidor, que es de 30 kWh del que representa un consumo mayor, este aire está encendido todo el día para proveer un ambiente frío para el cuarto de servidores de la institución.

## **3.2. Inventario de equipos**

Se realizó un inventario de todos los equipos eléctricos edificio del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca, para encontrar el consumo energético y verificar que lugares consumen más energía.

### **3.2.1. Equipos**

En las siguientes tablas se describen los equipos que se encuentran en el VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca, así como el consumo energético de cada uno y el tiempo en funcionamiento, para obtener un promedio de consumo energético por día.

#### **3.2.1.1. Listado total de equipos**

En la tabla XX se listan todos los equipos que se utilizan en el edificio del VISAR, y en la tabla XXI se listan todos los equipos que se utilizan del Área de Informática de Monja Blanca.



Tabla XX. **Listado de equipos que se encuentran actualmente en funcionamiento en el edificio VISAR**

<b>Listado equipos VISAR</b>	
<b>Nombre del equipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Computadora de escritorio</b>	50
<b>Impresoras</b>	32
<b>Monitor de pantalla LCD</b>	50
<b>UPS</b>	8
<b>Computadora de mano <i>laptop</i></b>	3
<b>Fotocopiadora industrial</b>	2
<b>Cafetera</b>	1
<b>Microondas</b>	1
<b>Horno</b>	1
<b>Televisor LCD</b>	1
<b>Teléfonos</b>	5
<b>Bomba de agua 0,75HP</b>	1

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXI. **Listado equipos que se encuentran en funcionamiento en el Área Informática, Monja Blanca**

<b>Listado equipos Área Informática, Monja Blanca</b>	
<b>Nombre del equipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Computadora de escritorio</b>	5
<b>Impresora</b>	1
<b>Monitor de pantalla LCD</b>	5
<b>UPS</b>	5

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### 3.2.1.2. Consumo eléctrico por equipo

Teniendo el listado de los equipos, se procedió a buscar los manuales de cada equipo para verificar la energía que consumen dichos equipos.

Tabla XXII. Consumo energético edificio VISAR

Consumo eléctrico equipos VISAR	
Nombre del equipo	Consumo por unidad (Wh)
Computadora de escritorio	85
Impresoras	70
Monitor de pantalla LCD	30
UPS	480
Computadora de mano <i>laptop</i>	200
Fotocopiadora industrial	150
Cafetera	600
Microondas	1,200
Horno	1,200
Televisor LCD	30
Teléfonos	10
Bomba de agua 0,75HP	550

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXIII. Consumo energético Área de Informática, Monja Blanca

Consumo energético Área Informática, Monja Blanca	
Nombre del equipo	Consumo por unidad (Wh)
Computadora de escritorio	250
Impresora	150
Monitor de pantalla LCD	30
UPS	480

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### 3.2.1.3. Promedio de tiempo de equipos en uso

Para saber cuánto tiempo se utiliza cada equipo se hicieron preguntas al personal para obtener un promedio de tiempo de uso. En las siguientes tablas se detallan los tiempos promedios de uso al día de los equipos de cada edificio.

Tabla XXIV. **Tiempo promedio del funcionamiento de los equipos diario del VISAR**

<b>Tiempo de consumo al día equipos VISAR</b>	
<b>Nombre del equipo</b>	<b>Tiempo por día (h)</b>
<b>Computadora de escritorio</b>	5
<b>Impresoras</b>	1
<b>Monitor de pantalla LCD</b>	5
<b>UPS</b>	4
<b>Computadora de mano <i>laptop</i></b>	3
<b>Fotocopiadora industrial</b>	3
<b>Cafetera</b>	1
<b>Microondas</b>	1
<b>Horno</b>	1
<b>Televisor LCD</b>	1
<b>Teléfonos</b>	4
<b>Bomba de agua 0,75HP</b>	2

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXV. **Tiempo promedio del funcionamiento de equipos diario del Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Tiempo de consumo al día equipos Área de Informática</b>	
<b>Nombre del equipo</b>	<b>Tiempo por día (h)</b>
<b>Computadora de escritorio</b>	7
<b>Impresora</b>	5

Continuación tabla XXV.

<b>Monitor de pantalla LCD</b>	<b>7</b>
<b>UPS</b>	<b>4</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### **3.3.1.4. Consumo total eléctrico diario**

Con los valores de las tablas anteriores se obtuvo el promedio de consumo eléctrico:

- El consumo promedio diario de energía eléctrica del edificio principal del VISAR es de 53.3 kWh.
- El consumo promedio diario de energía eléctrica del Área de Informática Monja Blanca es de 20.1 kWh.

#### **3.2.2. Iluminación**

Se observaron que las luminarias en el VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca presentaban problemas al estar en mal estado y en algunas áreas faltaban 1 o varias luminarias.

Se contabilizó cuántas luminarias había en cada lugar de trabajo de todo el edificio del VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca, también se llevó a cabo las mediciones de luxes para cada lugar para encontrar la eficiencia lumínica en los ambientes de dichos lugares.

### 3.2.2.1. Listado total de luminarias

En las siguientes tablas se contabiliza las luminarias que hay en el VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

Tabla XXVI. Listado total de luminarias en el edificio VISAR

Luminarias totales en el edificio VISAR	
Descripción de luminaria	Cantidad
Lámparas fluorescentes tipo tubular 2x40W	164
Tipo buey	5
<b>Total de luminarias</b>	<b>169</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXVII. Listado total de luminarias en el Área de Informática, Monja Blanca

Luminarias totales en el edificio VISAR	
Descripción de luminaria	Cantidad
Lámparas fluorescentes 2x40W	20
<b>Total de luminarias</b>	<b>20</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### 3.2.2.2. Consumo eléctrico por luminaria

En las siguientes tablas se detalla la energía consumida por las luminarias en el VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

Tabla XXVIII. **Consumo eléctrico luminarias edificio VISAR**

<b>Consumo eléctrico luminarias edificio VISAR</b>		
<b>Descripción de luminaria</b>	<b>Potencia de cada una (W)</b>	<b>Potencia total (W)</b>
Lámparas fluorescentes	40	6,560
Tipo buey	5	25
<b>Total (W)</b>		<b>6,585</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXIX. **Consumo eléctrico luminarias Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Consumo eléctrico luminarias Área de informática, Monja Blanca</b>		
<b>Descripción de luminaria</b>	<b>Potencia de cada una (W)</b>	<b>Potencia total (W)</b>
Lámparas fluorescentes	40	800
<b>Total (W)</b>		<b>800</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### 3.2.2.3. Promedio de tiempo en operación de cada luminaria

Para saber cuánto tiempo se hallan las luminarias encendidas se hicieron preguntas al personal para obtener un promedio de tiempo de uso. En las siguientes tablas se detallan los tiempos promedios de uso al día de las luminarias de cada edificio.

Tabla XXX. **Tiempo promedio del funcionamiento de las luminarias a diario del edificio VISAR**

<b>Tiempo de operación de luminarias edificio Visar</b>	
<b>Descripción de luminaria</b>	<b>Tiempo operación (h)</b>
Lámparas fluorescentes	8
Tipo buey	8

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXI. **Tiempo promedio del funcionamiento de las luminarias a diario del Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Tiempo de operación de luminarias edificio Visar</b>	
<b>Descripción de luminaria</b>	<b>Tiempo operación (h)</b>
Lámparas fluorescentes	8

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### **3.2.2.4. Promedio de consumo eléctrico diario**

Con los valores de las tablas anteriores se obtuvo el promedio de consumo eléctrico, el consumo promedio eléctrico diario correspondiente al sistema de iluminación del VISAR es de 52 kWh/día y el Área de Informática es de 6.4 kWh/día.

#### **3.2.2.5. Eficiencia lumínica**

La siguiente fórmula se utilizó para calcular la eficiencia lumínica del edificio del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{P_T}{I_x A} * 100$$

Donde:

$I_x$  cantidad de luxes medidos en el lugar

$A$  área del lugar

$P_T$  potencia total de iluminación de cada ambiente

### 3.2.3. Equipos térmicos

Se listaron los equipos térmicos del VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca los cuales se pueden encontrar los aires acondicionados y refrigeradoras. Se especifica el consumo energético de cada uno en las siguientes tablas.

#### 3.2.3.1. Listado de equipos de aire acondicionado y refrigeración

En el edificio del VISAR, cuenta con solo 1 nivel. En este nivel se centran los cubículos del personal, y en esta área se encuentran 2 aires acondicionados. En las oficinas de los subdirectores y gerentes tienen 1 aire acondicionado cada uno y 1 refrigeradora en el cuarto de cocina.

Tabla XXXII. Listado equipos térmicos en el edificio VISAR

Equipos térmicos en edificio VISAR	núm.
Aires acondicionados	4
Refrigeradoras	1

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.



En el Área de Informática, Monja Blanca hay 2 cuartos, el primer lugar se encuentra el personal y cuentan con 1 aire acondicionado. Y el otro cuarto es donde se encuentra los servidores donde pasa el aire acondicionado trabajando las 24 horas.

Tabla XXXIII. **Listado equipos térmicos en el Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Equipos térmicos Área de Informática</b>	<b>núm.</b>
<b>Aires acondicionados</b>	<b>2</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### **3.2.3.2. Consumo eléctrico por equipo térmico**

Se buscaron los manuales de cada equipo para saber el consumo de estos. En las tablas siguientes, se describen el consumo de cada equipo

Tabla XXXIV. **Consumo energía eléctrica de equipos térmicos VISAR**

<b>Consumo eléctrico térmico edificio VISAR</b>	
<b>Equipo térmico</b>	<b>Consumo eléctrico (kWh)</b>
<b>Aires acondicionados</b>	<b>1,000</b>
<b>Refrigeradora</b>	<b>650</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXV. **Consumo energía eléctrica de equipos térmicos Área de Informática**

<b>Consumo eléctrico térmico Área de informática</b>	
<b>Equipo térmico</b>	<b>Consumo eléctrico (kWh)</b>
<b>Aires acondicionados</b>	1,250

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.


### **3.3. Identificación de franja horaria**

Para determinar la franja horaria de trabajo al día y saber en qué frecuencia se usaban los equipos eléctricos, se realizó una encuesta para obtener esos datos.

#### **3.3.1. Encuesta sobre consumos energéticos, hábitos de consumo**

Se realizó una encuesta a 50 trabajadores del Área de informática, Monja Blanca y del VISAR, para conocer cuanto consumen energía y si tienen hábitos de ahorro de la energía eléctrica.

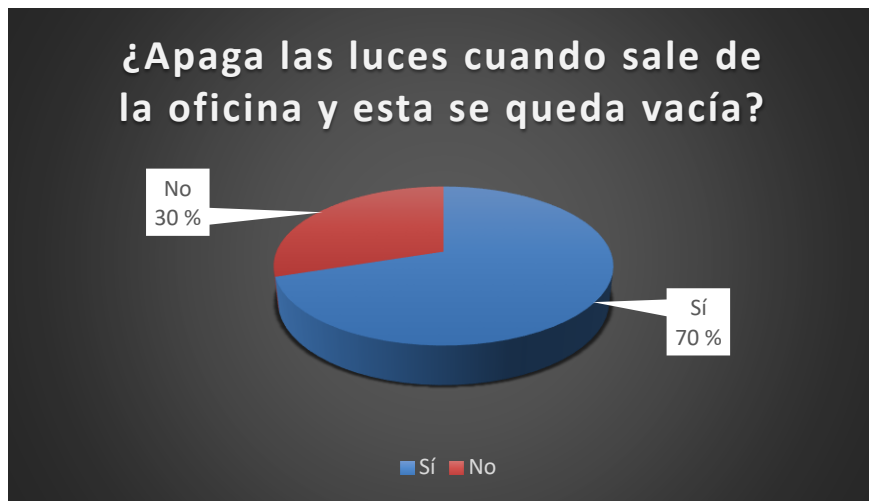
**Figura 25. Encuesta calidad energética**

		Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
<b>Encuesta calidad energética</b>		
1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
2.) ¿Cuál es su horario laboral?	<input type="text"/>	
3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como computadoras, impresoras, fotocopadoras, entre otros?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
9.) ¿Está dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?	<input type="text"/>	
	<input type="text"/> Todo el día <input type="text"/> Está apagada todo el día <input type="text"/> Solo durante la noche	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

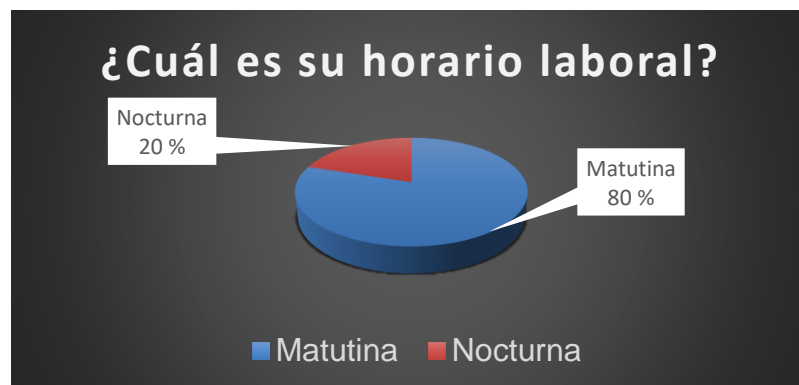
En las siguientes gráficas se observan los resultados de la encuesta realizada al personal del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

Figura 26. **Encendido y apagado de luces cuando no se usan**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 27. **Horario laboral**



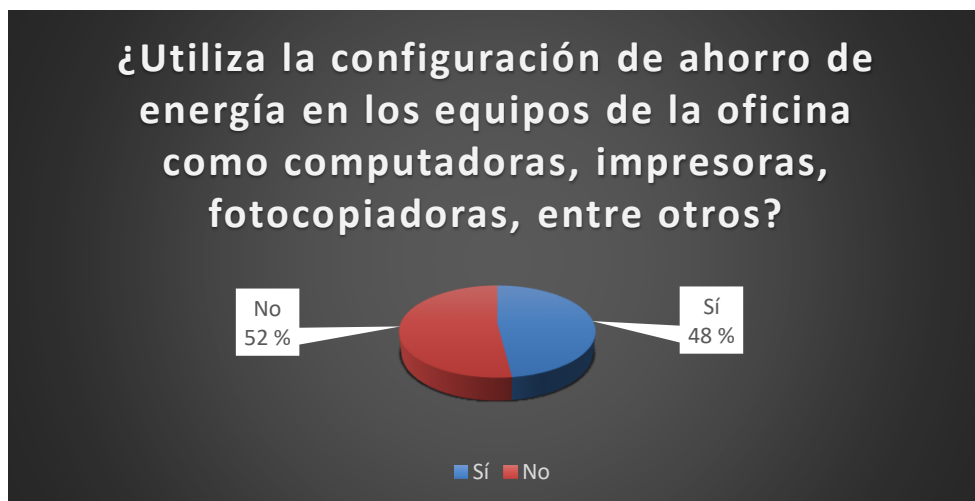
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 28. **Luz natural**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 29. **Ahorro de energía en los equipos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 30. **PC encendida por largos tiempos**



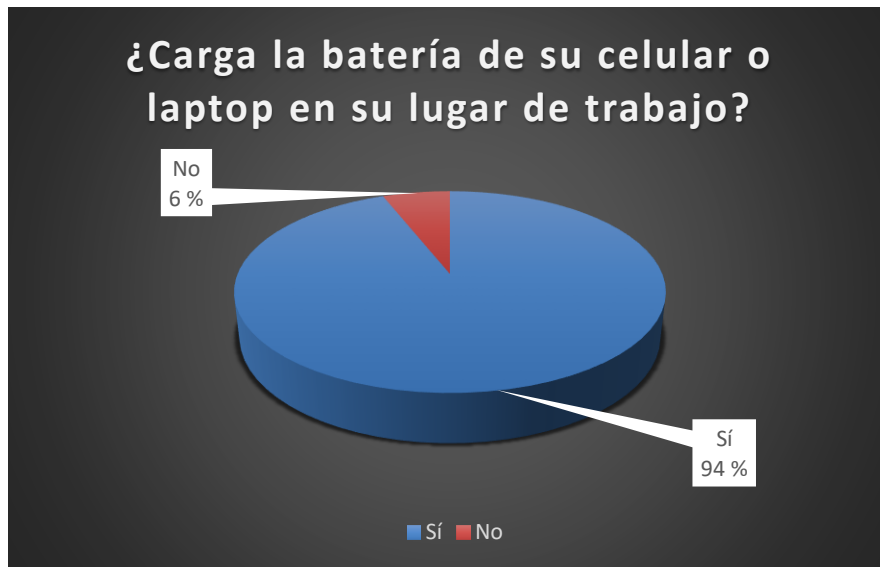
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 31. **Desenchufar los equipos utilizados**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 32. **Carga de teléfonos y *laptop***



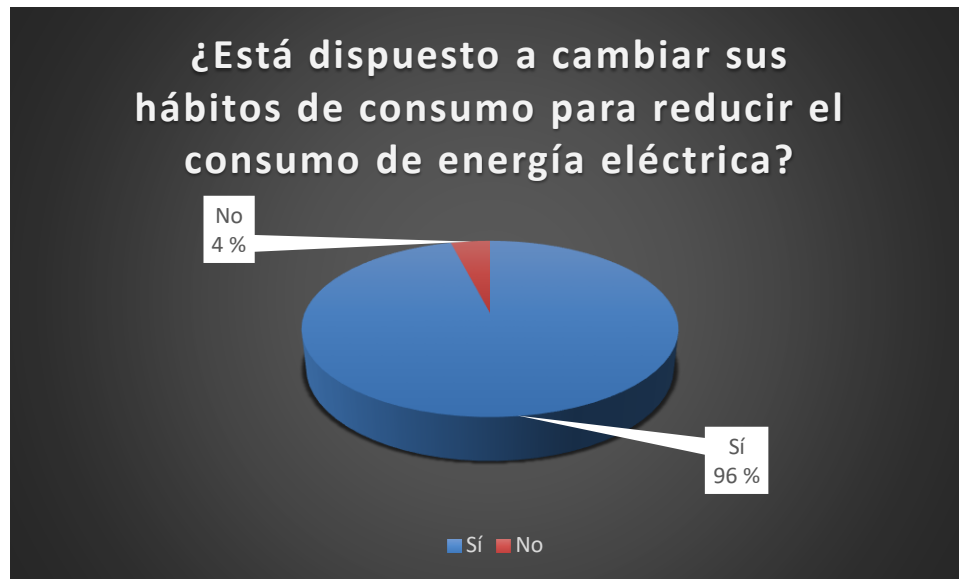
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 33. **Daños de Equipos**



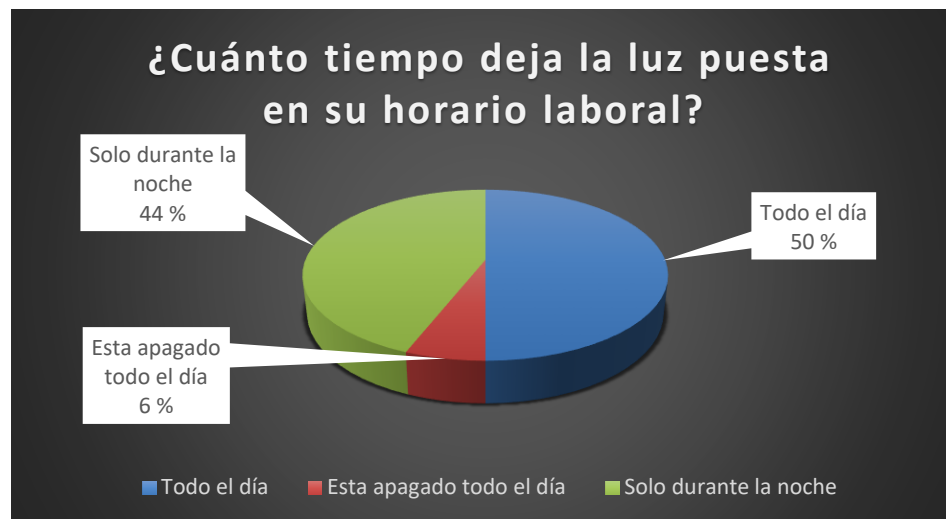
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 34. Hábitos de consumo



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 35. Tiempo de encendido de la Luz



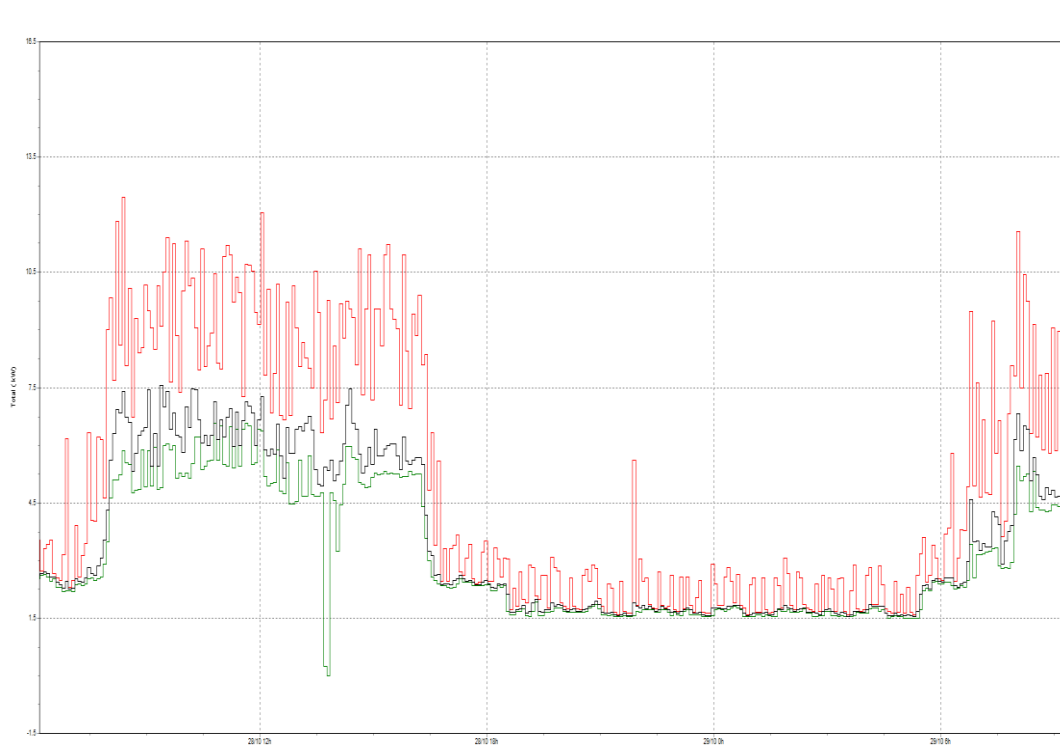
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.



### 3.3.2. Identificación horario laboral

El horario de trabajo del VISAR es de 7:00 a. m. a 5:00 p. m. de lunes a viernes. Y el de Monja Blanca es similar de 7:00 a. m. a 5:00 p. m. de lunes a viernes.

Figura 36. Consumo energético 1 día hábil VISAR en KW



Fuente: elaboración propia, realizado con *PowerLog 430-II*.

## **4. MEDICIONES ENERGÉTICAS**

### **4.1. Mediciones eléctricas**

En este apartado se analizará el comportamiento de los diferentes parámetros eléctricos que se encontraron por medio del analizador de redes Fluke en el edificio del VISAR.

#### **4.1.1. Equipo utilizado**

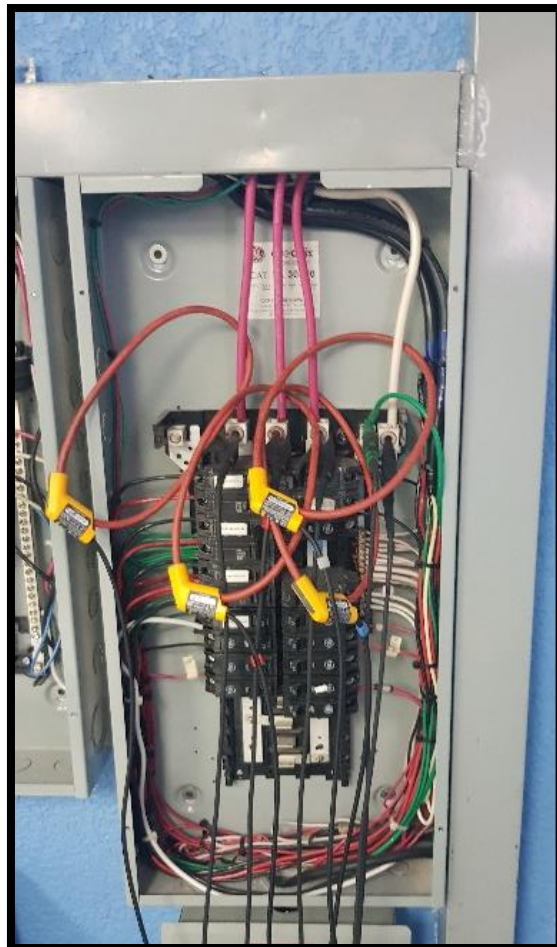
A continuación, se detallan todos los dispositivos eléctricos que fueron utilizados para encontrar todos los parámetros eléctricos para realizar un estudio de energía en el edificio del VISAR.

##### **4.1.1.1. Analizador de redes Fluke**

Dispositivo eléctrico que permite la medición de diversos tipos de parámetros eléctricos. Su principal función es poderse conectar a los paneles de una instalación eléctrica para su medición en un rango determinado de tiempo. Con el *software* en la computadora llamado *Power log 430-II* se realizó el estudio de calidad de la energía al analizar que se obtuvieron de la medición del equipo.

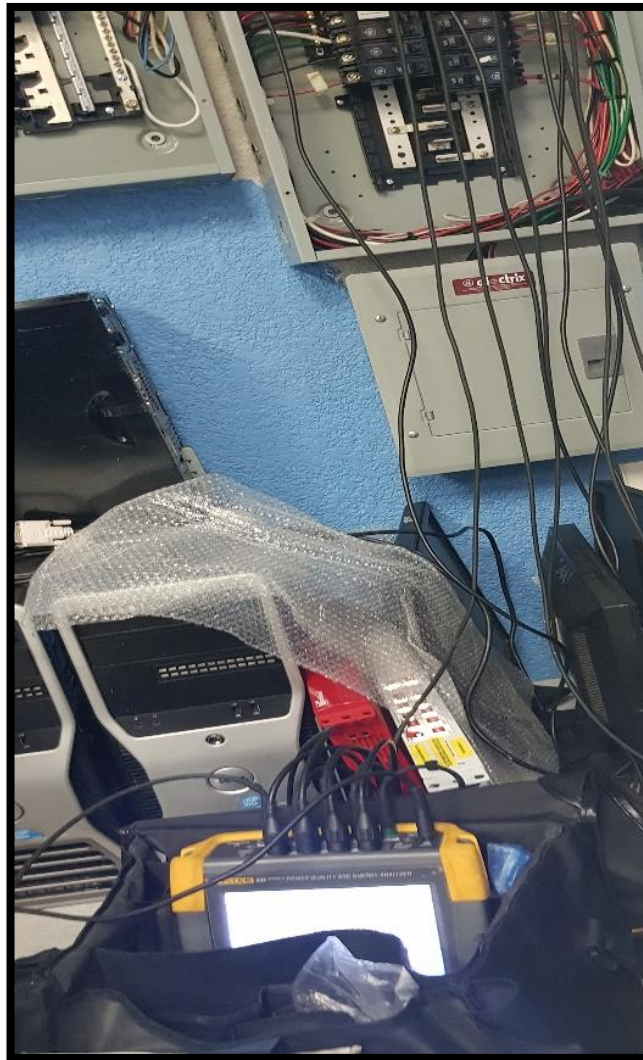
El analizador de redes utilizado en el informe es el *Fluke 435* clase A. Se instalo en los paneles principales del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca durante un tiempo de 1 semana. Se colocaron los lagartos de medición en las fases de línea del panel donde se instalaron las sondas amperimétricas alrededor de cada fase.

Figura 37. **Sondas amperimétricas del analizador de redes *Fluke***



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (cuarto de servidores, Área de Informática, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala

Figura 38. **Analizador de redes *Fluke***



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (cuarto de servidores, Área de Informática, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala

#### 4.1.1.2. Multímetro

Es un dispositivo que ayuda a encontrar diferentes variables eléctricas como, por ejemplo: voltajes, corrientes, potencias, resistencias, entre otras. El utilizado fue de la marca TRUPER Mut-33.

Figura 39. Multímetro TRUPER Mut-33



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (Área de paneles, VISAR, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala.

#### 4.1.1.3. Cámara termográfica Fluke

La cámara termográfica es un dispositivo que mide la temperatura de los dispositivos y ofrece una imagen térmica de estos. La medición se lleva a cabo por emisiones de radiación infrarroja que proyecta el aparato.

Un tipo de radiación electromagnética es la luz infrarroja o como es comúnmente llamado IR, su principal característica es que su longitud de onda es mayor que la luz visible, pero es menor que la de un microondas. Su longitud va de 0.7 micrómetros hasta 1,000 micrómetros.

Para el trabajo se utilizó la cámara termográfica Fluke TiS 45. Se utilizó para capturar las diferentes temperaturas de los paneles instalados en los edificios del VISAR y el Área de Informática.

Figura 40. Cámara termográfica Fluke TiS 45



Fuente: Cámara termográfica. (2018). Consultado el 10 de septiembre de 2019. Recuperado de [www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis45](http://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis45).

#### 4.1.1.4. Medidor de lúmenes *Fluke*

Instrumento eléctrico utilizado para obtener los niveles de intensidad de la luz expresados en la escala de lúmenes. Para saber si los niveles de iluminación cumplen con las normas establecidas se utiliza el medidor de lúmenes. Se utilizó el medidor de lúmenes *Fluke* 941 para determinar los Lúmenes de las instalaciones de los edificios.

Figura 41. Medidor de lúmenes *Fluke* 941



Fuente: Cámaras térmicas. (2018). Consultado el 10 de septiembre de 2019. Recuperado de [www.fluke.com/en-sg/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-941](http://www.fluke.com/en-sg/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-941).

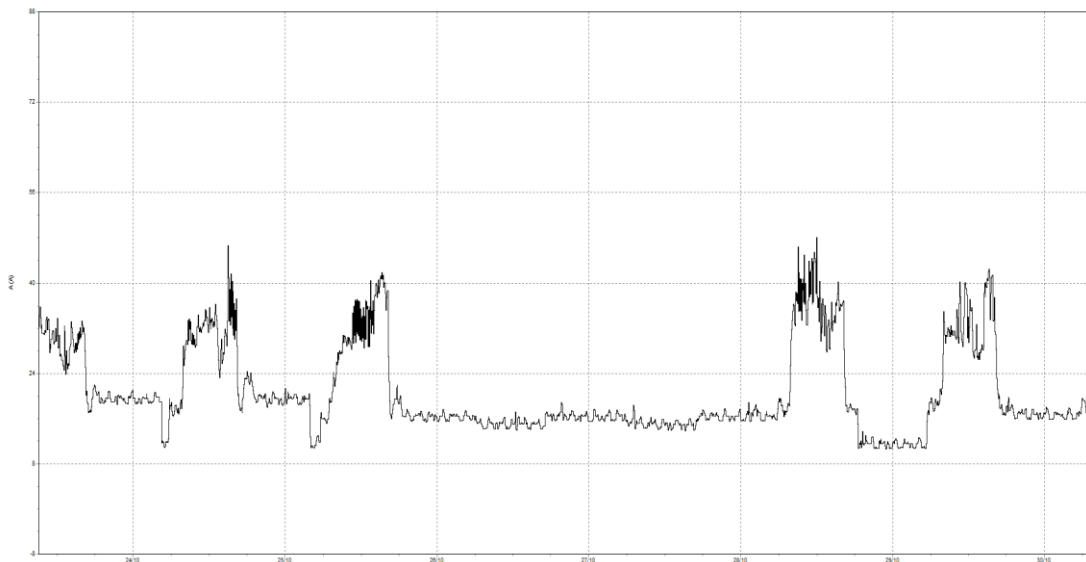
#### 4.1.2. Medición y análisis de consumos

Con los datos obtenidos del analizador de redes *Fluke 435* clase A, se logró analizar la calidad de la energía eléctrica del VISAR.

##### 4.1.2.1. Análisis de corrientes

En figuras 42 y 43 se observa el comportamiento que tiene la corriente en el edificio del VISAR por el tiempo de una semana. Asimismo, que las corrientes de la línea A y B son un poco diferentes, esto puede ser debido a que el sistema no esté balanceado correctamente.

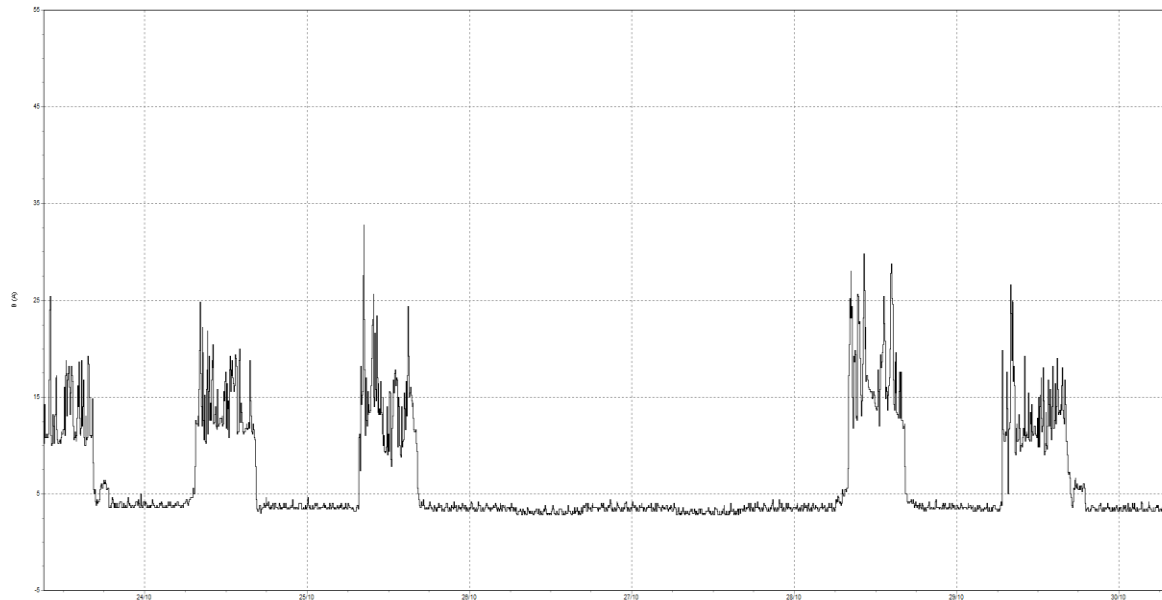
Figura 42. Gráfica corriente línea A



Fuente: elaboración propia, realizado con *PowerLog 430-II*.



Figura 43. **Gráfica corriente línea B**



Fuente: elaboración propia, realizado con *PowerLog 430-II*.

- **Corriente de línea A**

La corriente de la línea A tuvo un promedio de 19.73 A, un valor máximo de 47 A registrado el día 28/10/2019 a las 12:05 p. m., valor mínimo de 10.2 A registrado el día 28/10/2019 a las 6:40 p. m.

Con base en los resultados obtenidos, se determina que esta línea mayor demanda de corriente y que, en hora pico, se encuentra más sobrecargada que la otra fase.

Tabla XXXVI. **Análisis de corriente de línea A**

Fecha	Hora de evento	Corriente	Valor corriente
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	19.73 A
<b>28/10/2019</b>	12:05 p. m.	Máximo	47 A
<b>28/10/2019</b>	6:40 p. m.	Mínimo	10.20 A

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

- Corriente de línea B

La corriente de la línea B tuvo un promedio de 6.49 A, un valor máximo de 32.80 A registrado el día 25/10/2019 a las 8:25 a. m., valor mínimo de 2.80 A registrado el día 26/10/2019 a las 7:05 a. m.

Con base en los resultados obtenidos, se determina que esta línea tiene menor demanda de corriente y que, en hora pico, no se encuentra más sobrecargada que la otra fase.

Tabla XXXVII. **Análisis de corriente de línea B**

Fecha	Hora de evento	Corriente	Valor corriente
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	6.49 A
<b>25/10/2019</b>	8:25 a. m.	Máximo	32.80 A
<b>26/10/2019</b>	7:05 a. m.	Mínimo	2.80 A

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La corriente depende de las cargas conectadas a través del tiempo y de acuerdo con el tipo de carga conectado. Y de acuerdo con el tipo de carga conectado así será su comportamiento a lo largo del tiempo, como se aprecia en las figuras 42 y 43.

#### **4.1.2.2. Desbalance de corriente del sistema en el edificio del VISAR**

En la tabla XXXVIII, se puede visualizar que el desbalance de corriente se mantuvo en un valor promedio de 66.35 %, alcanzando un valor máximo de 77.02 % y llegando hasta un valor mínimo de 46.80 %.

**Tabla XXXVIII. Desbalance de corriente**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Desbalance</b>	<b>(%)</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	66.35
<b>24/10/2019</b>	6:10 p. m.	Máximo	77.02
<b>24/10/2019</b>	2:15 a. m.	Mínimo	46.80

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

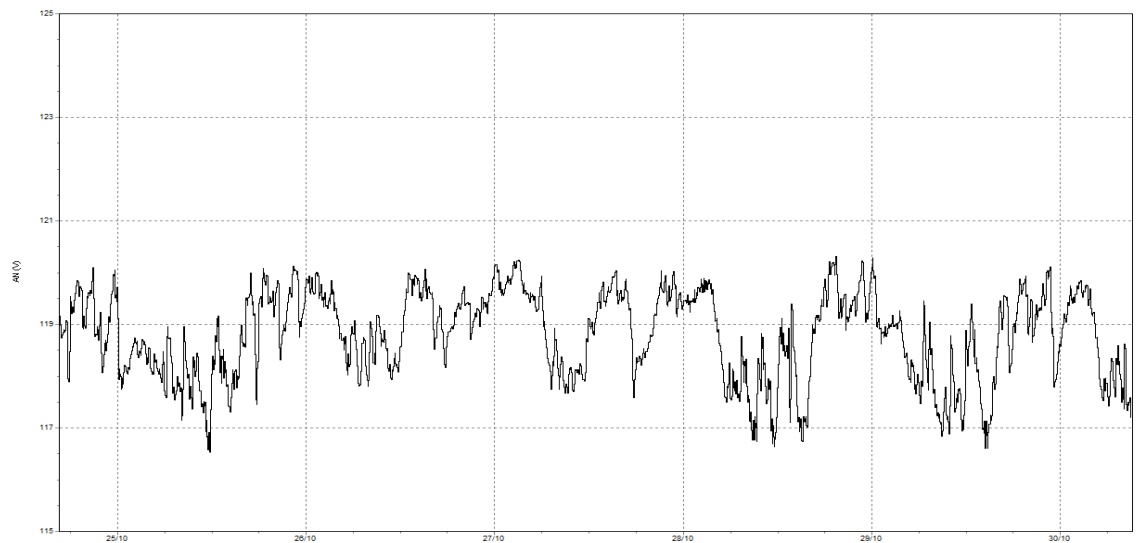
La tabla XXXVIII muestra que el desbalance de corriente se encuentra muy por encima de los rangos permisibles descritos en las normas NTCSTS, Artículo 32.

El porcentaje de desbalance es superior al porcentaje descrito en las normas, estos desbalances pueden ser provocados por no tener balanceado el sistema al tener cargas monofásicas como el sistema de iluminación o circuitos donde pueda haber equipos de computación, dispositivos electrónicos y aires acondicionados.

#### 4.1.2.3. Análisis de voltaje

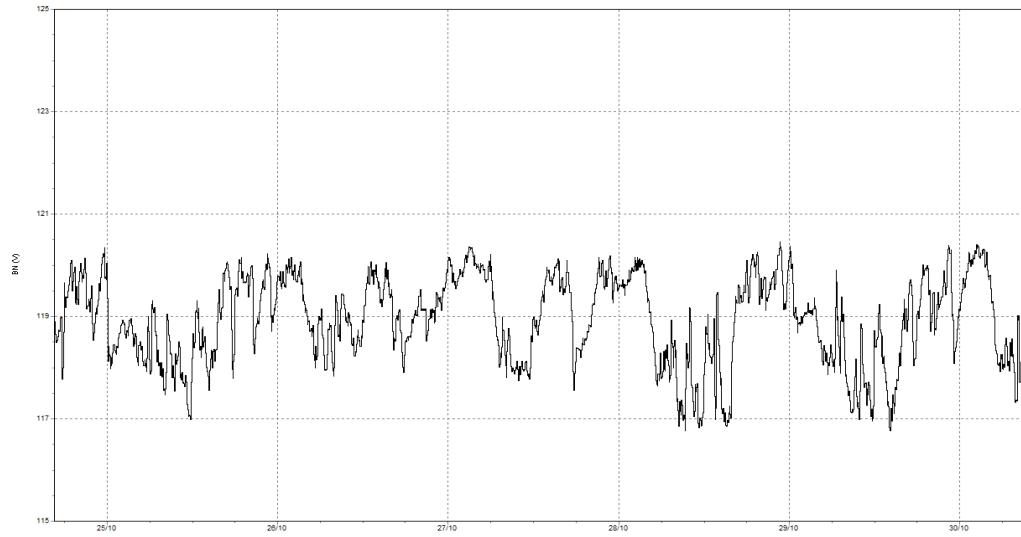
Se analizaron los valores de voltaje obtenidos del analizador de redes. En las siguientes gráficas se observa que el voltaje se mantuvo estable en 120 v, pero se analizaran los puntos altos y bajos que tuvo el voltaje a lo largo del tiempo de medición.

Figura 44. Voltaje línea A



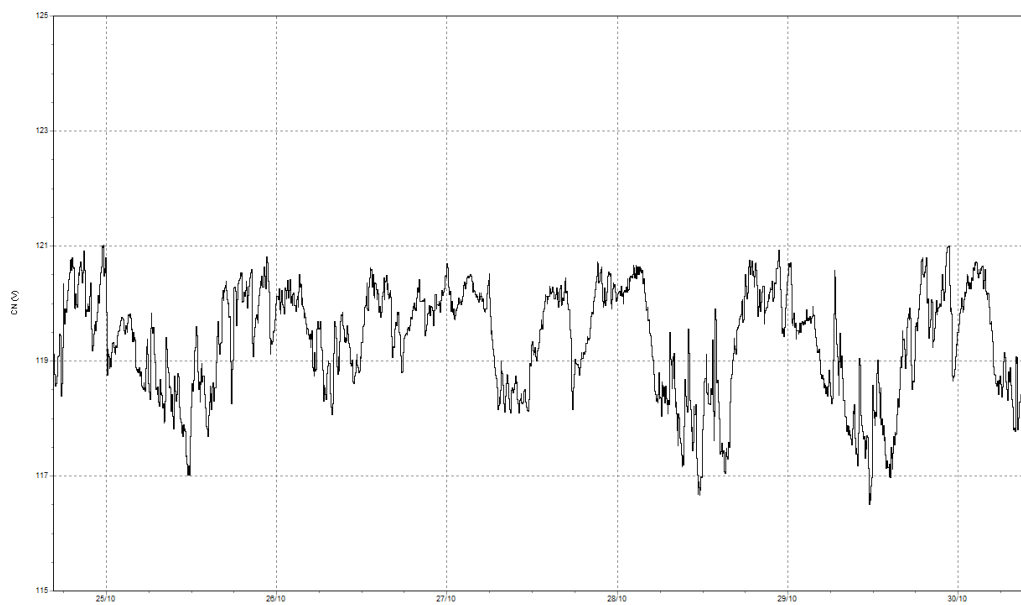
Fuente: elaboración propia, realizado con PowerLog 430-II.

**Figura 45. Voltaje línea B**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerLog 430-II.

**Figura 46. Voltaje línea C**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerLog 430-II.

- Voltaje línea A

La tabla XXXIX detalla los valores promedio, máximo de la tensión, así como el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XXXIX. **Voltaje línea A respecto tierra**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Valor Voltaje</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	118.76 V
<b>28/10/2019</b>	7:30 p. m.	Máximo	120.32 V
<b>25/10/2019</b>	11:45 a. m.	Mínimo	116.54 V

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla XXXIX, se observa que el promedio y mínimo cambiaron respecto al voltaje nominal de la red de 120 v. Según la Norma IEC 60364, el voltaje mínimo aceptado es de 114 V, y comparándolo con las mediciones obtenidas, el voltaje mínimo fue de 116.54 V, por lo que se encuentra dentro del rango permisible de la norma.

- Voltaje línea B

La tabla XL describe el valor promedio, máximo y mínimo de tensión en la Fase B de la línea, así como el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XL. **Voltaje línea B respecto tierra**

Fecha	Hora de evento	Voltaje	Valor voltaje
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	118.90 V
<b>28/10/2019</b>	10:45 p. m.	Máximo	120.46 V
<b>28/10/2019</b>	9:25 a. m.	Mínimo	116.76 V

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla XL, se observa que el voltaje promedio y mínimo cambiaron respecto al voltaje nominal de la red que es de 120 v. Según la Norma IEC 60364, establece que la caída de voltaje no debe exceder el 5 % del valor del voltaje nominal.

Entonces, según a la norma, el voltaje mínimo aceptado es de 114 V, y comparándolo con las mediciones obtenidas, el voltaje mínimo fue de 116.76 V por lo que se encuentra dentro del rango permisible de la norma.

- Voltaje línea C

La tabla XLI describe el valor promedio, máximo y mínimo de tensión en la Fase C de la línea, así como el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XLI. **Voltaje línea C respecto tierra**

Fecha	Hora de evento	Voltaje	Valor voltaje
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	119.34 V
<b>24/10/2019</b>	11:40 p. m.	Máximo	121.01 V
<b>29/10/2019</b>	11:35 a. m.	Mínimo	116.51 V

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La tabla XLI indica que el voltaje promedio y mínimo cambió respecto al voltaje nominal de la red que es de 120 v. La Norma IEC 60364, establece que la caída de tensión no debe pasar de 5 % del valor de la tensión nominal.

Entonces, según a la norma, el voltaje mínimo aceptado es de 114 V, y comparándolo con las mediciones obtenidas, el voltaje mínimo fue de 116.51 V, por lo que el voltaje mínimo de la medición es mayor que la del voltaje mínimo por lo que se encuentra dentro del rango permisible de la norma.

- Voltaje entre fases

En la tabla XLII, se encuentra el valor promedio, máximo y mínimo del voltaje entre las fases A y B de las líneas, al igual que el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XLII. **Voltaje entre A y B**

Fecha	Hora de evento	Voltaje	Valor voltaje
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	205.53 V



Continuación de la tabla XLII.

<b>27/10/2019</b>	3:05 a. m.	Máximo	208.28 V
<b>28/10/2019</b>	9:25 a. m.	Mínimo	201.96 V

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla XLIII, se encuentra el valor promedio, máximo y mínimo del voltaje entre las fases B y C de las líneas, al igual que el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XLIII. **Voltaje entre B y C**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Valor voltaje</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	206.52 V
<b>29/10/2019</b>	10:30 p. m.	Máximo	209.43 V
<b>29/10/2019</b>	11:45 a. m.	Mínimo	202.12 V

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla XLIV, se encuentra el valor promedio, máximo y mínimo del voltaje entre las fases C y A de las líneas, así como el tiempo donde ocurrió dicha lectura.

Tabla XLIV. **Voltaje entre C y A**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Valor voltaje</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	205.52 V
<b>27/10/2019</b>	3:05 a. m.	Máximo	208.28 V

Continuación de la tabla XLIV.

<b>28/10/2019</b>	9:25 a. m.	Mínimo	201.96 V
-------------------	------------	--------	----------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Según la Norma IEC 60364 establece que la caída de voltaje no debe exceder el 5 % del valor del voltaje nominal, en voltajes entre fases el valor del voltaje es de 208 V. De manera que el voltaje promedio y mínimo se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma.

#### **4.1.2.4. Desbalance de tensión del sistema en el edificio del VISAR**

La tabla XLV muestra que el desbalance de voltaje se mantuvo dentro de un valor promedio de 0.33 %, alcanzando un valor máximo de 0.65 % y llegando hasta un valor mínimo de 0.03 %.

Tabla XLV. **Desbalance de tensión**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Desbalance</b>	<b>(%)</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	0.33
<b>23/10/2019</b>	9:35 p. m.	Máximo	0.65
<b>29/10/2019</b>	10:35 a. m.	Mínimo	0.03

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Se puede observar en la tabla XLV, que el desbalance de tensión se encuentra dentro de los rangos permisibles descritos en las normas NTSD, desbalance de tensión Artículo 28.

#### 4.1.2.5. Flicker

La tabla XLVI muestra los valores de *flicker* a corto plazo (Pst) del edificio del VISAR.

Tabla XLVI. *Flicker* de corto plazo del edificio del VISAR

<b><i>Flicker</i> (Pst) línea A</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor (%)</b>
<b>Valor mínimo</b>	23/10/2019 09:10 a. m.	0.05
<b>Valor máximo</b>	28/10/2019 02:00 p. m.	9.38
<b>Promedio (23/10/2019 al 30/10/2019)</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	0.29
<b><i>Flicker</i> (Pst) línea B</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor</b>
<b>Valor mínimo</b>	23/10/2019 09:10 a. m.	0.00
<b>Valor máximo</b>	28/10/2019 02:00 p. m.	8.40
<b>Promedio (23/10/2019 al 30/10/2019)</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	0.29
<b><i>Flicker</i> (Pst) línea C</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor</b>
<b>Valor mínimo</b>	23/10/2019 09:10 a. m.	0.00
<b>Valor máximo</b>	28/10/2019 02:00 p. m.	6.97
<b>Promedio (23/10/2019 al 30/10/2019)</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	0.30

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Comparando los valores de la tabla XLVI con la Normas NTSD, Artículo 37. Los valores promedios y mínimos se encuentran dentro de los límites de la norma, a la vez que los valores máximos no los cumple.

La norma de tolerancia del *flicker* en las NTSD, también menciona que “la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al 5 % del periodo de medición” (CNEE, 1999, p. 24). Y las mediciones obtenidas muestran que el *flicker* supera el límite establecido. En la siguiente tabla se verificará si cumplen los valores de Pst y Plt con valores al 95 % percentil.

Tabla XLVII. **Porcentaje al 95 % del Pst y Plt**

Línea	Pst (%)	Plt (%)
<b>A</b>	0.48	0.66
<b>B</b>	0.47	0.58
<b>C</b>	0.46	0.54

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2016.

En la tabla XLVII, se observa que la distorsión de corto plazo Pst y la distorsión de largo plazo Plt están dentro de los valores de la norma.

#### **4.1.2.6. Análisis calidad de la frecuencia**

La frecuencia nominal que se utiliza en Guatemala es de 60 Hz, la norma EN 50160 menciona que ese valor debe oscilar entre más o menos en 1 % durante el 99 % de un año calendario.

Tabla XLVIII. **Frecuencia VISAR**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de evento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	60.01
<b>27/10/2019</b>	2:20 p. m.	Máximo	60.08
<b>27/10/2019</b>	1:40 p. m.	Mínimo	59.90

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La tabla XLVIII muestra que la frecuencia se mantuvo dentro de los valores establecidos por la Norma EN 50160.

#### 4.1.2.7. Análisis de potencia activa, reactiva y aparente

En la tabla XLIX, se describen los valores de cada potencia máxima y mínima que se obtuvieron con el analizador de redes *Fluke*.

Tabla XLIX. Potencias del edificio del VISAR en cada línea

Potencias línea A	Valor mínimo		Valor Máximo		Promedio	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor	23/10/2019 al 30/10/2019	Valor
<b>Activa (W)</b>	29/10/2019 05:20 a. m.	1,190	28/10/2019 12:05 p. m.	5,460	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	2,317.97
<b>Reactiva (VAR)</b>	30/10/2019 08:30 a. m.	-250	28/10/2019 11:40 a. m.	560	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	-49.14
<b>Aparente (VA)</b>	29/10/2019 05:20 a. m.	1,270	28/10/2019 12:05 p. m.	5,620	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	2,446.11
Potencias Línea B	Valor mínimo		Valor Máximo		Promedio	
	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor	Fecha y hora	Valor
<b>Activa (W)</b>	27/10/2019 10:50 a. m.	290	25/10/2019 08:25 a. m.	3,790	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	734.8

Continuación tabla XLIX.

<b>Reactiva (VAR)</b>	<b>28/10/2019 01:50 p. m.</b>	<b>-230</b>	<b>29/10/2019 08:00 a. m.</b>	<b>310</b>	<b>8:00 a. m. a 5 p. m.</b>	<b>-92.23</b>
<b>Aparente (VA)</b>	27/10/2019 10:50 a. m.	370	25/10/2019 08:25 a. m.	3,840	8:00 a. m. a 5 p. m.	806.38
<b>Potencias Línea C</b>	Valor mínimo		Valor Máximo		Promedio	
	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Valor</b>
<b>Activa (W)</b>	30/10/2019 07:45 a. m.	0	23/10/2019 10:20 a. m.	420	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	34.19
<b>Reactiva (VAR)</b>	30/10/2019 09:05 a. m.	10	23/10/2019 04:30 p. m.	30	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	17.31
<b>Aparente (VA)</b>	30/10/2019 08:50 a. m.	20	23/10/2019 10:20 a. m.	440	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	47.23

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla XLIX, la potencia aparente y activa presentan mayor consumo en la línea A que en la B y C. Y la potencia reactiva se mantiene estable en las líneas A y B, en estas las cargas son parecidas las cuales son mediante el uso de computadores, cargadores de laptop, cargadores de celulares, impresoras y fotocopadoras y así como también el consumo de iluminación, mientras que en la línea C tiene valores distintos, la cual indica que esta fase esta desbalanceada.

#### 4.1.2.8. Análisis factor de potencia

En la tabla L muestra los valores máximo y promedio del factor de potencia, las cargas conectadas en ese periodo influyeron para mantener el factor en los límites determinados por las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD).

Tabla L. **Factor de potencia VISAR**

Fecha	Hora de evento	Factor potencia	Valor adimensional
<b>23/10/2019 al 30/10/2019</b>	8:00 a. m. a 5 p. m. todos los días	Promedio	0.91
<b>25/10/2019</b>	8:25 a. m.	Máximo	0.98
<b>23/10/2019</b>	11:20 p. m.	Mínimo	0.62

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Es importante corregir el factor de potencia mínima para el horario en que se registró ese valor con la instalación de un banco de capacitores la cual logra mantener el factor de potencia dentro de los límites establecidos por la norma. Tener el factor de potencia muy bajo presenta problema para una empresa como lo es pagar una multa por tener el valor en valores bajos.



#### 4.1.2.9. Análisis de armónicos

Los valores de armónicos de voltaje y corriente del VISAR se obtuvieron con el analizador de redes Fluke y se utilizó el programa *Power log 430-II* para graficar el histograma de cada THD y así analizarlo.

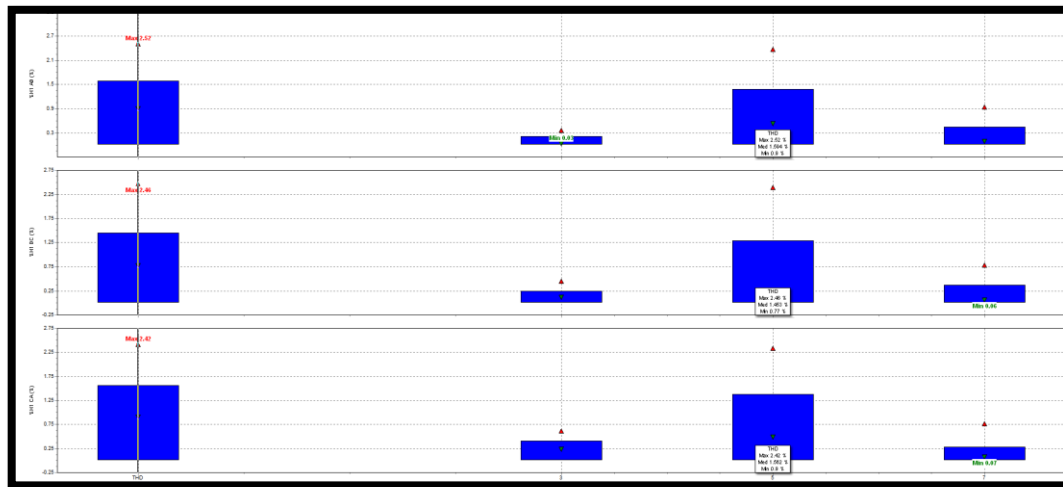
Tabla LI. **Distorsión armónica de voltaje**

<b>Armónica de voltaje</b>	
<b>Fase</b>	<b>THDV (%)</b>
<b>A</b>	1.59
<b>B</b>	1.45
<b>C</b>	1.56

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Las Norma NTSD indica que la distorsión armónica de voltaje no debe superar el 8 %, los valores de la tabla LI no exceden lo establecido por la norma.

Figura 47. **Histograma armónica de voltaje**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerLog 430-II.

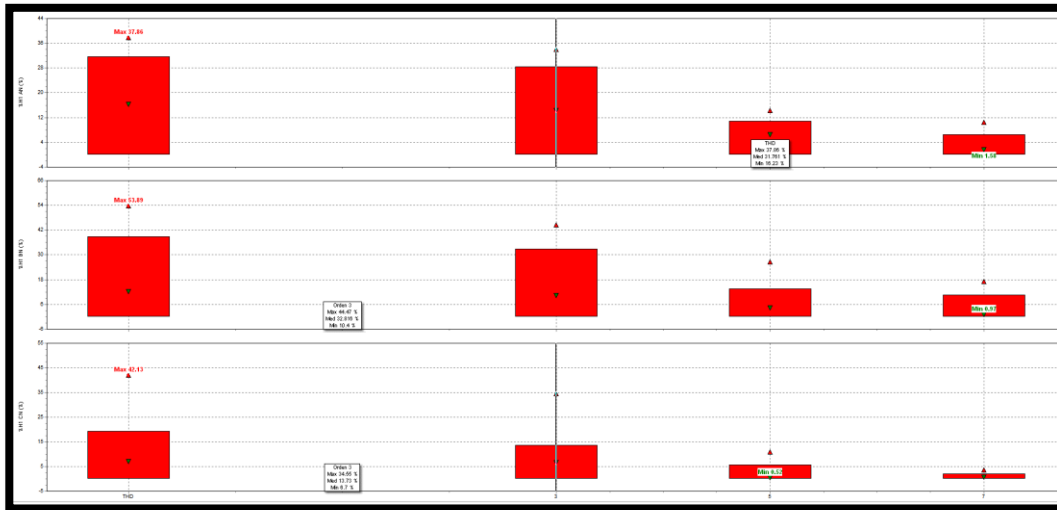
Tabla LII. **Distorsión armónica de corriente**

Armónicas de corriente	
Fase	THDA (%)
A	31.76
B	38.96
C	19.24

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Las Normas Técnicas del Servicio de Distribución de la CNEE indican que la distorsión armónica de corriente no debe superar el 20 %, los valores de la tabla LI exceden lo establecido por la norma. Por consiguiente, existen armónicas de corriente en la instalación eléctrica del VISAR.

Figura 48. **Histograma armónicos de corriente**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerLog 430-II.

Algunos de los problemas que puede presentar la instalación eléctrica al tener presencia de armónicos de corriente son:

- Mal funcionamiento de dispositivos electrónicos.
- Sobrecalentamiento en conductores de neutro.
- Fallas en los transformadores.
- Puede provocar daños en dispositivos eléctricos como motores, transformadores y generadores debido al sobrecalentamiento causado al haber pérdidas por efecto joule.

Se pueden utilizar los siguientes métodos para disminuir la distorsión armónica de corriente:

- Utilizar filtros activos y pasivos en la instalación eléctrica.

- Sobredimensionar los conductores de la instalación eléctrica y usar un neutro para cada fase.

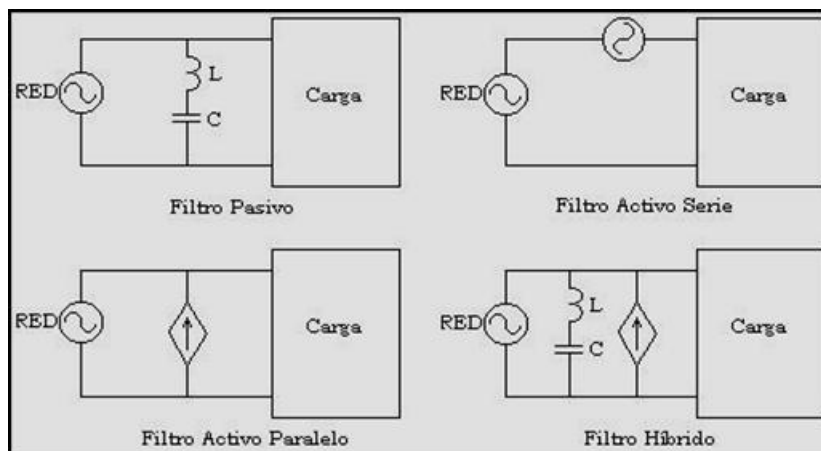
Para el edificio del VISAR se recomienda la instalación de filtros activos y pasivos para la disminución de los armónicos.

#### 4.1.2.9.1. Filtros activos y pasivos

- Filtro activo

Elimina armónicos de baja frecuencia y puede ser conectado en paralelo o en serie. También presenta muchas ventajas sobre los filtros pasivos. Al conectarlo en paralelo funciona como una fuente de corriente que extrae o inyecta corriente, según será necesario.

Figura 49. Filtro activo



Fuente: Universidad del Biobío, Chile, Facultad de Ingeniería. (2018). *Filtro de armónicos*.

Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de

<http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm>.

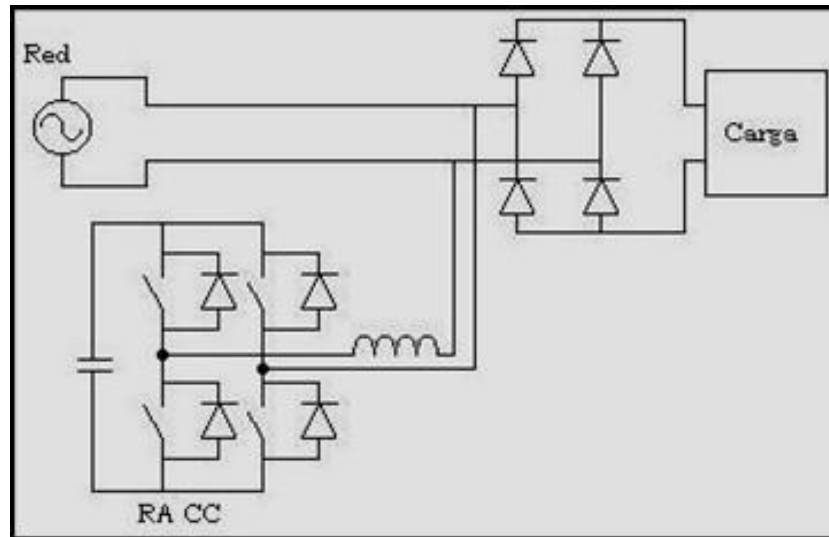
Entre los filtros activos se puede realizar los reductores de armónicos en corriente alterna y en un sistema trifásico.

- Filtro reductor de armónicos en CA

Se instala en la parte de alterna del sistema y tiene dos interruptores para

controlar los voltajes negativos.

Figura 50. **Filtro reductor armónico CA**



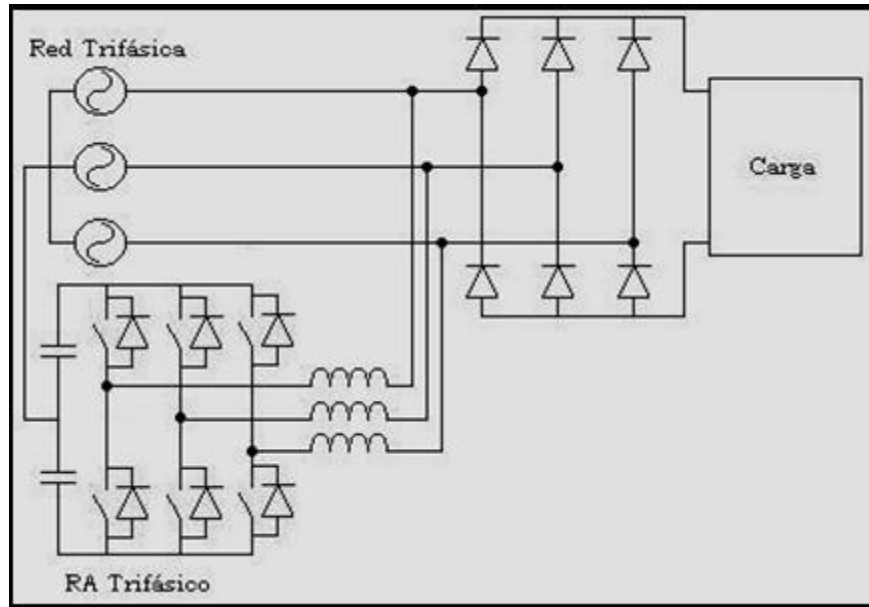
Fuente: Universidad del Biobío, Chile, Facultad de Ingeniería. (2018). *Filtro de armónicos*.

Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de  
<http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm>.

- Filtro reductor armónico trifásico

El convertidor se conecta en paralelo con la fuente de alimentación, percibe la corriente como sinusoidal, también tiene la capacidad de reorientarse cancelando el componente reactivo suministrado por la fuente de alimentación, también puede equilibrar la carga de las fases en caso de desequilibrio.

Figura 51. **Filtro reductor armónico trifásico**



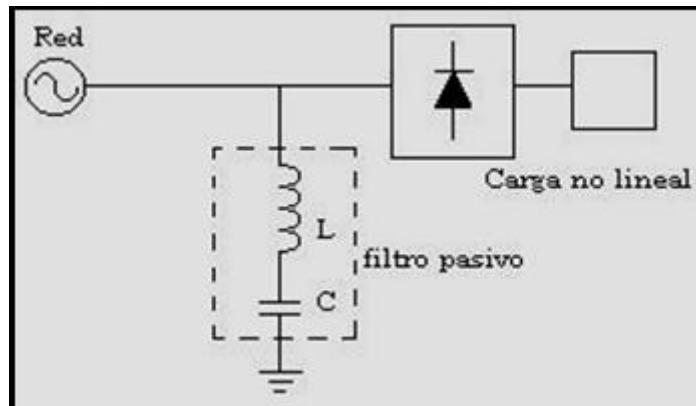
Fuente: Universidad del Biobío, Chile, Facultad de Ingeniería. (2018). *Filtro de armónicos*.

Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de  
<http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm>.

- Filtro pasivo

Compuesto de dispositivos eléctricos como condensadores y bobinas que se conectan en paralelo con la carga. Su principal función es la de eliminar la frecuencia de los armónicos por medio de resonarlo con los componentes instalados en el circuito, estos elementos no deseados se dirigirán hacia la tierra.

Figura 52. **Filtro pasivo**



Fuente: Universidad del Biobío, Chile, Facultad de Ingeniería. (2018). *Filtro de armónicos*.

Consultado el 10 de septiembre de 2021. Recuperado de  
<http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm>.

Tiene las siguientes cualidades: simplicidad, confiabilidad y robustez, además presenta numerosos inconvenientes, como el gran tamaño de las bobinas y capacitores requeridos, pobre respuesta dinámica a los cambios de carga, efecto de la impedancia de la red en el filtro, además, el filtro se puede ajustar para eliminar un solo armónico.



#### **4.1.3. Levantamiento eléctrico**

En este apartado se buscaron los elementos que constituyen la instalación eléctrica de los edificios del VISAR y el Área de Informática del edificio de Monja Blanca, tablero principal, tableros de distribución secundarios. Además, se identificaron y etiquetado los tableros y sus respectivos circuitos.

Con la ayuda del analizador de redes *Fluke* se pudieron analizar los diferentes parámetros eléctricos que puedan afectar a las instalaciones eléctricas del MAGA. Entre los parámetros analizados fueron la corriente, la tensión y la potencia; dichos parámetros se midieron exclusivamente en los edificios del VISAR y el Área de Informática del edificio de Monja Blanca. En los siguientes apartados se describe la información de los tableros donde se realizaron las mediciones.

##### **4.1.3.1. Identificación de tableros**

Dentro del MAGA se encuentran 5 edificios, los cuales son viceministerios como el VIDER, VISAR, VISAN y Asuntos de Petén. Siendo el principal el edificio de Monja Blanca. En este trabajo se realizó el análisis de las instalaciones eléctricas del viceministerio del VISAR y el Área de Informática del edificio Monja Blanca del MAGA.

La EGGS) provee de energía eléctrica al edificio del MAGA: el servicio viene de 3 transformadores que son de 50 kVA, localizados en las afueras de las instalaciones y están instalados en un poste. La conexión va hacia un cuarto de control dentro del parqueo del edificio de Monja Blanca.

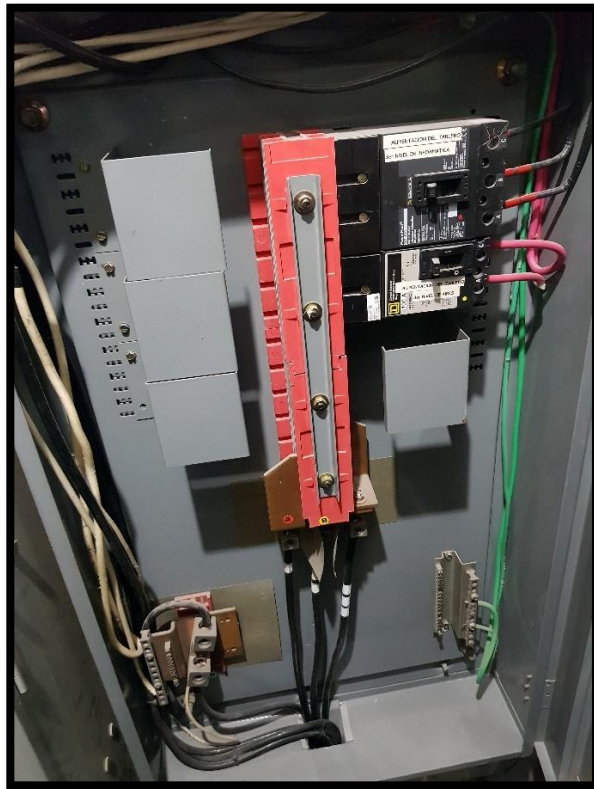
Figura 53. **Transformadores MAGA 50 KVA C/U**



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (calle principal, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala.

El tablero principal del edificio de Monja Blanca tiene contiene elementos eléctricos como interruptor magnético, dispositivos de protección, *breaker* principal, etc. Este tablero energiza a diferentes subtableros de cada nivel del edificio. Para el trabajo se realizaron mediciones al subtablero que suministra la energía eléctrica al Área de Informática ubicado en el 4to nivel, donde están localizados los servidores del ministerio.

Figura 54. **Tablero principal Área Informática 3er nivel Monja Blanca**



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (cuarto de paneles Área de Informática, MAGA. 2020).  
Colección particular. Guatemala.

La EGGSA provee de energía eléctrica al edificio del VISAR: el servicio viene de 3 transformadores que son de 25 kVA, localizados en las afueras de las instalaciones y están instalados en un poste. La conexión va hacia un cuarto de control dentro del parqueo del VISAR.

Figura 55. **Transformadores VISAR 25 KVA C/U**



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (calle principal, MAGA. 2020). Colección particular.  
Guatemala.

Figura 56. **Breaker principal del VISAR**



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (cuarto de paneles VISAR, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala.



Figura 57. **Tablero principal VISAR**



Fuente: [Fotografía de Edgar Ramírez]. (cuarto de paneles VISAR, MAGA. 2020). Colección particular. Guatemala.

#### 4.1.3.1.1. Tableros principales

Se identificaron las áreas donde están los tableros principales, cables, líneas vivas, neutros y tierras del VISAR y el edificio de Monja Blanca del MAGA, para diagnosticar el estado de la instalación eléctrica.

El primer tablero principal que se estudió fue el del edificio del VISAR, a este se le asignó el nombre de TP1. La tabla LIII describe las fases, conductores de alimentación, la tensión y corriente de los interruptores termomagnéticos.

Tabla LIII. Tablero principal del VISAR

Tablero principal VISAR						
<i>Breaker</i>	Voltaje (V)	Corriente (A)	Polos/fases	conductores de fase	Tipo de interruptor	Carga
1	240/120	250	3	2/0 THHN	2x100	Fuerza
2	240/120	200	3	2/0 THHN	1x30	Fuerza
3	240/120	250	3	2/0 THHN	2x20	Iluminación
4	240/120	200	3	2/0 THHN	2x50	Fuerza
5	240/120	200	3	2/0 THHN	1x30	Iluminación
6	240/120	200	3	2/0 THHN	1x50	Bomba de agua

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

El otro tablero principal donde se analizaron las mediciones de los parámetros descritos anteriormente, fue el del Área de Informática de Monja Blanca, a este tablero se le asignó el nombre de TP2. En la tabla LIV, se describen las fases, conductores de alimentación, la tensión y corriente de los interruptores termomagnéticos.

Tabla LIV. **Tablero Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Tablero principal Área de Informática, Monja Blanca</b>				
<b>Breaker</b>	Voltaje (V)	Corriente (A)	Polos/fases	conductores
<b>1</b>	240/120	150	3	2/0 THHN
<b>2</b>	240/120	100	3	2/0 THHN

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### 4.1.3.1.2. **Tableros de distribución**

En el edificio del VISAR hay instalados 6 tableros de distribución colocados dentro del edificio. En la tabla LV, se muestra la cantidad de tableros de distribución existentes (TD), el tipo de tablero (centro de carga) y la ubicación en donde se encuentran instalados.

Tabla LV. **Número de tableros de distribución VISAR**

<b>Tableros de distribución</b>		
<b>Número</b>	Tipo	Ubicación
<b>TD1</b>	centro de carga	sala de oficinas
<b>TD2</b>	centro de carga	sala de oficinas
<b>TD3</b>	iluminación	sala de oficinas
<b>TD4</b>	aires acondicionado	sala de oficinas
<b>TD5</b>	centro de carga	Área Informática
<b>TD6</b>	centro de carga	Cuarto servidores

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.



El edificio Monja Blanca consta de 4 tableros que sirven para darle alimentación eléctrica a todos los niveles del edificio que en total son 4. En cada nivel hay 1 tablero de energía eléctrica, siendo un total de 4 tableros.

En el nivel donde se encuentra el Área de Informática, este tiene 1 tablero para los aires acondicionados, 1 tablero para la potencia e iluminación y 1 tablero para los servidores. En la tabla LVI, se describen estos tableros.

Tabla LVI. **Tableros de distribución Área Informática Monja Blanca**

<b>Tableros de distribución Monja Blanca</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ubicación</b>
<b>TD1</b>	Iluminación	sala de oficinas
<b>TD2</b>	centro de carga	sala de oficinas
<b>TD3</b>	aires acondicionados	cuarto servidores

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2016.

#### **4.1.3.2. Conductores en la instalación eléctrica**

Los conductores de la instalación eléctrica se pueden encontrar utilizando el método de caída de tensión o ya sea por el método de corriente. Una vez encontrado el diámetro del conductor se puede encontrar que tipo de canalización se utilizó en la instalación.

En la tabla IV (ver capítulo 2), se describen las diferentes características de los conductores, se especifican su área transversal y el calibre definidos por la American Wire Gauge (AWG). En el VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca se utiliza desde el calibre número 12 THW hasta 10 THW (20 A - 30 A).

#### 4.1.3.2.1. Dimensionamiento de conductores

En la tabla LVII, se describe el número de calibre utilizado y, a qué circuito pertenece en el edificio del VISAR.

Tabla LVII. **Conductores del VISAR**

<b>Calibre de los conductores en el VISAR</b>		
<b>Circuito</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad de amperios (A)</b>
<b>Iluminación</b>	12 THW	20
<b>Fuerza</b>	10 THW	30
<b>Aire acondicionado</b>	10 THW	30

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En la tabla LVIII se describe el número de calibre utilizado y a qué circuito pertenece en el Área de Informática, Monja Blanca.

Tabla LVIII. **Conductores del Área de Informática de Monja Blanca**

<b>Calibre de los conductores en el Área de Informática, Monja Blanca</b>		
<b>Circuito</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad de amperios (A)</b>
<b>Iluminación</b>	12 THW	20
<b>Fuerza</b>	10 THW	30
<b>Aire acondicionado</b>	10 THW	30

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### 4.1.3.2.2. Método por caída de tensión

Según los artículos del Código Eléctrico Nacional (NEC), una instalación eléctrica no debe exceder el valor máximo de caída de tensión. Como lo indica el artículo 215.2 la caída de tensión en instalaciones domesticas es de 3 %, para instalaciones de edificios según el artículo 547.9 es de 2 % y, por último, para empresas o industrias, según el artículo 210.19 es del 3 y 5 %.

El edificio del VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca, utilizan una conexión monofásica, de manera que se utilizaron ecuaciones de caída de tensión para sistemas monofásicos.

La caída de tensión tiene factores que son importantes, como la distancia en medio de la carga y la alimentación, así como el tipo de material del conductor. La siguiente fórmula se utilizará para encontrar el método por caída de tensión, donde se observan los factores y datos necesarios que se necesitan para aplicarla y encontrar el área del conductor que se utilizará.

$$Amm^2 = \frac{In * 2d}{ek} ; \text{ monofásico}$$

$$Amm^2 = \frac{In * 1.73d}{ek} ; \text{ trifásico}$$

Donde:

$Amm^2$  = área en milímetros cuadrados a encontrarse del conductor

$In$  = corriente nominal

$D$  = distancia entre el tablero y la carga

e = caída de voltaje en porcentaje

K = constante del material, 57 cuando es cobre y 36 aluminio

El resultado de la fórmula se compara con la tabla LIX, y el valor del área en  $\text{Amm}^2$  se obtiene el tamaño del conductor necesario para la instalación.

Tabla LIX. **Área de los conductores**

Calibre (AWG o kcmil)	Area	
	mm <sup>2</sup>	Circular mils
18	0.823	1620
16	1.31	2580
14	2.08	4110
12	3.31	6530
10	5.261	10380
8	8.367	16510
6	13.3	26240
4	21.15	41740
3	26.67	52620
2	33.62	66360
1	42.41	83690
1/0	53.49	105600
2/0	67.43	133100
3/0	85.01	167800
4/0	107.2	211600
250	127	—
300	152	—
350	177	—
400	203	—
500	253	—
600	304	—

Fuente: ARAYA DÍAZ, Jorge y SANDOVAL ORTEGA, Francisco. (2001). *Conductores eléctricos*. Consultado el 3 de enero de 2021. Recuperado de [https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES\\_ELECTRICOS](https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES_ELECTRICOS).

#### 4.1.3.2.3. Método por corriente

Con el método de corriente se utiliza la siguiente fórmula para encontrar la corriente total del conductor y así poderlo comprar con las siguientes tablas. Este método depende de los diferentes factores especialmente el de servicio que comúnmente es de 0.8.

$$I_t = \frac{I_n}{F_{sc} * F_{mt} * F_{ta} * F_{nc}}$$

Donde:

$I_n$  = corriente nominal.

$F_{sc}$  = factor de servicio continuo.

$F_{mt}$  = factor del tipo del material, cuando es tubo metálico se utilizar el valor 1, cuando es plástico o PVC se utiliza el valor 0.8.

$F_{ta}$  = factor de temperatura ambiente.

$F_{nc}$  = factor número de conductores.

Tabla LX. Factores de temperatura ambiente

FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	56-60
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	61-70
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	71-80

Fuente: INCONTEC. (1998). *Código eléctrico colombiano NTC2050*. Tabla 310-16-NTC2050.  
p. 156.

Tabla LXI. Factores números de conductores

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje del valor de las Tablas, ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Fuente: INCONTEC. (1998). *Código eléctrico colombiano NTC2050*. Tabla 310-15-NTC2050.  
p. 162.

La corriente total encontrada se compara con la tabla IV del capítulo 2 para encontrar el calibre del conductor. Los resultados del método corriente y por tensión se comparan y se elige el calibre más grande para la instalación.

#### **4.1.3.3. Tipos de fallas eléctricas**

Los daños a instalaciones eléctricas como el daño de los dispositivos eléctricos que los circuitos no funcionen correctamente son algunos de las causas que son producidas por las fallas eléctricas. Como también pueden ser dañinas para las personas cuando ocurren quemaduras leves o choques eléctricos.

##### **4.1.3.3.1. Interrupciones**

Las interrupciones ocurren en una determinada duración y las hay en diferentes rangos como momentánea, temporal, instantánea y sostenida. Son provocadas cuando ocurre una pérdida de voltaje o corriente. El tiempo de duración se clasifican en:

- De 0.5 a 30 ciclos, interrupción instantánea
- De 30 ciclos a 2 segundos, interrupción momentánea
- De 2 segundos a 2 minutos, interrupción temporal
- Superior a 2 minutos, interrupción sostenida

Algunos de los fenómenos que provocan las interrupciones son fallas en los equipos, disparo del interruptor principal, animales, corrientes fuertes de aire, rayos y accidentes automovilísticos.

#### **4.1.3.3.2. Subtensión**

Ocurre cuando en un determinado intervalo comúnmente de duración 0.5 ciclos a 1 minutos baja el voltaje a una frecuencia dada. Provocadas por arranques de motores que demandan una corriente de arranque muy alta, como también en el arranque de aires acondicionados y fallas en el sistema.

#### **4.1.3.3.3. Sobretenión**

Las sobretensiones son provocadas por fallas a largo plazo que causan picos de voltaje. Cuando ocurren las sobrecargas de voltaje en los sistemas trifásicos se encontrarán conexiones neutrales de alta impedancia, caídas repentinas de carga y fallas monofásicas.

Los parpadeos de la iluminación, degeneración del aislamiento y contactos eléctricos, así como daños a los semiconductores de equipos electrónicos son causas provocadas por sobretenión. Una solución puede ser instalar sistemas UPS o transformadores de control.

#### **4.1.3.3.4. Distorsión de la forma de onda**

Se encuentran varios tipos de distorsión, tales como: las armónicas, el ruido, desplazamiento por corriente continua, interarmónicas y corte intermitente.

- Desplazamiento por CC

En una red de alterna, la corriente continua se puede generar por las fallas que presenta un rectificador en varias configuraciones para convertir la corriente alterna en corriente continua. La corriente continua puede ocurrir debido al



sobrecalentamiento y saturación del transformador. Una posible solución es reemplazar el equipo defectuoso que causa el problema.

- Armónicas

Son las fallas más encontradas en instalaciones eléctricas y son la causa principal de la deformación de la onda con frecuencia de múltiplos de la onda fundamental. El sobrecalentamiento en transformadores, conductores neutros y dispositivos eléctricos son algunos síntomas al tener esta falla.

Tabla LXII. Tolerancias para la distorsión armónica de tensión

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

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Norma técnica del servicio de distribución*. Consultado el 29 de marzo de 2020. Recuperado de [www.cnee.gob.gt/estudios electricos/Normas%20Técnicas/03%20NTSD.pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudios electricos/Normas%20Técnicas/03%20NTSD.pdf).

Tabla LXIII. Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	P ≤ 10 kW V≤ 1kV	P >10Kw 1kV<V≤60kV	P>50kW v>60kV
	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA (AMP)	DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DAII, EN %	
IMPARES NO MULTIPLOS 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 MULTIPLOS 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
DISTORSION ARMONICA TOTAL DE CORRIENTE DATI, EN %	--	20	12

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Norma técnica del servicio de distribución* Consultado el 29 de marzo de 2020. Recuperado de [www.cnee.gob.gt/estudios electricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudios electricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf).

- Interarmónica

Falla que deforma la onda obtenida del resultado de la señal superpuesta a la de voltaje por dispositivos eléctricos como inversores, motor de inducción y generadores de arco. Entre los efectos más notables de esta falla se encuentran en el parpadeo de pantallas y lámparas incandescentes.

- Corte intermitente

Falla que ocurre cuando se conectan dispositivos electrónicos al sistema como lo son soldadores de arco, atenuadores y variadores de velocidad, provocando alteraciones de voltaje. Provocando que haya cortes en la energía del sistema. Se puede evitar al aislar los equipos que lo provocan o colocar UPS.

- Ruido

Son aquellas tensiones o corrientes no deseadas que se superponen a las corrientes o tensiones de la red eléctrica. Lugares donde haya un mal diseño de tierra es propenso a presentar ruido. Otro de los elementos que pueden provocar ruido son los dispositivos electrónicos, circuitos de control y fuentes de alimentación.

#### **4.1.3.3.5. Fluctuaciones de tensión**

Son una deformación de voltaje en la onda fundamental o una serie de pequeños cambios aleatorios en el voltaje entre el 95 y el 105 % del valor nominal a frecuencias más bajas, típicamente menos de 25 Hz. Cualquier carga con grandes cambios en la corriente puede causar fluctuaciones de voltaje.

#### **4.1.3.3.6. Fluctuaciones de la frecuencia**

Este problema no ocurre con mucha frecuencia en los sistemas de red estables, especialmente en los sistemas que están conectados entre sí a través de la red. Se pueden observar variaciones de frecuencia en dispositivos como generadores, motores o dispositivos sensibles que dependen de ciclos de energía regulares y estables a lo largo del tiempo. La variación de frecuencia en un motor puede provocar que funcione a velocidades muy altas provocando calor y que se desgaste al pasar el tiempo lo cual hace que el consumo de corriente pueda ser alto.

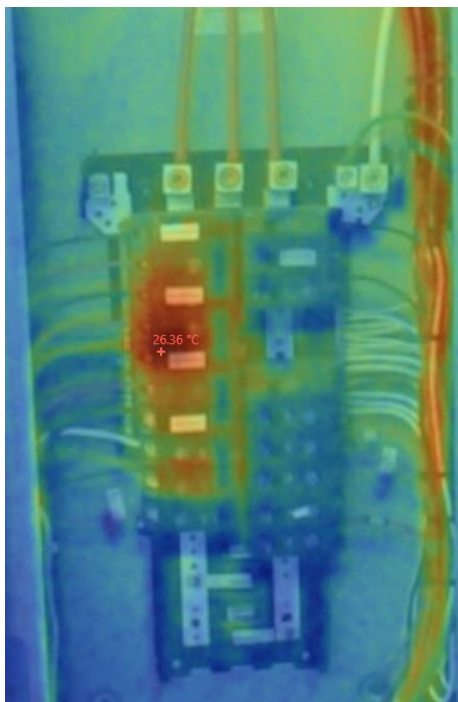
#### **4.1.3.3.7. Cortocircuito**

Esta es una de las fallas más comunes en los sistemas eléctricos y puede ocurrir tanto en instalaciones de vivienda o empresas. Ocurre cuando dos puntos de un circuito entran en contacto provocando así una corriente muy superior a la corriente nominal que puede dañar el circuito. Como resultado, pueden ocurrir reacciones violentas como chispas, disipación de calor, fuego y explosiones.

### **4.2. Mediciones y análisis termográficos de la instalación eléctrica**

Se realizó un estudio termográfico de los tableros principales del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca para verificar si existen fallas, los cuales pueden ser falso contactos, contactos sucios o sobrecalentamiento.

Figura 58. **Tablero informática**



Fuente: elaboración propia, cuarto de informática, edificio del VISAR, realizado con el medidor Fluke 941.

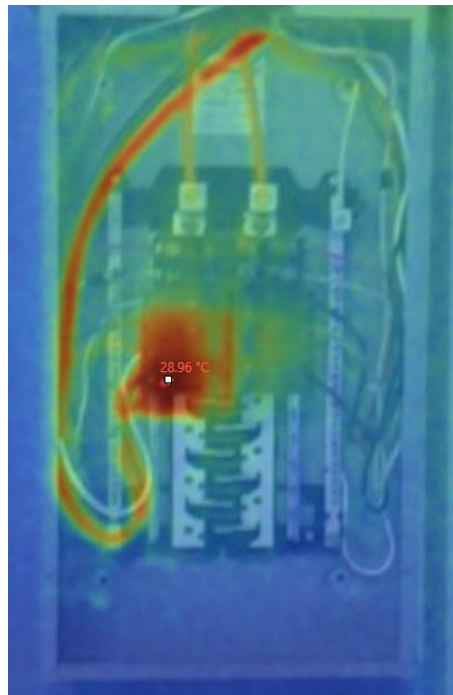
Tabla LXIV. **Cuadro de temperatura tablero informática MAGA**

<b>Tablero informática MAGA</b>	
<b>Puntos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Central</b>	28.01
<b>Máximo</b>	28.04
<b>Mínimo</b>	20.46

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La figura 59 se muestra la imagen térmica del tablero de informática y la tabla LXIV describe los puntos calientes se hallan en el interruptor 3, la temperatura no se considera alta o con riesgo de alguna falla, por causa de algún desperfecto térmico. Las demás componentes presentan valores aceptables.

Figura 59. **Tablero aires acondicionados Área de Informática del edificio MAGA**



Fuente: elaboración propia, Área de Informática, edificio Monja Blanca, MAGA, realizado con el medidor Fluke 941.

Tabla LXV. **Cuadro de temperatura tablero aires acondicionados Área de Informática del edificio MAGA**

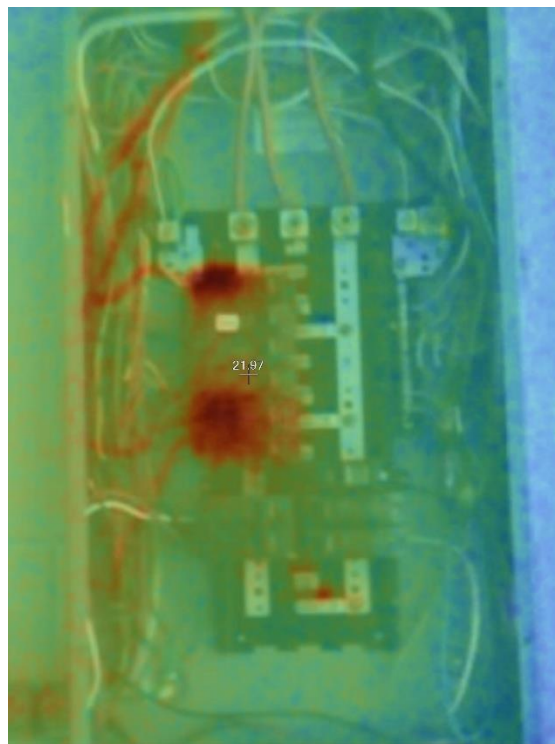
<b>Tablero aires acondicionados Informática MAGA</b>	
<b>Puntos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Central</b>	28.81
<b>Máximo</b>	28.96
<b>Mínimo</b>	19.48

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La figura 60 muestra los puntos calientes que se encuentran en el tablero el cual es un interruptor, pero la temperatura es de 28.96 °C la cual está en una temperatura tolerable de los interruptores y no presenta sobrecalentamiento alguno.



Figura 60. **Tablero área cubículos VISAR**



Fuente: elaboración propia, área cubículos, edificio del VISAR, utilizando el medidor FLUKE 941.

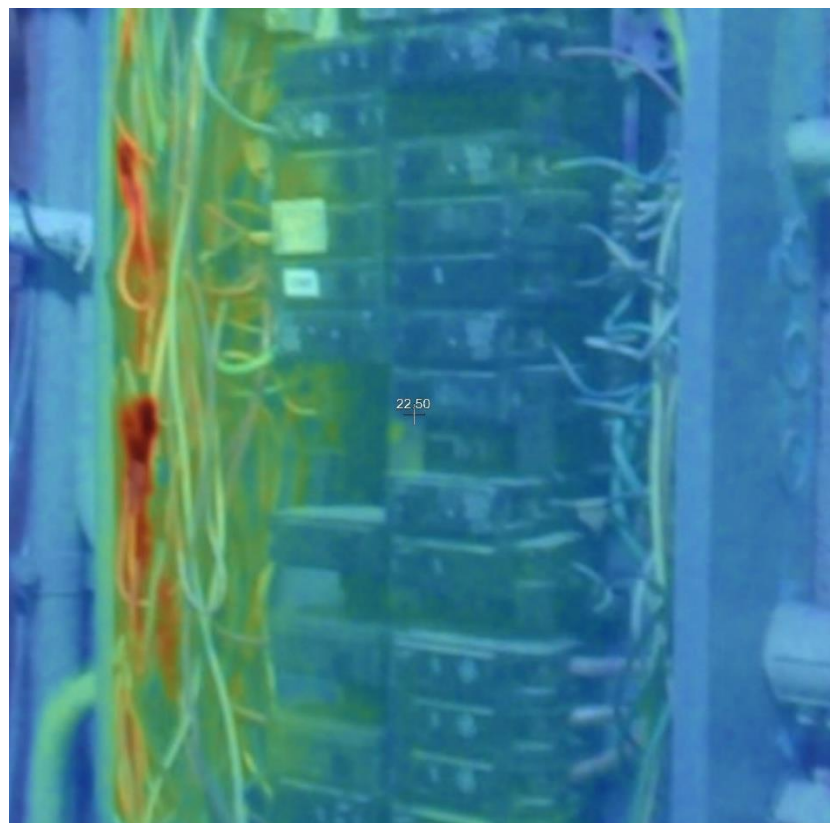
Tabla LXVI. **Cuadro de temperatura tablero área cubículos VISAR**

<b>Tablero área cubículos VISAR</b>	
<b>Puntos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Central</b>	21.97
<b>Máximo</b>	23.98
<b>Mínimo</b>	19.68

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La figura 61 muestra los puntos calientes en el tablero, estos pueden ser provocados por corrosión o suciedad en los contactos. Los materiales metálicos pueden padecer de oxidación, experimentar cambios drásticos de temperatura que pueden lograr que el componente se dilate o contrae, suciedad, debido a factores ambientales. Provocando problemas de conductividad entre los instrumentos de la instalación eléctrica. Y como describe la tabla LXVI, está en una temperatura tolerable de los interruptores.

Figura 61. **Tablero principal VISAR**



Fuente: elaboración propia, área cubículos, edificio del VISAR, realizado con el medidor Fluke 941.

Tabla LXVII. **Cuadro de temperatura tablero principal VISAR**

<b>Tablero principal VISAR</b>	
<b>Puntos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Central</b>	22.50
<b>Máximo</b>	30.72
<b>Mínimo</b>	21.73

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Por último, en la figura 62 muestra que el máximo punto es de 30.72 °C puede ser provocado por los interruptores en precaria condición o que contengan suciedad, corrosión y falso contacto. Produciendo así más calor en ese punto y que haya perdidas por efecto joule degradando así al interruptor.

Al realizar el estudio térmico, se recomienda las siguientes indicaciones para mantener los paneles del VISAR como del Área de Informática en buen estado.

- Mantener los contactos bien asegurados con el fin de prevenir falso contactos.
- Redimensionar los interruptores que están sobrecargados, previendo su sobrecarga.
- Realizar un estudio termográfico como parte el programa preventivo, logrando con ello un control de los elementos de la instalación.

#### **4.2.1. Mantenimiento tableros eléctricos**

Es necesario realizar un mantenimiento correctivo y preventivo en los tableros para alargar su funcionamiento y detectar errores que se están empezando a desarrollar y que pueden ocurrir a corto o medio plazo.

Procedimiento de mantenimiento preventivo: para realizarlo se deben realizar diversos pasos:

- Observar la condición de los tableros eléctricos.
- Limpiar los tableros de toda suciedad y polvo.
- Observar la condición de la caja del tablero.
- Tener los tableros bien identificados.
- Comprobar si cada tablero tiene su propio diagrama unifilar.
- Comprobar si los cables utilizados cumplen con el código de colores.
- Comprobar que los interruptores de falla y cables coincidan.
- Comprobar que cada tablero sea accesible de manera adecuada y para el buen manejo de maniobras.
- Limpiar los dispositivos eléctricos adentro del tablero de polvo o suciedad.
- Hacer la limpieza de las barras de alimentación de cada tablero con solvente dieléctrico.
- Hacer un estudio termográfico de los tableros.
- Si hay contactos flojos se deben de poner bien.
- Empleo de limpia contacto dieléctrico a los tableros.
- Realizar las mediciones correspondientes de parámetros eléctricos para cada tablero.
- Hacer mediciones de temperatura de los interruptores térmicos.
- Analizar los datos que se obtuvieron de las mediciones.
- Realizar un informe técnico del estado del tablero.

- Una vez realizado el informe técnico por un ingeniero eléctrico o afín al campo de electricidad, deberá de firmar un certificado de operatividad de tableros eléctricos.
- Si es necesario un mantenimiento correctivo se debe de cotizar el costo del mantenimiento.

Mantenimiento correctivo: este incluye corregir los defectos donde se requiere solución y se aplica a aquellos equipos que posibiliten interrumpir la operación en algún momento, independientemente del tiempo de la interrupción y sin perjudicar la seguridad de las personas o la propiedad.

- Realizar un diagnóstico y un informe técnico.
- Del diagnóstico realizado hay que decidir si realizar una reparación correctiva o no.
- Una vez realizado el mantenimiento correctivo, un ingeniero eléctrico o afín al campo de la electricidad, deberá de firmar un certificado de operatividad de tableros eléctricos.

#### **4.2.1.1. Mantenimiento preventivo por ultrasonido**

Es un tipo de mantenimiento predictivo para localizar fallas sistemas en las industrias y equipos. Con ondas ultrasónicas que van desde 40 KHz para la detección de fallas.

Este tipo de mantenimiento consiste en capturar el sonido emitido por diversas fuentes a frecuencias superiores a 20-20,000 Hz, que corresponde al rango del oído humano. Casi todas las pérdidas mecánicas por fricción, presión, vacío y los arcos eléctricos generan ondas de ultrasonido en un rango de 40 KHz. Se trata de frecuencias con propiedades que pueden utilizarse para el

mantenimiento predictivo, como tenemos que las ondas sonoras son pequeñas y se mitigan velozmente sin generar reflejos y, por tanto, el ruido de fondo no importando su intensidad no interfiere con la detección de ultrasonidos.

Al utilizar ultrasonido se pueden detectar dos tipos de fallas en los sistemas eléctricos los cuales son el arco eléctrico y efecto corona.

- Arco eléctrico: el fenómeno de los arcos eléctricos son ocasionados cuando los equipos eléctricos están dañados o funcionan incorrectamente, cuando los conductores eléctricos entran en contacto entre sí o con el suelo, provocando que la atmósfera destelle la corriente transmitida.
- Corona: se manifiesta en forma de brillo azul o morado en el aire provocada cuando el voltaje de un conductor es superior al valor umbral del aire.

Si en un sistema de alta tensión hay fugas, esto crea perturbaciones en las moléculas de aire las cuales producen ultrasonido. En algunos casos, esto suena como un crujido y, a veces, como un zumbido.

#### **4.2.2. Tipos de fallas termográficas**

Este estudio forma parte del mantenimiento predictivo y para detectar fallas. Se encuentran diversos tipos de fallas en termografía que pueden ser defectos de aislamiento, conexiones corroídas, oxidación de los interruptores, daños en los fusibles, conexiones mal aseguradas y conexiones sobrecalentadas. Estas fallas se pueden detectar realizando un estudio termográfico a los tableros del sistema eléctrico.

#### 4.2.2.1. Calentamiento de Joule

El calentamiento ocurre cuando la corriente eléctrica pasa sobre el conductor y los electrones de esta corriente impactan con el material conductor. La fórmula matemática del efecto Joule se expresa con la siguiente ecuación:

$$w = I^2 R$$

Donde:

W = cantidad de calor [J]

I = intensidad de corriente [A]

R = resistencia eléctrica [ $\Omega$ ]

Cuando se habla de pérdidas de calor se utiliza la unidad de caloría, por lo que la siguiente expresión se convierte 1 joule a caloría:

$$1J \left( \frac{0.24cal}{1Joule} \right) = 0.24cal$$

Una vez obtenido el resultado en calorías se escribe la fórmula matemática del efecto joule en términos de caloría:

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

Donde:

Q =cantidad de calor [cal]

t =tiempo [s]

#### **4.2.2.2. Acaparamiento de corriente**

Para controlar las corrientes muy altas que pueden sufrir los sistemas eléctricos se conectan en paralelo componentes eléctricos llamados transistores o diodos, pero los sistemas pueden estar pueden experimentar, aun con las debidas protección fallas que son llamadas acaparamiento de corriente.

Al existir este acaparamiento en un circuito la corriente no se reparte igual en todos los dispositivos. Un dispositivo puede tener una resistencia ligeramente menor, por lo que consume más corriente, lo que hace que se caliente más que los dispositivos del mismo tipo logrando que su resistencia disminuya aún más. Las corrientes se pueden reducir haciendo coincidir cuidadosamente las características de cada dispositivo en paralelo.

#### **4.2.2.3. Falso contacto**

Con el tiempo, el desgaste de los equipos eléctricos aumentará si la instalación se ubica en el exterior, donde la exposición a cambios de temperatura o un ambiente húmedo y polvoriento, eventualmente causará problemas a los componentes eléctricos.

El mal contacto ocurre cuando Las puntas distantes de un cable se tocan entre sí, provocando así que el calor y la corriente aumenten y, como resultado, se produzcan chispas en los enchufes o en las cajas de conexiones.

El contacto incorrecto puede deberse a una conexión incorrecta del enchufe y el tomacorriente, tomacorrientes en estado precario, una conexión de cables deficiente, un tornillo flojo, entre otros. Para evitar un contacto incorrecto, la



conexión debe mantenerse regularmente para evitar cualquier tipo de accidente durante la instalación eléctrica.

#### **4.3. Evaluación y estudio de la iluminación**

Se utilizó el medidor de lúmenes Fluke 941 en cada lugar de trabajo del VISAR y el área de Informática, Monja Blanca, para luego compararlos con los niveles recomendados por el Acuerdo Gubernativo 229-2014.

##### **4.3.1. Medición luxes en las áreas de trabajo del VISAR y Área de Informática, Monja Blanca**

En las tablas LXVIII y LXIX, se detallan en promedio los niveles de luxes que se encontraron en las zonas de trabajo del VISAR y del Área de Informática, Monja Blanca.

**Tabla LXVIII. Medición luxes VISAR**

<b>Medición de luxes en VISAR</b>	
<b>Lugar</b>	<b>Luxes</b>
<b>Área cubículos</b>	180.33
<b>Oficina 101</b>	110.00
<b>Oficina 102</b>	113.20
<b>Baños</b>	222.67
<b>Oficina DPCM</b>	310.20
<b>Oficina 107</b>	229.20
<b>Oficina 106</b>	147.40
<b>Área Informática</b>	246.80
<b>Recepción</b>	264.60
<b>Cafetería</b>	152.40
<b>Sala de reuniones</b>	66.33

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla LXIX. **Medición luxes Área Informática, Monja Blanca**

<b>Medición de luxes en Área informática, Monja Blanca</b>	
<b>Lugar</b>	<b>Luxes</b>
<b>Jefatura</b>	259
<b>Recepción</b>	170
<b>Cubículos</b>	217
<b>Servidores</b>	235

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### **4.3.1.1. Niveles de Iluminación en las áreas de trabajo, según Acuerdo Gubernativo 229-2014**

En la tabla LXX, se detallan los niveles recomendados de lúmenes para cada área de trabajo, por lo que se compararon con los niveles encontrados en la tabla LXVIII para comprobar si están dentro de estos niveles recomendados por el Acuerdo Gubernativo 229-2014.

Tabla LXX. **Intensidad mínima de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo, según Acuerdo Gubernativo 229-2014**

Zona de Trabajo	Exigencia visual	Nivel mínimo de Luxes en las áreas de trabajo
<b>FÁBRICAS</b>		
Áreas de tránsito y Pasillos	Baja	100-150
Tanques y Bombas	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Escaleras y Pasamanos	Media	150-200
Sala de Calderas y Cuartos de Control	Media	150-200
Bandas transportadoras	Media	150-200
Bodegas de Almacenaje y Centros de distribución	Alta	200-500
Bancos de trabajo y Líneas de Producción	Alta	200-500
Empaque de Productos	Alta	200-500
Áreas de Carga	Alta	200-500
Control de Calidad	Alta	500-1000
Laboratorios	Alta	500-1000
<b>OFICINAS</b>		
Escaleras y Pasillos	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Recepción y Sala de Reuniones	Media	200-500
Bodegas de Materiales	Media	200-500
Trabajo de Oficinistas	Alta	500-1000
Redacción	Alta	1,500-2,000
Archivo	Alta	1,500-2,000
<b>BODEGAS Y TALLERES</b>		
Baños	Baja	100-150
Bodegas de Almacenaje y Centros de distribución	Alta	200-500
Trabajo, Inspección y selección de producto	Alta	1,500-2,000
Trabajo mecánico o manual	Alta	1,500-2,000
<b>COMERCIOS</b>		
Pasillos	Baja	100-150
Recepción	Baja	100-150
Baños	Baja	100-150
Elevadores y gradas eléctricas	Media	200-500
Restaurantes y Cocinas	Alta	1,500-2,000
Vitrinas	Alta	1,500-2,000

Fuente: Acuerdo Gubernativo 229-2014. (2014). Consultado el 20 de noviembre. Recuperado de <https://agexporthoy.export.com.gt/wp-content/uploads/2020/03/REGLAMENTO-G.-SSO-2.pdf>. 2020.

Tabla LXXI. **Comparación niveles de iluminación edificio del VISAR con Acuerdo Gubernativo 229-2014**

<b>Medición de luxes en VISAR</b>		
<b>Lugar</b>	<b>Luxes</b>	<b>Niveles recomendados</b>
<b>Área cubículos</b>	180.33	500 – 1,000
<b>Oficina 101</b>	110.00	500 – 1,000
<b>Oficina 102</b>	113.20	500 – 1,000
<b>Baños</b>	222.67	100 – 150
<b>Oficina DPCM</b>	310.20	500 – 1,000
<b>Oficina 107</b>	229.20	500 – 1,000
<b>Oficina 106</b>	147.40	500 – 1,000
<b>Área Informática</b>	246.80	500 – 1,000
<b>Recepción</b>	264.60	200 – 500
<b>Cafetería</b>	152.40	200 – 500
<b>Sala de reuniones</b>	66.33	200 – 500

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla LXXII. **Comparación niveles de iluminación del Área de Informática, Monja Blanca con Acuerdo Gubernativo 229-2014**

<b>Medición de luxes en Área Informática Monja Blanca</b>		
<b>Lugar</b>	<b>Luxes</b>	<b>Niveles recomendados</b>
<b>Jefatura</b>	259	500–1,000
<b>Recepción</b>	170	200–500
<b>Cubículos</b>	217	500–1,000
<b>Servidores</b>	235	200–500

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Las tablas LXXI y LXXII muestran que varios lugares de trabajo del VISAR y Área de Informática de Monja Blanca no cumplen con los niveles recomendados por el Acuerdo Gubernativo, lo cual puede provocar fatiga y el más importante,

problemas oculares. Los lugares de trabajo del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca donde presentan problemas de iluminación son los siguientes:

- Oficinas (VISAR)
- Área Informática (VISAR)
- Sala de reuniones (VISAR)
- Área cubículos (VISAR)
- Jefatura (Área Informática, Monja Blanca)
- Cubículos (Área Informática, Monja Blanca)
- Recepción (Área Informática, Monja Blanca)

Los niveles bajos de iluminación son causados principalmente por luminarias en precario estado o quemadas, porque le faltan 1 o varias luminarias.

Tabla LXXIII. **Eficiencia lumínica en área del VISAR**

<b>Eficiencia lumínica VISAR</b>		
<b>Lugar</b>	<b>luxes</b>	<b>% eficiencia lumínica</b>
<b>Área cubículos</b>	180.33	7.51
<b>Oficina 101</b>	110.00	6.91
<b>Oficina 102</b>	113.20	13.43
<b>baños</b>	222.67	74.23
<b>Oficina DPCM</b>	310.20	7.35
<b>Oficina 107</b>	229.20	3.32
<b>Oficina 106</b>	147.40	5.16
<b>Área Informática</b>	246.80	4.21
<b>Recepción</b>	264.60	6.84
<b>Cafetería</b>	152.40	14.15
<b>Sala de reuniones</b>	66.33	40.65

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla LXXIV. **Eficiencia lumínica en Área de Informática, Monja Blanca**

<b>Eficiencia lumínica Monja Blanca</b>		
<b>Lugar</b>	<b>Luxes</b>	<b>% eficiencia lumínica</b>
<b>Jefatura</b>	259	8.00
<b>Recepción</b>	170	40.74
<b>Cubículos</b>	217	3.19
<b>Servidores</b>	235	2.68
<b>Jefatura</b>	259	8.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

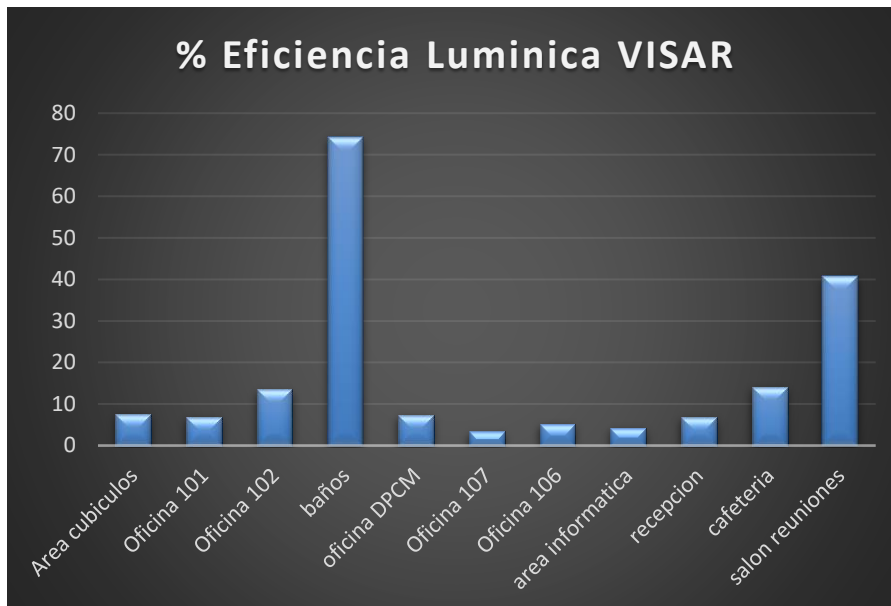
Las tablas LXXIII y LXXIV detallan la eficiencia lumínica del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca, la eficiencia se obtuvo mediante la fórmula descrita del capítulo 3.2.2.5.

Las tablas LXXIII y LXXIV detallan que la eficiencia lumínica en el VISAR y el Área de Informática de Monja Blanca es muy bajo, y debido a esto se recomienda mejorar la iluminación en todo el edificio del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

En el VISAR se notó que algunas áreas, en particular el área de jefatura, le faltaba 1 luminaria por esa razón se recomienda instalar 1 lámpara fluorescente del mismo tipo, en las áreas donde hagan falta luminarias para aumentar los niveles de iluminación.

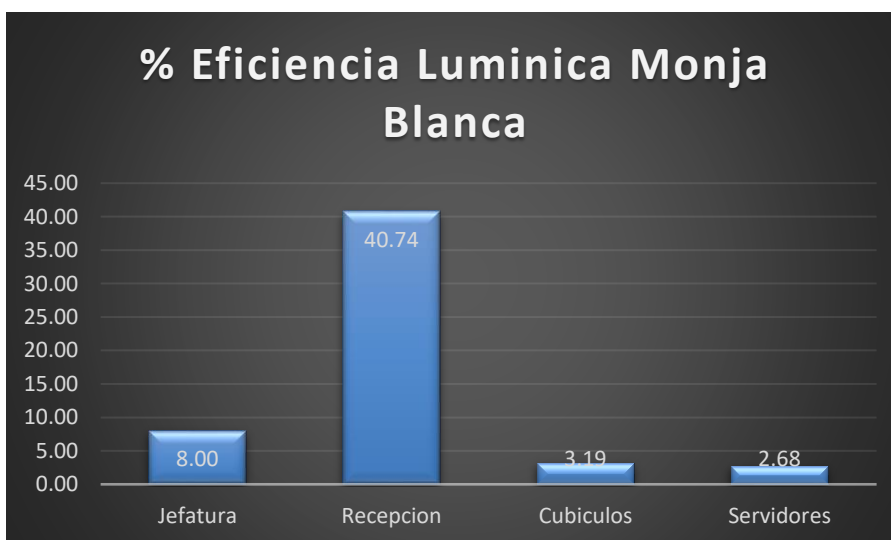
En las siguientes figuras se graficaron la eficiencia lumínica de los lugares de trabajo del edificio del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca.

Figura 62. **Porcentaje de eficiencia VISAR**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Figura 63. **porcentaje de eficiencia Área Informática, Monja Blanca**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En las figuras 63 y 64, se verificó que varios de los lugares de trabajo tienen niveles muy bajo de eficiencia.





## 5. PLAN ENÉRGETICO

### 5.1. Realización del plan energético

En el siguiente apartado se detallará el consumo energético de los años 2018 y 2019, para así realizar una proyección de 10 años del consumo energético por medio de Excel.

#### 5.1.1. Análisis histórico de facturación eléctrica

Mediante las facturas del año 2018 y 2019, se analizarán los costos de energía eléctrica y gastos realizados en los respectivos años.

Tabla LXXV. Historial de consumo MAGA con factura años 2018-2019

Historial de consumo años 2018-2019		
Mes	Total factura (Q)	
	2018	2019
Enero	29,719.91	31,253.67
Febrero	30,479.67	31,443.54
Marzo	34,284.42	38,407.40
Abril	33,872.59	39,124.89
Mayo	35,773.39	40,678.80
Junio	35,690.46	45,552.40
Julio	33,885.10	45,533.76
Agosto	36,507.27	43,864.25
Septiembre	36,888.63	41,768.70
Octubre	35,335.93	42,666.79

Continuación de la tabla LXXV.

<b>Noviembre</b>	68,964.44	41,982.62
<b>Diciembre</b>	33,545.59	40,507.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Tabla LXXVI. **Historial de consumo VISAR con factura años 2018-2019**

<b>Historial de consumo años 2018-2019</b>		
<b>Mes</b>	<b>Total factura (Q)</b>	
	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Enero</b>	2,414.59	3,661.52
<b>Febrero</b>	2,745.14	3,698.32
<b>Marzo</b>	4,568.21	5,292.74
<b>Abril</b>	5,842.02	5,947.28
<b>Mayo</b>	6,190.94	6,624.59
<b>Junio</b>	5,837.01	7,230.80
<b>Julio</b>	5,042.34	6,420.65
<b>Agosto</b>	5,927.16	6,065.16
<b>Septiembre</b>	5,444.68	5,641.68
<b>Octubre</b>	5,666.72	5,568.53
<b>Noviembre</b>	3,639.98	4,655.47
<b>Diciembre</b>	3,806.93	4,660.46

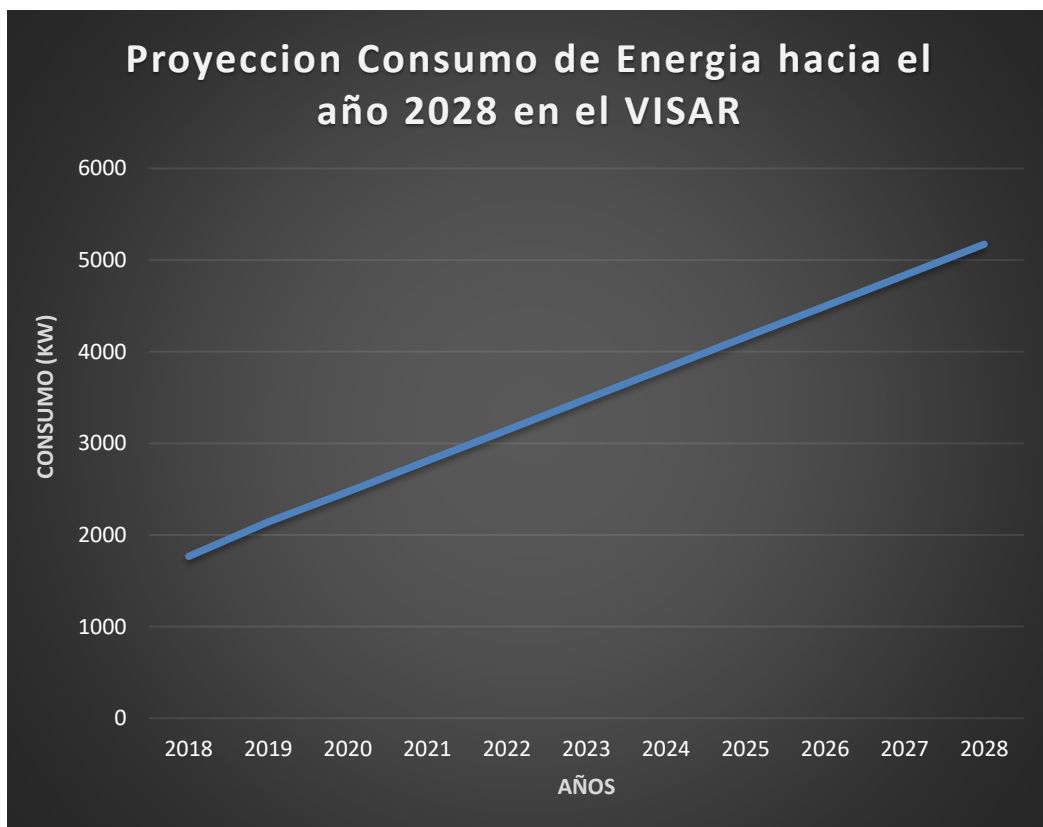
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

## **5.2. Proyección de consumo de energía eléctrica 2018-2028**

La proyección de energía futura es fundamental para saber el comportamiento del consumo energético durante 10 años. Para lograr así observar si se necesita planificar una readecuación de los elementos eléctricos en el sistema. Se hizo la proyección en base al consumo diario medido por el analizador de redes Fluke, para un día hábil y para un día fin de semana o asueto.

Siguiendo el enfoque y principios de la Política Energética 2013-2027, específicamente la visión a largo plazo de la política, se detalla en las figuras 65 y 66 la proyección del consumo de energía eléctrica del VISAR y el edificio de Monja Blanca del MAGA a través de 10 años.

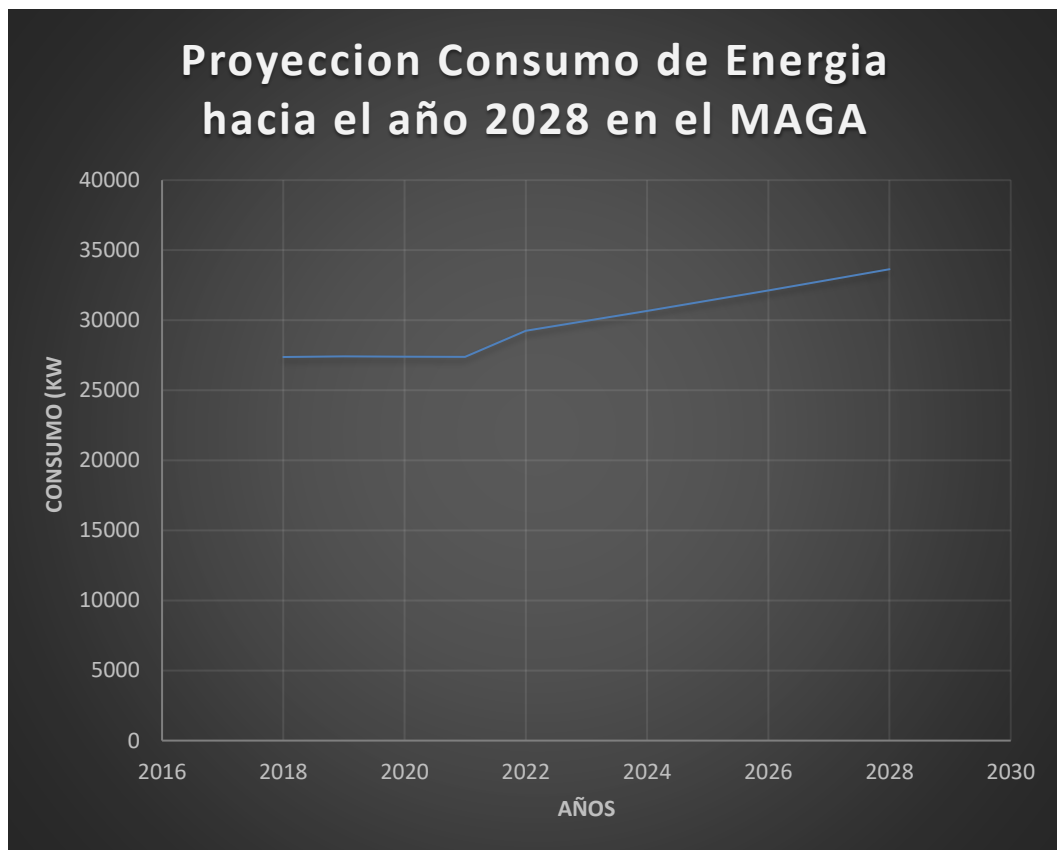
Figura 64. **Proyección del consumo de energía para el año 2028 del VISAR**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La proyección realizada con base en datos históricos del VISAR, muestra que el consumo energético crecerá en promedio un 13.14 % cada año.

Figura 65. **Proyección del consumo de energía para el año 2028 del  
MAGA**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

La proyección realizada con base en datos históricos del MAGA, muestra que el consumo energético crecerá en promedio un 2.10 % cada año.



## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **6.1. Análisis de mejora de la energía eléctrica del VISAR**

Se realizaron 2 propuestas para la reducción del consumo energético en el VISAR y mejora en el área de iluminación del VISAR y del Área de Informática, Monja Blanca.

#### **6.1.1. Propuestas de utilización de energía renovables**

Se planea utilizar energías renovables que utilizan los recursos naturales del planeta, con el objetivo de reducir el consumo energético, así como también ayudar al medio ambiente. En Guatemala se utilizan recursos naturales como hidroeléctricas, geotérmicos, solares, eólica y biomasa.

La Política Energética 2013-227, del Ministerio de Energía y Minas, busca como objetivo impulsar el uso de energías renovables para hacer competitivo el sector energético en el país, al igual que también velar por el uso adecuado de los recursos de energía y sus fuentes. La generación de energía eléctrica con fuentes naturales representa un beneficio al medio ambiente y a la economía del país.

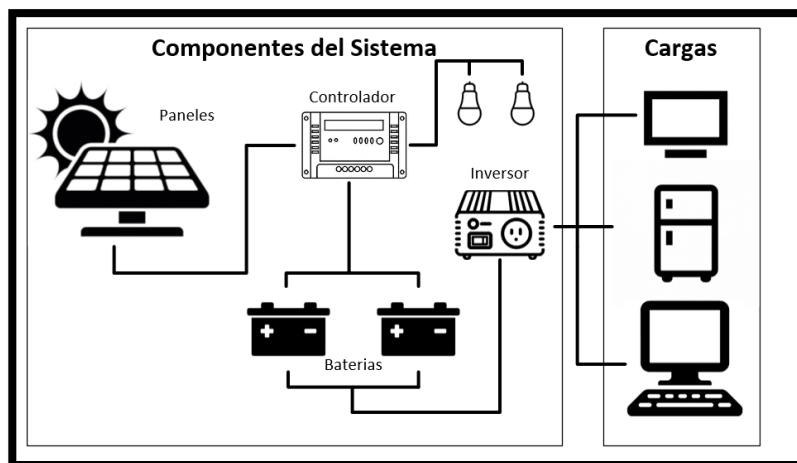
Considerando la localización del VISAR, los paneles solares aprovecharán la luz solar para transformarla en energía eléctrica, se propone el uso de energía solar en el VISAR con el fin de reducir el consumo energético en un 25 %.



### 6.1.1.1. Propuesta de sistema fotovoltaico

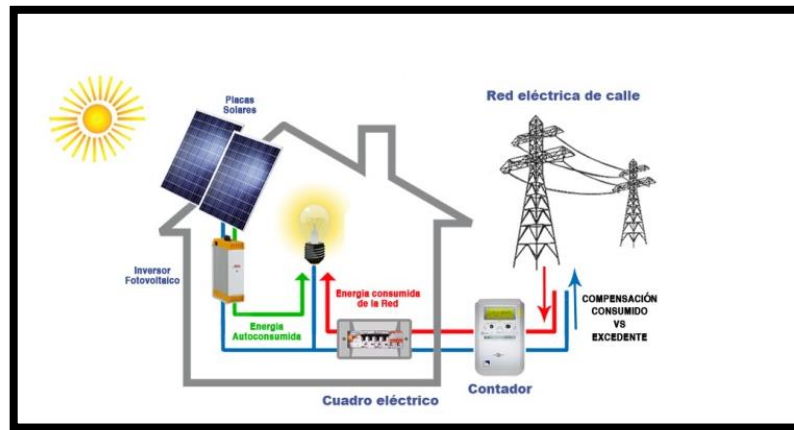
Un sistema fotovoltaico es el ensamblaje de algunos componentes eléctricos y trabajan juntos para lograr la conversión de energía solar en eléctrica con el objetivo de conectar dispositivos eléctricos. La potencia eléctrica que genera un sistema fotovoltaico depende del número de las horas solar pico que el panel pueda absorber, del mismo modo que también la inclinación y dirección de los paneles. Una célula fotovoltaica absorbe energía del sol, estos elementos del sistema fotovoltaico pueden generar energía eléctrica utilizando luz solar que los ilumina. Los elementos que componen un sistema solar son un banco de baterías, controlador de carga, medidor y un inversor.

Figura 66. Diagrama de puesta de sistema fotovoltaico



Fuente: ALTERNATIVAS INTELIGENTES, S. A. -AISA-. (2021). *Sistemas de paneles solares aislados*. Consultado el 29 de marzo de 2020. Recuperado de <https://www.aisa.com.gt/sistema-de-paneles-solares-aislados-para-uso-de-electrodomesticos>.

Figura 67. **Sistema fotovoltaico**



Fuente: TU TIENDA ENERGÉTICA, GRUPO FOTONA, S. A. (2019). *Placas solares autoconsumo*. Consultado el 29 de marzo de 2020. Recuperado de [https://www.tutiendaenergetica.es/blog/94\\_placas-solares-autoconsumo-ejemplo](https://www.tutiendaenergetica.es/blog/94_placas-solares-autoconsumo-ejemplo).

#### **6.1.1.2. Plan para la incorporación de paneles fotovoltaicos**

El consumo de energía promedio del VISAR es de 10 kWh/día, con el propósito de disminuir el consumo un 25 %, y para calcular cuántos paneles se necesitan instalar, se toma en cuenta la potencia máxima del panel a utilizar, para propósitos del diseño es de 260 watts y un factor de pérdidas del 80 %. El panel estará recibiendo luz solar durante 8.5 horas, para el cálculo fotovoltaico se usaron las horas solar pico de Guatemala (HSP). Los diferentes dispositivos eléctricos que se utilizarán en el sistema fotovoltaico, se cotizaron en la empresa Solarguat, ubicado en la 24 calle 3-45, zona 1, ciudad capital.

Las horas solar pico son la cantidad de energía solar que absorbe en 1 m<sup>2</sup> de superficie un panel solar.

En la placa de datos de un panel muestra la potencia máxima en Wp, la cual significa wattio pico, en la que funciona con condiciones de 1 kW/m<sup>2</sup> a temperatura de 25 °C y masa de aire de 1.5. El valor de HSP está descrito por el Ministerio de Energía y Minas. El número de paneles se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número de paneles} = \frac{E \times 1.3}{HSP \times Wp}$$

Donde:

E = consumo diario de energía

HSP = horas solar pico

Wp = potencia del panel solar

Sustituyendo los valores conocidos, se obtuvo:

$$\text{Número de paneles} = \frac{10,000 \times 1.3}{5.3 \times 260} = 9.4$$

$$\text{Número de paneles} = 9$$

El resultado fue de 9 paneles solares, en los que hay que instalarlos al distribuirlos en 2 series, uno de 4 paneles cada uno y el otro de 5 paneles, para lograr obtener generación de 2,340 watts. La tabla LXXIV muestra los detalles del panel que se utilizará.

Tabla LXXVII. **Parámetros panel solar**

<b>Detalles técnicos del panel solar</b>	
<b>Panel</b>	Panel módulo fotovoltaico policristalino
<b>Marca</b>	EPCOM POWERLINE
<b>Modelo</b>	EPL-260-24
<b>Potencia máxima</b>	260 watts
<b>Voltaje</b>	30.96 V
<b>Amperaje</b>	8.40 A
<b>Voltaje a circuito abierto (Voc)</b>	38.08 V
<b>Corriente a corto circuito (Isc)</b>	8.98 A
<b>Dimensiones</b>	1,640 x 992 x 40 mm
<b>Peso</b>	18.8 kg
<b>Temperatura ambiente</b>	-45 a 85 °C
<b>Máximo voltaje del sistema</b>	1,500 V
<b>Precio</b>	Q 1,951.69

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Para seleccionar el controlador de carga se toma en cuenta los detalles técnicos de la tabla LXXVII. Se seleccionó el controlador marca EPEVER 100 A MPPT.

Tabla LXXVIII. **Parámetros controlador de carga**

<b>Parámetros controlador de carga</b>	
<b>Sistema</b>	12/24/36/48VDC Auto
<b>Corriente de carga nominal y corriente de descarga</b>	100A
<b>Máx. voltaje del circuito abierto del fotovoltaico</b>	150V
<b>Potencia de carga nominal</b>	1,250 W-5,000 W (1,250 W/12 V, 2,500 W/24 V, 3,750 W/36 V, 5,000 W/48 V)
<b>Poner a tierra</b>	Negativo común
<b>Entrada de batería</b>	8 V ~ 68 V
<b>Tipo de batería</b>	Sellado (predeterminado) / Gel / Inundado / Usuario
<b>Compensación de temperatura</b>	-3mV/°C/2V (predeterminado)
<b>Rango de temperatura ambiente</b>	-13,0 °F ~ +140,0 °F (Derar por encima de 113,0 °F)
<b>Cable recomendado</b>	35mm <sup>2</sup> (2AWG)
<b>Dimensiones</b>	15.512 x 9.528 x 5.630 in.
<b>Precio</b>	Q 3,375.50

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Con los datos anteriores, se procederá a elegir el inversor, su función principal es convertir la corriente directa en alterna, llamado comúnmente convertidor DC/AC, también convertir la energía de los paneles solares en corriente alterna a fin de utilizarlo en instalaciones domesticas o industrias. Los inversores son fabricados y dimensionados, según su potencia de salida siendo los más usuales de 1,500, 2,500, 3,000 y 4,200 watt de potencia.

Se alimentará una carga de 2,340 W con un voltaje de 120 V, de manera que se necesita un inversor de 3,000 W. Se eligió el inversor fiable 3,000 W marca WZRELB, *profesional pure sine wave inverter*.

Tabla LXXIX. **Parámetros inversor**

<b>Parámetros inversor</b>	
<b>Entrada CC</b>	12 V (10 V-15 V).
<b>Salida CA</b>	120 V CC
<b>Sin carga corriente de dibujo</b>	1 A
<b>Eficiencia</b>	85 %-90 %
<b>Frecuencia</b>	60 Hz.
<b>Alarma de baja tensión</b>	9.5 V-10.5 V.
<b>Baja tensión apagada</b>	9 V-10 V.
<b>Sobre voltaje apagado</b>	15.5 V.
<b>Potencia</b>	3,000 W continuo (pico 6,000 W) inversor solar .puro de onda sinusoidal
<b>Precio</b>	Q 3,053.65

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Para calcular cuántas baterías se necesitan para compensar la demanda energética se utiliza la ecuación:

$$\text{Número de batería} = \frac{\text{Energía consumida}}{V_{DC} * 3.16 * 25}$$

$$\text{Número de batería} = \frac{10,000}{12 * 3.16 * 25} = 10.54$$

$$\text{Número de batería} = 11$$

$$\text{Número de baterías en serie} = \frac{V_{\text{trabajo}}}{V_n} = \frac{24}{12} = 2$$

De modo que se tienen que poner 2 baterías en serie con 9 en paralelo. En total se utilizarán 11 baterías de energía solar de 12v 200 ah. Cada batería tiene costo de Q 3,500.00 para un total de Q 38,500.00.

A continuación, en la tabla LXXX se detallan todos los materiales a utilizar en el sistema solar fotovoltaico en el edificio del VISAR.

Tabla LXXX. **Descripción de costos sistema solar fotovoltaico**

<b>Sistema solar fotovoltaico</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (Q)</b>
<b>Paneles solares</b>	9	17,565.21
<b>Controlador de carga</b>	1	3,375.50
<b>Inversor</b>	1	3,053.65
<b>Baterías</b>	11	38,500.00
	<b>Inversión</b>	<b>62,494.36</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Al poner en funcionamiento el sistema solar fotovoltaico se planea reducir el consumo energético, que es de 2,340 W durante 1 día hábil de trabajo (8 horas en tiempo), lo cual en 1 día se reduce 18.7 kWh. Dando un promedio mensual de 374 kWh, y un promedio anual de 4,488 kWh.

## **6.2. Propuesta y análisis para mejorar la iluminación del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca**

Se realizará una propuesta para el ahorro del consumo energético del VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca. El cual es la instalación de luces led en lugar de las luminarias existentes que son fluorescentes.

### **6.2.1. Incorporación de sistema de iluminación con tecnología led**

Para mejorar estas condiciones se propone colocar luminarias tipo led, de 2x18 W, en lugar de las luminarias fluorescentes de 4x40 w. En total hay 169 luminarias en el VISAR y 20 luminarias en el Área de Informática de Monja Blanca.

Se recomienda instalar 4 lámparas led en cada sitio donde están instalados las luminarias, en total en el VISAR seria de  $169 \times 4 = 676$  tubos led. Se utilizarán tubos led marca Sylvania con un costo de Q 25.95 cada uno para un total de Q 17,542.20.



Tabla LXXXI. **Datos tubo led**

<b>Datos técnicos led</b>	
<b>Marca: SYLVANIA</b>	SYLVANIA
<b>Tubos</b>	led
<b>Tecnología</b>	led
<b>Largo</b>	4 pies
<b>Temperatura de color</b>	6,500
<b>Tipo</b>	vidrio
<b>Consumo</b>	18 W
<b>Cantidad de iluminación</b>	1,600 lumens lúmenes
<b>Acabado</b>	frost/vidrio

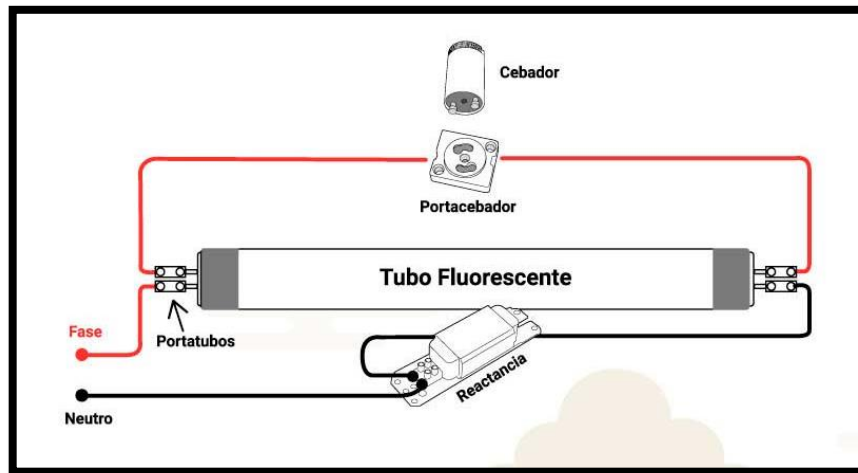
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

El tubo fluorescente consume 40 W de manera que en comparación el tubo led consume un 45 % menos de consumo, con esto logrando reducir el consumo eléctrico en iluminación.

Se instalarán 4 lámparas led en cada espacio donde están instalados las luminarias, en total en el área de Informática, Monja Blanca seria de  $20 \times 4 = 80$  tubos led. Se utilizarán tubos led marca Sylvania con un costo de Q 25.95 cada uno dando un total de Q 2,076.00.

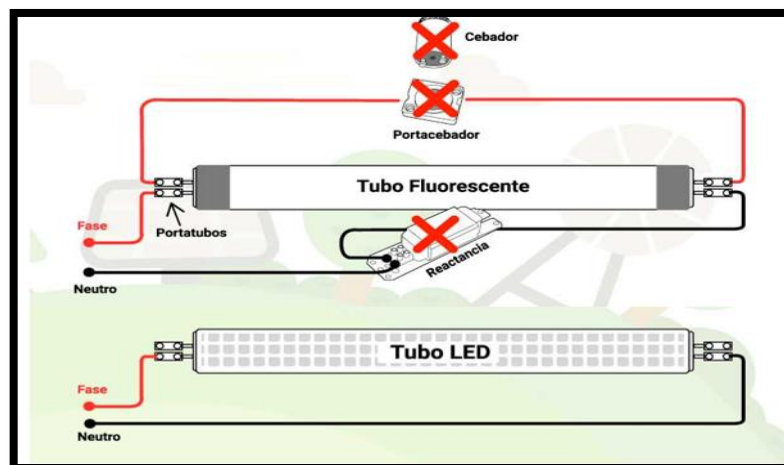
Los tubos led se instalarán en las mismas bases existentes actualmente en el VISAR y el Área de Informática, Monja Blanca, solo se removerán los sistemas de arranque de todas las luminarias fluorescentes. El cambio de las luminarias fluorescentes por luminarias led, lo primero es desconectar la energía y luego cambiar las luminarias.

Figura 68. **Tubo fluorescente**



Fuente: Nabalia Energía. (2008). *Tubo fluorescente*. Consultado el 29 de marzo de 2020.  
Recuperado de <https://nabaliaenergia.com/cambiar-fluorescentes-por-led>.

Figura 69. **Cambio tubo fluorescente por led**



Fuente: Nabalia Energía. (2008). *Tubo led*. Consultado el 29 de marzo de 2020. Recuperado de <https://nabaliaenergia.com/cambiar-fluorescentes-por-led>.

### **6.3. Análisis económicos de las propuestas sugeridas**

Se analizó el aspecto económico de las 2 propuestas planteadas y en los siguientes apartados se describe dicho análisis.

#### **6.3.1. Incorporación de paneles fotovoltaicos para autoalimentación**

Para la integración de un sistema fotovoltaico en el edificio del VISAR se requiere una inversión inicial de Q 62,494.36 la cual puede ser pagada mediante un contrato *leasing*. Se busca disminuir el consumo de energía en un 25 %. El consumo promedio de energía en el VISAR es de 60.15 kWh/día, por lo que se busca generar con el sistema fotovoltaico 15.03 kWh/día.

El ahorro promedio mensual al implementar el sistema solar es de Q 550.75, el tiempo de recuperación de la inversión es aproximadamente de 10 años. El proyecto es de 25 años, por lo tanto es factible la implementación de un sistema fotovoltaico en el edificio del VISAR.

El sistema solar es útil para reducir costos y energía eléctrica al igual que ayuda al medio ambiente reduciendo el dióxido de carbono en el ambiente. Se logra reducir el dióxido de carbono en 1,953.36  $kgCO_2e$  al año.

Tabla LXXXII. **Resumen de costos y ahorros con sistema fotovoltaico**

<b>Resumen costos sistema fotovoltaico</b>	
<b>Inversión</b>	<b>Q 62,494.36</b>
<b>Ahorro mensual</b>	<b>Q 550.75</b>
<b>Ahorro anual</b>	<b>Q 6,609.00</b>
<b>Periodo de retorno</b>	<b>10 años</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

### **6.3.2. Implementación de iluminación led**

En el edificio del VISAR se encuentran actualmente 169 luminarias, las cuales son tubos fluorescentes. Se plantea hacer el intercambio de estas por luminarias led, se pueden instalar 4 en cada lugar donde están instaladas. En el Área de Informática, Monja Blanca, hay actualmente 20 luminarias fluorescentes.

Las luminarias led consumen un 45 % menos de energía, esto logrará reducir los costos de energía eléctrica en ambos lugares de estudio.

Tabla LXXXIII. **Comparación fluorescente y led**

<b>Datos técnicos led</b>		
<b>Tipo luminaria</b>	Fluorescentes	led
<b>Largo</b>	4 pies	4 pies
<b>Temperatura de color</b>	6,500 K	6,500 K
<b>Tipo</b>	vidrio	vidrio
<b>Consumo</b>	40 W	18 W
<b>Cantidad de iluminación</b>	1,600 lumens lúmenes	1,600 lumens lúmenes

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

En el VISAR se necesitan instalar 679 tubos led, para una inversión de Q 17,542.20 y en el Área de Informática, Monja Blanca se necesitan 80 tubos led una inversión total de Q 2,076.00. Para este proyecto de implementación de iluminación led se prevé que sea útil para 10 años.

Tabla LXXXIV. **Proyección de cuadro comparativo costos y consumo energético**

<b>Cuadro comparativo de ahorro de consumo y costos energéticos</b>				
<b>Mes</b>	<b>Consumo energía con tubos fluorescentes (kWh)</b>	<b>Consumo energía con tubos led (kWh)</b>	<b>Costo energía con fluorescentes (Q)</b>	<b>Costo energía con tubos led (Q)</b>
<b>Enero</b>	632.57	347.91	3,411.31	3,208.62
<b>Febrero</b>	773.65	425.51	3,649.76	3,311.02
<b>Marzo</b>	2,213.44	1,217.39	5,631.64	4,301.58
<b>Abril</b>	3,029.25	1,666.09	6,791.86	4,858.46
<b>Mayo</b>	3,529.64	1,941.30	7,445.06	5,201.74
<b>Junio</b>	3,742.98	2,058.64	7,656.94	5,348.11
<b>Julio</b>	3,069.97	1,688.48	6,772.06	4,892.01
<b>Agosto</b>	3,268.19	1,797.50	7,144.71	5,016.76

Continuación de la tabla LXXXIV.

<b>Septiembre</b>	2,895.55	1,592.55	6,660.38	4,766.73
<b>Octubre</b>	2,975.06	1,636.28	6,804.18	4,822.96
<b>Noviembre</b>	1,719.72	945.85	5,065.27	3,961.75
<b>Diciembre</b>	1,807.75	994.26	5,211.21	4,022.14

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

Como se observa en la tabla LXXXIV, al implementar el sistema de iluminación led se reduce el consumo de energía eléctrica y el importe. Se ahorra en promedio Q 1,544.37 al mes el costo de la factura.

Tabla LXXXV. **Resumen de costos implementación de tubos led**

<b>Inversión de tubos led</b>	
<b>Costo inicial</b>	Q 17,542.20
<b>Ahorro promedio Mensual</b>	1,544.37
<b>Vida útil del proyecto</b>	10 años
<b>Retorno de inversión</b>	1 año

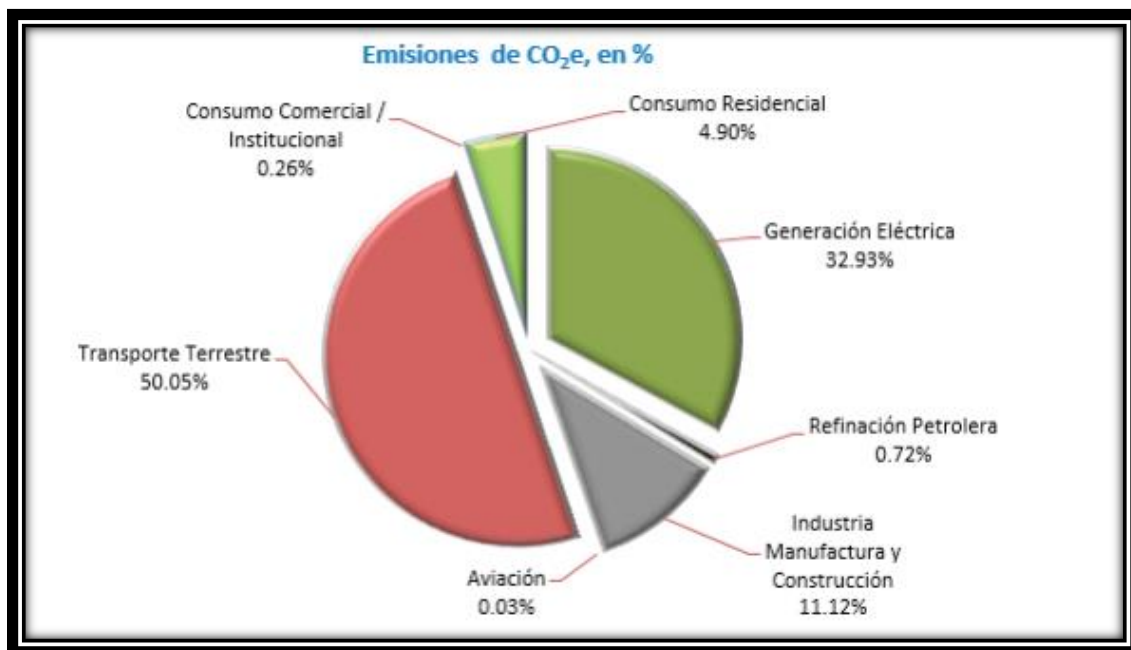
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### **6.4. Gases de efecto invernadero**

En Guatemala se encuentran una serie de factores que repercuten en la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El informe de balance energético 2016 del Ministerio de Energía y Minas menciona que la principal causa de estos gases es la combustión de combustibles, principalmente provocada por los vehículos, que es responsable del 50.05 % de las emisiones.

La figura 71 muestra diferentes índices de gases de efecto invernadero para diferentes sectores.

Figura 70. **Emisión de dióxido de carbono en porcentaje de diferentes sectores**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Informe balance energético*. Consultado el 29 de marzo de 2021. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/05/Informe-Balance-Energ%C3%A9tico-2016.pdf>.

Con la implementación del sistema fotovoltaico en el edificio del VISAR se logra reducir la emisión de dióxido de carbono en el medio ambiente. Se calculó la cantidad emisión de gases de efecto invernadero en el VISAR, por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{consumida} * factor\ de\ red$$

Donde:

$$Factor\ de\ red = 0.3913 \frac{KgCO_2e}{kWh}$$

kilogramos de dióxido de carbono equivalente por cada kWh consumido

Mediante esa constante se logra calcular el dióxido de carbono que se reduce con la implementación del sistema solar:

$$4,992\ kWh * 0.3913 \frac{kgCO_2e}{kWh} = 1,953.36\ kgCO_2e$$





## CONCLUSIONES

1. La auditoría energética realizada en las instalaciones eléctricas del VISAR y del Área de Informática del MAGA identificó la línea A del VISAR como la que tiene una mayor demanda de corriente, niveles de desbalance de corriente fuera de los límites establecidos, mayor consumo de potencias aparentes y activas en las líneas A y B, y presencia de armónicos de corriente en la instalación. Es necesario implementar medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir costos.
2. La distorsión armónica de voltaje está dentro de los rangos establecidos de las normas NTSD, mientras que la distorsión armónica de corriente, el límite de 20 %, lo cual puede ocasionar fallas en el funcionamiento de los equipos y sobrecalentamiento.
3. La eficiencia lumínica en varias áreas no cumple con lo establecido al Acuerdo Gubernativo 229-2014. Las que presentan esos bajos niveles de iluminación son: área de cubículos, oficinas 101-107, oficina DPCM, Área Informática, recepción cafetería y la sala de reuniones.
4. Con la implementación del sistema fotovoltaico descrito en el capítulo 6, se logra reducir la emisión de dióxido de carbono en el ambiente en un promedio de 1,953.36  $kgCO_2$ /año, un ahorro en el consumo energético del VISAR en un 25 %, y la incorporación de luminarias led por los tubos fluorescentes, se logra reducir el consumo energético de cada luminaria en un 45 %.

5. Los valores de corriente de las tablas XXXVI y XXXVII, se contempla que la línea B tiene menor demanda mientras que la línea A tiene mayor demanda energética. El desbalance de corriente de la tabla XXXVIII es superior al valor permisible de las normas NTCSTS.
6. Mediante el estudio termográfico realizado en el capítulo 4, se encontró que el panel ubicado en el cuarto de servidores del Área de Informática, Monja Blanca presenta puntos caloríficos cerca de las uniones donde están conectados los cables, lo cual significa que hay problemas de corrosión y pérdidas por efecto joule, así como falsos contactos.
7. El factor de potencia del VISAR fue de 0.91 de modo que se ubica entre los rangos establecidos de las Normas Técnicas de Distribución (NTSD).

## RECOMENDACIONES

1. Realizar prácticas de ahorro de energía sencillas debido a que la encuesta realizada a los trabajadores del edificio del VISAR y del Área de Informática, se halló que el 80 % de los trabajadores entrevistados consume mucha energía eléctrica y no tienen el hábito de ahorro del mismo, de manera que es mejor cambiar sus hábitos de consumo para el ahorro de la energía eléctrica.
2. Contratar una empresa especializada en levantamiento eléctrico, para lograr obtener los planos eléctricos del lugar, porque la institución no cuenta con los planos de este edificio y dificulta el estudio eléctrico del lugar; un beneficio de esto es detectar fallas que puedan ocurrir en el sistema eléctrico.
3. Elaborar un plan de mantenimiento tanto preventivo como predictivo en los paneles del edificio del VISAR, realizarlo, por lo menos 1 vez al año, según los pasos de cómo realizarlo; así también un mantenimiento por ultrasonido, para detectar fallas eléctricas.
4. Evaluar la implementación del sistema fotovoltaico propuesto en este trabajo, el cual lleva consigo la reducción de costos de consumo energético y la reducción de emisiones de dióxido de carbono; ya que las proyecciones realizadas de consumo eléctrico para los años 2018-2028 indican un aumento de consumo de energía través de los años.

5. Considerar cambiar todas las luminarias fluorescentes del edificio del VISAR para que en su lugar se instalen 679 tubos led; en el Área de Informática, Monja Blanca se deberán instalar 80 tubos led, el cual presenta mejor iluminación y menor consumo energético. Queda a disposición y criterio de las autoridades del VISAR, así también del Área de Informática, Monja Blanca el modificar el plan para su ejecución.
6. Corregir las anomalías mediante el cambio de componentes o limpieza de estas, que se encontraron en paneles eléctricos del Área de Informática, Monja Blanca, puntos calientes que presentan pérdidas por efecto joule y corrosión.

## REFERENCIAS

1. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (ed.). (2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC*. Recuperado de [https://www.boe.es/biblioteca\\_juridica/codigos/abrir\\_pdf.php?fic\\_h=326\\_Reglamento\\_electrotecnico\\_para\\_baja\\_tension\\_e\\_ITC.pdf](https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fic_h=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC.pdf).
2. Alternativas Inteligentes S. A. -AISA- (2020). *Sistemas de paneles aislados*. Recuperado de <https://www.aisa.com.gt/sistema-de-paneles-solares-aislados-para-uso-de-electrodomesticos>.
3. Araya Díaz, J., y Sandoval Ortega, F. (2001). *Conductores eléctricos*. Recuperado el 20 de marzo de 2021 en [https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES\\_ELECTRICOS](https://www.academia.edu/22476040/CONDUCTORES_ELECTRICOS).
4. Borda Luza, H., Espinoza Sánchez, K., y González Puma, S. (2017). *Pararrayos*. Lima, Perú: Universidad Andina del Cusco.
5. BSI. (2018). *Norma ISO 50001*. Recuperado de <https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/es-es/Documentos%20tecnicos/ISO%2050001/iso-50001-mapping-guide-web.pdf>.

6. Cámaras térmicas (2018). *Cámara de infrarrojos Fluke TiS45*. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis45>.
7. Cámara termográfica (2018). *Fluke 941 Light Meter*. Recuperado de <https://www.fluke.com/en-sg/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-941>.
8. Castañeda, J. (2004). *Criterios para selección, diseño, montaje y comparación de costos en pararrayos para edificaciones aplicados en Guatemala*. (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
9. CHAUVIN ARNOUX IBÉRICA, S. A. (2015). *Guía de la medición de tierra*. Recuperado de [https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat\\_guia\\_de\\_medicion\\_de\\_tierra\\_ed2.pdf](https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf).
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD)*. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnica/s/03%20NTSD.pdf>.
11. Earth Tech. (2013). *Design & Installation to BS EN 62305:2011*. Recuperado de <http://www.earth-tech.co.uk/design-and-installation.htm>.

12. Elspec. (2020). *Conociendo la norma IEC 61000–4-30 Clase A*. Recuperado de <https://www.elspec-ltd.com/conociendo-la-norma-iec-61000-4-30-clase-a/?lang=es>.
13. Energía viva Nabalia. (2018). *Cómo cambiar tubos fluorescentes por led*. Recuperado de <https://nabaliaenergia.com/blog/cambiar-fluorescentes-por-led/>.
14. Enriquez Harper, G. (1998). *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. México: Limusa.
15. Eurofins. (2020). *Qué es la norma ISO 14001 y para qué sirve*. Recuperado de <https://envira.es/es/la-norma-iso-14001-sirve/>.
16. Gosbell, V., Perera, S., y Browne, T. (2008). *Experience in the application of IEC/TR 61000–3-6 to harmonic allocation in transmission systems*. Recuperado de <http://ro.uow.edu.au/engpapers/5402>
17. Grainger, J. J., y Stevenson Jr, W. D. (1996). *Análisis de potencias*. México, México: McGraw-Hill.
18. Holguin, M. (2010). *Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la universidad politécnica salesiana*. (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. Ecuador.



19. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1998). *Código eléctrico colombiano NTC2050*. Recuperado de [https://www.armada.mil.co/sites/default/files/normograma\\_arc/manenimiento1/NTC%20%202050.pdf](https://www.armada.mil.co/sites/default/files/normograma_arc/manenimiento1/NTC%20%202050.pdf).
20. Koenigsberger, R. (1982). *Instalaciones eléctricas*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
21. Martínez, A. G. (2014). *Método de las componentes simétricas (1)*. Recuperado de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/3\\_anio/electrotecnia\\_2/Metodo\\_de\\_las\\_componentes\\_simetricas\\_-\\_Teoria.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/3_anio/electrotecnia_2/Metodo_de_las_componentes_simetricas_-_Teoria.pdf).
22. Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Política energética 2013–2027*. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/PE2013-2027.pdf>.
23. Ministerio de Energía y Minas. (2016 a). *Informe balance energético*. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/05/Informe-Balance-Energ%C3%A9tico-2016.pdf>.
24. Ministerio de Energía y Minas. (2018 b). *Plan nacional de energía*. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.
25. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2019 a). *Historia Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación*. Recuperado de <https://www.maga.gob.gt/historia/>.

26. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2019 b). *Misión y visión VISAR*. Recuperado de [https://visar.maga.gob.gt/?page\\_id=18610](https://visar.maga.gob.gt/?page_id=18610).
27. Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala. (2014). *Reglamento de salud y seguridad ocupacional del Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala* (Acuerdo Gubernativo 229–2014). Recuperado de <https://agexporthoy.export.com.gt/wp-content/uploads/2020/03/REGLAMENTO-G.-SSO-2.pdf>.
28. National Fire Protection Association. (2017). *National Electrical Code International Electrical Code Series*. Recuperado de <https://www.tooltexas.org/wp-content/uploads/2018/08/2017-NEC-Code-2.pdf>.
29. Rojas, G. (2010). *Manual de puestas a tierra*. Recuperado de <https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>.
30. Sinchi, Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico*. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. Ecuador.
31. Tutiendaenergética grupo Fotona S. A. (2020). *Placas solares autoconsumo*. Recuperado de [https://www.tutiendaenergetica.es/blog/94\\_placas-solares-autoconsumo-ejemplo](https://www.tutiendaenergetica.es/blog/94_placas-solares-autoconsumo-ejemplo).

32. Universidad de Buenos Aires Argentina, Facultad de Ingeniería. (2008). *Componentes simétricas*. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/6509/CompSim-Versi%F3n%2031-3-08.pdf>.
33. Universidad del BIOBIO Chile. (2007). *Filtros de armónicos*. Recuperado de <http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm>.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Cálculo de consumo en edificio del VISAR

VISAR				
Potencia	Total equipos	Watts totales	Tiempo de uso	Consumo (W)
85	50	4,250	5	21,250
70	32	2,240	1	2,240
30	50	1,500	5	7,500
480	8	3,840	4	15,360
200	3	600	3	1,800
150	2	300	3	900
600	1	600	1	600
1200	1	1,200	1	1,200
1200	1	1,200	1	1,200
30	1	30	1	30
10	5	50	4	200
550	1	550	2	1,100
<b>TOTAL</b>				<b>53,380</b>

fuelle: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

**Apéndice 2. Cálculo de consumo en Área de Informática, Monja Blanca**

Consumo Área de Informática Monja Blanca				
Potencia	Total equipos	Watts totales	Tiempo de uso	Watts
250	5	1,250	7	8,750
150	1	150	5	750
30	5	150	7	1,050
480	5	2,400	4	9,600
TOTAL				20,150

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

**Apéndice 3. Resultado encuesta, se realizó a 50 empleados del lugar**

Resultados encuesta		
	SI	NO
1	35	15
2	40	10
3	46	4
4	24	26
5	36	14
6	8	42
7	47	3
8	16	34
9	48	2
10	25 todo el día / 3 está apagada / 22 solo durante la noche	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

#### Apéndice 4. Cálculo ahorro sistema fotovoltaico

Mes	Consumo energía (kWh)	Consumo 25 % menos (kWh)	Costo normal (Q)	Costo con 25 % (Q)	Ahorro (Q)
Enero	361	270.75	2,414.59	2,302.02	112.57
Febrero	559	419.25	2,745.14	2,570.83	174.31
Marzo	1,651	1,238.25	4,568.21	4,053.37	514.84
Abril	2,414	1,810.5	5,842.02	5,089.25	752.77
Mayo	2,623	1,967.25	6,190.94	5,372.99	817.95
Junio	2,411	1,808.25	5,837.01	5,085.17	751.84
Julio	1,935	1,451.25	5,042.34	4,438.94	603.40
Agosto	2,465	1,848.75	5,927.16	5,158.48	768.68
Septiembre	2,176	1,632	5,444.68	4,766.13	678.55
Octubre	2,309	1,731.75	5,666.72	4,946.69	720.03
Noviembre	1,095	821.25	3,639.98	3,298.52	341.46
Diciembre	1,195	896.25	3,806.93	3,434.29	372.64

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 2016.

## Apéndice 5. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral? 8 a 4 pm
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Si ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	<input checked="" type="checkbox"/>	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
-------------	-------------------------------------	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 6. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral? 7:00 - 14:00
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Si ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?
- |             |                          |   |
|-------------|--------------------------|---|
| Todo el Día | Esta apagada todo el día | Solo durante la noche <input checked="" type="checkbox"/> |
|-------------|--------------------------|---|

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.



## Apéndice 7. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral? 8:00 AM - 5:00 PM
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Si ☒ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?
 

Todo el día <input checked="" type="checkbox"/>	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
---	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 8. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
  - 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
  - 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
  - 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
  - 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Sí ☐ No
  - 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Sí ☐ No
  - 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
  - 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
  - 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
  - 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?
- |   |   |  |
|---|---|--|
| Todo el Día <input checked="" type="checkbox"/> | Esta apagada todo el día <input type="checkbox"/> | Solo durante la noche <input type="checkbox"/> |
|---|---|--|

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 9. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Sí ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Sí ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Sí ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

<input checked="" type="checkbox"/> Todo el Día	<input type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
---	---	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 10. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía?

☒ Si ☐ No

2.) ¿Cuál es su horario laboral?

8:00 a 4:00 PM

3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo?

☒ Si ☐ No

4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.?

☒ Si ☐ No

5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos?

☒ Si ☐ No

6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada?

☒ Si ☐ No

7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo?

☒ Si ☐ No

8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo?

☒ Si ☐ No

9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica?

☒ Si ☐ No

10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	<input checked="" type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
-------------	--	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 11. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Sí ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Sí ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día <input checked="" type="checkbox"/>	Solo durante la noche
-------------	--	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 12. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral? 08:00 a 16:00
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☐ Sí ☒ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Sí ☒ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Sí ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Sí ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Sí ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Sí ☒ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

<input checked="" type="checkbox"/> Todo el Día	<input type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
---	---	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 13. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

<input checked="" type="checkbox"/> Todo el Dia	<input type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
---	---	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 14. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Si ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche <input checked="" type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	---

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.



## Apéndice 15. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Sí ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Sí ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Sí ☒ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
-------------	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 16. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☐ Si ☒ No

2.) ¿Cuál es su horario laboral?

3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No

4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Si ☒ No

5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No

6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No

7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No

8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No

9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No

10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Día <input checked="" type="checkbox"/>	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
---	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 17. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Sí ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche <input checked="" type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	---

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 18. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Si ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
-------------	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 19. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☐ Si ☒ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Si ☒ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Si ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

<input checked="" type="checkbox"/> Todo el Dia	<input type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
---	---	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 20. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Sí ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Sí ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☐ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche <input checked="" type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	---

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 21. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Si ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Si ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche
-------------	--------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 22. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☒ Sí ☐ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Si ☒ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Sí ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☐ Si ☒ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Sí ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Sí ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

Todo el Dia	Esta apagada todo el día	Solo durante la noche <input checked="" type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	---

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.



## Apéndice 23. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☐ Si ☒ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral?
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☒ Si ☐ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☐ Si ☒ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Si ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

<input checked="" type="checkbox"/> Todo el Día	<input type="checkbox"/> Esta apagada todo el día	<input type="checkbox"/> Solo durante la noche
---	---	--

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

## Apéndice 24. Encuesta realizada a trabajadores del MAGA



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

### Encuesta Calidad Energética

- 1.) ¿Apaga las luces cuando sale de la oficina y esta se queda vacía? ☐ Si ☒ No
- 2.) ¿Cuál es su horario laboral? 08:00 - 4:00 P
- 3.) ¿Aprovecha la luz natural en su lugar de trabajo? ☐ Si ☒ No
- 4.) ¿Utiliza la configuración de ahorro de energía en los equipos de la oficina como Computadoras, impresoras, fotocopadoras, etc.? ☐ Si ☒ No
- 5.) ¿Mantiene el computador encendido durante largos periodos de tiempo sin utilizarlos? ☒ Si ☐ No
- 6.) ¿Desenchufa los aparatos electrónicos y cargadores cuando no los utiliza y al terminar la jornada? ☒ Si ☐ No
- 7.) ¿Carga la batería de su celular o laptop en su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 8.) ¿Reporta rápidamente algún daño en las instalaciones eléctricas de su lugar de trabajo? ☒ Si ☐ No
- 9.) ¿Está Dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el consumo de energía eléctrica? ☒ Si ☐ No
- 10.) ¿Cuánto tiempo deja la luz puesta en su horario laboral?

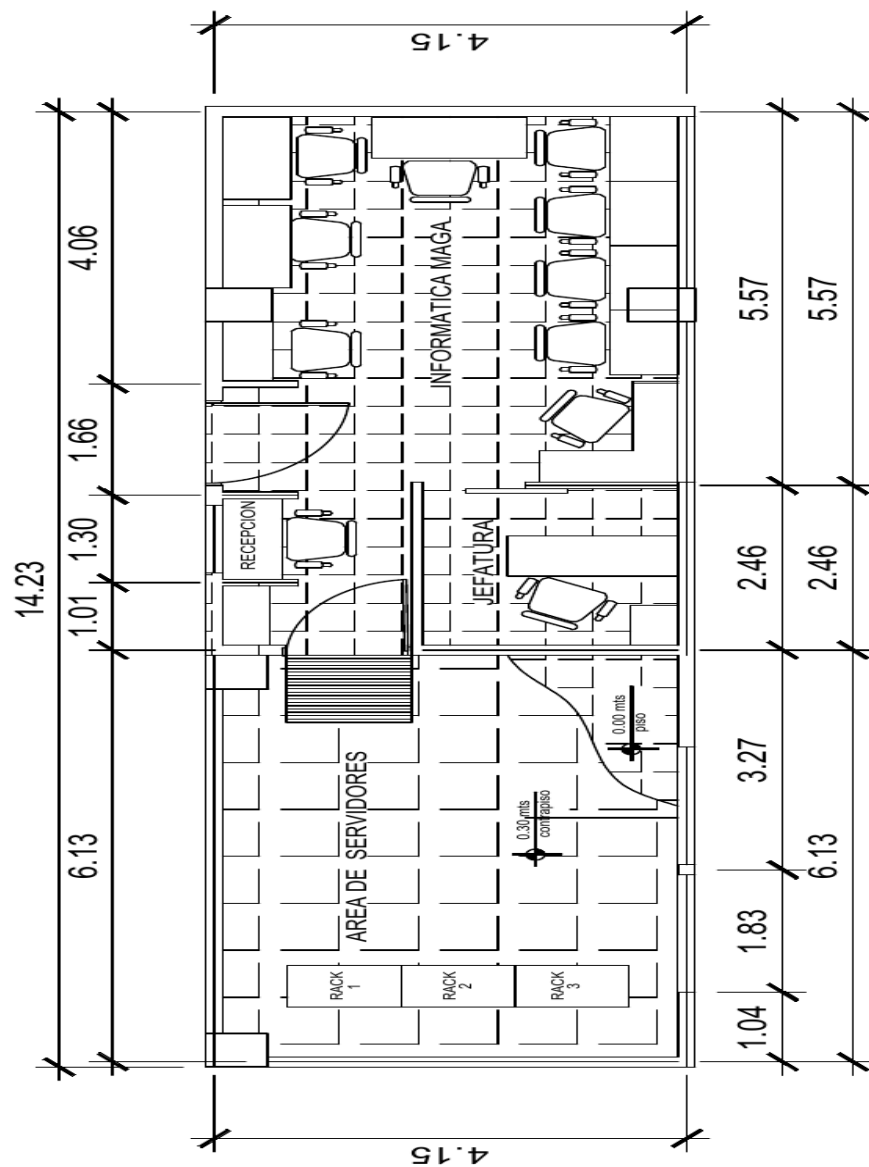
Todo el Día	Esta apagada todo el día <input checked="" type="checkbox"/>	Solo durante la noche
-------------	--	-----------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.



## ANEXOS

### Anexo 1. Plano digitalizado del Área de Informática, Monja Blanca



Fuente: VISAR, MAGA. Departamento de Informática de Monja Blanca.

## Anexo 2. Factura del contador MAGA, Monja Blanca

Autorizado según resolución No. 2002-1-1-54561 de 31/05/02 No. 2018-1-61-156059 de 15/01/18 B2-120,000,001 a 180,000,000 vigente hasta el 14/01/2020  
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR). Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)  
Documento bajo resguardo electrónico

**EEGSA**  
Grupo epm

**EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**  
6a. Avenida 8-14 Zona 1 Guatemala, C.A.  
NIT 32644-5 · www.eegsa.com | f t i

**FACTURA CAMBIARIA No.** BZ-121783048  
**CORRELATIVO** 855911  
**CONTADOR** N76393  
Demanda media fuera punta / May - Jul 18

**MAGA**  
GUATEMALA-13, 7 AVENIDA 12-90, Zona 13  
Guatemala, Guatemala  
NIT: 344027-3

**TOTAL A PAGAR** Q 35,690.46  
Fecha de emisión 04/06/2018

Si cancela después del 04/07/2018 tendrá un recargo de mora de Q 326.18

Detalle de cargos	Precios Q	Consumos	Total Q
Cargo fijo por cliente (Sin IVA)	240.946937		240.95
Energía (Sin IVA)	0.748532	29,520 kWh	22,096.66
Demanda registrada (Sin IVA)	22.656521	114.4 kW	2,591.91
Potencia contratada (Sin IVA)	29.406222	123.2 kW	3,622.85
Total cargo (Sin IVA)			28,552.37
Total cargo (Con IVA)			31,978.65
Tasa Municipal A.P. (cobro cta. de terceros) (Sin IVA)	13.0%		3,711.81
Total de esta factura			35,690.46

Factor de potencia 0.9875


Lecturas		Historial de consumo kWh			
01/Jun/2018	02/May/2018	Actual	May	Abr	Mar
2,051,200	2,021,680 kWh	29,520	27,920	26,160	25,040
210,720	206,000 kVARh				

Le hemos servido durante 30 días

	Mes anterior	Mes actual	Total
IVA Q	0.00	3,426.28	3,426.28

**TELESERVICIO 2277-7000**

Servicio 24 Horas los 365 días del año



Fuente: MAGA. Departamento de Servicios Generales.

### Anexo 3. Factura del contador VISAR

Autorizado según resolución No. 2002-1-1-54561 de 31/05/02 No. 2018-1-61-156059 de 15/01/18 BZ-120,000,001 a 180,000,000 vigente hasta el 14/01/2020  
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR). Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)  
Documento bajo resguardo electrónico



**EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.**  
6a. Avenida 8-14 Zona 1 Guatemala, C.A.  
NIT 32644-5 · www.eegsa.com | f t @

**FACTURA CAMBIARIA No.**  
BZ-146855135

**CORRELATIVO**  
1007374

**CONTADOR**  
K64595

Baja Tensión Dem Fuera de Punta - BTDFP / Ago - Oct 2019

**MAGA**  
COLONIA AURORA 1, 7 AVENIDA 12-90, Zona 13  
Guatemala, Guatemala  
NIT: 344027-3

**TOTAL A PAGAR**  
**Q 5,701.45**

Fecha de emisión **06/09/2019**

Si cancela después del 06/10/2019 tendrá un recargo de mora de Q.50.55

Detalle de cargos	Precios Q	Consumos	Total Q
Cargo fijo por cliente (Sin IVA)	112.500439		112.50
Energía (Sin IVA)	0.997878	2,294 kWh	2,289.13
Demanda registrada (Sin IVA)	22.454698	34.5 kW	774.69
Potencia contratada (Sin IVA)	27.854719	48.0 kW	1,337.03
Total cargo (Sin IVA)			4,513.35
<b>Total cargo (Con IVA)</b>			<b>5,054.95</b>
Tasa Municipal A.P. (cobro cta. de terceros) (Sin IVA)	13.0%		586.74
<b>Total de esta factura</b>			<b>5,641.69</b>
Saldo Anterior de 01 mes(es)			59.76
<b>Total a pagar</b>			<b>5,701.45</b>


Lecturas		Factor de potencia 0.9848 Historial de consumo kWh			
05/Sep/2019	07/Ago/2019	Actual	Ago	Jul	Jun
74,613	72,319 kWh	2,294	2,638	2,914	3,568
9,300	8,896 kVARh				

Le hemos servido durante **29 días**

	Mes anterior	Mes actual	Total
IVA Q	0.00	541.60	541.60

Fuente: MAGA. Departamento de Servicios Generales.

## Anexo 4. Ecuaciones de dwight para diferentes configuraciones

Símbolo	Descripción	Fórmula
	Hemisferio, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	Varilla Longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Dos varillas S > L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^3} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Dos varillas S < L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Alambre horizontal enterrado Longitud 2L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	Alambre en ángulo recto Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
Y	Estrella de tres puntas Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Estrella de cuatro puntas Longitud de lado L Profundidad 2/s	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
✳	Estrella de seis puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
✳	Estrella de ocho puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Anillo de alambre Diámetro del anillo D Diámetro del alambre d Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Placa enterrada horizontalmente Longitud 2L, sección a por b, profundidad s/2 b < a/3	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
●	Placa redonda enterrada horizontalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada verticalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99}{320} + \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Fuente: Sinchi Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico.*

## Anexo 5. Guía práctica para realizar auditorías energéticas



### GUÍA PRÁCTICA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

#### INDICE PROPUESTO

#### i. INTRODUCCIÓN

#### 1. FASE PRELIMINAR

##### 1.1. Antecedentes de la institución pública

##### 1.1.1. Reseña Histórica

*Esta información es de suma importancia mantener presente la antigüedad del edificio y sus instalaciones, así como las modificaciones que el mismo ha recibido a lo largo del tiempo que lleva en funcionamiento.*

##### 1.1.2. Misión

*El conocer la misión de la institución permite desarrollar criterios para elaborar las propuestas de mejora en demanda de energía, sin desvirtuar la función objetivo de la misma.*

##### 1.1.3. Visión

*La visión de las instituciones expresan las funciones de la institución dentro de un marco futuro, por lo que ayuda a modelar los escenarios de demanda de energía futura del mismo, p.ej. Si la institución dentro de su visión contempla un crecimiento en la cobertura de sus servicios, como auditores energéticos lo debemos interpretar como una variable correlacionada al crecimiento de la demanda energética futura,*

##### 1.2. Servicios prestados por la institución

*Los servicios prestados por la institución son el principal punto de enfoque para determinar los hábitos de consumo, ya que de estos surgen los días y los horarios de atención al usuario.*

##### 1.3. Normativas Técnicas

##### 1.3.1. ISO 50001

##### 1.3.2. ISO 50002

##### 1.3.3. NEC (vigente) / IEC-60364

#### ii. OBJETIVOS

#### 2. FASE I: Línea Base.

##### 2.1. Convenio de confidencialidad.

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.



## Anexo 6. Guía práctica para realizar auditorías energéticas



*Consiste en un documento oficial que hace constar que la persona que estará a cargo de la auditoría energética, no divulgará y/o comercializará la información que dentro de la institución adquiera.*

### 2.2. Evaluación histórica de consumos energéticos.

*La información histórica de los consumos energéticos se recaba a través de las facturas que la institución recibe por adquirir cada servicio energético, se debe tomar por lo menos 3 años consecutivos y antecesores del año presente.*

#### 2.2.1. Consumo eléctrico

*De las facturas de servicios eléctricos, se toma en cuenta únicamente el rubro de consumo eléctrico del domicilio, despreciando los costos fijos, el cobro por Alumbrado Público, el IVA y cobros adicionales que aparezcan en la misma. Trabajar la información en kWh.*

#### 2.2.2. Consumo térmico

*Entre los términos de consumo térmico se toman en cuenta los procesos de cocción de alimentos, el uso de calderas, uso de aire acondicionado, cuartos fríos y sistemas térmicos para calentar agua.*

#### 2.2.3. Consumo hídrico

#### 2.2.4. Consumo de combustibles

*Investigar todos los registros posibles sobre el consumo de combustibles realizado por los buses que emplea la institución, determinando los tipos de combustible, el registro de litro de combustible por kilómetro recorrido dentro de un marco histórico.*

### 2.3. Identificación de consumos

*Para cada una de las energías en cuestión, se debe determinar el punto de mayor consumo por parte de la institución.*

#### 2.3.1. Índice de prestación energética

*Este tema toca únicamente dos tipos de energía: eléctrica y térmica; para este cálculo se debe tomar en cuenta únicamente las zonas donde se emplea la energía en estudio y se debe dar en  $[kWh/m^2]$ .*

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

## Anexo 7. Guía práctica para realizar auditorías energéticas



### 2.4. Identificación de hábitos de consumo.

#### 2.4.1. Encuesta sobre consumos energéticos

*La encuesta realizada a los colaboradores de la institución, debe ser objetiva y se debe procurar que la misma sea respondida de forma sinceridad, la importancia de este paso radica en la formulación de propuestas de buenas prácticas para la reducción de consumo energético.*

#### 2.4.2. Identificación de franja horaria.

*Para identificar la franja horaria de un día de trabajo laboral, se debe proyectar con la adquisición de datos realizada en el inciso 4.1.1.*

### 2.5. Proyección del consumo energético

*En cumplimiento de la Política Energética 2013 – 2027, las proyecciones de energía eléctrica deben ser realizadas hacia el año 2027.*

## 3. FASE II: Plan de auditorías energética

### 3.1. Elaboración del Plan

3.2. Presentación del Plan de auditoría energética a las autoridades involucradas.

## 4. FASE III: Mediciones energéticas.

Durante el desarrollo de esta fase, se llevará a cabo la elaboración de las mediciones y cálculos de los parámetros energéticos identificados dentro de las instalaciones de la institución que será evaluada y que fueron establecidos en el plan de auditoría energética propuesto.

### 4.1. Mediciones eléctricas.

Realización de mediciones de parámetros eléctricos utilizando equipo especializado para ello como analizadores de redes, multímetros, amperímetros, entre otros.

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

## Anexo 8. **Guía práctica para realizar auditorías energéticas**



### **4.1.1. Medición y análisis de consumos.**

Realizar análisis técnico-matemático para determinar los patrones de consumo de las instalaciones bajo estudio. Proyectar la demanda energética futura con la intención de obtener el escenario base para su comparación con propuestas de ahorro y eficiencia energética.

El equipo analizador de redes deberá estar conectado 24 horas continuas como mínimo e instalado y retirado durante días hábiles laborales.

#### **4.1.1.1. Análisis de Corrientes.**

Analizar los patrones y características del consumo de corriente en la instalación y proyectar la demanda total consumida.

Con este análisis también deberá ser posible identificar si existen problemas dentro de las instalaciones eléctricas, tales como desbalance de circuitos y sobre carga de conductores eléctricos.

#### **4.1.1.2. Análisis de Voltaje.**

Evaluar el comportamiento y calidad del voltaje que es suministrado en los puntos de consumo para identificar fallas actuales o futuras que puedan ocasionar daños en los equipos y/o electrodomésticos que sean utilizados.

Con el análisis realizado también será posible determinar la factibilidad eléctrica para futuras ampliaciones de los circuitos existentes.

#### **4.1.1.3. Análisis de Factor de Potencia.**

Analizar los patrones de consumo de energía activa y reactiva con la intención de mejorar las prácticas de consumo energético y evitar sanciones de parte de las distribuidoras por bajo factor de potencia.

#### **4.1.1.4. Análisis de Armónicos.**

Analizar los patrones de distorsión armónica THDV y TDHI, las perturbaciones, desbalances y los efectos de los mismos sobre la red eléctrica bajo estudio.

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

## Anexo 8. **Guía práctica para realizar auditorías energéticas**



### **4.1.2. Levantamiento eléctrico**

Levantamiento eléctrico o actualización de los planos eléctricos existentes que deberán ser incluidos en el informe final de auditoría energética.

### **4.2. Mediciones térmicas.**

Realización de mediciones de parámetros térmicos para identificar puntos o focos de calor con la utilización de cámara termográfica. La intención de estas mediciones es identificar puntos críticos de pérdidas de energía y riesgos de falla.

### **4.3. Mediciones y análisis de iluminación.**

Realizar las mediciones de intensidad lumínica con la utilización de luxómetro digital para determinar la cantidad de luz en todas las áreas de trabajo.

#### **4.3.1. Inventario de lámparas y luminarias.**

Elaboración del inventario de lámparas y cantidad de luminarias existentes dentro de las instalaciones. El inventario deberá describir la cantidad de luminarias por lámpara, tipo, color, potencia y demás parámetros eléctricos que permitan cuantificar el consumo eléctrico por concepto de iluminación artificial.

#### **4.3.2. Mediciones de lúmenes por metro cuadrado.**

Realización de un estudio lumínico que describa la cantidad de luxes por zona de trabajo representados en un plano de planta de las instalaciones físicas de trabajo, pasillos, zonas de descanso, entre otras.

##### **4.3.2.1. Cálculo de luxes ideales por zona de trabajo.**

Elaborar cuadro comparativo y de eficiencia lumínica por área de trabajo indicando la cantidad de luxes actuales medidos y los indicados en el acuerdo gubernativo 229-2014.

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

## Anexo 9. **Guía práctica para realizar auditorías energéticas**



### **5. FASE IV: Análisis de Resultados y Reporte Final.**

Esta fase consiste en la realización de análisis técnicos y económicos que permitan dar cumplimiento a las medidas de eficiencia energética.

#### **5.1. Análisis y propuestas de mejoras en energía eléctrica.**

Realización de un análisis de la viabilidad y factibilidad técnica que permitan implementar las medidas de eficiencia y ahorro energético.

##### **5.1.1. Análisis y propuesta de utilización de energía renovable.**

Realizar un análisis y propuesta técnica que permita identificar y utilizar los recursos renovables para el suministro de energía eléctrica dentro de las instalaciones de consumo.

#### **5.2. Análisis y propuestas de mejoras en energía térmica.**

Análisis y propuesta de mejora para el uso eficiente de la energía térmica utilizada dentro de las instalaciones con la finalidad de optimizar los energéticos utilizados y reducir pérdidas.

##### **5.2.1. Análisis y propuesta de utilización de energía renovable.**

5.3. Análisis y propuestas de mejoras en iluminación.

5.4. Análisis técnico económico de las propuestas planteadas.

5.5. Emisiones de gases de efecto invernadero evitadas.

### **6. FASE V: Presentación de Informe Final.**

6.1. Presentación de conformidad de la institución auditada.

6.2. Firma de acta de cierre de la auditoría energética.

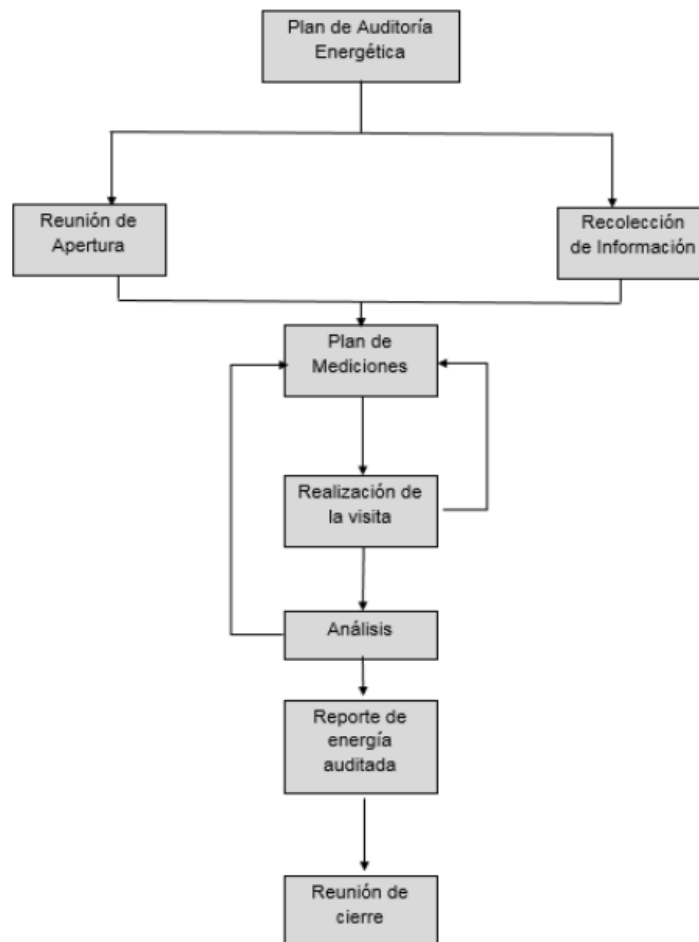
Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de [https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf)

[Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf).

## Anexo 10. Guía práctica para realizar auditorías energéticas



La Planificación de la Auditoría Energética debe contener el siguiente orden de procesos:



**Referencia: Norma ISO 50002**

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

## Anexo 11.      **Guía práctica para realizar auditorías energéticas**



### **Bibliografía obligatoria para el desarrollo de la auditoría energética**

- Norma ISO-50001
- Norma ISO-50002
- Política Energética 2013-2027
- Acuerdo Gubernativo 229 – 2014, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional

### **Bibliografía sugerida**

#### **Normas relacionadas con calidad de la potencia eléctrica**

##### **Límites de Armónicos de voltaje**

- Estándar IEC 61000-3-6
- Estándar EN 50160

##### **Límites de Armónicos de Corriente.**

- Estándar IEC 61000-3-2
- Estándar IEEE 519
- Estándar IEC 5552

##### **Flicker.**

- Norma IEC 61000-4-15
- Norma IEC 61000-3-3
- Norma IEC 61000-3-5

##### **Parámetros calidad del suministro**

- IEC 6100-4-30

##### **NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)**

##### **Monitoreo de la calidad de la energía eléctrica**

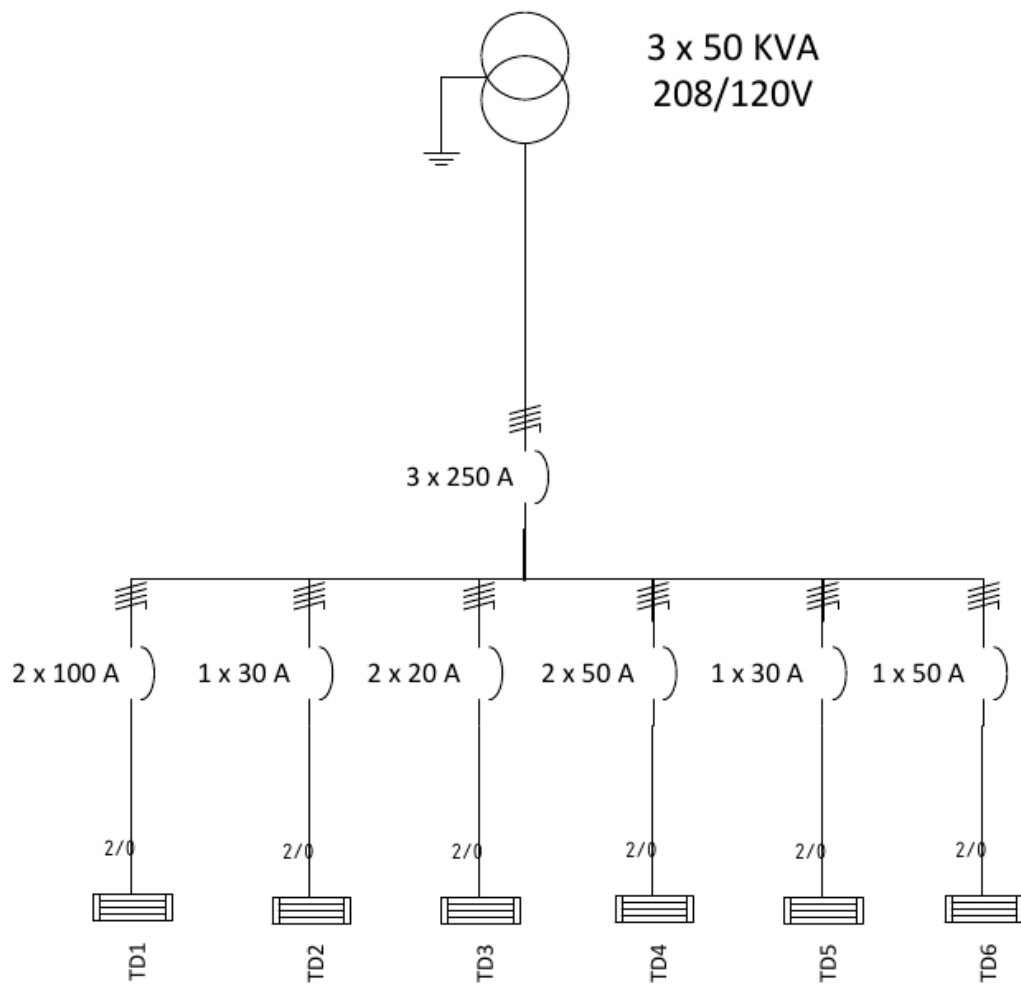
- Estándar IEEE 1159

#### **Sistemas de Gestión Ambiental**

- Norma ISO-14001

Fuente: MEM. (2018). *Guía práctica para realizar auditorías energéticas*. Consultado el 15 de febrero de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

Anexo 12. **Diagrama Unifilar VISAR**



Fuente: elaboración propia en AutoCAD online.



## Anexo 13. Potencias

- Potencia activa

La potencia activa es el trabajo que se obtiene en un circuito al transformar su energía eléctrica. Su medida es en watts.

- Potencia aparente

Es la suma de la potencia activa y reactiva del triángulo de potencias y se mide en VA. Es la potencia total que consume un equipo eléctrico.

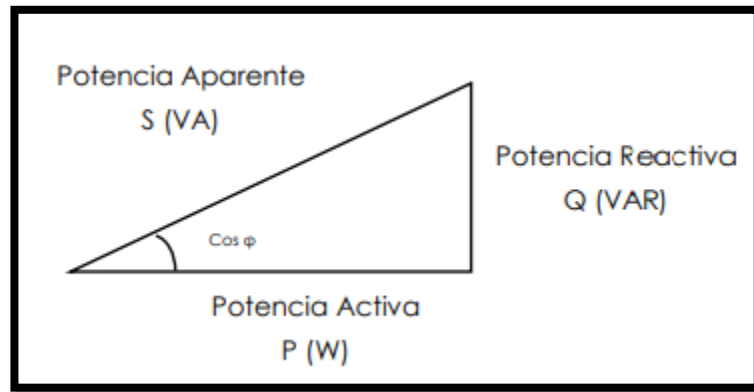
- Potencia reactiva

Potencia eléctrica que algunos dispositivos eléctricos absorben de la red y luego la devuelven, no se relaciona con el consumo, aunque haya que generarla y transferirla al dispositivo.

- Factor de potencia

Sirve para medir la eficiencia con la que utiliza la electricidad al convertirla en energía útil, por ejemplo: calor, movimiento mecánico o luz. Expresándolo matemáticamente sería la potencia activa respecto a la potencia aparente.

Figura 71. **Triangulo de potencias**



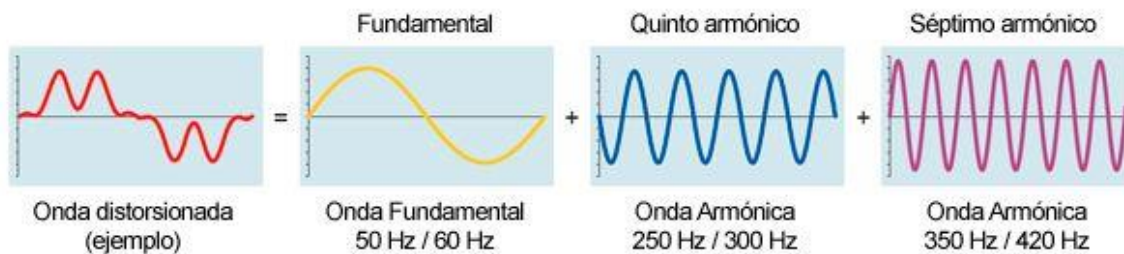
fuelle: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2016.

El factor de potencia se obtiene del triángulo de potencias con la ley de cosenos:

$$fp = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}} = \frac{V * I * \cos \varphi}{V * I} = \cos \varphi$$

## Anexo 13. Armónicos

Los problemas comunes que se presentan en las instalaciones eléctricas son los armónicos en donde la forma de onda de la corriente y el voltaje se distorsiona. Esta deformación de la onda es causada por cargas no lineales en la instalación eléctrica. Esta falla provoca problemas en los funcionamientos en los equipos. Los armónicos están compuestos por varias ondas sinusoidales de diferentes frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental, el total de todas esas ondas tiene como nombre THD para tensión y corriente.



#### Anexo 14.      **Normas Técnicas**

- Normas NTCSTS (NORMAS TECNICAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE TRANSPORTE Y SANCIONES), Artículo 32. Tolerancias para el desbalance de corriente, la cual establece una tolerancia de diez por ciento (10 %)” (CNEE, 1999, p. 11).
- La Norma IEC 60364, establece que la caída de tensión no debe pasar de 5 % del valor de la tensión nominal.

Para un voltaje nominal de 120 V se obtiene:

$$V_{\text{mínimo}} = V_{\text{nominal}} - (0.05V_{\text{nominal}})$$

$$V_{\text{mínimo}} = 120 - (0.05 * 120)$$

$$V_{\text{mínimo}} = 114 \text{ V}$$

- Normas NTSD, desbalance de tensión “Artículo 28, la cual indica que para tensiones de baja y media tensión no tiene que ser superior al 3 %” (CNEE, 1999, p. 19).
- Normas NTSD, Artículo 37. Tolerancia para *flicker* en la tensión, la cual indica que el índice de tolerancia máxima para el *flicker* viene dado por:  $P_{st} \leq 1$ .

- Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) “los cuales son 0.90 para usuarios con potencias superiores a 11 KW y 0.85 para usuarios con una potencia límite de 11 KW” (CNEE, 1999, p. 24).