



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL
EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA
UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA**

Sergio Enrique Kestler Gomez

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO
DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA
UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ENRIQUE KESTLER GOMEZ

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL
EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA
UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de 19 de enero de 2018.



Sergio Enrique Kestler Gomez



Guatemala, 17 de agosto de 2018.
Ref.EPS.DOC.663.08,18.

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

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

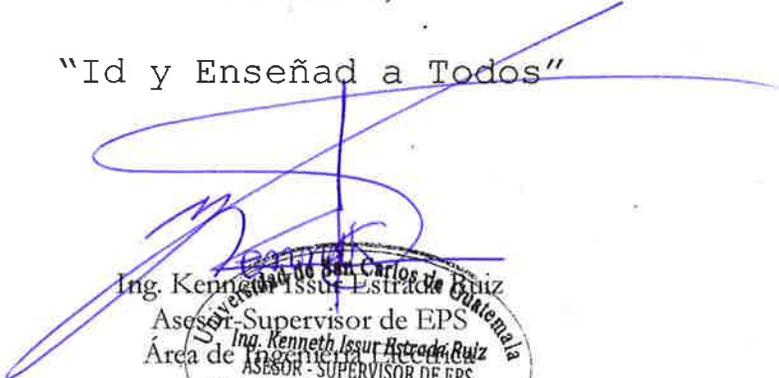
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Sergio Enrique Kestler Gómez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201212787** y CUI **2410 20883 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA,”**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

c.c. Archivo
KIER/ra



Guatemala 17 de agosto de 2018.
Ref.EPS.D.306.08.18.

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

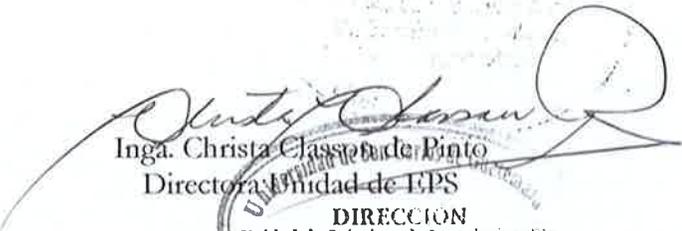
Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA,"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Sergio Enrique Kestler Gómez**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Clavero de Pinto
Directora Unidad de EPS

DIRECCION
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

Facultad de Ingeniería

CCdP/ra



REF. EIME 65. 2018.
20 DE AGOSTO 2018.

FACULTAD DE INGENIERIA

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA, del estudiante; SERGIO ENRIQUE KESTLER GÓMEZ, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS



Julio Rolando Barrios Archila
Julio Rolando Barrios Archila
Ingeniero Electricista

Julio Rolando Barrios Archila
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 2833



REF. EIME 65.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **SERGIO ENRIQUE KESTLER GÓMEZ**, titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



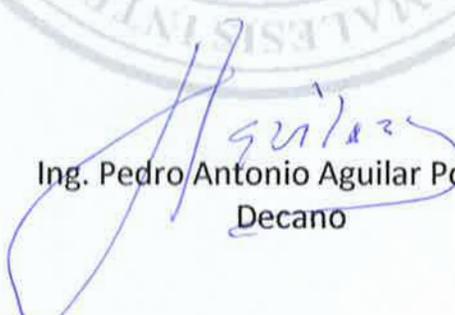
GUATEMALA, 21 DE SEPTIEMBRE 2018.



DTG. 445.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DEL MUSEO DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA UBICADO EN LA ZONA 13, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Enrique Kestler Gomez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por las bendiciones recibidas en mi vida y por darme la fuerza, salud y sabiduría necesaria para alcanzar este objetivo.
- Virgen María** Por cubrir con su manto a toda mi familia y a mí y por sus múltiples bendiciones recibidas a lo largo de toda nuestra vida.
- Mis padres** Derick Enrique Kestler y Patricia del Rosario Gomez, por su apoyo y amor incondicional a lo largo de toda mi vida y por todos los sacrificios realizados para apoyarme en mis estudios y colaborar conmigo para alcanzar esta gran meta.
- Mi hermano** Erick Fernando Kestler Gómez, por motivarme a seguir adelante y ser siempre un pilar en mi vida.
- Mi tía** Priscila Magdalena Ordóñez García, por su invaluable apoyo en el transcurso de toda mi carrera y por sus consejos a lo largo de mi vida.
- Mi novia** María Antonella Rossi Morales, por

apoyarme en todo momento y alentarme a seguir adelante y luchar por mis sueños y metas toda la vida y por su familia, quienes me han brindado también apoyo incondicional cuando lo he necesitado y a quienes les tengo mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me albergó durante toda mi carrera y que me permitió formarme como profesional a través de los recursos y conocimientos brindados para alcanzar esta meta.

Facultad de Ingeniería

Por admitirme y acogerme dentro de sus aulas y brindarme los conocimientos necesarios para desarrollarme como profesional en el campo de aplicación de la ingeniería.

Mi asesor

Kenneth Issur Estrada, por su tiempo, colaboración y seguimiento a mi trabajo de graduación y su invaluable apoyo para lograr esta meta.

**Ministerio de Energía y
Minas**

Por ser la institución que me brindó la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación a través de su asesoramiento técnico y por sus atenciones en todo momento hacia mí persona.

Ing. Francisco González

Por la amistad brindada desde el inicio de mi carrera universitaria, por sus sabios consejos y

su apoyo brindado a mi persona desde que lo conocí así como su confianza que ha tenido siempre en mí.

**Museo Nacional de Arte
Moderno Carlos Mérida**

Por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de llevar a cabo mi trabajo de campo del EPS en las instalaciones de su institución, así como el apoyo brindado por cada uno de sus empleados hacia mí persona.

Mis amigos

Tanto de ingeniería eléctrica como de ingeniería mecánica, por todo el apoyo que mutuamente nos dimos para salir adelante con cada curso de la carrera y por siempre ayudarnos y motivarnos a ser mejores profesionales cada día. Así también, por los lazos de amistad que fuertemente establecimos con la mayoría y que perdurarán para toda la vida sin duda alguna.

Mis amigas

Brenda Eunice Chajaj Torres, Eilyn Clariheelen Escobar Hiu, Mariela Elizabeth Reyna Gordillo, Karla Patricia Siliezar Reyes, Karla Gabriela Heer Escobar y Melissa Beatriz Rivas por siempre creer en mí y en mi capacidad, y por siempre estar al pendiente de mi rendimiento académico y compartir conmigo mis logros y alegrías universitarias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MUSEO NACIONAL DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA.....	1
1.1. Misión.....	2
1.2. Visión	3
1.3. Objetivos del museo.....	3
1.4. Actividades principales.....	3
1.5. Estructura organizacional.....	4
1.5.1. Organigrama jerárquico del museo.....	5
2. CARACTERÍSTICAS Y DETALLES DEL EDIFICIO	7
2.1. Ubicación territorial y área del edificio.....	7
2.2. Detalles arquitectónicos de la construcción	8
2.3. Horario de trabajo	8
2.4. Condiciones generales del edificio.....	8
2.5. Croquis simplificado de la construcción	9
3. ANÁLISIS DE HISTÓRICOS DE CONSUMO	11
3.1. Consumo de energía eléctrica	11
3.2. Consumo de agua potable	14

4.	INVENTARIO DE EQUIPO	17
4.1.	Iluminación	17
4.1.1.	Total de luminarias	17
4.1.2.	Consumo eléctrico por luminaria	18
4.1.3.	Tiempo promedio de operación por luminaria	19
4.1.4.	Total de consumo eléctrico diario.....	19
4.1.5.	Análisis de los resultados de consumo eléctrico por iluminación	20
4.1.6.	Análisis de los resultados de eficiencia en iluminación	21
4.2.	Equipos.....	29
4.2.1.	Total de equipos.....	29
4.2.2.	Consumo eléctrico por equipo.....	30
4.2.3.	Tiempo promedio de operación de cada equipo	32
4.2.4.	Total de consumo eléctrico diario.....	33
4.2.5.	Análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipos	33
4.3.	Equipos térmicos	34
4.3.1.	Inventario de equipos de refrigeración y aire acondicionado	35
4.3.2.	Consumo eléctrico por equipo.....	35
4.3.3.	Análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipos térmicos	35
5.	HÁBITOS DE CONSUMO	37
6.	ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	41
6.1.	Análisis de voltajes	43
6.2.	Análisis de corrientes.....	46

6.3.	Análisis de potencia activa total consumida.....	48
6.4.	Análisis del factor de potencia	48
6.5.	Curva de carga diaria del museo	50
6.6.	Análisis termográfico de la instalación eléctrica.....	52
6.7.	Análisis de armónicos	59
6.7.1.	Origen.....	59
6.7.2.	Causas	59
6.7.3.	Factor de distorsión armónica total (THD).....	60
6.7.4.	Importancia de detectar armónicos en la red.....	62
6.7.5.	Resultados encontrados	63
6.7.6.	Análisis de los armónicos en el museo.....	63
7.	ADECUACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS	65
7.1.	Parámetros eléctricos y selección de módulos	69
8.	MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	75
8.1.	Climatización y aire acondicionado	75
8.2.	Iluminación.....	78
8.3.	Equipos eléctricos y cargas especiales.....	80
9.	PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
	2018-2027	85
9.1.	Proyección de consumo para 10 años	85
10.	GESTIÓN DE DESECHOS	87
10.1.	Plan de gestión, manejo y recolección de desechos sólidos dentro del edificio del Museo de Arte Moderno	88
10.2.	Acciones a implementar.....	91

11.	PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	95
11.1.	Análisis económico proyectado	97
12.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE AHORROS ENERGÉTICOS	101
12.1.	Instalación de paneles solares para autoalimentación	101
12.2.	Simulación de consumo eléctrico con implementación de tecnología led	102
12.3.	Buenas prácticas y hábitos de consumo	107
13.	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	111
14.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 EN EL MUSEO DE ARTE MODERNO	115
14.1.	Definición	115
14.2.	Importancia de la aplicación de la norma	115
14.3.	Estructura y contenido de la norma	116
14.3.1.	Objetivo y campo de aplicación.....	117
14.3.2.	Referencia normativa	117
14.3.3.	Términos y definiciones.....	118
14.3.4.	Requisitos del sistema de gestión de la energía	118
14.3.4.1.	Requisitos generales	119
14.3.4.2.	Responsabilidad de la dirección	120
14.3.4.3.	Política energética	120
14.3.4.4.	Implementación y operación.....	123
14.3.4.5.	Verificación y revisión por la dirección..	124
14.4.	Metodología de aplicación de la norma	124
14.5.	Beneficios y resultados finales de la aplicación de la norma	126

15.	CÁLCULOS BÁSICOS DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL	127
15.1.	Cálculo de la acometida.....	128
15.2.	Cálculo de ICC.....	128
15.3.	Cálculo de los interruptores	131
15.4.	Cálculo de las barras de tablero	134
16.	CÁLCULOS Y CRITERIOS PARA LA INSTALACIÓN DE PARARRAYOS DE PROTECCIÓN	137
16.1.	Disposiciones particulares	138
16.2.	Conductores de bajada	140
16.3.	Tomas de tierra.....	143
16.4.	Criterios de mantenimiento	146
17.	DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	149
17.1.	Secciones mínimas	150
17.2.	Criterio de caída de tensión	151
17.3.	Criterio térmico.....	152
17.4.	Criterio de corrientes de cortocircuito.....	153
18.	COMPENSACIÓN EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES	155
18.1.	Factor de potencia	155
18.1.1.	Impedancia, resistencia y reactancia.....	156
18.1.2.	Desfase entre las ondas de voltaje y corriente	158
18.1.3.	Potencia activa, reactiva y aparente	159
18.1.4.	Triangulo de potencias	160
18.1.5.	Efectos de un bajo factor de potencia.....	161
18.1.6.	Ventajas de la corrección del factor de potencia	163

18.2.	Compensación.....	164
18.2.1.	Significado de la compensación en redes de alimentación	164
18.2.2.	Potencia reactiva del condensador	166
18.2.3.	Tipos de compensación	168
18.3.	Cálculo del banco de condensadores para la compensación en la industria	171
18.3.1.	Tabla del factor k de compensación reactiva para el cálculo de potencia de los bancos de condensadores.....	171
19.	ULTRASONIDO EN REDES ELÉCTRICAS	173
19.1.	Aplicaciones del ultrasonido en el mantenimiento de equipos eléctricos	174
19.2.	Efecto corona	175
19.3.	Efecto <i>tracking</i>	176
19.4.	Arco	177
20.	SUPRESORES DE PICOS Y TRANSIENTES	179
20.1.	Definición.....	179
20.1.1.	Transiente	179
20.1.2.	Origen y causa de los transientes	180
20.1.3.	Consecuencias de los picos de voltaje.....	180
20.2.	Clasificación de los supresores	181
20.3.	Principio de funcionamiento de los supresores	182
20.4.	Supresor bifásico	182
20.5.	Supresor trifásico.....	183
20.6.	Especificaciones técnicas.....	184

CONCLUSIONES	187
RECOMENDACIONES	189
BIBLIOGRAFÍA.....	193
APÉNDICES	197

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama del Museo Nacional de Arte Moderno	5
2.	Ubicación geográfica del museo	7
3.	Croquis simplificado del edificio	9
4.	Proyección de consumo energético en kWh para el 2018 según históricos	13
5.	Proyección de consumo hídrico en metros cúbicos para el 2018 según históricos	15
6.	Consumo de energía eléctrica de luminarias en el museo	20
7.	Resultados de la medición de la intensidad lumínica	26
8.	Porcentaje de eficiencia lumínica en cada área del museo	28
9.	Distribución de consumos eléctricos	34
10.	Resultados de la encuesta	39
11.	Curva de carga promedio	51
12.	Puntos calientes en la barra neutra del tablero de distribución del museo	53
13.	Captura termográfica desde otro ángulo del tablero	54
14.	Áreas con mayor temperatura en el tablero de distribución	55
15.	Alimentadores del interruptor principal	56
16.	Captura termográfica del tablero de distribución completo	57
17.	Resultados de consumo y generación	73
18.	Proyección del consumo de energía en el museo hacia el 2027	86
19.	Propuesta de identificación de depósitos de basura	94

20.	Costo por consumo estimado de energía eléctrica para los meses de enero a diciembre de 2018.....	98
21.	Comparación de proyecciones por costo económico del consumo de energía eléctrica en el edificio del Museo de Arte Moderno	99
22.	Comparación de proyecciones por costo económico en quetzales del consumo de energía eléctrica con cambio de iluminación.....	106
23.	Proyección de consumo de energía eléctrica en kWh basados en registros históricos, registros medidos y con cambio de luminaria	107
24.	Ahorro energético	109
25.	Ahorro económico	109
26.	Emisiones de CO2 por año en el museo	113
27.	Política energética	122
28.	Fases para la aplicación de la metodología	125
29.	Interruptores automáticos	132
30.	Curva del dispositivo de protección	133
31.	Conexión de motor sin compensación reactiva	156
32.	Conexión de motor ya con compensación reactiva	156
33.	Desfase entre las ondas de voltaje y corriente	159
34.	Potencia activa, reactiva y aparente.....	160
35.	Fasores del factor de potencia	161
36.	Reducción de la compensación.....	165
37.	Condensador	167
38.	Conexión de cada método de compensación.....	170
39.	Detector ultrasónico.....	174
40.	Instalación de supresor bifásico	183
41.	Instalación de supresor trifásico	184

TABLAS

I.	Datos del servicio de energía eléctrica principal.....	11
II.	Consumo energético de acometida eléctrica principal del museo.....	12
III.	Consumo de agua potable en el museo, año 2017	14
IV.	Total de luminarias	18
V.	Consumo eléctrico por luminaria	18
VI.	Tiempo promedio de operación por luminaria	19
VII.	Niveles de iluminación por áreas en el museo	22
VIII.	Condiciones de iluminación dentro del museo	23
IX.	Resumen de la eficiencia lumínica total dentro del museo	23
X.	Niveles mínimos de iluminación	26
XI.	Total de equipos que se encuentran actualmente funcionando...	29
XII.	Consumo eléctrico por equipo	31
XIII.	Tiempo promedio de operación de cada equipo.....	32
XIV.	Características de la refrigeradora	35
XV.	Encuesta para determinar los hábitos de consumo.....	38
XVI.	Tablero principal del museo.....	41
XVII.	Voltaje línea 1-tierra.....	43
XVIII.	Voltaje línea 2 – tierra.....	44
XIX.	Voltaje línea 1 – línea 2	45
XX.	Análisis de corriente línea 1.....	46
XXI.	Análisis de corriente línea 2.....	47
XXII.	Análisis de potencia activa total consumida	48
XXIII.	Análisis del factor de potencia	49
XXIV.	Rango de valores del factor THD y sus efectos.....	62
XXV.	Valor del factor de distorsión armónica en la red eléctrica del museo.....	63

XXVI.	Rendimiento parcial y total de los paneles solares	66
XXVII.	Demanda de energía real en el museo	67
XXVIII.	Radiación solar diaria en Guatemala	67
XXIX.	Resultados obtenidos.....	68
XXX.	Parámetros eléctricos y selección de módulos	69
XXXI.	Valores nominales.....	70
XXXII.	Equipo leonics SCP-48240 PWM.....	70
XXXIII.	Parámetros victron multiplus 48	71
XXXIV.	Parámetros victron multiplus 48/3000/35-16	71
XXXV.	Elementos resultantes del cálculo	72
XXXVI.	Comparativa de consumos y producción en un año.....	72
XXXVII.	Actividades que se desarrollan en cada unidad	90
XXXVIII.	Distribución de colores	93
XXXIX.	Consumos de energía eléctrica por día.....	95
XL.	Consumos de energía eléctrica días de descanso.....	95
XLI.	Proyección de consumo de energía eléctrica de enero a diciembre del 2018.....	96
XLII.	Proyección de costos	102
XLIII.	Comparación entre lámparas existentes y propuesta de nuevas lámparas	103
XLIV.	Costo de cambio de luminaria	103
XLV.	Proyección de tiempo de vida útil del proyecto para 10 años	104
XLVI.	Consumo actual de energía por mes	104
XLVII.	Proyección de ahorro económico en el costo de consumo de energía eléctrica mensual	105
XLVIII.	Costos de inversión.....	108
XLIX.	Requerimientos de la ISO 50001	119
L.	Valores del factor tensión.....	130
LI.	Conductores de bajada	142

LII.	Electrodos de tierra.....	145
LIII.	Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos	146
LIV.	Valores de conductores	150
LV.	Aluminio.....	153
LVI.	Cobre.....	153
LVII.	Factores.....	160
LVIII.	Efectos de un bajo factor de potencia para los conductores de instalación	163
LIX.	Ventajas y desventajas de compensación individual	168
LX.	Ventajas y desventajas de compensación en grupos	169
LXI.	Ventajas y desventajas de compensación central	170
LXII.	Valores habituales del factor k en las instalaciones eléctricas industriales	172
LXIII.	Corrientes nominales.....	181
LXIV.	Especificaciones técnicas normadas por IEC 61643-11	185

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio, flujo de corriente eléctrica
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
I_n	Corriente nominal
THD	Factor de distorsión armónica total
F_p	Factor de potencia
°C	Grados centígrados
HSP	Horas sol pico
kWh	Kilovatio hora
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio amperio
Lm	Lumen
Lx	Lux
M	Metro
Ma	Miliamperios
Mm	Milímetros
Ms	Milisegundos
Ω	Ohmios
ρ	Resistividad
U_{cc}	Tensión de cortocircuito
W	Vatio
VA	Voltioamperios
V	Voltios

GLOSARIO

Acometida	Se le llama así a la derivación que va desde la red de distribución de la empresa que suministra la energía hasta la protección principal o medidor de energía de la edificación o propiedad donde se hará uso de la electricidad. Generalmente es un conductor de calibre 8 AWG.
Aislante	Material que no permite el paso de la electricidad debido a la distribución de sus átomos tan fuertemente enlazados entre sí.
Amperio	Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica. Se define como el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo en un conductor. La abreviatura utilizada para esta unidad de medida es la A.
Armónico	En sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son, igual que en acústica, frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.
Baja tensión	Es el nivel de tensión igual o inferior a mil (1 000) voltios.

Bobina	Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un núcleo sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas para el flujo de corriente eléctrica y su conversión.
Cable	Conductor formado por un conjunto de hilos, ya sea trenzados o torcidos, con el objetivo de conducir electricidad a través de él.
Caída de tensión	Se llama así a la diferencia de potencial que existe entre los extremos emisor y receptor de un conductor. Se mide en voltios y representa el gasto de fuerza que implica el paso de la corriente por el mismo.
Cámara termográfica	Equipo que registra la intensidad de la radiación en la zona infrarroja del espectro electromagnético y la convierte en una imagen visible para mostrar los puntos calientes de los cuerpos.
Conductor	Material que ofrece mínima resistencia al paso de una corriente eléctrica. Los conductores más comunes son de cobre o de aluminio y pueden estar cubiertos o desnudos.
Consumo eléctrico	Potencia eléctrica utilizada por toda o una pequeña parte de la instalación, la cual es utilizada durante un período determinado de tiempo.

Cortocircuito	Conexión accidental o voluntaria de dos bornes a diferentes potenciales, provocando un aumento de la intensidad de corriente que pasa por ese punto provocando daños a la instalación.
Distribuidora eléctrica	Empresa titular o poseedora de instalaciones y estructuras destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica a los usuarios finales.
Energía eléctrica	Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.
Factor de potencia	Coseno del ángulo formado por el desfaseamiento existente entre la tensión y la corriente en un sistema eléctrico alterno. Es un indicador que representa la cantidad de potencia útil que se tiene respecto a la potencia aparente.
Kilovatio	Unidad de potencia o trabajo, equivalente a mil vatios. Su abreviatura es kW.
Kilovatio hora	Unidad de energía que equivale a la energía desarrollada por una potencia de un kilovatio (kW) durante una hora. Por lo general se emplea para la facturación de energía eléctrica. Su abreviatura es kWh.

Línea viva	También llamado conductor vivo o fase. Se le llama así al conductor que tiene cierto potencial respecto a una referencia como lo puede ser el conductor neutro o la tierra física.
Lumen	Unidad de medida que cuantifica el flujo luminoso, es decir, es una medida de la potencia luminosa emitida por una fuente de luz. La abreviatura para esta unidad de medida es lm y se define como $lx \cdot m^2$.
Lux	Es una unidad de medida de Iluminancia. Indica el nivel de iluminación por metro cuadrado en cierta área. La abreviatura para esta unidad de medida es lx y se define como lm/m^2 .
Mantenimiento eléctrico	Conjunto de actividades y procesos a realizar con el fin de proteger, preservar y prolongar la vida útil de la instalación eléctrica y de todos los equipos y dispositivos que la conforman.
Neutro	Conductor destinado al retorno de la corriente eléctrica en los circuitos de una instalación. Sirve también como punto de referencia para otro potencial en el conductor vivo.
Red de distribución	Es un conjunto de alimentadores interconectados y radiales que suministran a través de los alimentadores la energía eléctrica a los usuarios finales.

Repotenciación	Incremento de la capacidad efectiva de una unidad generadora existente.
Tarifa base	Estas tarifas son calculadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) cada cinco años, y serán ajustadas periódicamente mediante la aplicación de fórmulas que reflejen la variación de los costos de distribución. Estas tarifas incluyen cargo por consumidor, cargo por potencia de punta, cargo por potencia fuera de punta y cargo por energía.
Voltaje	Es una magnitud física con la cual se puede cuantificar o medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor. En términos eléctricos se define como la cantidad de trabajo necesario para movilizar una carga eléctrica de un punto hacia otro.

RESUMEN

La eficiencia energética es una práctica que busca reducir el consumo de energía manteniendo el mismo servicio o nivel de actividad en un proceso. Esta práctica tiene como objetivo principal la utilización eficiente y racional de los recursos energéticos con el fin de optimizar el uso de estos y así percibir reducción de costos para la instalación así como contribuir también al medio ambiente con la reducción de emisión de gases a la atmósfera, la cual es una de la principales causas del calentamiento global que está experimentando el planeta actualmente.

El presente informe consiste en el desarrollo de una propuesta de implementación de medidas de mejora y mejoramiento de los hábitos de consumo en el uso racional de la energía utilizada en el edificio del Museo de Arte Moderno, con el fin de contribuir en la reducción del consumo eléctrico y promover la eficiencia energética en todas las instituciones del estado, cumpliendo así con los objetivos planteados en la política energética vigente en el país. Para llevar a cabo la propuesta se realizó una auditoría energética en todo el edificio, estudio por medio del cual se diagnosticó el estado real de la instalación eléctrica así como también se midió el consumo real de energía y las pérdidas existentes y sus posibles causas.

Finalmente se presenta un estudio técnico económico de las proyecciones de ahorro futuro que pueden llegar a tenerse mediante la aplicación de las medidas de mejora y el impacto ambiental que se logrará por medio de la reducción del consumo eléctrico en la instalación.

OBJETIVOS

General

Realizar una Auditoría Energética a las instalaciones del Museo de Arte Moderno Carlos Mérida, para implementar en él un plan de ahorro y uso eficiente de la energía con el fin de mejorar la calidad de la utilización de este recurso y reducir a su vez, el costo destinado para este servicio.

Específicos

1. Realizar una inspección visual y a través de mediciones para diagnosticar el estado actual de la instalación eléctrica del Museo de Arte Moderno.
2. Promover en los empleados buenas prácticas en la utilización del uso de la energía dentro del edificio.
3. Realizar un inventario de equipos y otras cargas eléctricas conectadas para poder modelar así el consumo dentro del edificio.
4. Analizar la calidad de la energía de la red eléctrica del museo por medio de equipo especializado con el fin de mitigar todo tipo de perturbación o problema que se esté generando pérdidas en la instalación.
5. Contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones de CO2 proponiendo e implementando medidas de mejora para la eficiencia

energética dentro del edificio y que así se utilice racionalmente la energía en el lugar.

6. Proponer el diseño, la utilización y puesta en marcha de fuentes de energía renovable para reducir la cantidad de energía utilizada a través de electricidad en el edificio.

INTRODUCCIÓN

El presente informe muestra y explica un profundo y detallado análisis sobre la calidad de energía y eficiencia energética con la que cuentan las instalaciones del edificio del Museo de Arte Moderno Carlos Mérida, información con la cual se pudo determinar su consumo energético y así, proponer planes de eficiencia energética y uso racional de los recursos para contribuir a la reducción del consumo eléctrico en las instituciones del estado.

Este proyecto nació de la necesidad del cumplimiento del cuarto eje de la Política Energética 2013-2027 “Ahorro y uso eficiente de la energía” el cual se establece como objetivo crear los mecanismos necesarios para el uso eficiente y productivo de la energía para lograr de esta forma la reducción del 30 % de consumo energético en todas las instituciones públicas. Una de las acciones a ejecutar es, por ejemplo, la realización de estudios técnicos que evalúen y muestren el impacto económico que se puede tener al utilizar de manera racional y eficiente la energía en el estado.

El proyecto realizado básicamente consistió en la realización de una Auditoría Energética la cual se basó en realizar una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en el edificio con el fin de ver el estado de la instalación eléctrica y proponer las mejoras respectivas para el ahorro de la energía manteniendo siempre el confort, la salubridad y la seguridad de todos sus ocupantes y visitantes.

Las mediciones se realizaron con ayuda del equipo analizador de redes FLUKE 435 clase II, un luxómetro marca AEMC modelo CA813 y una cámara

termográfica marca FLUKE, los cuales brindaron la información necesaria para realizar los análisis de los principales parámetros eléctricos de la instalación así como también de los niveles de iluminación dentro de todas las áreas y la localización de puntos de retorno o puntos calientes en los tableros y en las instalaciones con el fin de brindar soluciones a cada hallazgo localizado para la mejora de la instalación del edificio.

1. MUSEO NACIONAL DE ARTE MODERNO CARLOS MÉRIDA

Dentro de la bibliografía del Museo nacional de Arte Moderno Carlos Mérida se encuentra su historia, la cual textualmente dice: Este museo fue llamado originalmente Museo Nacional de Historia y Bellas Artes, fue creado por Acuerdo Gubernativo núm. 1623 de fecha 15 de enero de 1935, inaugurado el día 10 de noviembre de 1934, es decir, tres meses antes de su creación legal.

Inicialmente ocupó lo que era el antiguo templo del Calvario que estaba ubicado en la cima del cerro situado al final de la 6ª. Avenida y 18 Calle de la Zona 1 de la Ciudad de la Nueva Guatemala de la Asunción. Demolido en 1947 como consecuencia de la prolongación de la 6ª. Avenida, se traslada todo el legado artístico e histórico que constituían el patrimonio, a un local de la finca nacional La Aurora en la zona 13 y a los museos de la Antigua Guatemala.

En 1953, con motivo de celebrarse la feria nacional, los organizadores de dicho evento (Señor Jorge Toriello Garrido), tuvieron la afortunada idea de reorganizar el museo, habiendo escogido el edificio donde en ese entonces existía un destacamento de la Policía Nacional por considerarlo el más adecuado del área. En 1957, por orden de la superioridad se desalojó dicho edificio para crearse en ese lugar el Instituto Cívico Militar Adolfo V. Hall.

Los objetos históricos que en dicho museo se exhibían, fueron almacenados en otro de los salones vecinos, donde fue instalado posteriormente, permaneciendo en dicho lugar hasta 1968, cuando por

gestiones realizadas por el Instituto de Antropología e Historia, la Sociedad de Amigos del Museo y la propia Dirección del mismo, se logró el traslado a un lugar más seguro y es donde actualmente se encuentra ubicado el edificio núm. 6.

Con fecha del 16 de octubre de 1975, por disposición del Ministerio de Educación y el Instituto de Antropología e Historia, se verificó la separación del material histórico que venía exhibiéndose en este museo para crear el Museo Nacional de Historia de Guatemala.

A partir de esa fecha, el antiguo Museo de Historia y Bellas Artes, tomó la denominación de Museo Nacional de Arte Moderno de Guatemala, siendo este, en ese entonces una Dependencia del Instituto de Antropología e Historia del Vice ministerio de Cultura del Ministerio de Educación, actualmente Ministerio de Cultura y Deportes, creado como tal en 1986.

1.1. Misión

La misión del Museo Nacional de Arte Moderno es: Constituir un espacio donde se muestre el Acervo y la herencia plástica de la edad moderna en Guatemala, contando con programas estructurados que promuevan la exhibición, difusión, concientización y contribuyan al aprecio y cuidado de las obras, así como su promoción a través de actividades orientadas a la sociedad en general, empresarios, familias, instituciones educativas y entidades que fortalezcan el patrimonio plástico guatemalteco y las nuevas propuestas artísticas generales tanto en el ambiente nacional como internacional.

1.2. Visión

La visión del Museo Nacional de Arte Moderno es: Contribuir con la construcción de la Identidad Guatemalteca a través del desarrollo de programas y actividades que incrementen el conocimiento de la sociedad con respecto a la Plástica Nacional y sus más destacados representantes, al mismo tiempo de abrir espacios para el conocimiento y aprecio del arte nacional e internacional por medio de programas educativos, exposiciones representativas y actividades alternativas que construyan la apreciación del arte.

1.3. Objetivos del museo

Los objetivos establecidos desde la creación del museo son:

- Coleccionar, catalogar y conservar obras para enriquecer el patrimonio artístico.
- Exhibir debidamente dichas obras para estimular y dar a conocer los valores de la plástica nacional.
- Colaborar con instituciones culturales, artísticas y educativas del país, así como extranjeras, procurando un intercambio cultural de las mismas.

1.4. Actividades principales

Las actividades principales que se llevan a cabo en el museo son la realización de exposiciones de arte nacional e internacional, así como la organización y ejecución de mesas redondas, charlas, conferencias y talleres para niños y adultos en diferentes ámbitos del arte. Así también, se caracteriza por poner a disposición la bibliografía de la plástica nacional para estudiantes de todos los niveles educativos del país proveyendo y mostrando en sus

presentaciones distintos tipos de videotecas y colecciones de videos documentales.

1.5. Estructura organizacional

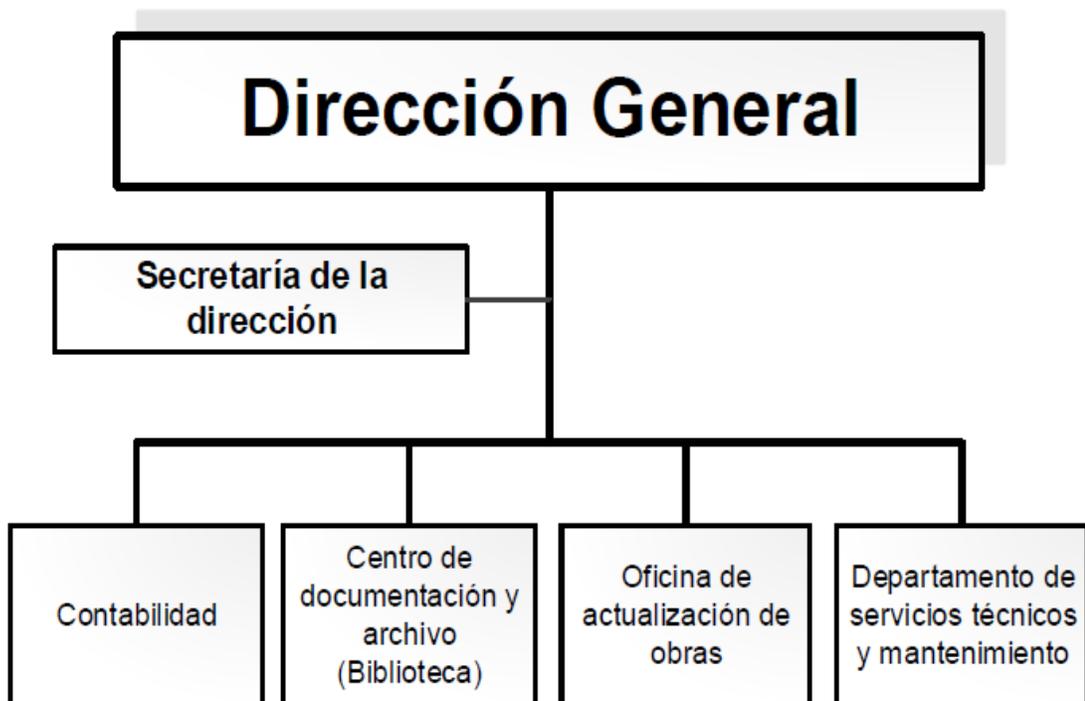
El museo cuenta con los siguientes departamentos, los cuales en conjunto velan por el correcto desarrollo y funcionamiento de las actividades del mismo. Estos a su vez, desarrollan actividades independientes con las cuales colaboran con los objetivos de la institución. Estas unidades organizativas son:

- Dirección general
- Secretaría
- Contabilidad
- Centro de documentación
- Sala de sesiones
- Oficina de actualización de obras
- Departamento de servicios técnicos y mantenimiento

1.5.1. Organigrama jerárquico del museo

En la figura 1 se muestra el organigrama esquemático de funcionamiento del Museo de Arte Moderno.

Figura 1. Organigrama del Museo Nacional de Arte Moderno



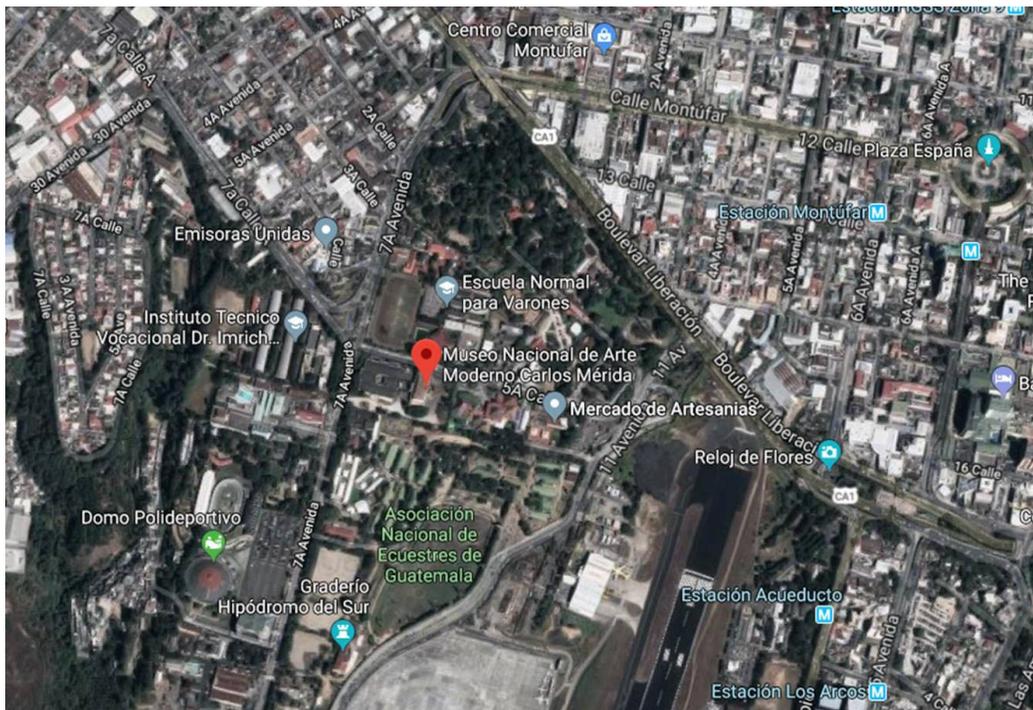
Fuente: elaboración propia.

2. CARACTERÍSTICAS Y DETALLES DEL EDIFICIO

2.1. Ubicación territorial y área del edificio

Específicamente, el Museo Nacional de Arte Moderno Carlos Mérida se ubica en la 07 avenida y 06 calle, Salón núm. 6, Finca Nacional La Aurora, zona 13. El terreno completo abarca un total de $450m^2$.

Figura 2. Ubicación geográfica del museo



Fuente: Google maps. <https://earth.google.com/web/@14.59,-90.52,0r/data>. Consulta: 27 de marzo de 2018.

2.2. Detalles arquitectónicos de la construcción

El edificio es una joya arquitectónica de estilo renacentista colonial. Uno de los detalles que sobresalen es su exuberante techo de madera de caoba que tiene pendiendo en el centro una imponente lámpara de hierro forjado de estilo colonial que cuenta con 96 luminarias. Tiene tres salas de exposición y una sala central en honor a Carlos Mérida en la que se exponen obras de su autoría.

2.3. Horario de trabajo

El horario en que se trabaja y se atiende al público en general en el museo es de 09:00 a 16:00 horas de martes a domingo sin cierre por horario de almuerzo. Los días lunes permanece totalmente cerrado para labores de mantenimiento, readecuación, entre otros.

2.4. Condiciones generales del edificio

Para la correcta verificación de las condiciones generales del edificio se realizó una inspección visual general a toda la instalación con la cual se recolectó la siguiente información:

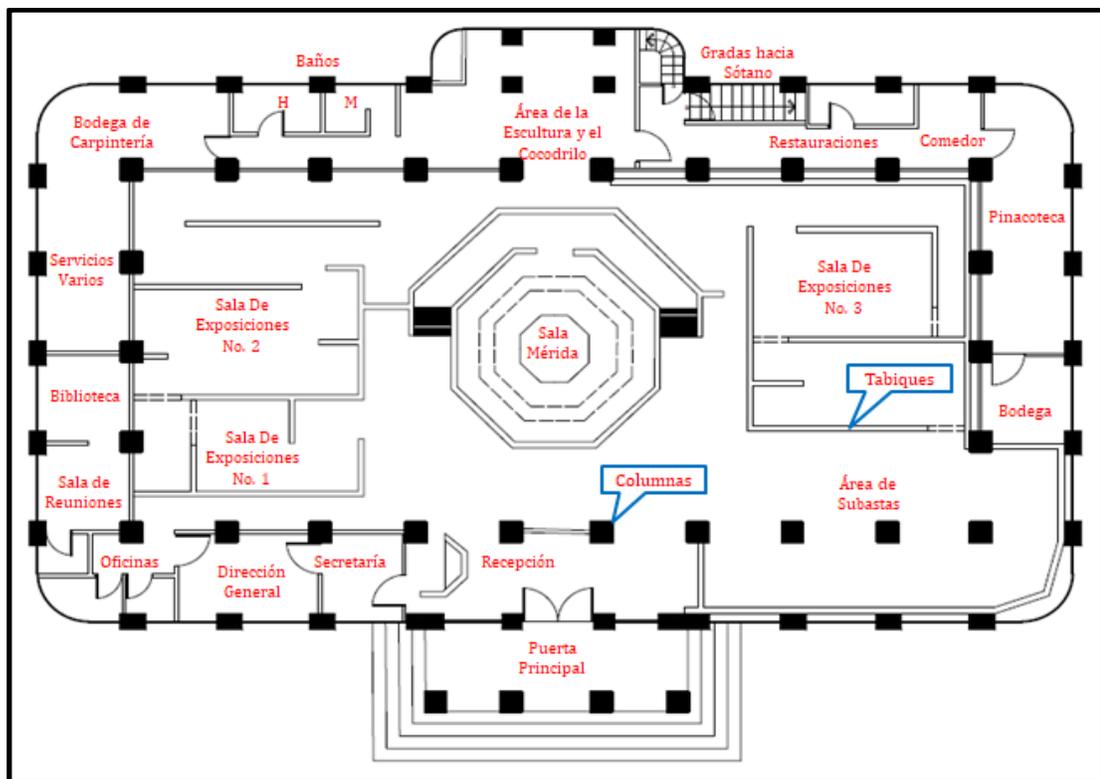
- Edificación de concreto y ladrillo, bases y columnas con fundición en sitio
- Puertas y ventanas exteriores en la mayoría de vidrio con marco de aluminio pintado
- Puertas interiores de madera en su mayoría con chapa metálica bilateral
- Tabiques de exposición elaborados con madera tipo MDF y Plywood
- Techo construido con caoba y rosetones centrales de yeso color bronce
- Existen áreas con vigas de madera y losa apoyada
- Piso tipo ladrillo de tamaño estándar cada pieza

- 12 cámaras de vigilancia distribuidas en diferentes puntos de la instalación.

2.5. Croquis simplificado de la construcción

A partir de la inspección visual realizada y por medio de un plano base con el que contaba el museo, se localizaron las principales áreas del edificio y se señalaron en el bosquejo que se muestra a continuación.

Figura 3. Croquis simplificado del edificio



Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS DE HISTÓRICOS DE CONSUMO

En este capítulo se analiza las tendencias de consumo de electricidad y de agua potable en el edificio del museo a partir de los datos históricos proporcionados por las facturas del 2017 de estos dos recursos energéticos con el objetivo de proyectar el consumo futuro de la instalación.

3.1. Consumo de energía eléctrica

Las instalaciones del Museo de Arte Moderno cuentan con suministro de energía eléctrica desde un único punto alimentador, siendo este la acometida eléctrica principal por medio de la cual se proporciona el servicio prestado por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y se conforma como se detalla a continuación:

- Servicio y tarifa en baja tensión alimentado por una red de media tensión hasta un banco trifásico de transformadores de 50 KVA c/u para un total de 150 KVA.

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

Medidor (Contador)	S-01570
Tarifa	BTDfp
Voltaje	120/208 V
Fases	3

Fuente: elaboración propia.

Tarifa BTDfp: baja tensión con demanda fuera de punta. Tarifa aplicada a usuarios que tienen un límite de potencia mensual mayor a 11 KW y que presentan su posible mayor demanda fuera del horario de punta para Guatemala, el cual es de 18:00 a 22:00hrs.

Es importante resaltar que el banco de transformación con el que se cuenta proporciona un total de 150 KVA a toda la finca en la cual se encuentran ubicados los tres museos, siendo esta la Finca Nacional La Aurora, distribuyéndose entonces entre las tres edificaciones esta potencia.

Tabla II. Consumo energético de acometida eléctrica principal del museo

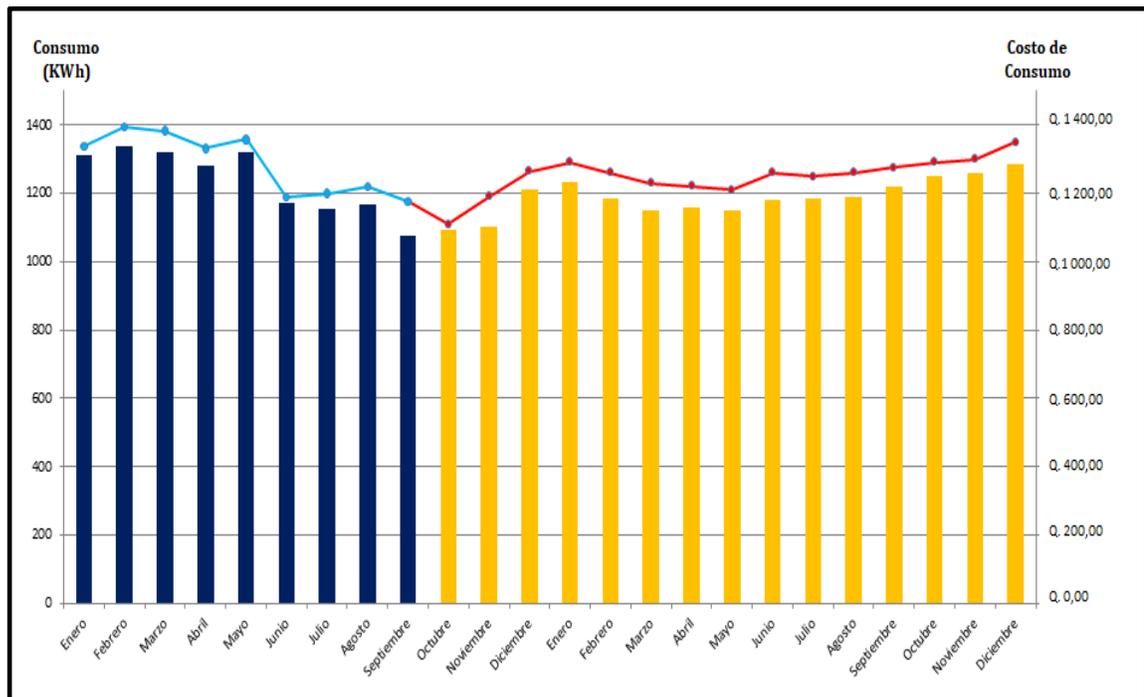
2017	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Costo kWh	Q. 0,703471	Q. 0,703471	Q. 0,758479	Q. 0,758479	Q. 0,726491	Q. 0,726491	Q. 0,703471	Q. 0,703471	Q. 0,703471
Consumo kWh	1 329	1 494	1 533	1 802	1 778	1 701	1 417	1 489	999
Costo energía	Q. 1 150,80	Q. 1 155,93	Q. 1 160,34	Q. 1 781,62	Q. 1 750,25	Q. 1 170,50	Q. 1 155,87	Q. 1 167,44	Q. 988,76
Incumplimiento NTSD	Q. 00,00								
Potencia máxima KW	19,1	19,2	19,2	19,4	19,3	19,3	19,2	19,2	18,8
Potencia contratada KW	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
Costo potencia máxima	Q. 23,578522	Q. 23,599522	Q. 23,599522	Q. 23,896623	Q. 23,797694	Q. 23,797694	Q. 23,599522	Q. 23,599522	Q. 22,988572
Costo potencia contratada	Q. 29,163369								
Costo por potencia	Q. 685,34	Q. 690,17	Q. 690,17	Q. 693,10	Q. 692,26	Q. 692,26	Q. 690,17	Q. 690,17	Q. 668,93
Cargos fijos	Q. 2 958,97	Q. 2 960,91	Q. 2 968,73	Q. 2 987,95	Q. 2 974,61	Q. 2 974,61	Q. 2 968,73	Q. 2 967,70	Q. 2 89,32
Total factura (con IVA)	Q. 2 265,89	Q. 2 692,28	Q. 2 702,43	Q. 3 326,81	Q. 3 268,73	Q. 2 719,17	Q. 2 448,30	Q. 2 650,00	Q. 2 150,33

Fuente: elaboración propia.

Este servicio es el encargado de la distribución de energía eléctrica al edificio del museo, registrando un consumo promedio mensual de 1 518 kWh durante el 2017, lo que corresponde a un promedio mensual de Q 3 020,00 únicamente por concepto de pago de energía.

Adicional, se prevé un crecimiento por concepto de consumo energético bastante estable, siendo este alrededor de 15 KWh mensual para el 2018.

Figura 4. Proyección de consumo energético en kWh para el 2018 según históricos



Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que hasta la fecha, el servicio eléctrico del museo no ha sido sancionado por incumplimiento de la normativa (NTSD) por bajo factor de potencia, tema que será tratado y analizado en capítulos posteriores.

3.2. Consumo de agua potable

El suministro de agua potable es prestado por la empresa municipal EMPAGUA; para lo cual se recopiló la información de la facturación correspondiente al 2017.

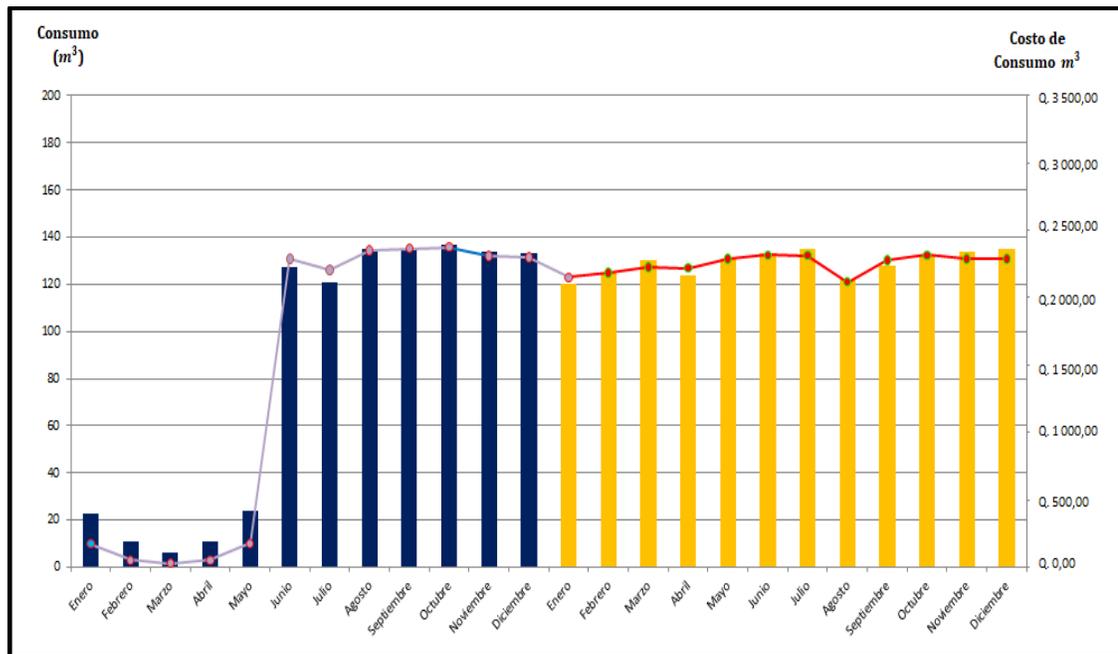
Tabla III. Consumo de agua potable en el museo, año 2017

2017	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Costo M3	Q. 12,09	Q. 12,09	Q. 12,09	Q. 12,09	Q. 12,09						
Consumo M3	23	11	6	11	24	27	109	260	81	97	137
Costo Consumo M3	Q. 174,65	Q. 53,22	Q. 29,03	Q. 53,22	Q. 175,10	Q. 188,36	Q. 2 105,88	Q. 6 281,18	Q. 1 564,92	Q. 1 874,04	Q. 3 309,70
Alcantarillado	Q. 31,19	Q. 9,50	Q. 5,18	Q. 9,50	Q. 32,38	Q. 35,40	Q. 376,05	Q. 1 121,64	Q. 279,45	Q. 334,65	Q. 591,02
Cargo Fijo	Q. 27,19	Q. 27,19	Q. 27,19	Q. 27,19	Q. 27,19						
Total por Mora	Q. 1 659,31	Q. 1 658,12	Q. 1 654,61	Q. 1 657,48	Q. 1 659,76	Q. 1 661,18	Q. 1 656,70	Q. 1 696,12	Q. 1 782,60	Q. 1 812,00	Q. 1 847,13
Total a Pagar	Q. 233,03	Q. 89,91	Q. 61,40	Q. 90,12	Q. 245,20	Q. 252,30	Q. 2 509,12	Q. 7 430,01	Q. 1 871,56	Q. 2 235,88	Q. 3 927,91
Total Factura	Q. 1 289,93	Q. 687,95	Q. 530,50	Q. 690,12	Q. 1 350,27	Q. 1 401,98	Q. 15 384,98	Q. 46 876,91	Q. 10 777,52	Q. 13 941,86	Q. 24 654,21

Fuente: elaboración propia.

El crecimiento en el consumo de agua potable para el 2018 se prevé constante en términos estadísticos.

Figura 5. **Proyección de consumo hídrico en metros cúbicos para el 2018 según históricos**



Fuente: elaboración propia.

Es importante resaltar que la región de la gráfica mostrada anteriormente en la que los datos de costo y consumo son casi nulos es debido a una desconexión del servicio y problemas que se presentaron con el suministro de agua potable durante la primera mitad del 2017.

4. INVENTARIO DE EQUIPO

Se realizó un inventario de todos los equipos existentes en el edificio del museo con el objetivo de determinar cuánta energía se consume dentro del mismo, así como también calcular cuál es el costo económico de dicha energía, en qué áreas del edificio se consume en mayor cantidad y de qué manera se utiliza. Con los resultados obtenidos se pueden determinar las áreas del edificio en las cuales es más necesario implementar planes de ahorro y eficiencia energética para reducir así el costo mensual de la utilización de este recurso.

4.1. Iluminación

La evaluación de suministro lumínico del edificio del Museo de Arte Moderno se realizó por medio de verificaciones y cuantificaciones de unidades de iluminación por cada área, cantidad de luxes existentes en cada ambiente, estado de los difusores, altura óptima de cada luminaria, temperatura de color, eficiencia lumínica en cada ambiente, deficiencias presentadas por área y aprovechamiento de la luz en general en toda la instalación.

4.1.1. Total de luminarias

Luego del recuento de luminarias en toda la instalación, se recaudó la siguiente información:

Tabla IV. **Total de luminarias**

Ubicación	Luminaria	Cantidad
Lámpara central y faroles	Bombilla incandescente	152
Oficinas, baños y bodegas	Lámparas fluorescentes (2x40W)	16
Salas de exposición 1 y 2	Bombillas halógenas	96
Salas de exposición 3 y 4	Bombillas halógenas	28
Sala Mérida	Bombillas tipo led ojo de buey	56
Exterior de las salas de exposición	Bombillas led	52
Total de luminarias en el edificio		400

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. **Consumo eléctrico por luminaria**

La potencia de cada una de las luminarias instaladas en el museo se detalla en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla V. **Consumo eléctrico por luminaria**

Luminaria	Potencia individual (W)	Potencia total (W)
Bombilla incandescente	100	15 200
Lámparas fluorescentes	40	1 280
Bombillas halógenas	30	2 880
Bombillas halógenas	50	1 400
Bombillas tipo led ojo de buey	5	280
Bombillas led	7	364
Consumo eléctrico total en Iluminación		21 404

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Tiempo promedio de operación por luminaria

Por medio de entrevistas y encuestas al personal que labora en el museo, se determinó un tiempo promedio de utilización de las luminarias de cada área del edificio, siendo los resultados recabados los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Tiempo promedio de operación por luminaria**

Ubicación	Luminaria	Tiempo de operación (horas)
Lámpara central y faroles	Bombilla incandescente	14
Oficinas, baños y bodegas	Lámparas fluorescentes	8
Salas de exposición 1 y 2	Bombillas halógenas	10
Salas de exposición 3 y 4	Bombillas halógenas	10
Sala Mérida	Bombillas tipo led ojo de buey	10
Exterior de las salas de exposición	Bombillas led	10

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Total de consumo eléctrico diario

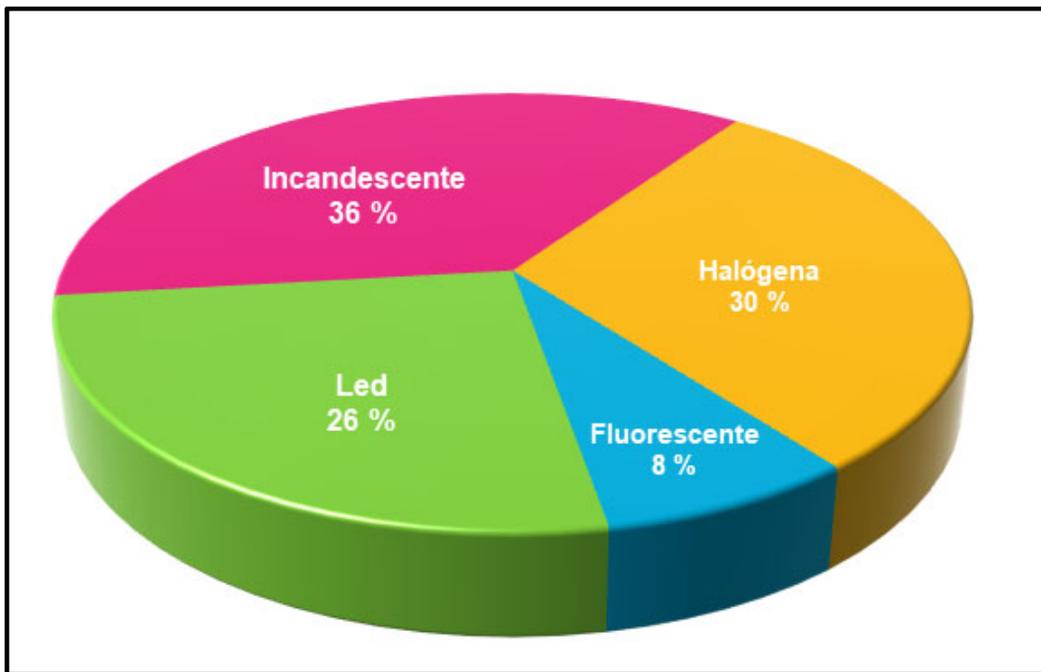
Con base en las tablas IV, V y VI mostradas anteriormente en las que se especifica la potencia de cada una de las luminarias instaladas en el museo y el tiempo de operación de cada una de ellas se determinó que el consumo eléctrico diario debido al sistema de iluminación es de 20,8 KWh/día.

4.1.5. Análisis de los resultados de consumo eléctrico por iluminación

El consumo eléctrico total del sistema de iluminación del museo se encuentra mayormente predominado por el consumo debido a las bombillas incandescentes que se encuentran aún en funcionamiento dentro del edificio, las cuales presentan un mayor consumo en comparación con las demás luminarias.

En la figura 6 se presenta la proporción en la cual se consume energía eléctrica a través de las luminarias actualmente en funcionamiento dentro del museo.

Figura 6. Consumo de energía eléctrica de luminarias en el museo



Fuente: elaboración propia.

4.1.6. Análisis de los resultados de eficiencia en iluminación

El proceso de cuantificación de luxes en cada área del museo, se llevó a cabo por medio de la medición experimental a través de un luxómetro marca AEMC modelo CA813, el cual es un instrumento industrial que permite medir de manera sencilla y rápida la iluminancia real y no subjetiva de cada ambiente.

Para calcular el porcentaje de eficiencia lumínica en cada área del museo, se utilizó la siguiente ecuación:

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

Dónde:

P_T = es la potencia total de iluminación en cada ambiente

I_x = es la cantidad de luxes medidos en el lugar por medio del luxómetro

A = es el área del lugar

A continuación se muestra la tabla comparativa del nivel de iluminación existente en la actualidad en cada área del museo; dichos valores se contrastaron con los niveles de iluminación recomendados por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, los cuales fueron establecidos en su Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional en 2016.

Tabla VII. Niveles de iluminación por áreas en el museo

Área o Departamento	Nivel de Iluminancia (Lux)		% Eficiencia
	Nivel Actual	Nivel Recomendado	
Recepción	50	300	No Aplica
Secretaría	178	500	22,5
Dirección	161	500	24,8
Contabilidad	336	500	7,9
Cuarto de control	86	500	31,0
Bodega de químicos	29	300	100
Sala de sesiones	43	350	31,0
Biblioteca	94	750	31,9
Taller de carpintería	65	500	24,6
Baño de mujeres	87	150	5,7
Baño de hombres	85	150	5,9
Pinacoteca	80	500	20,0
Comedor	70	400	28,6
Taller de restauración	75	500	21,3
Área de servicios generales	70	150	22,9
Baños sótano	68	200	39,2
Sala de actividades sótano	113	150	17,7
Interior de la sala Mérida	180	200	2,8
Pasillos externos sala Mérida	70	150	3,1
Puerta de entrada principal	950	900	1,1
Sala de exposiciones núm. 1	40	250	75,0
Sala de exposiciones núm. 2	45	250	18,7
Sala de exposiciones núm. 3	33	250	100
Sala de exposiciones núm. 4	34	250	41,7
Zonas de paso lado norte	160	150	4,4
Zonas de paso lado sur	145	150	4,8

Fuente: elaboración propia.

La información obtenida luego de realizar la inspección y el diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra el sistema de iluminación del museo se detalla en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla VIII. **Condiciones de iluminación dentro del museo**

Área de Trabajo Ubicación	Tipo de Regulación de Encendido y Apagado	Luz Natural			Deficiencias		
		Luz Natural	Ventanas	Tragaluz	Sombra	Deslumbramientos	Parpadeo
Lámpara central y faroles	CPI	Si	Si	No	Si	No	No
Oficinas, baños y bodegas	CPI	Si	Si	No	Si	Si	No
Sala Mérida	CPI	No	No	No	No	No	No
Salas de exposición	CPI	No	No	No	Si	No	No

Fuente: elaboración propia.

Abreviaturas:

CPI: control por interruptor

Los resultados obtenidos de la cuantificación de luminarias dan como resultado un total de 400 luminarias conformadas por 196 lámparas aproximadamente y un porcentaje total de eficiencia del 30 % en todo el interior del edificio del Museo de Arte Moderno.

Tabla IX. **Resumen de la eficiencia lumínica total dentro del museo**

Luminarias	Total de Lámparas	Eficiencia Lumínica Total	Potencia (KW)
400	196	30 %	20,8

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de eficiencia se obtuvo a partir de la relación entre la potencia total instalada en iluminación por cada área del museo y la cantidad de luxes por metro cuadrado medidos dentro del lugar tomando en cuenta en todo momento el tipo de luminaria y el estado en el que se encontraba.

En la tabla anterior se observa que la eficiencia lumínica total dentro del museo es muy baja, confirmando con este dato la opinión de los trabajadores del lugar, los cuales manifiestan también su descontento sobre la escasa iluminación que hay en el lugar. Debido a esto, se hace un llamado a la mejora del sistema de iluminación en todo el edificio ya que los empleados están trabajando con niveles de luz que están por debajo de los recomendados por el Ministerio de Trabajo y esto puede afectar en su salud, y estado de ánimo así como su nivel de confort laboral.

El total de lámparas instaladas en las áreas de oficinas, biblioteca y archivo son de tipo fluorescente de 40 W cada una, en su mayoría con difusor de aluminio, instaladas a 2,50 m sobre el nivel del suelo con una temperatura de color cálida, ideal para el trabajo en oficina. Lo que afecta al bajo nivel de iluminación en cada oficina es la posición de estas lámparas así como el nivel de mantenimiento de las mismas. Es necesario instalar al menos una lámpara más por cada área y colocarla en la posición central de cada localidad con el fin de cubrir eficientemente el área de trabajo de cada trabajador.

Todas las luminarias instaladas tienen control de encendido y apagado por medio de interruptor a excepción de la sala Mérida, la cual tiene un sistema de detección de posición para la puesta en funcionamiento de las luminarias que están dentro de la misma.

Para el análisis de calidad e intensidad de iluminación en las áreas de trabajo del edificio del Museo de Arte Moderno, se tomó como referencia el Reglamento de salud y seguridad ocupacional (Acuerdo Gubernativo 33-2016) en el cual se hicieron las modificaciones necesarias al acuerdo gubernativo original que regía estos estándares (Acuerdo 229-2014). Acuerdos elaborados por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

A continuación se cita textualmente el Artículo núm. 17 referente a iluminación:

Los lugares de trabajo deben contar con iluminación adecuada para la seguridad y conservación de la salud de los trabajadores. Cuando la iluminación natural no sea factible o suficiente, se debe proveer de luz artificial en cualquiera de sus formas, siempre que ofrezca garantías de seguridad, no vicie la atmósfera del local y no ofrezca peligro de incendio. El número de fuentes de luz, su distribución e intensidad, deben estar en relación con la altura, superficie del local y trabajo que se realice como lo establece el artículo 168 de este reglamento. Los lugares que vulneren y pongan en riesgo al trabajador, deben estar especialmente iluminados. La iluminación natural, directa o refleja, no debe ser tan intensa que exponga a los trabajadores a sufrir accidentes o daños en su salud. (Acuerdo Gubernativo 33-2016, 2016).

Además, el artículo 67 presenta una tabla de valores y niveles mínimos de iluminación en oficinas, la cual se presenta a continuación.

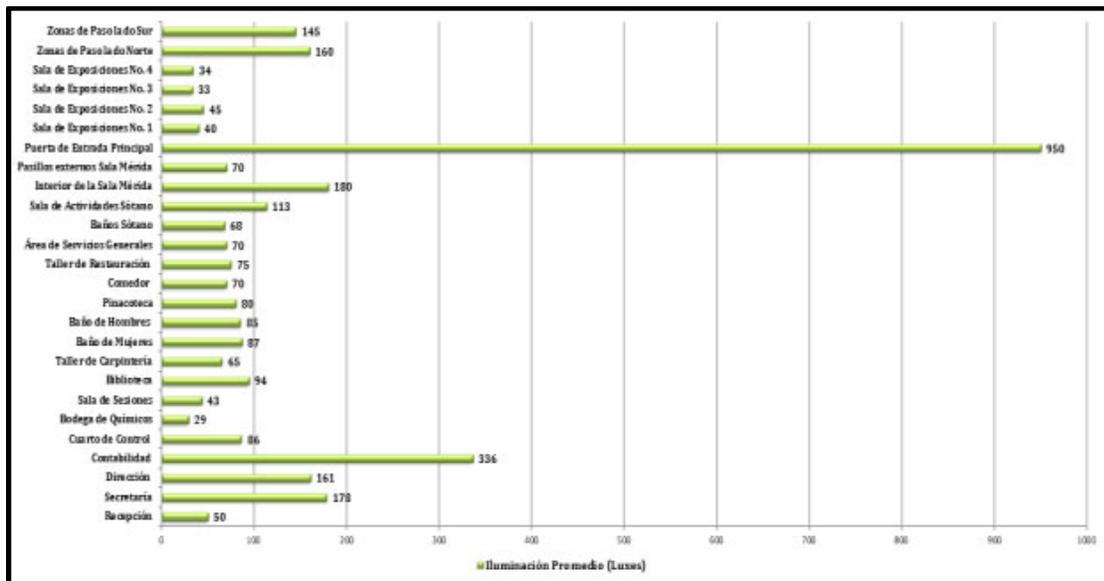
Tabla X. Niveles mínimos de iluminación

Oficinas		
Zona de Trabajo	Exigencia Visual	Nivel Mínimo de Luxes
Escalera y pasillos	Baja	100 – 150
Baños	Baja	100 – 150
Recepción y sala de reuniones	Media	200 – 500
Bodega de materiales	Media	200 – 500
Trabajo de oficinistas	Alta	500 – 1 000
Redacción	Alta	1 500 – 2 000
Archivo	Alta	1 500 – 2 000

Fuente: Acuerdo Gubernativo 33-2016, 2016, p 14.

Se llevó a cabo la medición de la intensidad lumínica en las distintas áreas del museo dando como resultado un valor promedio de luxes para cada área como se muestra en la siguiente figura.

Figura 7. Resultados de la medición de la intensidad lumínica



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica mostrada anteriormente se observa que más del 90 % de las áreas del Museo de Arte Moderno no cumplen con el requerimiento mínimo de iluminación indicado por el Acuerdo Gubernativo 33-2016. Únicamente se cuenta con un significativo aporte de iluminación natural en el área de entrada principal del museo por medio de grandes ventanales, puertas y corredores.

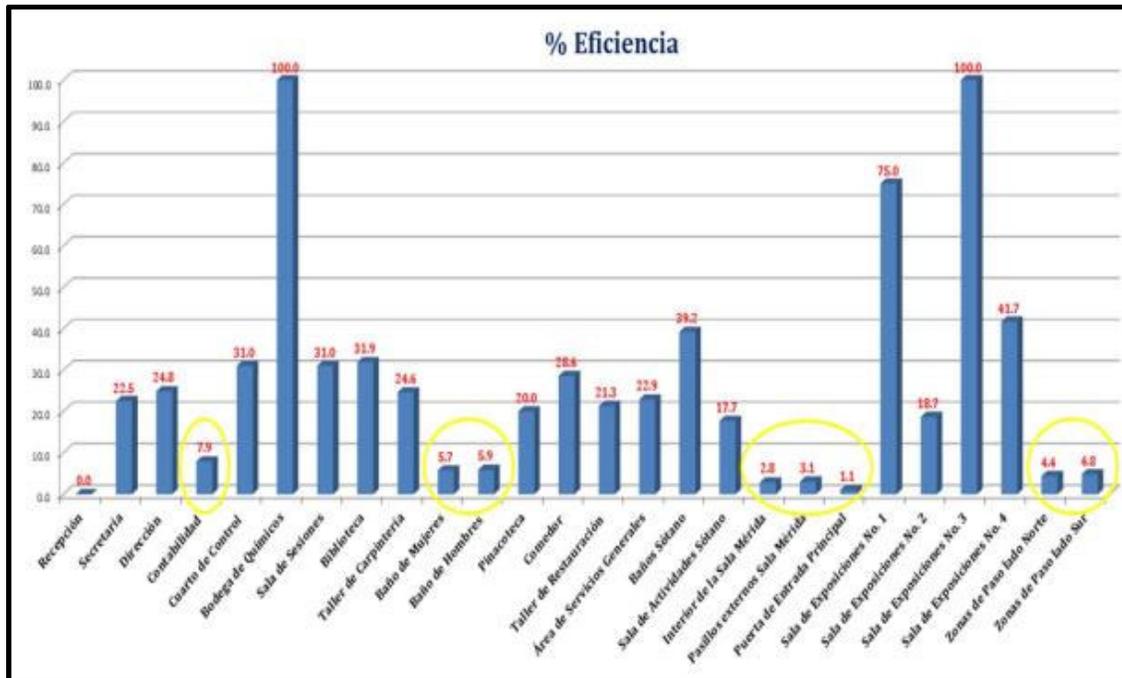
Las áreas más afectadas y con los niveles más críticos de iluminación (casi nulos) a las que se les debería dar importancia y atender las deficiencias ya que presentan un perjuicio a la salud son:

- Recepción, 50 Luxes
- Bodega de químicos, 29 Luxes
- Sala de sesiones, 43 Luxes
- Biblioteca, 94 Luxes
- Taller de carpintería, 65 Luxes
- Salas de exposición de obras, 40 Luxes
- Comedor, 70 Luxes
- Taller de restauración, 75 Luxes

Esta deficiencia en los niveles de iluminación por área es causada, en su mayoría, por la cantidad de luminarias quemadas o en mal estado así como la mala e incorrecta ubicación de las mismas, el mantenimiento del bulbo y el difusor, entre otros.

En la gráfica que se muestra a continuación se puede observar el porcentaje de eficiencia lumínica que hay en cada área del museo:

Figura 8. **Porcentaje de eficiencia lumínica en cada área del museo**



Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura 8, es evidente que hay ocho áreas del museo que presentan serios problemas en el sistema de iluminación, teniendo así niveles muy bajos de luz en cada área y obteniendo de esta manera una eficiencia casi nula en la iluminancia total del lugar. Estas áreas se han resaltado en la gráfica con el fin de que se muestren y reconozcan evidentemente ya que son sobre las cuáles hay que enfocar más las medidas de mejora del sistema lumínico.

Adicionalmente, es importante mencionar que en el Museo de Arte Moderno Carlos Mérida no se cuenta con un plan de limpieza y mantenimiento preventivo para el sistema de iluminación general de todo el edificio, recomendando entonces la planificación de un plan de este tipo con el fin de elevar los niveles de eficiencia de iluminación en el lugar, los cuales, en algunos

casos, se ven afectados por capas de polvo, basura o resto de cualquier otro material volátil del ambiente que se queda impregnado en la luminaria y provoca reducción de la cantidad original de cantidad de luz emitida por la lámpara.

4.2. Equipos

Continuando con el inventario del equipo, en los siguientes apartados, se detalla el total de equipos, el consumo eléctrico por cada uno, el tiempo promedio de operación de los mismos, el total de consumo eléctrico diario y el análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipo.

4.2.1. Total de equipos

Se realizó un levantamiento eléctrico en todo el museo mediante el cual se obtuvo el listado total de equipos que se encuentran actualmente funcionando en el museo así como la cantidad que hay en existencia de cada uno de ellos. Dicha información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Total de equipos que se encuentran actualmente funcionando**

Equipos eléctricos en el museo	
Equipo	Cantidad
Computadora de escritorio	4
Monitor LCD para PC de escritorio	4
Computadora portátil (laptop)	1
Impresoras	4
UPS	3
Máquina de escribir eléctrica	2
Televisor pantalla plana LCD	2

Continuación de la tabla XI.

Televisor CRT	1
Scanner	2
Sumadora eléctrica	1
Fotocopiadora industrial	1
Reproductor de DVD	1
Microondas	1
Estufa eléctrica	1
Dispensador de agua (oasis)	1
Regulador electrónico de voltaje	1
Equipo de vigilancia CCTV	1
Equipo de sonido	1
Recicladora de papel	1
Planta telefónica	1
Bomba de agua de 3/4 HP	1
Cargadores de celular	5
Otros equipos	2

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Consumo eléctrico por equipo

Con base en los manuales del fabricante de cada uno de los equipos y en los datos técnicos de las etiquetas de cada uno de ellos, se determinó el consumo individual que implica el funcionamiento de estos. A continuación se resumen dicha información a través de una tabla.

Tabla XII. Consumo eléctrico por equipo

Consumo eléctrico por equipo	
Equipo	Consumo individual (Wh)
Computadora de escritorio	70
Monitor LCD para PC de escritorio	75
Computadora portátil (laptop)	35
Impresoras	800
UPS	675
Máquina de escribir eléctrica	100
Televisor pantalla plana LCD	200
Televisor CRT	75
Scanner	150
Sumadora eléctrica	100
Fotocopiadora industrial	800
Reproductor de DVD	20
Microondas	1 300
Estufa eléctrica	1 100
Dispensador de agua (oasis)	400
Regulador electrónico de voltaje	250
Equipo de vigilancia CCTV	75
Equipo de sonido	100
Recicladora de papel	200
Planta telefónica	40
Bomba de agua de 3/4 HP	550
Cargadores de celular	0,2
Otros equipos	5

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Tiempo promedio de operación de cada equipo

Por medio de entrevistas y encuestas al personal que labora en el museo, se determinó un tiempo promedio de utilización de los aparatos eléctricos instalados en cada área del edificio, siendo los resultados recabados los que se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII. Tiempo promedio de operación de cada equipo

Equipo	Tiempo promedio de uso (horas)
Computadora de escritorio	5
Monitor LCD para PC de escritorio	5
Computadora portátil (laptop)	5
Impresoras	1
UPS	1
Máquina de escribir eléctrica	0,3
Televisor pantalla plana LCD	7
Televisor CRT	1
Scanner	0,2
Sumadora eléctrica	0,2
Fotocopiadora industrial	1
Reproductor de DVD	1
Microondas	0,2
Estufa eléctrica	0,5
Dispensador de agua (oasis)	12
Regulador electrónico de voltaje	12
Equipo de vigilancia CCTV	24
Equipo de sonido	1
Recicladora de papel	1
Planta telefónica	24
Bomba de agua de 3/4 HP	3
Cargadores de celular	3
Otros equipos	2

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Total de consumo eléctrico diario

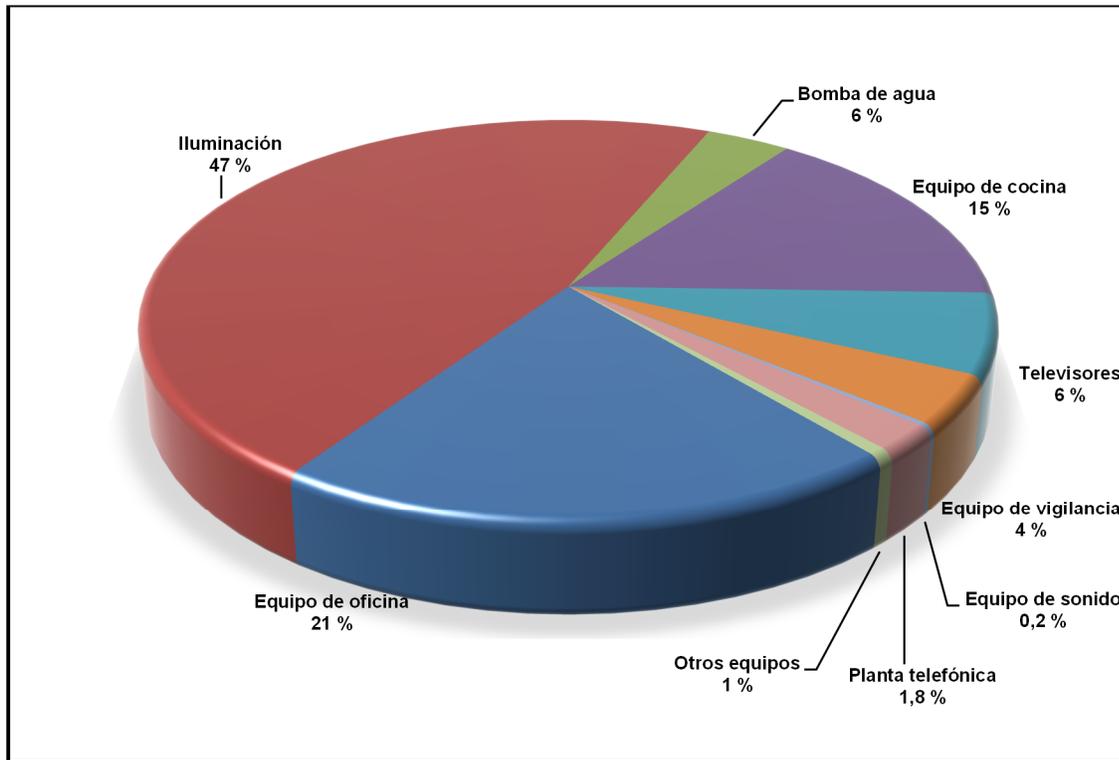
Con base en las tablas mostradas anteriormente en las que se especifica la potencia de cada uno de los equipos instalados en el museo y el tiempo de operación de cada uno de ellos se determinó que el consumo eléctrico diario debido a equipos eléctricos es de 25,5 KWh/día.

4.2.5. Análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipos

El mayor consumo energético en el museo corresponde al sistema de iluminación del edificio, el cual representa aproximadamente el 59 % de consumo eléctrico total en la instalación. El segundo indicador con un consumo eléctrico significativo para el museo es el equipo de computación, impresoras, fotocopiado y scanner representando aproximadamente un 19 % de la energía eléctrica total consumida; equipos necesarios para las distintas labores administrativas y de oficina del museo.

A continuación se muestra en la figura 9 la distribución de los consumos eléctricos correspondientes por cada tipo de aparato conectado en el museo.

Figura 9. **Distribución de consumos eléctricos**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Equipos térmicos

Para darle continuidad al tema de inventario de equipo, en los siguientes párrafos se muestra el inventario de equipos de refrigeración y aire acondicionado, detallando el consumo eléctrico por equipo, al final se muestra el análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipos térmicos del museo.

4.3.1. Inventario de equipos de refrigeración y aire acondicionado

Es importante resaltar que hasta la actualidad, el museo no cuenta con equipos de aire acondicionado en sus instalaciones y solamente posee una refrigeradora para resguardar y preservar térmicamente los alimentos de los trabajadores que ahí laboran.

Tabla XIV. **Características de la refrigeradora**

Marca	Modelo	Color	Clasificación energética	Tecnología
Whirlpool	MRFS-4500G585FW	Blanco	A	<i>No frost</i>

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Consumo eléctrico por equipo

La refrigeradora anteriormente mencionada presenta un consumo eléctrico mensual de 35,8 KWh/mes; lo cual implica en la empresa un consumo pequeño en comparación con el resto de aparatos eléctricos conectados a la instalación.

4.3.3. Análisis de los resultados de consumo eléctrico por equipos térmicos

Debido a que el edificio del Museo de Arte Moderno carece de equipos de aire acondicionado presenta un consumo eléctrico debido a cargas térmicas bastante bajo. Esto contribuye a que se mantenga relativamente bajo el costo del servicio de energía eléctrica que paga mes a mes esta institución, sin embargo, es posible lograr aún más ahorro cambiando la tecnología de la

refrigeradora con la que se cuenta a una de clasificación A++ e implementando planes de mantenimiento a la misma para que esta funcione de manera óptima sin representar costos elevados para la institución.

5. HÁBITOS DE CONSUMO

Para obtener la información relacionada a los hábitos de consumo de los trabajadores del Museo de Arte Moderno se realizó una encuesta escrita por medio de la cual se muestra un panorama más amplio del uso que estos hacen de los recursos e instalaciones con las que cuentan dentro del edificio y permite determinar aquellos hábitos de mayor impacto en el consumo de recursos hídricos y eléctricos dentro del lugar así como los efectos en la economía de la institución.

En la tabla XV se muestra el modelo de encuesta utilizada para determinar los hábitos de consumo de las personas que trabajan dentro del museo:

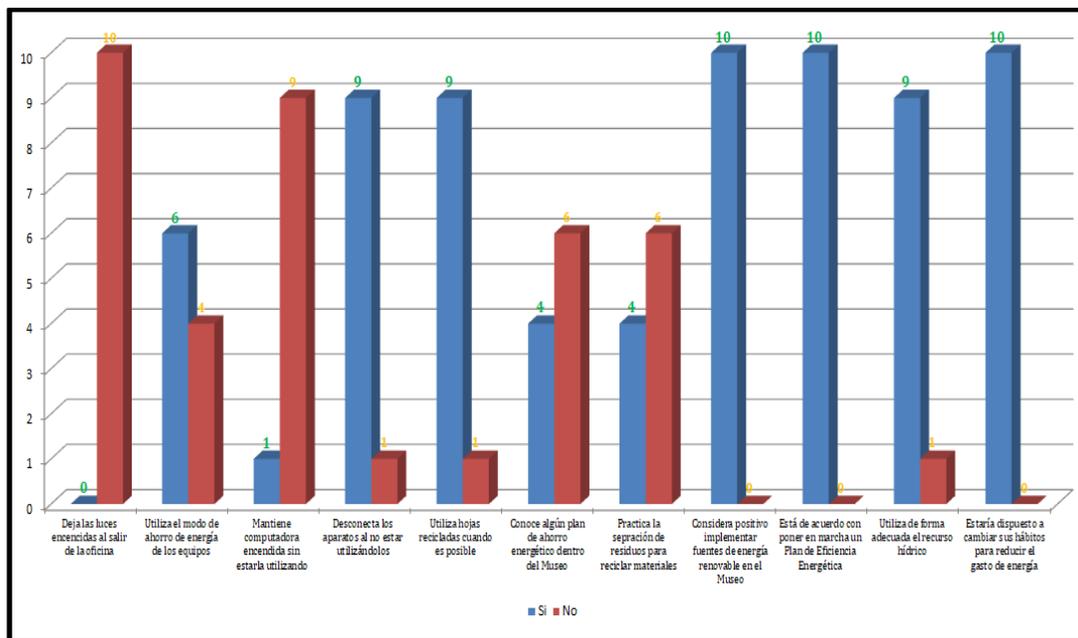
Tabla XV. Encuesta para determinar los hábitos de consumo

No.	PREGUNTA	RESPUESTA			
		Sí	No	No Aplica	Observaciones o Comentarios
1	¿Cuál es su horario de trabajo?				
2	¿Acostumbra a dejar las luces encendidas cuando abandona una sala u oficina?				
3	¿Utiliza el modo de ahorro de energía de los equipos de computación que utiliza? (Monitor, impresoras, laptop, etc.)				
4	¿Mantiene la computadora encendida durante largos períodos de tiempo sin estarla utilizando?				
5	¿Cuánto tiempo aproximadamente pasa la computadora encendida sin que usted la utilice?				
6	¿Le basta la ventilación que ingresa a través de puertas y ventanas a su lugar de trabajo?				
7	¿Desconecta los aparatos electrónicos y cargadores de celular cuando termina de utilizarlos o al finalizar su jornada laboral?				
8	¿Imprime a doble cara y en blanco y negro cuando es necesario?				
9	¿Utiliza hojas recicladas cuando es necesario?				
10	¿Conoce usted algún plan de ahorro energético implementado en su lugar de trabajo? ¿Cuál?				
11	¿Practica usted la cultura de separar residuos para poder reciclarlos? (Papel, baterías, plásticos, orgánicos, etc.)				
12	¿Considera usted positivo que el museo decida implementar fuentes de energía renovable para suministrar energía a su lugar de trabajo?				
13	¿Le parece bien que el museo ponga en marcha un plan de Eficiencia Energética en su lugar de trabajo y desarrolle campañas informativas para los empleados informando la importancia del mismo?				
14	¿Considera usted que utiliza razonablemente el recurso hídrico dentro del museo?				
15	¿Estaría usted dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir el gasto de energía en su lugar de trabajo?				

Fuente: elaboración propia.

Para un total de 10 trabajadores entrevistados dentro del museo, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura.

Figura 10. Resultados de la encuesta



Fuente: elaboración propia.

Los resultados mostrados anteriormente demuestran que en general sí existen buenos hábitos de consumo dentro del Museo de Arte Moderno. A partir de la gráfica anterior, se pueden enlistar las siguientes conclusiones:

- La mayoría de empleados del museo sí tienen buenos hábitos de consumo de recursos dentro del edificio.
- Un porcentaje mayoritario de empleados desconoce las medidas ahorradoras de energía implementadas en la actualidad en el museo.
- La mayor parte de empleados del museo no realiza actividades de

reciclaje dentro del lugar.

- Todos los empleados coinciden en estar totalmente de acuerdo y apoyan la iniciativa de implementar fuentes de energía renovable para suministro eléctrico del lugar.
- Todos los empleados apoyan la iniciativa de ejecutar planes de eficiencia energética dentro del museo así como la realización de campañas informativas respecto al impacto del ahorro energético tanto en la economía de la institución así como también para el medio ambiente.
- El 100 % de los empleados está de acuerdo en mejorar sus hábitos de consumo para reducir el gasto de energía dentro del museo.

6. ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A continuación se detalla la distribución de circuitos del tablero principal del museo en el cual fueron medidos y analizados distintos parámetros eléctricos con el fin de hacer un estudio de la calidad de la red eléctrica dentro del lugar. Los interruptores están distribuidos de la siguiente manera:

Tabla XVI. **Tablero principal del museo**

Flipón núm.	Carga Conectada	Capacidad Nominal (A)
1	Tomacorrientes, área de subasta y recepción	20
2	Tomacorrientes, oficina general	20
3	Bomba de agua	15
4	Lámparas de oficinas	20
5	Bomba de agua	15
6	Fuera de servicio, antigua lámpara principal	20
7	Tomacorrientes, área de baños	20
8	Tomacorrientes, área del cocodrilo	20
9	Tomacorrientes, área sur	20
10	Tomacorrientes, área norte	20
11	Lámpara, área de bodegas de trabajo	20
12	Tomacorrientes del sótano	20
13	Sala Mérida	20
14	Lámpara del sótano	20
15	Sala Mérida	20
16	Rieles de la sala Mérida	20
17	Lámpara de la oficina de contabilidad	20
18	Lámpara del área de los baños	20
19	Lámpara de colgar - alógenas	20

Continuación de tabla XVI.

20	Lámpara de colgar	20
21	Reflectores tipo spot exterior del museo	30
22	Faroles de afuera	20
23	Reflectores tipo spot exterior del museo	30
24	Faroles del área del cocodrilo	20
25	Faroles del área de oficinas	20
26	Faroles del área de subastas	20
27	Lámpara de recepción	30
28	Luces tabique, área de subastas	20
29	Segundo tabique, sala 3	20
30	Cedularios	20
31	Primer tabique, sala 3	20
32	Tercer tabique, sala 3	20
33	Cuarto tabique, sala 1	20
34	Tabique frontal, sala 3	20
35	Segundo tabique, sala 1	20
36	Tercer tabique, sala 1	20
37	Primer tabique, sala 1	20
38	Tabique frontal, sala 1	20
39	Rieles del área del cocodrilo	20
40	Rieles del área sur	20
41	Rieles del área norte (rieles de la escultura)	20
42	Rieles del área del baño	20

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran las mediciones tomadas en el tablero de distribución del museo, las cuales fueron obtenidas y analizadas gracias al equipo analizador de redes, de marca FLUKE, línea FLUKE 430-II.

La toma de datos a través del analizador de redes se llevó a cabo en las fechas comprendidas del 20 al 27 de marzo de 2018 con el fin de completar 7

días de medición o el equivalente a 168 horas ininterrumpidas con el propósito de analizar el estado de la red del museo en tiempo real, y así, registrar en la memoria del equipo, el instante exacto de la ocurrencia de cualquier tipo de desbalance, perturbación o efecto de bajo voltaje o sobretensión ocurrida en la instalación.

En los siguientes apartados se muestran y explican los resultados más relevantes hallados en la red eléctrica del museo, los cuales definitivamente participan de forma directa en la predicción y diagnóstico del estado de la instalación así como de su balance de cargas y posibles pérdidas existentes.

6.1. Análisis de voltajes

- Voltaje línea 1 – tierra

En la tabla que se muestra a continuación se puede observar que el voltaje de la línea 1 respecto a tierra se mantuvo dentro de un valor promedio de 118,66 V, alcanzando un valor máximo de 121,33 V y llegando hasta un valor mínimo de 115,43 V.

Tabla XVII. Voltaje línea 1-tierra

Vrms fase-tierra L1GND			
Fecha	Hora	<u>Voltios</u>	Característica
		118,66	Promedio
22/03/2018	1:29:13	121,33	Máximo
22/03/2018	11:00:13 11:01:13	115,43	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

Tanto el valor promedio como el mínimo son demasiado bajos respecto al valor de tensión nominal de la red, el cual es 120 V, atribuyéndose a estos bajos voltajes a la inexistencia del conductor neutro en la instalación, condición que provoca que las tensiones no permanezcan constantes sino que varíen respecto al desbalance de la carga conectada ya que se pierde la referencia dada por el neutro hacia la tierra física.

Se estima que la regulación de voltaje entre la línea 1 y el conductor de tierra oscile entre los +/- 4,5 V respecto a su valor nominal de 120 V.

- Voltaje línea 2 – tierra

Ahora se puede visualizar que el voltaje de la línea 2 respecto a tierra se mantuvo dentro de un valor promedio de 118,18 V, alcanzando un valor máximo de 121,13 V y llegando hasta un valor mínimo de 115,31 V.

Tabla XVIII. **Voltaje línea 2 – tierra**

V_{rms} fase-tierra L2GND			
Fecha	Hora	<u>Voltios</u>	Característica
		118,18	Promedio
22/03/2018	5:57:13	121,13	Máximo
22/03/2018	11:09:13	115,31	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

Tanto el valor promedio como el mínimo son demasiado bajos respecto al valor de tensión nominal de la red, el cual es 120V, atribuyéndose también a estos bajos voltajes la ausencia del conductor neutro, lo cual provoca los

efectos explicados anteriormente en cada una de las fases del tablero distribución del edificio.

Se estima que la regulación de voltaje entre la línea 2 y el conductor de tierra oscile entre los +/- 4,7V respecto a su valor nominal de 120V.

- Voltaje línea 1 – línea 2

El voltaje entre ambas fases se mantuvo dentro de un valor promedio de 209,91 V, alcanzando un valor máximo de 212,68 V y llegando hasta un valor mínimo de 207,57 V.

Tabla XIX. **Voltaje línea 1 – línea 2**

Vrms fase-fase L12			
Fecha	Hora	<u>Voltios</u>	Característica
		209,91	Promedio
22/03/2018	16:30:13	212,68	Máximo
22/03/2018	17:51:13	207,57	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

Considerando que el valor nominal para la tensión entre fase y fase para este tipo de conexión es de 208 V, se estima que su fluctuación oscila en un rango de +/- 4 V. Se concluye entonces que las cargas que se encuentran conectadas entre estas dos fases generan un menor consumo en comparación con las cargas conectadas en las otras fases.

6.2. Análisis de corrientes

- Corriente línea 1

Durante el período de tiempo que se realizaron las mediciones en la instalación eléctrica del museo, la corriente que circula en la línea 1 mantuvo un valor promedio de 9,97 A; un valor máximo de 64,3 A registrado a las 12:09:13 y 12:10:13, siendo este último dato considerado como la referencia para la hora de máxima demanda de corriente en esta línea de alimentación; el valor mínimo que se registró fue de 0,4 A y se mantuvo estable desde las 00:00:13 hasta las 05:49:13, concluyendo entonces que este período de tiempo es el de menor consumo puesto que no se encuentra personal laborando dentro de las instalaciones y el cuidador del edificio no hace un uso significativo de energía eléctrica en ese horario ya que se asume que se encuentra durmiendo.

Tabla XX. Análisis de corriente línea 1

Corriente L1			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
		9,97	Promedio
22/03/2018	12:09:13 12:10:13	64,3	Máximo
22/03/2018 hasta	00:00:13 05:49:13	0,4	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos, se determina que esta línea es la que tiene menor demanda de corriente en el horario nocturno y que, en hora pico, se encuentra más sobrecargada que la otra fase.

- Corriente línea 2

Durante el período de tiempo que se realizaron las mediciones en la instalación eléctrica del museo, la corriente que circula en la línea 2 mantuvo un valor promedio de 10,62 A; un valor máximo de 33,4 A registrado a las 12:01:13, siendo este último dato considerado como la referencia para la hora de máxima demanda de corriente en esta línea de alimentación; el valor mínimo que se registró fue de 1,7 A y se mantuvo estable desde las 17:16:13 hasta las 17:40:13.

Tabla XXI. **Análisis de corriente línea 2**

Corriente L2			
Fecha	Hora	Amperios	Característica
		10,62	Promedio
22/03/2018	12:01:13	33,4	Máximo
22/03/2018	17:16:13	1,7	Mínimo
hasta	17:40:13		

Fuente: elaboración propia.

Se concluye entonces que este último período de tiempo es el de menor consumo puesto que es el horario en el cual todos los empleados del edificio abandonan las instalaciones y dejan todos sus aparatos desconectados o apagados no habiendo ya más personal dentro del edificio hasta que el cuidador utiliza aparatos de cocina para preparar su cena, televisión o radio como distracción y posteriormente cuando ya se retira a descansar.

6.3. Análisis de potencia activa total consumida

Considerando los valores de voltajes y corrientes medidos por medio del analizador de redes, se midió la potencia activa total que se consume en las instalaciones del Museo de Arte Moderno, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla XXII. Análisis de potencia activa total consumida

Potencia Activa Total			
Fecha	Hora	Watts	Característica
		2 291	Promedio
22/03/2018	12:07:13	10 650	Máximo
22/03/2018	21:43:13 23:49:13	180	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

El valor promedio de la potencia total activa del sistema es de 2 291 Watts; Se presentó un valor máximo de 10 650 Watts a las 12:07:13, horario que se considera como la hora de máxima demanda de potencia activa dentro de las instalaciones; se registró un valor mínimo de 180 Watts entre las 21:43:13 y las 23:49:13, manteniendo constante su valor entre ambos horarios, siendo lógico el resultado ya que se evidencia la demanda mínima de potencia activa fuera del horario laboral del Museo de Arte Moderno.

6.4. Análisis del factor de potencia

Durante el proceso de medición y adquisición de datos a través del analizador de redes, el factor de potencia del sistema mantuvo un valor promedio de 0,87; presentó un valor máximo de 0,99 y se mantuvo estable

desde las 10:52:13 hasta las 11:09:13, concluyendo que, estando este horario dentro de la franja laboral del Museo de Arte Moderno, las cargas alimentadas dentro de este período de tiempo contribuyen directamente a mantener el factor de potencia dentro del rango permitido por la Distribuidora que suministra la energía eléctrica al lugar.

Tabla XXIII. **Análisis del factor de potencia**

Factor de Potencia			
Fecha	Hora	Adimensional	Característica
		0,87	Promedio
22/03/2018 hasta	10:52:13 11:09:13	0,99	Máximo
22/03/2018 hasta	22:45:13 22:54:13	0,67	Mínimo

Fuente: elaboración propia.

El valor mínimo del factor de potencia que se registró fue de 0,67, manteniéndose en este valor desde las 22:45:13 hasta las 22:54:13, siendo de suma importancia determinar una medida de corrección de este factor mediante algún tipo de compensación reactiva durante este horario con el fin de llevar este valor al rango autorizado por la Distribuidora que suministra la energía eléctrica al lugar.

El valor permitido del Factor de Potencia en una instalación eléctrica, está regido por la Norma Técnica del Servicio de Distribución –NTSD– del Compendio de Normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE en Guatemala, la cual enuncia lo siguiente en su Capítulo III, Artículo 49:

Artículo 49. Valor Mínimo para el Factor de Potencia. El valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo a la potencia del usuario de la siguiente forma:

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

Todo lo relativo a la Indemnización por bajo Factor de Potencia, será incluido en el contrato entre el Distribuidor y el Usuario, considerando lo estipulado en los Pliegos Tarifarios fijados por la Comisión.

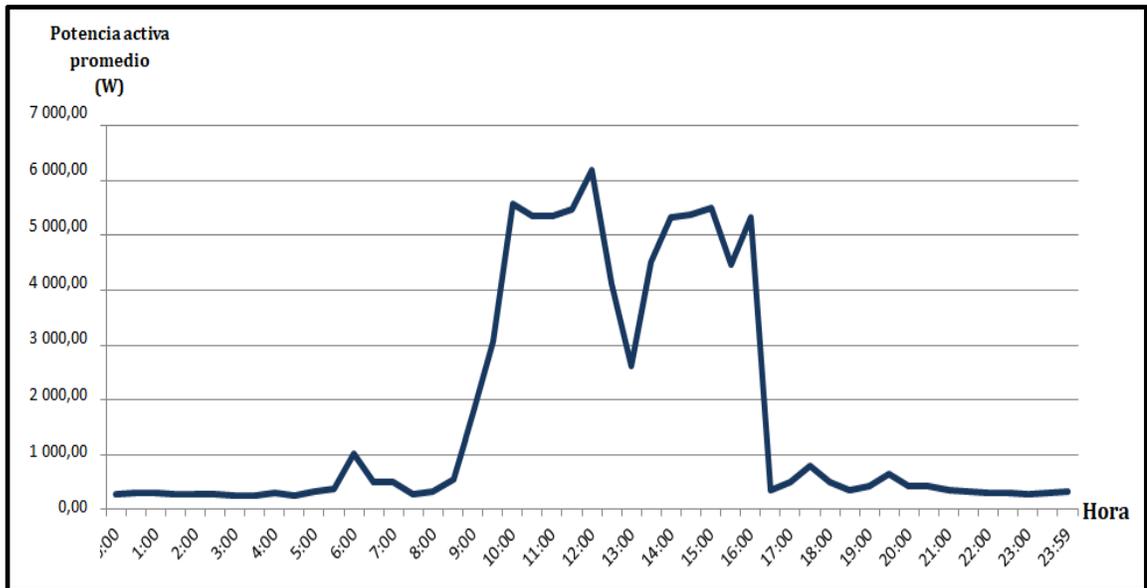
6.5. Curva de carga diaria del museo

La curva de carga diaria es una representación gráfica que permite determinar por medio de ella los momentos del día en los cuales se consume más energía en la instalación debido a la potencia eléctrica conectada que se encuentra siendo utilizada en dichos instantes.

Esta curva horaria representa el perfil de consumo del usuario, en este caso, del Museo de Arte Moderno.

La figura 11 fue generada a partir de los datos de potencia activa registrados minuto a minuto a lo largo de los siete días de medición en los cuales se dejó conectado el equipo analizador de redes a la instalación. La gráfica es entonces, el promedio de las siete curvas diarias registradas durante el período de medición y obtención de datos en el museo.

Figura 11. Curva de carga promedio



Fuente: elaboración propia.

Se observa que el horario de mayor consumo de energía es justamente en la franja horaria de labores del museo, incrementándose a partir de las 09:00hrs y bajando su utilización luego de las 16:00hrs, cuando los empleados se retiran del lugar. Se observa también que en el período de almuerzo se presenta un descenso en el consumo de energía eléctrica de la instalación pues los empleados salen a comer y dejan apagados la mayor parte de los equipos eléctricos utilizados para sus labores diarias así como las luminarias que no utilizarán durante ese lapso de tiempo.

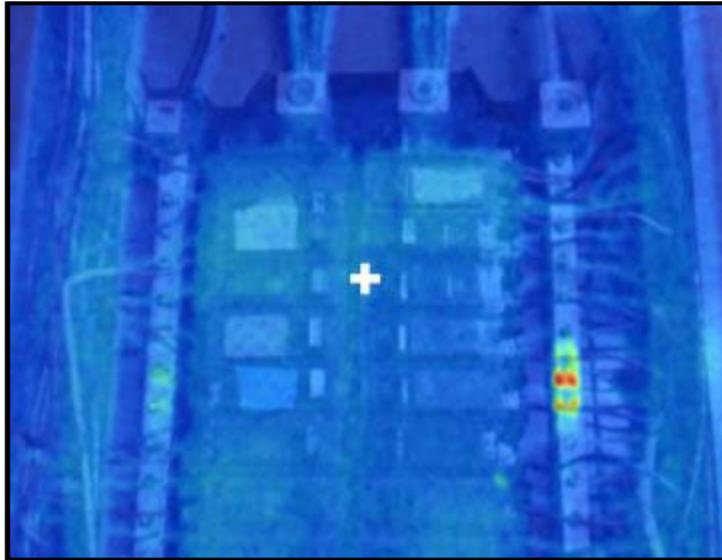
6.6. Análisis termográfico de la instalación eléctrica

El análisis termográfico de las instalaciones eléctricas se realiza con el fin de detectar anomalías que usualmente no se pueden percibir a simple vista. Esto se lleva a cabo capturando imágenes digitales y térmicas, detectando sobrecalentamiento por contactos flojos, superficies de contacto sucias o no uniformes, soldaduras agrietadas y desbalance generalmente, determinando con la ayuda de la cámara termográfica la severidad del problema.

Un edificio cuenta con cientos de conexiones eléctricas así como componentes que deben ser inspeccionados periódicamente como plan de mantenimiento de la instalación. Algunos de estos elementos podrían ser contactos, interruptores, conductores, barras, entre otros. Inspeccionar cada uno de estos elementos es casi imposible debido al tiempo necesario y la dificultad de acceso a cada uno de ellos, por lo cual, para detectar una falla eléctrica en temprana etapa es que se hace uso de la cámara termográfica, la cual a través de su resonancia, sensibilidad térmica y otras características permite visualizar puntos calientes y zonas de mayor radiación calorífica en cada área de la instalación.

Conociendo ya la importancia sobre el análisis termográfico para el mantenimiento predictivo de una instalación eléctrica, se presenta y explica a continuación el análisis termográfico realizado a las instalaciones eléctricas del Museo de Arte Moderno Carlos Mérida.

Figura 12. **Puntos calientes en la barra neutra del tablero de distribución del museo**



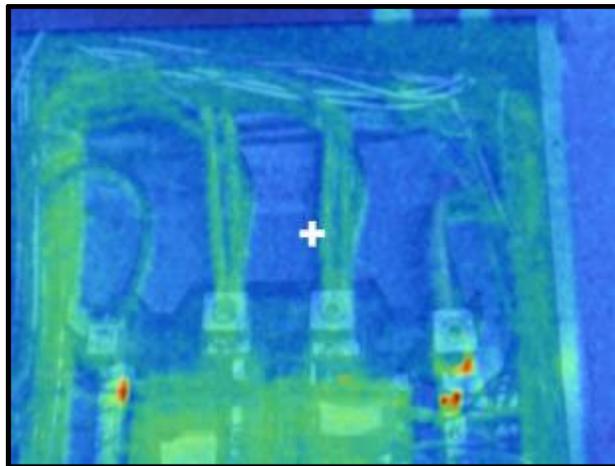
Fuente: elaboración propia.

En esta imagen se logran apreciar dos puntos con mayor temperatura, estando estos localizados en la barra neutra del lado derecho, la cual se encuentra conectada directamente a tierra física y a ella llegan todos los conductores de retorno de corriente de cada circuito. El motivo de este exceso de temperatura en ése punto puede ser atribuido a que en esos puntos, la conexión se encontró poco ajustada, corroída y sucia, provocando este conjunto de hallazgos el punto caliente en esa área del tablero principal.

Al igual que en el caso anterior, tomando la captura termográfica desde otro ángulo del tablero, se logran apreciar tres puntos más en los cuales hay una temperatura mayor a la del resto del tablero, siendo siempre estos puntos en la barra neutra y conexión de tierra física.

Al verificar el estado de cada uno de estos puntos, se hallaron en las mismas condiciones que el punto mostrado en la imagen anterior, teniendo así un nivel de suciedad significativo así como la presencia de corrosión en el borne de metal de cada uno de esos tres puntos.

Figura 13. **Captura termográfica desde otro ángulo del tablero**



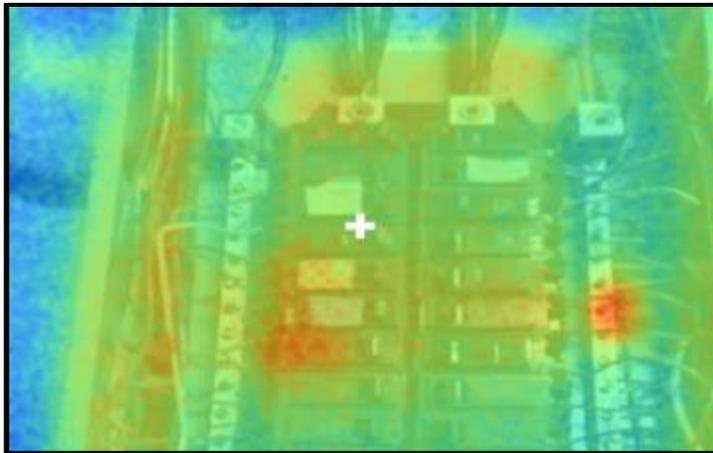
Fuente: elaboración propia.

En la imagen siguiente, se logran visualizar áreas con mayor intensidad de espectro, en la cual ahora ya aparecen más notorias las regiones de los interruptores termomagnéticos número 3, 4, 5 y 7, los cuales corresponden a los circuitos de la bomba de suministro de agua (flipones 3 y 5) y a los circuitos de fuerza del área de bodegas y talleres (flipones 4, 6 y 7).

El incremento de temperatura de estas regiones puede atribuirse a que en determinados instantes, estos interruptores se encuentren sobrecargados o existan lapsos de tiempo en los cuales haya una circulación de corriente excesiva por cada uno de ellos, llevando así toda la carga máxima del circuito que alimentan. Así también, podría atribuirse a que los elementos involucrados

ya no cumplan con las especificaciones técnicas mínimas requeridas para el circuito que alimentan ya que podrían no estar preparados para instantes de tiempo de gran consumo y haya incrementos de corriente en los conductores, generando así la manifestación de incremento calorífico en las áreas mostradas a continuación.

Figura 14. **Áreas con mayor temperatura en el tablero de distribución**

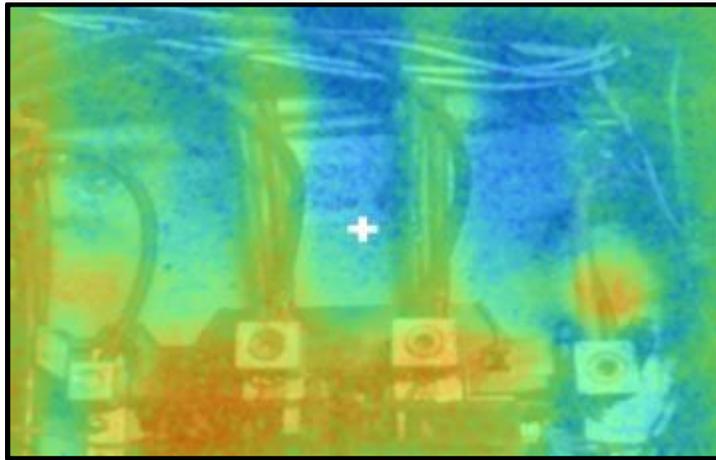


Fuente: elaboración propia.

En los alimentadores, tanto en las fases como en el conductor de tierra, también logra percibirse cierto grado de incremento de temperatura respecto al resto del tablero, específicamente en los bornes de entrada al tablero de distribución y en la parte final de cada uno de estos conductores. En este caso, el aislamiento de los cables pierde sus propiedades aislantes a partir de cierta temperatura, lo cual podría ser la causa de las zonas con mayor intensidad calorífica de la siguiente imagen.

Es importante la verificación del forro de cada uno de ellos y del estado del mismo ya que, a mayor temperatura de sobrecarga, aumenta el riesgo de incendio de la instalación.

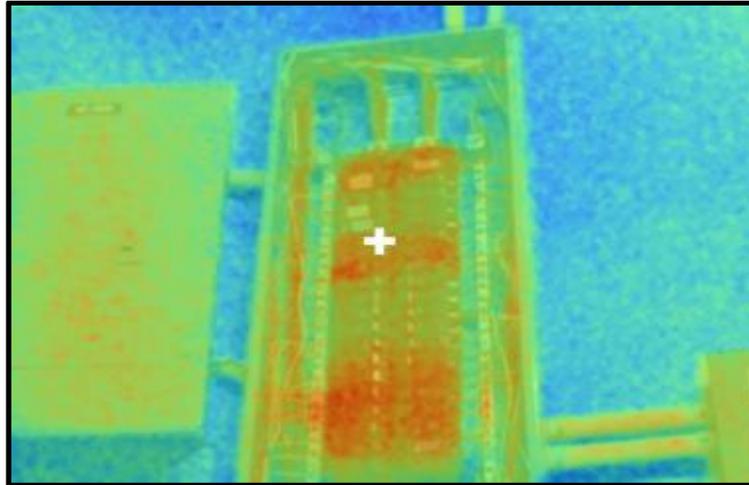
Figura 15. **Alimentadores del interruptor principal**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se presenta una imagen general de la captura termográfica del tablero de distribución, tomada desde un ángulo frontal, en la cual se visualizan las zonas con mayor temperatura que las demás partes de dicho tablero, mencionando que esta imagen podría llevar a identificar posibles elementos defectuosos que, basado principalmente en su elevación anormal de temperatura y en áreas con corrosión, suciedad y falta de contacto, provoquen en sí mismas un aumento de la resistencia óhmica de cada una de ellas, llevando al riesgo de que, ante un incremento en la carga circulante, las pérdidas por efecto Joule son mayores y esto podría conducir a un envejecimiento y deterioro total más acelerado de lo esperado para el componente.

Figura 16. **Captura termográfica del tablero de distribución completo**



Fuente: elaboración propia.

A partir del análisis presentado anteriormente, se pueden hacer las siguientes recomendaciones para el uso y cuidado de la instalación eléctrica del museo, las cuales son:

- Limpiar cada uno de los contactos de la barra neutra con el fin de eliminar la corrosión que hay en cada uno de ellos. De no ser posible eliminarla, cambiar la barra completa por una nueva.
- Asegurar bien y apretar cada contacto que llega a la barra neutra con el fin de eliminar todo falso contacto que posiblemente exista en los conductores de retorno de corriente que finalizan en esta barra conectada a tierra.
- Cambiar y renovar los conductores de alimentación principal para que estos posean nuevamente todas las propiedades originales del aislamiento que los recubre para así evitar acumulación de temperatura en estas áreas.

- Realizar un redimensionamiento de los interruptores termomagnéticos expuestos a un mayor incremento de carga, con el fin de prolongar su vida útil y mantener en buen estado la instalación.
- La supervisión y control de las diferentes instalaciones eléctricas utilizando la inspección termográfica es muy importante para conocer claramente las características del sistema y el entorno de los equipos hacia los cuales iba dirigido.
- El procedimiento de análisis termográfico que se llevó a cabo en los tableros principales del edificio, también puede ser extendido al análisis e inspección de futuros equipos o elementos con mayor carga (bombas, motores, aires acondicionados), de forma de proporcionar la información específica respecto a la calidad de la instalación de cada uno de ellos.
- Para una medición con mayor precisión, es necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales y climáticas que existen en el instante de la toma de imágenes de la instalación con el fin de obtener la temperatura del entorno y establecerla como un valor de referencia para hallar la temperatura de cada componente eléctrico a través de la cámara termográfica.
- Se recomienda que, en la medida que sea posible, se hagan estudios termográficos periódicamente como parte de un plan de mantenimiento que garantice la calidad de la instalación y la seguridad de la misma así como de las personas que laboran dentro del edificio con el fin de evitar cualquier tipo de accidente futuro.

6.7. Análisis de armónicos

Uno de los problemas más comunes que afectan a la calidad de la energía en sistemas eléctricos de baja tensión es la deformación de la onda, producida en gran medida por un fenómeno denominado distorsión armónica, problema que afecta tanto a las redes eléctricas de distribución como a los usuarios finales.

6.7.1. Origen

Los sistemas eléctricos cuentan actualmente con una gran cantidad de elementos llamados cargas no lineales, los cuales generan a partir de formas de onda sinusoidales a la frecuencia de la red, otras ondas de diferentes frecuencias ocasionando el fenómeno conocido como generación de armónicos.

Los armónicos son componentes de la frecuencia fundamental de la red, los cuales, al hacerse presentes en los flujos de electricidad de la instalación, deforman la señal de intensidad o tensión, perturbando la distribución eléctrica de potencia y disminuyendo la calidad de la energía.

6.7.2. Causas

Los equipos generadores de armónicos están presentes en todas las instalaciones industriales, comerciales y residenciales. Los armónicos son provocados por las cargas no lineales.

Carga no lineal: una carga es considerada no lineal cuando la intensidad que circula por ella no tiene la misma forma sinusoidal que la tensión que la alimenta.

Algunos de los equipos que provocan la existencia de armónicos en la red eléctrica de una instalación son:

- Equipos industriales (máquina de soldar, hornos de inducción, rectificadores, entre otros.)
- Variadores de velocidad para motores de corriente directa y asíncronos
- Motores
- Equipos de aire acondicionado
- Entre otros

6.7.3. Factor de distorsión armónica total (THD)

La distorsión armónica se produce cuando la señal de salida de un sistema no equivale a la señal que entró en él. Esta falta de linealidad afecta a la forma de la onda, porque cierto equipo ha introducido armónicos que no estaban en la señal de entrada. Puesto que son armónicos, es decir, múltiplos de la señal de entrada, esta distorsión no es tan disonante y es más difícil de detectar.

En relación a la distorsión armónica, normalmente se hace referencia a la llamada distorsión armónica total, que es precisamente, la cantidad de armónicos que el equipo introduce y que no estaban en la señal original.

La distorsión armónica total nunca debe estar por encima del 1 %. De estarlo, en lugar de enriquecer la señal, la distorsión empieza a desvirtuarla y la intensidad resultante empieza a dejar de parecerse al original, generando efectos negativos en la instalación.

El factor de distorsión armónica total (THD) tanto para la tensión como para la corriente del sistema se define por las siguientes ecuaciones:

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum V_i^2}}{V_1} * 100$$

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum I_i^2}}{I_1} * 100$$

Dónde:

Los valores del factor THD se pueden encontrar comprendidos entre los siguientes rangos, los cuales representan un nivel de impacto a la red como se muestra a continuación:

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

V_1 = es la componente de tensión de la frecuencia fundamental (60 Hz)

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

I_1 = es la componente de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz)

Los valores del factor THD se pueden encontrar comprendidos entre los siguientes rangos, los cuales representan un nivel de impacto a la red como se muestra a continuación.

Tabla XXIV. **Rango de valores del factor THD y sus efectos**

THD entre 1 % y 6 %	THD > 6 %
<p>Es aceptable. Son valores normales para este factor en cualquier tipo de instalación que no contiene equipos industriales. No presenta mayor impacto en la red. Las pérdidas son mínimas.</p> <p>Estos valores de distorsión se presentan regularmente en instalaciones que carecen de cargas no lineales y que en su mayoría, su energía se consume en cargas resistivas dentro del lugar. Prácticamente no se corre el riesgo de mal funcionamiento de los equipos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Provoca sobrecalentamiento en los conductores. ▪ Disparos inesperados en los breaker's del tablero de distribución. ▪ Bajo factor de potencia. ▪ Pérdidas de energía en grandes cantidades por calentamiento en los conductores (Pérdidas por efecto Joule) ▪ Mal funcionamiento de los equipos a causa de la señal de entrada deformada.

Fuente: elaboración propia.

6.7.4. Importancia de detectar armónicos en la red

El flujo de armónicos en una instalación reduce la calidad de la energía y origina numerosos problemas como: sobrecarga de la red por el incremento de la corriente eficaz, deformación de la tensión de alimentación pudiendo perturbar a los receptores sensibles, desgaste de los conductores, reducción de la vida útil del forro de los conductores y de los equipos afectados por la señal distorsionada, entre otros.

Todas estas consecuencias tienen un impacto bastante significativo en el presupuesto económico del lugar, ya que, reduciendo la cantidad de estas perturbaciones en la instalación, se logran pérdidas de energía menores y a su vez, un ahorro económico en el pago de este servicio ya que se reducen esos pagos por energía adicional que no se está utilizando, más bien, que se está perdiendo en la red.

6.7.5. Resultados encontrados

Según los datos obtenidos por medio del analizador de redes FLUKE 430-II en la instalación eléctrica del Museo de Arte Moderno durante la semana de medición, se registró un valor promedio de distorsión armónica total (THD) tanto para el voltaje como para la corriente, tal y como se muestra a continuación:

Tabla XXV. **Valor del factor de distorsión armónica en la red eléctrica del museo**

<i>THD_v</i>	<i>THD_i</i>
1,5 %	1,3 %

Fuente: elaboración propia.

6.7.6. Análisis de los armónicos en el museo

Tal y como se observa en la tabla mostrada anteriormente, el valor del factor de distorsión armónica total en la instalación eléctrica del museo, tanto para voltaje como para la corriente está dentro del rango admisible para una red eléctrica.

El motivo por el cual este edificio no presenta problemas de armónicos en su instalación es porque carece de cargas eléctricas inductivas y de cargas no lineales en su instalación. En su mayoría, la carga del museo es puramente resistiva ya que predomina el uso de luminarias en el lugar y equipos electrónicos en el lugar.

Debido a que el porcentaje de distorsión armónica en la red es pequeño, es evidente que las pérdidas de energía eléctrica que se dan dentro de la instalación del museo son, en su mayoría, causadas por los malos hábitos del uso racional de este recurso y no debido a problemas en los flujos de corriente a través de la red; contribuye también a dichas pérdidas, el estado físico en el que se encuentran los conductores y elementos de la instalación eléctrica debido a la corrosión y a la falta de mantenimiento en los mismos.

La presencia de armónicos en una red es prácticamente imposible de anularla, sin embargo, el tener una cantidad tan pequeña de distorsión en la señal tanto del voltaje como de la corriente en el lugar, garantiza a la instalación el correcto funcionamiento de los equipos que se encuentran instalados en él así como también que no hayan pérdidas significativas a causa de armónicos en la instalación, protegiendo así la vida de los conductores y otros elementos de la red.

7. ADECUACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

En la actualidad el calor y la luz de sol pueden aprovecharse a través de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la humanidad.

Haciendo uso de las ventajas que presenta Guatemala y su localización geográfica, la cual es receptora de una significativa cantidad de radiación solar día a día, se propone a las instituciones públicas y edificios del estado, contribuir con el ahorro energético implementando sistemas de generación de energía con este tipo de tecnología alternativa con el fin de reducir los costos involucrados en el consumo de energía eléctrica y también para colaborar directamente con la reducción de las emisiones de CO₂ para el medio ambiente.

Para el caso del edificio del Museo de Arte Moderno se ha realizado un cálculo de instalación solar fotovoltaica que suministre el 25 % del consumo energético total del lugar es decir, 13,1 KWh/día. Este porcentaje que se busca generar a través de una fuente de energía renovable como lo es la energía fotovoltaica, se origina a partir del cumplimiento de una de las metas del cuarto eje de la política energética 2013-2027.

Detalles de la instalación solar fotovoltaica:

- **Ubicación** 07 avenida y 06 calle, jardín trasero del salón 6, finca nacional La Aurora, zona 13, Guatemala
- **Coordenadas** 14° 35' 37" N 90° 32' 03" O
- **Inclinación** 14° Sur
- **Voltaje** 120V

Para el cálculo del rendimiento (*Performance Ratio*), se han utilizado los siguientes parámetros:

Tabla XXVI. **Rendimiento parcial y total de los paneles solares**

Coeficiente perdidas en batería	5 %
Coeficiente autodescarga batería	0,5 %
Profundidad de descarga batería	60 %
Coeficiente perdidas conversión DC/AC	5 %
Coeficiente perdidas cableado	5 %
Autonomía del sistema	3 d
Rendimiento general	82, 88 %

Fuente: elaboración propia.

Energía real diaria necesaria: 15 805,98 Wh/día

Tabla XXVII. Demanda de energía real en el museo

	Ene	Feb	Mar	Abl	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% mes	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Consumos (W)	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806	15806

Fuente: elaboración propia.

Radiación solar diaria:

Tabla XXVIII. Radiación solar diaria en Guatemala

	Unit	Climate data location				
Latitude	°N	14				
Longitude	°E	-90				
Elevation	m	690				
Heating design temperature	°C	16.35				
Cooling design temperature	°C	29.43				
Earth temperature amplitude	°C	10.64				
Frost days at site	day	0				
Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
January	21.2	67.7%	5.03	93.8	4.2	22.4
February	22.5	62.5%	5.71	93.7	4.0	24.4
March	23.8	58.4%	6.16	93.6	3.8	26.4
April	24.9	60.1%	6.26	93.5	3.7	27.9
May	24.2	71.9%	5.60	93.5	3.2	26.3
June	23.4	79.8%	5.42	93.5	3.1	24.5
July	23.3	76.4%	5.78	93.6	3.2	24.1
August	23.3	76.6%	5.68	93.6	3.1	24.2
September	22.9	80.0%	5.07	93.5	2.7	23.7
October	22.3	79.3%	4.92	93.5	3.4	23.0
November	21.8	74.8%	4.93	93.6	3.6	22.5
December	21.2	71.5%	4.79	93.7	3.9	22.1
Annual	22.9	71.6%	5.45	93.6	3.5	24.3
Measured at (m)					10.0	0.0

Fuente: Surface Meteorology and Solar Energy, NASA.

Se puede observar que el mes más desfavorable de captación de radiación solar en Guatemala actualmente es Diciembre con 4,79 kWh/m²/día. Tomando este dato como referencia, se dimensionará la instalación para las

condiciones mensuales más desfavorables de insolación, y de esta forma se asegura que se cubra la demanda deseada durante cualquier otro período del año.

Para el cálculo del campo fotovoltaico se ha tenido en cuenta la inclinación y orientación establecidas para el diseño, la cantidad de horas sol pico (HSP), el ratio de aprovechamiento del regulador de carga y las temperaturas medias mensuales diurnas del lugar elegido para la ubicación de los paneles. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla XXIX. Resultados obtenidos

Mes más desfavorable según consumos	Diciembre
Horas sol pico en meses más desfavorables	4,79 HSP
Inclinación óptima anual	13,76°
Inclinación óptima anual por consumos	18,07°
Inclinación elegida	14°
Azimut módulos	0°
Energía real diaria generada por los módulos	15 805,98 Wh/día
Potencia pico módulos calculada	3 827 Wp

Fuente: elaboración propia.

7.1. Parámetros eléctricos y selección de módulos

Para la reducción del 25 % del consumo eléctrico diario del Museo de Arte Moderno, se necesita instalar 16 módulos fotovoltaicos, distribuidos en dos series de 8 paneles cada uno. A continuación se muestran los detalles.

Tabla XXX. **Parámetros eléctricos y selección de módulos**

LUXOR Eco line 60/230 W Policristalino			
Voltaje a circuito abierto (voc):	37 V	Voltaje a potencia máxima (vmp):	29.8 V
Corriente de cortocircuito (isc):	8.22 A	Corriente a potencia máxima (imp):	7.73 A
Potencia máxima:	230 W	Coefficiente de temperatura de Pmax:	-0.45 %/°C
Potencia real a Temperatura media max :	230.8685 Wp	Nº de módulos serie:	2
Potencia pico módulos total :	3680 Wp	Nº de series paralelo:	8
Optimización instalación/necesidades mes mas desfavorable :	0.96	Total modulos :	16
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			96 %

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó como base para el cálculo los paneles marca LUXOR Eco Line Policristalinos de 230 watts cada uno. Para la elección del regulador se tienen en cuenta los valores de tensión del sistema, los parámetros de los módulos fotovoltaicos. En la siguiente se muestran los valores nominales de los reguladores a utilizar.

Tabla XXXI. **Valores nominales**

Tensión del sistema	48 V
Tensión de los módulos en circuito abierto	37 V
Tensión de los módulos a máxima potencia	29,8 V
Corriente de corto circuito de módulo	8,22 A
Corriente de potencia máxima de módulos	7,73 A
Núm. De módulos serie a instalar	2
Núm. De módulos paralelo a instalar	8
Total de módulos a instalar	16
Intensidad total del sistema (abierto)	66 A

Fuente: elaboración propia.

Para la elección del regulador se tomó como referencia un equipo de marca LEONICS SCP-48240 PWM.

Tabla XXXII. **Equipo leonics SCP-48240 PWM**

LEONICS SCP-48240 PWM			
Tensión:	48 V	Voltaje máximo:	48 V
Potencia nominal:	13200 Wp	Consumo propio:	12 mA
Capacidad de carga:	240 A	Ratio aprovechamiento :	0.9
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de		364 % Nº Reguladores :	1

Fuente: elaboración propia.

Para el dimensionamiento del inversor-cargador se ha utilizado los siguientes parámetros del sistema en conjunto con un inversor VICTRON MULTIPLUS 48 como referencia:

Tabla XXXIII. **Parámetros victron multiplus 48**

Tensión del sistema DC	48 V
Tensión de salida AC	110 V
Potencia máxima	2 197 W
Coefficiente de simultaneidad	0,7
Potencia mínima necesaria	1 538 W
Factor de seguridad	0,8
Potencia de cálculo	19,22 W

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Parámetros victron multiplus 48/3000/35-16**

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

Fuente: elaboración propia.

En resumen, los elementos resultantes del cálculo para el sistema solar fotovoltaico del museo son los que se muestran en la tabla XXXV.

Tabla XXXV. **Elementos resultantes del cálculo**

Unidades	Elementos
16	Módulo tipo Luxor eco line 60/230 W policristalino
1	Regulador tipo Leonics SCP-48240 PWM
24	Batería tipo Ecosafe TYS-12 tubular-plate
1	Inversor tipo Victron multiplus 48/3000/35-16

Fuente: elaboración propia.

Con los elementos de consumo indicados y los componentes de instalación calculados, se obtiene la siguiente comparativa de consumos y producción estimados a lo largo del año.

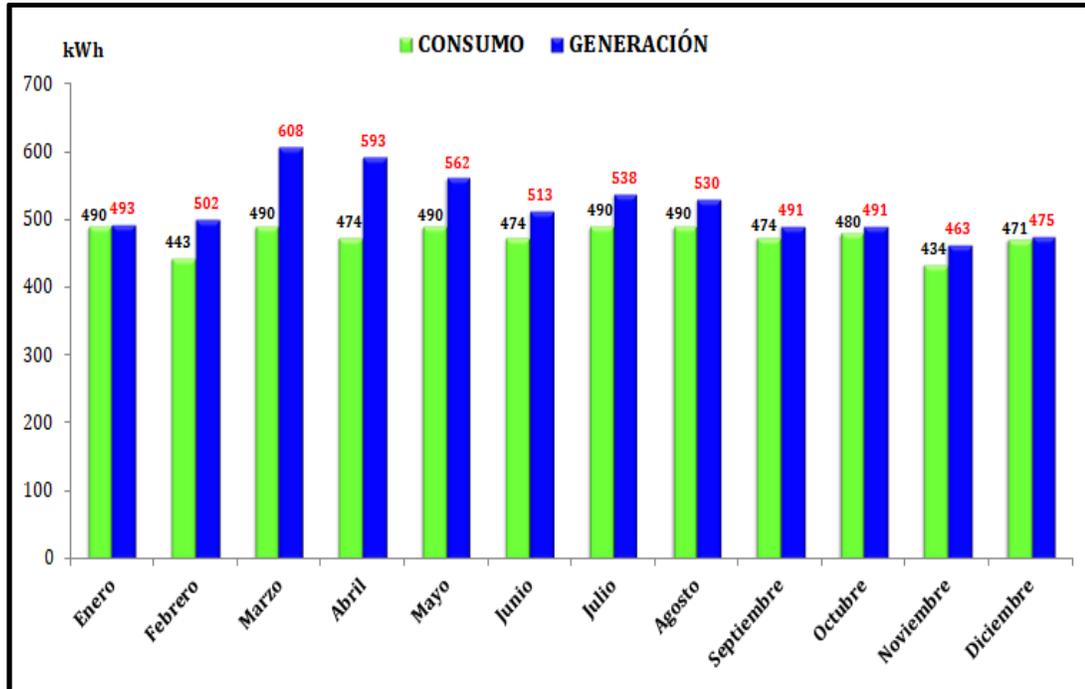
Tabla XXXVI. **Comparativa de consumos y producción en un año**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
HSP	5,03	5,71	6,16	6,26	5,6	5,42	5,78	5,68	5,07	4,92	4,93	4,79
Consumo (kWh)	490	443	490	474	490	474	490	490	474	480	434	471
Generación (kWh)	493	502	608	593	562	513	538	530	491	491	463	475
Diferencia (kWh)	3	59	118	119	72	39	48	40	17	11	29	4
Ahorro económico	Q. 1.129,38	Q. 854,73	Q. 841,52	Q. 928,85	Q. 1.079,62	Q. 1.015,81	Q. 375,83	Q. 1.102,70	Q. 1.031,68	Q. 1.101,55	Q. 1.051,87	Q. 1.083,81

Fuente: elaboración propia.

Esto quiere decir que el museo obtendrá, a lo largo de un año, un ahorro económico de Q.11 597,34 y un ahorro energético de 16 082,85 KWh (5 904,01 Kg/ año de CO₂).

Figura 17. **Resultados de consumo y generación**



Fuente: elaboración propia.

Las normas internacionales que fueron utilizadas como base para el cálculo y diseño de la instalación solar propuesta fueron las siguientes:

IEC 62548 – Requerimientos de diseño para arreglos de paneles solares.

IEC 61646 – Especificaciones de pruebas solares fotovoltaicas.

IEEE Std.929-2000 – Prácticas recomendadas para la utilización de sistemas fotovoltaicos.

IEEE 1547 – Criterios y requisitos para la interconexión de generación distribuida con paneles fotovoltaicos.

8. MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se presenta una lista de medidas de ahorro y utilización eficiente de la energía, las cuales se proponen para poderse implementar dentro de las instalaciones del Museo de Arte Moderno con el fin de generar beneficios medioambientales, reducir el costo de consumo de la energía eléctrica así como también mejorar el confort de los empleados dentro de la institución.

8.1. Climatización y aire acondicionado

Una buena decisión para incrementar el confort en los empleados del museo es la futura instalación de un aparato de aire acondicionado debido a que el edificio aún no posee ningún equipo de este tipo, siempre teniendo en cuenta la eficiencia energética para la utilización del mismo.

Existen diversas opciones para climatizar los ambientes del edificio y se clasifican según el sistema a instalar. A grandes rasgos se podrían clasificar en tres:

- Sistema de climatización por conductos
- Sistema tipo cassette
- Sistema tipo split

El tipo de equipo de aire acondicionado que se sugiere para las instalaciones del museo, es el sistema de climatización por conductos. Esta opción consiste en una máquina generadora de aire climatizado que se reparte

por todas las estancias de la instalación a través de conductos. Estos conductos disponen de rejillas por donde sale el aire tratado térmicamente. Es el sistema más apropiado para el museo ya que su aplicación es en grandes superficies o edificios en los cuales existe un sistema centralizado (una máquina abastece a todo el edificio) ya que se considera suficiente para la cantidad de empleados que hay dentro del lugar.

- Medidas de mejora:
 - Aprovechar en todo momento la ventilación con la que se cuenta por medio de circulación de aire natural a través de puertas, corredores y ventanales que permiten la fluidez del aire hacia el interior del museo.
 - Implementar un sistema de aire acondicionado para épocas en las cuáles no sea suficiente la ventilación natural en el edificio como lo es la temporada de verano, de forma que los trabajadores del lugar mantengan el confort percibiendo una temperatura agradable dentro de cada ambiente de su lugar de trabajo en todo momento del día.
 - Realizar mantenimientos preventivos y predictivos constantemente al sistema de aire acondicionado que se instalará con el fin de reducir la cantidad de fallas del sistema y mejorar el tiempo de vida y funcionamiento del equipo.
 - Utilizar sistemas digitales de regulación de temperatura como termostatos programables o algún otro tipo de regulador que permita la variabilidad de los grados en tiempo real.
 - Verificación constante del estado de los sellos de aislamiento (empaques) de las ventanas y puertas donde se encuentren equipos de aire acondicionado.

Como reemplazo de la implementación de un sistema de aire acondicionado, se proponen algunas medidas auxiliares para la climatización del museo, las cuales son:

- Uso de ventiladores convencionales. El consumo de energía eléctrica es bastante bajo y estos colaboran lo suficiente para proporcionar a los empleados el grado de confort térmico que necesitan para épocas en las cuales el calor sea excesivo, lográndolo así únicamente con el movimiento y circulación del aire a mayor velocidad dentro del lugar.
- Utilización de persianas o filtros solares para las ventanas para reducir la cantidad de radiación solar dentro de las oficinas del edificio.

Para la instalación del equipo de aire acondicionado dentro del museo se proponen las siguientes medidas de mejora:

- Como primer punto, elegir un aparato altamente eficiente. Todos los electrodomésticos tienen una etiqueta identificadora en los que se indica el grado de eficiencia que tiene. La letra A, acompañada del símbolo + y el color verde son indicativos de un aparato eficiente energéticamente. Adquirir un electrodoméstico eficiente, con un indicativo A+++ , supone un ahorro de un 40 % en el consumo de energía.
- Instalar el apartado de aire acondicionado lo más alejado del sol directo. Si el sol le da constantemente no solo puede dañar el sistema, sino que le costará más funcionar, y por tanto, consumirá más energía para poder hacerlo.
- Poner el aparato a una temperatura media. La diferencia máxima entre la temperatura que haya en el exterior y en el interior debe ser de 12 grados. Por cada grado de diferencia que se establezca, consumirá un 8 % más de energía.

- En caso de que el equipo de aire acondicionado tenga el Modo ECO, utilizarlo. Permite reducir el consumo de energía en un 30 %.
- Evitar la utilización del equipo de aire acondicionado por la noche. Utilizarlo únicamente si es de gran necesidad el apoyo de este sistema o si no se cuenta con la suficiente circulación de aire natural posterior a las 19:00hrs.
- Limpiar el aparato regularmente. Los filtros de aire cuando están sucios obligan a la unidad a consumir más energía de la habitual para poder refrigerar correctamente la instalación.

8.2. Iluminación

Siendo este el principal factor de consumo energético dentro del edificio del Museo de Arte Moderno, aportando con el 47 % del consumo total, es necesario un enfoque de ahorro energético más específico y principal para este tipo de carga ya que, logrando un ahorro significativo en la forma de aprovechamiento y utilización del recurso lumínico dentro del lugar, se podrán visualizar y percibir cambios de alto impacto en el costo de la energía eléctrica dentro del lugar así como también disminución en la carga térmica de cada área provocada por la energía disipada por cada lámpara en forma de calor, concluyendo en un requerimiento menor de refrigeración por cada ambiente de la instalación.

Debido a la importancia y alto impacto del ahorro energético en el sistema de iluminación, se detallan a continuación algunas propuestas de mejora para el aprovechamiento más eficiente del recurso lumínico dentro del lugar.

- Medidas de mejora:
 - Implementación parcial o total de la tecnología led para el sistema de iluminación de todo el museo con el fin de obtener ahorros significativos en el consumo de este recurso así como también mejorar la calidad de la iluminación, aumentar el tiempo de vida de cada luminaria y reducir los efectos de sensibilidad de temperatura en los puntos de trabajo de cada empleado.
 - Aprovechar eficientemente el recurso de iluminación natural con la que se cuenta en cada oficina, aprovechando al máximo la luz que ingresa por cada ventanal y hacer uso, como un recurso complementario, de la luminaria instalada en cada área solamente cuando sea necesario.
 - Establecer circuitos independientes de iluminación según el uso de cada área con el fin de zonificarlos y utilizar este recurso en el horario de aprovechamiento según cada una de estas sin afectar otros lugares.
 - Colocar más detectores de presencia en los lugares menos frecuentados como pasillos o bodegas de almacenaje para no mantener iluminadas estas áreas en lapsos de tiempo que nadie lo requiera. Con esta medida se logrará un ahorro en iluminación de hasta el 40 %.
 - Contar con un plan de mantenimiento del sistema de iluminación que implique mantener las lámparas y luminarias limpias y en perfecto estado para lograr el rendimiento óptimo de cada una así como reparar de inmediato los difusores o balastos que presenten desperfectos en su funcionamiento. Este plan deberá ser aplicado periódicamente por lo menos cada 3 meses.
 - Colocar las superficies de trabajo entre los puntos de luz

(luminarias) y no directamente debajo de ellos, con el fin de que la luz no incida directamente sobre el plano de trabajo, evitando reflejos y deslumbramientos.

Es importante tener en cuenta en todo momento los niveles mínimos de iluminación establecidos por la legislación vigente estipulada por el Ministerio de Trabajo para las condiciones laborales dentro de los edificios con el fin de mantener siempre el confort de los trabajadores en cada área donde ellos llevan a cabo sus actividades y asegurar así, el cumplimiento de las condiciones de calidad y confort visual.

8.3. Equipos eléctricos y cargas especiales

El consumo eléctrico originado por la utilización de equipos eléctricos y de oficina es también de gran injerencia en el análisis del consumo energético dentro del museo ya que representa la segunda categoría con mayor índice de utilización dentro del lugar.

El consumo eléctrico total del conjunto de equipos de oficina como lo son computadoras, impresoras, fotocopiadoras, entre otros., es significativo y supone una parte importante dentro del reporte de la factura del servicio eléctrico del lugar.

A pesar de que dentro del museo son pocos los equipos eléctricos en comparación con otras instituciones, el impacto del consumo de los mismos es derivado de la cantidad de horas que permanecen encendidos durante el día así como también de que se carece de planes de ahorro para la utilización de estos, generando un impacto muy grande las horas que permanecen

encendidos mientras los empleados del museo almuerzan o realizan otras actividades en las que no los requieren directamente.

Sumado a esto, también es necesario tomar en cuenta el consumo de aquellos aparatos eléctricos poco habituales dentro de las oficinas, pero que sin embargo, existen en ciertas áreas del museo como lo son los dispensadores de agua, las cafeteras, refrigeradoras, televisores e incluso microondas que no se encuentran en el área del comedor.

- Medidas de mejora:
 - Cambio de equipos eléctricos por equipos más amigable con el medio ambiente. Estos equipos actualmente ya poseen la etiqueta de su nivel de eficiencia de funcionamiento, recomendando utilizar los que lleven la letra A (clase A, sistema energy star) en este indicador que trae adherido en la parte lateral o trasera del equipo.
 - Encender los equipos hasta que estos sean necesarios de utilizar con el fin de que no permanezcan prendidos sin ser utilizados durante lapsos de tiempo que conllevan a un valor económico en la factura del servicio eléctrico del lugar.
 - Apagar todos los aparatos eléctricos al terminar la jornada laboral y en hora de almuerzo con el fin de que estos no produzcan un pequeño consumo de energía (el cual no es despreciable) en su modo de *StandBy*.
 - Aprender, instalar y configurar adecuadamente el modo ahorro de los equipos de oficina tales como computadoras, impresoras y fotocopadoras así como cualquier otro equipo electrónico de esta índole con el fin de lograr un ahorro de hasta el 50 % en el consumo energético total de este tipo de cargas.

- En el caso de las refrigeradoras, abrirlas únicamente cuando sea necesario y, retirar o ingresar los alimentos lo más rápido posible y la menor cantidad de veces con el fin de que no ingrese al compartimiento la temperatura ambiental que se encuentra fuera de él. Se recomienda también evitar ingresar al refrigerador alimentos calientes.
- Eliminar del congelador la capa de hielo antes de que alcance los 3mm de espesor para que en la transferencia de temperatura no haya pérdidas.
- En el caso de las computadoras, apagarlas cuando se dejen de utilizar por tiempos prolongados. Para menores cantidades de tiempo, apagar el monitor mientras se reanuda su utilización en lugar de utilizar protectores de pantalla que solo provocan un gasto de energía sin ser realmente útiles e indispensables.
- Conectar los periféricos (impresora, scanner, altavoces, equipo de fax, entre otros) en un estabilizador multitoma, y apagarlos cuando no estén en uso.
- Ajustar el brillo de las pantallas de las computadoras con el fin de requerir menos energía para el funcionamiento óptimo de este. No tenerlas en su brillo máximo cuando no sea necesario.
- Desconectar la alimentación de las computadoras portátiles cuando estas indiquen que ya tienen todo el nivel de la batería recargado.
- Utilizar los microondas únicamente en los tiempos de comida y programar tiempos adecuados para la calefacción de cada tipo de alimento. No ingresar alimentos fríos o congelados dentro del mismo.
- Racionalizar la utilización de estufas eléctricas dentro del lugar ya que estas representan un alto grado de consumo energético en las instalaciones. Encenderla únicamente al momento de utilizarla y

aprovechar el calentamiento de la misma para cocinar todos los alimentos de una vez mientras esta permanezca encendida para evitar el alto consumo de corriente que se requiere para calentar las hornillas cada vez que se enciende la estufa.

- Aprovechar el calor residual en la estufa apagando la hornilla por lo menos 5 minutos antes de retirar el recipiente ya que el calor aún será suficiente para terminar la cocción.
- Solicitar a la distribuidora que suministra la energía eléctrica a la instalación, que se reduzca el total de potencia contratada para el edificio ya que actualmente es demasiado alta respecto al valor máximo de potencia que llega a registrarse dentro del museo; esto generará un impacto positivo en el presupuesto destinado al pago mensual de este recurso y no afectará en nada al rendimiento óptimo de la red en este lugar.

9. PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2018-2027

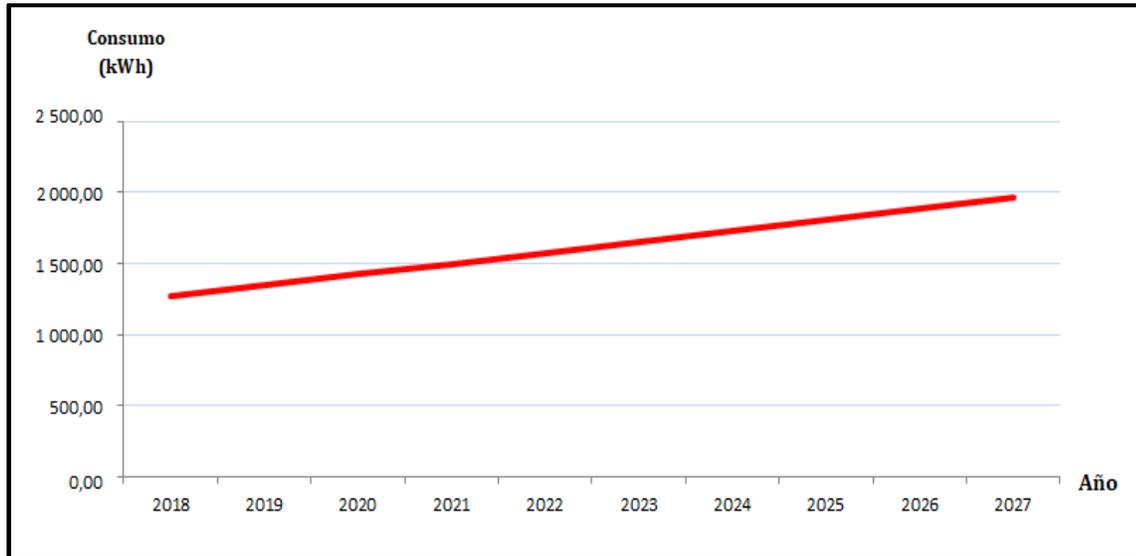
9.1. Proyección de consumo para 10 años

La proyección de la demanda futura de energía constituye para el museo, una acción básica y esencial en el proceso de los posibles redimensionamientos de la instalación eléctrica de la institución, así como también representa un recurso muy importante a tomar en cuenta en la elaboración del presupuesto anual del edificio, permitiendo determinar así el incremento que tendrá su consumo energético en los próximos años.

De esta manera, se podrá planificar readecuaciones en la instalación con el fin de que los elementos técnicos y equipos que componen la red tengan el rendimiento adecuado según la cantidad de energía consumida en el lugar evitando así sobrecargas en ellos así como también en el transformador con el que suministra la energía la empresa distribuidora.

En cumplimiento de la Política Energética 2013 – 2027, se muestra a continuación la proyección del consumo de energía eléctrica del Museo de Arte Moderno hacia el 2027.

Figura 18. **Proyección del consumo de energía en el museo hacia el 2027**



Fuente: elaboración propia.

La estimación realizada a partir de los históricos de consumo del museo refleja que se tendrá un crecimiento promedio de 80 kWh anual en los próximos diez años.

10. GESTIÓN DE DESECHOS

De acuerdo a un estudio elaborado por el Ministerio de Ambiente en el 2016, en el país diariamente se generan desechos sólidos por un monto de entre 6 000 a 7 000 toneladas, de las cuales, el 54 % se producen en las zonas urbanas y el restante 46 % en las zonas rurales. La urbanización, con sus efectos sobre el medio ambiente, conlleva también hábitos de consumo y de actividades por parte de los individuos, lo que implica impactos y consecuencias, dentro de los cuales destaca una creciente generación de residuos y desechos sólidos.

La generación de residuos y desechos sólidos industriales en centros urbanos sitúa a los departamentos de Guatemala, Quetzaltenango y Escuintla como los más importantes. En el ámbito rural, la generación es relativamente mayor en los departamentos de Huehuetenango, Alta Verapaz, San Marcos y Guatemala, entre ellos generan más del 36 % del total producido en el área rural.

El volumen total de desechos que no es recolectado asciende a más de un millón de toneladas anuales, siendo tal cantidad dispuesta en botaderos ilegales, quemada o enterrada.

Los desechos no recolectados se constituyen en uno de los grandes factores que generan un mayor impacto en el ambiente. La misma suele alimentar los botaderos ilegales tanto del área rural como urbana, y también existen hogares con el hábito de quemarla o enterrarla. Estos dos últimos fenómenos ocurren con mayor frecuencia en el ámbito rural, en donde mayores

extensiones de superficie y la dispersión de las viviendas refuerzan estas prácticas.

A partir del análisis anterior, se propone a continuación un plan para el control y manejo de residuos dentro del Museo de Arte Moderno, con la finalidad de que esta institución también forme parte de los pequeños pero significativos aportes en beneficio del medio ambiente. Este plan consta de ciertas propuestas y planes de mejora en los hábitos de gestión de residuos, lo cual se detallará a continuación.

10.1. Plan de gestión, manejo y recolección de desechos sólidos dentro del edificio del Museo de Arte Moderno

- **Objetivo**

Promover la sensibilización en los empleados del Museo de Arte Moderno con el fin de crear en ellos una cultura capaz de clasificar y manejar los desechos sólidos que se generan dentro del edificio para promover así, campañas y divulgaciones sobre la importancia del reciclaje y su impacto en el medio ambiente y en la contaminación del país.

A futuro, se busca la implementación de sistemas de manejo social y ambiental tecnológicamente y económicamente viables para formalizar dichas prácticas por medio de un marco legal relacionado con la gestión y manejo integral de los residuos y desechos en las instituciones del sector público del país.

Las instalaciones del Museo de Arte Moderno Carlos Mérida se encuentran dentro de una finca ubicada en la zona 13 capitalina, estando

conformado por dos grandes áreas verdes al frente y en la parte posterior del mismo, oficinas dentro del edificio, grandes salas de exposición rectangulares distribuidas y segmentadas por tabiques centrales, un espacio destinado para comer y un área delimitada que funciona como parqueo para los empleados del lugar.

Dentro del edificio del museo no se realizan actividades semejantes a las de una fábrica de producción o talleres industriales, las cuales son las que generan mayor cantidad de desechos y residuos sólidos en el país. Siendo las actividades principales de esta institución las relacionadas con labores de oficina, administración y exposiciones de arte, teniendo como objetivo el desarrollo artístico de obras y pinturas para la visita tanto nacional como extranjera, de amantes del arte y la cultura promoviendo así el interés por este tipo de expresión artística en el país.

Las materias primas utilizadas dentro del museo dependen directamente del tipo de actividad que se desarrolla en cada unidad, las cuales se clasifican de la siguiente manera.

Tabla XXXVII. **Actividades que se desarrollan en cada unidad**

Tipo de Actividad	Materia Prima Utilizada
Administrativa u oficinista	Papel bond, lápices, lapiceros, papel carbón, talonarios, tinta, desechables, cinta adhesiva, grapas y clips, folders y carpetas de cartón, clasificadores plásticos, papel manila, dispositivos de almacenamiento y de cómputo, periódico, equipo de oficina en general, entre otros.
Limpieza y aseo del edificio	Escoba, pala, trapeador, desinfectante, jabón, paños de limpieza, detergentes, ceras, mangueras, limpia vidrios, escaleras, sacudidores, aromatizantes, entre otros.
Comedor	Alimentos varios, bebidas, trastos de distinto material, bolsas plásticas, papel aluminio, papel tipo mayordomo, entre otros.
Mantenimiento, reparación y restauración	Clavos, tornillos, tuercas, grasa, aceites lubricantes, lijas, tintes de madera, barniz, líquidos anticorrosión, cadenas, sogas, thinner, gasolina, entre otros.

Fuente: elaboración propia.

Los volúmenes de residuos y desechos sólidos generados en el Museo de Arte Moderno son de pequeña magnitud debido a la poca cantidad de empleados del lugar y a las pequeñas dimensiones de la institución, siendo principalmente los siguientes: papel, cartón, plástico, periódico, cartuchos de impresora, desechos electrónicos, vidrio, aluminio y residuos orgánicos como lo es resto de alimentos o residuos de bebidas, entre otros.

Es importante resaltar que actualmente, el museo aún no cuenta con un plan de manejo de todos estos desechos, no implementando tampoco planes de reciclaje o la cultura de reutilización de algunos recursos reciclables o del almacenaje de papel para donaciones a instituciones que reciclan este material para otros usos.

Debido a esto, a continuación se presenta una guía de hábitos y prácticas de reciclaje y manejo de residuos para que los empleados del museo puedan implementarla dentro de la institución con el fin de aportar soluciones a esta problemática ambiental, colaborar con las instituciones que rigen este tipo de actividades y hallar maneras de ahorro de recursos para reducir el gasto del presupuesto destinado para dichos fondos, con el fin de ser un edificio amigable con el medio ambiente y así también que fomente al ahorro económico y uso eficiente de los recursos del estado del país.

10.2. Acciones a implementar

Las acciones que se proponen implementar dentro del edificio son:

- Mantener un programa de reciclaje, donde los usuarios pueda tener fácil acceso y claras indicaciones de la importancia de reciclar y de reducir la cantidad de residuos sólidos.
- Realizar una auditoría de los flujos de residuos, en la que se puedan identificar oportunidades en las que se puedan reducir o eliminar por completo los mismos.
- Realizar la separación de los residuos de acuerdo a su naturaleza (orgánicos, inorgánicos, cartón, plásticos, entre otros.).
- Vender los residuos que compran instituciones dedicadas a la reutilización de estos recursos, generando así un beneficio económico a partir de un desecho plástico, de papel o bien, chatarra que no se esté utilizando para generar un pequeño ingreso extra a partir de estos residuos que no están siendo provechados dentro de la institución.
- Realizar una campaña interna de concientización y sensibilización para los empleados del museo sobre la importancia del reciclaje y la reutilización de recursos en pro del medio ambiente y de la economía de

la institución.

- Elaboración de afiches, boletines, rótulos e identificadores que hagan recordar en todo momento al empleado, la importancia de la correcta aplicación del plan de manejo y gestión de residuos dentro de su lugar de trabajo.
- Realizar charlas y capacitaciones constantes en las cuales se expongan los avances y resultados logrados por la institución luego de aplicar los buenos hábitos de reciclaje y ahorro de recursos mediante las técnicas de reutilización de estos para así mantener motivados e informados a los demás empleados.
- Instruir al personal de mantenimiento del museo para que sepan qué hacer al momento de recolectar los residuos ya clasificados y destinarlos a su disposición final.
- Crear dentro del museo un comité de personas encargadas de velar por el correcto cumplimiento del plan de manejo de residuos dentro de la institución de forma de mantener el orden y funcionando bien dichas actividades de clasificación y reciclaje de material residual.

Se propone también realizar la compra de depósitos de basura de colores, con el fin de identificar cada color y asociarlo al tipo de naturaleza de los desechos sólidos que se sacan a diario dentro del lugar. Se detalla a continuación la distribución de colores propuesta:

Tabla XXXVIII. **Distribución de colores**

COLOR	Tipo de Material
Negro	Latas y aluminio
Verde	Vidrios y cerámicos
Amarillo	Plásticos y pet
Azul	Papel y cartón
Rojo	Material tetra pack
Blanco	Orgánicos
Gris	Control sanitario

Fuente: SEGEPLAN, Política de manejo de residuos y desechos sólidos, 2005, p 37.

Identificar con rótulos grandes y legibles cada uno de los depósitos de basura y ubicar estos en puntos estratégicos dentro del museo como pasillos, bodegas, comedor o áreas externas del lugar.

Recolectar residuos de equipos electrónicos como pantallas, placas de circuitos, restos de bocinas o equipo de video, entre otros. Y donarlo a instituciones de recaudación de este tipo de material (E-Waste) ya que hay varias instituciones que se dedican a esta actividad.

Figura 19. **Propuesta de identificación de depósitos de basura**



Fuente: SEGEPLAN, Política de manejo de residuos y desechos sólidos, 2005, p 39.

11. PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A través de los datos medidos con el analizador de redes FLUKE 430-II en la instalación eléctrica del Museo de Arte Moderno se logró realizar un estudio sobre los consumos de energía eléctrica que se realizan por día y por mes dentro del edificio, obteniendo como resultado la siguiente información que se presenta a continuación:

Tabla XXXIX. **Consumos de energía eléctrica por día**

Día Laboral			
Actividad	Horario de Consumo		Consumo Promedio en Watt-Hora
	Inicio	Final	
Jornada laboral	9:00:00	16:00:00	29 454,47
Fin de labores (algunos se quedan trabajando)	16:00:00	18:00:00	15 148,49
Horario Nocturno y fuera de labores	18:00:00	7:00:00	8 101,99
Inicio de labores (algunos llegan temprano)	7:00:00	9:00:00	14 785,63
Consumo total en 24 Horas			46 490,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Consumos de energía eléctrica días de descanso**

Día de Descanso o Asueto			
Actividad	Horario de Consumo		Consumo Promedio en Watt-Hora
	Inicio	Final	
Fuera de labores y operaciones	7:00:00	7:00:00	20 894,65
Consumo total en 24 Horas			27 894,65

Fuente: elaboración propia.

Para los días de descanso o asueto no se ha considerado el consumo mínimo de energía eléctrica ya que en estos días siempre hay una persona encargada de cuidar el edificio, por lo que hace utilización de la energía en diferentes horarios y para diferentes usos.

Así también, hay días de descanso los cuales suelen ser aprovechados por empleados de limpieza para realizar labores que no pueden llevar a cabo en los días de jornada laboral normal así como también se aprovechan estos días para hacer el montaje y la readecuación de nuevas exposiciones dentro del lugar, habiendo entonces un pequeño pero significativo uso de energía en estos días.

Con base en los resultados de consumo de energía eléctrica realizado durante un día laboral y un día de descanso o asueto, se proyecta el consumo total de energía eléctrica para los meses de enero a diciembre del 2018 tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XLI. **Proyección de consumo de energía eléctrica de enero a diciembre del 2018**

Mes	Tipo y cantidad de días		Energía estimada (KWh)
	Laboral	Descanso	
Enero	26	5	2 059,19
Febrero	24	4	1 687,32
Marzo	19	12	1 774,99
Abril	24	6	1 881,10
Mayo	26	5	2 059,19
Junio	25	5	1 921,70
Julio	26	5	2 059,19
Agosto	26	5	2 059,19

Continuación de la tabla XLI.

Septiembre	25	5	1 921,70
Octubre	25	6	2 018,59
Noviembre	25	5	1 921,70
Diciembre	24	7	1 977,99

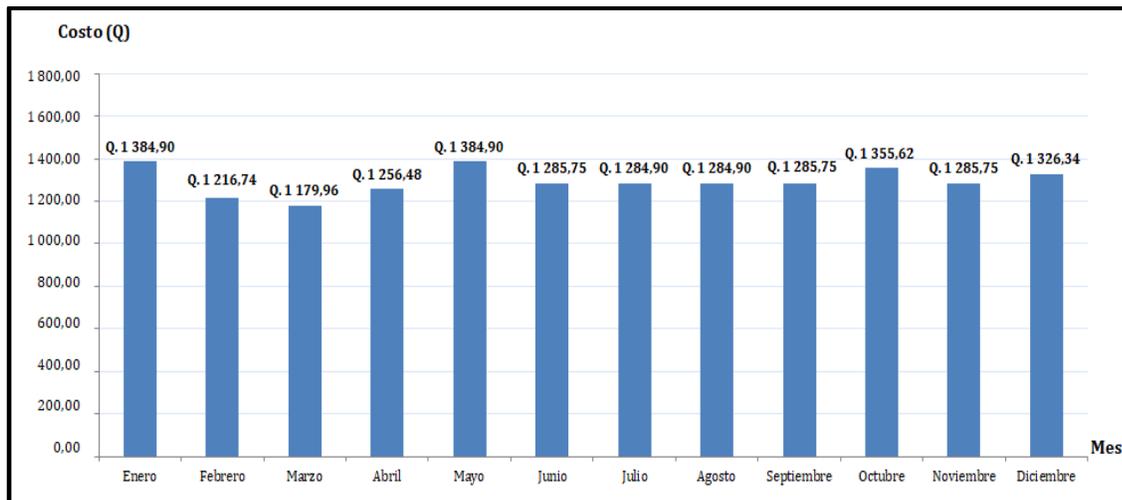
Fuente: elaboración propia.

Importante: esta proyección de consumos de energía eléctrica presentan un escenario bajo condiciones en las cuales no ocurra algún tipo de imprevisto o crecimiento en la demanda de energía por parte de las instalaciones eléctricas ubicadas en el Museo de Arte Moderno.

11.1. Análisis económico proyectado

Se estima que la tarifa de cobro por consumo de energía eléctrica en la ciudad capital mantendrá para el presente año un valor promedio del Q. 0,721108 por cada KWh consumido, con base en este valor es posible proyectar el costo estimado para los meses de enero a diciembre del presente año.

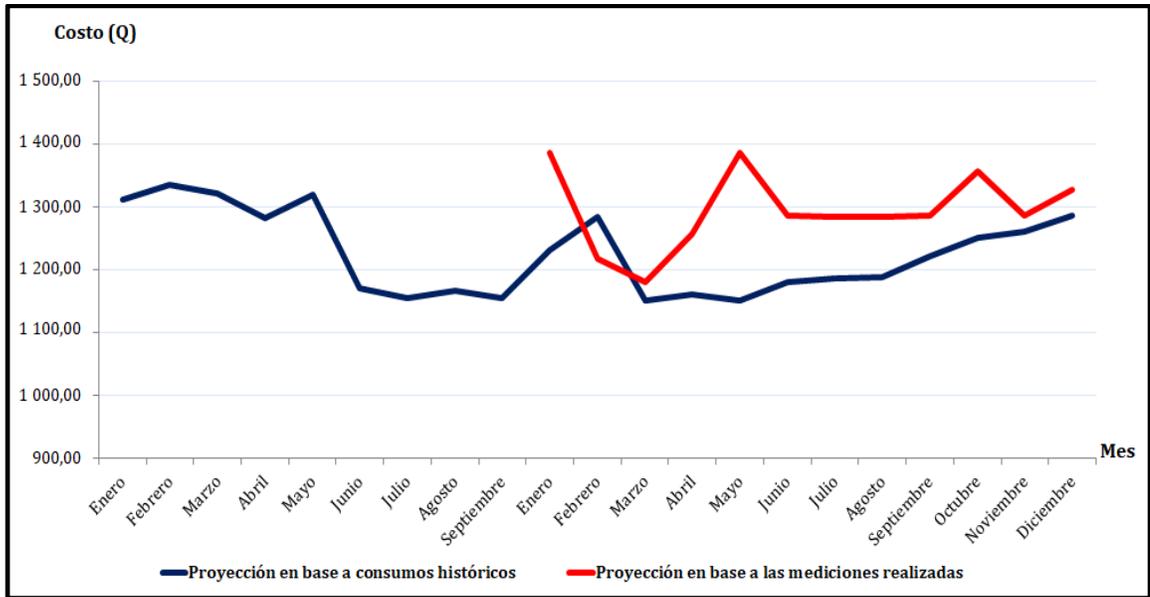
Figura 20. **Costo por consumo estimado de energía eléctrica para los meses de enero a diciembre de 2018**



Fuente: elaboración propia.

En el capítulo 3 se ha presentado el análisis histórico del consumo de energía eléctrica del primer semestre del 2017 más la mitad del segundo semestre de este mismo año, y en base a estos datos se proyectó un consumo estimado de energía eléctrica para los meses de enero a diciembre del presente año. En base a esta información y al costo proyectado con base en las mediciones realizadas, se presenta la siguiente gráfica comparativa:

Figura 21. **Comparación de proyecciones por costo económico del consumo de energía eléctrica en el edificio del Museo de Arte Moderno**



Fuente: elaboración propia.

Tal y como puede observarse en la gráfica, los consumos históricos presentan una tendencia menor a la tendencia que presenta la proyección de consumo eléctrico con base en las mediciones realizadas con equipo técnico en la instalación. Este resultado es un indicador muy importante el cual refleja la necesidad latente que existe dentro de las instalaciones del edificio del museo para mejorar la eficiencia del consumo de energía eléctrica y así evitar los excedentes de gastos económicos para la propia institución.

Importante: los costos presentados en estas proyecciones son únicamente sobre la energía consumida, no se toman en cuenta los cargos fijos o algún otro tipo de monto económico.

12. ANÁLISIS ECONÓMICO DE AHORROS ENERGÉTICOS

Al analizar las mediciones y patrones de consumo energético del museo se determinó que existen 3 áreas de mejora que pueden aplicarse ya que son factibles tanto en el aspecto técnico como en el económico. A continuación se describen las medidas y un resumen del análisis económico efectuado.

12.1. Instalación de paneles solares para autoalimentación

Para la implementación de esta medida de mejora es necesaria una única inversión inicial de Q. 50 276,85 que puede ser pagada por medio de un contrato de “Leasing” con los ahorros mensuales producto de la implementación y puesta en marcha de este proyecto fotovoltaico.

El proyecto tiene un tiempo de vida útil de 25 años y un período de retorno de la inversión de 12,5 años. Es decir, que al terminar el período de recuperación de la inversión se verá reflejada la disminución de consumo de energía eléctrica para uso propio del Museo.

Los ahorros mensuales proyectados para este proyecto son de Q. 385,00 que al cabo de un año suman Q.4 620,00 y pueden pagar el proyecto en el tiempo indicado.

Tabla XLII. **Proyección de costos**

Inversión inicial	Q. 50 276,85
Ahorro mensual	Q. 385,00
Ahorro anual	Q. 4 620,00
Retorno de inversión	12.5 años
Vida útil del proyecto	25 años

Fuente: elaboración propia.

12.2. Simulación de consumo eléctrico con implementación de tecnología led

Actualmente en el edificio del museo aún existen alrededor de 16 lámparas fluorescentes y un poco más de 100 de tipo halógenas sobre todo en los pasillos y algunas salas de exposición del lugar así como otras áreas del edificio. Esto constituye un gasto de energía innecesario que se refleja en el consumo energético y factura por servicio de energía eléctrica.

Se estima que el consumo de energía eléctrica en las oficinas del museo podría ser aún más eficiente si se cambian las lámparas y tipos de luminarias en las áreas del edificio anteriormente mencionadas.

Realizar el cambio de lámparas y luminarias de otro tipo por tecnología led puede reducir el consumo del sistema de iluminación en las áreas del museo que aún cuentan con estas aproximadamente un 73,5 % siendo esta una medida que no requiere demasiado esfuerzo pero que sí se necesita de una inversión económica considerable.

Tabla XLIII. **Comparación entre lámparas existentes y propuesta de nuevas lámparas**

	Actual	Propuesta
Tipo	Fluorescente	LED
Potencia (W)	40	10
Lúmenes (Lm)	1 125	1 100
Lámparas por área estándar	2	2
Potencia total (W)	80	20
Radio de trabajo (m)	2	2
Total de luxes (Lx)	113	125

Fuente: elaboración propia.

Se requiere una inversión inicial de Q.13 200,00 para el cambio de 16 luminarias y 114 lámparas halógenas. Esto conlleva a un ahorro promedio mensual de Q. 384,75 y un período de recuperación de la inversión de 3 años. El tiempo de vida útil del proyecto es de 10 años.

Tabla XLIV. **Costo de cambio de luminaria**

Lugar	Tipo de Iluminación	Luminaria	Lámpara	Costo por cambio de Luminaria
Oficinas	Fluorescente	5	2	Q 3 450,00
Pasillos	Fluorescente	8	2	Q 5 520,00
Bodegas	Fluorescente	3	2	Q 2 070,00
Salas de Exposición	Halógenas	-	108	Q 2 160,00
Totales		16	114	Q13 200, 00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Proyección de tiempo de vida útil del proyecto para 10 años**

Inversión inicial	Q. 13 200,00
Ahorro mensual	Q. 384,75
Ahorro anual	Q. 4 617,00
Retorno de inversión	3 años
Vida útil del proyecto	10 años

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Consumo actual de energía por mes**

Mes	Tipo y cantidad de días		Energía estimada con mediciones de consumo actual (kWh)	Con cambio de Iluminación (kWh)
	Laboral	Descanso		
Enero	26	5	2 059,19	1 513,50
Febrero	24	4	1 687,32	1 240,18
Marzo	19	12	1 774,99	1 304,62
Abril	24	6	1 881,10	1 382,61
Mayo	26	5	2 059,19	1 513,50
Junio	25	5	1 921,70	1 412,45
Julio	26	5	1 059,19	778,50
Agosto	26	5	2 059,19	1 513,50
Septiembre	25	5	1 921,70	1 412,45
Octubre	25	6	2 018,59	1 483,66
Noviembre	25	5	1 921,70	1 412,45
Diciembre	24	7	1 977,99	1 453,82

Fuente: elaboración propia.

El beneficio que representa esta diferencia de demanda de energía eléctrica por parte de la iluminación en mención se puede ver proyectada como un ahorro económico en el costo del consumo de energía eléctrica mensual del Museo.

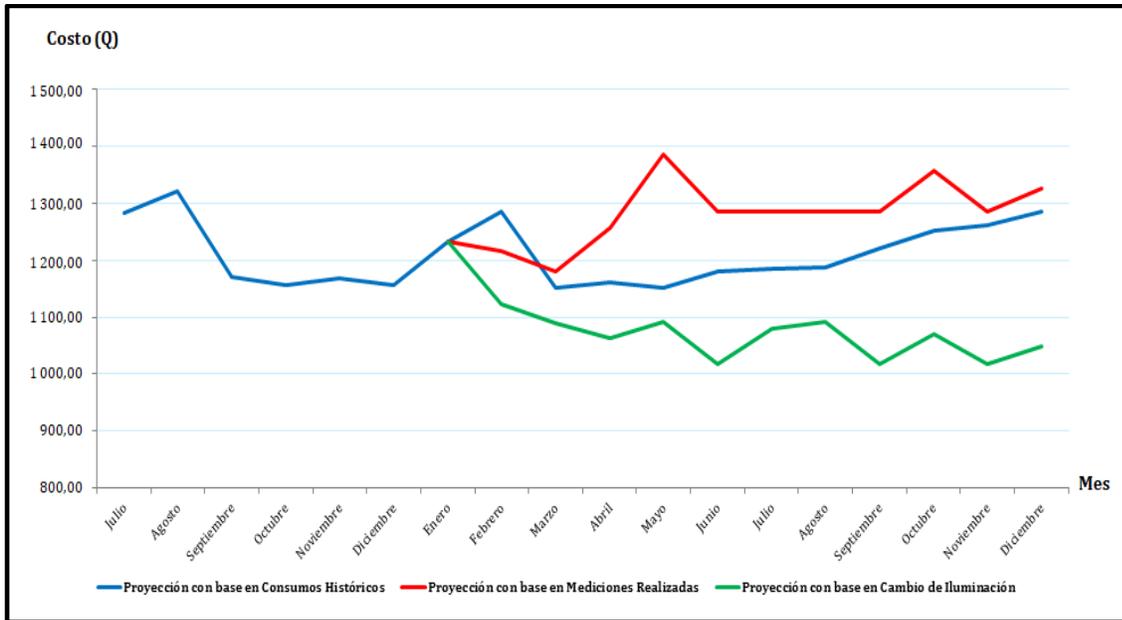
Tabla XLVII. Proyección de ahorro económico en el costo de consumo de energía eléctrica mensual

Mes	Energía Estimada (kWh)	Tarifa (Q)	Cobro (Q)	Con Cambio de Iluminación (kWh)	Tarifa (Q)	Cobro (Q)
Enero	2 059,19	0,7211	1 484,88	1 513,5	0,7211	1 091,38
Febrero	1 687,32	0,7211	1 216,73	1 240,18	0,7211	894,29
Marzo	1 774,99	0,7211	1 279,95	1 304,62	0,7211	940,76
Abril	1 881,10	0,7211	1 356,46	1 382,61	0,7211	997,00
Mayo	2 059,19	0,7211	1 484,88	1 513,5	0,7211	1 091,38
Junio	1 921,70	0,7211	1 385,74	1 412,45	0,7211	1 018,52
Julio	1 059,19	0,7211	763,78	778,5	0,7211	561,38
Agosto	2 059,19	0,7211	1 484,88	1 513,5	0,7211	1 091,38
Septiembre	1 921,70	0,7211	1 385,74	1 412,45	0,7211	1 018,52
Octubre	2 018,59	0,7211	1 455,61	1 483,66	0,7211	1 069,87
Noviembre	1 921,70	0,7211	1 385,74	1 412,45	0,7211	1 018,52
Diciembre	1 977,99	0,7211	1 426,33	1 453,82	0,7211	1 048,35

Fuente: elaboración propia.

La figura 22 representa la comparación entre las proyecciones de los consumos de energía eléctrica para el 2018 en las instalaciones del edificio del museo.

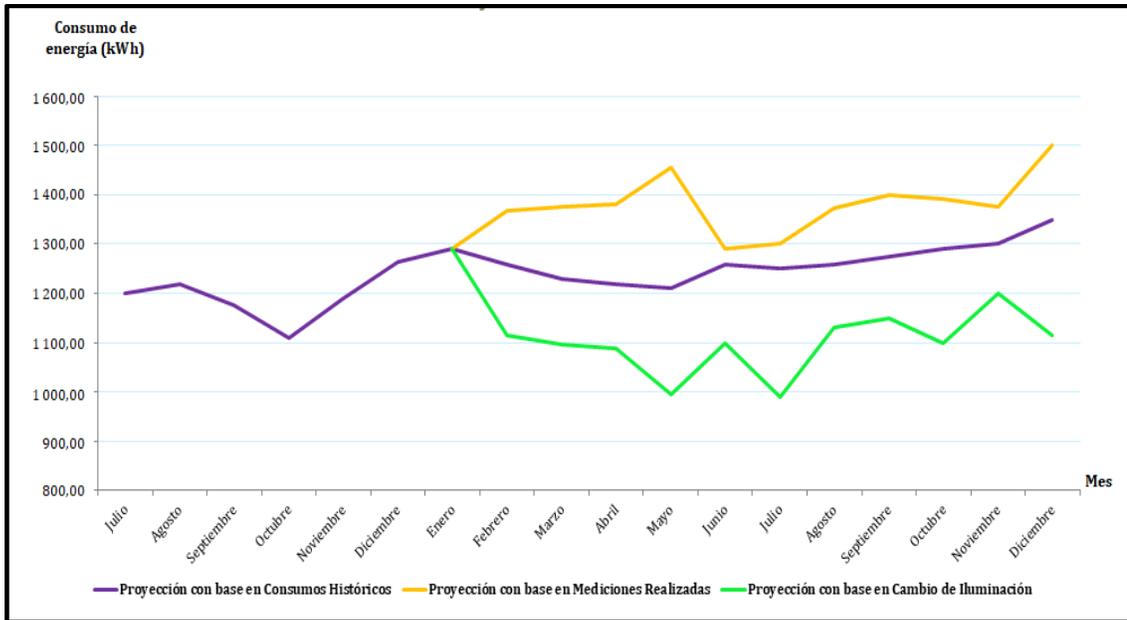
Figura 22. **Comparación de proyecciones por costo económico en quetzales del consumo de energía eléctrica con cambio de iluminación**



Fuente: elaboración propia.

La siguiente gráfica muestra en color morado la proyección del costo del consumo de energía eléctrica estimado para el 2018 con base en los registros históricos de consumo, en color amarillo el costo del consumo de energía eléctrica estimado para el 2018 con base en las mediciones realizadas en el tablero de distribución principal y en color verde el consumo esperado luego del cambio de luminarias en la instalación.

Figura 23. **Proyección de consumo de energía eléctrica en kWh basados en registros históricos, registros medidos y con cambio de luminaria**



Fuente: elaboración propia.

12.3. Buenas prácticas y hábitos de consumo

Esta es la medida que representa una mayor dificultad de implementación dentro del edificio del museo, esto debido a que implica el cambio de conductas y hábitos de consumo de los recursos energéticos del lugar de parte de los empleados, lo cual es un reto que sin duda alguna repercutirá de manera positiva para el ahorro en la institución.

Esta medida representa para el edificio una inversión nula y un ahorro del 15 % en el uso de equipo eléctrico de oficina.

Tabla XLVIII. **Costos de inversión**

Inversión inicial	Q 0,00
Ahorro mensual	Q 29,26
Ahorro anual	Q 351,11
Retorno de inversión	NA
Vida útil del proyecto	NA

Fuente: elaboración propia.

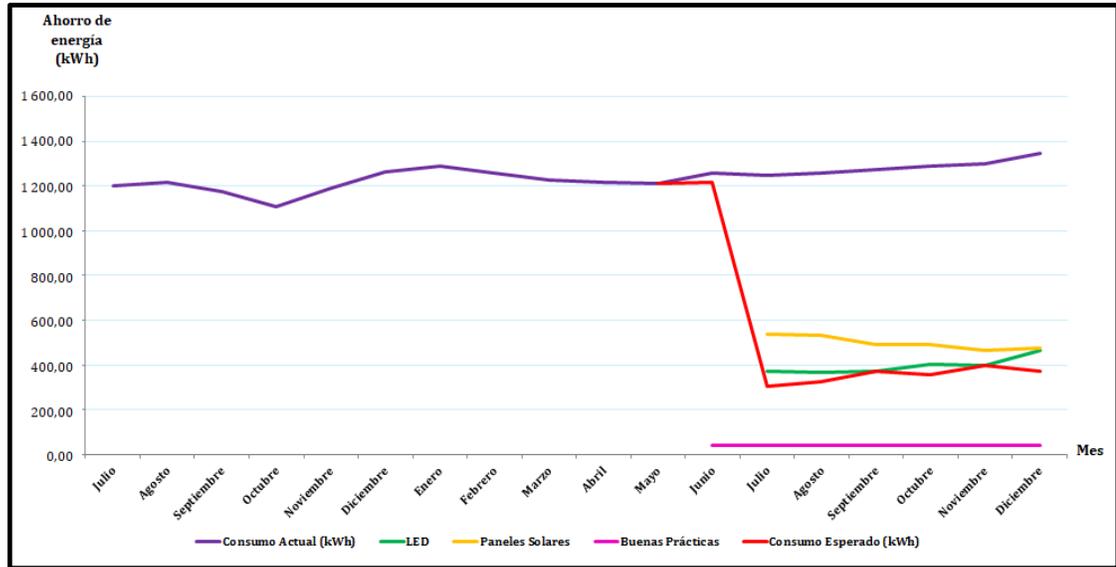
Esta es la medida con mayor rentabilidad ya que el costo-beneficio de su implementación es el mejor indicador de reducción de consumos.

Al realizar la implementación de todas las medidas de mejora, el Museo de Arte Moderno tendrá un ahorro energético anual de 11 362,74 kWh que se verán reflejados en un ahorro económico de Q. 8 193,67 anuales.

Actualmente el costo del consumo energético del museo es de Q.15 532,00 por año, es decir, que la implementación de las medidas de mejora descritas anteriormente provocará la reducción del 52,7 % anual en el costo de este servicio.

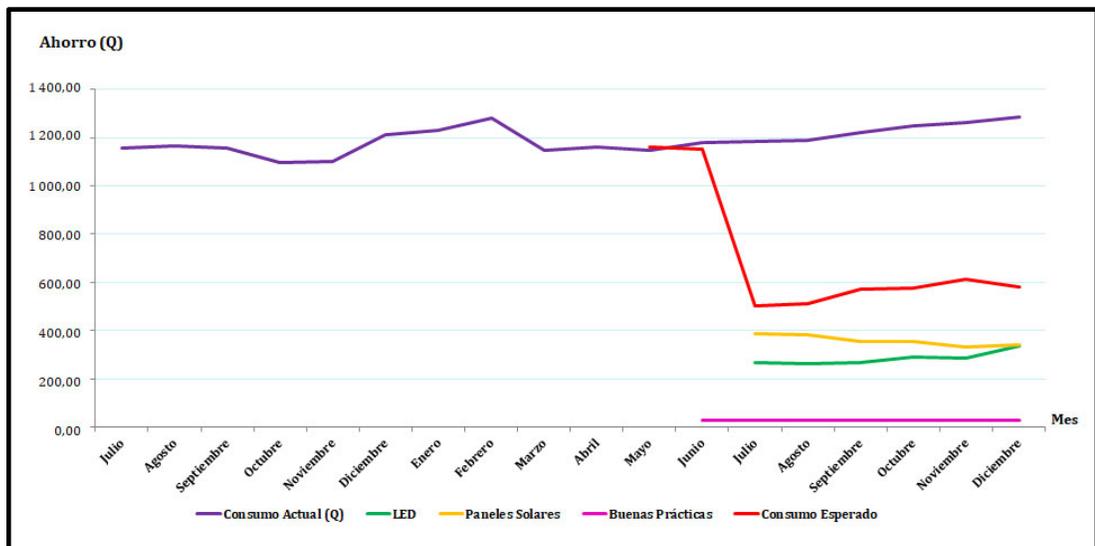
En las siguientes figuras se muestran gráficos que denotan de mejor manera el comportamiento energético y económico derivado de la implementación de las medidas.

Figura 24. Ahorro energético



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Ahorro económico



Fuente: elaboración propia.

13. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Son cinco los gases de origen humano que contribuyen en mayor medida al aumento del calentamiento global, siendo el mayor aporte el del Dióxido de Carbono, el cual aporta más del 50 % del nivel de calentamiento global en el planeta. Este gas es resultado de procesos como el empleo de combustibles, la deforestación o la producción de cementos y otros bienes. Su permanencia en la atmósfera varía, pero es muy alta en cualquier caso: el 80 % dura hasta 200 años y el 20 % restante puede durar hasta 30 000 años en desaparecer.

Guatemala, como parte de su compromiso con el medio ambiente y sus aportes a la reducción del calentamiento global, lanzó en el 2017 un Plan Nacional de Energía que tiene como finalidad reducir para el 2032 en un 29,2 % las emisiones de gases de efecto invernadero en el país.

Para la elaboración de este Plan Nacional de Energía se contó con la participación del Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y la Secretaría de Planificación de la Presidencia (SEGEPLAN).

El plan busca dar prioridad al uso de fuentes de energía renovable para diversificar la matriz energética, sustituyendo el uso de la leña por nuevas fuentes energéticas. La meta del plan es lograr una reducción del 29,2 % de emisión de gases, lo cual equivale a evitar un total de 11,9 millones de toneladas de Dióxido de Carbono en el país para el 2032.

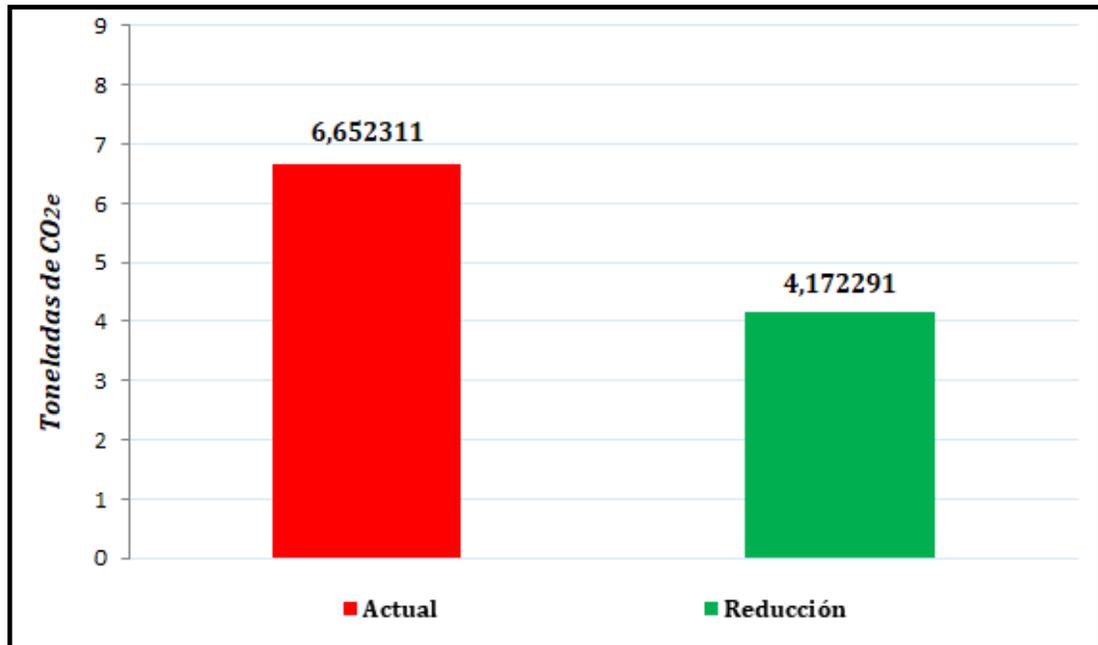
Debido a lo expuesto anteriormente, se busca lograr a través de esta auditoría energética realizada en el Museo de Arte Moderno, que el edificio de esta institución también forme parte de los esfuerzos del estado de Guatemala para el cumplimiento del ahorro energético y uso eficiente de los recursos con los que cuenta, contribuyendo también en sus buenas prácticas y hábitos de consumo para la reducción de la emisión de estos gases.

Actualmente, el Museo de Arte Moderno Carlos Mérida consume un total de 18 100 KWh de energía al año, lo cual genera un total de 6,65 toneladas de CO₂ en emisiones de gases de efecto invernadero según el factor de emisión de GEI en la red eléctrica del sistema nacional interconectado.

Al implementar las medidas de ahorro y eficiencia energética se reducirían estas emisiones a 4,17 toneladas de CO₂.

Por tanto, es importante la implementación de las medidas propuestas en los capítulos anteriores, con las cuales se lograría evitar un total de 2,48 toneladas de CO₂ por año.

Figura 26. Emisiones de CO2 por año en el museo



Fuente: elaboración propia.

14. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 EN EL MUSEO DE ARTE MODERNO

14.1. Definición

La norma ISO 50001 es la nueva norma internacional de sistemas de gestión de la energía (SGE). Tiene como objetivo mantener y mejorar un sistema de gestión de energía en una institución cuyo propósito es el de permitirle una mejora continua de la eficiencia energética, la seguridad energética, la utilización de energía y el consumo energético con un enfoque sistemático. Este estándar apunta a permitir a las organizaciones mejorar continuamente la eficiencia, los costos relacionados con energía, y la emisión de gases de efecto invernadero.

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

14.2. Importancia de la aplicación de la norma

El objetivo principal de esta norma es mejorar el desempeño energético y de eficiencia energética de manera continua dentro de la instalación y, adicionalmente, identificar oportunidades de reducción de costos de utilización del recurso energético.

Una gestión consistente de la energía ayudará al museo a descubrir y a aprovechar su potencial de eficiencia energética. El edificio se puede beneficiar

también de ahorros en costos, y realizar una contribución significativa a la protección climática y del medio ambiente (por ejemplo, a través de una reducción permanente en las tasas de emisión de gases de efecto invernadero).

La aplicación de esta normativa deberá alertar a los empleados y en particular a los directivos de la institución acerca de las posibles ganancias de largo plazo en relación a su consumo energético. La organización puede descubrir posibles ahorros y ventajas competitivas.

14.3. Estructura y contenido de la norma

La norma se estructura y divide en las siguientes secciones:

- Objetivo y campo de aplicación
- Referencias normativas
- Términos y definiciones
- Requisitos del sistema de gestión de la energía
 - Requisitos generales
 - Responsabilidad de la dirección
 - Política energética
 - Implementación y operación
 - Verificación
 - Revisión por la dirección

14.3.1. Objetivo y campo de aplicación

El objetivo de la norma es brindar al establecimiento los requisitos necesarios para establecer un sistema de gestión de la energía en la institución, con el fin de realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético del museo.

El campo de aplicación de esta normativa está dirigido a todas aquellas instituciones que quieren demostrar que han implantado un sistema de gestión energética buscando su coherencia con la política energética hecha por la institución y además, que se han comprometido con el ahorro energético para reducción de costos del presupuesto del estado del país en el que se encuentran.

14.3.2. Referencia normativa

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha creado normas de sistemas de gestión en diversas áreas, con el fin de ayudar a las organizaciones a mejorar su desempeño siendo las más utilizadas la norma ISO 9001 sobre gestión de calidad y la norma ISO 14001 sobre gestión medio ambiental.

La norma ISO 50001 se basa en el modelo ISO de sistemas de gestión, que permite a una organización definir una estructura probada para lograr la mejora continua del desempeño energético y del sistema de gestión de la energía en sus procesos.

14.3.3. Términos y definiciones

Línea base energética: es un período de tiempo significativo de datos sobre la utilización de la energía en el edificio, tanto en el pasado como en el presente. Esta se mantiene y se registra como un medio para que el edificio determine el desempeño energético futuro.

Desempeño energético: resultados medibles relacionados a la eficiencia energética, utilización y consumo de la energía en la institución.

Indicador de desempeño energético (IDE): valor o parámetro cuantitativo definido por la institución para establecer como nivel de referencia del desempeño energético. Estos indicadores pueden cambiar de valor o actualizarse conforme se obtengan mejores resultados a futuro con la aplicación de la norma.

Sistema de gestión de energía: conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan entre sí para establecer una política energética y objetivos energéticos, además de los procesos y procedimientos para alcanzar esos objetivos.

14.3.4. Requisitos del sistema de gestión de la energía

En la propuesta de implementación de la Norma 50001 en el Museo de Arte Moderno, anteriormente se describió la importancia de cierta norma, así como la estructura y contenido de la misma, parte de la estructura, es necesario mostrar los requisitos del sistema de gestión de la energía, los cuales se describen en los siguientes apartados.

14.3.4.1. Requisitos generales

Los requerimientos de la ISO 50001 para la aplicación de la misma se clasifican por requisitos medulares y requisitos estructurales como se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla XLIX. **Requerimientos de la ISO 50001**

Requisitos medulares	Requisitos estructurales
Son esenciales para observar y mejorar el desempeño energético. Son todos aquellos requisitos centrados en la gestión misma de la energía.	Son aquellos que proveen la estructura en torno a los requisitos medulares y que convierten a la gestión de la energía en un proceso sistemático y controlado.

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos estructurales principales son:

- Responsabilidad de la dirección
- Representante de la dirección
- Política energética
- Planificación energética
- Implementación y operación de la política energética
- Auditoría interna del sistema de gestión de la energía
- Revisión de resultados por la dirección

Los requisitos medulares principales son:

- Establecimiento de la línea base energética
- Formulación de los indicadores de desempeño energético
- Establecimiento de los objetivos y metas energéticas a alcanzar
- Control de la operación del servicio de energía
- Seguimiento de los procesos, medición y análisis de resultados.

Nota: el contenido de cada uno de los requisitos debe consultarse directamente en las versiones oficiales de ISO 50001. Los títulos de los requisitos pueden cambiar en futuras ediciones de la norma ISO 50001, pero de forma general no cambian las acciones necesarias para implementar un sistema de gestión de la energía.

14.3.4.2. Responsabilidad de la dirección

Para asegurar el éxito del sistema de gestión de la energía (SGE), es indispensable contar con el compromiso de la dirección del museo, en donde generalmente se toman las principales decisiones estratégicas y operativas de la institución. La dirección deberá asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para la implementación y la mejora del desempeño energético. Durante la etapa de implementación, esta debe manifestar su compromiso mediante la designación de un representante como responsable del SGE, asignar recursos y definir la política energética de la institución.

14.3.4.3. Política energética

La Política Energética será el principal instrumento mediante el cual el museo expresará formalmente su compromiso y apoyo a la gestión de la

energía. La política deberá ser concretada por la dirección del museo, mediante un documento firmado que incluya las principales líneas de acción en materia de gestión de la energía.

La política energética deberá ser una breve declaración para que los miembros que laboran dentro del museo puedan entenderla fácilmente y aplicarla en sus actividades laborales. Además tiene que ser apropiada a la magnitud del uso y consumo de la energía, incluyendo un compromiso de mejora continua en el desempeño energético. Asimismo, debe asegurar la disponibilidad de información y de recursos necesarios para alcanzar los objetivos y metas, e incluir un compromiso con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que el museo suscriba relacionados con el uso y consumo de la energía y la eficiencia energética.

Finalmente, la política deberá ser documentada y comunicada a todos los niveles jerárquicos y laborales de la institución y deberá ser revisada y actualizada regularmente. Esta debe divulgarse ampliamente a todas las partes interesadas, de modo tal que se demuestre el compromiso de la dirección del museo frente a sus colaboradores.

Se deberá aprovechar los canales de comunicación existentes como correo electrónico, pantallas informativas, página de internet de la institución, además de la elaboración de trifolios y carteles para las salas de reuniones y lugares de tránsito de personas dentro del edificio.

A continuación se muestra un prototipo de política energética que puede ser utilizado en el museo para llevar a cabo la implementación de esta norma en el edificio. Únicamente es una propuesta y puede ser redactada y/o modificada según consideración de la dirección del lugar.

Figura 27. **Política energética**

<h2><u>POLÍTICA ENERGÉTICA</u></h2>	
<p><i>Museo de Arte Moderno Carlos Mérida</i> <i>Guatemala 2018</i></p>	
<p>El Museo de Arte Moderno es consciente de que el cumplimiento de su misión y objetivos es importante y, a su vez, del compromiso que adquiere de ser una institución sostenible y sustentable. Para el museo, el uso eficiente de los recursos energéticos es un pilar fundamental para ser competitivos y sustentables ambientalmente.</p>	
<p>Para ello, el museo contará con metas energéticas exigentes en sus labores y actividades con un sistema de gestión de la energía bajo estándar ISO 50001, con el fin de lograr una mejora continua en el desempeño energético del edificio.</p>	
<p>El museo apuesta por alcanzar un desempeño energético mejorado adquiriendo los siguientes compromisos:</p>	
<ul style="list-style-type: none">❖ Mejorar el desempeño energético dentro del edificio.❖ Fomentar el uso eficiente de la energía y el ahorro energético en sus instalaciones.❖ Implementar nuevas tecnologías y mejorar las existentes para consumir energía en las instalaciones de manera más eficiente.❖ Mejorar los hábitos de consumo de la energía por parte de los trabajadores y personal relacionado con el Museo.❖ Fomentar, en la medida que sea posible, el empleo de tecnologías renovables de producción de energía.❖ Asegurar la disponibilidad de información y recursos para lograr los objetivos y metas energéticas trazadas.❖ Apoyar la compra de productos y equipos eficientes en energía con el fin de mejorar el rendimiento energético.❖ Cumplir con los requisitos aplicables relacionados con sus usos y consumos energéticos.	
<p>Este compromiso es adquirido y aplicable tanto para la dirección como para los empleados del edificio, y como constancia de la validez del mismo, se firma y sella a continuación por ambas partes interesadas.</p>	
<p>Fecha del Consenso</p>	
<p>Dirección</p>	<p>Empleado</p>

Fuente: elaboración propia.

14.3.4.4. Implementación y operación

Las principales acciones y actividades que se deben llevar a cabo en el museo para iniciar con la implementación de la Norma ISO 50001 dentro del lugar en busca de la certificación futura del edificio, son las siguientes:

- Elaboración de una auditoría energética en el edificio para poder conocer los consumos de energía eléctrica dentro del museo y la forma de utilización de la misma así como el hábito de consumo de este recurso.
- Realización de un levantamiento eléctrico en el edificio para determinar todas las cargas conectadas y equipos consumidores de electricidad en la instalación.
- Realizar un análisis técnico-económico del estado de la instalación así como del uso de los recursos dentro del edificio de manera mensual y anual.
- Establecer planes de mejora en la utilización racional de la energía dentro del lugar así como sensibilizar a los empleados para mejorar sus hábitos de consumo en la institución.
- Creación de una política energética para aplicación en el edificio, la cual debe ser acatada y respetada por todos los empleados del lugar y supervisada por los directivos de la institución con el fin de que se monitoree el cumplimiento de los objetivos establecidos en la misma.
- Obtención de resultados y revisión de los mismos para establecer medidas de mejora continua que permitan incrementar progresivamente los indicadores positivos de las medidas implementadas en eficiencia energética dentro del museo.

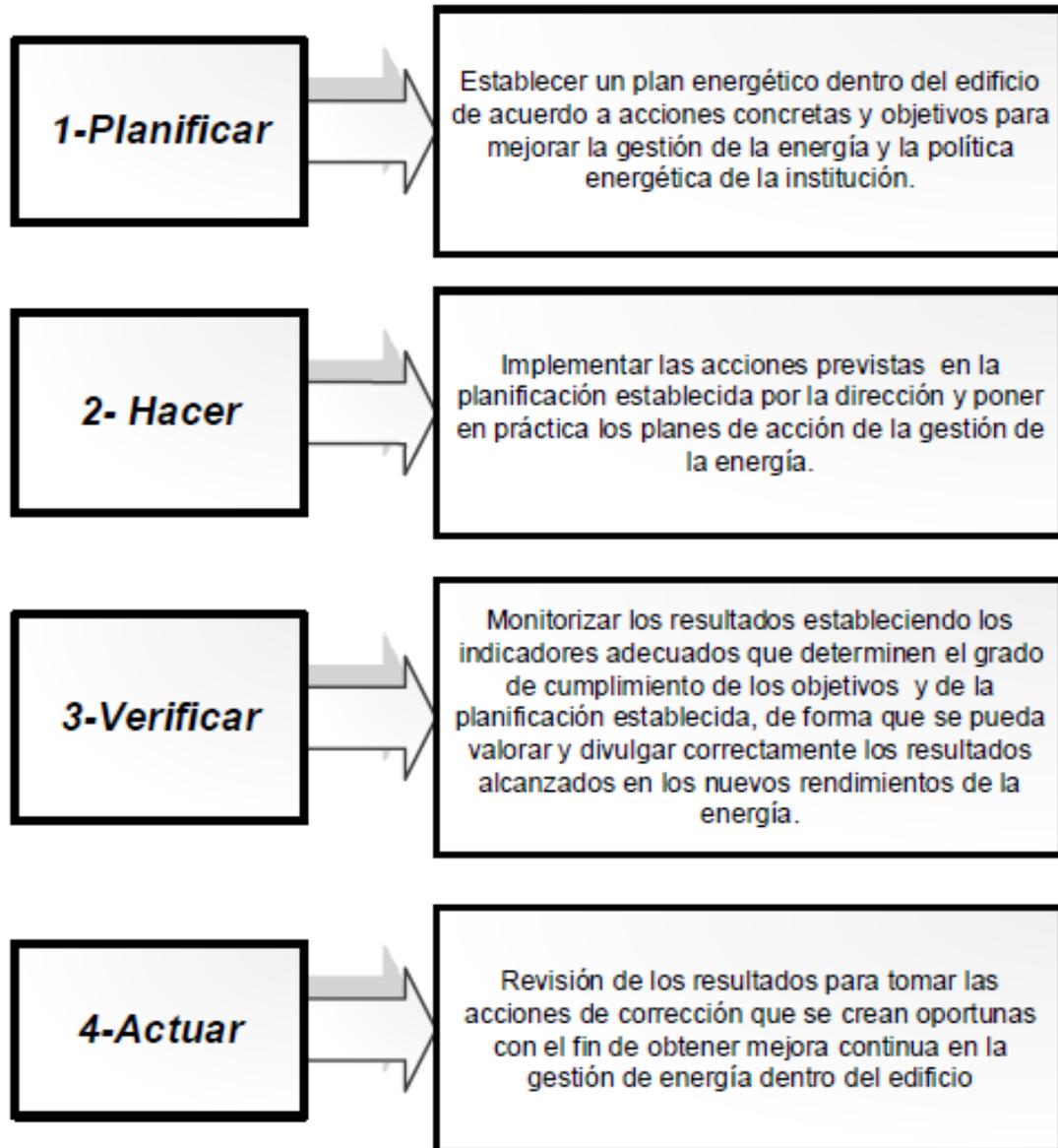
14.3.4.5. Verificación y revisión por la dirección

Periódicamente la dirección deberá analizar los resultados obtenidos por medio de la implementación de la norma, revisarlos y compararlos con los indicadores establecidos al inicio del programa, debiendo así, hacer las modificaciones respectivas y las actualizaciones necesarias de los indicadores con el objetivo de continuar mejorando su sistema de gestión energética indefinidamente.

14.4. Metodología de aplicación de la norma

La metodología de aplicación de la Norma ISO 50001 dentro del museo deberá basarse en el círculo de procesos de *Deming* (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar). Estas cuatro fases deberán realizarse de la siguiente manera:

Figura 28. Fases para la aplicación de la metodología



Fuente: ISO 50001. International Organization for Standardization. Documentación.

14.5. Beneficios y resultados finales de la aplicación de la norma

Al implementar la Norma ISO 50001 en el Museo de Arte Moderno, los resultados finales que podrán obtenerse a partir de esta gestión son:

- Se tendrá un consumo más eficiente y racional de los recursos
- Se creará una política energética de uso eficiente de la energía en el edificio.
- Se promoverá en los empleados las mejores prácticas en gestión energética.
- Se evaluará y priorizará la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética en el lugar.
- Se contribuirá con el medio ambiente a través de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.
- Se reducirán los costos de consumo del recurso energético y se obtendrá un mayor ahorro mensual y anual en el presupuesto de la institución y del estado.

15. CÁLCULOS BÁSICOS DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL

Para dimensionar una instalación eléctrica industrial, lo primero a tener en cuenta son las cargas que deben ser alimentadas por esta. La potencia total del conjunto de todos los aparatos y máquinas que están conectados a la instalación es la potencia instalada.

Para el correcto diseño de la instalación eléctrica no se debe tomar en cuenta únicamente el valor de la potencia total instalada sino que también es necesario aplicar distintos factores de corrección, los cuales son:

- Factor de simultaneidad: factor inferior a la unidad que tiene en cuenta que no todas las cargas están funcionando simultáneamente.
- Factor de utilización: factor inferior a la unidad que tiene en cuenta que una carga no siempre funciona con su potencia máxima.
- Factor de mayoración: factor superior a la unidad que se aplica a cierto tipo de cargas para tener en cuenta el consumo de sus equipos auxiliares o que en ciertos instantes puede consumir una potencia mayor que la nominal, entre otros.

Los cálculos determinantes al momento de diseñar una instalación eléctrica de baja tensión se detallan y explican a continuación.

15.1. Cálculo de la acometida

El cálculo de la acometida de una instalación industrial prácticamente se basa en los cálculos usuales con los cuales se determina el calibre de conductor según la corriente que fluirá a través de él, la demanda máxima que mantendrá y el nivel de tensión a suministrar. Los datos necesarios para calcular la acometida de una instalación son:

- Potencial total demandada S, en KVA
- Nivel de tensión a suministrar, en voltios

Luego de determinar los valores anteriores, es necesario de aplicar los distintos factores que intervienen en el desempeño óptimo de la instalación como lo es el factor de simultaneidad, el de temperatura y el de caída de tensión. Esto con el fin de determinar la potencia aparente total por fase. Finalmente, dividiendo los KVA encontrados por cada fase entre el nivel de tensión suministrado, se hallará el valor de corriente a fluir por cada conductor.

Con el valor de corriente ya conocido se procede a seleccionar en las tablas internacionales de conductores el tipo de cable que mejor se adecúe a las características determinadas para la instalación y de esta forma se determina el calibre a utilizar en los cables de la acometida eléctrica.

15.2. Cálculo de I_{CC}

Se puede definir un cortocircuito como una conexión accidental o intencionada entre dos o más partes conductoras, forzando a que la diferencia de potencial eléctrico entre ambas partes sea igual o cercana a cero. Para el cálculo de la corriente de cortocircuito no solo es importante la corriente

máxima, sino que también es necesario determinar la corriente mínima de cortocircuito ya que esta es la que ayudará a dimensionar las protecciones de la instalación.

La corriente de cortocircuito consta de una corriente alterna de frecuencia de servicio, con amplitud variable en el tiempo, y de una corriente continua (aperiódica) superpuesta que se atenúa hasta hacerse cero.

Los parámetros eléctricos más importantes a determinar las protecciones contra corriente de cortocircuito son:

- La corriente en el punto de falla
- La potencia del cortocircuito en el punto de falla
- La distribución de corrientes postfalla en todas las líneas de la instalación.
- Las tensiones postfalla en todas las barras

Luego de conocer los parámetros principales de la instalación, la ecuación a utilizar para determinar el valor de las corrientes de cortocircuito es la siguiente:

$$I_{CC} = \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot |Z|}$$

Dónde:

V_n = es la tensión nominal de la línea

$|Z|$ = es la impedancia total de la instalación

c = es el factor de tensión, una relación entre la tensión equivalente y la tensión nominal del sistema

Los valores del factor de tensión más usuales se muestran a continuación según la normativa IEC:

Tabla L. Valores del factor tensión

Tensión nominal U_n	Factor de tensión c para el cálculo de:	
	corrientes máximas de cortocircuito $c_{m\acute{a}x}$ ⁽¹⁾	corrientes mínimas de cortocircuito $c_{m\acute{i}n}$
Baja tensión 100 V a 1000 V (IEC 60038, tabla I)	1,05 ⁽³⁾ 1,10 ⁽⁴⁾	0,95
Media tensión > 1 kV a 35 kV (IEC 60038, tabla III)	1,10	1,00
Alta tensión ⁽²⁾ > 35 kV a 380 kV (Norma IEC 60038, tabla IV)		
⁽¹⁾ $c_{m\acute{a}x} U_n$ no debe exceder la máxima tensión U_m para equipamientos de sistemas de potencia. ⁽²⁾ Si no se define una tensión nominal, se debe aplicar $c_{m\acute{a}x} U_n = U_m$ o $c_{m\acute{i}n} U_n = 0,90 U_m$. ⁽³⁾ Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de + 6 %, por ejemplo para sistemas renombrados de 380 V a 400 V. ⁽⁴⁾ Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de + 10 %.		

Fuente: HARPER GILBERTO. *Instalaciones y sistemas eléctricos industriales*. p.179.

Como generalmente se desconoce la impedancia total del circuito de alimentación a la red (impedancia del transformador, red de distribución y acometida) se admite que en caso de cortocircuito la tensión en el inicio de las instalaciones de los usuarios se puede considerar como 0,8 veces la tensión de suministro. Por lo tanto, también se puede hacer uso de la siguiente ecuación simplificada para determinar la corriente de cortocircuito en un punto deseado:

$$I_{CC} = \frac{0,8 \cdot V_n}{R}$$

Donde R es la resistencia del conductor de fase entre el punto considerado y la alimentación.

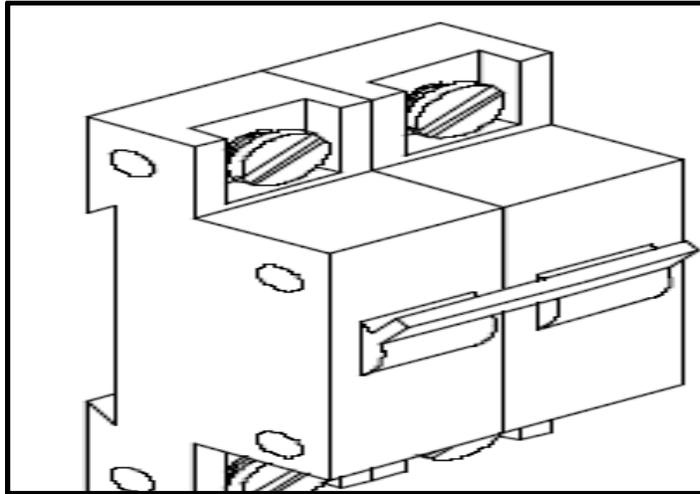
15.3. Cálculo de los interruptores

Existen diferentes tipos de dispositivos de protección para instalaciones de baja tensión entre los cuales, los más utilizados son los interruptores automáticos, fusibles y las protecciones contra sobretensiones. En este apartado se analizarán las características y condiciones de diseño y dimensionamiento de los interruptores automáticos por ser los más comunes en instalaciones residenciales y comerciales.

- **Interruptores automáticos**

Estos dispositivos sirven para proteger a los circuitos contra sobreintensidades, es decir, contra corrientes superiores a su valor asignado. Las sobreintensidades pueden ser sobrecargas o cortocircuitos.

Figura 29. **Interruptores automáticos**



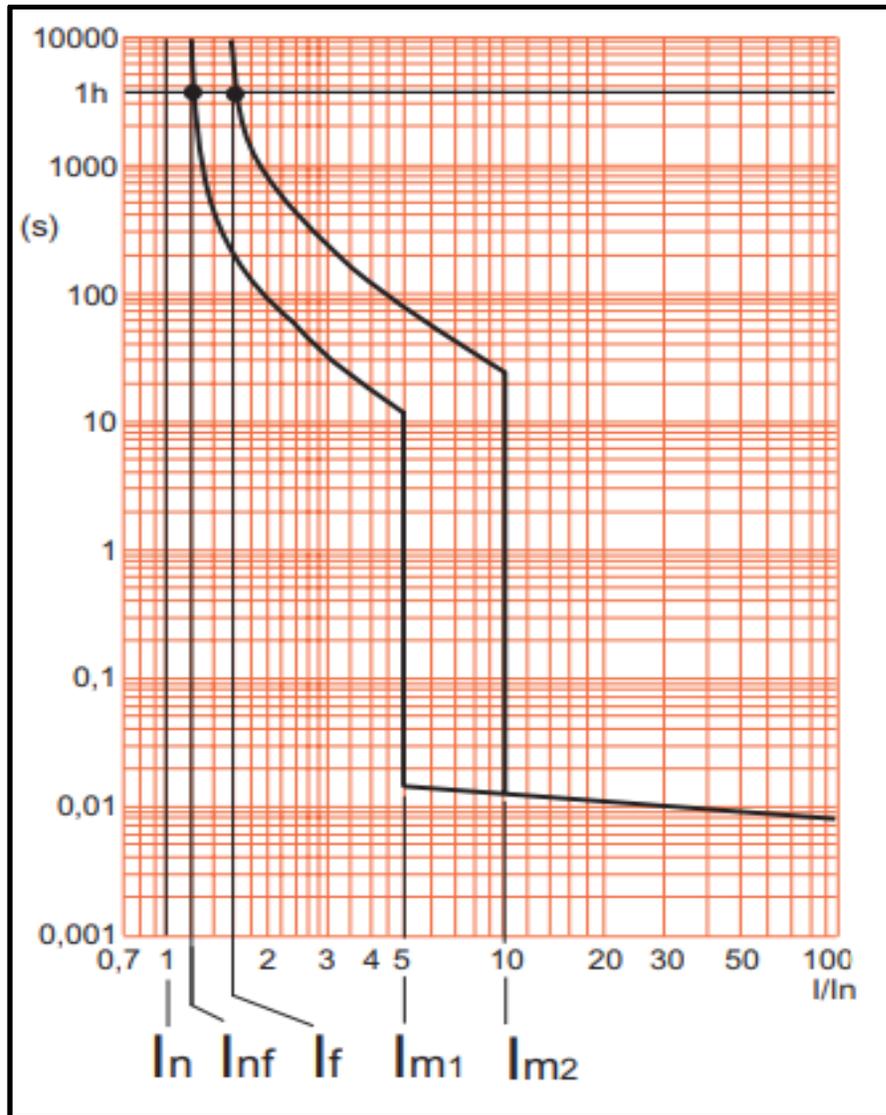
Fuente: elaboración propia.

Las características eléctricas de los interruptores automáticos con las que se realiza el diseño y cálculo de la protección para una instalación son:

- Corriente nominal (I_n)
- Corriente convencional de no disparo (I_{nf})
- Corriente convencional de disparo (I_f)
- Límites inferior y superior de corriente que provocan el disparo (I_{m1} y I_{m2})

La curva característica de este dispositivo de protección es como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Curva del dispositivo de protección



Fuente: MARTZLOFF. *Coordination of surge protectors in low-voltage AC power circuits.*

La diferencia de estos dispositivos respecto a los fusibles consiste en que, una vez encontrado el problema que ocasionó la sobreintensidad y habiéndolo reparado y eliminado, el interruptor automático puede rearmarse nuevamente a

su posición original (cerrado) para que continúe permitiendo el paso de corriente a través de él alimentando así la carga conectada.

Tomando en cuenta lo explicado anteriormente, se debe analizar cuánta corriente fluirá por cada circuito o derivación del tablero de distribución y así, colocar por circuito individual, un interruptor con corriente nominal un poco mayor a dicha corriente, de forma que, a elevarse abruptamente la corriente en un circuito, este se abra automáticamente liberando la falla y no permitiendo que los equipos conectados se dañen así como tampoco la instalación.

15.4. Cálculo de las barras de tablero

Los factores más determinantes a tomar en cuenta al momento de dimensionar el tablero de distribución de la instalación eléctrica son:

- Condiciones de la superficie de contacto: esta deberá ser plana mas no pulida. De hecho, la resistencia del contacto es de menor relevancia si las superficies de contacto presentan un estado de rugosidad media.
- Superficie de contacto: esta no debe ser inferior a 5 veces el espesor del más delgado de los conductores.
- Fuerza de apriete necesaria: esta no debe permitir opción de flojedad en la conexión de los conductores pero tampoco puede poner en riesgo al material metálico de que este pierda su rosca y se deforme.

En la actualidad se utilizan mayormente dos materiales para hacer la instalación de las barras en los tableros de distribución, cobre y aluminio. El cobre es más recomendable por sobre el aluminio excepto en la característica de su peso. La conductividad del cobre permite utilizar una barra de menor sección, reduciendo así el espacio ocupado en el tablero.

Por último, para determinar la sección y el número de barras por fase se hace a partir de conocer las siguientes características de la instalación:

- Intensidad nominal
- Temperatura ambiente máxima
- Máximo aumento de temperatura admisible
- Tipo de barras (perforadas o lisas)
- Tipo de demanda (continua o intermitente)

16. CÁLCULOS Y CRITERIOS PARA LA INSTALACIÓN DE PARARRAYOS DE PROTECCIÓN

Los pararrayos son elementos de protección que están destinados a preservar edificaciones, estructuras y zonas de terreno donde los impactos directos del rayo y sus descargas atmosféricas son canalizados hasta el suelo.

Los tipos de pararrayos más comunes que existen son los de tipo jaula de Faraday, y con puntas. A su vez, los de puntas pueden ser con dispositivos ionizantes o de cebado y sin dispositivos ionizantes.

Para un pararrayos deben tomarse en cuenta ciertos criterios de montaje como son: asegurar la ubicación de las puntas, naturaleza y sección de los materiales utilizados para los bajantes, trayectoria de los bajantes, fijación mecánica de los diferentes elementos de la instalación, respetar las distancias de seguridad y/o la presencia de uniones equipotenciales, entre otros.

La instalación del pararrayos debe cumplir con la Norma UNE 21-186 que regula su instalación y mantenimiento, el cual especifica que el pararrayos debe estar al menos dos metros por encima de cualquier otro elemento dentro de su radio de protección.

Los componentes de un pararrayos convencional con base en la Norma NFC 17-102 son: un cabezal captador, mástil, cable conductor de bajada, tubo de protección del cable de bajada y el electrodo de toma de tierra.

16.1. Disposiciones particulares

El tipo de pararrayos a instalar así como su ubicación depende directamente del tipo de área en la que es necesario ya que el entorno afecta las propiedades de cada uno de los tipos de pararrayos que existen, por lo cual, los distintos tipos se adecúan de mejor manera según como se detalla a continuación. Este criterio de selección de pararrayos según el tipo de instalación a proteger y según su entorno también es generado a partir de normativas y estándares internacionales.

- Antenas

La existencia de una antena sobre el tejado de un edificio aumenta los riesgos de impacto de rayo y este puede convertirse en el primer elemento susceptible de recibir la descarga.

Cuando se trata de una antena receptora, el mástil que soporta la antena debe estar unido directamente o por medio de una vía de chispas a los conductores de bajada de la instalación, mediante un conductor adecuado, excepto si la antena está fuera de la zona protegida o sobre otro techo. El cable coaxial deberá protegerse con un protector contra sobretensiones.

- Techos de palma o paja

En los casos en los que haya presencia de este tipo de techos, la mejor opción es la protección por medio de un pararrayos con puntas de ionización, instalado sobre la cumbrera. La bajante recorrerá el techo sobre soportes aislantes separados entre sí de 0,20 a 0,25 metros, y baba sobre las rampas de palma o paja, según sea el caso.

- Chimeneas de fábricas

Por su gran altura y la ionización del aire que producen los humos y los gases calientes, las chimeneas de las fábricas son puntos de impacto preferentemente de la descarga. La parte alta de la chimenea debe estar provista de una punta ionizante, preferentemente de material adaptable a un ambiente corrosivo y a la temperatura de los desechos, y está ubicada del lado del viento dominante.

- Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos

Los depósitos que contengan líquidos inflamables deben estar conectados a tierra, pero solo esta puesta tierra no es suficiente para sustituir una protección contra descargas atmosféricas. Por lo tanto, es necesario un pararrayos con dispositivos ionizantes.

Los pararrayos con dispositivos ionizantes se sitúan sobre mástiles, postes, pilares o cualquier estructura exterior al perímetro de seguridad, de manera que domine las instalaciones por proteger. Su instalación debe tomar en cuenta los radios de protección según el fabricante del elemento.

- Estructuras ubicadas en puntos elevados

Los restaurantes, los refugios, las instalaciones telefónicas, entre otros, situadas en puntos elevados están particularmente expuestos a la caída de rayos. El pararrayos de puntas ionizantes se instalará como lo establecido. La realización de las uniones equipotenciales y de las tomas de tierra deben ser especialmente cuidadas.

- Zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas

Terrenos de deporte, áreas campestres, parques de caravanas, piscinas, hipódromos, circuitos automovilísticos, parques de atracciones, entre otros., se les debe instalar pararrayos de puntas ionizantes sobre mástiles de banderas, los postes de alumbrado o toda otra estructura existente, cuyo número e instalación debe cumplir con lo ya establecido.

- Árboles

Ciertos árboles aislados constituyen potenciales puntos de impacto preferentes del rayo, debido a su altura y forma. En aquellos lugares en los que exista un riesgo para la seguridad del entorno (por ejemplo: proximidad de un edificio) o cuando el árbol sea de interés estético o histórico, se puede proteger el árbol de forma efectiva instalando un pararrayos de puntas ionizantes en el punto más elevado del mismo.

16.2. Conductores de bajada

Estos elementos están destinados a conducir la corriente del rayo desde los dispositivos de captación hasta los tomas de tierra. Se sitúan exactamente en el exterior de la estructura.

- Número de bajantes

Cada pararrayos de puntas ionizantes estará unido a tierra, al menos por una bajante. Se requerirá de al menos dos bajantes en los siguientes casos:

- Si la trayectoria horizontal del conductor es más grande que su trayectoria vertical

- En el caso de la realización de instalaciones sobre estructuras de altura superior a los 28m.

Las dos bajantes deben realizarse sobre dos fachadas distintas, siempre que esto sea posible.

- Trayectoria del bajante

El conductor de bajada se instalará de tal forma que su recorrido sea lo más directo posible. Su trazado tendrá en cuenta el emplazamiento de la toma de tierra y deberá ser lo más rectilíneo posible, siguiendo el camino más corto, evitando cualquier acodamiento brusco o remonte. Los radios de curvatura no serán inferiores a 0,2m. Para la desviación de los cables de bajada, se utilizarán preferentemente los codos formados por las esquinas.

El trazado de los conductores de bajada debe ser elegido de manera que evite la proximidad de conducciones eléctricas y su cruce. En todo caso, cuando no se pueda evitar un cruce, la conducción debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1 metro a cada parte del cruce. El blindaje deberá unirse al bajante.

Los conductores de bajada deberán estar protegidos contra eventuales choques mecánicos mediante un tubo de protección, hasta una altura superior a 2m a partir del suelo.

Cuando el exterior de un edificio o estructura está provisto de elementos metálicos, o de un elemento fijo de revestimiento, el conductor de bajada se puede fijar detrás del revestimiento sobre el concreto o la estructura que lo soporta. En este caso, los elementos conductores del revestimiento y de la

estructura que lo soporta deben estar unidos equipotencialmente a la bajada tanto en la parte superior como en la base.

- Materiales y dimensiones de los bajantes

Los conductores de bajada podrán ser flejes, trenza plana, cable trenzado o redondo. La sección mínima deberá ser de 50mm² y está definida por la tabla que se muestra a continuación:

Tabla LI. **Conductores de bajada**

Conductores de bajada		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado (1)	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión.	Fleje 30X2 mm Trenza plana 30X3,5 mm Cable trenzado 50 mm ² Redondo 8 mm (2)
Acero inoxidable 18/10 serie 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos.	Fleje 30X2 mm Redondo 8 mm (2)
Aluminio A 5/L	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandas, muros, etc.)	Fleje 30X3 mm Redondo 10 mm (2)

Fuente: GORUP GERALDINA. *Tormentas eléctricas, rayos y pararrayos*. 2002. p.90.

Dado el carácter del impulso de la corriente del rayo, el conductor plano es preferible al conductor redondo, ya que ofrece una mayor superficie exterior para una sección idéntica.

- Unión de comprobación de tierras

Cada conductor de bajada estará provisto de un manguito seccionador, junta o toma de control, que permita desconectar la toma de tierra a fin de efectuar la medición.

Generalmente las juntas de control se intercalan en las bajantes a 2m por encima del suelo. Para las instalaciones sobre paredes metálicas, o que no estén provistas de una bajante específica, las juntas de control se intercalarán entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio al que están unidas.

16.3. Tomas de tierra

Se deberá realizar una toma de tierra por cada conductor bajante. Dado el carácter de la corriente de impulso del rayo y para asegurar el camino más fácil posible hacia tierra, minimizando siempre el riesgo de aparición de sobretensiones peligrosas en el interior del volumen a proteger, es importante ocuparse de la forma y dimensiones de la toma de tierra así como el valor de la resistencia.

Se deberá asegurar una mínima superficie de contacto del electrodo de tierra con el terreno, a fin de facilitar la dispersión de la corriente del rayo en la tierra en un espacio de tiempo muy corto. Las tomas de tierra deben responder a los siguientes criterios:

- Resistencia medida por los medios convencionales

Deberá ser lo más bajo posible (inferior a 10 Ohms). Se debe medir este valor sobre la toma de tierra aislada de todo otro elemento de naturaleza conductora.

- Valor de impedancia de onda o inductancia

Deberá ser lo más bajo posible, para minimizar la fuerza contraelectromotriz que se añade al potencial óhmico en el momento de la descarga del rayo.

Así la utilización de elementos profundos, buscando gran profundidad en terrenos húmedos, solo es interesante si la resistividad de la superficie es particularmente elevada y es solo compatible con la existencia de estratos inferiores del terreno de elevada conductividad o reducida resistividad, por lo que es adecuado para la toma de decisiones en este sentido, disponer de una herramienta de predicción de estratigrafía del terreno, a partir de medidas en su superficie.

- Materiales y dimensiones

Los materiales y dimensiones mínimos de los electrodos de tierra se muestran a continuación:

Tabla LII. **Electrodos de tierra**

Electrodos de tierra		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión.	Fleje 30X2 mm Redondo 8 mm Trenza plana 30X3,5 mm Cable trenzado 50 mm Rejilla en hilo de sección mínima 10 mm ² Varilla maciza 14 mm, L= 2 metros Varilla tubular 25 mm, L= 2 metros Placa 500X500X2
Acero cobrizado (250μ)		Varilla maciza 14 mm, L= 2 metros
Acero inoxidable 18/10 serie 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos.	Fleje 30X2 mm Redondo 10 mm Varilla maciza 14 mm, L= 2 metros Varilla tubular 25 mm, L= 2 metros
Acero galvanizado en caliente (50μ)	Reservado para instalaciones provisionales y de corta vida debido a su mala resistencia a la corrosión.	Fleje 30X3,5 mm Redondo 10 mm Varilla maciza 19 mm, L= 2 metros Varilla tubular 21 mm, L=2 metros.

Fuente: GORUP GERALDINA. *Tormentas eléctricas, rayos y pararrayos*. 2002. p.107.

Tomando en cuenta las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (maleabilidad, resistencia a la corrosión, conductividad, entre otros.) se recomienda mayormente la utilización del cobre estañado.

16.4. Criterios de mantenimiento

El mantenimiento de cualquier sistema de protección contra rayos es indispensable. En efecto, ciertos componentes pueden perder su eficiencia con el transcurso del tiempo, debido a la corrosión, inclemencias atmosféricas, golpes mecánicos e impactos del rayo.

Las características mecánicas y eléctricas de un sistema de protección contra el rayo deben ser mantenidas durante toda su vida útil.

La periodicidad de la verificación de un pararrayos de puntas ionizantes viene recomendada por el nivel de protección según la normativa tal y como se muestra a continuación:

Tabla LIII. **Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos**

Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes		
	Periodicidad normal	Periodicidad especial
Nivel I	2 años	1 año
Nivel II	3 años	2 años
Nivel III	3 años	2 años

Fuente: GORUP GERALDINA. *Tormentas eléctricas, rayos y pararrayos*. 2002. p.109.

Nota: la periodicidad especial se aplica cuando el entorno en el que se encuentra instalado el elemento es demasiado corrosivo.

Además, un sistema de protección contra rayos deberá ser verificado cuando se produzca cualquier modificación o reparación de la estructura protegida, o tras cualquier impacto del rayo registrado sobre la estructura.

Se deberán realizar medidas para verificar los siguientes aspectos:

- La continuidad eléctrica de los conductores no visibles
- La resistencia de las tomas de tierra (se debe analizar toda evolución)

Cuando una verificación muestre que existen deficiencias o anomalías en el sistema de protección contra rayos, es conveniente realizar la reparación con el menor retraso, a fin de mantener la eficiencia óptima del sistema.

17. DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

La transmisión de energía eléctrica en forma segura y eficiente depende de una correcta selección del calibre del conductor. La capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos depende de muchos factores, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes: tipo de la instalación, arreglo de los conductores, temperatura de funcionamiento, longitud del circuito, entre otros. Debido a lo anterior, es necesario realizar un estudio completo de las condiciones de la instalación a diseñar.

El servicio en baja tensión que proporciona la Empresa Eléctrica de Guatemala, tanto para cargas monofásicas como trifásicas, serán suministrado en distintos arreglos y combinación de conductores, los cuales serán:

- 120/240 voltios 1 fase 3 hilos
- 120/208 voltios 1 fase 3 hilos
- 120/240 voltios 3 fases 4 hilos
- 120/208 voltios 3 fases 4 hilos
- 240/480 voltios 3 fases 4 hilos

Existen distintos criterios para la selección de los conductores en las instalaciones eléctricas industriales, de los cuales se analizarán los más comunes de utilizar así como la importancia de cada uno de ellos.

17.1. Secciones mínimas

Los conductores de fase en las diferentes partes de la instalación no pueden tener una sección inferior a los valores indicados en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla LIV. Valores de conductores

Parte de la Instalación	Sección mínima del conductor de fase (mm ²)		ITC -BT
	Cobre	Aluminio	
Línea general de alimentación	10	16	14
Derivación individual	6	6	15
Instalaciones interiores en viviendas:			
Iluminación	1,5	1,5	25
Tomas de uso general	2,5	2,5	25
Cocina y horno	6	6	25
Lavadora, lavavajillas y termo eléctrico	4	4	25
Baño, cuarto de cocina	2,5	2,5	25
Calefacción	6	6	25
Aire acondicionado	6	6	25
Secadora	2,5	2,5	25
Automatización	1,5	1,5	25

Fuente: HARPER GILBERTO. *Elementos de las instalaciones eléctricas industriales*.2002. p.225.

En general, la selección del conductor neutro deberá ser igual a la de los conductores de fase. Solo en casos especiales, debidamente justificados, se podrá reducir la sección del neutro en una instalación trifásica.

17.2. Criterio de caída de tensión

El área de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión en las diferentes partes de la instalación cumpla con los márgenes y rangos establecidos por la comisión y la empresa eléctrica en su compendio de normas técnicas para instalaciones eléctricas residenciales e industriales.

El valor de la caída de tensión podrá compensarse entre la caída en la derivación interior y la caída en las demás derivaciones individuales de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de valores límites especificados para ambas, según el tipo de instalación especificado.

La caída de tensión en un conductor es proporcional a su longitud y a su resistividad, e inversamente proporcional a su área transversal.

Las ecuaciones para determinar la sección del conductor bajo el criterio de caída de tensión admisible, según el tipo de instalación (monofásica o trifásica) son las siguientes:

- Monofásica

$$S = \frac{2\rho \cdot P \cdot L}{e \cdot U}$$

- Trifásica

$$S = \frac{\rho \cdot P \cdot L}{e \cdot V_L}$$

Dónde:

P = es la potencia total (en Watts) que va a demandar la instalación

L = es la longitud de la línea (en metros)

ρ = es la resistividad del conductor

e = es la caída de tensión admisible (en voltios)

U = es la tensión nominal fase-neutro (en voltios)

V_L = es la tensión nominal de la línea de la red trifásica (en voltios)

Para estas dos ecuaciones se desprecia la caída de tensión debido a las inductancias de los conductores y el efecto piel, los cuales son despreciables en baja tensión para cables menores de 120 milímetros cuadrados de sección.

17.3. Criterio térmico

Al momento de dimensionar los conductores de las diferentes partes de una instalación eléctrica no solamente hay que tomar en cuenta las caídas de tensión y las secciones mismas según la capacidad del conductor, es necesario también comprobar que estos conductores serán capaces de soportar el calentamiento producido por las corrientes originadas por las cargas conectadas a ellos.

Para comprobar que los conductores seleccionados cumplen con este criterio, se debe iniciar calculando las corrientes que circularán por los conductores cuando se esté a condición de plena carga. Luego de ello, teniendo en cuenta el tipo de cable utilizado, su sección y aislamiento, se deben determinar las secciones de cable mínimas que aguantan estas corrientes por medio de tablas proporcionadas por los fabricantes o según las normas que aplican en el país.

17.4. Criterio de corrientes de cortocircuito

El último aspecto a considerar en el dimensionamiento de los conductores es que estos puedan soportar, durante el tiempo que tardan en actuar las protecciones, las corrientes que aparecerán si se produjera un cortocircuito.

La densidad de corriente de cortocircuito J_{CC} que puede aguantar un cable depende de la naturaleza de sus materiales conductor y aislante y de la duración del corto circuito. Las normas internacionales proporcionan estos valores de densidad de corriente de corto circuito para conductores de aluminio y de cobre, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla LV. Aluminio

Tipo de aislamiento	Duración del cortocircuito, en segundos								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
XLPE y EPR	294	203	170	132	93	76	66	59	54
PVC									
Sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	237	168	137	106	75	61	53	47	43
Sección $> 300 \text{ mm}^2$	211	150	122	94	67	54	47	42	39

Fuente: HARPER GILBERTO. *Elementos de las instalaciones eléctricas industriales*.2002.
p.237.

Tabla LVI. Cobre

Tipo de aislamiento	Duración del cortocircuito, en segundos								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
XLPE y EPR	449	318	259	201	142	116	100	90	82
PVC									
Sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	364	257	210	163	115	94	81	73	66
Sección $> 300 \text{ mm}^2$	322	228	186	144	102	83	72	64	59

Fuente: HARPER GILBERTO. *Elementos de las instalaciones eléctricas industriales*.2002.
p.238.

Dividiendo la corriente de cortocircuito I_{CC} , que aparece si se produce un cortocircuito al principio del cable, entre la densidad de corriente obtenida en el paso anterior, se encontrará la sección mínima del conductor que es capaz de aguantar el cortocircuito.

En conclusión, este criterio exige que cuando se produzca un cortocircuito el conductor soporte la corriente (la cual podría ser muy elevada) durante el tiempo que les cuesta a las protecciones (fusibles o interruptores automáticos) desconectar la instalación. En baja tensión no suele ser determinante este criterio, sin embargo, es importante tomarlo en cuenta al momento del dimensionamiento de la instalación.

Es importante resaltar que usualmente la sección del conductor adoptada siguiendo los criterios de caída de tensión y térmico es suficiente para soportar también los cortocircuitos.

18. COMPENSACIÓN EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

El desfase entre las ondas de voltaje y corriente producido por la corriente reactiva se anula con la utilización de condensadores de potencia, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz, y por lo tanto, requiera menor cantidad de corriente; a esto se le llama compensación.

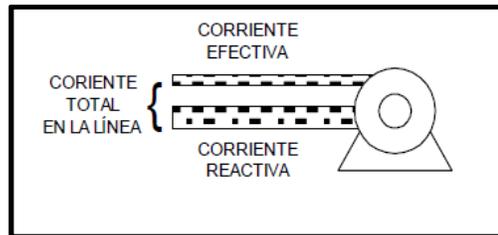
18.1. Factor de potencia

El factor de potencia se define como la relación entre la potencia activa (potencia útil) y la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación. Básicamente, es un indicador de qué tanta potencia se está aprovechando en trabajo útil respecto a la total que se tiene desde el generador. La potencia activa se mide en Watts (W) y la potencia aparente en VoltAmperios (VA) siendo el factor de potencia un número adimensional.

Este factor se define también como el desfase entre la onda de voltaje y la onda de corriente en una carga o instalación. Este desfase entre ambas ondas es producido por la corriente reactiva, la cual es la encargada de generar los campos magnéticos necesarios para el funcionamiento de los motores y transformadores.

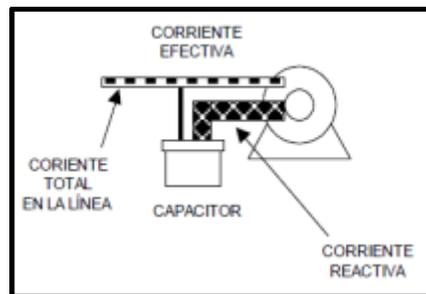
A continuación se muestra una representación de la conexión de un motor sin compensación reactiva y también ya con esta compensación, es decir, con el factor de potencia mejorado.

Figura 31. **Conexión de motor sin compensación reactiva**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Conexión de motor ya con compensación reactiva**



Fuente: elaboración propia.

18.1.1. **Impedancia, resistencia y reactancia**

La impedancia Z (también conocida como impedancia aparente) de un circuito eléctrico está definida por la relación entre la tensión aplicada en voltios (V) y la corriente (I). Es la oposición que presentan todos los elementos del circuito o de la red al paso de la corriente eléctrica. En corriente alterna, la impedancia está compuesta matemáticamente por una parte real llamada resistencia (resistencia efectiva) y una parte imaginaria llamada reactancia (resistencia reactiva).

La reactancia puede ser de dos tipos, inductiva y capacitiva. Ambas corresponden a la oposición a la corriente que presentan cada uno de estos componentes en la red.

La reactancia inductiva tiene la característica de retrasar la onda de corriente con respecto a la de tensión, oponiéndose el circuito a cualquier cambio instantáneo de corriente.

La reactancia capacitiva está determinada por la capacitancia del circuito y esta adelanta la señal de corriente respecto a la de voltaje, debido a que la capacitancia es la propiedad eléctrica que permite almacenar energía por medio de un campo electrostático para liberar esta energía posteriormente.

Las ecuaciones con las cuales se definen este tipo de reactancia se muestran a continuación:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

Dónde:

ω = frecuencia angular

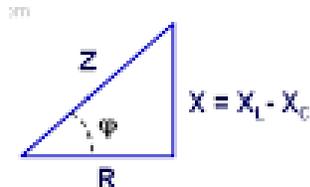
f= frecuencia en Hz

L= inductancia en henrios (H)

C= capacitancia en faradios (F)

2π = se expresa en radianes

Las reactancias mencionadas y definidas anteriormente, se pueden representar gráficamente en un triángulo rectángulo y, aplicando el teorema de pitágoras, se puede hallar la expresión para la impedancia total, la cual sería:



La suma de las reactancias en el circuito dará la reactancia real que predomine, es decir, $X = X_L - X_C$, por lo tanto:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

Siendo Z la impedancia total.

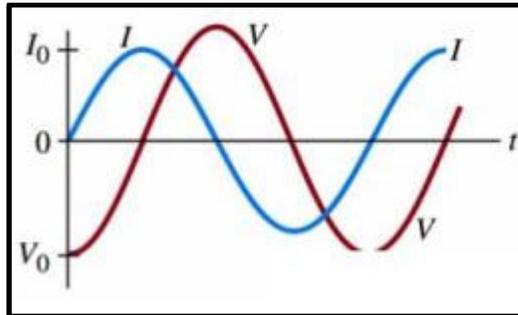
18.1.2. Desfase entre las ondas de voltaje y corriente

El tipo de carga eléctrica en un circuito la impedancia y la posición de la onda de la corriente respecto a la onda del voltaje. Es decir, la corriente en el circuito se puede descomponer en dos tipos de corriente: la corriente resistiva, la cual se encuentra en fase con el voltaje y la corriente reactiva, la cual se encuentra desfasada 90° respecto al voltaje.

$$I_R = \frac{V}{R} = I \cdot \cos \varphi$$

$$I_X = \frac{V}{X} = I \cdot \sin \varphi$$

Figura 33. **Desfase entre las ondas de voltaje y corriente**



Fuente: HARPER GILBERTO. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. 2005. p.197.

18.1.3. **Potencia activa, reactiva y aparente**

La potencia eléctrica se define como el producto entre el voltaje y la corriente correspondiente. Se pueden diferenciar los tres tipos de potencias a partir de las ecuaciones que las definen:

Potencia Aparente (VA), $S = V \cdot I$

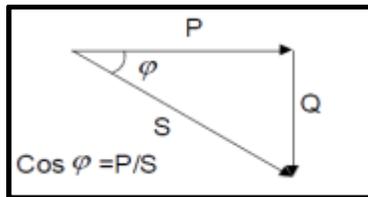
Potencia Activa (W), $P = VI \cdot \cos \varphi$

Potencia Reactiva (VAR), $Q = VI \cdot \sin \varphi$

La potencia activa P se obtiene al multiplicar la potencia aparente S por el " $\cos \varphi$ ", el cual se le conoce como factor de potencia.

El ángulo formado en el triángulo de potencias entre P y S , equivale al desfase entre la corriente y el voltaje y es el mismo ángulo de la impedancia; por lo tanto el $\cos \varphi$ depende directamente del desfase existente entre ambas ondas.

Figura 34. **Potencia activa, reactiva y aparente**



Fuente: elaboración propia.

18.1.4. **Triangulo de potencias**

Con base en lo analizado en las secciones anteriores, en el análisis de la energía eléctrica se utiliza el factor de potencia para expresar un desfase que sería negativo cuando la carga sea mayormente inductiva, o sería positivo en el caso en el que la carga sea predominantemente capacitiva. En el caso del factor de potencia, este puede variar su valor entre 0 y 1.

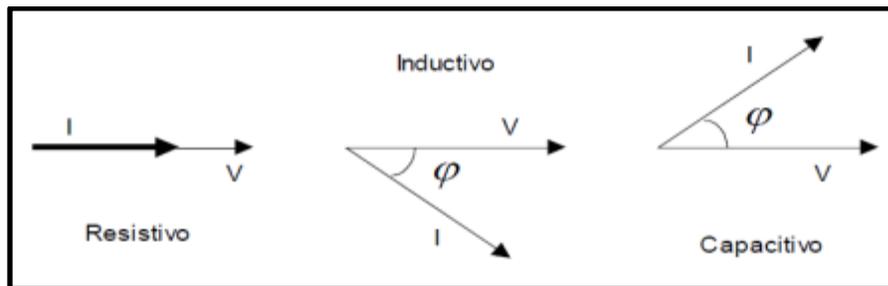
Tabla LVII. **Factores**

Carga	Capacitiva			Efectiva	Inductiva		
	90°	60°	30°		0°	-30°	-60°
φ	90°	60°	30°	0°	-30°	-60°	-90°
Cos φ	0	0,5	0,87	1	-0,87	-0,5	0
Potencia	Reactiva			Real	Reactiva		
	100 %			100 %	100 %		

Fuente: HARPER GILBERTO. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. 2005. P.199.

En las gráficas que se observan a continuación se visualizan los tres casos del factor de potencia, cuando este es unitario, cuando está en atraso y cuando está en adelante, respectivamente.

Figura 35. **Fasores del factor de potencia**



Fuente: elaboración propia.

El caso del factor de potencia unitario, es decir, cuando el voltaje y la tensión se encuentran en fase ocurre solamente en cargas puramente resistivas, por ejemplo una bombilla incandescente. El factor de potencia en atraso ocurre en transformadores, motores o bobinas, elementos que provocan que la corriente vaya retrasada del voltaje en un ángulo φ . El caso del factor de potencia en adelante, ocurre en el mayor de los casos en condensadores, provocando así que la corriente vaya adelantada con respecto al voltaje en un ángulo φ .

18.1.5. Efectos de un bajo factor de potencia

Tener un bajo factor de potencia implica un aumento de la corriente aparente y como consecuencia de ello, un aumento de las pérdidas eléctricas en el sistema, es decir, indica una eficiencia eléctrica baja, lo cual siempre

resulta costoso ya que el aprovechamiento total de potencia útil es menor que la potencia con la que se dispone en total (potencia aparente).

Otras consecuencias a causa de un bajo factor de potencia son:

- Aumento de costo del servicio ya que el generador debe suministrar mayor potencia activa y por ende, una mayor corriente en sus conductores, generando así incrementos en el costo de este servicio al usuario final.
- Sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución de la compañía que presta el servicio de suministro eléctrico al usuario final.
- Hay mayores caídas de tensión y se tienen mayores pérdidas por efecto Joule en los conductores.
- Mayor desgaste físico en el forro y aislamiento de los conductores así como en el resto de elementos de la instalación.
- Hay disparos en las protecciones sin causa aparente.

Los efectos de un bajo factor de potencia para los conductores de la instalación se resumen en la siguiente tabla, la cual aplica para sistemas monofásicos, bifásicos o trifásicos:

Tabla LVIII. **Efectos de un bajo factor de potencia para los conductores de instalación**

Factor de Potencia, %	Corriente total, Amperios %	Aumento de la corriente, %	Tamaño relativo del alambre para pérdida, %	Aumento en las pérdidas por calentamiento para tamaño del alambre, %
100	100	0	100	0
90	111	11	123	23
80	125	25	156	56
70	143	43	204	104
60	167	67	279	179
50	200	100	400	300
40	250	150	625	525

Fuente: U.R.E. Proyecto de grado del Ing. Miguel Zevallos

18.1.6. **Ventajas de la corrección del factor de potencia**

El corregir el factor de potencia a los valores normados por la distribuidora, genera beneficios para la instalación y para el usuario, los cuales son:

- Menor costo del servicio de energía eléctrica ya que, al no tener un bajo factor de potencia, no se deben pagar penalizaciones por este incumplimiento a la normativa.
- Aumento en la capacidad del sistema ya que al mejorar el factor de potencia se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente pasaba a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables.
- Mejora en la calidad del voltaje ya que se producen menores caídas de tensión debido a que se reduce la corriente de línea que es elevada cuando hay factores de potencia bajos.
- Aumento de la vida útil de todos los elementos que conforman la instalación.
- Reducción de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo con el medio ambiente al requerir de una

menor cantidad de energía aprovechando esta eficientemente y reduciendo pérdidas en la instalación.

18.2. Compensación

La compensación del factor de potencia no solo contribuye con ventajas técnicas sino que también con ventajas económicas. Esta compensación de energía reactiva se realiza por medio de la instalación de bancos de condensadores en la instalación, los cuales generan cargas capacitivas que contrarrestan las pérdidas reactivas de la instalación.

Los condensadores generan energía reactiva de sentido inverso a la energía consumida en la instalación. La aplicación de estos condensadores neutraliza el efecto de las pérdidas por campos magnéticos de cargas inductivas en la red. Al instalar condensadores en la instalación se reduce entonces el consumo total de energía (activa + reactiva), a esto se le denomina como compensación de energía reactiva en la red.

18.2.1. Significado de la compensación en redes de alimentación

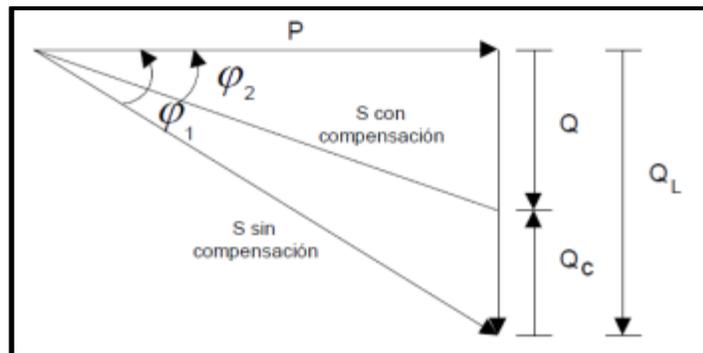
Los transformadores, motores y otros elementos compuestos por bobinas son consumidores netamente inductivos. Para su formación de campos magnéticos necesarios para su funcionamiento, estos toman potencia reactiva de la red de alimentación, lo cual implica para las plantas generadoras de energía eléctrica una carga especial que aumenta cuanto más grande es y cuanto mayor sea el desfase. Esta es la causa por la cual las empresas que suministran el servicio de electricidad solicitan al usuario final mantener un factor de potencia cercano a 1 en su instalación. Todos aquellos usuarios que

presentan una alta demanda de potencia reactiva son equipados con contadores de este tipo de potencia a los cuales se les conoce como vatiómetros.

La demanda de potencia reactiva se puede reducir de manera sencilla colocando condensadores en paralelo a los consumidores de potencia inductiva. Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva de los condensadores instalados, se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red. Esto es lo que significa la compensación en las redes de alimentación.

Después de una compensación la red suministra solamente potencia real. La corriente en los conductores se reduce, por lo cual se reducen las pérdidas en estos también. Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia como se muestra gráficamente a continuación:

Figura 36. **Reducción de la compensación**



Fuente: HARPER GILBERTO. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. 2005. p.212.

18.2.2. Potencia reactiva del condensador

Según la ley de Ohm, la corriente consumida por un condensador se define como:

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

Se conoce también que la ecuación que define a la reactancia capacitiva es:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Por lo tanto:

$$I_C = V * \omega * C$$

La ecuación que define entonces la potencia reactiva Q, en términos de la reactancia capacitiva es:

$$Q = V * I_C$$

Por lo cual, la potencia reactiva de un condensador quedaría definida como:

$$Q = V^2 * \omega * C$$

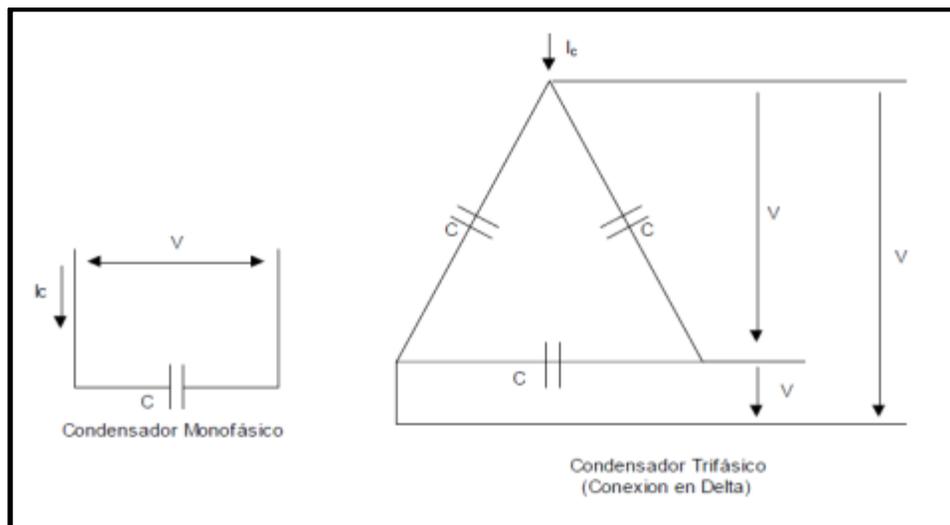
Esta ecuación es válida tanto para corriente alterna monofásica como para corriente alterna trifásica, es decir, para condensadores monofásicos y condensadores trifásicos (o su conexión).

Para condensadores conectados en delta, la expresión para la corriente en cada línea del sistema está definida por:

$$I_C = \frac{Q}{\sqrt{3}V} \quad \text{Para corriente trifásica}$$

$$I_C = \frac{Q}{V} \quad \text{Para corriente monofásica}$$

Figura 37. **Condensador**



Fuente: HARPER GILBERTO. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. 2005. p.215.

18.2.3. Tipos de compensación

Las inductancias se compensan con la conexión en paralelo de las capacitancias, conocido como compensación en paralelo. Esta forma de compensación es la más común, especialmente en sistemas trifásicos.

Los tres tipos de compensación en paralelo más utilizados son:

Compensación individual: se utiliza en equipos que tienen un ciclo continuo de operación y cuyo consumo de reactiva es considerable, principalmente motores eléctricos y transformadores. El condensador se instala en cada una de las cargas de manera que los únicos conductores afectados por la energía reactiva son los que unen la carga con el condensador.

Tabla LIX. **Ventajas y desventajas de compensación individual**

Ventajas	Desventajas
La energía reactiva queda confinada entre la carga y el condensador, quedando el resto de las líneas libres de energía reactiva. Los condensadores entran en servicio solo cuando la carga está conectada, ya que el arrancador puede servir como interruptor del condensador de manera que no son necesarios otros sistemas de regulación.	El precio de varios condensadores adquiridos por separado es mayor que el de un solo condensador equivalente. En cargas que no son usadas con frecuencia los condensadores pueden estar infrautilizados.

Fuente: elaboración propia.

Compensación en grupos: se recomienda cuando un grupo de cargas, ya sean de igual o diferente valor, se conectan simultáneamente y demandan una cantidad de reactiva constante.

Tabla LX. **Ventajas y desventajas de compensación en grupos**

Ventajas	Desventajas
<p>El banco de condensadores se puede instalar en el centro de control de motores.</p> <p>Los condensadores se utilizan solamente cuando las cargas están en funcionamiento.</p> <p>La inversión económica en la instalación es menor.</p> <p>Se elimina la potencia reactiva de las líneas de distribución de energía eléctrica.</p>	<p>En las líneas de alimentación principal sigue apareciendo potencia reactiva entre las cargas y el centro de control de motores.</p>

Fuente: elaboración propia.

Compensación central: la potencia total del banco de condensadores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía. Lo potencia total del banco de condensadores se divide en varios bloques o escalones comunicados con un regulador automático que los conecta y desconecta en cada momento, según el consumo de reactiva instantáneo.

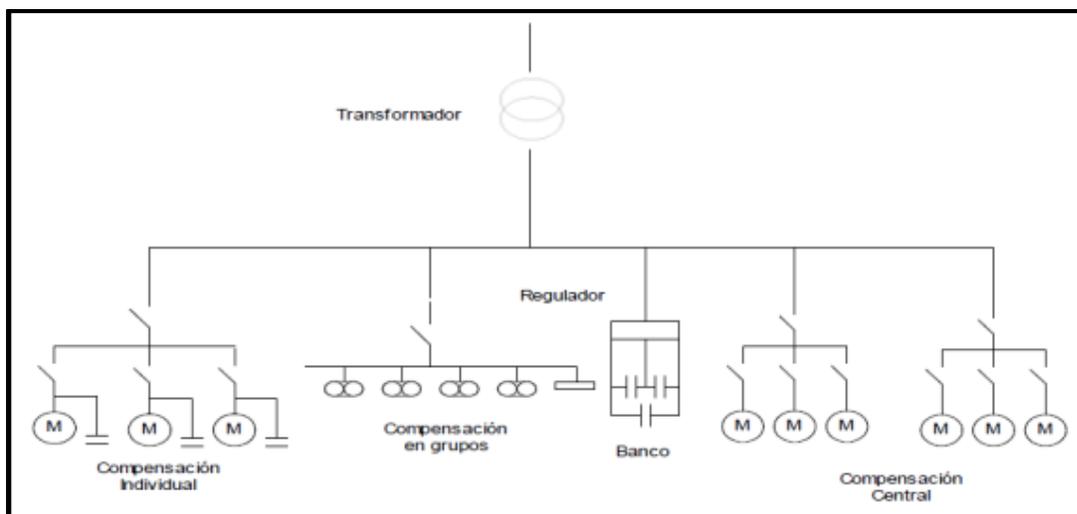
Tabla LXI. **Ventajas y desventajas de compensación central**

Ventajas	Desventajas
Mayor aprovechamiento de la capacidad de los condensadores. Mejor regulación del voltaje en el sistema eléctrico. Adecuación de la potencia del banco de condensadores según los requerimientos de cada momento.	Las líneas de distribución no son descargadas de potencia reactiva. Se requiere un regulador automático en la instalación.

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestra el tipo de conexión de cada método de compensación analizado anteriormente:

Figura 38. **Conexión de cada método de compensación**



Fuente: HARPER GILBERTO. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. 2005. p.265.

18.3. Cálculo del banco de condensadores para la compensación en la industria

La manera de determinar el factor de potencia que se desea corregir tiene tres partes fundamentales que son:

- Cálculo de la potencia reactiva de la instalación: este paso consiste en determinar el factor de potencia de la instalación.
- Cálculo de la potencia capacitiva necesaria para la compensación: acá se define el factor de potencia que se desea obtener, y, a partir de ello, se encuentra el valor de la potencia capacitiva que se requiere para llevar el factor de potencia hasta este nuevo valor, lo más cercano posible a la unidad. Para este paso se requiere conocer un valor k , el cual se explica en la siguiente sección.
- Determinación de la variabilidad del factor de potencia de la instalación: acá se analiza cómo varía el factor de potencia respecto al tiempo y, a partir de este modelo, se planifica cuántos escalonamientos debe tener el banco de condensadores a instalar.

18.3.1. Tabla del factor k de compensación reactiva para el cálculo de potencia de los bancos de condensadores

El valor definido por la diferencia de tangentes se denomina factor K . La tabla que se presenta a continuación se da en función del factor de potencia de la instalación antes y después de la compensación. Para hallar la potencia del banco de condensadores a instalarse en un sistema eléctrico, el factor K hallado se multiplica por la potencia activa del sistema. A continuación se muestran los valores más habituales de este factor en las instalaciones eléctricas industriales:

Tabla LXII. Valores habituales del factor k en las instalaciones eléctricas industriales

FP antes de compensar		Factor de potencia después de compensar											
		cosφ	0,80	0,84	0,88	0,90	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
cosφ	tgp	tgp	0,750	0,646	0,540	0,484	0,484	0,329	0,292	0,251	0,203	0,142	0,000
0,400	2,291	1,541	1,645	1,752	1,807	1,865	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291	
0,430	2,100	1,350	1,454	1,560	1,615	1,674	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100	
0,460	1,930	1,180	1,284	1,391	1,446	1,504	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930	
0,490	1,779	1,029	1,133	1,239	1,295	1,353	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779	
0,520	1,643	0,893	0,997	1,103	1,158	1,217	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643	
0,550	1,518	0,768	0,873	0,979	1,034	1,092	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518	
0,580	1,405	0,655	0,759	0,865	0,920	0,979	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405	
0,610	1,299	0,549	0,653	0,759	0,815	0,873	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299	
0,640	1,201	0,451	0,555	0,661	0,716	0,775	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201	
0,670	1,108	0,358	0,462	0,568	0,624	0,682	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108	
0,700	1,020	0,270	0,374	0,480	0,536	0,594	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020	
0,730	0,936	0,186	0,290	0,396	0,452	0,510	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936	
0,760	0,855	0,105	0,209	0,315	0,371	0,429	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855	
0,790	0,776	0,026	0,130	0,236	0,292	0,350	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776	
0,800	0,750	-	0,104	0,210	0,266	0,324	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750	
0,810	0,724	-	0,078	0,184	0,240	0,298	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724	
0,820	0,698	-	0,052	0,158	0,214	0,272	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698	
0,830	0,672	-	0,026	0,132	0,188	0,246	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672	
0,840	0,646	-	-	0,106	0,162	0,220	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646	
0,850	0,620	-	-	0,080	0,135	0,194	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620	
0,860	0,593	-	-	0,054	0,109	0,167	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593	
0,870	0,567	-	-	0,027	0,082	0,141	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567	
0,880	0,540	-	-	-	0,055	0,114	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540	
0,890	0,512	-	-	-	0,028	0,086	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512	
0,900	0,484	-	-	-	-	0,058	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484	
0,910	0,456	-	-	-	-	0,030	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456	
0,920	0,426	-	-	-	-	-	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426	
0,930	0,395	-	-	-	-	-	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395	
0,940	0,363	-	-	-	-	-	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363	
0,950	0,329	-	-	-	-	-	-	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329	
0,960	0,292	-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,089	0,149	0,292	
0,970	0,251	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,108	0,251	
0,980	0,203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,203	
0,990	0,142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,142	

Fuente: elaboración propia.

19. ULTRASONIDO EN REDES ELÉCTRICAS

La detección por medio de ultrasonido es una técnica de mantenimiento predictivo que aprovecha las propiedades de las ondas sonoras para detectar los problemas de los equipos de las plantas industriales de forma rápida, precisa y segura.

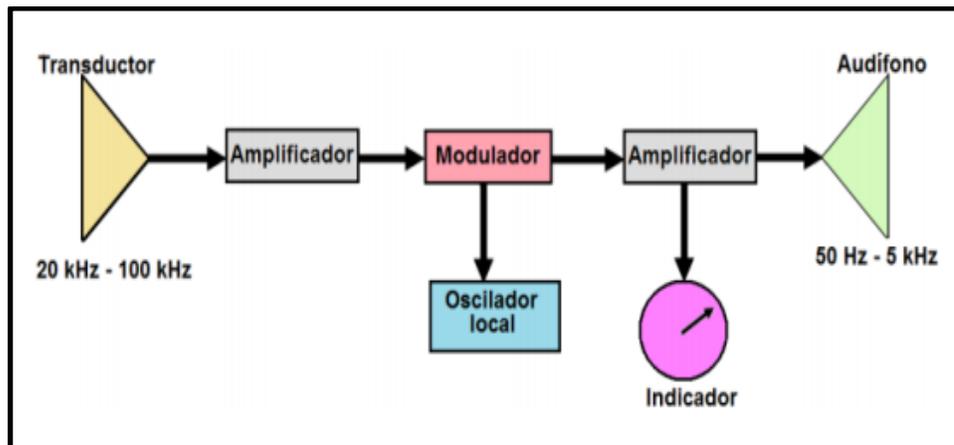
Esta técnica empleada en el mantenimiento industrial, basada en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que se producen en los equipos cuando algo anormal está sucediendo, está fundamentada en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de frecuencia muy alta, corta longitud y rápida pérdida de energía, lo cual permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas que interrumpan el desarrollo normal del proceso en ejecución.

Para llevar a cabo esta técnica se emplea un instrumento llamado detector de ultrasonidos, el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango audible para el humano.

Los detectores de ultrasonido son dispositivos fáciles de utilizar gracias a que el comportamiento del sonido es direccional. Estos equipos cuentan con una perilla selectora de frecuencias que permite al usuario filtrar el ruido del ambiente y escuchar la onda ultrasónica con total claridad.

El diseño interno de un detector ultrasónico se muestra por medio del siguiente diagrama de bloques en el cual se aprecia cada etapa de su funcionamiento:

Figura 39. **Detector ultrasónico**



Fuente: elaboración propia.

19.1. **Aplicaciones del ultrasonido en el mantenimiento de equipos eléctricos**

La medición y escucha por medio de ultrasonidos se han consolidado como una técnica rápida y segura para detectar fallos eléctricos, tanto en alta como en baja tensión.

La detección por medio de ultrasonido es una técnica complementaria del análisis termográfico de una instalación ya que, algunos modos de fallo como el efecto corona no produce calor y por lo tanto es imposible de detectar por medio de una cámara termográfica.

Las anomalías en los circuitos eléctricos provocan emisiones ultrasónicas que, al escanear el área con los equipos detectores de ultrasonido, se localizan los puntos de donde provienen estas emisiones, permitiendo así diagnosticar y detectar el punto de falla con mayor agilidad y exactitud.

La técnica por medio de ultrasonido se aplica comúnmente en el mantenimiento de equipos eléctricos tales como:

- Conmutadores
- Transformadores
- Cuadros eléctricos de media y baja tensión

Esta herramienta es ideal para la detección temprana de perturbaciones eléctricas potencialmente destructivas, y los beneficios que se obtienen al aplicarla es que se podrán hacer las reparaciones necesarias de forma oportuna, realizando estas cuando aún no son tan complejas ni costosas.

19.2. Efecto corona

Este fenómeno afecta a los conductores eléctricos que portan tensiones mayores a los mil voltios. Produce ozono nocivo para el aislamiento y ácido nítrico que oxida los metales en presencia de humedad generando así interferencias electromagnéticas.

La presencia de este efecto se logra percibir como un zumbido constante, un sonido muy parecido al que se escucha al freír algún alimento. Cuando este efecto se encuentra en un estado ya muy avanzado, se producen al azar sonidos de explosiones, generando así sonidos más graves y profundos.

La representación de la onda de la señal de una descarga de corona muestra picos con amplitudes y espaciados regulares. Cuando este fenómeno se encuentra en un estado demasiado avanzado, se agregan picos adicionales de mayor amplitud que aparecen aleatoriamente.

La representación de la señal de frecuencia de la corona muestra un pico predominante en la frecuencia fundamental de 60 Hz y unos cuantos armónicos más débiles. Entre mayor sea el efecto corona y más avanzado se encuentre este, aparecen más armónicos y la amplitud de los mismos crece demasiado en comparación con la frecuencia fundamental.

19.3. Efecto *tracking*

Este fenómeno consiste en la formación de caminos conductores en la zona de la superficie de un aislante eléctrico. Dos factores que agravan este fenómeno significativamente son la contaminación y la humedad.

El tracking se logra percibir como un sonido de zumbido y chisporroteos intermitentes, con pausas, decrecimientos y elevaciones en la intensidad. La intensidad puede aumentar hasta llegar al punto de combustión súbita, lo que se conoce como “flashover”. Posterior a la combustión súbita, todo el sonido que estaba presente se convierte en silencio total.

La representación de la onda de la señal de tracking muestra altas cumbres muy cortas pero de elevada amplitud. El espacio de tiempo entre picos y las amplitudes de los picos no son regulares. La amplitud de estos picos puede tomarse como indicador de la gravedad del defecto.

19.4. Arco

Se le conoce como arco a la corriente que fluye a través del aire y que produce a su vez una descarga de plasma. Este fenómeno se escucha como un violento sonido, el cual presenta su comienzo y su desvanecimiento de manera muy brusca. Este sonido se hace presente cuando los zumbidos de los efectos corona y tracking se encuentran ausentes.

La representación de la onda de la señal de arco muestra picos de muy elevada amplitud que aparecen de manera aleatoria en el tiempo. La principal diferencia entre este fenómeno y el efecto tracking es que, con el tracking la duración de cada descarga es más larga por lo que la representación de la señal del arco presenta picos más anchos.

20. SUPRESORES DE PICOS Y TRANSIENTES

20.1. Definición

Un supresor de picos es un dispositivo diseñado y utilizado específicamente para la protección de equipo crítico y sensible a picos de voltaje como tarjetas y circuitos electrónicos de control, servidores, data centers, entre otros.

Es importante resaltar que los supresores de transientes no están diseñados para la mitigación de problemas de calidad de energía originados por armónicos, variaciones de voltaje normales o factor de potencia bajo; La función específica de estos equipos es totalmente enfocada contra sobretensiones transitorias.

Estos equipos desvían la energía contenida en un pico de voltaje devolviéndola a su fuente a través de un sistema de puesta a tierra, el cual debe instalarse junto con el supresor.

20.1.1. Transiente

Es un pico de voltaje instantáneo generado en la red eléctrica por fenómenos internos y externos como relámpagos, conmutación de redes de distribución eléctrica, arranque de motores, operación de soldadoras y variadores de frecuencia, entre otros.

Estos transientes tienen duraciones promedio de microsegundos, sin embargo, en este periodo de tiempo, un transitorio puede inducir a una red eléctrica miles de voltios y amperios de manera instantánea provocando daños a circuitos electrónicos y otra maquinaria sensible a estos fenómenos.

20.1.2. Origen y causa de los transientes

El 20 % de probabilidad de ocurrencia de transientes en una red eléctrica es atribuida a fenómenos externos como accidentes eléctricos, rayos y relámpagos, y conmutación de sistemas de la red de distribución. El otro 80 % restante se atribuye a factores internos tales como switcheo de bancos de capacitores, arranque de motores, puesta en marcha de aires acondicionados y descargas electrostáticas.

Según estudios realizados, el 80 % de los picos de voltaje presentes en una red eléctrica son generados en la misma instalación.

20.1.3. Consecuencias de los picos de voltaje

Los picos ocasionan ruptura de aislamientos eléctricos y daños en tarjetas de control. Su efecto es principalmente grave en los circuitos de control electrónico de maquinaria.

Los componentes expuestos repetidamente a transientes tienen una vida útil menor y por ende, se llega a tener un funcionamiento inestable de los mismos con el paso del tiempo.

Algunas otras consecuencias derivadas de la presencia de transientes en la red eléctrica de la instalación son interrupción de procesos y altos costos de

mantenimiento así como los costos involucrados a la inactividad y/o paros de la producción.

20.2. Clasificación de los supresores

Estos equipos se clasifican de acuerdo a la ubicación en la que se instalan, siendo estos:

- Supresores tipo A Se colocan al lado de la maquinaria o del equipo a proteger
- Supresores tipo B Se colocan en los tableros secundarios
- Supresores tipo C Se colocan en la acometida o tablero principal

El supresor se debe instalar tan cerca como sea posible de la maquinaria o tablero a proteger ya que mientras menor sea esta distancia mayor será la protección brindada por el dispositivo. Las corrientes nominales para cada tipo de supresor son las siguientes:

Tabla LXIII. **Corrientes nominales**

Clase A	10 KA / 50 KA / 80 KA
Clase B	120 KA / 160 KA
Clase C	200 KA / 300 KA

Fuente: elaboración propia.

20.3. Principio de funcionamiento de los supresores

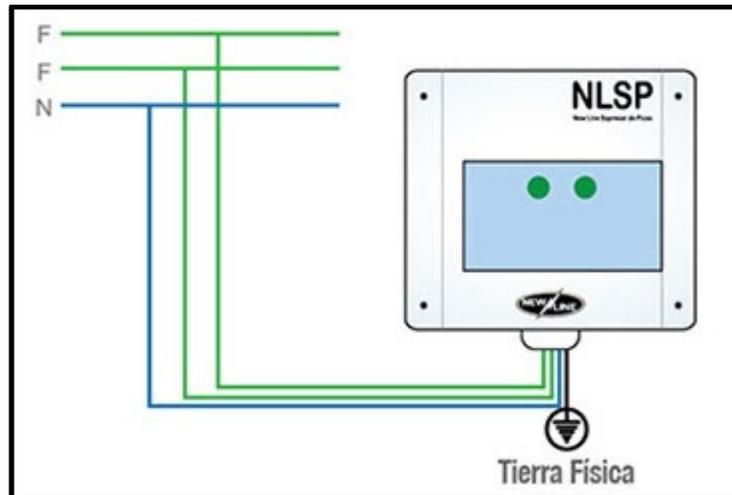
Estos equipos deben conectarse en paralelo a la carga que se desea proteger. Cuando ocurre un transitorio en la línea eléctrica un supresor responderá en nanosegundos creando una ruta de baja impedancia a través de los varistores en su circuito. Ya que el supresor es la ruta que presenta menos oposición al exceso de corriente, esta fluirá a través de sus circuitos internos evitando que la mayor parte de la energía del transitorio alcance a los equipos protegidos.

Es importante considerar que ningún supresor puede eliminar el 100 % de la energía de los transientes de voltaje, y considerando esta situación, se recomienda el diseño de conexión de supresores en cascada, para una protección adecuada.

20.4. Supresor bifásico

Estos dispositivos normalmente trabajan con tensiones de 240 V y corrientes de 10 KA hasta 200 KA. Su tiempo de respuesta es de 5 a 25 nanosegundos y tienen una vida útil superior a los 25 años. La instalación de este aparato se realiza como se muestra a continuación:

Figura 40. **Instalación de supresor bifásico**



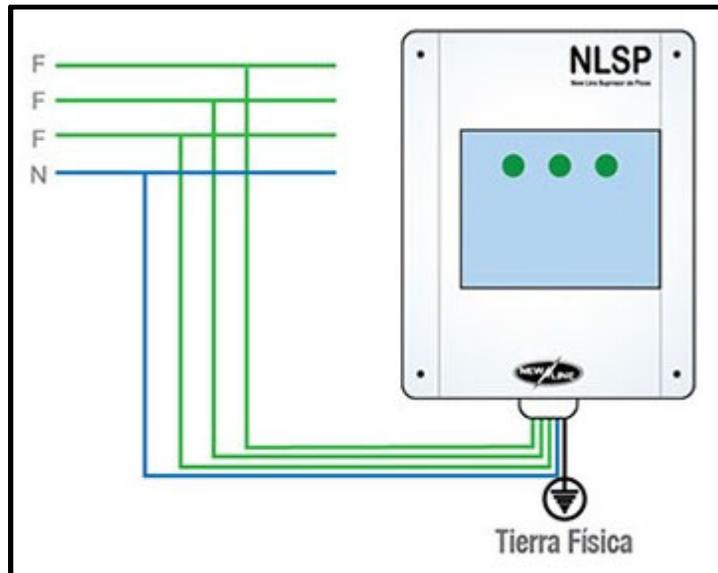
Fuente: MARTZLOFF. *Coordination of surge protectors in low-voltage AC power circuits.*

20.5. **Supresor trifásico**

Estos dispositivos permiten eliminar los impulsos electromagnéticos instantáneos y de conmutaciones provocados por rayos y picos eléctricos. Trabajan con voltajes nominales de 240 V Y 480 V. Su capacidad de corriente va desde los 10 KA hasta los 400 KA, según se requiera en la instalación. Estos equipos no presentan ningún tipo de distorsión armónica en su funcionamiento y su tiempo de respuesta es de 5 a 25 nanosegundos al igual que los equipos bifásicos.

La instalación del supresor trifásico se realiza como se muestra a continuación:

Figura 41. **Instalación de supresor trifásico**



Fuente: MARTZLOFF. *Coordination of surge protectors in low-voltage AC power circuits.*

20.6. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas normadas por IEC 61643-11 para los supresores de picos se resumen en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla LXIV. Especificaciones técnicas normadas por IEC 61643-11

Características Técnicas	Unidad	1LNG	2LNG	3LNG
Normas aplicables	-	IEC 61643-11		
Código <i>Clamper</i>	-	11585	11586	11587
Sistema eléctrico	-	Monofásico	Bifásico	Trifásico
Modos de protección	-	L/N, L/PE y N/PE		
Tecnología de protección	-	Varistor de óxido de zinc (MOV)		
Tiempo de respuesta típico	nS	25		
Protección térmica	-	Si		
Máxima corriente de cortocircuito sin fusible	kA	5		
Fusible backup máximo	A	100		
Máxima tensión de operación continua	Vdc	175		
Corriente de impulso @ 10/350 μ S	kA	7,5		
Corriente nominal @ 8/20 μ S	kA	45		
Máxima corriente de pico @ 8/20 μ S	kA	90		
Nivel de protección	kV	≤ 0.9		
Señalización del estado operativo	-	Led (Amarillo - equipos energizados; Rojo - estado de protección)		
Temperatura de operación	$^{\circ}$ C	-40 ... +70		
Sección de los conductores de conexión	mm ²	4 a 25		
Construcción	-	Módulos enchufable montados en barramiento de cobre estañado con baja impedancia		
Acondicionamiento	-	Caja plástica con visor frontal transparente		
Grado de protección	-	IP 66		
Señalización remota - características de contactos	-	120 Vac/1A - 24Vdc/1A		
Señalización remota - cable de conexión terminal	mm ²	1,5		
Dimensiones máximas	mm	150x110x70	240x190x90	

Fuente: MARTZLOFF. *Coordination of surge protectors in low-voltage AC power circuits.*

CONCLUSIONES

1. Se llevó a cabo una inspección visual y a través de mediciones con la cual se diagnosticó el estado actual de la instalación eléctrica del edificio del museo de arte moderno, hallándose principalmente deficiencias en el sistema de iluminación y en el nivel de mantenimiento del tablero de distribución y sus demás componentes, generando así pérdidas por calentamiento y corrosión así como también niveles inferiores de iluminación respecto a los recomendados por el ministerio de trabajo.
2. Se estableció un plan de propuestas de medidas de mejora y corrección de los hábitos de consumo para los trabajadores del museo con el objetivo de utilizar racionalmente los recursos que están a su disposición, acciones que serán de gran impacto en el costo del servicio eléctrico para la institución y para el estado.
3. Por medio del inventario de equipos realizado en el museo se logró determinar que el mayor consumo eléctrico en el edificio es causado por el sistema de iluminación así como también por el equipo de cómputo y oficina con el que cuentan las diferentes áreas del lugar.
4. Se realizó el análisis de la reducción de emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera que se puede obtener mediante la aplicación de las medidas de mejora propuestas, consiguiendo una reducción alrededor de un 40 % de estas emisiones.

5. Se realizó la propuesta y estudio técnico económico de la implementación de generación de energía por medio de paneles solares como medio de energía renovable, calculando así la inversión inicial que debe realizarse así como el tiempo de retorno de la inversión, mostrando de esta forma el ahorro que se puede tener con la aplicación de esta tecnología de generación de energía eléctrica en el lugar.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar y considerar la implementación de las medidas de ahorro y eficiencia energética que se plantean en este documento, las cuales son:
 - Instalación de 18 paneles fotovoltaicos en el jardín trasero del Museo para la generación de energía eléctrica para autoconsumo.
 - Cambio de tecnología en la utilización de lámparas fluorescentes y halógenas por lámparas tipo led colaborando así con el ahorro de consumo energético en el museo y contribuyendo también a un mayor nivel de confort para los empleados y un mejoramiento significativo en los niveles de iluminación de cada área del edificio.
 - Cambio en los hábitos de consumo y compromiso de parte de todos los trabajadores del museo para contribuir con la reducción del gasto energético.
 - Implementación de la Norma ISO 50001 con el fin de establecer en el museo un sistema de gestión de energía con el cual se pueda obtener mejora continua en eficiencia energética en el edificio.
2. Realizar periódicamente estudios de la calidad de la energía del edificio para mantener monitoreados los logros alcanzados y actualizar la información del estado de la instalación anualmente.

3. Utilizar luz natural, siempre que en el lugar de trabajo sea posible ya que esta no contamina ni consume energía.
4. Instalar un pequeño banco de capacitores de compensación reactiva que permita corregir el bajo factor de potencia que a veces presenta la instalación eléctrica del Museo para evitar posibles futuras sanciones en la factura mensual de energía.
5. Mantener actualizado el levantamiento eléctrico y los planos realizados por medio de esta auditoría energética, los cuales fueron proporcionados a la institución de manera digital e impresa.
6. Crear un plan de mantenimiento preventivo para toda la instalación eléctrica del museo así como para el sistema de iluminación con el fin de que la contaminación los elementos principales no perjudiquen la eficiencia energética del lugar.
7. Pequeñas acciones generan grandes cambios. Es importante dar inicio a la implementación de las medidas de mejora acá planteadas cuanto antes para obtener los mejores resultados desde ya.
8. Realizar mantenimiento y revisiones constantes a la bomba de agua para detectar tanto en su instalación eléctrica como hidráulica la posible existencia de fallas o desgaste que puedan provocar pérdidas de energía o excedentes de agua que a su vez incrementen el costo por cada servicio.

9. Revisar las fechas máximas de pago de las facturas del servicio de agua potable y de la energía eléctrica para no caer en incumplimientos o cargos adicionales por concepto de atrasos o mora.

10. Recordar en todo momento que reducir el consumo de energía eléctrica en el edificio no se traduce solamente en ahorro económico para la institución sino que también contribuye a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, la cual es la principal y mayor causa del cambio climático que está experimentando el planeta en la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 229-2014. *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional del Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala*. Guatemala. 2014. 133 p.
2. Acuerdo Gubernativo 33-2016. *Modificaciones al Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional*. (Acuerdo Gubernativo 229-2014). Guatemala. 2016. 16 p.
3. CNFL, S.A. *Guía de Eficiencia Energética para Oficinas*. Dirección de Innovación y Eficiencia Energética. Costa Rica. 2014. 78 p.
4. *Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD)*. Compendio de Normas Técnicas. 2010. 314 p.
5. DIEZ SUAREZ, Ana María. *Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios*. 1a ed. España: Paraninfo, 2015. 234 p.
6. ESTÁNDAR IEEE 1159. *Monitoreo de la Calidad de la Energía*. 2008. 145 p.
7. FITZGERALD, A. E. et al. *Teoría y análisis de las máquinas eléctricas*. 2a ed. México: Mexicana, 1984. 651 p.

8. FRAILE VILARRASA, Jorge. *Iluminación con tecnología LED*. 1a ed. España: Paraninfo, 2012. 210 p.
9. HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. [en línea]. <<http://www.casadellibro.com/elabcdelasinstalaciones>>. [Consulta: 6 de mayo de 2018].
10. HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto. *Elementos de las instalaciones eléctricas industriales*. [en línea]. <<http://www.casadellibro.com/libroelementosdelasinstalacioneseletricas>>. [Consulta: 11 de junio de 2018].
11. HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto. *Instalaciones y sistemas eléctricos industriales*. [en línea]. <<http://www.casadellibro.com/libro-instalacionesysistemas>>. [Consulta: 7 de mayo de 2018].
12. Instituto Tecnológico de Canarias. *Energías renovables y eficiencia energética*. [en línea]. <<http://www.cienciacanaria.es/files/librodeenergiasrenovables>>. [Consulta: 22 de junio de 2018].
13. LASSO TÁRRAGA, David. *Instalaciones eléctricas interiores*. 4a ed. España: Paraninfo, 2016. 494 p.
14. MARTZLOFF, F.D. *Coordination of surge protectors in low-voltage AC power circuits*. *IEEE Transactions on power apparatus and systems*. Estados Unidos, 1980. [en línea].

<<http://www.zonaemec.files.wordpress.com/2017-supresores>>.
[Consulta: 21 de julio de 2018].

15. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: Emisión de Gases de Efecto Invernadero y Gestión de Desechos*. 2001. 124 p.
16. Ministerio de Energía y Minas. *Plan Nacional de Energía*. Guatemala. 2017. 104 p.
17. _____ . *Política Energética 2013-2027*. 2013. Guatemala. 2003. 51 p.
18. Norma IEC 61000-3-2. *Límites de Armónicos de Corriente*. 2005. 36 p.
19. Norma IEC 61000-3-6. *Límites de Armónicos de Voltaje*. 2011. 26 p.
20. Norma ISO 14001. *Sistemas de Gestión Ambiental*. AOA. México. 2015. 13 p.
21. Norma ISO 50001. *Requisitos necesarios para implementación de un Sistema de Gestión de Energía*. 2011. 145 p.
22. Norma ISO 50002. *Guía y Requisitos para la elaboración de Auditorías Energéticas*. 2016. 66 p.
23. Normas Técnicas relacionadas con la calidad de la Potencia Eléctrica: Guatemala. NTCSTS. 2002. 114 p.

24. REY MARTÍNEZ, Francisco Javier. *Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas*. 1a ed. España: Editorial Paraninfo, 2006. 313 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cálculo para la evaluación económica del cambio de lámparas fluorescentes y halógenas por iluminación tipo led

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Fluorescente	Consumo energético (kWh)	1 394	1 383	1 512	1 394	1 380	1 412	1 394	1 383	1 400	1 520	1 500	1 750
	Costo mensual	Q. 1 005,21	Q. 997,28	Q. 1 090,30	Q. 1 005,21	Q. 995,11	Q. 1 018,19	Q. 1 005,21	Q. 997,28	Q. 1 009,54	Q. 1 096,07	Q. 1 081,65	Q. 1 261,92
Led	Consumo energético (kWh)	1 024,59	1 016,505	1 111,32	1 024,59	1 014,30	1 037,82	1 024,59	1 016,50	1 029	1 117,20	1 102,50	1 286,25
	Costo mensual	Q. 738,83	Q. 733,00	Q. 801,37	Q. 738,83	Q. 731,41	Q. 748,37	Q. 738,83	Q. 733,00	Q. 742,01	Q. 805,61	Q. 795,01	Q. 927,51
Ahorro total	Ahorro energético (kWh)	369,41	366,49	400,68	369,41	365,7	374,18	369,41	366,49	371,00	402,80	397,50	463,75
	Ahorro económico	Q. 266,38	Q. 264,27	Q. 288,93	Q. 266,38	Q. 263,70	Q. 269,82	Q. 266,38	Q. 264,27	Q. 267,52	Q. 290,45	Q. 286,63	Q. 334,41

Inversión inicial	Q. 13 200,00
-------------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Cálculo para la evaluación económica de las opciones y medidas de mejora y eficiencia energética

		Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo actual	Consumo (kWh)	1 190	1 200	1 220	1 175	1 110	1 190	1 265	1 290	1 260	1 230	1 220	1 210	1 260	1 250	1 260	1 275	1 290	1 300	1 350
	Costo energía	Q. 1 170,50	Q. 1 155,87	Q. 1 167,44	Q. 1 077,42	Q. 1 095,40	Q. 1 100,34	Q. 1 210,97	Q. 1 231,80	Q. 1 183,93	Q. 1 150,34	Q. 1 160,62	Q. 1 150,25	Q. 1 180,20	Q. 1 185,87	Q. 1 187,44	Q. 1 220,76	Q. 1 250,87	Q. 1 261,44	Q. 1 285,76
Implementación Led	Ahorro (kWh)													369,41	366,495	371,00	402,80	397,50	463,75	
	Ahorro económico														Q. 266,38	Q. 264,28	Q. 287,53	Q. 290,46	Q. 286,64	Q. 334,41
Buenas prácticas	Consumo (kWh)													40,58	40,58	40,58	40,58	40,58	40,58	40,58
	Ahorro económico													Q. 29,26						
Paneles solares	Consumo (kWh)																			
	Ahorro económico														Q. 387,95	Q. 382,18	Q. 354,06	Q. 354,06	Q. 333,87	Q. 342,52
Ahorros totales	Ahorro de energía (kWh)														302,01	322,93	372,42	355,62	398,92	370,67
	Ahorro económico														Q. 502,28	Q. 511,72	Q. 569,91	Q. 577,09	Q. 611,67	Q. 579,57
Consumo esperado	Consumo (kWh)	1 190	1 200	1 220	1 175	1 110	1 190	1 265	1 290	1 260	1 230	1 220	1 210	1 260	947,99	937,07	902,58	934,38	901,08	979,33
	Costo energía	Q. 1 170,50	Q. 1 155,87	Q. 1 167,44	Q. 1 077,42	Q. 1 095,40	Q. 1 100,34	Q. 1 210,97	Q. 1 231,80	Q. 1 183,93	Q. 1 150,34	Q. 1 160,62	Q. 1 150,25	Q. 1 180,20	Q. 683,59	Q. 675,72	Q. 650,85	Q. 673,78	Q. 649,77	Q. 706,19

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Medidor de energía eléctrica del museo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Breaker principal de 150 amperios en el tablero de distribución del museo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Tablero de distribución del museo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Analizador de redes fluke registrando en tiempo real los principales parámetros eléctricos de la red del museo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Equipo analizador de redes eléctricas instalado en el tablero principal de distribución para la toma de datos en el museo



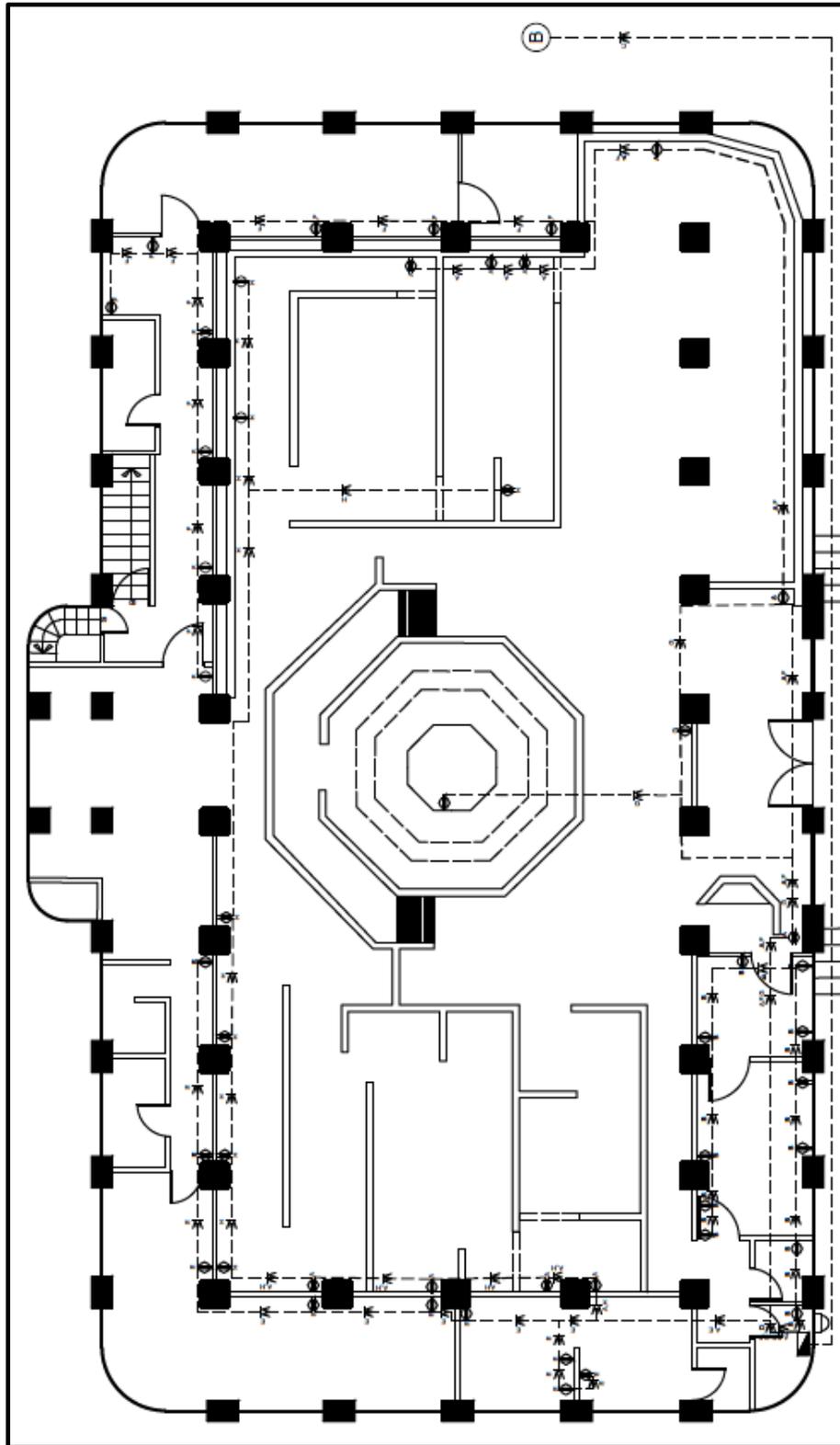
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Realización de la encuesta sobre los hábitos de consumo de los empleados del museo



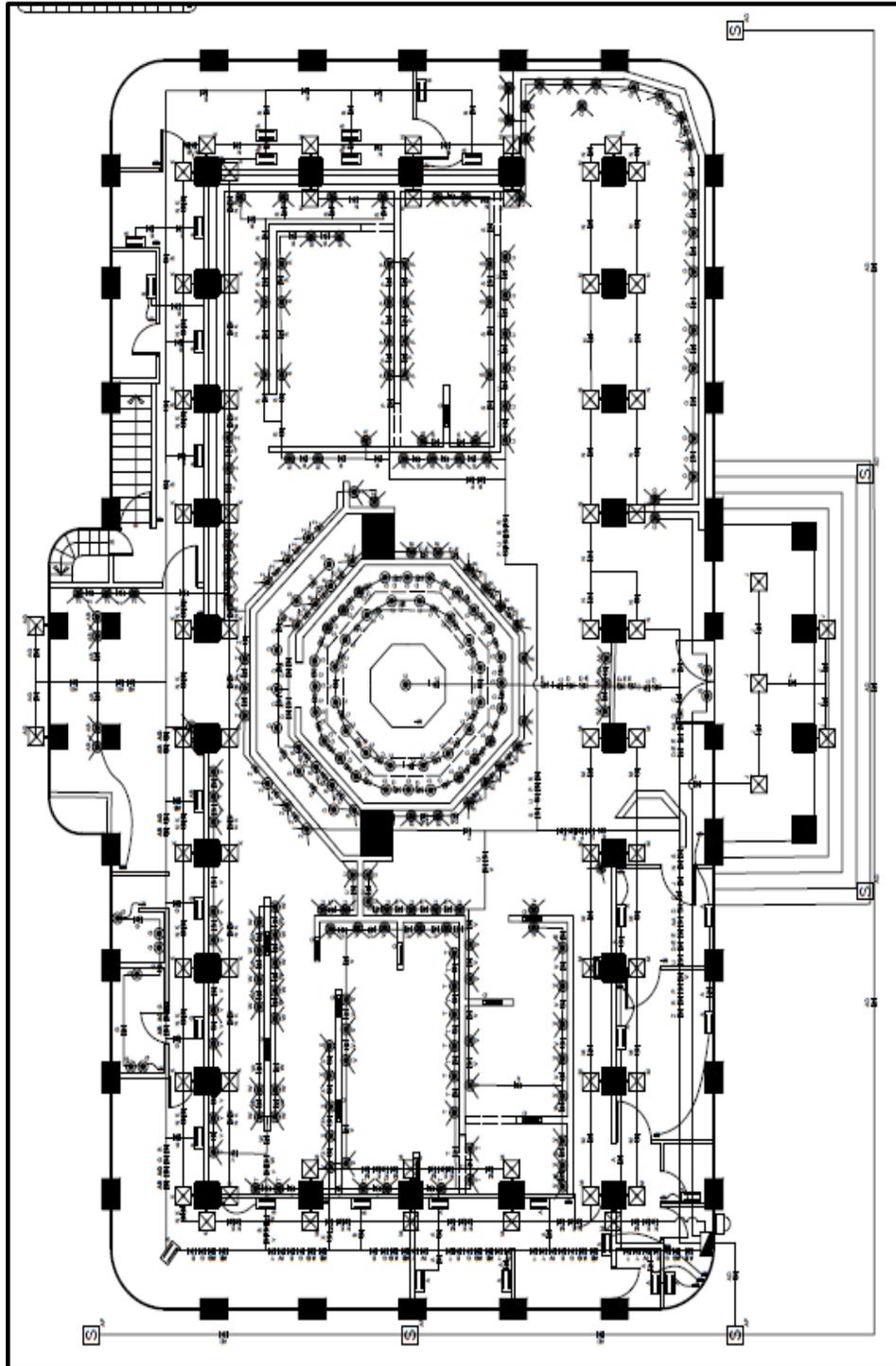
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Plano Eléctrico de Fuerza



Fuente: elaboración propia en AutoCAD 2017.

Apéndice 11. Plano Eléctrico de Iluminación



Fuente: elaboración propia en AutoCAD 2017.