



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

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO, FLOR
DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA**

Samuel Humberto Chis Boror

Asesorado por el Ing. Gabriel Armando Velásquez Velásquez

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL
EDIFICIO, FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SAMUEL HUMBERTO CHIS BOROR

ASESORADO POR EL ING. GABRIEL ARMANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres |
| EXAMINADOR | Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez |
| EXAMINADOR | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| 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 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO, FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica con fecha 31 de octubre de 2019.

Samuel Humberto Chis Boror

Guatemala 31 de octubre de 2019

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo

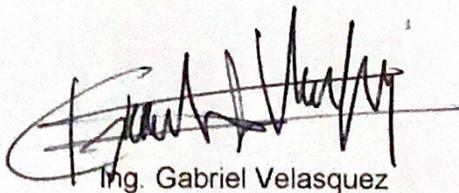
Por este medio atentamente le informo que el estudiante universitario, **Samuel Humberto Chis Boror** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201222640** y CUI **2347 04713 0108** ha sido aceptado para la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S), en un periodo de 3 meses.

También hago de su conocimiento que he revisado el índice propuesto para el trabajo de graduación cuyo título es **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO, FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA .**

En tal virtud LO DOY POR APROBADO, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente



Gabriel Armando Velásquez Velásquez
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 12,731

Ing. Gabriel Velasquez

Director Técnico de Planificación Energetica
Ministerio de Energía y Minas

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 22 de mayo de 2021.
Ref.EPS.DOC.249.05.2021.

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

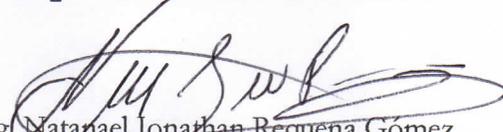
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Samuel Humberto Chis Boror** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201222640** y CUI **2347 04713 0108**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es, **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1 CIUDAD DE 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. Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 22 de mayo de 2021.
Ref.EPS.D.92.05.2021.

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

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO, FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Samuel Humberto Chis Boror**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Gabriel Armando Velásquez Velásquez y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Oscar Argueta Hernández *
Director Unidad de EPS

/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 28..2020.
28 DE ABRIL 2020.

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

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE
ENERGÍA DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD
DE GUATEMALA , del estudiante: Samuel Humberto Chis
Boror, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA TODOS

Ing. José Anibal Silva de los Angeles
Coordinador de Electrotécnica



SFO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 123. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; SAMUEL HUMBERTO CHIS BOROR titulado: ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.


Ing. ~~Armando Alonso Rivera Carrillo~~



GUATEMALA, 24 DE AGOSTO 2,021.

DTG. 496-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CALIDAD DE ENERGÍA DEL EDIFICIO, FLOR DEL CAFÉ, ZONA 1, CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Samuel Humberto Chis Boror**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Arábel Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|------------------------------|---|
| Dios | Por todas las bendiciones recibidas a lo largo de todos estos años de vida. |
| Mis padres | María Boror y Humberto Chis, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo, con su esfuerzo han contribuido a que yo pueda alcanzar una meta más en mi vida. |
| Mis hermanos | Ruth Nohemí y Edgar David Chis Boror, por motivarme a seguir adelante y apoyarme en todo momento. |
| Mi familia en general | Por el afecto y palabras para seguir adelante. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|---|
| La Universidad de San Carlos de Guatemala | Al ser la casa de estudios que me ha enseñado y formado como profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Por todo el conocimiento necesario y adquirido a lo largo de este tiempo para formarme como ingeniero. |
| Universidad de Udine | Por su acogida y brindarme la oportunidad durante un año de tener una experiencia tan satisfactoria e importante para mi vida personal y profesional. Como mi segunda casa de estudios. |
| Amigos y compañeros en la universidad | Por su colaboración, compartir su tiempo, sus conocimientos, y su apoyo durante este tiempo de universidad. |
| Ing. Gabriel Velásquez | Por compartir su tiempo, sus conocimientos, su colaboración y apoyo en mi trabajo de graduación. |

Amigos y compañeros del trabajo

Por brindarme su apoyo, lealtad, y amistad incondicional.

Amigos y compañeros del Erasmus

Porque de alguna manera se establecieron grandes lazos de amistad, que continuarán a través de los años. Una experiencia que me ha cambiado de manera positiva, que no sería quien soy hoy, sin todas las lecciones aprendidas durante ese año

Personas en general

Que han estado, que están y seguirán a mi alrededor, que alguna u otra manera ha contribuido a que yo pueda estar hasta aquí el día de hoy, gracias totales.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XIII |
| GLOSARIO | XV |
| RESUMEN | XVII |
| OBJETIVOS..... | XIX |
| INTRODUCCIÓN | XXI |
| | |
| 1. FLOR DEL CAFÉ | 1 |
| 1.1. Antecedentes generales de la institución | 1 |
| 1.1.1. Misión | 1 |
| 1.1.2. Visión..... | 2 |
| 1.1.3. Objetivo | 2 |
| 1.2. Descripción de las instalaciones del edificio..... | 4 |
| 1.2.1. Ubicación y área del edificio | 4 |
| 1.2.2. Horarios de trabajo | 6 |
| 1.2.3. Condiciones generales del edificio | 6 |
| | |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1. Conceptos generales..... | 9 |
| 2.1.1. Consumo eléctrico | 9 |
| 2.1.2. Demanda | 9 |
| 2.1.3. Potencia eléctrica | 10 |
| 2.1.3.1. Potencia activa, reactiva y aparente | 11 |
| 2.1.4. Factor de potencia | 12 |
| 2.2. Instalación eléctrica | 14 |

| | | |
|------------|---|----|
| 2.2.1. | Elementos de una instalación eléctrica | 14 |
| 2.2.1.1. | Acometida | 15 |
| 2.2.1.2. | Equipo de medición | 15 |
| 2.2.1.3. | Tableros | 15 |
| 2.2.1.4. | Interruptores | 16 |
| 2.2.1.5. | Fusibles | 18 |
| 2.2.1.5.1. | Curvas características de los fusibles | 19 |
| 2.2.1.5.2. | Clasificación de los fusibles | 19 |
| 2.2.1.6. | Tubería eléctrica..... | 20 |
| 2.2.1.7. | Conductores eléctricos | 21 |
| 2.3. | Cálculo de elementos eléctricos en una instalación | 22 |
| 2.3.1. | Corriente de cortocircuito I _{cc} | 22 |
| 2.3.2. | Cálculo de acometida eléctrica..... | 25 |
| 2.3.3. | Cálculo del diámetro de la tubería | 26 |
| 2.3.4. | Cálculo de conductores eléctricos por capacidad de conducción de corriente | 27 |
| 2.3.5. | Cálculo de conductores eléctricos por caída de tensión..... | 28 |
| 2.3.5.1. | Pruebas de aislamiento | 32 |
| 3. | METODOLOGÍA | 33 |
| 3.1. | Condiciones generales del edificio Flor del Café | 33 |
| 3.2. | Caracterización de la carga..... | 37 |
| 3.3. | Evaluación histórica de consumo | 40 |
| 3.3.1. | Consumo de energía eléctrica..... | 40 |
| 3.4. | Iluminación | 46 |
| 3.4.1. | Cálculo de luxes ideales por zona de trabajo | 49 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.5. | Identificación de hábitos de consumo..... | 53 |
| 3.5.1. | Encuesta sobre consumo energético..... | 53 |
| 3.6. | Análisis termográfico de las instalaciones del edificio | 56 |
| 3.6.1. | Criterios de aceptación para una falla térmica..... | 56 |
| 3.6.2. | Soluciones a las principales fallas térmicas en una instalación eléctrica | 61 |
| 4. | ANÁLISIS DE RED DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ | 63 |
| 4.1. | Curva característica de carga promedio del edificio | 63 |
| 4.2. | Análisis de red del edificio Flor del Café..... | 66 |
| 4.2.1. | Regulación de tensión | 69 |
| 4.2.2. | Desbalance de tensión | 69 |
| 4.2.3. | Desbalance de corriente..... | 74 |
| 4.2.4. | Análisis de corrientes..... | 74 |
| 4.2.5. | Distorsión armónica | 79 |
| 4.2.5.1. | Distorsión armónica total de tensión.... | 79 |
| 4.2.5.2. | Distorsión armónica total de corriente | 84 |
| 4.2.6. | Factor de potencia | 88 |
| 4.2.7. | Frecuencia..... | 92 |
| 4.2.8. | <i>Flicker</i> | 92 |
| 5. | ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ..... | 93 |
| 5.1. | Análisis teórico de la instalación eléctrica..... | 93 |
| 5.1.1. | Cálculo de tuberías..... | 93 |
| 5.1.1.1. | Cálculo de la tubería del tablero principal | 93 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.1.2. | Cálculo de sección de conductores eléctricos según la capacidad de conducción de corriente..... | 94 |
| 5.1.3. | Cálculo de sección de conductores eléctricos por caída de tensión | 95 |
| 5.1.4. | Cálculo coordinación de protecciones | 97 |
| 5.2. | Diagrama unifilar del edificio | 98 |
| 5.3. | Pararrayos..... | 101 |
| 5.3.1. | Componentes de un pararrayos | 102 |
| 5.3.2. | Diseño de pararrayos | 110 |
| 5.4. | Sistemas de puesta a tierra..... | 113 |
| 5.4.1. | La tierra y la resistividad..... | 113 |
| 5.4.1.1. | Medición de la resistividad del suelo .. | 113 |
| 5.4.2. | Diseño del sistema de puestas a tierra del edificio | 115 |
| 6. | ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS | 117 |
| 6.1. | Propuesta para la adecuación de paneles solares fotovoltaicos en el edificio Flor del Café | 117 |
| 6.1.1. | Sistema solar fotovoltaico..... | 117 |
| 6.1.2. | Sistema solar conectado a la red | 117 |
| 6.1.3. | Sistema solar aislado de la red o desconectado ... | 119 |
| 6.1.4. | Instalación de paneles solares en Guatemala..... | 119 |
| 6.1.5. | Componentes de los sistemas solares fotovoltaicos | 120 |
| 6.1.6. | Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red | 123 |
| 6.1.6.1. | Consideraciones generales | 123 |
| 6.1.6.2. | Área disponible..... | 124 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| 6.1.6.3. | Mapas de recursos solares de Guatemala | 125 |
| 6.1.7. | Cálculo de los componentes de la instalación | 127 |
| 6.1.7.1. | Cálculo de los módulos fotovoltaicos. | 128 |
| 6.1.7.2. | Cálculo del inversor/cargador | 129 |
| 6.1.7.3. | Presupuesto..... | 129 |
| 6.1.7.4. | Evaluación del proyecto..... | 130 |
| 6.2. | Análisis y propuesta de mejoras en iluminación | 132 |
| 6.3. | Análisis técnico-económico de las propuestas planteadas.... | 135 |
| 6.3.1. | Consumo eléctrico con tecnología LED..... | 136 |
| 6.3.2. | Consumo de energía con las propuestas realizadas | 137 |
| 6.4. | Emisiones de CO ₂ evitadas | 141 |
| CONCLUSIONES | | 143 |
| RECOMENDACIONES | | 145 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 147 |
| APÉNDICES | | 149 |
| ANEXOS..... | | 153 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Organigrama del MAGA | 3 |
| 2. | Ubicación edificio Flor del Café, zona 1. | 4 |
| 3. | Localización del edificio Flor del Café, vista satelital..... | 5 |
| 4. | Potencia eléctrica para una red CA..... | 10 |
| 5. | Definición de potencia promedio | 11 |
| 6. | Comportamiento del factor de potencia ante diferentes cargas | 13 |
| 7. | Triángulo de potencias | 14 |
| 8. | Tablero de control de potencia | 16 |
| 9. | Funcionamiento interruptor diferencial | 17 |
| 10. | Curva característica de un interruptor | 18 |
| 11. | Clasificación de los fusibles | 20 |
| 12. | Partes de un conductor eléctrico | 21 |
| 13. | Fallas en un sistema eléctrico trifásico..... | 23 |
| 14. | Diagrama fasorial | 30 |
| 15. | Acometida eléctrica del edificio | 34 |
| 16. | Tablero de distribución principal..... | 35 |
| 17. | Tubería instalada en el edificio..... | 36 |
| 18. | Iluminación lámpara fluorescente..... | 37 |
| 19. | Iluminación lámpara incandescente | 38 |
| 20. | Circuito de fuerza, bomba de 1 HP | 38 |
| 21. | Tomacorriente del edificio | 39 |
| 22. | Interruptores del edificio | 39 |
| 23. | Consumo eléctrico del edificio año 2018..... | 41 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 24. | Proyección del consumo energético 2016-2027 | 42 |
| 25. | Inventario de equipos..... | 45 |
| 26. | Encuesta sobre consumo energético..... | 54 |
| 27. | Termografía del tablero principal | 58 |
| 28. | Termografía tablero B y C..... | 59 |
| 29. | Termografía tablero D..... | 60 |
| 30. | Termografía tablero E | 61 |
| 31. | Carga promedio del edificio para un día laboral | 64 |
| 32. | Carga promedio del edificio para un día no laboral..... | 65 |
| 33. | Análisis tensión fase A..... | 71 |
| 34. | Análisis tensión fase B..... | 72 |
| 35. | Análisis tensión en el neutro | 73 |
| 36. | Análisis corriente fase A | 76 |
| 37. | Análisis corriente fase B | 77 |
| 38. | Análisis corriente para el neutro..... | 78 |
| 39. | Armónicos de tensión fase A | 81 |
| 40. | Armónicos de tensión fase B | 82 |
| 41. | Armónicos de tensiones referidas al neutro..... | 83 |
| 42. | Armónicos de corriente fase A..... | 85 |
| 43. | Armónicos de corriente fase B..... | 86 |
| 44. | Armónicos de corriente referido al neutro | 87 |
| 45. | Factor de potencia fase A | 89 |
| 46. | Factor de potencia fase B..... | 90 |
| 47. | Factor de potencia referido al neutro | 91 |
| 48. | Diagrama unifilar de la red del edificio Flor del Café..... | 99 |
| 49. | Diagrama unifilar tablero A | 99 |
| 50. | Diagrama unifilar tablero B | 100 |
| 51. | Diagrama unifilar tablero C | 100 |
| 52. | Diagrama unifilar tablero D | 101 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 53. | Diagrama unifilar tablero E | 101 |
| 54. | Partes del pararrayos | 103 |
| 55. | Diagrama lógico para la instalación de un pararrayos..... | 104 |
| 56. | Área equivalente de un edificio con una parte prominente | 106 |
| 57. | Esquema de puestas a tierra de un edificio | 114 |
| 58. | Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica..... | 118 |
| 59. | Diagrama unifilar sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica..... | 118 |
| 60. | Paneles solares fotovoltaicos monocristalino y policristalino | 121 |
| 61. | Unifilar sistema solar fotovoltaico conectado a la red con sus componentes..... | 122 |
| 62. | Área para la instalación fotovoltaica en el edificio | 125 |
| 63. | Radiación solar sobre la tierra..... | 126 |
| 64. | Producciones y consumos año 2018..... | 131 |
| 65. | Valores promedio iluminación por zona de trabajo | 134 |
| 66. | Eficiencia en iluminación por zona de trabajo | 135 |
| 67. | Análisis económico proyectado año 2019 | 138 |
| 68. | Proyección consumo de energía eléctrica año 2019..... | 140 |
| 69. | Proyección costo económico derivado del consumo de energía eléctrica año 2019..... | 141 |
| 70. | Emisiones de CO ₂ en el edificio | 142 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Porcentajes de ocurrencia de cortocircuito en una instalación..... | 22 |
| II. | Probabilidad de ocurrencia por tipo de fallas en una instalación..... | 23 |
| III. | Factor de corrección para la disipación de calor | 28 |
| IV. | Factor de corrección según el tipo de circuito alimentador | 28 |
| V. | Caída de tensión según NEC..... | 29 |

| | | |
|---------|---|----|
| VI. | Valores recomendados de resistencia de aislamiento para instalaciones eléctricas | 32 |
| VII. | Especificación acometida | 33 |
| VIII. | Descripción de la tubería instalada en el edificio | 35 |
| IX. | Descripción de los conductores instalados en el edificio | 36 |
| X. | Consumo eléctrico año 2018 | 40 |
| XI. | Consumo eléctrico de tres años consecutivos | 41 |
| XII. | Consumo energético 2016-2027 | 43 |
| XIII. | Inventario de equipo | 44 |
| XIV. | Luminarias en cada área del edificio..... | 46 |
| XV. | Tiempo de uso de luminaria en el edificio..... | 47 |
| XVI. | Consumo total de luminarias en el edificio..... | 47 |
| XVII. | Luminarias en cada área del edificio..... | 48 |
| XVIII. | Tiempo de uso de luminaria en el edificio..... | 48 |
| XIX. | Consumo total de luminarias en el edificio..... | 49 |
| XX. | Cálculo de luxes por zona de trabajo..... | 50 |
| XXI. | Intensidad de la iluminación artificial, según el reglamento de salud y seguridad ocupacional | 52 |
| XXII. | Clasificación de fallas eléctricas según NETA | 57 |
| XXIII. | Periodos de inspecciones recomendados | 57 |
| XXIV. | Resumen calidad de la energía según norma EN 50160..... | 66 |
| XXV. | Fórmulas utilizadas para el análisis de la calidad de la energía | 67 |
| XXVI. | Resultados de parámetros en puntos de mediciones | 68 |
| XXVII. | Voltaje fase A | 70 |
| XXVIII. | Voltaje fase B | 70 |
| XXIX. | Voltaje referido al neutro..... | 70 |
| XXX. | Corriente fase A | 75 |
| XXXI. | Corriente fase B | 75 |
| XXXII. | Corriente neutro | 75 |

| | | |
|----------|--|-----|
| XXXIII. | Valores del factor THD y su efecto en una instalación | 79 |
| XXXIV. | Distorsión armónica de tensión THDV | 80 |
| XXXV. | Distorsión armónica de corriente THDI | 84 |
| XXXVI. | Factor de potencia..... | 88 |
| XXXVII. | Cantidad de conductores por tubería | 94 |
| XXXVIII. | Resumen cálculo de conductores por caída de tensión y por ampacidad | 97 |
| XXXIX. | Resumen cálculos de protecciones..... | 98 |
| XL. | Coeficiente C1 ambiental | 106 |
| XLI. | Coeficiente C2 tipo de construcción de la estructura | 107 |
| XLII. | Coeficiente C3 evaluación del tipo de contenido de la estructura | 108 |
| XLIII. | Coeficiente C4 evaluación de la ocupación de la estructura | 108 |
| XLIV. | Coeficiente C5 evaluación de las consecuencias de un impacto de rayos sobre el entorno..... | 109 |
| XLV. | El nivel de protección | 110 |
| XLVI. | Niveles de protección de pararrayos según IEC 62305 | 112 |
| XLVII. | Valores de puesta a tierra según IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC | 115 |
| XLVIII. | Ubicación del edificio en coordenadas | 124 |
| XLIX. | Radiación solar diaria..... | 127 |
| L. | Datos principales de la instalación | 128 |
| LI. | Características técnicas de los módulos fotovoltaicos | 128 |
| LII. | Características técnicas del inversor..... | 129 |
| LIII. | Costo total aproximado del proyecto | 130 |
| LIV. | Comparativa de consumos y producción | 130 |
| LV. | Ahorro anual con la implementación de paneles solares | 132 |
| LVI. | Resultados estudio de iluminación | 133 |
| LVII. | Comparación lámparas fluorescentes vs lámparas LED..... | 136 |
| LVIII. | Costo por cambio de luminaria..... | 137 |

| | | |
|-------|--|-----|
| LIX. | Consumo actual de energía eléctrica de enero a diciembre 2019 | 137 |
| LX. | Proyección ahorro económico consumo de energía eléctrica mensual año 2019 | 139 |
| LXI. | Comparación de consumos eléctricos del edificio | 142 |
| LXII. | Emisiones de GEI evitadas en el edificio | 142 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|---|
| A | Amperios |
| HP | Caballos de fuerza |
| AWG | Calibre de alambre estadounidense |
| cm | Centímetro |
| lcc | Corriente de corto circuito |
| I | Corriente |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| THD | Distorsión armónica total |
| fp | Factor de potencia |
| °C | Grados Celsius |
| °F | Grados Fahrenheit |
| K | Grados kelvin |
| Hz | Hercios |
| HSP | Horas de sol pico |
| X | Impedancia eléctrica |
| kg | Kilogramo |
| kv | Kilovoltio |
| kWh | Kilowatts hora |
| Lx | Luxes |
| PTS | Medición para el flicker de corto plazo |
| mm² | Metros cuadrados |
| m | Metros |
| MCM | Miles de circular mil |

| | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| ma | Miliamperios |
| mm | Milímetros |
| ns | Nanosegundos |
| Ω | Ohm |
| π | Phi |
| Wp | Potencia activa pico |
| S | Potencia aparente |
| P | Potencia eléctrica real en vatios |
| R | Resistencia eléctrica |
| ρ | Resistividad del material conductor |
| Wh | Vatios hora |
| W | Vatios |
| V | Voltios |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------|--|
| Aislante | Material que no deja pasar la electricidad y por lo general no conductor. |
| AWG | El espesor de un cable o de un alambre se define según su calibre. |
| Baja Tensión | En Guatemala se conocen así a los valores inferiores a 1 kv, las tensiones más habituales se encuentran entre los 120 volts y los 240 volts. |
| CA | La corriente alterna es aquella que presenta una variación por lo regular es en forma sinodal a una frecuencia de 60 Hz o 50 Hz. |
| CC | La corriente continua es aquella corriente eléctrica, que no cambiar de sentido con el paso del tiempo. |
| CO₂ | Gas compuesto por 2 átomos de oxígeno y 1 de carbono. Este gas, es uno de los causantes del efecto invernadero. |
| Disyuntores | Elemento que interrumpe de manera automática la corriente eléctrica cuando se supera una cierta intensidad. |

| | |
|--------------------------------|---|
| Distribuidor de energía | Es aquella empresa que se dedica a transportar energía desde las redes de transporte hasta los puntos de consumo. |
| EEGSA | Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. es una empresa de distribución de energía. |
| Falla | Evento anormal que provoca el mal funcionamiento de un circuito eléctrico. |
| LED | Diodo emisor de luz está formado por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado. |
| Neutro | Es un conductor con diferencia de potencial 0, que permita el paso de corriente eléctrica por el conductor de fase. |

RESUMEN

Se presenta un estudio eléctrico de las instalaciones del edificio Flor del Café, ubicado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala, se realizaron inspecciones y mediciones para evaluar el estado actual de las instalaciones del edificio.

Con los datos y parámetros obtenidos se realizó un análisis comparativo con base en normas nacionales e internacionales para determinar la calidad de la energía eléctrica también para la eficiencia energética, con el fin de proponer soluciones que a mediano, largo plazo puedan ser ejecutadas, para contribuir con el ahorro energético del edificio, también se pretende reducir la emisión de gases de efecto invernadero tal y como se estipula en la política energética 2013-2027, en la cual se busca reducir el consumo energético en edificio públicos.

Adicional a las propuestas de mejora, se tocan temas básicos para realizar el cálculo de las instalaciones eléctricas de un edificio y algunos sistemas de protecciones que ayudan a que la instalación sea más segura y confiable.

OBJETIVOS

Analizar las instalaciones eléctricas actuales que tiene el edificio Flor del Café ubicado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala, e implementar un plan de mejora para la eficiencia energética dentro de las instalaciones de este.

Específicos

1. Evaluar las instalaciones eléctricas con apoyo de la termografía eléctrica para diagnosticar su funcionamiento actual.
2. Determinar la calidad de la energía eléctrica mediante el análisis de redes, del Flor del Café, ubicado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala.
3. Dimensionar las instalaciones eléctricas actuales del edificio con base en el crecimiento que puede tener en el futuro.
4. Determinar las condiciones de los equipos de protección con que cuenta el edificio.
5. Evaluar la factibilidad económica de la instalación solar fotovoltaica para consumo del edificio con el fin de reducir las emisiones de CO₂.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en un análisis sobre la calidad de energía también eficiencia energética de las instalaciones del edificio Flor del Café con el fin de conseguir un ahorro energético, mediante un uso adecuado de los recursos energéticos que se tienen dentro del mismo, disminuyendo las emisiones de CO₂, como el gasto económico que esto representa para el presupuesto del estado, todo esto sin perjudicar las actividades que se realizan en este edificio.

Este proyecto nace como una necesidad del cuarto eje de la Política energética 2013-2027, Ahorro y Uso Eficiente de la Energía. Uno de los principales objetivos es cambiar los hábitos de consumo para tener un uso eficiente de la energía con el fin de reducir el 30 % de consumo energético en las instituciones públicas. Mediante estudios técnicos que evalúen e indiquen el impacto económico que se puede tener al utilizar de manera racional la energía.

El proyecto por realizar consiste en una auditoría energética a través de una inspección y análisis energético en el edificio con el fin de determinar el estado de las instalaciones eléctricas. Las mediciones y datos se obtuvieron con el analizador de redes FLUKE 435 Clase II, una cámara termográfica y un luxómetro AEMC CA813, los cuales proporcionan la información necesaria para realizar los análisis eléctricos en estudio para luego ser analizadas, presentando una propuesta de mejora.

1. FLOR DEL CAFÉ

1.1. Antecedentes generales de la institución

La historia del MAGA data del 24 de agosto de 1871 cuando se crea El Decreto Gubernativo número 14, bajo este se establece un Ministerio de Fomento, y se le otorgaron funciones entre las más destacadas; la mejora y protección de las artes, agricultura, caminos, comercio, ganadería, industrias, líneas telegráficas, obras públicas, puentes, puertos y medios de comunicación. Actualmente es conocido bajo la denominación de Ministerio de Agricultura ganadería y Alimentación esto según el Decreto Legislativo No 51-81.¹

1.1.1. Misión

Somos una Institución del Estado, que fomenta el desarrollo rural integral a través de la transformación y modernización del sector agropecuario, forestal e hidrobiológico, desarrollando capacidades productivas, organizativas y comerciales para lograr la seguridad y soberanía alimentaria y competitividad con normas y regulaciones claras para el manejo de productos en el mercado nacional e internacional, garantizando la sostenibilidad de los recursos naturales.²

¹ Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *Historia*. <https://www.maga.gob.gt/historia/>. Consulta: 2 de diciembre de 2019.

² *Ibíd.*

1.1.2. Visión

Ser una institución pública eficiente, eficaz y transparente que promueve el desarrollo sustentable y sostenible del sector, para que los productores agropecuarios, forestales e hidrobiológicos, obtengan un desarrollo rural integral a través del uso equitativo de los medios de producción y uso sostenible de los recursos naturales renovables, mejorando su calidad de vida, seguridad y soberanía alimentaria, y competitividad.³

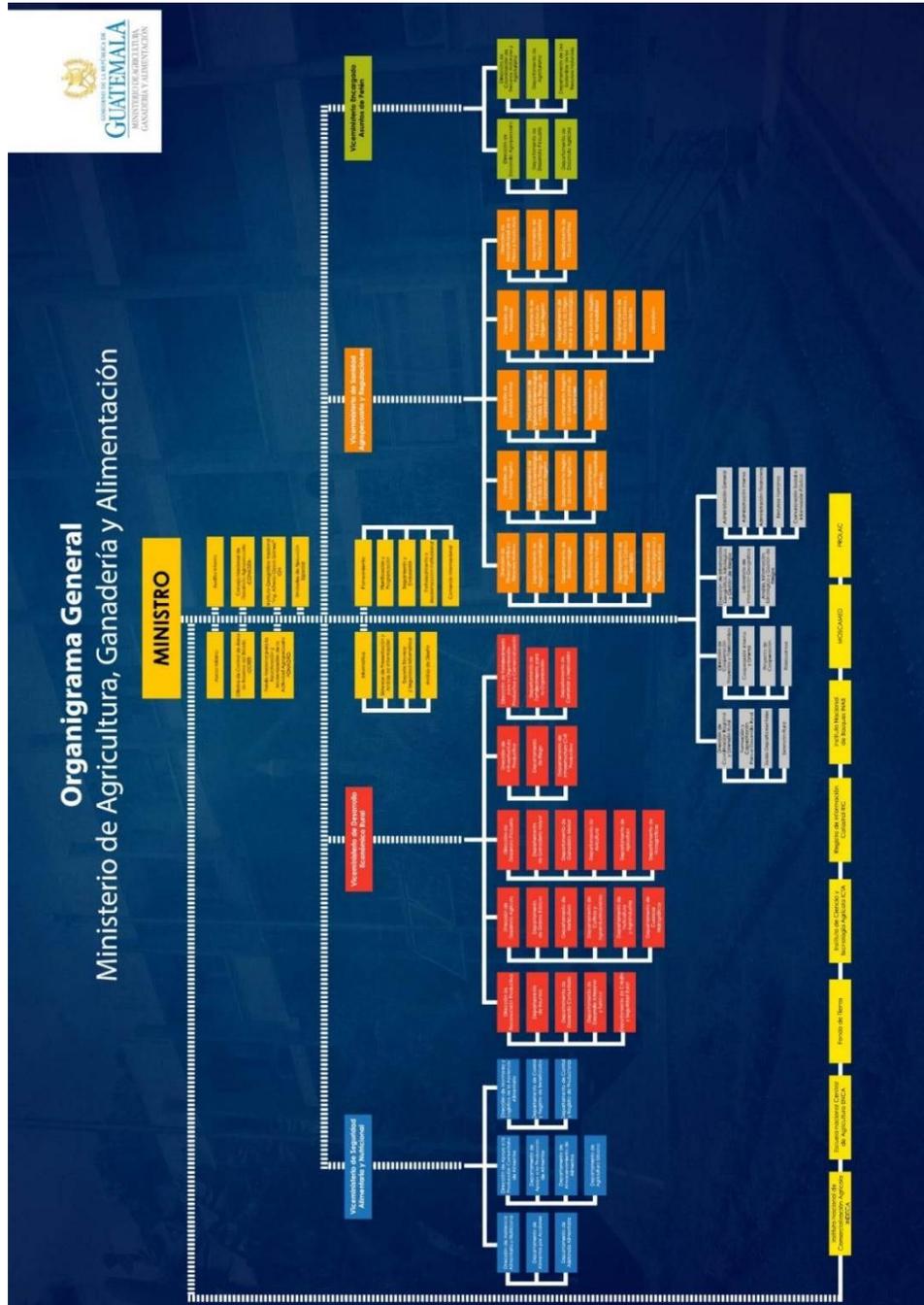
1.1.3. Objetivo

Generar, procesar y difundir información geográfica, cartográfica, de seguridad alimentaria y gestión de riesgo para la elaboración de planes de contingencia, la prevención y mitigación de daños causados por desastres naturales, así como el registro y control de las Áreas de Reserva Territoriales del Estado adoptando tecnologías e innovaciones, que le brinden la oportunidad de la satisfacción de sus necesidades básicas, la generación de excedentes y el desarrollo integral.⁴

³ Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *Historia*. <https://www.maga.gob.gt/historia/>. Consulta: 2 de diciembre de 2019.

⁴ *Ibíd.*

Figura 1. Organigrama del MAGA



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *Organigrama*.
<https://www.maga.gob.gt/download/orga-ma.jpg>. Consulta: 2 de diciembre de 2019.

1.2. Descripción de las instalaciones del edificio

A continuación, se hace una breve descripción de las instalaciones del edificio.

1.2.1. Ubicación y área del edificio

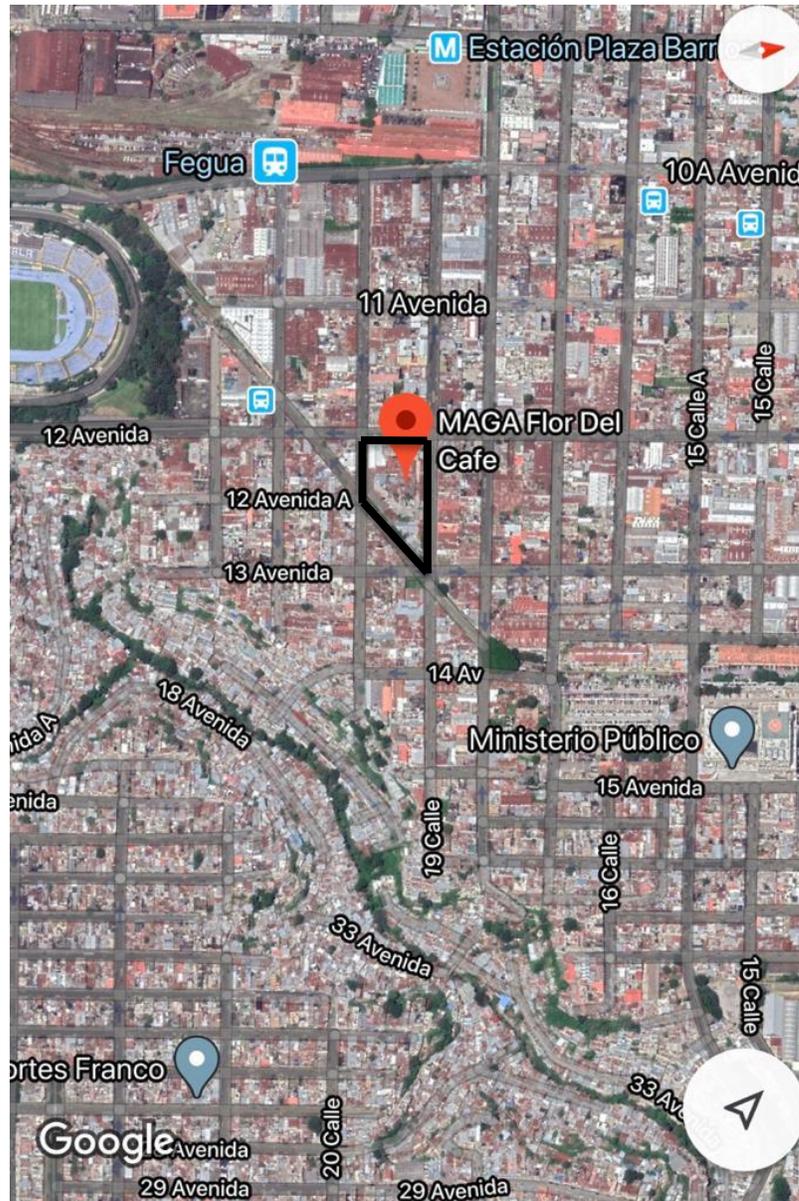
El edificio se encuentra ubicado en la ciudad capital, 12 Avenida 19-01, Zona 1. A continuación se muestra su ubicación.

Figura 2. **Ubicación edificio Flor del Café, zona 1.**



Fuente: Google Maps. *Ubicación.* <https://goo.gl/maps/thNGEYQht6wr5vuR7>. Consulta: 2 de diciembre de 2019.

Figura 3. Localización del edificio Flor del Café, vista satelital



Fuente: Google Earth. Localización. <https://goo.gl/maps/thNGEYQht6wr5vuR7>. Consulta: 2 de diciembre de 2019.

1.2.2. Horarios de trabajo

En el edificio Flor del Café, se llevan a cabo diferentes actividades administrativas en horario de 8:00 a 16:00 horas de lunes a viernes. Los fines de semanas y algunos días festivos únicamente permanece el personal de seguridad del edificio, sin embargo, el gasto energético que esto representa no es relevante para el estudio a realizar.

1.2.3. Condiciones generales del edificio

El actual edificio ubicado en la 12 Avenida 19-01 Zona 1, tiene una construcción bastante antigua, en el recorrido que uno puede dar por el mismo se observa que este ha carecido de mantenimiento en todo sentido, en la parte eléctrica se puede verificar en los tipos de conexiones eléctricas que hay en las instalaciones, también es importante recalcar que esta institución pública ha tenido muy pocas o casi nulas modificaciones a como originalmente fue diseñado y construido.

Como primer punto se llevó a cabo una inspección visual de las oficinas de todo el edificio Flor del Café, acompañado de la persona encargada del mantenimiento de este. Esto con el fin de verificar el estado de las instalaciones y los equipos instalados, para que en la siguiente visita se lleve el equipo y las herramientas adecuadas para poder realizar las mediciones en cada uno de los circuitos.

Es importante mencionar que durante la primera inspección se confirmó nuevamente que el mantenimiento, que se le ha dado a las instalaciones a lo largo de todos estos años es mínimo. Y derivado de esto se encontraron varios equipos que están deteriorados o incluso inservibles. Un claro ejemplo sobre la falta de mantenimiento en el edificio fue el caso de un incendio que ocurrió años

atrás en toda la parte central del edificio, derivado de unas malas conexiones que se tenían desde la época en que se realizó la construcción de este.

En la siguiente visita se verifico otros parámetros referentes al estado actual de las instalaciones eléctricas, así como de los dispositivos de protección, tableros, tubería instalada, tipos de conductores, y la distribución de la carga instalada.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, una explicación de los conceptos básicos utilizados durante el análisis de la eficiencia energética y calidad de la potencia eléctrica del edificio Flor del Café.

2.1. Conceptos generales

A continuación, se describen algunos conceptos generales en cuanto al consumo eléctrico.

2.1.1. Consumo eléctrico

Es la cantidad de energía utilizada por un dispositivo eléctrico durante un tiempo determinado.

2.1.2. Demanda

Se refiere a la carga que será utilizada en un determinado intervalo de tiempo en la instalación eléctrica. Es importante señalar que la demanda no es necesariamente la sumatoria de todas las cargas instaladas.

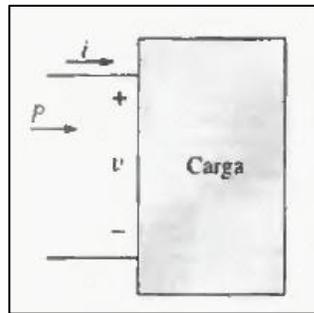
Sabiendo esto la demanda máxima se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{demanda maxima} = (\text{carga instalada} \times \text{factor de demanda})$$

2.1.3. Potencia eléctrica

Para cualquier carga en una red sinusoidal de CA, la corriente y el voltaje a través de la carga tendrán un comportamiento senoidal. Para determinar la potencia entregada a una carga se tiene que:

Figura 4. Potencia eléctrica para una red CA



Fuente: BOYLESTAD, Robert. *Introducción al análisis de circuitos*. p 592-593.

$$v = V_m \text{sen}(wt + \theta_v)$$

$$i = I_m \text{sen}(wt + \theta_i)$$

Se sabe que:

$$p = vi = V_m \text{sen}(wt + \theta_v) I_m \text{sen}(wt + \theta_i)$$

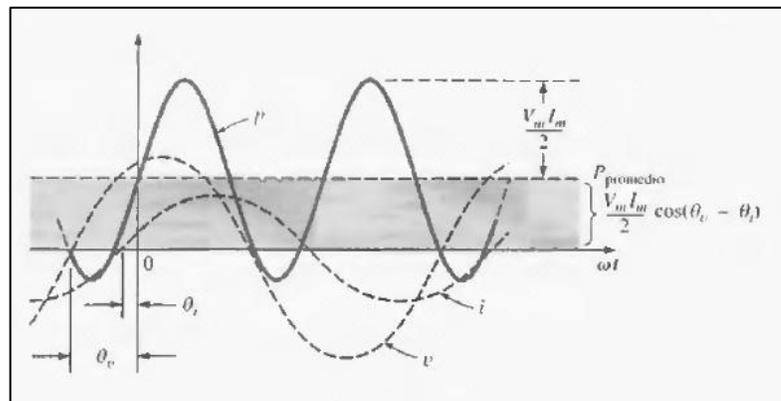
Al utilizar la identidad trigonométrica y aplicarla a la ecuación anterior

$$\text{sen}A \text{sen}B = \frac{\cos(A - B) - \cos(A + B)}{2}$$

Se obtienen la siguiente ecuación:

$$p = \left[\frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) \right] - \left[\frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \right]$$

Figura 5. **Definición de potencia promedio**



Fuente: BOYLESTAD, Robert. *Introducción al análisis de circuitos*. p 592-593.

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

La potencia real o activa, representa el trabajo útil dentro de la instalación, se mide en watts y se representa por P. Dependiendo del tipo de circuito, se puede calcular:

Sistema monofásico: $P = V * I \cos(\theta)$

Sistema trifásico: $P = \sqrt{3} * V * I \cos(\theta)$

La potencia reactiva es necesaria para crear los campos magnéticos y eléctricos para el funcionamiento de equipos como motores y transformadores. Esta potencia no produce trabajo útil. Se representa mediante una Q, se mide en voltamperios reactivos.

Se pueden calcular los valores de potencia reactiva de las siguientes formas:

$$\text{Sistema monofásico: } Q = V * I \sin(\theta)$$

$$\text{Sistema trifásico } Q = \sqrt{3} * V * I \sin(\theta)$$

La potencia aparente medida en voltamperios es suministrada para el caso de Guatemala por EEGSA o ENERGUATE. Se puede obtener de la suma vectorial de la potencia reactiva y potencia activa. Y se puede calcular como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

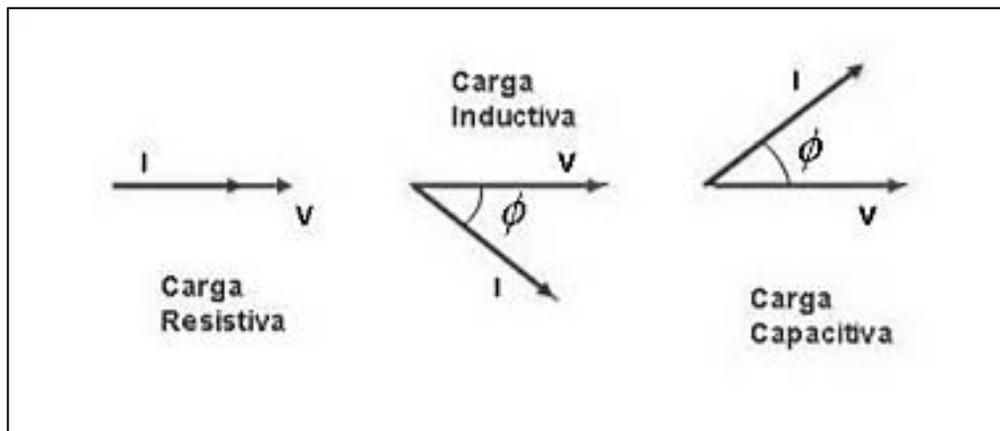
2.1.4. Factor de potencia

Este nos indica la eficiencia con que se está utilizando la energía eléctrica suministrada para producir un trabajo útil. Según el tipo de carga, el factor de potencia puede ser:

- Con cargas resistivas, se tiene un fp unitario. la tensión y la corriente están en fase.
- Con cargas inductivas, la corriente está retrasada respecto a la tensión.

- Con cargas capacitivas, es la corriente la que esta adelantada respecto a la tensión.

Figura 6. **Comportamiento del factor de potencia ante diferentes cargas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

El fp se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$\cos(\theta) = \frac{P}{S}$$

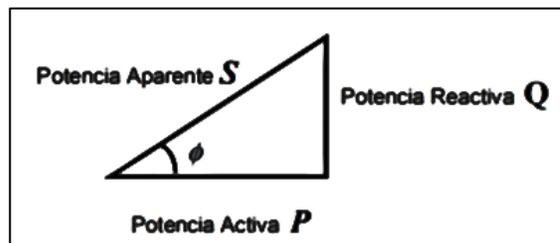
Dónde:

P = potencia activa, kW

S = potencia aparente, kVA

θ = ángulo entre el voltaje, V y la corriente, A

Figura 7. **Triángulo de potencias**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

2.2. Instalación eléctrica

Conjunto de elementos necesarios para interconectar o conectar una fuente de energía eléctrica con los equipos donde es requerida. Entre las principales características de una instalación eléctrica se pueden mencionar:

- Es confiable.
- Es eficiente.
- Es económica.
- Es flexible, es posible que se expanda o se disminuya según la necesidad del usuario.

2.2.1. Elementos de una instalación eléctrica

A continuación, en los siguientes incisos se describen los elementos de una instalación eléctrica.

2.2.1.1. Acometida

Una acometida se puede comprender como la línea que entronca la red eléctrica con el sistema de medición del usuario. Para realizar el cálculo se utilizará el método por corriente, ver la sección 2.3.2., que consiste en seleccionar el calibre del conductor en función de la corriente en la instalación.

2.2.1.2. Equipo de medición

Dispositivo instalado en la acometida del usuario para cuantificar el consumo de energía eléctrica, este debe estar instalado en un lugar accesible para su revisión y lectura.

2.2.1.3. Tableros

Se entiende por tablero al espacio donde se colocan, dispositivos de seguridad y control, para garantizar que una instalación funcione de manera confiable, ordenada y segura. El tablero general va inmediatamente después del transformador, por lo general contiene un interruptor general.

- Funciones del tablero:
 - Dividir un circuito eléctrico.
 - Proveer de un medio de conexión/desconexión manual de cada uno de los circuitos derivados.
 - Proteger contra sobre corrientes.
 - Concentrar todos los interruptores en un solo punto.

Figura 8. **Tablero de control de potencia**



Fuente: Ingeniería Mecafenix. *Tipos de tableros eléctricos*.
<https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/tableros-electricos/>.

Consulta: 3 de enero de 2020.

2.2.1.4. Interruptores

Es un dispositivo eléctrico capaz de realizar acciones repetitivas, diseñado para abrir o cerrar un circuito. Puede utilizarse como medio de conexión o desconexión, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecargas o cortocircuitos.

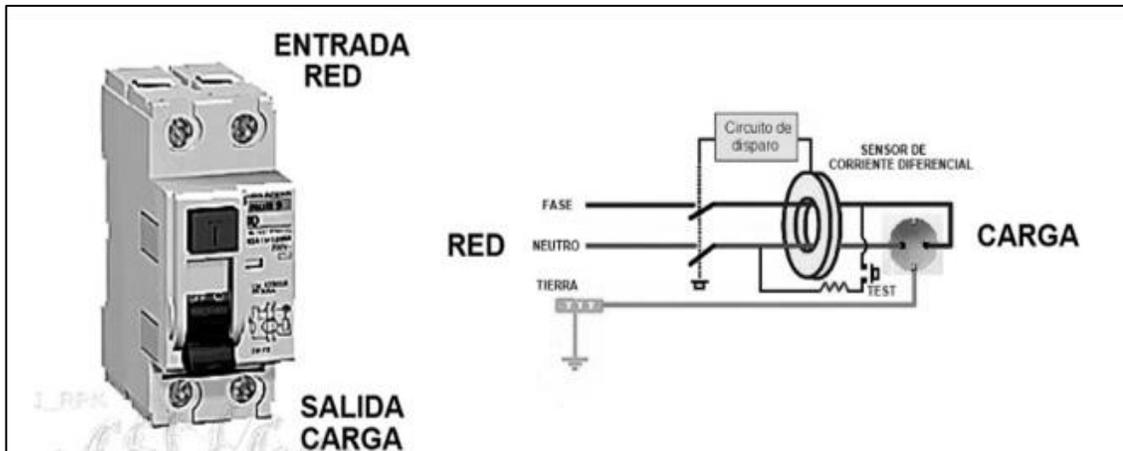
Algunos tipos de interruptores son:

- Interruptor general o principal.
- Interruptor derivado.
- Interruptor magnético.

- Interruptor diferencial.

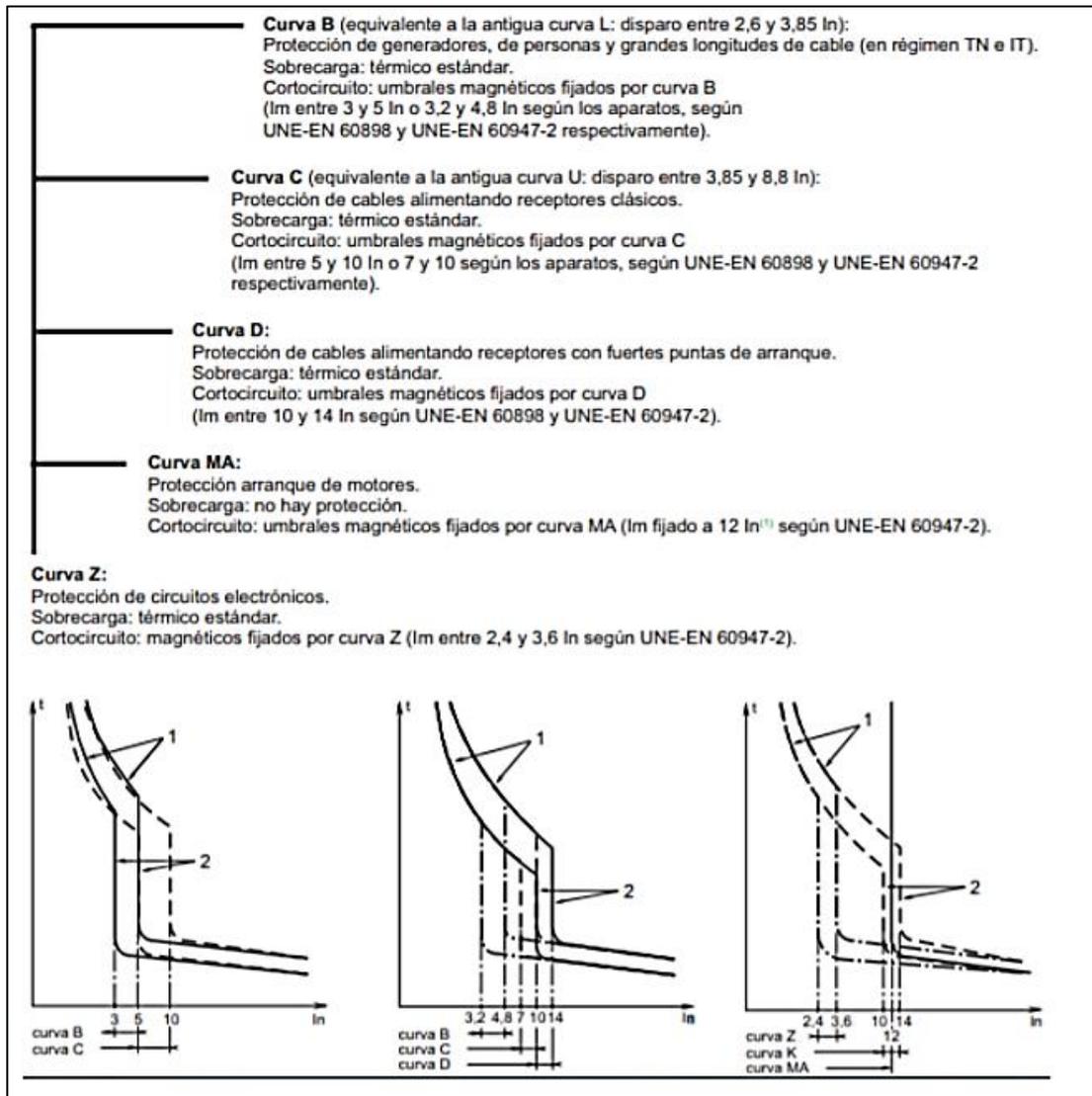
El interruptor diferencial mide la diferencia de corrientes entre fase y neutro. Al detectar una diferencia entre la entrada y la salida, el dispositivo interrumpe el paso de la corriente.

Figura 9. **Funcionamiento interruptor diferencial**



Fuente: Electro industria. *Revista electro industria*. p. 10.

Figura 10. **Curva característica de un interruptor**



Fuente: Electro industria. *Revista electro industria*. p. 10.

2.2.1.5. Fusibles

Dispositivo eléctrico que tiene como propósito el interrumpir el paso de la corriente mediante el efecto de fusión, una vez se haya excedido el valor en un

determinado intervalo de tiempo. Entre las principales características de los fusibles están:

- Tensión nominal
- Nivel básico de impulso
- Respuesta de operación, curva tiempo-corriente
- Capacidad interruptora
- Servicio, interior o intemperie
- Corriente de cortocircuito.
- Impedancia equivalente, Z_{eq}

2.2.1.5.1. Curvas características de los fusibles

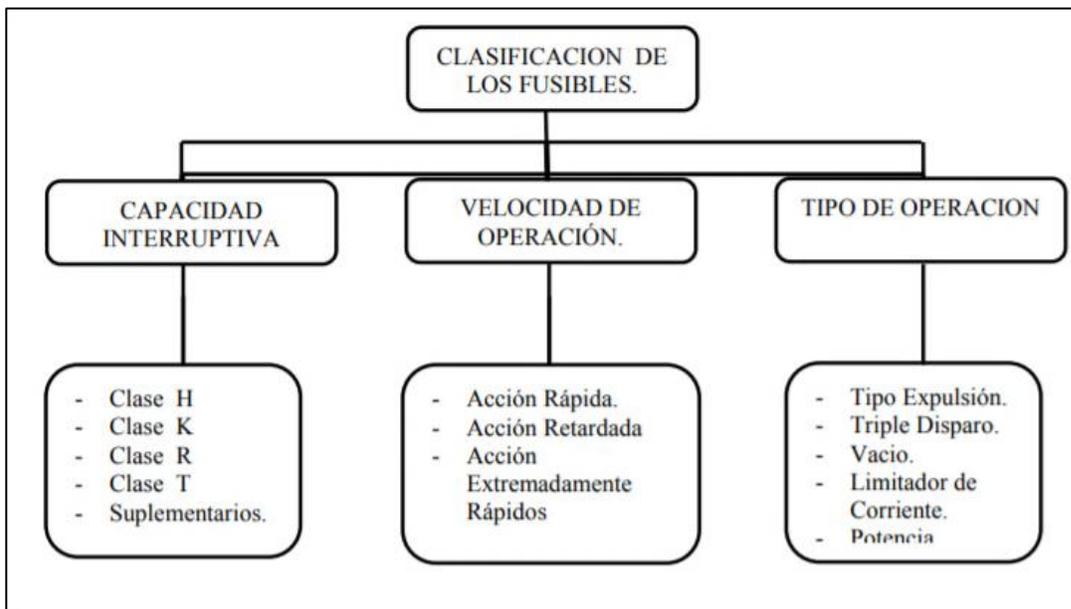
La importancia de las curvas características radica en que es necesario saber cuál es el tiempo de respuesta, para que el dispositivo despeje las sobrecargas/fallas en el sistema de una manera adecuada, liberando el ramal con problema sin interrumpir otras. Con esto se garantiza y se aumenta la confiabilidad del sistema eléctrico. Entre las curvas más importantes se encuentran:

- Curva de corriente pico permisible
- Curva de energía de fusión $I^2 t$
- Curva tiempo-corriente

2.2.1.5.2. Clasificación de los fusibles

A continuación, en la figura 11 se observa. Como se clasifican los fusibles por su capacidad interruptora, velocidad de operación y tipo de operación.

Figura 11. **Clasificación de los fusibles**



Fuente: GALVÁN HERNÁNDEZ, Román; SOSAS REYES, Francisco Javier; SANTANA GARCÍA, Jorge. *Coordinación de protecciones para un sistema eléctrico industrial*. p. 3.

2.2.1.6. Tubería eléctrica

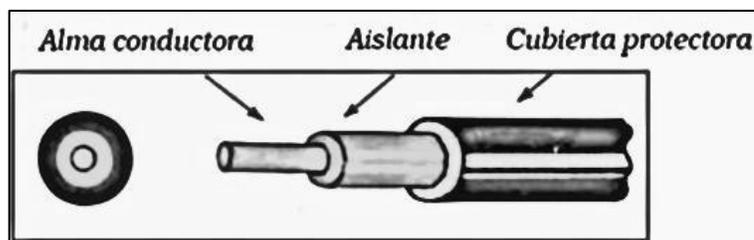
Sistema que se usa para la protección y el enrutamiento del cableado eléctrico, y entre los materiales más comunes están:

- Tubo tipo conduit
- Tubo metálico
- Tubo tipo condulet
- Tubería PVC
- Tubería de polietileno

2.2.1.7. Conductores eléctricos

Es un material que permite la transmisión de electricidad y el paso de la corriente eléctrica, debido a la poca resistencia que ofrece ante el movimiento de las cargas. Los conductores más utilizados son cobre, aluminio y la plata.

Figura 12. Partes de un conductor eléctrico



Fuente: Área Tecnología. *Cables eléctricos y tipos*.

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-conductores.html>.

Consulta: 2 de febrero de 2020.

El alma tiene como objetivo: guiar la energía eléctrica que a través de él para alimentar los centros de consumo. Es fabricada por lo general de cobre. Dependiendo del alma se pueden clasificar los conductores en:

- Alambre: desnudo o aislado, formado por un único hilo conductor.
- Cable: elaborado por varios hilos conductores.
- Multiconductor: conductor formado de dos o más almas aisladas entre sí, y con una o más cubiertas protectoras envueltas cada una por su respectiva capa aislante.

El calibre del conductor se expresa por lo general en mm^2 , aunque también puede expresarse en AWG o MCM.

2.3. Cálculo de elementos eléctricos en una instalación

Es importante conocer el tipo de cargas para realizar una instalación eléctrica. Para a partir de allí empezar a dimensionar los dispositivos de protección adecuados para dicha instalación.

2.3.1. Corriente de cortocircuito I_{cc}

Se entiende, al flujo de corriente eléctrica por lo general muy alta que fluye por un circuito eléctrico de baja impedancia, y que casi siempre ocurre por accidente. Esta corriente tiene una duración bastante corta, por lo general menor a cinco segundos, pero suelen provocar daños considerables en los equipos y en la instalación. El comportamiento del cortocircuito se describe de acuerdo con las fases involucradas durante el tiempo de despeje de la falla.

Tabla I. **Porcentajes de ocurrencia de cortocircuito en una instalación**

| Tipos de cortocircuitos | Incidencia en % |
|--------------------------------|------------------------|
| Monofásicos | 80 |
| Bifásicos | 15 |
| Trifásicos | 5 |

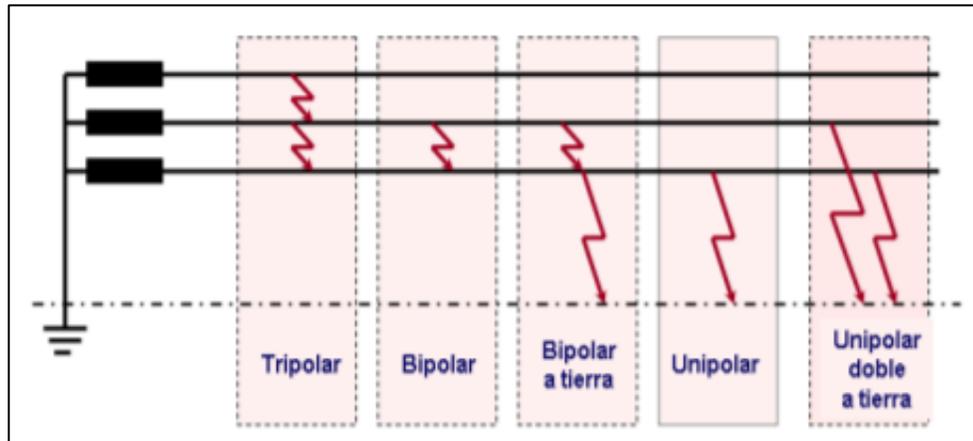
Fuente: HARPEZ, Enríquez. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. p. 435.

En los sistemas eléctricos trifásicos, se tienen las siguientes fallas según el tipo de conexión e incidencia de estas.

- Falla monofásica
- Falla bifásica
- Falla bifásica a tierra

- Falla trifásica

Figura 13. **Fallas en un sistema eléctrico trifásico**



Fuente: Tuveras.com. *Circuito en una línea eléctrica.*

<http://www.tuveras.com/lineas/cortocircuito/cortocircuito.htm>. Consulta: 3 de marzo de 2020.

Tabla II. **Probabilidad de ocurrencia por tipo de fallas en una instalación**

| Tipo de falla | Probabilidad |
|--------------------|--------------|
| Fase a tierra | 85% |
| Fase a fase | 8% |
| Dos fases a tierra | 5% |
| Trifásica | <2% |

Fuente: HARPEZ, Enríquez. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas.* p. 435.

Para un circuito trifásico equilibrado se puede realizar el cálculo de esta corriente mediante la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} * |Z_{cc}|}$$

Dónde:

I_{cc} = corriente de cortocircuito, A

V = tensión nominal, V

$|Z_{cc}|$ = impedancia equivalente del circuito, ohm

En algunas ocasiones cuando se desconoce la impedancia de la red se puede tomar como 0,8 veces la tensión de suministro y no considerar la inductancia en los cables. Esto es válido cuando el centro de transformación se encuentra situado fuera del edificio de lo contrario habrá que considerar todas las impedancias.

Se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{0,8 V}{Z}$$

Dónde:

I_{cc} = corriente de cortocircuito, A

V = tensión nominal del circuito, V

Z = impedancia equivalente del circuito, A

El cálculo de las corrientes de cortocircuito se puede obtener mediante:

- Método por unidad
- Método de componentes simétricas
- Circuitos de impedancias

2.3.2. Cálculo de acometida eléctrica

En este caso se hará mediante el método por corriente. A continuación, se detalla el procedimiento para calcular, el calibre de los conductores principales:

- Determinar la carga total, incluyendo cargas especiales
- Determinar la corriente total de la instalación mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{(V * fp)}$$

Dónde:

- I = corriente total que circulara por los conductores, A
- P = carga total, W
- V = voltaje en la instalación por medio de la acometida, V
- fp = factor de potencia

- La corriente corregida es el factor de demanda multiplicado por la corriente total.

$$I_c = I * (fd)$$

Dónde:

I_c = la corriente corregida que circulara por los conductores, A

I = la corriente total que circulara por los conductores, A

fd = factor de demanda

- Con la corriente corregida se busca el calibre del conductor en las tablas correspondientes, tomando en cuenta algunos otros factores como marca del fabricante, o si se trata de una instalación al aire libre u oculto.

2.3.3. Cálculo del diámetro de la tubería

Para este cálculo debe tomarse en cuenta la relación entre la suma total de las secciones transversales del tubo y de los conductores, también hay que incluir el aislamiento. También es importante considerar las recomendaciones que da la norma NEC para el factor de relleno. otro punto no menos importante por considerar es el factor de arreglo el cual es 0,8 según NEC, pues el área del conductor de cobre no es igual al área de un conductor forrado.

$$A_{\text{tubo}} = \frac{\pi \times \varphi^2}{4}$$

$$A_{\text{tubo}} = \frac{\sum A_{\text{conductores}}}{FA \times FR}$$

Con las ecuaciones anteriores, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\varphi = \sqrt{\frac{4 \times \sum A_{\text{conductores}}}{(\pi \times FA \times FR)}}$$

Dónde:

Φ = diámetro, m o cm

A = sección de área transversal, m² o cm²

FA = factor de arreglo

FR = factor de relleno

2.3.4. Cálculo de conductores eléctricos por capacidad de conducción de corriente

Según NEC se recomienda no cargar un conductor sobre el 80 % de su capacidad nominal, pueden existir sobrecargas o desbalances dentro de la instalación, por lo que es aconsejable dejar un margen de seguridad en este cálculo.

En la siguiente ecuación se calcula la corriente de cortocircuito necesaria para determinar el calibre del conductor:

$$I = \frac{S}{V * (Fs * Fnc * Ftub * Ft)}$$

Dónde:

I = corriente, A

S = potencia, VA

V = voltaje, V

Fs = factor de sistema, puede ser continuo o no continuo

Fnc = factor por # de conductores dentro de la tubería

$Ftub$ = factor de tubería por disipación de calor

Ft = factor por temperatura de acuerdo al ambiente

Para el factor de corrección por cantidad de conductores no se toman en cuenta el conductor neutro y/o tierra, se asume que por ellos no circula corriente alguna.

Tabla III. **Factor de corrección para la disipación de calor**

| Tipo de tubería | Factor de corrección |
|------------------------|-----------------------------|
| PVC | 0,8 |
| Metálicas | 1 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla IV. **Factor de corrección según el tipo de circuito alimentador**

| Tipo de circuito | Factor de corrección |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Carga con ciclo no continuo | 1 |
| Carga con ciclo continuo | 1,25 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

2.3.5. Cálculo de conductores eléctricos por caída de tensión

Por el método de caída de tensión se tiene la siguiente ecuación:

$$\Delta V = V_A - V_T$$

Dónde:

ΔV = caída de voltaje en el conductor, V

V_A = valor de voltaje en el extremo alimentador, V

VT = valor de voltaje en la terminal medida, V

La regulación de voltaje se obtiene al expresar la caída de potencial en porcentaje.

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

Es importante mencionar que la caída de tensión en los conductores no exceda a las estipulas en las normas NEC.

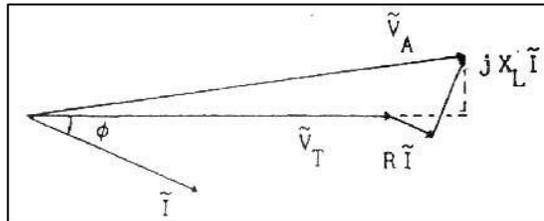
Tabla V. **Caída de tensión según NEC**

| Regulación de voltaje | Observaciones |
|------------------------------|---|
| 3% | Para el circuito alimentador o principal |
| 3% | Para circuito derivado |
| 5% | Para que los dos circuitos no sobrepasen la tolerancia indicada |

Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas: Conceptos básicos*. p. 87.

Se considera una carga inductiva o capacitiva, la transmisión de cierta potencia, se obtiene un diagrama fasorial como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Diagrama fasorial



Fuente: CAMPERO, Eduardo. *Instalaciones eléctricas: Conceptos básicos*. p. 87.

$$\tilde{V}_A = \tilde{V}_t + R \cdot \tilde{I} + j \cdot X_L \cdot \tilde{I}$$

En el caso de alimentadores caracterizados por una reactancia capacitiva, la ecuación, debe cambiar por el parámetro de la reactancia inductiva, por ende, cambia el diagrama ($j \cdot X_L \cdot \tilde{I}$ por $-j \cdot X_c \cdot \tilde{I}$)

Esto se debe a que:

$$\Delta V = |V_A| - |V_T|$$

Esta cantidad generalmente es despreciable y, se acostumbra a tomar solamente las componentes proyectadas sobre el voltaje de terminal:

$$\Delta V = V_A - V_T = R \cdot I \cos \phi + X_L \cdot I \sin \phi$$

El valor de la componente reactiva varía de diferentes factores, por lo que es necesario calcular dicho valor para cada alimentador. Para baja tensión y en calibres hasta de 4/0 AWG, solamente se toma en cuenta la componente

resistiva. Bajo estas condiciones se expresa la caída de voltaje en términos de la Ley de Ohm.

$$\Delta V = R \cdot I = \rho \frac{L \cdot I}{A}$$

Combinando las ecuaciones:

$$A = \rho \frac{L \cdot I}{e \cdot V}$$

Si agregamos c como un factor se tiene el resultado final:

$$A = \frac{c \cdot \rho \cdot L \cdot I}{e \cdot V}$$

Dónde:

A = área, mm²

ρ = resistividad del material conductor, ohm*mm²/m

I = corriente de carga, A

L = longitud del alimentador, m

e = caída de voltaje permitida en porcentaje

V = voltaje nominal, A

c = circuitos bifásicos y monofásicos

c = 2 circuitos trifásicos

c = $\sqrt{3}$, esto será el voltaje nominal entre fases

2.3.5.1. Pruebas de aislamiento

Su objetivo es verificar la resistencia que presentan los conductores algunas de las pruebas de aislamiento son:

- Medida puntual o a corto plazo.
- Métodos según el tiempo de aplicación de la tensión de ensayo.
- Índice de polarización, se define con las siglas IP.
- Relación de absorción dieléctrica se define con las siglas DAR. Es similar al IP.
- Método relacionado con la variación de la tensión de ensayo.
- Método de prueba de descarga.

Tabla VI. **Valores recomendados de resistencia de aislamiento para instalaciones eléctricas**

| Instalación | Resistencia de aislamiento (ohms) |
|---|-----------------------------------|
| Para circuitos con conductores # 14 o # 12 AWG | 1,000,000 |
| Para circuitos con conductores # 10 o mayores, y con capacidad de conducción de corriente de: | |
| - 25 a 50 A | 250,000 |
| - 51 a 100 A | 100,000 |
| - 101 a 200 A | 50,000 |
| - 201 a 400 A | 25,000 |
| - 401 a 800 A | 12,000 |
| - más de 800 A | 5,000 |

Fuente: HARPER, Gilberto Enrique. *El ABC de las Instalaciones eléctricas residenciales*. p. 40.

3. METODOLOGÍA

3.1. Condiciones generales del edificio Flor del Café

Las instalaciones del edificio Flor del Café cuentan con suministro de energía eléctrica con un solo punto de alimentación, una acometida principal, del cual se derivan una serie de circuitos.

Acometida eléctrica: el edificio Flor del Café cuenta con una acometida principal instalada en el edificio, el suministro de energía eléctrica lo proporciona la EEGSA. El servicio proporcionado es el de tarifa de baja tensión simple.

Tabla VII. **Especificación acometida**

| | |
|--------------------|----------------------|
| Contador | S32486 |
| Voltaje | 120/240 V |
| Fases | 2 fases 3 hilos |
| Barras | 125 A, 24 polos |
| Interruptor | 2x80, conductor #2/0 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 15. **Acometida eléctrica del edificio**

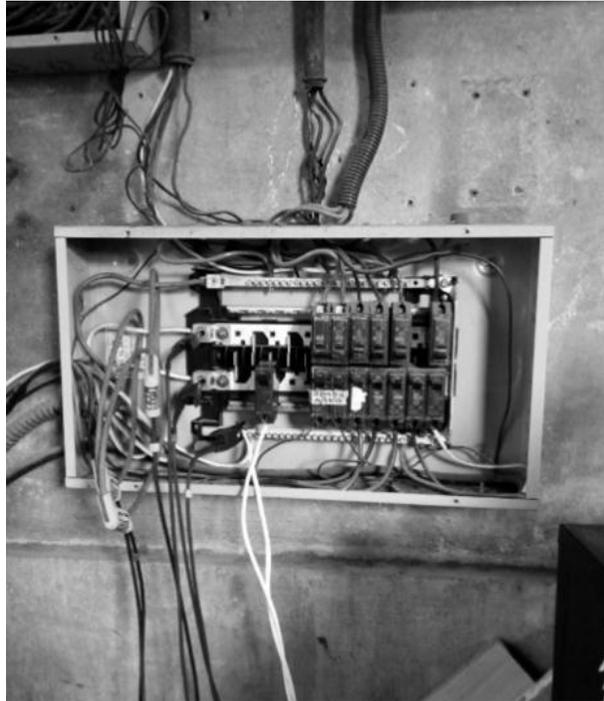


Fuente: edificio Flor del Café.

Tablero principal: el principal problema observado es la falta de señalización de los circuitos, la distribución de las cargas, el falso contacto y también la falta de mantenimiento.

A una distancia de 25 cm del tablero principal se encuentra un tablero secundario, este es alimentado por conductores tipo THW calibre No. 2. Se compone de 24 polos distribuidos los circuitos de iluminación, y de fuerza, el resto se encuentran vacíos.

Figura 16. **Tablero de distribución principal**



Fuente: edificio Flor del Café.

Tubería instalada: se realizó la inspección de las tuberías utilizadas en el edificio donde se determinó que el tubo conduit negro este es no galvanizado, en forma sobrepuesta es el más instalado.

Tabla VIII. **Descripción de la tubería instalada en el edificio**

| Descripción | Diámetro de tubería |
|-----------------------------|----------------------------|
| Tablero principal | Ductos de 2,5" |
| Tomacorrientes y luminarias | 1/2", 3/4", 1" |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 17. **Tubería instalada en el edificio**



Fuente: edificio Flor del Café.

Conductores instalados: se localizó conductores de varios tipos, entre ellos cable paralelo, alambre y cable. Algunos más deteriorados que otros ya sea por la antigüedad, exposición a diferentes factores como el sol, lluvia, entre otros. Y algunos otros con daños provocados por los roedores del lugar.

Tabla IX. **Descripción de los conductores instalados en el edificio**

| Descripción | Diámetro de tubería |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Tablero principal | 2/0 |
| Tablero principal a los circuitos | 15, 14, 12, 10, 08 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

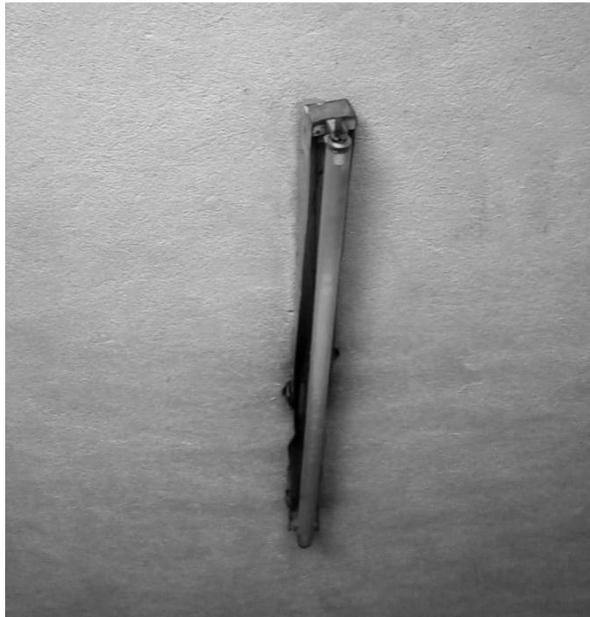
3.2. Caracterización de la carga

La mayoría de los equipos son de carácter inductivo, en especial el sistema de iluminación, compuesto por lámparas fluorescentes; al ser un edificio mayormente ocupado por oficinas, también se utiliza un gran número de equipo electrónico de estado sólido, como por ejemplo computadoras, fotocopiadoras, impresoras, faxes entre otros. Otros equipos de carácter inductivo dentro del edificio son los ventiladores de techo y de pedestal.

Se identificó la carga del edificio, se puede caracterizar en dos grupos:

- Iluminación
- Fuerza, incluye cargas especiales y de uso general

Figura 18. **Iluminación lámpara fluorescente**



Fuente: edificio Flor del Café.

Figura 19. **Iluminación lámpara incandescente**



Fuente: edificio Flor del Café.

Figura 20. **Circuito de fuerza, bomba de 1 HP**



Fuente: edificio Flor del Café.

Figura 21. **Tomacorriente del edificio**



Fuente: edificio Flor del Café.

Figura 22. **Interruptores del edificio**



Fuente: edificio Flor del Café.

3.3. Evaluación histórica de consumo

Para la evaluación histórica de los consumos energéticos, se muestra la información recabada mediante las facturas de los años 2016, 2017 y 2018. Para los cuales se realizó el respectivo análisis.

3.3.1. Consumo de energía eléctrica

El consumo eléctrico del edificio se obtuvo con las condiciones generales del edificio descritos en la sección 3.1.

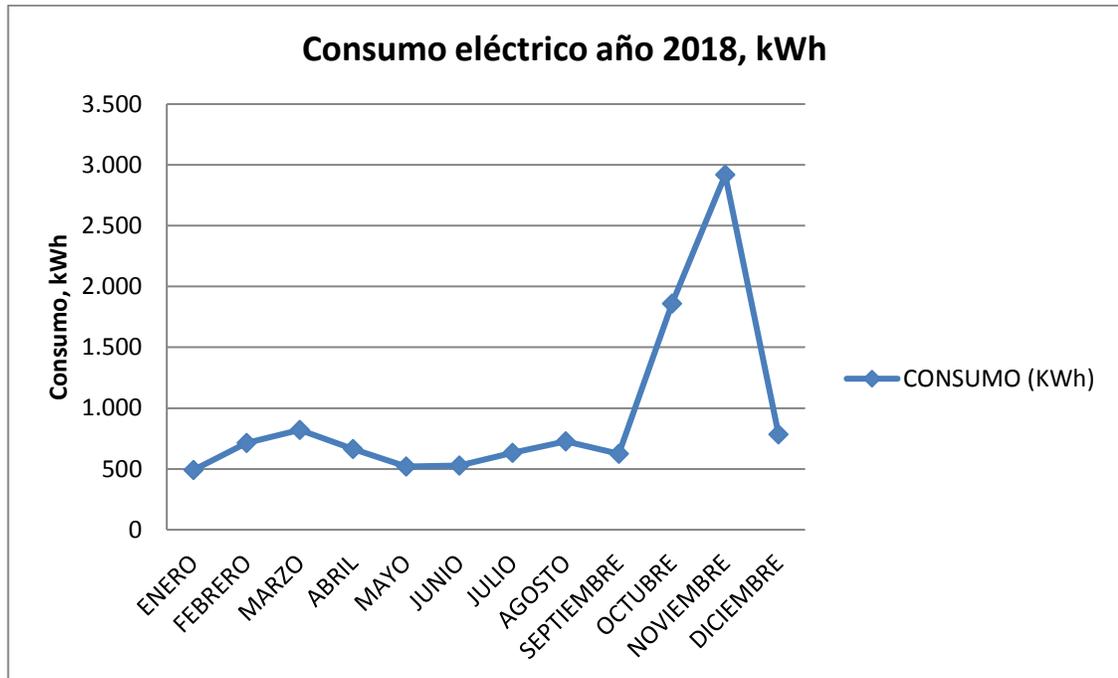
Con las facturas correspondientes al año 2018, se tiene que el edificio tuvo un consumo promedio de energía correspondiente a 940,5 kWh.

Tabla X. Consumo eléctrico año 2018

| Mes | Consumo de energía, kWh | Total, factura, Q |
|------------------------|-------------------------|-------------------|
| Enero | 491 | 681,71 |
| Febrero | 714 | 1 695,04 |
| Marzo | 822 | 1 157,45 |
| Abril | 665 | 2 106,91 |
| Mayo | 520 | 765,88 |
| Junio | 527 | 767,32 |
| Julio | 633 | 919,03 |
| Agosto | 727 | 1 042,13 |
| Septiembre | 624 | 888,84 |
| Octubre | 1 860 | 2 627,41 |
| Noviembre | 2 918 | 6 940,21 |
| Diciembre | 785 | 1 185,73 |
| Consumo promedio anual | 940,5 | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 23. Consumo eléctrico del edificio año 2018



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

A continuación, el consumo eléctrico del edificio con base en las facturas eléctricas para los años 2016, 2017 y 2018.

Tabla XI. Consumo eléctrico de tres años consecutivos

| | Consumo de energía 2016, kWh | Consumo de energía 2017, kWh | Consumo de energía 2018, kWh |
|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Enero | 610 | 650 | 491 |
| Febrero | 684 | 716 | 714 |
| Marzo | 838 | 777 | 822 |
| Abril | 687 | 780 | 665 |
| Mayo | 718 | 728 | 520 |

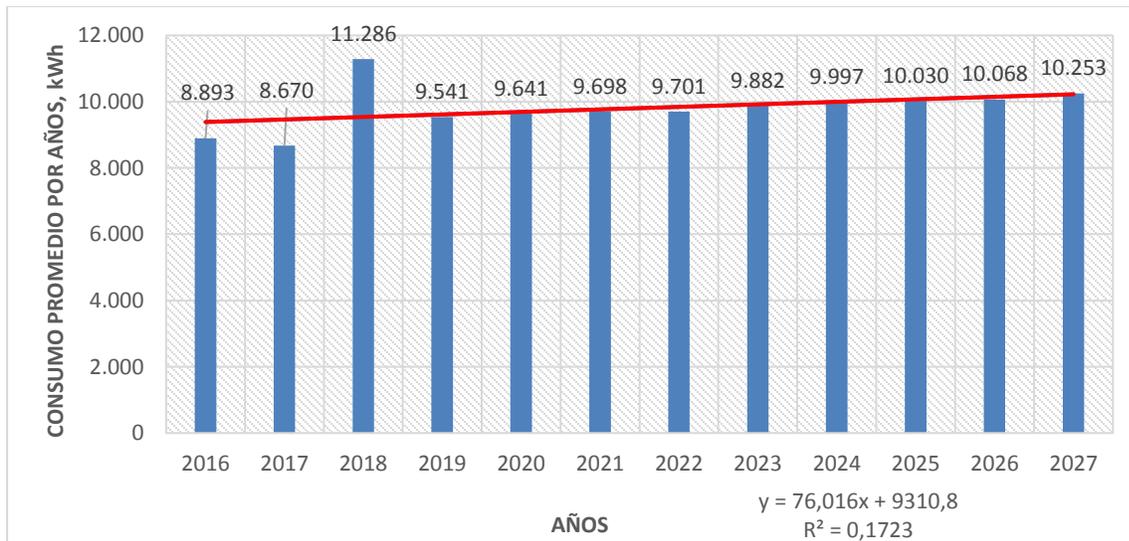
Continuación de la tabla XI.

| | | | |
|-------------------|-----|-----|-------|
| Junio | 737 | 754 | 527 |
| Julio | 714 | 747 | 633 |
| Agosto | 741 | 754 | 727 |
| Septiembre | 732 | 676 | 624 |
| Octubre | 738 | 731 | 1 860 |
| Noviembre | 894 | 646 | 2 918 |
| Diciembre | 800 | 711 | 785 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

En cumplimiento de la política energética 2013-2027, las proyecciones de energía eléctrica se han realizado hasta el año 2027, como se muestra a continuación.

Figura 24. **Proyección del consumo energético 2016-2027**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

A continuación, se muestran los resultados de la proyección del consumo energético hasta el año 2027, se utilizó el modelo de regresión lineal para poder realizar esta proyección.

Tabla XII. **Consumo energético 2016-2027**

| Consumo año, kWh | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mes | | | | | | |
| Enero | 610 | 650 | 491 | 838 | 838 | 849 |
| Febrero | 684 | 716 | 714 | 821 | 827 | 836 |
| Marzo | 838 | 777 | 822 | 786 | 798 | 783 |
| Abril | 687 | 780 | 665 | 766 | 786 | 792 |
| Mayo | 718 | 728 | 520 | 765 | 784 | 776 |
| Junio | 737 | 754 | 527 | 768 | 783 | 805 |
| Julio | 714 | 747 | 633 | 783 | 776 | 802 |
| Agosto | 741 | 754 | 727 | 783 | 794 | 799 |
| Septiembre | 732 | 676 | 624 | 787 | 799 | 778 |
| Octubre | 738 | 731 | 1 860 | 779 | 798 | 781 |
| Noviembre | 894 | 646 | 2 918 | 838 | 837 | 849 |
| Diciembre | 800 | 711 | 785 | 828 | 822 | 848 |
| | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
| Enero | 859 | 861 | 874 | 876 | 882 | 897 |
| Febrero | 843 | 848 | 858 | 865 | 874 | 882 |
| Marzo | 795 | 801 | 818 | 812 | 819 | 821 |
| Abril | 782 | 808 | 809 | 812 | 811 | 850 |
| Mayo | 797 | 805 | 807 | 822 | 810 | 839 |
| Junio | 781 | 800 | 809 | 811 | 835 | 832 |
| Julio | 794 | 818 | 818 | 818 | 822 | 818 |
| Agosto | 788 | 817 | 824 | 833 | 832 | 835 |
| Septiembre | 783 | 796 | 819 | 807 | 812 | 850 |
| Octubre | 789 | 799 | 815 | 816 | 811 | 845 |
| Noviembre | 841 | 869 | 877 | 888 | 872 | 892 |
| Diciembre | 850 | 858 | 869 | 869 | 889 | 891 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Se realizó un inventario de equipos presentes en el edificio Flor del Café con el objetivo de conocer la potencia instalada, y el consumo energético. Para luego identificar puntos débiles en los que se pueda realizar mejoras a continuación se muestra una tabla con los datos más relevantes.

Tabla XIII. **Inventario de equipo**

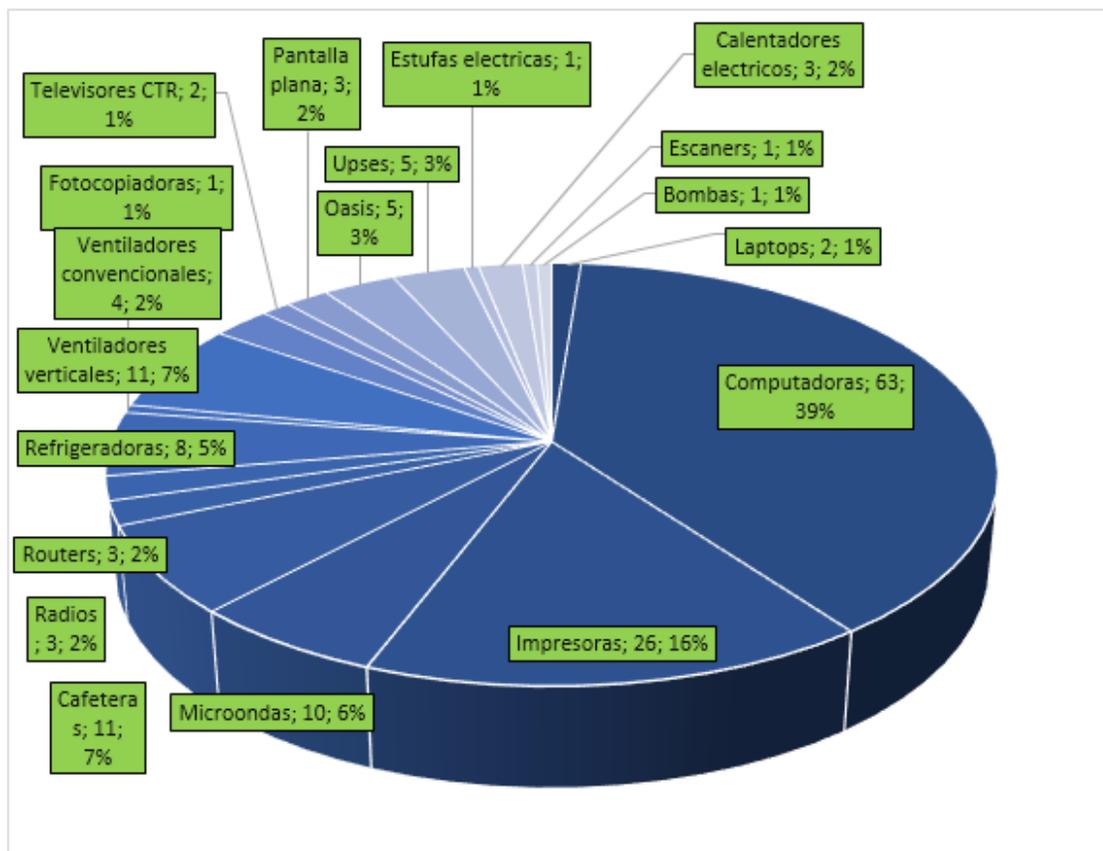
| Equipo | Cantidad | Consumo prom. encendido 1 h, Wh | Horas /diarias | Wh/día | kWh /mes | kWh /año |
|-----------------------------|----------|---------------------------------|----------------|--------|----------|-----------|
| Laptops | 2 | 65 | 7 | 455 | 13 650 | 163 800 |
| Computadoras | 63 | 320 | 7 | 2 240 | 67 200 | 806 400 |
| Impresoras | 26 | 800 | 1 | 800 | 24 000 | 288 000 |
| Microondas | 10 | 1300 | 2 | 2 600 | 78 000 | 936 000 |
| Cafeteras | 11 | 700 | 1,5 | 1 050 | 31 500 | 378 000 |
| Radios | 3 | 15 | 8 | 120 | 3 600 | 43 200 |
| Routers | 3 | 30 | 8 | 240 | 7 200 | 86 400 |
| Refrigeradoras | 8 | 250 | 2 | 500 | 15 000 | 180 000 |
| Fotocopiadoras | 1 | 900 | 0,5 | 450 | 13 500 | 162 000 |
| Ventiladores verticales | 11 | 288 | 5 | 1 440 | 43 200 | 518 400 |
| Ventiladores convencionales | 4 | 60 | 5 | 300 | 9 000 | 108 000 |
| Televisores CTR | 2 | 90 | 2 | 180 | 5 400 | 64 800 |
| Pantalla plana | 3 | 156 | 8 | 1 248 | 37 440 | 449 280 |
| Oasis | 5 | 400 | 12 | 4 800 | 144 000 | 1 728 000 |
| Upses | 5 | 675 | 1 | 675 | 20 250 | 243 000 |
| Estufas eléctricas | 1 | 2000 | 0,5 | 1 000 | 30 000 | 360 000 |
| Calentadores eléctricos | 3 | 1500 | 1 | 1 500 | 45 000 | 540 000 |
| Escáneres | 1 | 150 | 0,3 | 45 | 1 350 | 16 200 |
| Bombas | 1 | 745,7 | 3,5 | 2 610 | 2 640 | |
| Total, consumos | | | | | 591 930 | 7 071 480 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Luego de realizado el conteo de equipos presentes en el edificio se determinó que el 65 % del consumo eléctrico es generado por las computadoras e impresoras necesarias para las tareas y trabajos diarios que se llevan en las oficinas.

A continuación, la gráfica con los equipos y el consumo eléctrico que representan para el edificio.

Figura 25. **Inventario de equipos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

3.4. Iluminación

Para la evaluación del suministro lumínico de las instalaciones del edificio Flor del Café, fue necesario cuantificar la iluminación por área, y la cantidad de luxes con la ayuda del luxómetro.

A continuación, se muestran una serie de tablas con los datos obtenidos durante las mediciones referentes a las condiciones de iluminación del edificio.

Tabla XIV. **Luminarias en cada área del edificio**

| Inventario de equipo de iluminación | | |
|--|-----------------|------------------------------|
| Tipo de tecnología | Cantidad | Potencia Individual W |
| Lámparas incandescentes | 28 | 100 |
| Lámparas halógenas amarillas | 5 | 100 |
| Lámparas fluorescentes con balastro | 107 | 40 |
| Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 20 | 25 |
| Lámparas Leds | 4 | 10 |
| Lámparas de mercurio | 12 | 40 |
| Total | 176 | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

A continuación, el consumo eléctrico por luminaria en el edificio, tomando un intervalo de tiempo promedio en los lugares donde se desarrollan las actividades de cada empleado.

Tabla XV. **Tiempo de uso de luminaria en el edificio**

| Ubicación dentro del edificio | Tipo de tecnología luminaria | Tiempo de uso diario, horas |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| Oficinas | Lámparas fluorescentes, con balastro | 8 |
| Oficinas | Lámparas de mercurio | 8 |
| Baños | Lámparas incandescentes | 2,5 |
| Bodegas | Lámparas halógenas amarillas | 2 |
| Clínica | Lámparas LED | 8 |
| Salón de actos | Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 2 |
| Servicios generales | Lámparas incandescentes | 8 |
| Encargados seguridad | Lámparas incandescentes | 8 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XVI. **Consumo total de luminarias en el edificio**

| Tipo de tecnología | Potencia individual W | Potencia total luminarias W | Potencia Wh |
|--|------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Lámparas incandescentes | 100 | 2 800 | 7 000 |
| Lámparas halógenas amarillas | 100 | 500 | 1 000 |
| Lámparas fluorescentes con balastro | 40 | 4 280 | 34 240 |
| Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 25 | 500 | 1 000 |
| Lámparas Leds | 10 | 40 | 320 |
| Lámparas de mercurio | 40 | 480 | 3 840 |
| Total | | 8 600 | 47 400 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

A continuación, el inventario de lámparas, cantidad de luminarias existentes dentro de las instalaciones. Se detalla la cantidad de luminarias por lámpara, el tipo de tecnología, y la potencia.

Tabla XVII. **Luminarias en cada área del edificio**

| Inventario de equipo de iluminación | | |
|--|-----------------|------------------------------|
| Tipo de tecnología | Cantidad | Potencia Individual W |
| Lámparas incandescentes | 28 | 100 |
| Lámparas halógenas amarillas | 5 | 100 |
| Lámparas fluorescentes con balastro | 107 | 40 |
| Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 20 | 25 |
| Lámparas Leds | 4 | 10 |
| Lámparas de mercurio | 12 | 40 |
| Total | 176 | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

A continuación, el consumo eléctrico por luminaria en el edificio, tomando un tiempo de uso diario, en cada puesto de trabajo para cada colaborador.

Tabla XVIII. **Tiempo de uso de luminaria en el edificio**

| Ubicación dentro del edificio | Tipo de tecnología luminaria | Tiempo de uso diario, horas |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| Oficinas | Lámparas fluorescentes, con balastro | 8 |
| Oficinas | Lámparas de mercurio | 8 |
| Baños | Lámparas incandescentes | 2,5 |
| Bodegas | Lámparas halógenas amarillas | 2 |
| Clínica | Lámparas LED | 8 |
| Salón de actos | Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 2 |
| Servicios generales | Lámparas incandescentes | 8 |
| Encargados seguridad | Lámparas incandescentes | 8 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla XIX. **Consumo total de luminarias en el edificio**

| Tipo de tecnología | Potencia individual W | Potencia total luminarias W | Potencia Wh |
|--|------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Lámparas incandescentes | 100 | 2 800 | 7 000 |
| Lámparas halógenas amarillas | 100 | 500 | 1 000 |
| Lámparas fluorescentes con balastro | 40 | 4 280 | 34 240 |
| Lámparas fluorescentes de bajo consumo | 25 | 500 | 1 000 |
| Lámparas Leds | 10 | 40 | 320 |
| Lámparas de mercurio | 40 | 480 | 3 840 |
| Total | | 8 600 | 47 400 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

3.4.1. Cálculo de luxes ideales por zona de trabajo

Para realizar las mediciones de luxes por metro cuadrado se utilizó un luxómetro marca AEMC modelo CA813, ayudando a crear un diseño lumínico que cumpla con las normas establecidas para ambientes laborales, evitando los espacios con problemas de:

- Deslumbramiento
- Intermitencia o parpadeo
- Luz insuficiente
- Problemas de contraste

Tabla XX. **Cálculo de luxes por zona de trabajo**

| Departamento | Nivel actual, luxes | Nivel mínimo, lux | Eficiencia lumínica |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Archivo 031 | 225 | 1 500 | 15,0 |
| FOPINTA | 160 | 500 | 32,0 |
| Salón de actos | 230 | 200 | 100,0 |
| Bodega 1 | 75 | 200 | 37,5 |
| Administración general | 290 | 500 | 58,0 |
| Bodega 2 | 100 | 200 | 50,0 |
| Recepción | 178 | 200 | 89,0 |
| OCRET | 119 | 500 | 23,8 |
| Bodega 4 | 138 | 200 | 69,0 |
| Comedor | 250 | 200 | 100,0 |
| FONAGRO | 287 | 500 | 57,4 |
| Baños H/M | 130 | 100 | 100,0 |
| Extensión rural | 289 | 500 | 57,8 |
| Archivo 011 | 392 | 1 500 | 26,1 |
| Servicios generales | 197 | 200 | 98,5 |
| Bodega vacía | 0 | 200 | 0,0 |
| UNSITRAMAGA | 320 | 500 | 64,0 |
| Encargados seguridad | 300 | 500 | 60,0 |
| SITRAMAGA | 365 | 500 | 73,0 |
| Clínica | 400 | 500 | 80,0 |
| Jurídico | 390 | 500 | 78,0 |
| RR.HH. | 375 | 500 | 75,0 |
| Área vacía, bodega | 0 | 200 | 0 |
| Área vacía, bodega | 0 | 200 | 0 |
| DICORER | 0 | No aplica | no aplica |
| Pasillos | 1 200 | 200 | 100,0 |
| Eficiencia total | | | 71,41 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Los resultados se comparan con los niveles recomendados en el acuerdo gubernativo 229-2014.

Para la iluminación natural se pueden citar los siguientes artículos:

Artículo 160. Cuando exista iluminación natural se debe evitar en lo posible las sombras que dificulten las operaciones a ejecutar, procurando que la intensidad luminosa en cada zona de trabajo sea uniforme, evitando los reflejos y deslumbramientos al trabajador.

Artículo 161. Se debe realizar una limpieza periódica y la renovación, en caso necesario, de las ventanas, domos y superficies que su propósito o fin sea permitir la iluminación natural para asegurar su constante transparencia.

Artículo 162. El área de las ventanas, domos y superficies que su propósito o fin sea permitir la iluminación natural debe representar como mínimo un diecisiete por ciento (17 %) de la superficie del suelo o piso del local.⁵

En cuanto a iluminación artificial se refiere se pueden citar los siguientes artículos:

Artículo 163. En las zonas de trabajo que carezcan de iluminación natural o ésta sea insuficiente o se proyecten sombras que dificulten las operaciones laborales, se debe emplear iluminación artificial.

Artículo 164. Cuando la índole del trabajo exija una iluminación intensa en un lugar determinado, se debe combinar la iluminación general con otra local complementaria, adaptada a la labor que se ejecute y dispuesta de tal modo que evite deslumbramientos.

Artículo 165. Se debe evitar contrastes fuertes de luz y sombras para poder apreciar los objetos en sus tres dimensiones.

Artículo 166. Para evitar deslumbramientos:

- No se debe emplear lámparas sin pantallas protectoras o difusoras a menos de 5 metros del suelo, exceptuando de este requisito a aquellas que, en proceso de fabricación, se les haya incorporado de modo eficaz protección antideslumbrante.
- El ángulo formado por el rayo luminoso procedente de una lámpara descubierta, con la horizontal del ojo trabajador, no será inferior a 30 grados.
- Se debe utilizar para el alumbrado localizado reflectores opacos, que oculten completamente al ojo del trabajador la lámpara, cuyo brillo no deberá ocasionar deslumbramiento por reflexión.

⁵ Ministerio de Trabajo y Prevención Social. *Acuerdo Gubernativo Número 229 – 2014*. p. 32.

- Los reflejos o imágenes de las fuentes luminosas en las superficies brillantes deben ser evitados pintando las máquinas con colores mates.
- Se prohíbe el empleo de fuentes de luz que produzcan oscilaciones en la emisión del flujo luminoso.
- Cuando se emplee iluminación fluorescente del montaje debe ser doble, debe hacerse el reparto de lámparas sobre las tres fases del sector, la superficie iluminada debe ser homogénea, y no debe ser alimentada con corriente que no tenga al menos cincuenta períodos por segundo, en su frecuencia debe utilizarse una pantalla difusora y de protección que permita una distribución homogénea del haz luminoso y el posible desprendimiento de un fluorescente.
- En los locales con riesgo de explosión por el género de sus actividades, sustancias almacenadas o ambientes peligrosos la iluminación debe ser antideflagrante. h) La iluminación artificial debe ofrecer garantías de seguridad, no viciar la atmósfera del local, ni presentar ningún peligro de incendio o explosión.⁶

Tabla XXI. **Intensidad de la iluminación artificial, según el reglamento de salud y seguridad ocupacional**

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

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

⁶ Ministerio de Trabajo y Prevención Social. *Acuerdo Gubernativo Número 229 – 2014*. p. 33.

3.5. Identificación de hábitos de consumo

Para obtener la información relacionada con los hábitos de consumo, de los trabajadores del edificio Flor del Café, Se realizó una encuesta a una muestra de 20 colaboradores de la institución, con el fin de obtener información del uso que se hace de los diferentes dispositivos eléctricos e identificar el impacto de estos sobre el gasto energético y económico del edificio, esta encuesta se trasladó de manera aleatoria.

3.5.1. Encuesta sobre consumo energético

A continuación, se muestra una copia del modelo de encuesta con la que los colaboradores dieron a conocer su opinión relacionada con sus hábitos de consumo.

Figura 26. Encuesta sobre consumo energético

1. ¿Indique el número de personas que trabajan habitualmente en esta oficina?

| | | | |
|-----|-----|---------|-----------|
| 1-2 | 3-4 | 5 o mas | Más de 10 |
|-----|-----|---------|-----------|

2. ¿Cree que el nivel de iluminación en tu lugar de trabajo es el adecuado?

| | | |
|----|----|-------------|
| SI | NO | ¿Porque no? |
|----|----|-------------|

3. ¿Conoce la tecnología de las lámparas que se encuentran en tu oficina?

| | | |
|---------------------------|-----------------|---------------|
| Ahorradoras Fluorescentes | Ahorradoras LED | Incandescente |
|---------------------------|-----------------|---------------|

4. ¿Durante qué periodo del día utilizas más las luces de tu oficina?

| | | |
|---------------|--------------|-------------|
| Por la mañana | Por la tarde | Todo el día |
|---------------|--------------|-------------|

5. ¿Utiliza algún aparato eléctrico en modo ahorro de energía?

| | | | |
|----|----|---------|----------------------|
| SI | NO | Siempre | No sabía que existía |
|----|----|---------|----------------------|

6. En esta oficina, ¿se utiliza más veces al día...?

| | | | | |
|------------------|----------|-------------|-------|---------------------|
| Horno microondas | Cafetera | Computadora | Radio | Otros (especifique) |
|------------------|----------|-------------|-------|---------------------|

7. ¿Consideras necesario el remplazo de los aparatos eléctricos más antiguos para tener un mayor ahorro energético?

| | | |
|----|----|-----------------|
| SI | NO | Menciona Alguno |
|----|----|-----------------|

8. ¿Cuándo no está realizando tareas en la computadora?

| | | | |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| La apagas | Utilizas el modo suspender | Uso el modo ahorro de energía | Ninguna de la anteriores |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|

9. ¿Cuántas horas al día utiliza al menos un aparato eléctrico (por ejemplo: computadora, impresora, escáner, etc.) relacionado con tu trabajo?

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1H a 2H | 2H a 4H | 4H a 6H | 6H a 8H |
|---------|---------|---------|---------|

10. ¿Cuándo utiliza el aire acondicionado normalmente cierra?

| | | |
|--------------------|--------------|---------------|
| Puertas y ventanas | Solo puertas | Solo Ventanas |
|--------------------|--------------|---------------|

11. ¿A qué temperatura utilizas normalmente el aire acondicionado?

| | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| Menos de 15 °C | 15 °C – 18 °C | 18 °C – 21 °C | Más de 21 °C |
|----------------|---------------|---------------|--------------|

12. ¿Qué tipo de energía renovable se utiliza en el edificio?

| | | | |
|-------|--------|-------------|---------|
| Solar | Eólica | Termo-solar | Ninguna |
|-------|--------|-------------|---------|

13. ¿Consideras que es necesario capacitar al personal de edificio para que se cree un mejor uso de los equipos eléctricos que existen dentro del mismo?

| | | |
|----|----|-----------|
| SI | NO | ¿Por qué? |
|----|----|-----------|

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Con base en los resultados de la encuesta que se le paso a un total de 20 trabajadores al azar, esto es lo que se puede inferir:

- Los trabajadores están conscientes que es necesario realizar mejoras en las instalaciones eléctricas del edificio, con el fin de reducir los costos de la energía eléctrica.
- Son pocos los trabajadores que no tienen buenos hábitos de consumo, la mayoría realiza alguna o varias acciones para mitigar el gasto de energía eléctrica del edificio.
- Todos los empleados se muestran de acuerdo ante la propuesta de implementar mejoras tanto en el nivel de iluminación en los lugares de trabajo como un cambio de equipos y dispositivos que se encuentren en mal estado.
- Un gran número de empleados desconoce si existe algún tipo de energía renovable en el edificio para tener un mayor ahorro energético y no depender únicamente de los sistemas que generan con energías fósiles.
- Algunos empleados consultaron si el uso de tecnología led en la iluminación supone un ahorro. E indicaron que estas dispuestos y abiertos a nuevas tecnologías que pueden surgir con el fin de ayudar al ambiente. Pero resaltaron la importancia de capacitar a las personas y recordarles una vez más sobre la importancia de este tema.

3.6. Análisis termográfico de las instalaciones del edificio

Se realizaron mediciones térmicas de los principales tableros para identificar puntos de posibles fallas con la ayuda de la cámara Fluke Ti 110.

Entre las principales causas que originan puntos calientes en un sistema eléctrico, se pueden mencionar:

- Aumento de resistividad de efecto Joule
- Tornillo deficientes o mal apretados
- Corrosión o suciedad
- Pérdida de sección en conductores
- Sobrecarga de los conductores
- Perturbaciones debido a armónicos en el sistema
- Desequilibrio de fases

3.6.1. Criterios de aceptación para una falla térmica

Para el presente estudio, las mediciones se realizaron a temperatura ambiente, los valores máximos y mínimos registrados se muestran en la pantalla de la cámara Fluke Ti 110 al momento de realizar la inspección.

Para el análisis termográfico se usa de referencia la norma NETA, como apoyo al proceso de análisis de los resultados de una inspección termográfica.

Tabla XXII. **Clasificación de fallas eléctricas según NETA**

| NIVEL | TEMPERATURA MEDIDA | CALIFICACIÓN | ACCIÓN |
|--|--|-------------------------|---|
| 1 | De 1 °C a 10 °C O/A ó De 1 °C a 3 °C O/S | Posible Deficiencia | Se requiere más información |
| 2 | De 11 °C a 20 °C O/A ó De 4 °C a 15 °C O/S | Probable Deficiencia | Reparar en la próxima parada disponible |
| 3 | De 21 °C a 40 °C O/A ó >15 °C O/S | Deficiencia | Reparar tan pronto como sea posible |
| 4 | > 40 °C O/A ó >15 °C O/S | Deficiencia mayor | Reparar inmediatamente |
| O/A: Sobre Temperatura Ambiente O/S: Sobre Temperatura de cuerpo similar en condición | | | |

Fuente: NEITA DUARTE, Lidia Yaneth; PEÑA RODRÍGUEZ, Elkin Omar. *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_20999.pdf. Consulta: 15 de julio de 2020.

Tabla XXIII. **Periodos de inspecciones recomendados**

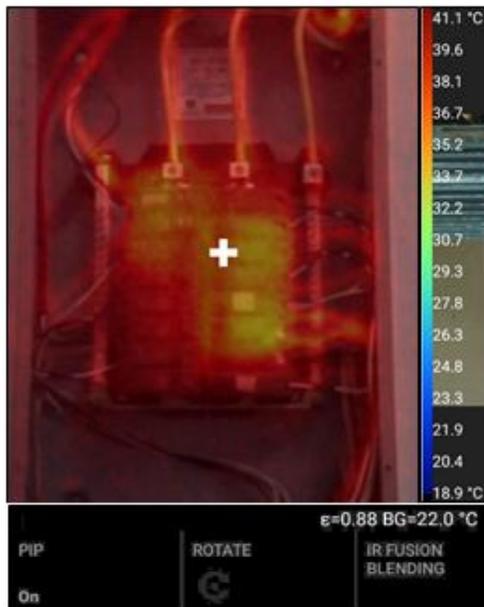
| Tipo de Equipo | Frecuencia de las Inspecciones |
|--|---------------------------------------|
| Subestaciones de Alta Tensión | 1 a 3 años |
| Transformadores | Anual |
| Centros de control de motores de aire acondicionado de 440 V | 6 a 12 meses |
| Centros de control de motores más antiguos o no pertenecientes a aire acondicionado | 4 a 6 meses |
| Equipos de distribución eléctrica | 4 a 6 meses |
| Motores Grandes | Anual |
| Motores más pequeños | 4 a 6 años |

Fuente: JUANPALACIOS. *Análisis termográfico. Herramienta de mantenimiento predictivo*. <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>.

Consulta: 28 de julio de 2020.

Para realizar las pruebas se ha empleado una cámara infrarroja de la serie Fluke Ti 110, a continuación, se encuentran la termografía de los tableros eléctricos del edificio.

Figura 27. **Termografía del tablero principal**

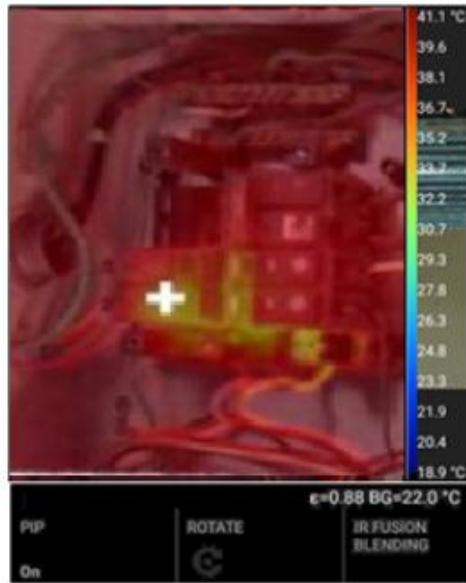


| | |
|---------------------|-----------------------|
| Fabricante | Fluke Thermography |
| Camera | Ti 110 |
| Tmax. | 33,0 °C |
| Tmin. | 27,3 °C |
| Center Point | 30,1 °C |

Fuente: elaboración propia, empleando la cámara termográfica. Ti 110.

En esta imagen se logra apreciar que una de las fases del tablero principal se encuentra a una mayor temperatura que la otra. Uno de los motivos principales se debe a que esta fase lleva la mayoría de las cargas del edificio como son la bomba de agua, también algunos circuitos de fuerza e iluminación. Otra causa puede ser debida a la corrosión o suciedad que existe en los bornes. Según la NETA y el valor obtenido de 30,1 °C este tablero se encuentra en el nivel 3 de fallas por lo que es recomendable realizar una reparación tan pronto como sea posible.

Figura 28. Termografía tablero B y C

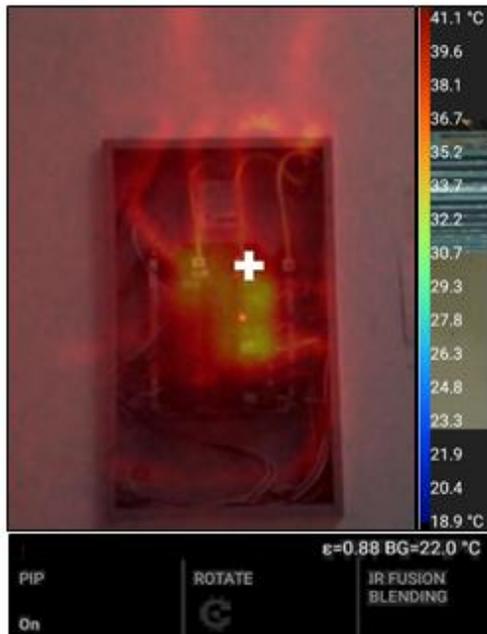


| | |
|---------------------|--------------------|
| Fabricante | Fluke Thermography |
| Camera | Ti 110 |
| Tmax. | 25,0 °C |
| Tmin. | 18,6 °C |
| Center Point | 23,6 °C |

Fuente: elaboración propia, empleando la cámara termográfica. Ti 110.

Se logra visualizar para los tableros B y C, ambos contienen temperatura dentro de los límites que se pueden catalogar como normales. Esto debido a que son los únicos tableros donde se tiene un balance de cargas en cada fase. Se concluye que en los tableros B y C no es necesario realizar ninguna medida de mejora.

Figura 29. Termografía tablero D

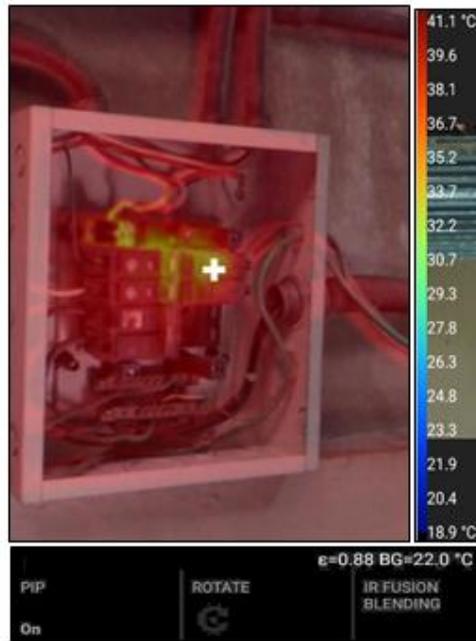


| | |
|--------------|--------------------|
| Fabricante | Fluke Thermography |
| Camera | Ti 110 |
| Tmax. | 35,0 °C |
| Tmin. | 27,3 °C |
| Center Point | 31,1 °C |

Fuente: elaboración propia, empleando la cámara termográfica. Ti 110.

Esta otra imagen corresponde al tablero D, se puede observar que fue el tablero que mostro la temperatura más alta de todos, en esta imagen es mucho más evidente el aumento de temperatura incluso los valores que reporto la cámara lo confirman, esto debido a una de las fases lleva la carga del aire acondicionado para unas oficinas del edificio pero al no estar identificas la cargas se recomienda realizar una distribución de las cargas, el valor de 30,1 °C nuevamente nos indica que existe una deficiencia y se hace necesario reparar tan pronto como sea posible.

Figura 30. Termografía tablero E



| | |
|--------------|--------------------|
| Fabricante | Fluke Thermography |
| Camera | Ti 110 |
| Tmax. | 28,0 °C |
| Tmin. | 19,6 °C |
| Center Point | 26,4 °C |

Fuente: elaboración propia, empleando la cámara termográfica. Ti 110.

En la imagen del tablero E, solamente un interruptor es el que presenta un aumento de temperatura en este caso en particular se debe a la corrosión de este dispositivo en el tablero. Según NETA y el valor obtenido 26,4 °C se debe reparar tan pronto como sea posible, para este caso en particular se logró ver el problema por simple inspección visual pero no por eso es menos importante de cualquier manera es una deficiencia que existe en el tablero.

3.6.2. Soluciones a las principales fallas térmicas en una instalación eléctrica

De acuerdo con NETA una vez sobrepasado los valores establecidos en la tabla XXII, es necesario realizar las reparaciones de forma inmediata. Para el

caso de conexión sobrecalentada, éstas deben limpiarse, repararse, desmontarse, y ajustar de nuevo. Para un conductor con una temperatura mayor a la del circuito, debe ser redimensionado. Es importante mencionar que ningún circuito debe cargarse hasta el límite máximo permitido. para evitar la sobrecarga es necesario realizar un balance de cargas.

4. ANÁLISIS DE RED DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ

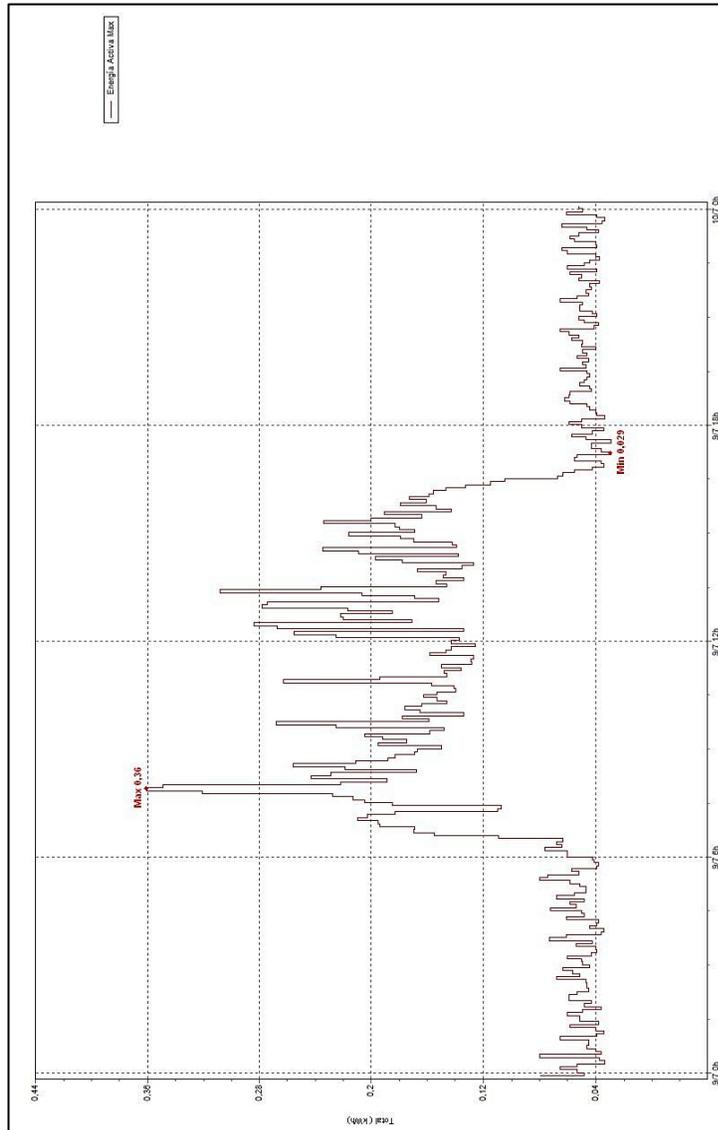
Durante el desarrollo de esta fase se llevó a cabo algunas mediciones de los parámetros energéticos de la institución. Para realizar la medición de dichos parámetros se utilizó diferentes equipos algunos especializados para ello, como analizadores de redes, multímetros, amperímetros entre otros.

A partir de esta información, se identifican algunos puntos débiles y que serán tratados, como una medida de ahorro y de mejora en la eficiencia energética del edificio ubicado en la zona 1.

4.1. Curva característica de carga promedio del edificio

Para realizar la medición y adquisición de datos se utilizó el analizador de redes de la marca, *Fluke 430-II*, luego se procedió a realizar el análisis de datos con el *software, V5.8 PowerLog 430-II*. Las fechas y horas registradas para realizar estas graficas referentes a un día de trabajo laboral son 08/07/2019 23:50 – al 10/07/2019 00:10.

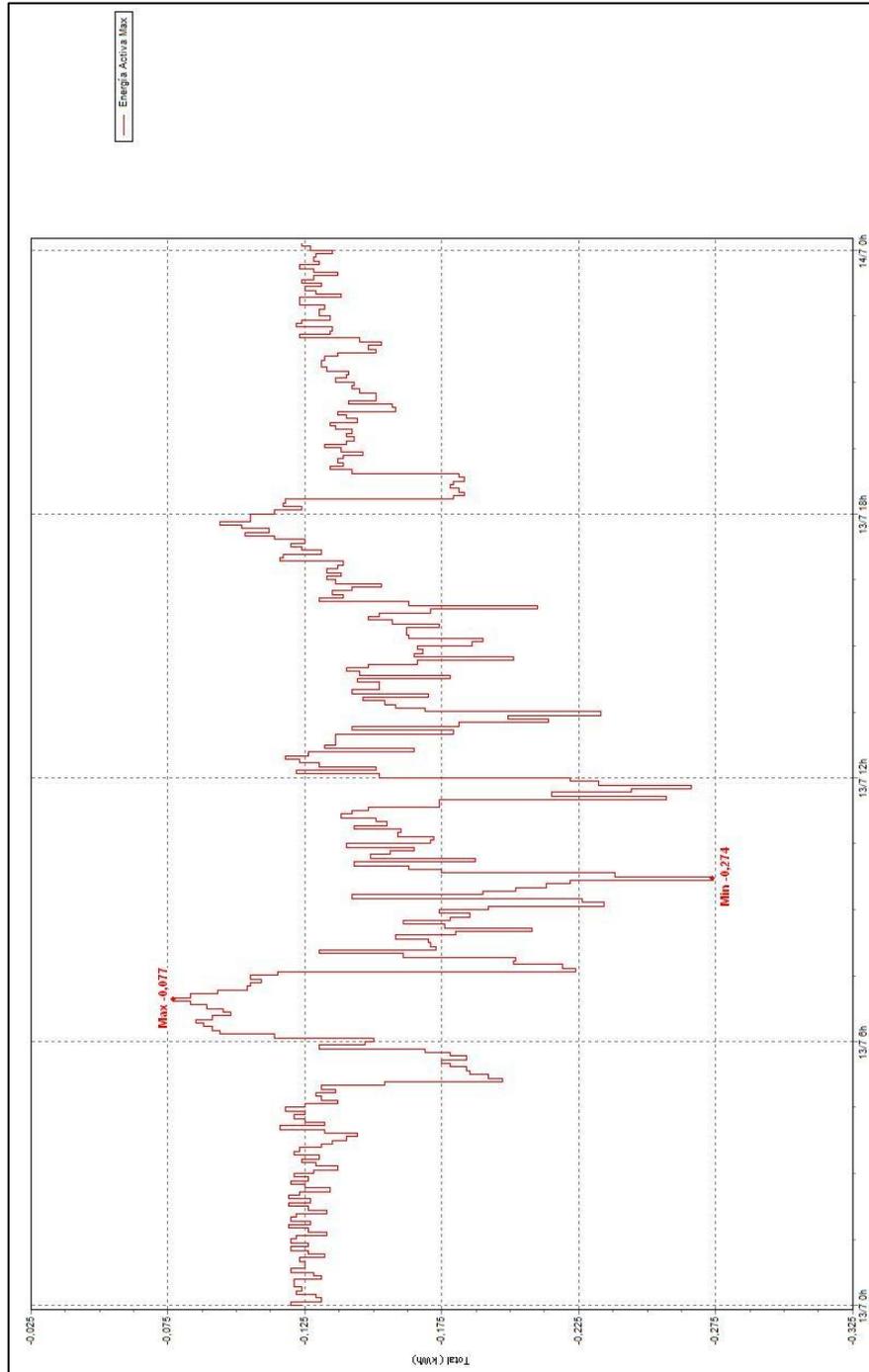
Figura 31. Carga promedio del edificio para un día laboral



Fuente: elaboración, empleando Power Log 430 II.

A continuación, se muestran las mediciones que se realizaron en el edificio en un día no laboral correspondiente al fin de semana. Las fechas y horas registradas para realizar estas gráficas son 12/07/2019 23:50 – al 14/07/2019 00:10.

Figura 32. Carga promedio del edificio para un día no laboral



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II.

4.2. Análisis de red del edificio Flor del Café

Para el análisis de los valores que brinda el analizador de redes es necesario utilizar parámetros, ya sea internacionales y/o nacionales ya establecidos por las entidades correspondientes. las fórmulas de cálculo de los parámetros eléctricos medidos y los valores permitidos, basados en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD, emitidas por la CNEE y las normas IEEE 519 y la UNE 50160.

Tabla XXIV. Resumen calidad de la energía según norma EN 50160

| Perturbación | Medida | Límites | Intervalos de evaluación | Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo |
|-------------------------------------|--|--------------|--------------------------|--|
| Frecuencia | Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s | ±1% | al año | 99,5% |
| | | +4%/-6% | | 100,0% |
| Variaciones de la tensión | Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min | ±10% | cada semana | 99,5% |
| | | +10%/-15% | | 100,0% |
| Variaciones rápidas de tensión | Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de U_N | Indicación 1 | | |
| Severidad del parpadeo | P_{fr} (2 horas) | <1 | cada semana | 95% |
| Huecos de tensión | Número de eventos (con $U < 0,9U_N$) | Indicación 2 | al año | |
| Interrupciones breves de la tensión | Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t < 3$ min) | Indicación 3 | al año | |
| Interrupciones largas de la tensión | Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t > 3$ min) | Indicación 4 | al año | |
| Sobretensiones (50 Hz) | Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t > 10$ ms) | Indicación 5 | | |
| Sobretensiones transitorias | Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t < 10$ ms) | Indicación 6 | | |
| Desequilibrio de la tensión | Promedio de la U_{mV}/U_{dir} de cada ciclo durante 10 min | <2% | cada semana | 95% |
| Tensiones armónicas | Para cada armónico i, promedio de la U_i/U_N en cada ciclo durante 10 min | Ver tabla | cada semana | 95% |
| | Promedio del THD de la tensión referido a U_N en cada ciclo durante 10 min | <8% | cada semana | 95% |
| Tensiones interarmónicas | Por estudiar | | | |
| Transmisión de señales | Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s | Ver tabla | cada día | 99% |

Fuente: FLUKE. *Normativas aplicables a la calidad eléctrica.*

http://www.isotest.es/web/Soporte/fluke/notas_aplicacion/Normas_PQ.pdf. Consulta: 30 de julio de 2020.

Tabla XXV. **Fórmulas utilizadas para el análisis de la calidad de la energía**

| Parámetros | Norma | Formula | Valor permisible tolerancias |
|---|-----------------|--|---|
| Regulación de tensión | NTSD de la CNNE | $\Delta V(\%) = \left(\frac{ V - V_n }{V_n} \right) \times 100$ | urbano BT: $\Delta V \leq 8 \%$ Rural BT: $\Delta V \leq 8 \%$ |
| Desbalance de tensión | EN 50160 | $\Delta DTD(\%) = 3 \left(\frac{V_{max} - V_{min}}{V_a + V_b + V_c} \right) \times 100$ | $\Delta DTD \leq 3 \%$ |
| Desbalance de corriente | EN 50160 | $\Delta DIP(\%) = 3 \left(\frac{I_{mp}}{I_a + I_b + I_c} \right) \times 100$ | $\Delta DIP \leq 10 \%$ |
| Distorsión armónica en la tensión THDv | EN 50160 | $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m v_n^2}}{v_1}$ | THDv (BT) $\leq 8 \%$ |
| Distorsión armónica en la tensión THDi | IEEE 519 | $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m i_n^2}}{i_1}$ | THDi (BT) $\leq 20 \%$ |
| Factor de Potencia | NTSD de la CNEE | $fp = \cos(\theta)$ | $fp \geq 0,90$ |
| Frecuencia | EN 50160 | 60Hz $\pm 1 \%$ | 60Hz $\pm 1 \%$ |
| Flicker | EN 50160 | $P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}}$ | $fp > 1$ |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla XXVI. Resultados de parámetros en puntos de mediciones

| | | | Punto de medición | | |
|---------------------------------------|------------|-------|-------------------|--------|--------|
| Parámetro | Tolerancia | Valor | L1 | L2 | N |
| Regulación de tensión (%) | 8,00 | Max | 4,61 | 2,92 | 3,19 |
| | | Prom | 0,68 | 1,6 | 1,02 |
| | | Min | 2,42 | 2,35 | 1,1 |
| Desbalance de tensión (%) | 3,00 | Max | 2,10 | | |
| | | Prom | 1,36 | | |
| | | Min | -- | | |
| Desbalance de corriente (%) | 10,00 | Max | 14,59 | | |
| | | Prom | 10,41 | | |
| | | Min | -- | | |
| Distorsión armónica en tensión THDv | 8,00 | Max | 4,79 | 4,98 | 327,67 |
| | | Prom | 3,27 | 3,22 | 41,52 |
| | | Min | 2,16 | 2,11 | 5,69 |
| Distorsión armónica de corriente THDi | 20,00 | Max | 54,54 | 52,03 | 52,03 |
| | | Prom | 30,79 | 16,085 | 17,54 |
| | | Min | 7,46 | 1,89 | 2,7 |
| Factor de potencia | fp >= 0,9 | Prom | 0,83 | | |
| Frecuencia | 0,5 | Max | 60,13 | | |
| | | Prom | 60,08 | | |
| | | Min | 59,8 | | |
| Flicker | 1,00 | Pst | 0,95 | | |
| | 1,00 | Plt | 1,03 | | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Con base en las mediciones realizadas en la tabla anterior se resumen los factores que definen la calidad de la energía de acuerdo con las normas IEEE 519 y EN 50160 se tiene que:

4.2.1. Regulación de tensión

Con las mediciones obtenidas en la regulación de tensión del edificio se observa que para L1, L2 y el N se obtuvieron los siguientes valores 0,68, 1,6 y 1,02 respectivamente que al ser contrastados con el porcentaje de tolerancia establecido en la NSTD se puede concluir que durante el periodo de medición los valores se mantienen por debajo del porcentaje que establecen la norma para una instalación dentro de un área urbana.

4.2.2. Desbalance de tensión

Para los niveles de tensión obtenidas durante las mediciones de fase a neutro como las de fase a fase, se observa que, si existe desbalance, pero es mínimo e insignificante para el equipo utilizado en el edificio, y se encuentran dentro de los límites de tolerancia establecidos por la norma EN 50160 esto porque se obtuvo un valor de 1,36 y que dicho valor no supera el 3 %.

Para obtener este resultado se utilizó los datos de la medición y análisis de consumos referentes a una semana.

Se evalúa el comportamiento y calidad del voltaje que es suministrado en los puntos de consumo para identificar posibles fallas actuales o futuras que se puedan presentar dentro de las instalaciones y provocar daños a los equipos y/o electrodomésticos que sean utilizados.

Para los voltajes registrados con las mediciones obtenidas se tiene que existen caídas de voltaje en ambas fases estas caídas están fuera del porcentaje permitido por las normas NSTD de la CNEE, este es un problema que pareciera ser bastante común en el edificio y en las gráficas se observa que esto sucede

tanto en los días laborales como en los no laborales, aunque se ha de mencionar que los valores mínimos fueron registrados en un día hábil. Esto conlleva a otros problemas como el flicker que se registra en algunas partes del edificio y también las fluctuaciones de tensión, notables en partes del edificio.

Tabla XXVII. **Voltaje fase A**

| Vrms línea 1 - Neutro | | | |
|------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Voltios | Característica |
| - | - | 121,13 | Promedio |
| 15/07/2019 | 11:15:06 | 109,92 | Mínimo |
| 15/07/2019 | 18:00:06 | 124,02 | Máximo |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXVIII. **Voltaje fase B**

| Vrms línea 2 - neutro | | | |
|------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Voltios | Característica |
| - | - | 120,83 | Promedio |
| 13/07/2019 | 6:25:06 | 111,20 | Mínimo |
| 15/07/2019 | 13:05:06 | 123,55 | Máximo |

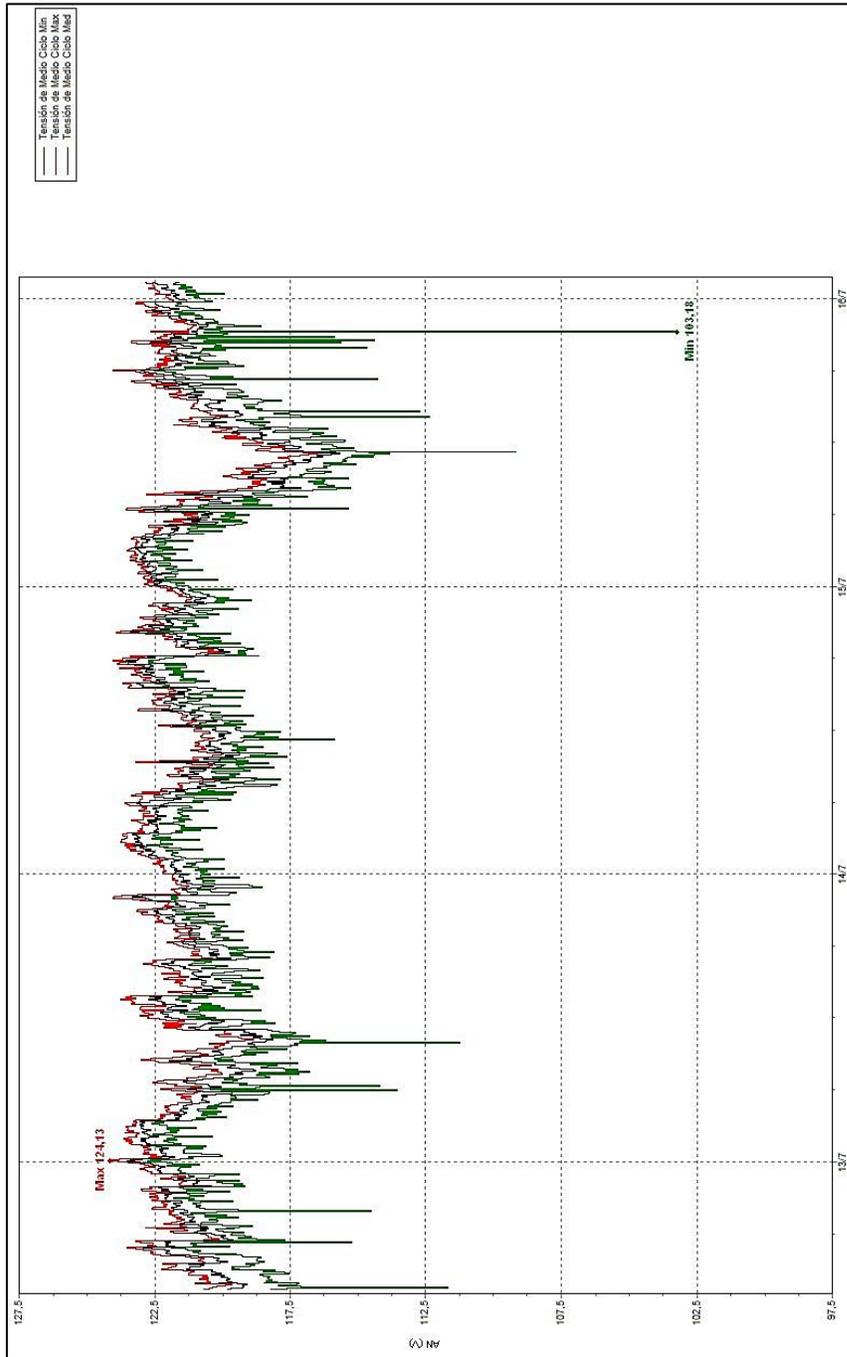
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXIX. **Voltaje referido al neutro**

| Vrms Tierra - Neutro | | | |
|-----------------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Voltios | Característica |
| - | - | 2,76 | Promedio |
| 16/07/2019 | 5:40:06 | 1,92 | Mínimo |
| 13/07/2019 | 8:40:06 | 4,38 | Máximo |

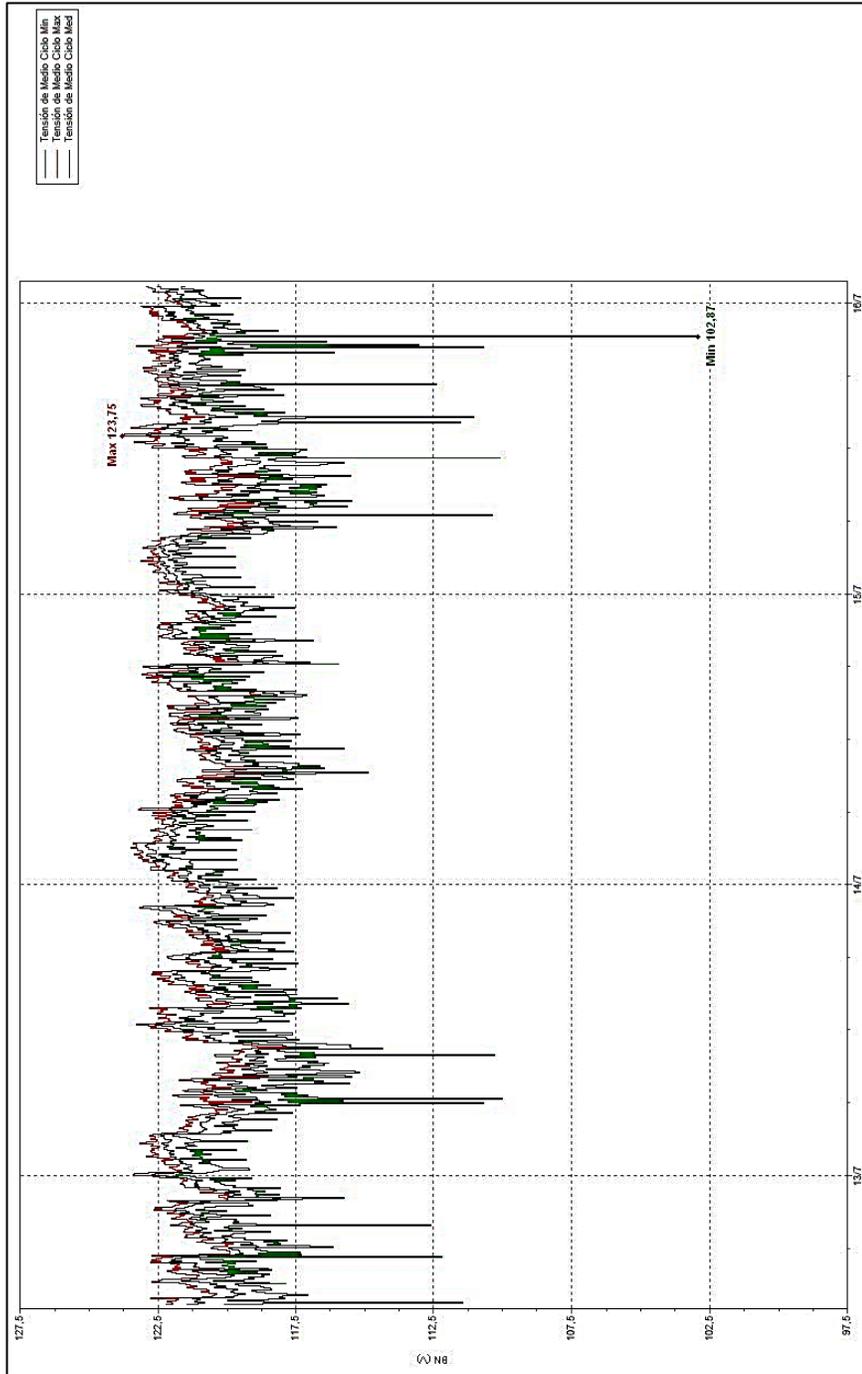
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 33. Análisis tensión fase A



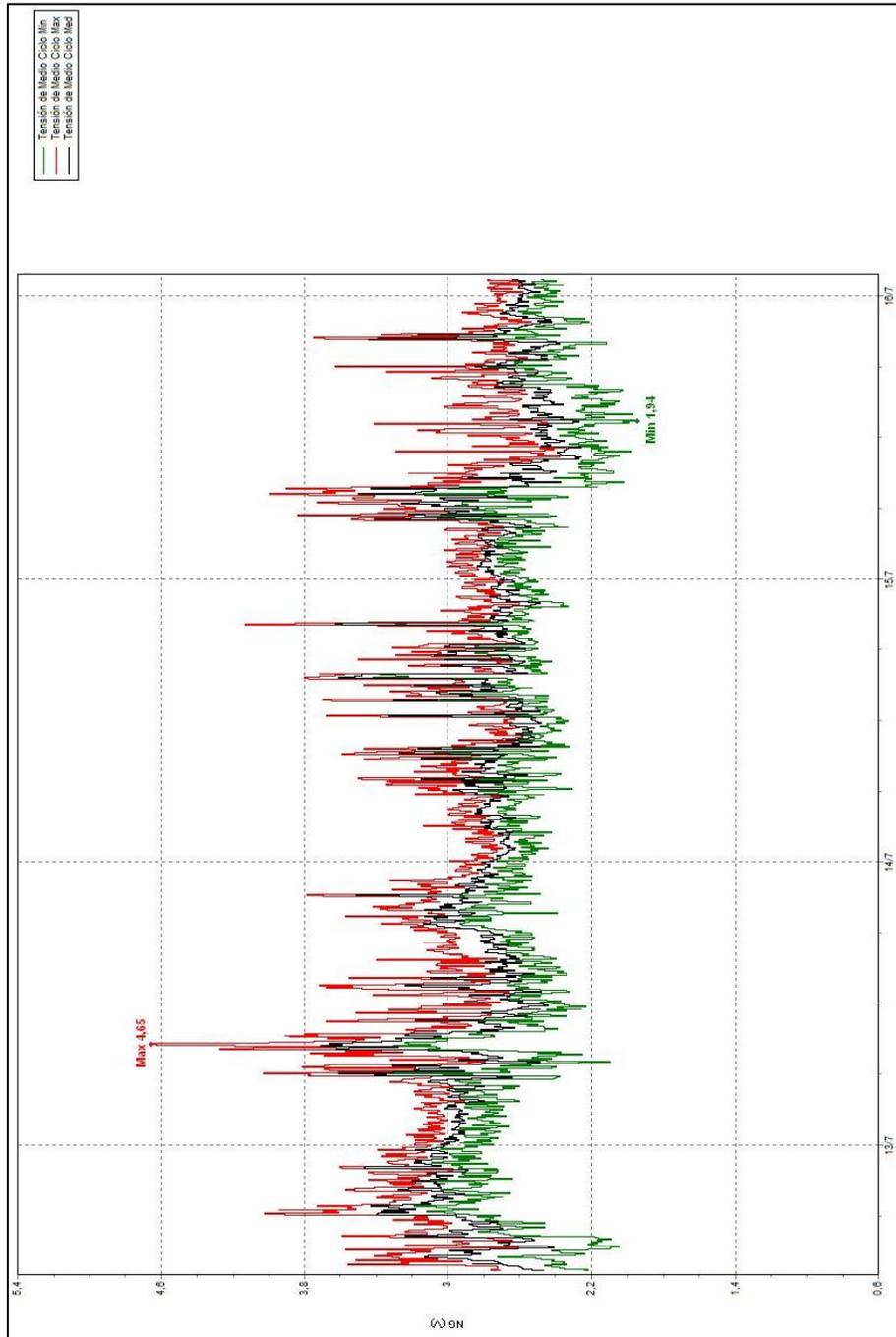
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 34. Análisis tensión fase B



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 35. Análisis tensión en el neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

4.2.3. Desbalance de corriente

Para el nivel de corriente se puede observar que en este caso se tiene un valor máximo de 14,9, lo cual nos indica que el edificio cuenta con un desbalance considerable al compararlo con el valor que nos da la norma EN 50160, parte de esta situación es que en los tableros no existe un balance de cargas adecuado. Y que se debe corregir cuanto antes también quedó evidenciado mediante la termografía realizada a los tableros del edificio. Una solución para atenuar este problema es realizar un balance de cargas en los tableros, específicamente donde se tiene las cargas más importantes del edificio, aires acondicionados, la bomba y circuitos de fuerza.

4.2.4. Análisis de corrientes

Con el fin de analizar los patrones y características del consumo de corriente en la instalación. A continuación, se muestran las mediciones que se realizaron en el edificio.

Como puede observarse en las gráficas la mayor corriente se encuentra circulando por la fase A lo que quiere decir que efectivamente se confirma lo observado durante la inspección visual del tablero, que se temía que existiera una fase más sobrecargada que la otra y esto debido a que acá se encuentra conectada la bomba.

Tabla XXX. **Corriente fase A**

| Corriente L1 | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Amperios | Característica |
| - | - | 10,34 | Promedio |
| 14/07/2019 | 16:00:06 | 4,40 | Mínimo |
| 16/07/2019 | 8:25:06 | 60,90 | Máximo |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXI. **Corriente fase B**

| Corriente L2 | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Amperios | Característica |
| - | - | 6,73 | Promedio |
| 15/07/2019 | 17:30:06 | 1,30 | Mínimo |
| 14/07/2019 | 15:35:06 | 44,90 | Máximo |

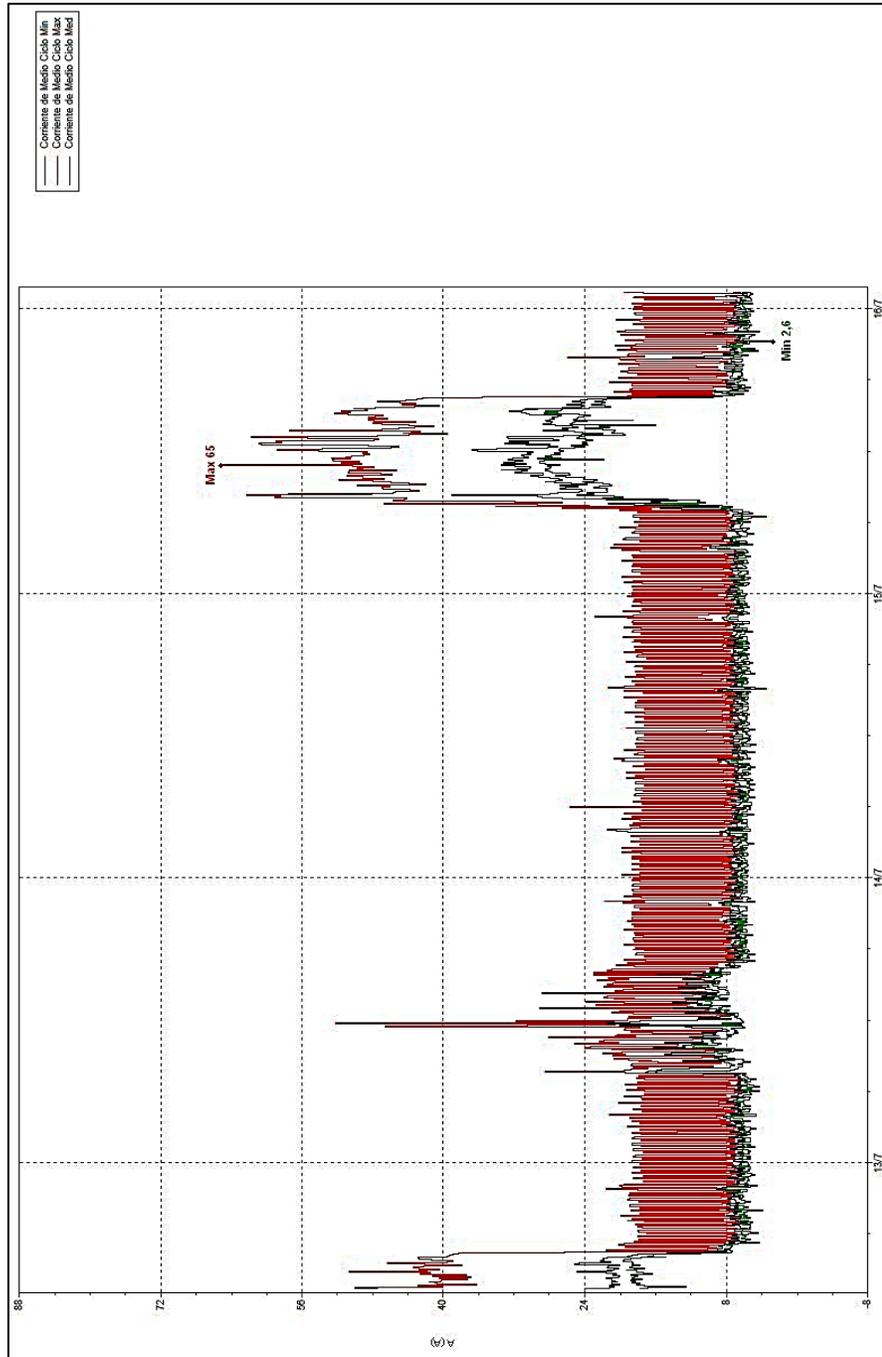
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXII. **Corriente neutro**

| Corriente neutro | | | |
|-------------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Amperios | Característica |
| - | - | 5,04 | Promedio |
| 13/07/2019 | 6:35:06 | 0,60 | Mínimo |
| 16/07/2019 | 8:00:06 | 46,10 | Máximo |

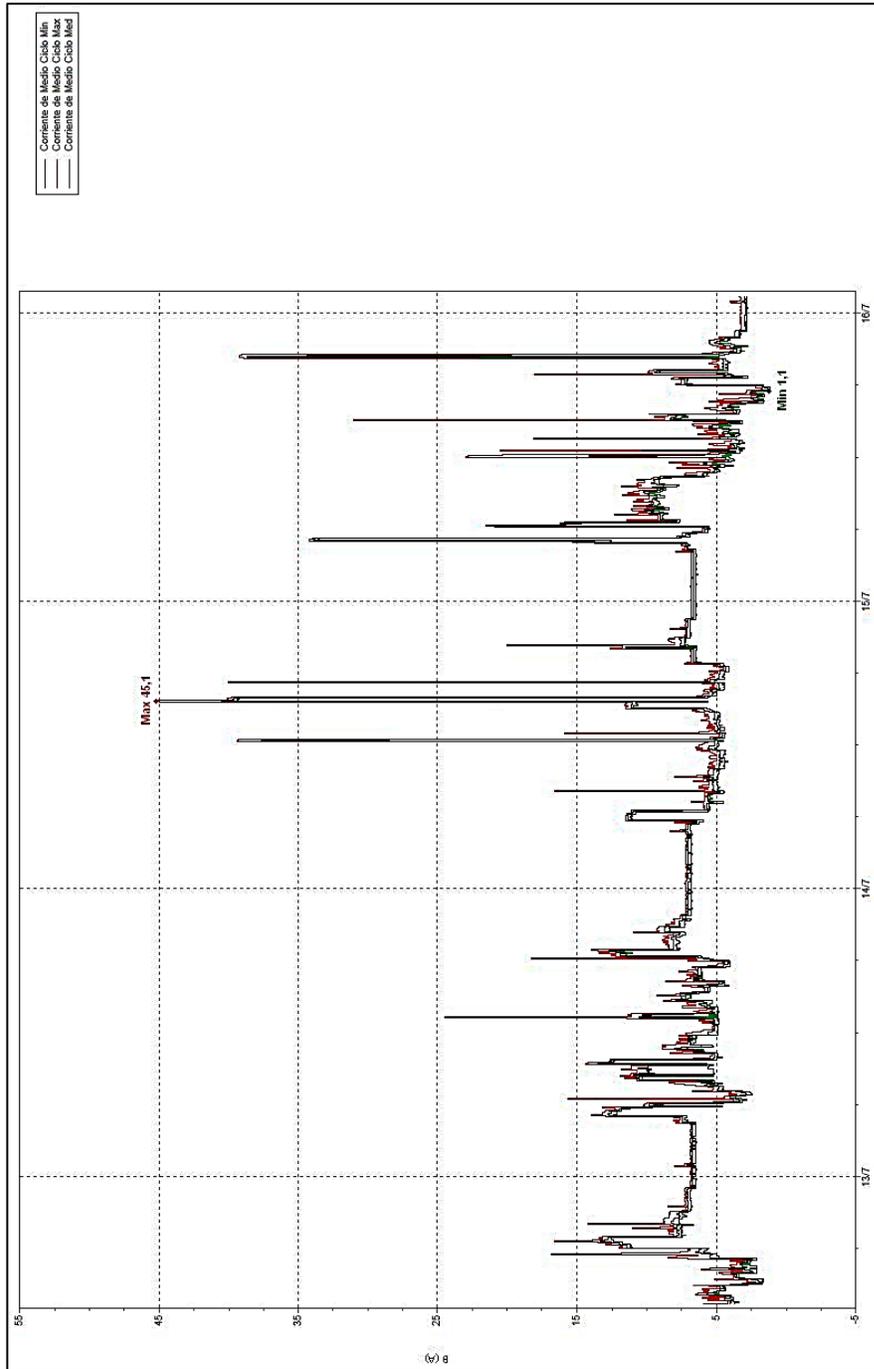
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 36. Análisis corriente fase A



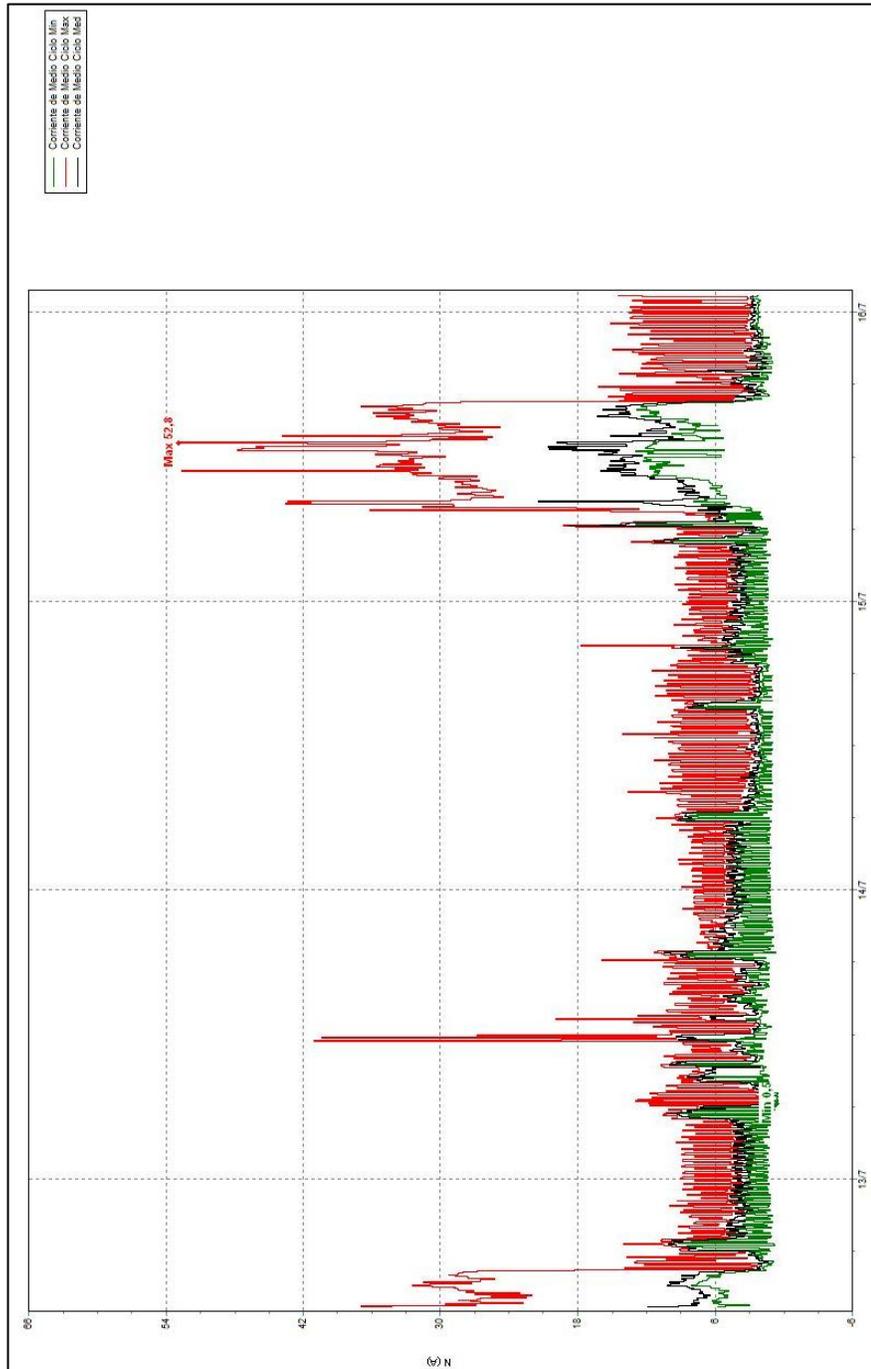
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 37. Análisis corriente fase B



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 38. Análisis corriente para el neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

4.2.5. Distorsión armónica

La mayoría de los armónicos son provocados por cargas no lineales, sin embargo, en el edificio la mayoría de las cargas instaladas es del tipo resistivo por lo que no hay mayor problema, pero las condiciones actuales sumado al poco mantenimiento pueden provocar algunos problemas en el edificio.

Tabla XXXIII. Valores del factor THD y su efecto en una instalación

| THD entre 1 % y 5 % | THD > 5 % |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Es aceptable• No presenta mayor impacto en la red.• Las pérdidas son mínimas.• Estos valores se presentan regularmente en instalaciones que, en su mayoría, su energía se consume en cargas resistivas• No se corre el riesgo de mal funcionamiento de los equipos. | <ul style="list-style-type: none">• Provoca sobrecalentamiento en los conductores.• Disparos inesperados en los <i>breaker's</i> del tablero de distribución.• Bajo factor de potencia.• Pérdidas de energía en grandes cantidades por calentamiento en los conductores.• Mal funcionamiento de los equipos a causa de la señal de entrada deformada. |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

4.2.5.1. Distorsión armónica total de tensión

Con base en los resultados obtenidos se determinó que los armónicos de tensión se encuentran dentro de los límites establecidos por la distribuidora eléctrica no sobrepasan el 8 % que establecen la norma IEEE 519.

Con base en los resultados obtenidos se determinó que los armónicos de tensión en la fase Gn con un valor del 36,46 % se encuentran fuera de los límites

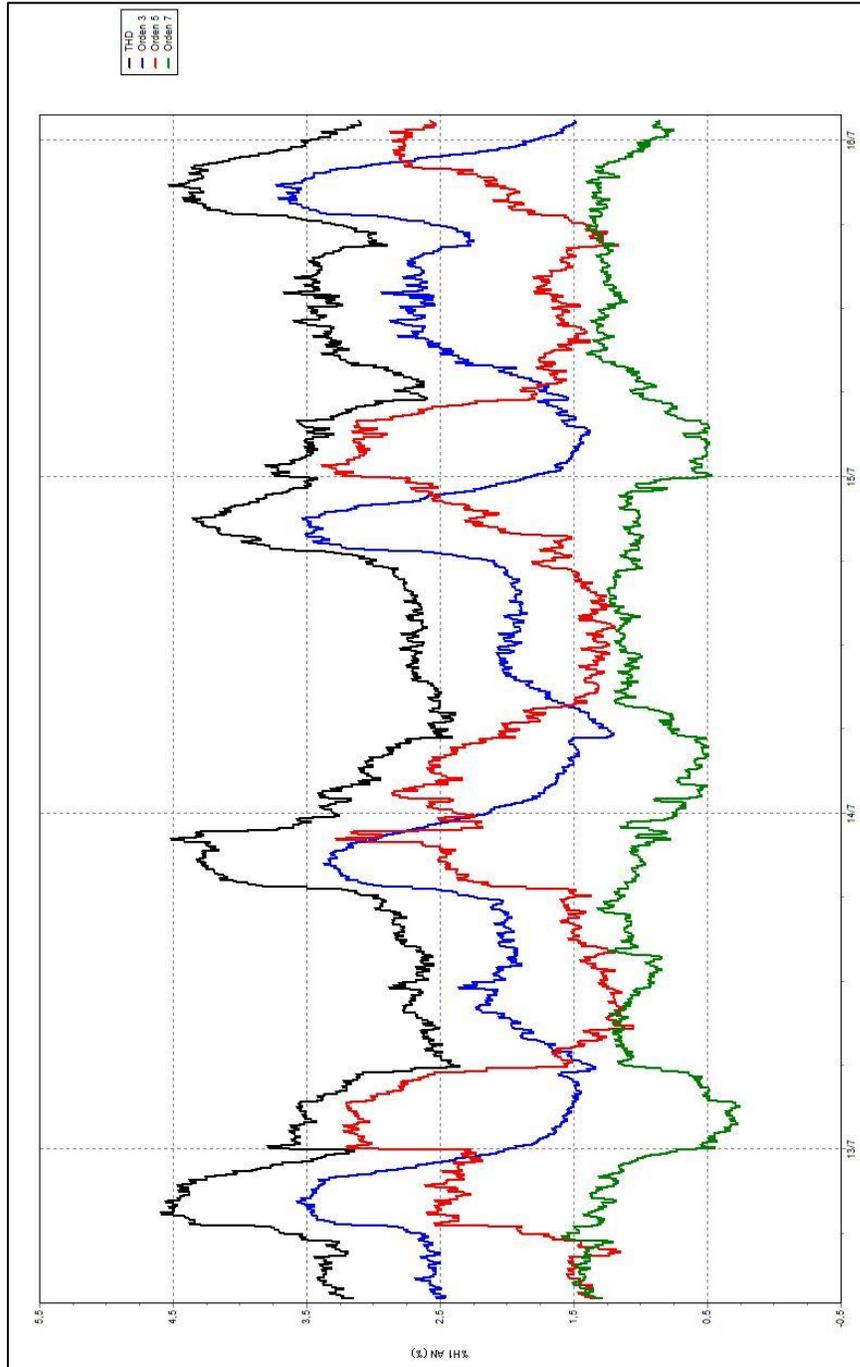
establecidos por la distribuidora eléctrica, por que sobrepasan los 6 % por lo que en este caso estaría siendo penalizado con una sanción económica de acuerdo a las NTSD.

Tabla XXXIV. **Distorsión armónica de tensión THDV**

| Medición | Promedio | Mínimo | | Máximo | |
|-----------|----------|-----------------------|-------|-----------------------|--------|
| | Valor | Fecha - hora | Valor | Fecha - hora | Valor |
| THDV L1-N | 3,27 | 13/07/2019 - 06:25 | 2,16 | 12/07/2019 - 21:10 | 4,79 |
| THDV L2-N | 3,22303 | 13/07/2019 - 06:25 | 2,11 | 12/07/2019 - 21:10 | 4,98 |
| THDV LN-G | 41,5249 | 13/07/2019 - 18:50 | 5,69 | 12/07/2019 - 16:25 | 327,67 |

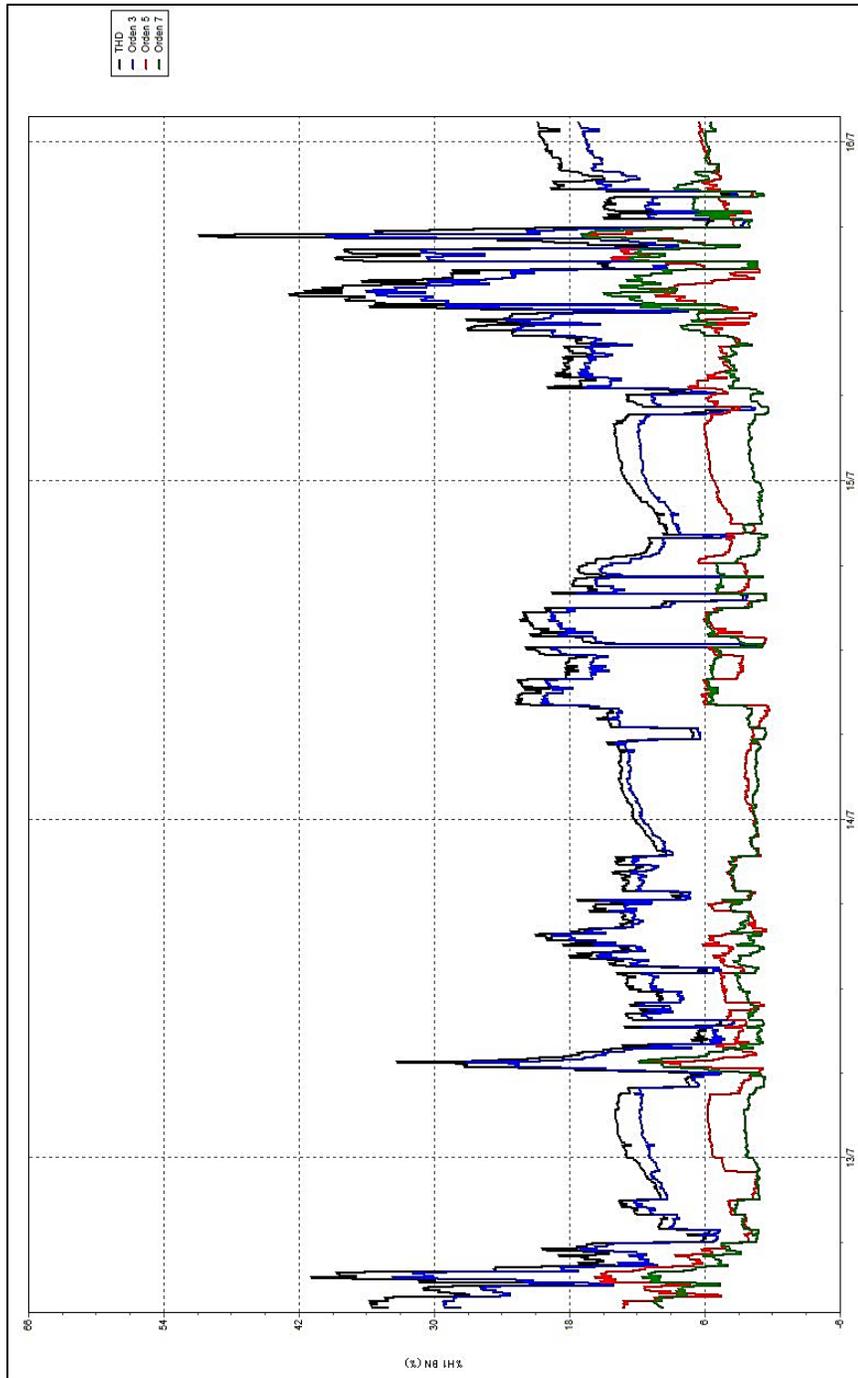
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 39. Armónicos de tensión fase A



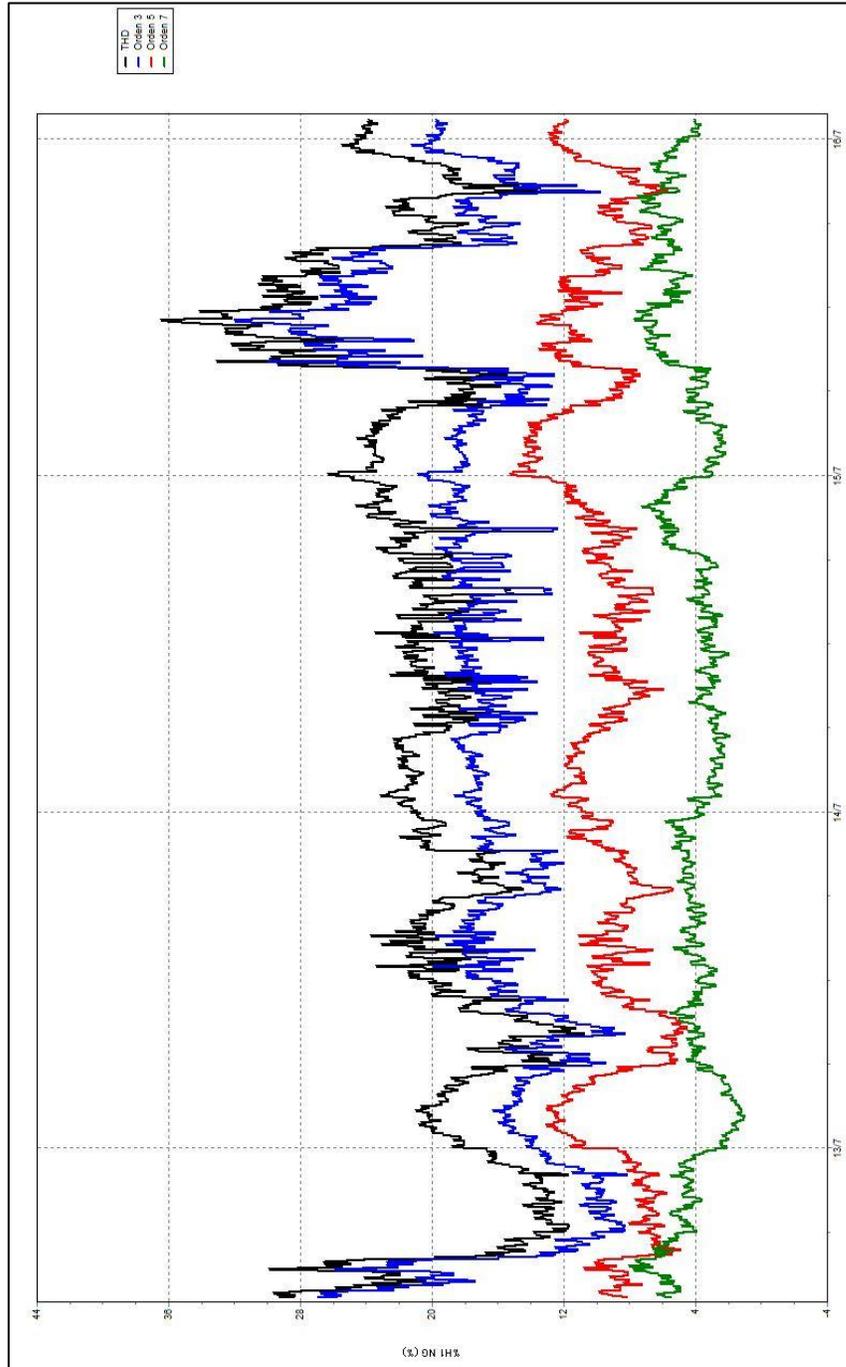
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 40. Armónicos de tensión fase B



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 41. Armónicos de tensiones referidas al neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

4.2.5.2. Distorsión armónica total de corriente

Con respecto a los armónicos de corriente y con base en las mediciones obtenidas del equipo se determinó que la fase L1 se encuentran fuera del límite establecido por la ya mencionada norma IEEE 519 con un valor de 30,79 %, lo cual nos indica que existe una polución de armónicas en la instalación en parte debido a todos los equipos electrónicos que se utilizan en el edificio, en su mayoría son equipos de oficina. Se debe tener cuidado con este valor de armónicos presentes, como se sabe con armónicos presentes en una instalación existe el riesgo del aumento de temperatura en los conductores, que nos llevara a otro problema; como el redimensionamiento de la acometida y de los conductores.

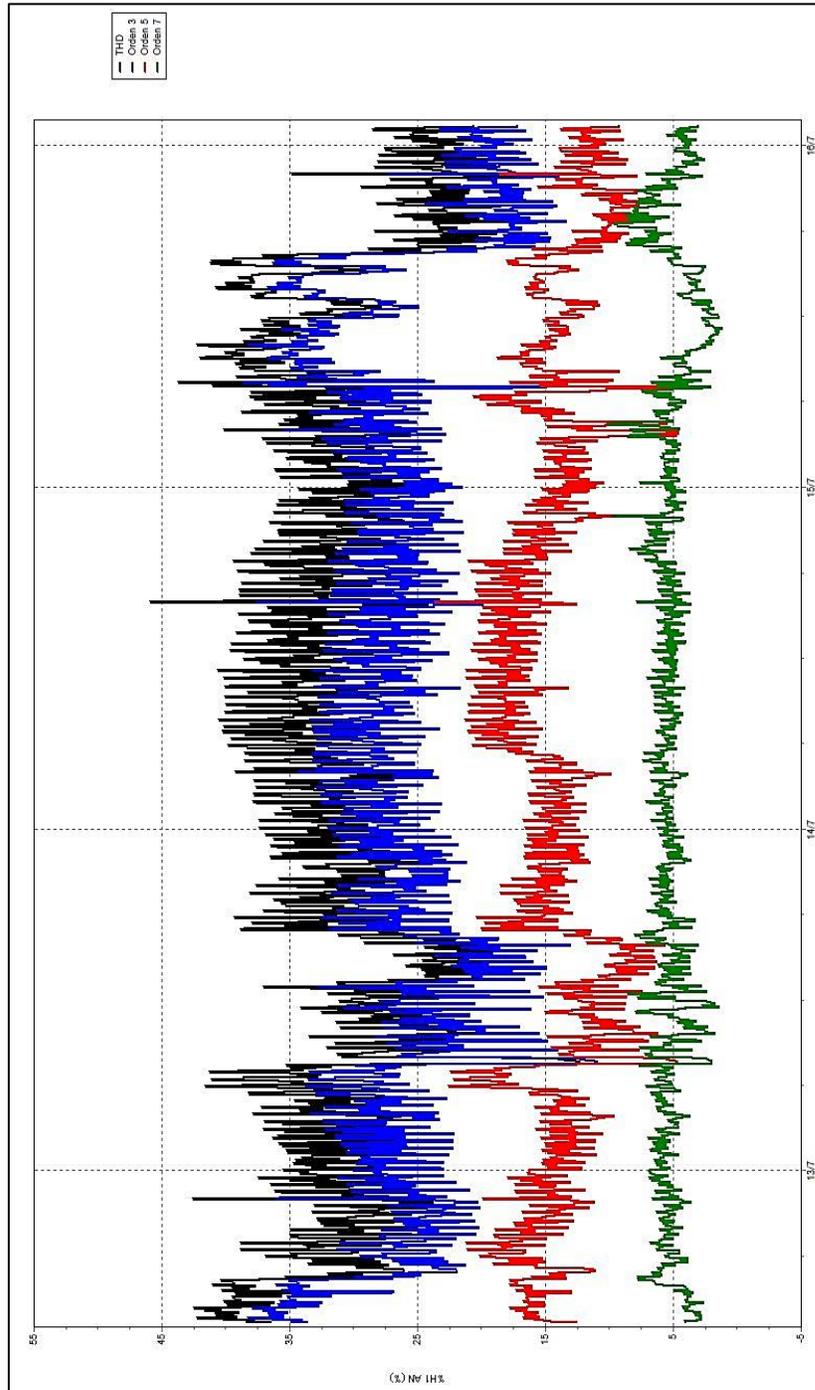
Con respecto a los armónicos de corriente y con base en las mediciones obtenidas del equipo se determinó que las tres fases En, Van y Gn se encuentran fuera del límite establecido por la distribuidora con valores de 31,12 %, 15,74 % y 39,22 % incumpliendo una vez más la norma NTSD por lo también tendría otra penalización con una sanción económica.

Tabla XXXV. **Distorsión armónica de corriente THDI**

| Medición | Promedio | Mínimo | | Máximo | |
|----------|----------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | Valor | Fecha - hora | Valor | Fecha - hora | Valor |
| THDI L1 | 30,7934 | 15/07/2019 - 23:05 | 7,46 | 15/07/2019 - 07:55 | 54,54 |
| THDI L2 | 16,0854 | 14/07/2018 - 12:25 | 1,89 | 15/07/2019 - 17:30 | 52,03 |
| THDI N | 17,5499 | 14/07/2019 - 15:50 | 2,7 | 15/07/2019 - 17:30 | 52,03 |

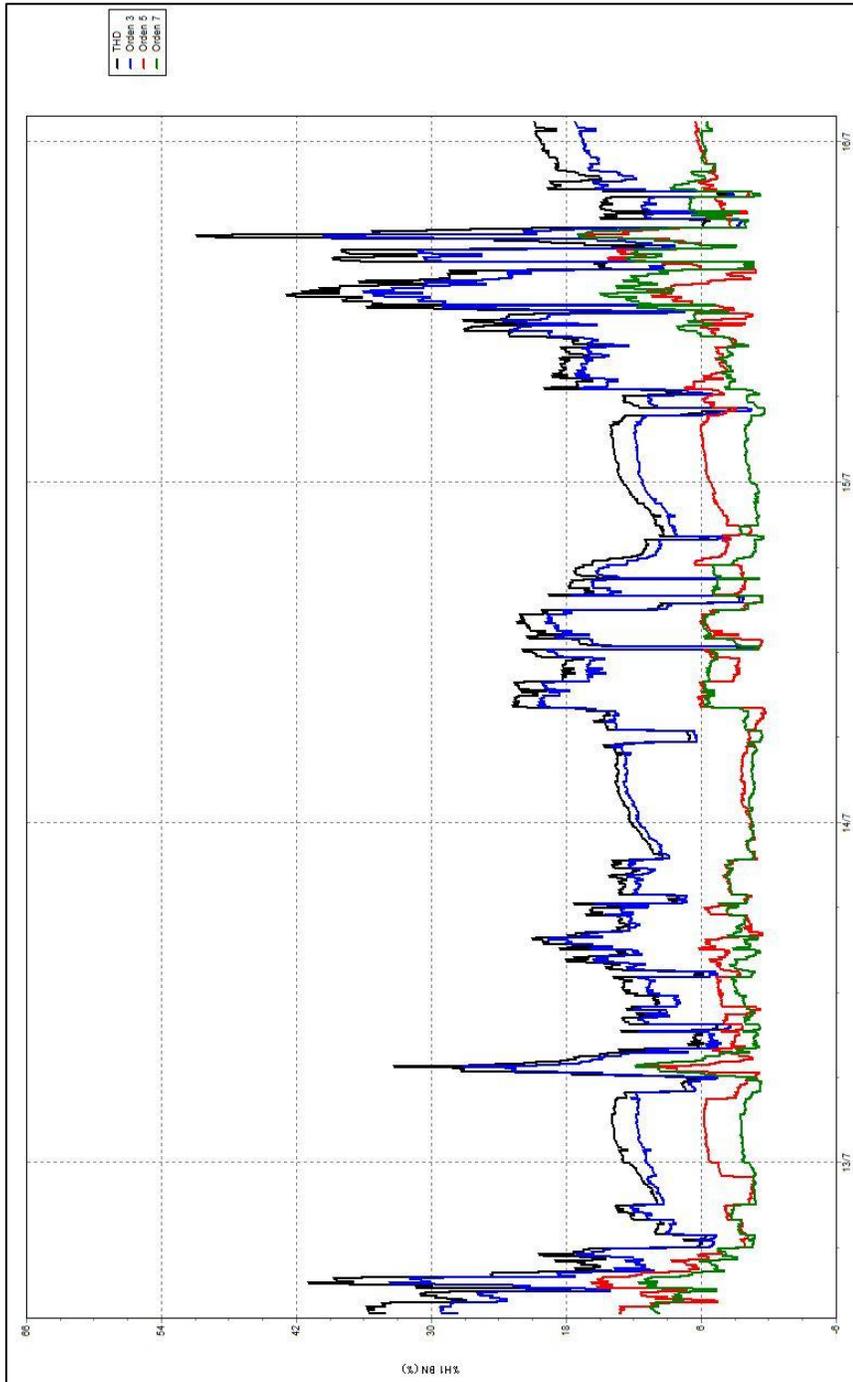
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 42. Armónicos de corriente fase A



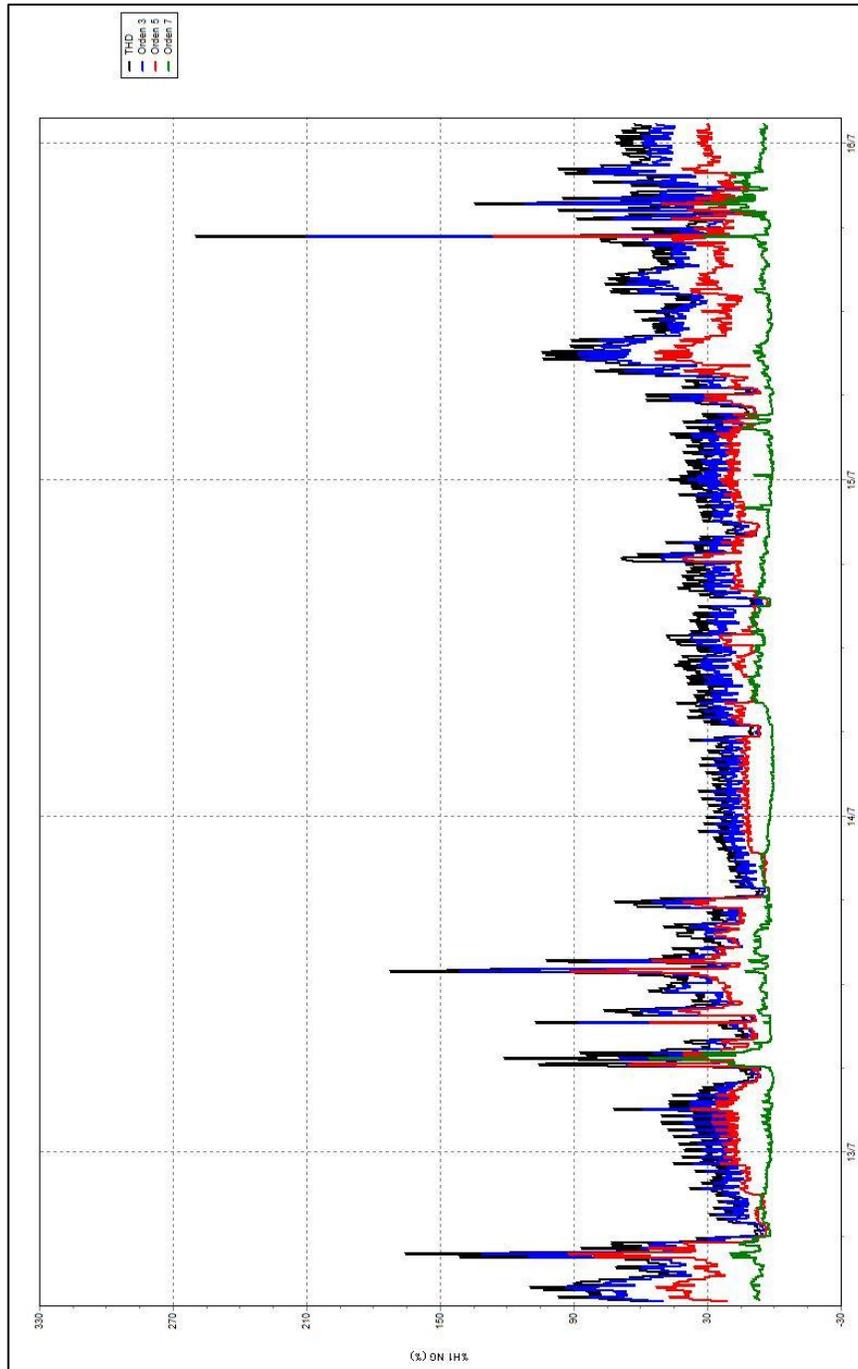
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 43. Armónicos de corriente fase B



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 44. Armónicos de corriente referido al neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 I, V4.3.21.

4.2.6. Factor de potencia

Se analizaron los patrones de consumo de energía activa, reactiva con la intención de mejorar las prácticas de consumo energético, de esta manera evitar sanciones por parte de la distribuidora.

Durante la adquisición y medición de datos se obtuvieron valores ligeramente por debajo del nivel recomendado por las NTSD de la CNEE, para el factor de potencia, por lo que es importante realizar un análisis relacionado con este tema para ver la posibilidad de instalar un banco de capacitores que nos ayuden a regular el factor de potencia para no caer en infracciones.

En la norma para acometidas de EEGSA., indican que el factor de potencia del usuario no debe ser menor al 85 %, siendo el $fp = 0,85$ en ningún caso. Los valores obtenidos en las mediciones indican que el factor de potencia permanece dentro del valor establecido.

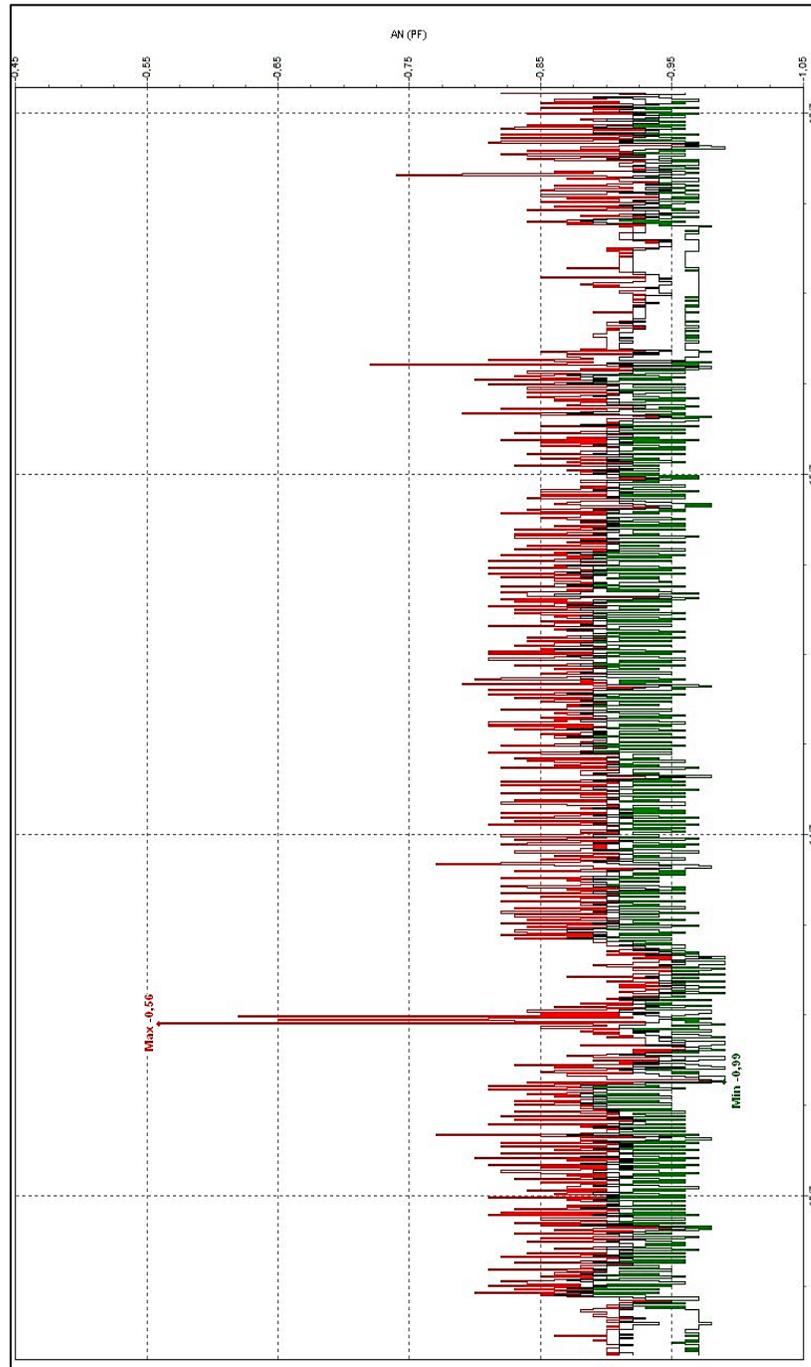
Para obtener los resultados, se utilizó los datos de la medición y análisis de consumos referentes a una semana.

Tabla XXXVI. **Factor de potencia**

| Factor de potencia total | | | |
|---------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| Fecha | Hora | Adimensional | Característica |
| - | - | 0,83 | Promedio |
| 09/07/2019 | 5:41:06 | 0,36 | Mínimo |
| 09/07/2019 | 10:51:06 | 0,99 | Máximo |

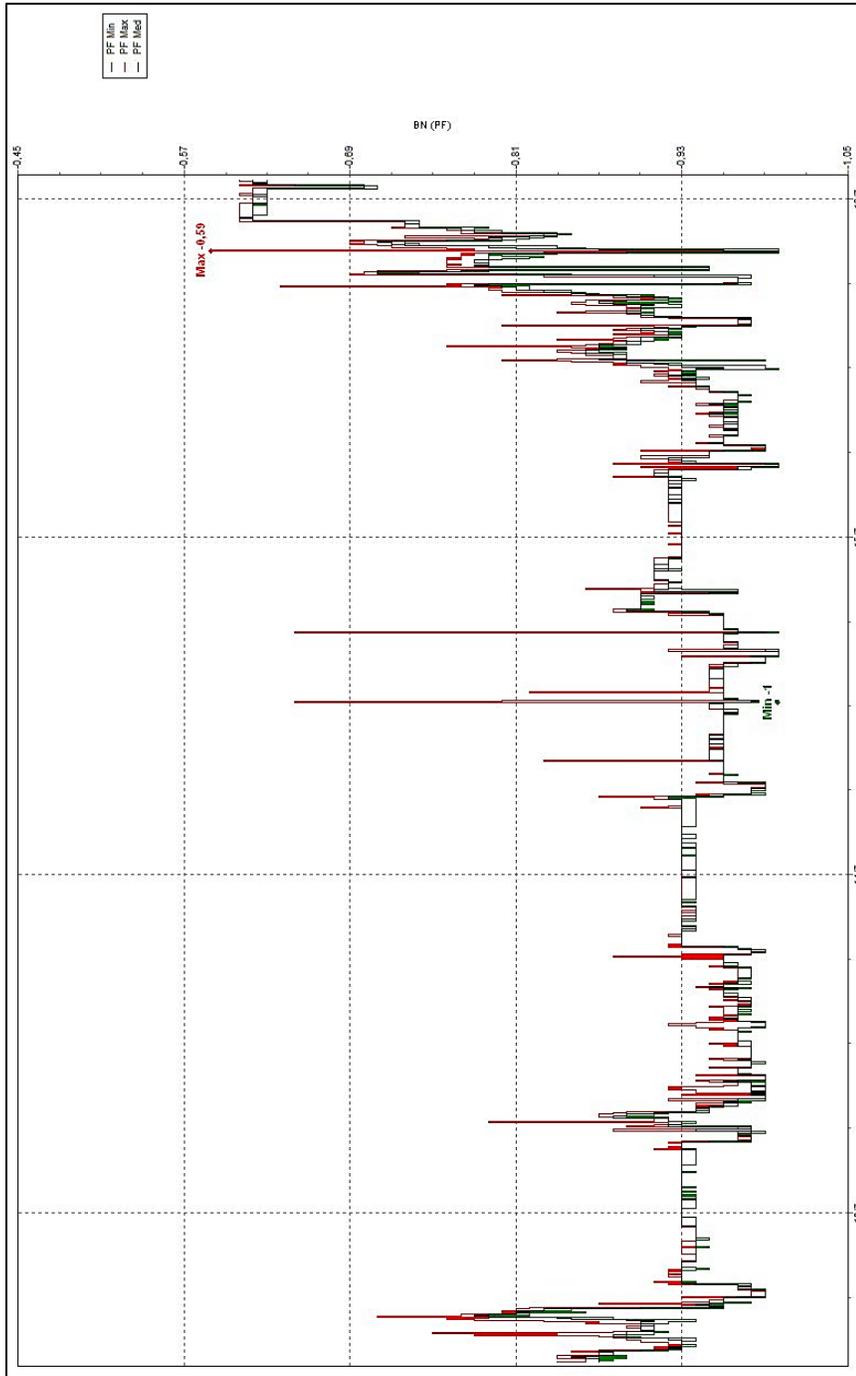
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 45. Factor de potencia fase A



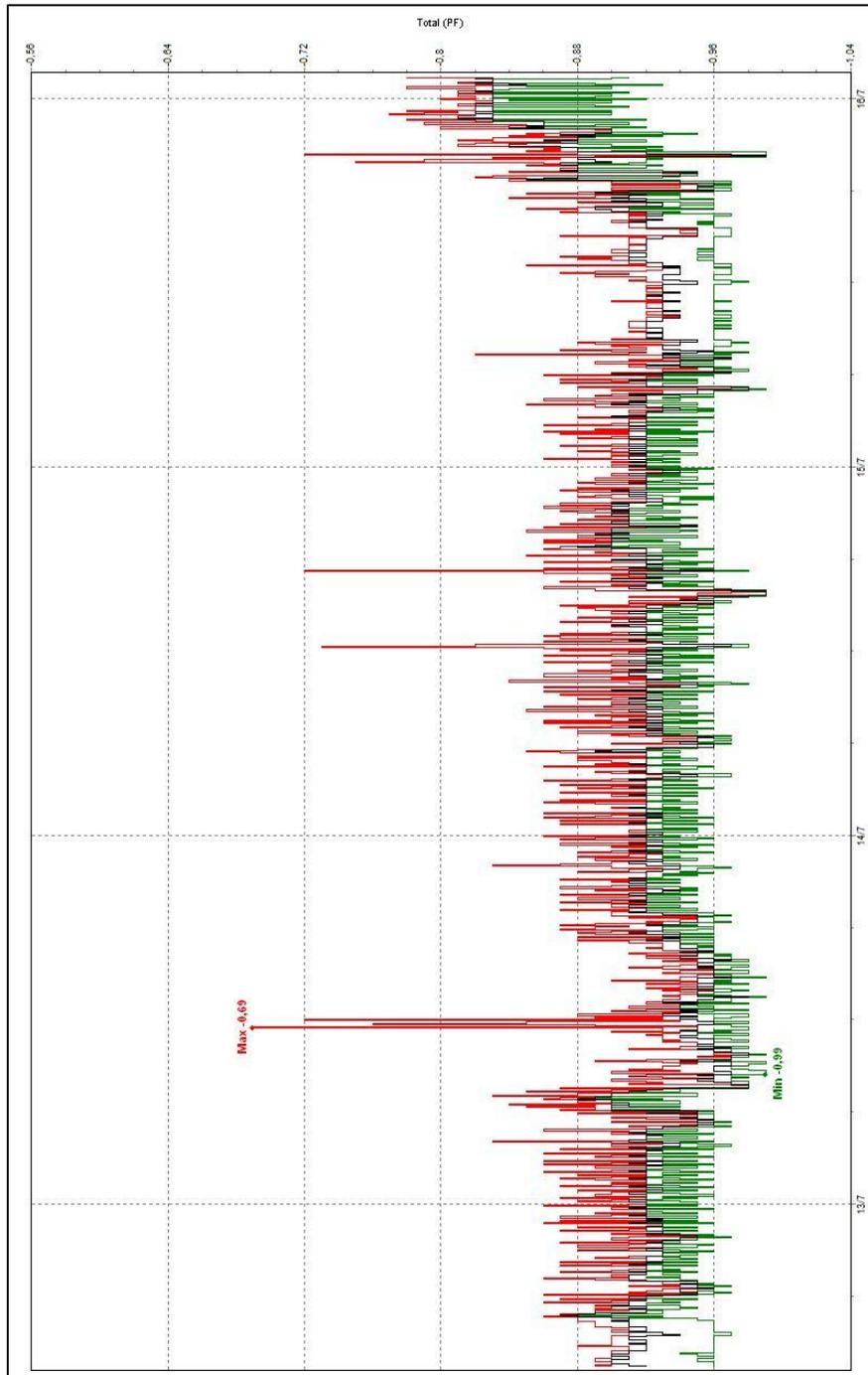
Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 46. Factor de potencia fase B



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

Figura 47. Factor de potencia referido al neutro



Fuente: elaboración propia, empleando Power Log 430 II, V4.3.2.

4.2.7. Frecuencia

En el análisis a la frecuencia del sistema, se tiene que los valores máximos y mínimos fueron 60,13 Hz y 59,8 Hz respectivamente, los cuales se encuentran dentro de los valores establecidos por la EN 50160 que se puede concluir que son valores aceptables.

4.2.8. Flicker

Se puede concluir que existe problema únicamente con el flicker de largo plazo, el mismo se pudo observar de manera directa en las lámparas de algunos espacios del edificio, es importante contrarrestar este efecto esto trae efectos con diversas consecuencias en la percepción humana como, por ejemplo: dolores de cabeza, disminución de los niveles de concentración o generar fatiga. Según la Norma EN 50160 el edificio se encuentra fuera del rango establecido. Para contrarrestar este problema se pueden incorporar al edificio nuevas lámparas denominadas *flicker free*, que como su nombre lo indica se fabrican especialmente para que no exista el parpadeo.

Otra solución para reducir o minimizar el efecto del parpadeo puede ser incorporar a la instalación eléctrica reguladores de voltaje que se encarguen de limpiar la señal de la tensión. Sin embargo, cabe señalar que esta es una solución parcial no definitiva al problema.

5. ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO FLOR DEL CAFÉ

5.1. Análisis teórico de la instalación eléctrica

Con base en las mediciones realizadas se analizan los resultados obtenidos en las instalaciones del edificio Flor del Café.

5.1.1. Cálculo de tuberías

El cálculo de tuberías se explicó en la sección 2.3.3.

5.1.1.1. Cálculo de la tubería del tablero principal

Si se necesita conducir 3 conductores calibre 2/0 AWG de acuerdo con la tabla LXXVI, primero se debe determinar el factor de relleno o el porcentaje de conductores, en este caso es:

$$a=3*0,2781=0,8343 \text{ in}^2$$

El área total de la tubería en pulgadas² es:

$$A= \frac{0,8343}{0,40}=2,08575 \text{ in}^2$$

El diámetro de la tubería es:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,08575}{\pi}} = 1.62 \text{ in}$$

Como se requiere una tubería de diámetro igual a 1,62 pulgadas, se elige una tubería de 1 1/2 pulgadas de diámetro tipo *Conduit* de PVC, porque es la que se encuentra comercialmente. este procedimiento se usará con conductores de diferente calibre en la tubería; en caso contrario se puede utilizar la tabla XXVII para determinar el diámetro necesario de la tubería.

Tabla XXXVII. **Cantidad de conductores por tubería**

| Calibre AWG o MCM | Tipo de aislante TW o THW | Diámetro de tubería en pulgadas | | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|------|----|--------|--------|----|
| | | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2" |
| Área aproximada pulgadas ² | | Cantidad de conductores | | | | | |
| 14 | 0.0206 | 4 | 6 | 10 | 18 | 25 | 41 |
| 12 | 0.0251 | 3 | 5 | 8 | 15 | 21 | 34 |
| 10 | 0.0311 | 1 | 4 | 7 | 13 | 17 | 29 |
| 8 | 0.0526 | 1 | 3 | 4 | 7 | 10 | 17 |
| 6 | 0.0819 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 10 |
| 4 | 0.1087 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 8 |
| 2 | 0.1473 | | 1 | 1 | 3 | 3 | 6 |
| 1/0 | 0.2367 | | | 1 | 1 | 2 | 4 |
| 2/0 | 0.2781 | | | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 3/0 | 0.3288 | | | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 4/0 | 0.3904 | | | | 1 | 1 | 2 |

Fuente: <http://www.loscables.com>. Consulta: 12 de marzo 2020.

5.1.2. **Cálculo de sección de conductores eléctricos según la capacidad de conducción de corriente**

Para el cálculo del calibre del conductor por corriente, como se explicó en la sección 2.3.4 Se describe a continuación el procedimiento de cálculo para

seleccionar el calibre del conductor necesario para el circuito número uno del tablero de distribución, anteriormente se supo que la corriente nominal del circuito es de 23,5 amperios.

- Paso 1: determinar la capacidad de conducción real del conductor, de acuerdo con el anexo 4, los valores de los factores de corrección según la cantidad de conductores serían 1,05 y por temperatura serán, 0.8
- Paso 2: se elige un conductor con una capacidad de conducción real igual o superior a la corriente nominal del circuito.

Se elige un conductor calibre 12 y su capacidad de conducción real será:

$$I_{\text{real}} = 25 * 1,05 * 0,8 * 0,8 = 16,8 \text{ amperios}$$

La capacidad de conducción real de este conductor es de 16,8 amperios.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de cálculos para determinar el calibre de los conductores por caída de voltaje y por corriente, de los alimentadores en los tableros de distribución secundarios del edificio.

5.1.3. Cálculo de sección de conductores eléctricos por caída de tensión

Se explicó el método para elegir un conductor por caída de tensión, en la sección 2.3.5

A continuación, los datos para el circuito 1 del tablero A del edificio: carga instalada 2 509,8 watts; distancia entre la carga y el tablero es 1,5 m; alimentación

120 V factor de potencia de 0,89; se empleará un conductor de cobre con coeficiente $k = 57 \text{ mm}^2/\Omega\cdot\text{m}$ tipo AWG THW.

- Paso 1: para un circuito derivado, se sabe que es permitido una caída de tensión máxima del 3 %:

$$e = 0,003 \cdot 120 = 3,6 \text{ volt}$$

- Paso 2: se sabe que el circuito es monofásico, por lo tanto:

$$L = 2 \cdot 15 = 30 \text{ metros}$$

- Paso 3: se calcula la corriente en función de la potencia instalada:

$$I = \frac{2509,8}{120 \cdot 0,89} = 23,5 \text{ amperios}$$

- Paso 4: aplicando la ecuación para obtener el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{23,5 \cdot 30}{3,6 \cdot 57} = 3,44 \text{ mm}^2$$

- Paso 5: elección del conductor, es importante seleccionar un área transversal igual o mayor al área encontrada en el paso anterior; para este caso en el anexo 5 se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG THHW calibre No. 12. THHW significa es un conductor termoplástico resiste al calor y humedad.

Tabla XXXVIII. **Resumen cálculo de conductores por caída de tensión y por ampacidad**

| | Descripción | Circuito | Tipo de carga | A | B | Caída de tensión | | Ampacidad | | % Fu Conductor |
|-----------|---------------------------|----------|-----------------|-------|-------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| | | | | | | Distancia [m] | Calibre del conductor | Corriente nominal [I] | Calibre del conductor | |
| Tablero A | 2ø, 18 polos, barras 200A | 1 | Fuerza | 2510 | | 5,1 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 83,7 |
| | | 2 | Iluminación | | 645 | 4,1 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 21,5 |
| | | 3 | Fuerza | | 1 000 | 3,0 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 33,3 |
| | | 4 | Iluminación | 950 | | 4,1 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 31,7 |
| Tablero B | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 500 | | 4,8 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 16,7 |
| | | 2 | Fuerza | | 960 | 4,4 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 32,0 |
| | | 3 | A/C | | 730 | 1,5 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 24,3 |
| Tablero C | 2ø, 24 polos, barras 200A | 1 | Iluminación | 270 | | 3,5 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 9,0 |
| | | 2 | Iluminación | | 275 | 4,8 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 9,2 |
| | | 3 | Iluminación | 950 | | 3,1 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 31,7 |
| | | 4 | Motor eléctrico | | 1 000 | 25,0 | THHN#6 | 65 | THHN#6 | 12,8 |
| | | 5 | Fuerza | | 275 | 4,4 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 9,2 |
| | | 6 | Fuerza | 290 | | 4,4 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 9,7 |
| Tablero D | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 360 | | 1,6 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 12,0 |
| | | 2 | Iluminación | | 540 | 2,5 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 18,0 |
| | | 3 | Fuerza | | 450 | 2,4 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 15,0 |
| | | 4 | Iluminación | 580 | | 2,2 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 19,3 |
| Tablero E | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 500 | | 3,8 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 16,7 |
| | | 2 | Iluminación | 280 | | 2,4 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 9,3 |
| | | 3 | A/C | | 720 | 2,3 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 24,0 |
| | | 4 | Fuerza | | 600 | 2,2 | THHN#12 | 25 | THHN#12 | 20,0 |
| | | | | 7 190 | 7 195 | | | | | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

5.1.4. Cálculo coordinación de protecciones

Para el circuito A se tiene:

La corriente nominal del circuito es 23,5 amperios

Solución:

$$I_{\text{BREAKER}} = 1,25 * I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{BREAKER}} = 1,25 * 23,5 = 29,37 \text{ Amperios}$$

En la siguiente tabla resumen se muestran las protecciones correspondientes para los circuitos del edificio.

Tabla XXXIX. **Resumen cálculos de protecciones**

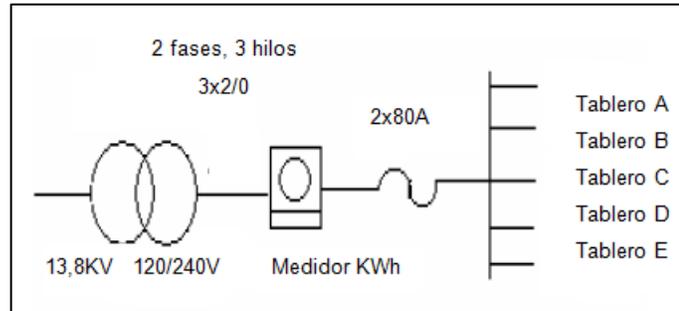
| | Descripción | Circuito | Tipo de carga | A | B | Corriente nominal, A | Interruptor | % Fu Interruptor |
|------------------|---------------------------|----------|-----------------|------|------|----------------------|-------------|------------------|
| Tablero A | 2ø, 18 polos, barras 200A | 1 | Iluminación | 2510 | | 15 | 1x30A | 69,7 |
| | | 2 | Iluminación | | 645 | 20 | 1x30A | 17,9 |
| | | 3 | Fuerza | | 1000 | 20 | 1x30A | 27,8 |
| | | 4 | Fuerza | 950 | | 20 | 1x30A | 26,4 |
| Tablero B | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 500 | | 20 | 1x30A | 13,9 |
| | | 2 | Fuerza | | 960 | 20 | 1x30A | 26,7 |
| | | 3 | A/C | | 730 | 20 | 1x30A | 20,3 |
| Tablero C | 2ø, 24 polos, barras 200A | 1 | Iluminación | 270 | | 20 | 1x30A | 7,5 |
| | | 2 | Iluminación | | 275 | 20 | 1x30A | 7,6 |
| | | 3 | Iluminación | 950 | | 20 | 1x30A | 26,4 |
| | | 4 | Motor eléctrico | | 1000 | 85 | 1x100A | 27,8 |
| | | 5 | Fuerza | | 275 | 20 | 1x30A | 7,6 |
| | | 6 | Fuerza | 290 | | 20 | 1x30A | 8,1 |
| Tablero D | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 360 | | 20 | 1x30A | 10,0 |
| | | 2 | Iluminación | | 540 | 20 | 1x30A | 15,0 |
| | | 3 | Fuerza | | 450 | 20 | 1x30A | 12,5 |
| | | 4 | Iluminación | 580 | | 20 | 1x30A | 16,1 |
| Tablero E | 2ø, 12 polos, barras 100A | 1 | Iluminación | 500 | | 20 | 1x30A | 13,9 |
| | | 2 | Iluminación | 280 | | 20 | 1x30A | 7,8 |
| | | 3 | A/C | | 720 | 20 | 1x30A | 20,0 |
| | | 4 | Fuerza | | 600 | 20 | 1x30A | 16,7 |
| | | | | 7190 | 7195 | | | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

5.2. Diagrama unifilar del edificio

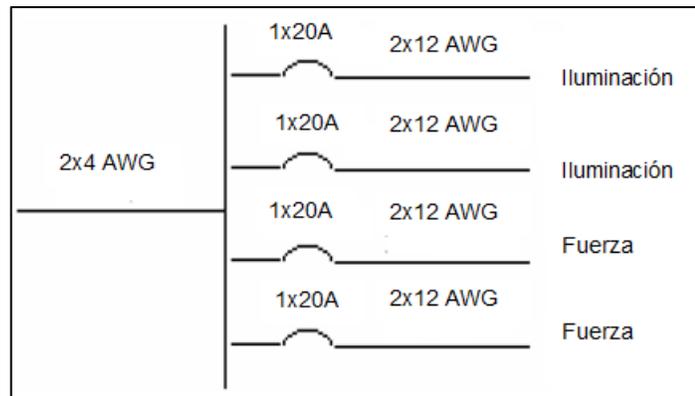
Teniendo en cuenta la importancia de un diagrama unifilar se muestran a continuación la red principal como de los subtableros que derivan de este.

Figura 48. **Diagrama unifilar de la red del edificio Flor del Café**



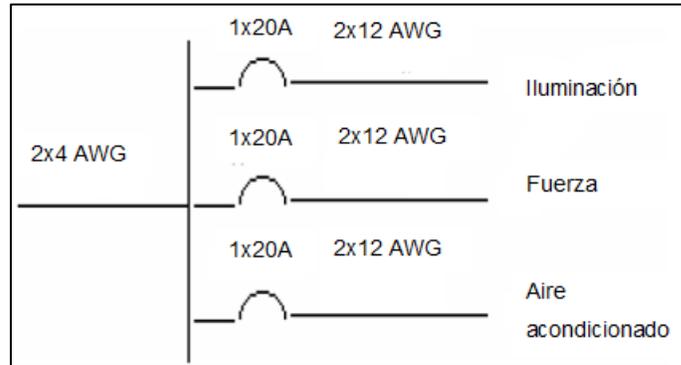
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 49. **Diagrama unifilar tablero A**



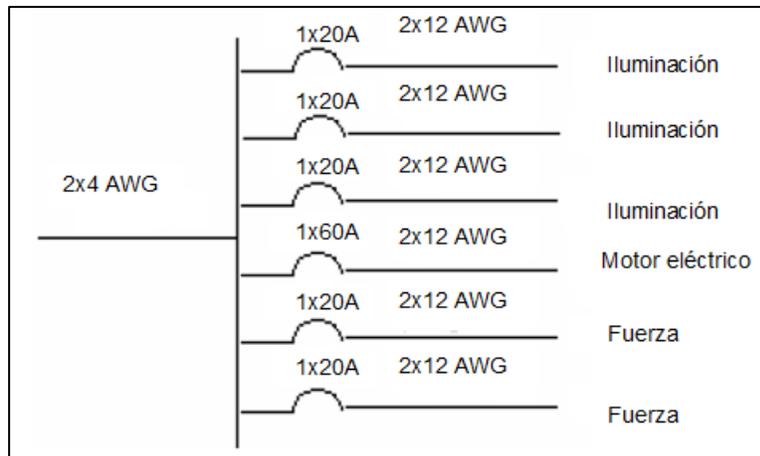
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 50. **Diagrama unifilar tablero B**



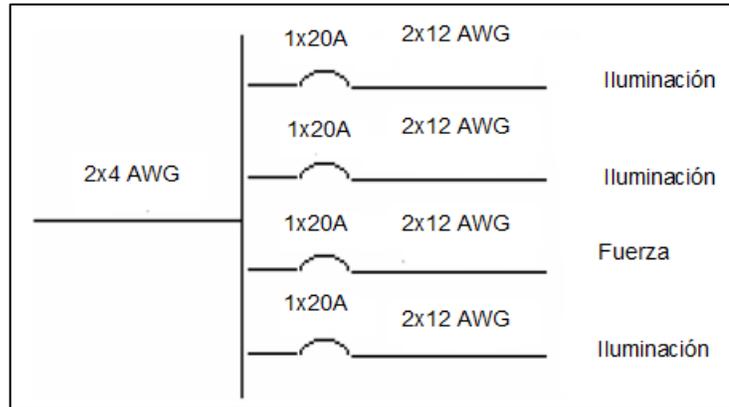
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 51. **Diagrama unifilar tablero C**



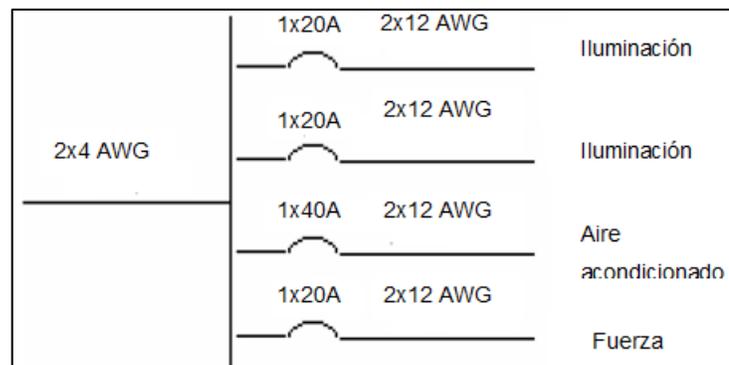
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 52. **Diagrama unifilar tablero D**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 53. **Diagrama unifilar tablero E**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

5.3. Pararrayos

Son dispositivos eléctricos que tienen como fin proteger, equipos, instalaciones y personas ante descargas atmosféricas. La función es transmitir

la descarga de manera directa hacia la tierra sin importar el conjunto de tecnologías usadas para ello.

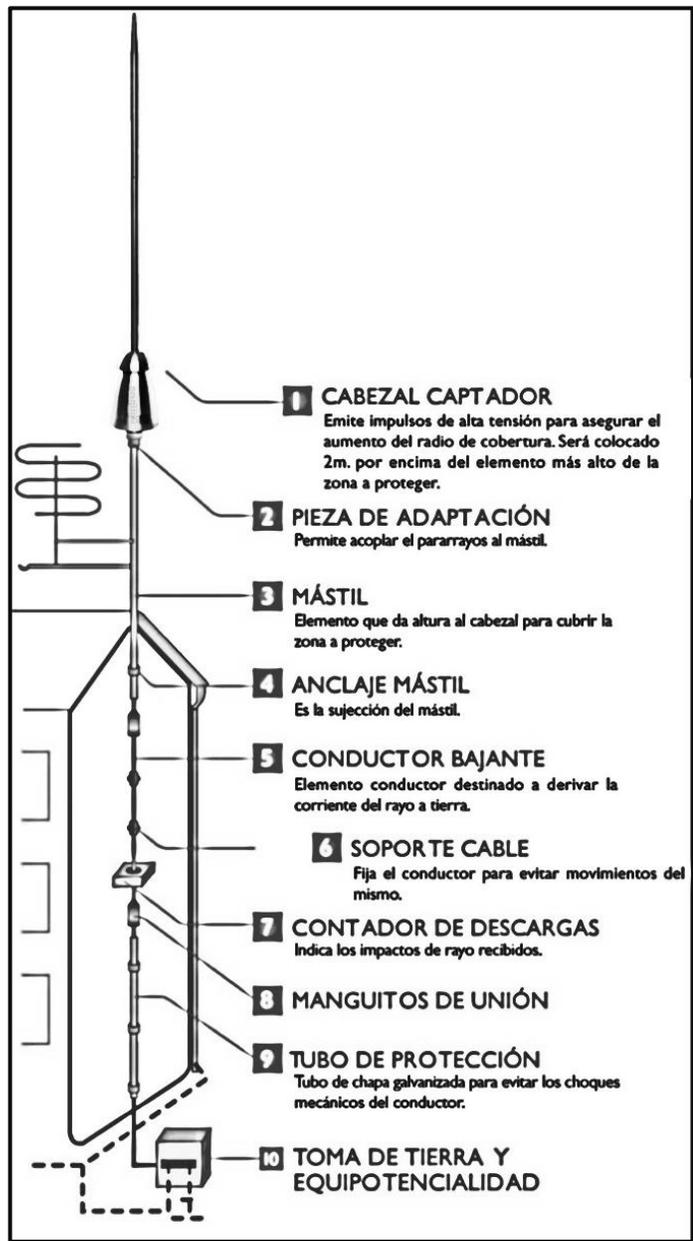
Un sistema de pararrayos está formado por varios elementos resistivos que limitan las sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas. La forma para proteger las instalaciones y también a las personas se hace por medio de los pararrayos que deben ser capaces de capturar el rayo y disipar la energía de la descarga, por medio de la trayectoria de menor impedancia. Es importante señalar que no es posible detener las descargas, solamente pueden ser desviadas de una forma controlada.

Con base en la norma UNE 21-189, se realizarán cálculos para el diseño de pararrayos pues en esta se detallan y definen parámetros importantes para proteger las instalaciones de un edificio.

5.3.1. Componentes de un pararrayos

- Cabezal o puntal
- Placa de fijación
- Poste donde se fija el cabezal
- Protector y anclaje del poste
- Conductor de bajante
- Soportes del conductor
- Contador de descargas
- Protección de tubo
- Toma a tierra

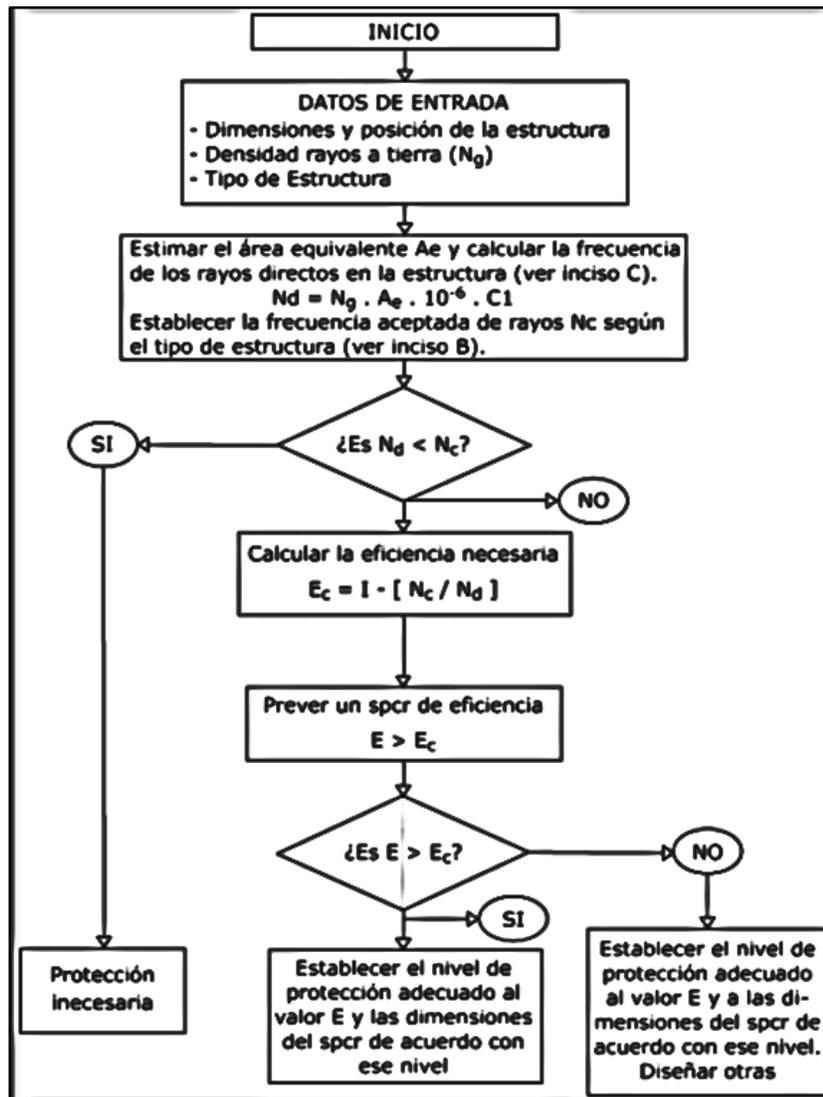
Figura 54. Partes del pararrayos



Fuente: CRESPI TIXE, Mayra Jacqueline. Análisis y diseño del sistema de pararrayos de la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6637/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-85.pdf>. Consulta: 5 de julio de 2020.

En el siguiente diagrama lógico se ira explicando los pasos a seguir para determinar si existiera la necesidad de instalar pararrayos y su grado de protección.

Figura 55. Diagrama lógico para la instalación de un pararrayos



Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS. T07 – Pararrayos.

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Pasos para evaluar la necesidad de pararrayos en un edificio o estructura.

- Paso 1: verificar si el edificio necesita pararrayos. Por lo tanto, debemos comprobar las siguientes condiciones:
 - ¿En él se manipulan sustancias altamente explosivas o inflamables radioactivas o tóxicas?
 - ¿Su altura es superior a 43 m?
 - ¿La frecuencia de impactos de N_e > que el riesgo admisible de N_a ?

Para el cálculo específico de ambos parámetros se procede como se detalla a continuación, si $N_e > N_a$.

$$N_e = N_a * A_e * C_1 * 10^{-6} \left(\text{No.} \frac{\text{impactos}}{\text{año}} \right)$$

Dónde:

N_a = densidad de rayos en el terreno, esto es igual al No. impactos/año, km^2

A_e = superficie captora del edificio, m^2

N_e = frecuencia esperada de impactos directos a la estructura

$$A_e = (L * A) + 6H(L + A) + (9 * \pi * H^2)$$

Dónde:

L = largo, m

A = ancho, m

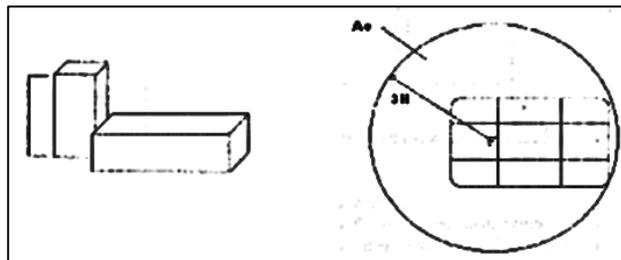
H = altura libre, m

- Para el caso de un edificio con una parte prominente

El área equivalente engloba la totalidad o parte del área más baja de la otra estructura.

$$A_e = 9 * \pi * H^2$$

Figura 56. **Área equivalente de un edificio con una parte prominente**



Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS. T07 – Pararrayos.

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Determinación de los coeficientes C

Tabla XL. **Coficiente C1 ambiental**

| SITUACION RELATIVA DE LA ESTRUCTURA DE ALTURA H | Coficiente C ₁ |
|---|---------------------------|
| Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma o mayor altura que la de la estructura considerada (H) | 0,25 |
| Estructura rodeada de otras estructuras más pequeñas alturas < H | 0,5 |
| Estructura aislada. no hay otras estructuras a distancias menores que 3H | 1 |
| Estructura aislada en la cumbre de una colina o sobre un promontorio | 2 |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS. T07 – Pararrayos.

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Cálculo de la frecuencia aceptada de rayos sobre una estructura en Na

$$N_a = \left(\frac{5.5}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} \right) * 10^{-3}$$

Dónde:

C2 = coeficiente en función del tipo de construcción.

C3 = coeficiente en función del contenido del edificio.

C4 = coeficiente en función del uso del edificio.

C5 = coeficiente en función de la necesidad de continuidad de las actividades que se desarrollan en el edificio.

Para los coeficientes C2, C3, C4 y C5: se tienen las siguientes tablas:

Tabla XLI. **Coeficiente C2 tipo de construcción de la estructura**

| | | TECHADO O TEJADO | | |
|------------|------------|------------------|-------|------------|
| | | Metálica | Común | Inflamable |
| Estructura | Metálica | 0,5 | 1 | 2 |
| | Común | 1 | 1 | 2,5 |
| | Inflamable | 2 | 2,5 | 3 |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS. T07 – Pararrayos.

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Tabla XLII. **Coefficiente C3 evaluación del tipo de contenido de la estructura**

| CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA | Coefficiente C3 |
|---|-----------------|
| Sin valor o no inflamable | 0,5 |
| De valor común o normalmente inflamable | 1 |
| De gran valor particularmente inflamable | 2 |
| De valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo | 3 |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS. T07 – Pararrayos.
<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Tabla XLIII. **Coefficiente C4 evaluación de la ocupación de la estructura**

| OCUPACION DE LA ESTRUCTURA | Coefficiente C4 |
|---|-----------------|
| No ocupada | 0,5 |
| Normalmente ocupada | 1 |
| De evaluación difícil o con nesgo de pánico | 3 |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS. T07 – Pararrayos.
<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

Tabla XLIV. **Coefficiente C5 evaluación de las consecuencias de un impacto de rayos sobre el entorno**

| CONSECUENCIAS DE UN IMPACTO DE RAYO | Coefficiente C5 |
|---|-----------------|
| Sin necesidad de continuidad en el servicio y con alguna consecuencia sobre el entorno | 1 |
| Con necesidad de continuidad en el servicio y con algunas consecuencias para el entorno | 5 |
| Con vanas consecuencias para el entorno | 10 |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS. *T07 – Pararrayos*.
<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

- Paso 2: si resulta necesario instalar un pararrayos, esto según las condiciones anteriores se debe seleccionar uno con una eficiencia determinada y el correspondiente nivel de protección.

La eficiencia E se determina mediante la fórmula:

$$E = 1 - \left(\frac{N_a}{N_e} \right)$$

Luego se determina el respectivo nivel de protección.

Tabla XLV. **El nivel de protección**

| Nivel de Protección | Eficacia |
|----------------------------|-----------------|
| I | 95 al 98 % |
| II | 90 al 95 % |
| III | 80 al 90 % |
| IV | Menor al 80 % |

Fuente: INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS. T07 – Pararrayos.

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/02/t07-pararrayos/>. Consulta: 30 de julio de 2020.

5.3.2. Diseño de pararrayos

Para el edificio se tienen los siguientes datos:

- Paso 1: verificar la necesidad de pararrayos: no se trata de un edificio donde se manipulen sustancias explosivas, radioactivas ni toxicas, ni su altura es superior a 43 m. entonces únicamente comprobamos si cumple o no la condición: $N_e > N_a$.

Calculamos en primer lugar N_e y tenemos que:

$$N_a = 69 \text{ descargas/km}^2/\text{año}.$$

A_e : para el edificio Flor del Café son: altura 5 m más 3 m de la caseta propuesta, hacen una de $H = 8$ metros.

$$A_e = 9\pi (8)^2 = 1\,809,56 \text{ m}^2$$

Para el edificio Flor del Café donde la estructura está situada dentro de un espacio, o bien estructuras o árboles de la misma altura o más. Se tiene un parámetro de $C_1 = 0,5$.

La frecuencia anual de impactos del N_e , para el edificio Flor del Café con los valores de N_a , A_e y C_1 encontrados previamente es:

$$N_e = N_a * A_e * C_1 * 10^{-6} \left(\text{No.} \frac{\text{impactos}}{\text{año}} \right)$$

$$N_e = 69 * 1809,56 * 0,5 * 10^{-6} = 0,062 \text{ impactos /año}$$

En segundo lugar, calculamos N_a teniendo en cuenta:

$C_2 = 1$: estructura común y techo metal

$C_3 = 3$: de valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo.
*Especialmente por el estado abandonado en que se encuentran las instalaciones.

$C_4 = 1$: normalmente ocupada.

$C_5 = 5$: necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno.

El valor de la frecuencia aceptada de rayos sobre la estructura es:

$$N_a = \left(\frac{5,5}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} \right) * 10^{-3}$$

$$N_a = \left(\frac{5,5 * 10^{-3}}{1 * 3 * 1 * 5} \right) = 3,667 * 10^{-4}$$

comprobando la condición $N_e > N_a$.

Si $N_e < N_a$, no es necesario un sistema de protección.

Si $N_e > N_a$, se debe proveer un sistema de protección.

Resultando que $0,062 > 0,00036$, con este resultado se puede concluir que sí es necesario instalar un pararrayos en nuestro edificio.

- Paso 2: verificar el nivel de protección para el pararrayos a instalar y la eficiencia primero se calcula la eficiencia requerida:

$$E = 1 - \left(\frac{N_a}{N_e} \right)$$
$$E = 1 - \left(\frac{3,667 * 10^{-4}}{0,062} \right)$$

La eficiencia requerida E es 0,99, se necesita un nivel de protección I por lo que ésta es la protección que debe tener el pararrayos

Tabla XLVI. Niveles de protección de pararrayos según IEC 62305

| Nivel de protección | Corriente I_{MIN} (kA) | Corriente I_{MAX} (kA) | Radio de protección (m) | Tamaño de la malla | Eficiencia de la protección |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| I | 3 | 200 | 20 | 5x5 | 0,98 |
| II | 5 | 150 | 30 | 10x10 | 0,95 |
| III | 10 | 100 | 45 | 15x15 | 0,90 |
| IV | 16 | 100 | 60 | 20x20 | 0,80 |

Fuente: LSP. *BS EN IEC 62305 Norma de protección contra rayos*. <https://www.lsp-international.com/es/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>. Consulta: 2 de agosto de 2020.

5.4. Sistemas de puesta a tierra

A continuación, en los siguientes incisos se describe los sistemas de puesta a tierra.

5.4.1. La tierra y la resistividad

La resistividad del suelo es un factor muy importante por lo que es bastante importante conocer un terreno para poder realizar cálculos, luego realizar el diseño del sistema de puestas a tierra. La resistividad se define como la resistencia que ofrece un cubo de terreno de un metro por lado al paso de la corriente eléctrica. Están expresadas en ohm-m.

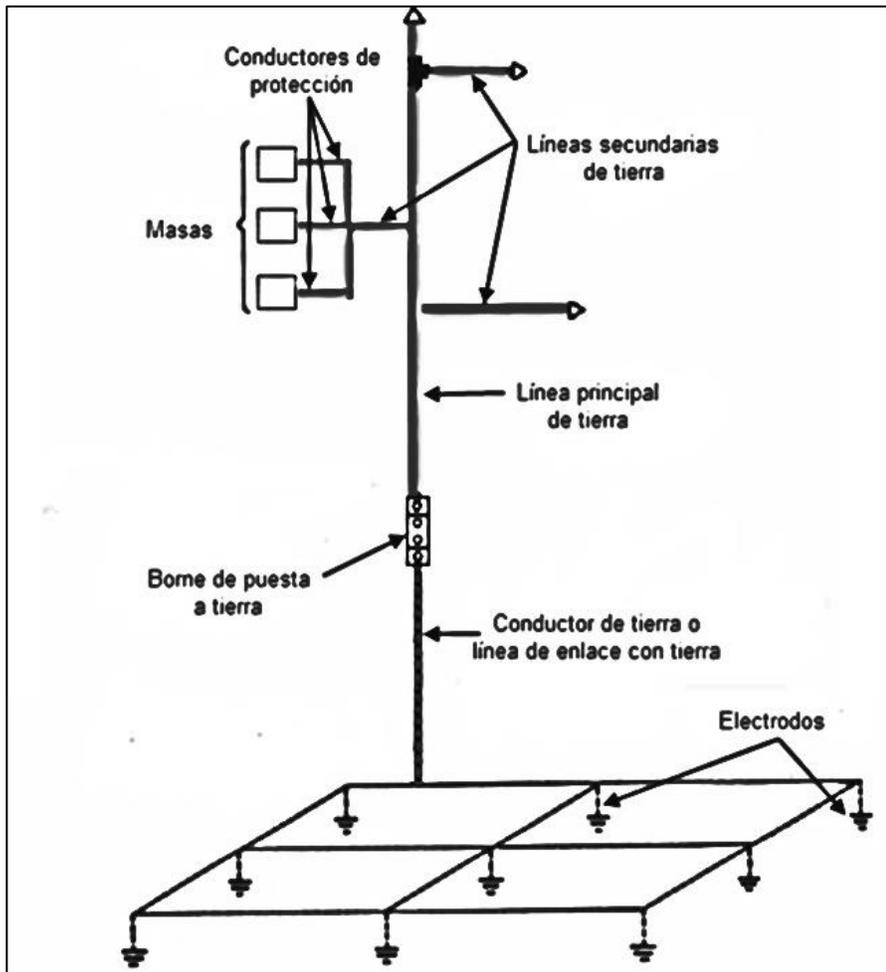
5.4.1.1. Medición de la resistividad del suelo

Se mide especialmente con el fin de localizar los puntos óptimos para realizar la instalación adecuada de la red de tierras de un sistema eléctrico. Es importante mencionar que esta medición no es un requisito para realizar la instalación de un sistema de tierras, pero si es aconsejable para encontrar el área de más baja resistividad.

Algunos de los métodos más utilizados para realizar la medición de la resistividad del suelo son:

- Método de Wenner o de los cuatro puntos
- Método de Schlumberger-Palmer

Figura 57. Esquema de puestas a tierra de un edificio



Fuente: BIRT LH. IEI05 - Montaje de las puestas a tierra.

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/IEI05_CONT_R43_pic019.jpg. Consulta: 5 de junio de 2020.

5.4.2. Diseño del sistema de puestas a tierra del edificio

Según estándares internacionales el valor de la resistencia a tierra no debe encontrarse entre un valor de 5 y 10 ohm. En las instalaciones en donde se presenten corrientes de fallas a tierra muy grandes, la resistencia debe ser menor.

Tabla XLVII. **Valores de puesta a tierra según IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC**

| APLICACIÓN | VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA |
|--|---|
| Estructuras de líneas de transmisión o torrecillas metálicas de distribución con cable de guarda | 20 Ω |
| Subestaciones de alta y extra alta tensión. | 1 Ω |
| Subestaciones de media tensión. | 10 Ω |
| Protección contra rayos. | 10 Ω |
| Neutro de acometida en baja tensión. | 25 Ω |

Fuente: GRUPO EPM. *Norma técnica. Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica RA6-010*. p. 3.

La tabla anterior establece, que para que un sistema de tierras sea seguro, el valor de la resistencia a tierra no debe ser mayor de 25 ohm en el caso de instalaciones de edificios. Para el edificio Flor del Café se determinó que la resistencia de tierra es de 2,15 ohm, con una resistividad del terreno de 35,02 ohm*metro. Este valor se encuentra dentro de lo establecido por la tabla XLVII

se puede concluir que no es necesario realizar el cálculo ni redimensionamiento del sistema de tierras actual.

Con base en las normas de EEGSA para acometidas eléctricas se establece que el neutro de la instalación debe estar conectado sólidamente a tierra, mediante un conductor; con el calibre no menor que No. 8 AWG cobre; los electrodos de tierra deben contar con una longitud mínima de 2,5 metros y 5/8" de diámetro o bien varillas de acero galvanizado de 6 pies de largo y diámetro de 5/8". Actualmente el edificio cuenta con estos requerimientos.

6. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Propuesta para la adecuación de paneles solares fotovoltaicos en el edificio Flor del Café

A continuación, se presenta la propuesta para la adecuación de paneles solares fotovoltaicos en el edificio Flor del Café

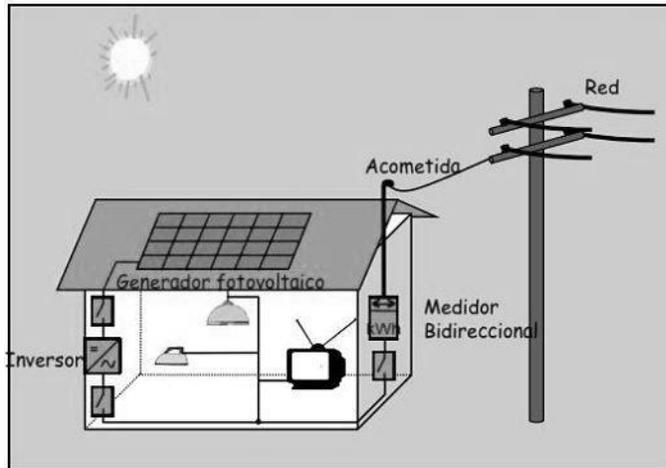
6.1.1. Sistema solar fotovoltaico

Según el tipo de instalación que se vaya a realizar se puede clasificar entre instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica o instalación fotovoltaica aislada de la red.

6.1.2. Sistema solar conectado a la red

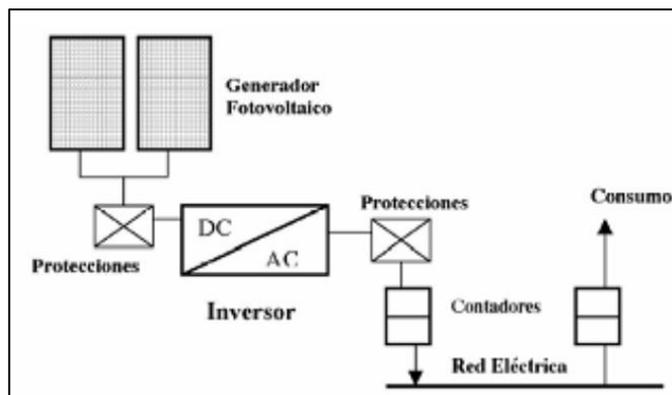
Este tipo de instalación permite aprovechar la energía de sol durante las horas del día, para un consumo instantáneo de la energía. El usuario consume dicha energía para reducir el consumo de la red, este sistema depende de la presencia de una red eléctrica y no hay acumulación de energía en baterías. Ya en las horas de la noche, el usuario toma la energía de la red pública convencional. Este sistema consta de: paneles solares fotovoltaicos, inversores y equipo de medición y monitoreo. En el proyecto se pretende dejar las bases para realizar una instalación de este tipo.

Figura 58. **Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica**



Fuente: HERNÁNDEZ RUEDA, Nicolás. Sistema Fotovoltaico conectado a una red eléctrica. https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Sistema-Fotovoltaico-conectado-a-una-red-electrica_fig1_305959084. Consulta: 10 de agosto de 2020.

Figura 59. **Diagrama unifilar sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica**



Fuente: HERNÁNDEZ RUEDA, Nicolás. Sistema Fotovoltaico conectado a una red eléctrica. https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Sistema-Fotovoltaico-conectado-a-una-red-electrica_fig1_305959084. Consulta: 10 de agosto de 2020.

6.1.3. Sistema solar aislado de la red o desconectado

Este tipo de instalación permite aprovechar la energía del sol durante las horas del día y de la noche. Este sistema no depende de la red convencional, y es ideal para usuarios que estén alejados de la red, zonas rurales o aisladas, y alumbrado público. En este caso los paneles solares generan energía para los consumos del día, y también para cargar las baterías que almacenarán la energía que se utilizará en la noche o en los periodos de poca radiación solar. Este sistema consta de: paneles solares fotovoltaicos, inversores de corriente, paneles, banco de baterías, controladores de carga entre otros.

6.1.4. Instalación de paneles solares en Guatemala

Un sistema de paneles solares en Guatemala está diseñado para ser instalado en un lugar donde ya existe suministro eléctrico convencional, la instalación solar fotovoltaica se encargará de producir energía eléctrica y en caso de que esta no sea utilizada esta es devuelta a través del contador de electricidad sistema bidireccional. Si el sistema de paneles solares produce electricidad únicamente durante el día y si en ese momento no hay consumo, el excedente es devuelto a la red de distribución, generando un crédito.

Para la instalación del sistema de paneles solares el cliente debe realizar un trámite con la empresa que le proporciona el servicio de energía eléctrica para cambiar de régimen de consumidor a auto productor, ya que el contador del régimen de auto productor contabiliza la carga que se consume, y la carga que se devuelve a la red eléctrica. La factura mensual de electricidad será por la diferencia de consumos y si el cliente consume más de lo que produce, pagara el valor de la parte consumida, el transporte de la carga que devolvió a la red de distribución y algunos otros cargos fijos que varían dependiendo del proveedor.

Cada cliente debe consultar con el distribuidor del servicio, cuáles son las reglas de cargos y precios validos en el momento, que pueden variar en cada caso.

Si el contador no se cambia por uno de auto productor, la electricidad que se devuelva a la red eléctrica el contador normal la tomara también como un consumo, y la cuenta de electricidad se incrementara en vez de reducirse, por lo que no tiene sentido instalar los paneles solares sin hacer cambio de contador.

Para cambio de régimen a auto productor, La EEGSA requiere que la acometida sea de 220V, por lo que, si la vivienda tiene únicamente acometida de 110V, se debe realizar el trámite de cambio de acometida. Esto aplica también con DEORSA/DEOCSA. Para el resto de las distribuidoras, las reglas pueden ser diferentes.

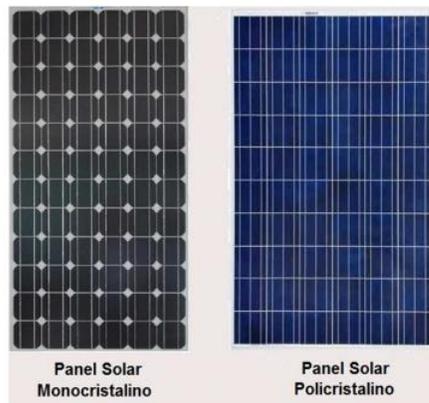
La normativa guatemalteca establece a través de los lineamientos de la Política Energética 2013-2027; del Ministerio de Energía y Minas promueve la inversión en el sector energético en proyectos de energía renovable, con lo cual no solo se está diversificando la matriz de generación eléctrica, sino que además se estará estabilizando los precios de la energía eléctrica a mediano y largo plazo. De esa cuenta se establecen la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable y la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía NTGDR.

6.1.5. Componentes de los sistemas solares fotovoltaicos

Panel solar: son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformar la energía por el efecto fotovoltaico. Los materiales más utilizados para la construcción de paneles solares son silicio monocristalino y silicio policristalino. Los paneles producen corriente directa. Por

lo tanto, no puede conectarse directamente a la red eléctrica de la casa. Tiene que utilizarse un inversor que convierte la corriente directa en alterna.

Figura 60. **Paneles solares fotovoltaicos monocristalino y policristalino**



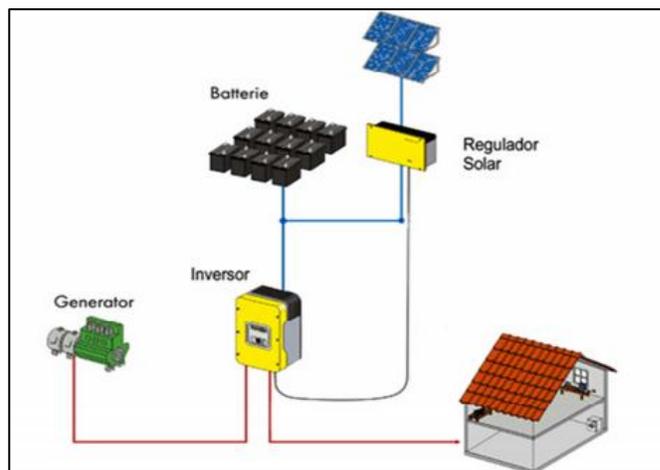
Fuente: Isofoton. *Our Top 10 Recommendations for Solar Panels.* <https://www.isofoton.com/>.
Consulta: 3 de agosto de 2020.

- Regulador de carga: es el dispositivo encargado de regular la corriente que absorbe la batería, esto solo aplica para un sistema aislado, con el fin que en ningún momento el sistema pueda sufrir una sobrecarga, otra función no menos importante es evitar que se deje de aprovechar la energía captada por los paneles. Para ello es sistema debe diseñarse teniendo en cuenta las cargas presentes en el edificio, con ello se garantiza una instalación óptima, rentable y eficiente.
- Batería: entre las funciones que tienen las baterías en un sistema solar fotovoltaico se pueden mencionar; acumular la energía producida durante la mayor parte del día para ser utilizadas en la noche y durante periodos

en los que las condiciones climáticas no sean las favorables, para tener una producción nominal. Otra importante función de las baterías es mantener un nivel de tensión estable y constante en el sistema.

- Inversor: es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red: 220V de valor eficaz de tensión y una frecuencia de 60 Hz.

Figura 61. **Unifilar sistema solar fotovoltaico conectado a la red con sus componentes**



Fuente: Isofoton. *Our Top 10 Recommendations for Solar Panels*. <https://www.isofoton.com/>.

Consulta: 3 de agosto de 2020.

Cableado: se compone por todos los conductores eléctricos de la instalación, es importante dimensionar correctamente los mismos esto con el fin de evitar pérdidas de energía en el sistema ya sea por calentamiento o por caída de tensión.

Protecciones eléctricas: la función de estos elementos es la de reaccionar de la forma más adecuada ante una falla por variaciones de tensión, corriente o frecuencia, inversión del flujo de protección, sobrecalentamiento, entre otros. Entre los principales elementos de protección que cuenta un sistema solar fotovoltaico se encuentran; los fusibles o interruptores automáticos, ya sea magnéticos o térmicos.

6.1.6. Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red

El proyecto consistirá en la instalación de un sistema solar fotovoltaico a la red eléctrica convencional, en el edificio Flor del Café Ubicado en la zona 1 de la Ciudad de Guatemala. La instalación se podría realizar en una parte de la azotea del edificio, tal como se aprecia en la figura 62.

6.1.6.1. Consideraciones generales

- Ubicación geográfica: no solo se proporciona la dirección de catastro según la municipal de la Ciudad de Guatemala, sino que también se proporciona la latitud y longitud del edificio en decimales junto con la inclinación de este. Puesto que estas últimas serán requeridas por el software PVsyst V7.2 para realizar el cálculo posterior de los elementos de la instalación.

Tabla XLVIII. **Ubicación del edificio en coordenadas**

| | |
|--------------------|---|
| Ubicación | 12 avenida 19-01, Zona 1, Ciudad de Guatemala |
| Coordenadas | 14.6141217, -90.516699,14z |
| Inclinación | 13° |
| Voltaje | 120 V |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

6.1.6.2. Área disponible

Para el análisis y cálculo, se ha considerado un área aproximada de 60m², dicha área corresponde al extremo norte, cuadro celeste en el mapa de la figura 62, del edificio, las dimensiones son 4,5x13,2 tal y como se puede apreciar en la toma satelital es en este lugar en donde no se cuenta con árboles, rótulos, o postes que causen sombras sobre los paneles fotovoltaicos, tampoco hay otros edificios que pueden interferir con la producción. La superficie del techo es plana horizontal, correspondiente a la única planta con que cuenta el edificio.

Figura 62. Área para la instalación fotovoltaica en el edificio



Fuente: Google Maps. *Ubicación.* <https://goo.gl/maps/thNGEYQht6wr5vuR7>. Consulta: diciembre de 2019.

6.1.6.3. Mapas de recursos solares de Guatemala

Para realizar la instalación solar es necesario considerar factores como la radiación solar, que depende de la latitud del sitio, mientras más cerca del ecuador, la luz incidirá de forma más perpendicular a la superficie y con una intensidad más alta, también varía con la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas.

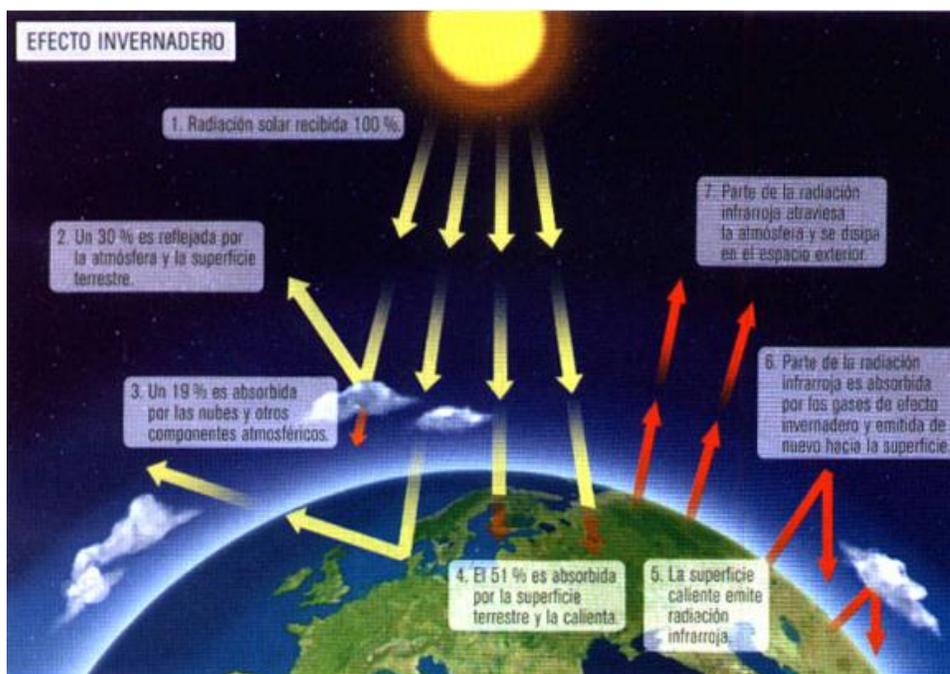
La magnitud que describe la intensidad de la radiación solar es llamada radiancia o irradiancia y es medida en vatios por metro cuadrado, W/m^2 . Otra forma de cuantificar el recurso solar es en forma de horas sol equivalentes, o

simplemente horas-sol. La radiación global horizontal, RGH, es la suma de los componentes directo y difuso de la energía solar que incide en una superficie plana sobre la tierra. El ángulo de inclinación es de cero grados, por lo que la orientación es irrelevante.

Radiación solar difusa: es la radiación que ha sido modificada por factores como; densidad atmosférica, partículas u objetos con los que chocan la luz, reemisiones de cuerpos entre otros.

Radiación solar reflejada: es la radiación que se refleja en la superficie de la tierra.

Figura 63. Radiación solar sobre la tierra



Fuente: incyt. *Mapas de recurso solar en Guatemala*. <https://incyt.url.edu.gt/?p=11609>.

Consulta: 15 de agosto de 2020.

En Guatemala los mapas solares existentes se encuentran basados principalmente en modelos y datos proporcionados por satélites y no en mediciones directas, pues se carece de estaciones meteorológicas suficientes como para construir un mapa solar detallado. Entre los mapas más importantes encontramos. Consultar apéndices 7, 8 y 9.

A continuación, se muestra el promedio mensual de radiación solar diaria para un año.

Tabla XLIX. **Radiación solar diaria**

| | Ene | Feb | Mar | Abl | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Días mes | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| Declinación | -21.27° | -13.62° | -2.02° | 9.78° | 19.26° | 23.39° | 21.18° | 13.12° | 1.81° | -10.33° | -19.6° | -23.4° |
| N° día/año | 15 | 45 | 76 | 106 | 137 | 168 | 198 | 229 | 259 | 290 | 321 | 351 |
| Elevación solar | 54.1° | 61.75° | 73.35° | 85.15° | 94.63° | 98.76° | 96.55° | 88.49° | 77.19° | 65.04° | 55.77° | 51.97° |
| Inclinación optima | 35.9° | 28.25° | 16.65° | 4.85° | 4.63° | 8.76° | 6.55° | 1.51° | 12.81° | 24.96° | 34.23° | 38.03° |
| rad_glo_hor | 4.26 | 5.01 | 5.71 | 6.02 | 5.53 | 5.12 | 5.22 | 5.29 | 4.84 | 4.39 | 4.17 | 4.02 |
| rad_glo_op | 5.13 | 5.61 | 5.95 | 6.05 | 5.56 | 5.19 | 5.26 | 5.29 | 4.97 | 4.8 | 4.93 | 4.96 |
| FI | 0.94 | 0.97 | 1 | 0.99 | 0.99 | 1 | 1 | 0.98 | 1 | 0.98 | 0.95 | 0.92 |
| HSP/día | 4.82 | 5.45 | 5.95 | 5.99 | 5.5 | 5.19 | 5.26 | 5.19 | 4.97 | 4.7 | 4.69 | 4.56 |
| HSP/mes | 149.42 | 152.6 | 184.45 | 179.7 | 170.5 | 155.7 | 163.06 | 160.89 | 149.1 | 145.7 | 140.7 | 141.36 |
| Temp día max | 22.84° | 24.99° | 27.24° | 28.31° | 27.35° | 26.08° | 25.82° | 26.02° | 25.86° | 24.65° | 23.68° | 22.68° |
| Consu/HSP día | 4783.7 | 4230.72 | 3875.2 | 3849.32 | 4192.26 | 4442.66 | 4383.54 | 4442.66 | 4639.32 | 4905.84 | 4916.3 | 5056.45 |

Fuente: Calculador Solar. *Radiación solar diaria*. <http://calculationsolar.com/>. Consulta: 14 de junio de 2020.

6.1.7. Cálculo de los componentes de la instalación

Para el cálculo del campo fotovoltaico, se realizó con apoyo del software de simulación PVsyst 7,2, en donde se toman en cuenta parámetros tales como las temperaturas medias mensuales, la inclinación y orientación del edificio seleccionados.

Tabla L. **Datos principales de la instalación**

| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Conectado a la red | | |
|---|------------------------|---------------------------|------------|----------------|
| Orientación Campos FV | inclinación | 15° | acimut | 0° |
| Módulos FV | Modelo | LX-240P/156-48+ | Pnom | 240 Wp |
| Generador FV | N° de módulos | 9 | Pnom total | 2160 Wp |
| Inversor | Modelo | PVMate 2900 U | Pnom | 2900 W ac |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | |

Fuente: elaboración propia, empleando PVsyst v7,2.

6.1.7.1. **Cálculo de los módulos fotovoltaicos**

La selección de módulos se realizó con base en: la característica del edificio, las horas solar pico, y temperaturas promedio mensuales del lugar, la capacidad de cada panel solar y el área disponible para instalarlos.

Para este caso, el módulo seleccionado presenta las características presentadas en la tabla L. es importante mencionar que son necesarios 9 módulos en serie y 1 cadena en paralelo. Para obtener un voltaje de 212 V y una corriente aproximada de 9,1 A

Tabla LI. **Características técnicas de los módulos fotovoltaicos**

| | | | | |
|---|---------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | LX-240P/156-48+ | |
| Original PVsyst database | | Fabricante | Luxor | |
| Número de módulos FV | | En serie | 9 módulos | En paralelo 1 cadenas |
| N° total de módulos FV | | N° módulos | 9 | Pnom unitaria 240 Wp |
| Potencia global generador | | Nominal (STC) | 2160 Wp | En cond. funciona. 1937 Wp (50°C) |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | | V mpp | 212 V | I mpp 9.1 A |
| Superficie total | | Superficie módulos | 11.8 m² | Superf. célula 10.5 m ² |

Fuente: elaboración propia, empleando PVsyst v7,2.

6.1.7.2. Cálculo del inversor/cargador

El inversor tendrá la función de determinar en qué momento la potencia generada por los paneles no se la suficiente para suministrar la potencia demandada por el sistema, y desconectar/conectar el sistema fotovoltaico de la red de distribución. Para el inversor se han utilizado los siguientes datos:

Tabla LII. Características técnicas del inversor

| | | | | |
|--------------------------|-------------------|----------------------|----------------|-----------|
| Inversor | Modelo | PVMate 2900 U | | |
| Original PVsyst database | Fabricante | Motech | | |
| Características | Tensión Funciona. | 200-550 V | Pnom unitaria | 2.90 kWac |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total | 2.9 kWac |
| | | | Relación Pnom | 0.74 |

Fuente: elaboración propia, empleando PVsyst v7,2.

6.1.7.3. Presupuesto

El valor total del proyecto puede no ser una cantidad exacta para su ejecución, esto debido a diferentes factores que se tengan en cuenta al momento de realizar la instalación en el edificio. Se pueden mencionar el tipo de cambio, puesto que algunos materiales se han cotizado en una moneda diferente al quetzal guatemalteco o el alza en productos debido a la inflación.

A continuación, se presenta el costo de inversión inicial que representa la instalación de paneles en el edificio Flor del Café.

Tabla LIII. **Costo total aproximado del proyecto**

| Componentes sistema fotovoltaico | Cantidad | Precio unitario costo GT, Q | Costo total GT, Q |
|----------------------------------|----------|-----------------------------|-------------------|
| Módulos solares | 9 | 1 500,00 | 13 500,00 |
| Inversor | 1 | 20 000,00 | 20 000,00 |
| Otros materiales eléctricos | 1 | 100 000,00 | 60 000,00 |
| Instalación | 1 | 15 400,00 | 15 400,00 |
| Total | 12 | 96 900,00 | 108 900,00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

6.1.7.4. Evaluación del proyecto

Con los componentes y elementos seleccionados se tiene la siguiente comparativa de consumos y generación durante el año 2018 según la estimación.

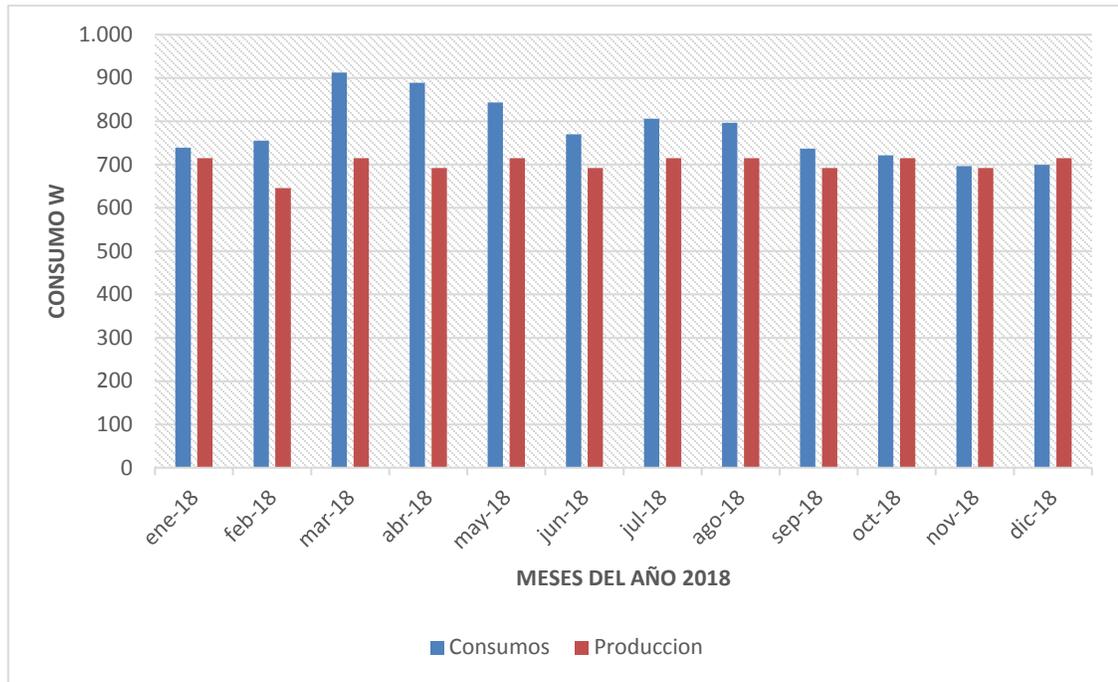
Tabla LIV. **Comparativa de consumos y producción**

| | Ene | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Consumo | 715 | 646 | 715 | 692 | 715 | 692 | 715 | 715 | 692 | 715 | 692 | 715 |
| Producción | 739 | 755 | 912 | 889 | 843 | 770 | 806 | 796 | 737 | 721 | 696 | 699 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

- Consumo total al año: 8 419 kW
- Producción total al año: 9 363 kW
- Total, kg/año CO₂ evitados: 5 075

Figura 64. Producciones y consumos año 2018



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Realizando un análisis económico del costo total de la implementación de esta mejora en el edificio MAGA Flor del Café, como lo muestra la tabla LIII, se requiere una inversión inicial de Q 148 900,00 para una generación promedio anual de 9 363 kW, este sistema ocupara un aproximado de 12 m², estos paneles se pueden instalar en el techo del edificio. el proyecto puede ser pagado con los ahorros mensuales que se obtengan luego de realizar la implementación y puesta en servicio de los paneles solares.

El sistema de generación fotovoltaico se proyecta para 25 años, es durante este tiempo que un panel genera por encima del 80 % de su potencia nominal. Después de este tiempo es aconsejable realizar el cambio de paneles, de lo contrario se tiene el riesgo de que la instalación este sobredimensionada.

Tabla LV. **Ahorro anual con la implementación de paneles solares**

| | ene.- 18 | feb.- 18 | mar.- 18 | abr.- 18 | may.- 18 | jun.- 18 | jul.- 18 | ago.- 18 | sept.- 18 | oct.- 18 | nov.- 18 | dic.- 18 | Total |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Consumos (Kwh) | 739 | 755 | 912 | 889 | 843 | 770 | 806 | 796 | 737 | 721 | 696 | 699 | 9 363,00 |
| Producción (Kwh) | 715 | 646 | 715 | 692 | 715 | 692 | 715 | 715 | 692 | 715 | 692 | 715 | 8 419,00 |
| Diferencia (Kwh) | 24 | 109 | 197 | 197 | 128 | 78 | 91 | 81 | 45 | 6 | 4 | -16 | 944,00 |
| Ahorro (Q) | 484 | 494 | 597 | 582 | 552 | 504 | 528 | 521 | 482 | 472 | 456 | 458 | 6 129 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

De acuerdo a los cálculos de la tabla LIII, para cubrir la demanda del 25 % del consumo energético del edificio Flor del Café, mediante un sistema fotovoltaico conectado a la red. La instalación puede ser pagada con los ahorros mensuales que supone la implementación y funcionamiento del sistema solar. Con base en los cálculos realizados se obtendrá un ahorro anual de Q 6 129,00 y el proyecto se prevé para una vida útil de 25 años, significa que se tiene un retorno de inversión después de 17 años. Con lo cual se determina que el proyecto es factible.

6.2. Análisis y propuesta de mejoras en iluminación

Los resultados obtenidos de la cuantificación de luminarias y del estudio se muestran a continuación.

Tabla LVI. **Resultados estudio de iluminación**

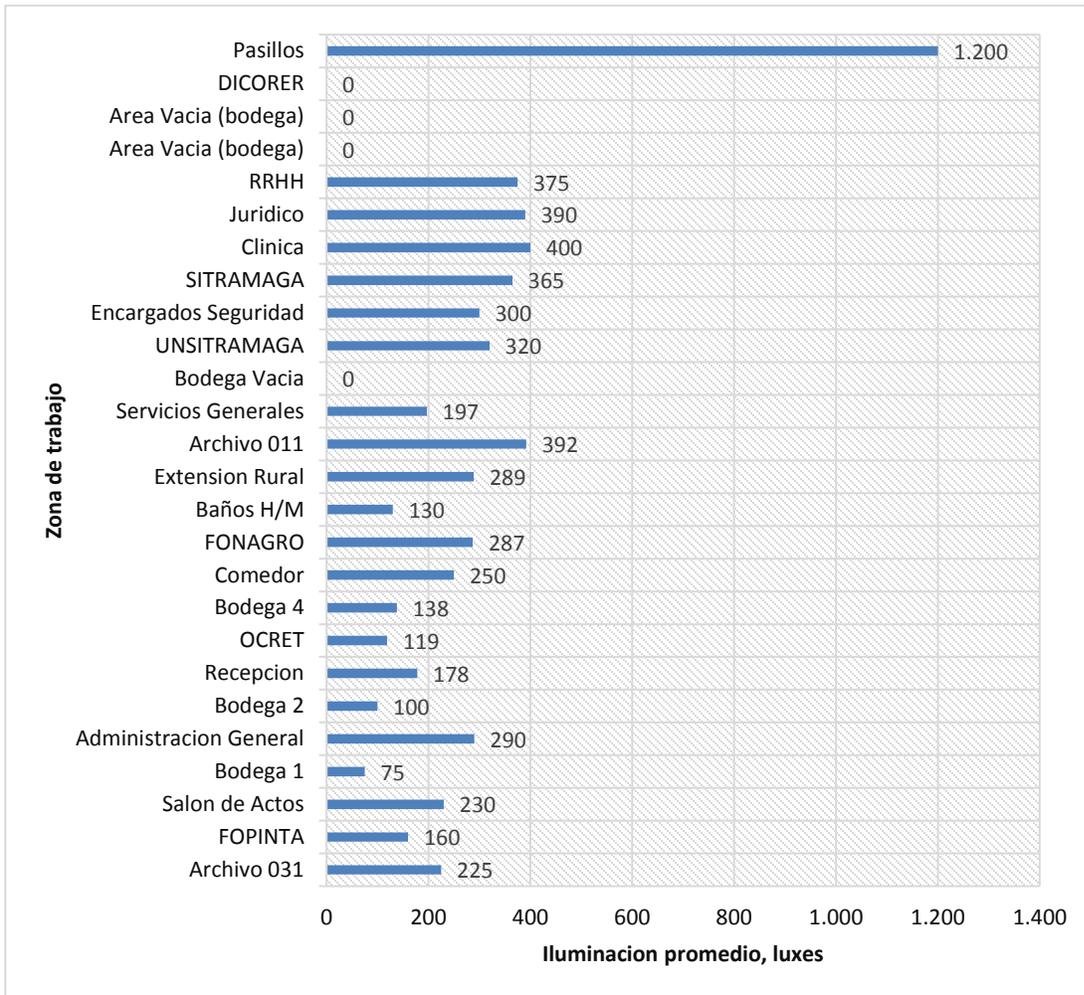
| Total luminarias | Total de lámparas por unidad | Eficiencia | Potencia, kW |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 72 | 176 | 71,41 % | 8,6 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Como se muestra en la gráfica anterior existen áreas de trabajo que no cumplen con el requerimiento mínimo indicado en el acuerdo gubernativo 33-2016, hay otras áreas que cuentan con un aporte de iluminación natural en algunos casos es más el aporte y en otros es menos esto debido al tamaño de las ventanas, suciedad de estas, cortinas, entre otros.

Entre las áreas más afectadas se pueden mencionar las bodegas, antiguas oficinas, muchas de ellas se encuentran abandonas hasta el punto de que no están cableadas para poder instalar como mínimo una lámpara incandescente. Con respecto a las otras áreas están si poseen lámparas, pero en algunos casos son muy pocas para cubrir de manera eficiente el área de trabajo, en general las instalaciones cuentan con ares muy oscuras o poco iluminadas, es importante verificar este tema porque perjudica a los trabajadores de estas instalaciones, en el desarrollo de sus actividades diarias.

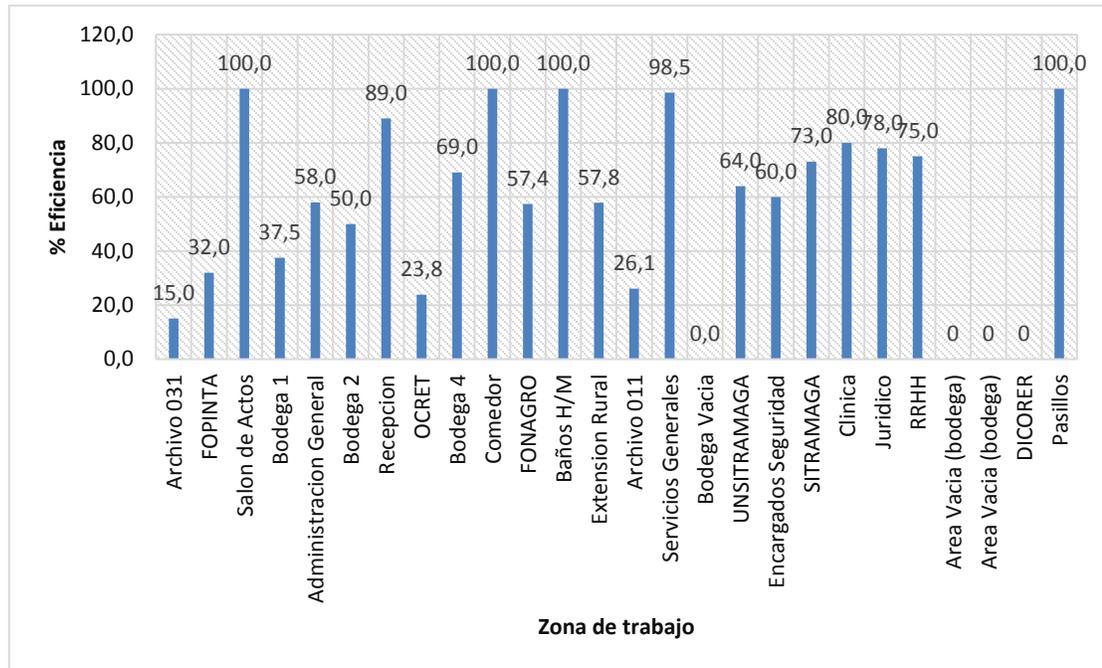
Figura 65. **Valores promedio iluminación por zona de trabajo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

En la siguiente gráfica se observa las zonas con menos eficiencia dentro de las instalaciones del MAGA. Es importante considerar estas zonas y ver cómo se pueden instalar más lámparas en dichas áreas.

Figura 66. Eficiencia en iluminación por zona de trabajo



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Después de analizar los resultados de los niveles de iluminación donde claramente se observa una deficiencia en el sistema de iluminación del edificio estos son algunos consejos que se pueden comentar para que se aprovechen todas las ventajas de los diferentes tipos de bombillas con el fin de gastar lo menos posible y ayudar a conservar el medioambiente. Maximizar la luz natural en los espacios donde se pueda aprovechar este recurso. Programas de limpieza y mantenimiento de los sistemas de iluminación.

6.3. Análisis técnico-económico de las propuestas planteadas

A continuación, se presenta el análisis técnico-económico de las propuestas planteadas.

6.3.1. Consumo eléctrico con tecnología LED

En la actualidad dentro del edificio se tiene un gran número de lámparas fluorescente e incandescentes estas últimas junto con otro porcentaje minoritario de lámparas halógenas que aún son utilizadas en algunas oficinas del edificio son las que constituyen un consumo energético importante, esto se puede reducir sustituyéndolas por tecnología más eficiente y más barata.

Al realizar el cambio de lámparas y luminarias en el sistema de iluminación en las áreas del edificio, MAGA Flor del Café, se puede reducir el consumo.

Tabla LVII. **Comparación lámparas fluorescentes vs lámparas LED**

| | Lámparas actuales | Lámparas propuestas |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| Tipo | Fluorescentes | LED |
| Potencia, W | 40 | 12 |
| Lúmenes, Lm | 1125 | 1350 |
| Lámparas por áreas | 2 | 2 |
| Potencia total | 80 | 24 |
| Radio de trabajo | 2 | 2 |
| Total, luxes | 189 | 225 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Para realizar el cambio de luminarias se requiere una inversión de Q. 11 000,00 para realizar el cambio de 12 luminarias y 45 lámparas entre incandescentes y de mercurio. El ahorro promedio mensual es de Q. 276,12 para un periodo de recuperación de 4 – 5 años y con un tiempo de vida útil de 8 – 10 años.

Tabla LVIII. **Costo por cambio de luminaria**

| Lugar | Tecnología de iluminación | Luminarias | Lámparas | Costo por cambio, Q |
|---------------------|---------------------------|------------|----------|---------------------|
| Oficinas | Mercurio | 3 | 12 | 3 125,00 |
| Bodegas | Incandescentes | 4 | 13 | 2 700,00 |
| Baños | Incandescentes | 3 | 10 | 2 175,00 |
| Garita seguridad | Halógenas | 1 | 5 | 1 500,00 |
| Servicios generales | Fluorescentes | 1 | 5 | 1 500,00 |
| Totales | | 12 | 45 | 11 000,00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

6.3.2. Consumo de energía con las propuestas realizadas

Con base a las mediciones y adquisición de datos obtenidos por medio del analizador de redes FLUKE 430-II, se ha hecho un estudio sobre los consumos de energía eléctrica del MAGA Flor del Café y sus instalaciones, obteniendo como resultado la siguiente información:

Tabla LIX. **Consumo actual de energía eléctrica de enero a diciembre 2019**

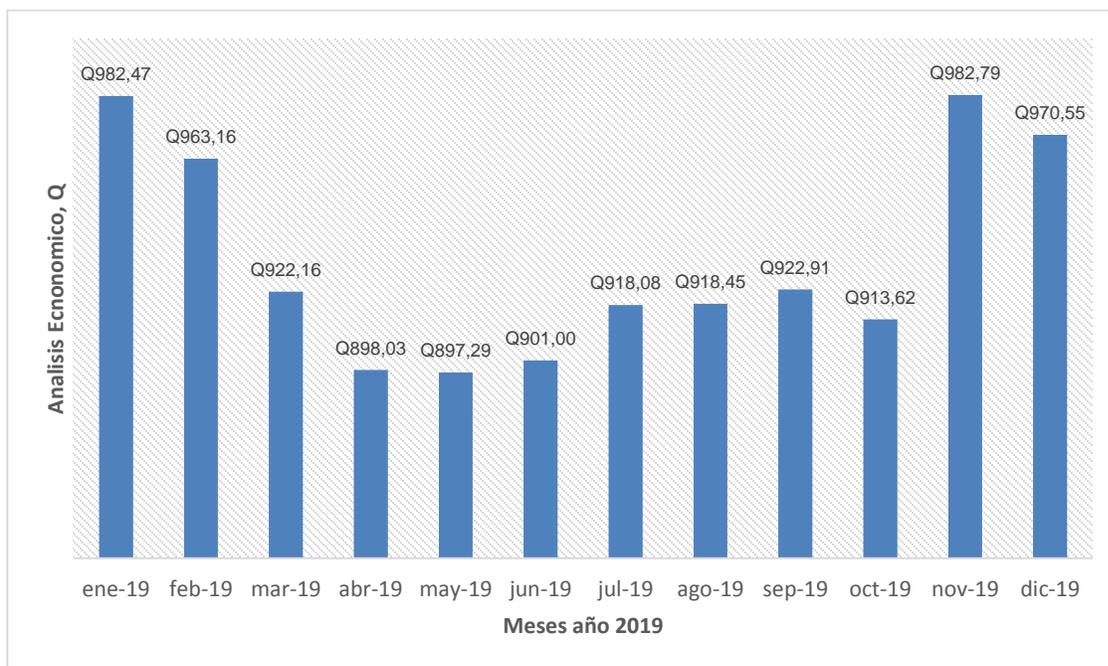
| Mes | Laboral | Descanso | Energía estimada por consumo actual, kWh | Con cambio de iluminación, kWh |
|--------|---------|----------|--|--------------------------------|
| ene-19 | 23 | 8 | 837,69 | 561,57 |
| feb-19 | 20 | 8 | 821,23 | 545,11 |
| mar-19 | 21 | 10 | 786,27 | 510,15 |
| abr-19 | 22 | 8 | 765,69 | 489,57 |
| may-19 | 23 | 8 | 765,06 | 488,94 |
| jun-19 | 20 | 10 | 768,23 | 492,11 |
| jul-19 | 23 | 8 | 782,79 | 506,67 |
| ago-19 | 22 | 9 | 783,10 | 506,98 |
| sep-19 | 21 | 9 | 786,90 | 510,78 |
| oct-19 | 23 | 8 | 778,99 | 502,87 |
| nov-19 | 21 | 9 | 837,96 | 561,84 |
| dic-19 | 22 | 9 | 827,53 | 551,41 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Para proyección de consumos referentes a la energía eléctrica se presenta bajo condiciones donde no ocurra crecimiento en la demanda energía por parte del edificio.

También se tomó en cuenta que la tarifa de cobro por consumo de energía eléctrica en la ciudad capital mantendrá para el presente año un valor promedio de Q 0,726267 por cada kWh consumido, con base en este valor fue posible proyectar el costo estimado de marzo a diciembre del presente año. A continuación, el costo por consumo estimado de energía eléctrica.

Figura 67. **Análisis económico proyectado año 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

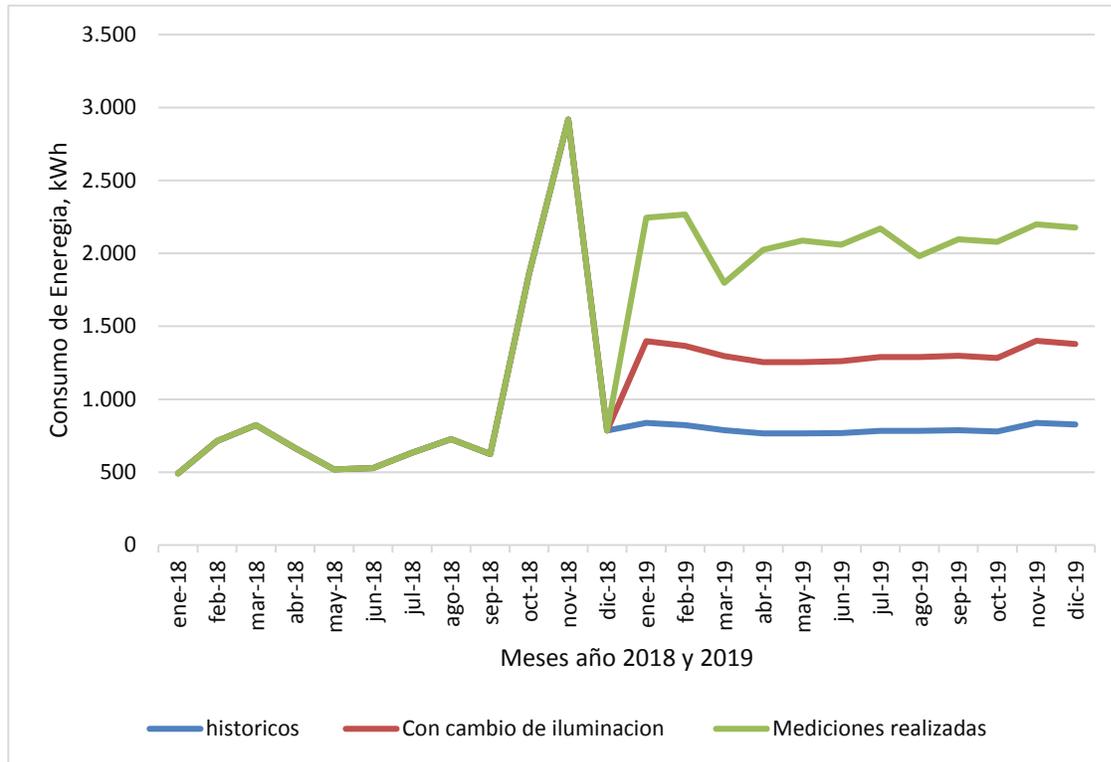
Tabla LX. **Proyección ahorro económico consumo de energía eléctrica mensual año 2019**

| Mes | Energía por consumo actual, kWh | Tarifa, Q | Cobro, Q | Con cambio de iluminación, kWh | Tarifa, Q | Cobro, Q |
|--------|---------------------------------|-----------|----------|--------------------------------|-----------|----------|
| ene-19 | 837,69 | 1,722832 | 1 443,20 | 561,57 | 1,722832 | 967,49 |
| feb-19 | 821,23 | 1,722832 | 1 414,84 | 545,11 | 1,722832 | 939,13 |
| mar-19 | 786,27 | 1,722832 | 1 354,61 | 510,15 | 1,722832 | 878,90 |
| abr-19 | 765,69 | 1,722832 | 1 319,16 | 489,57 | 1,722832 | 843,45 |
| may-19 | 765,06 | 1,722832 | 1 318,07 | 488,94 | 1,722832 | 842,36 |
| jun-19 | 768,23 | 1,722832 | 1 323,52 | 492,11 | 1,722832 | 847,82 |
| jul-19 | 782,79 | 1,722832 | 1 348,61 | 506,67 | 1,722832 | 872,90 |
| ago-19 | 783,10 | 1,722832 | 1 349,16 | 506,98 | 1,722832 | 873,45 |
| sep-19 | 786,90 | 1,722832 | 1 355,70 | 510,78 | 1,722832 | 879,99 |
| oct-19 | 778,99 | 1,722832 | 1 342,07 | 502,87 | 1,722832 | 866,36 |
| nov-19 | 837,96 | 1,722832 | 1 443,67 | 561,84 | 1,722832 | 967,96 |
| dic-19 | 827,53 | 1,722832 | 1 425,69 | 551,41 | 1,722832 | 949,99 |

Fuente: Elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

A continuación, se representa la comparación entre las proyecciones de los Consumos de energía eléctrica para los años 2018 y 2019 en las instalaciones del edificio, se muestra en color azul la proyección del consumo de energía eléctrica con base en los datos históricos obtenidos a través de las facturas eléctricas, en color rojo la proyección del consumo energético para el año 2019 con los cambios propuestos con el estudio de iluminación y en color verde, se muestran las mediciones realizadas en el tablero principal del edificio Flor del Café.

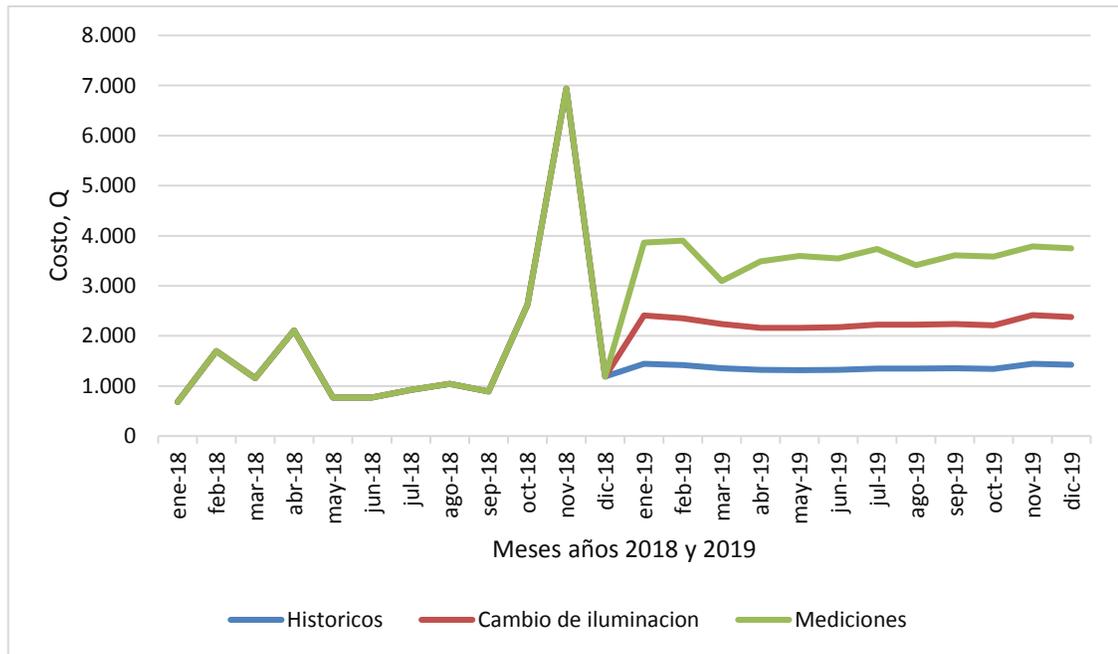
Figura 68. **Proyección consumo de energía eléctrica año 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

A continuación se representa la comparación entre las proyecciones económicas de los consumos de energía eléctrica para los años 2018 y 2019 en las instalaciones del edificio, se muestra en color azul la proyección del consumo de energía eléctrica con base en los datos históricos obtenidos a través de las facturas eléctricas, en color rojo la proyección del consumo energético para el año 2019 con los cambios propuestos con el estudio de iluminación y en color verde, se muestran las mediciones realizadas en el tablero principal del edificio, Flor del Café .

Figura 69. **Proyección costo económico derivado del consumo de energía eléctrica año 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

6.4. Emisiones de CO₂ evitadas

En la siguiente tabla se puede observar que las emisiones totales de los GEI del año 2018 expresadas en CO₂ equivalente fueron de 4,34 toneladas con un consumo de 8 893,10 mientras que con las propuestas anteriormente planteadas se tienen una disminución de 3,01 toneladas correspondientes a un consumo energético menor de 6 178,00.

Tabla LXI. **Comparación de consumos eléctricos del edificio**

| Consumo promedio año 2018, kWh | Consumo promedio con propuestas, kWh |
|---------------------------------------|---|
| 8 893,10 | 6 178 |

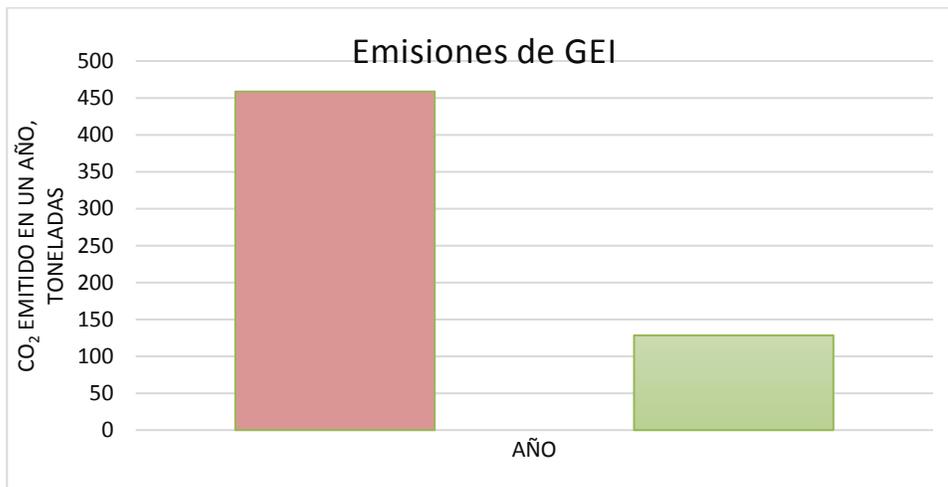
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla LXII. **Emisiones de GEI evitadas en el edificio**

| Emisiones actuales CO₂ | Emisiones con las propuestas CO₂ |
|--|--|
| 4,34 ton | 3,01 ton |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 70. **Emisiones de CO₂ en el edificio**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

CONCLUSIONES

1. Con base en los datos analizados en el presente informe se determinó que el sistema eléctrico y de iluminación del edificio Flor del Café ubicado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala, presenta deficiencias.
2. Con en el análisis termográfico de la sección 3.5 se determinó que todos los tableros eléctricos presentan puntos calientes que a largo plazo se traducen en fallas eléctricas, las temperaturas registradas se sitúan por encima de los recomendados en las normas NETA.
3. Se determinó en la sección 4.2 que el edificio se encuentra fuera del límite establecido por la NTSD con el factor de potencia y fuera del límite según la IEEE 519 con la corriente de distorsión armónica total, afectando la calidad de la energía.
4. Con base en los datos analizados en la sección 5.1 se determinó que es necesario redimensionar el calibre de los conductores, tuberías, protecciones termomagnéticas de cada tablero, y balance de carga por tablero, para garantizar la continuidad del servicio y de las instalaciones eléctricas.
5. Se presenta una propuesta de diseño para la instalación de pararrayos y se analizó el sistema de puestas a tierras, en las secciones 5.3 y 5.4 respectivamente, esto con el fin de proteger el edificio y todo su personal.

6. El análisis económico de la sección 6.1, demostró que la instalación de paneles fotovoltaicos dentro del edificio es viable y rentable.

RECOMENDACIONES

1. Implementar a corto plazo los cambios establecidos al sistema actual dando prioridad a los elementos eléctricos de la instalación y equipos de protección para luego enfocarse en los parámetros referentes a la calidad de la energía y por último realizar la gestión para la instalación de paneles solares.
2. Realizar las correcciones tan pronto sea posible, para mitigar los puntos calientes localizados en los tableros eléctricos. Estas incluyen acciones sencillas que no requieren mayor inversión como; el cambio de tornillos deficientes y reapriete de los existentes. Limpieza de los contactos causados por la corrosión o suciedad de estos, por último, un balance de cargas adecuado para cada tablero
3. Realizar las acciones correctivas inmediatas como la instalación de un banco de capacitores, o la instalación de filtros y de esta manera evitar sanciones económicas por parte de la distribuidora. Por los problemas actuales que presenta con el factor de potencia y con la corriente de distorsión armónica total.
4. Implementar las acciones de la sección 5.1, para mitigar las deficiencias en el edificio Flor del Café, se dan una serie de recomendaciones en para mejorar los sistemas de iluminación, y sistemas eléctricos. Así como algunas recomendaciones de diseño que se pueden incorporar al sistema actual.

5. Priorizar la importancia que conlleva que el edificio esté protegido contra descargas electro atmosféricas, según el análisis de los equipos de protección hecho en las secciones 5.3 y 5.4, mientras haga falta dicho sistema no se puede garantizar la seguridad completa de las instalaciones y de las personas.

6. Promover y concientizar en los empleados los beneficios ambientales y económicos que se obtienen de la generación eléctrica mediante el uso energías renovables, a través de la instalación de paneles fotovoltaicos en el edificio para el autoconsumo.

BIBLIOGRAFÍA

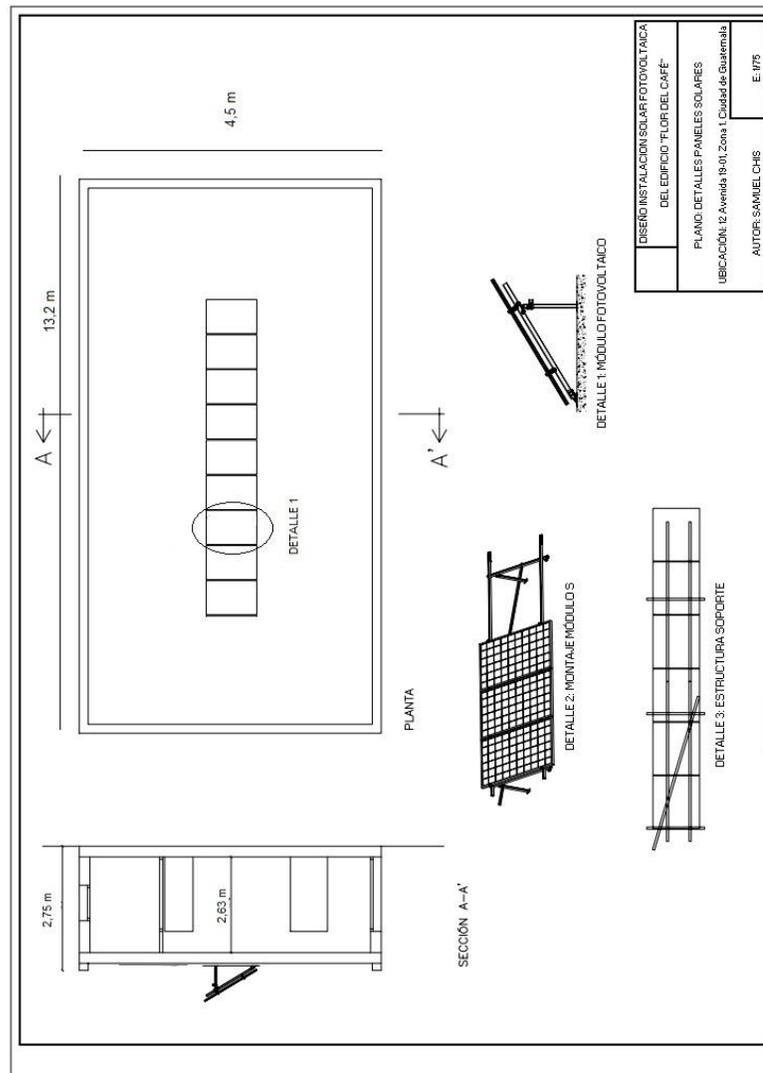
1. BOYLESTAD, Robert. *Introducción al análisis de circuitos*. 10a ed. México: Pearson educación, 2004. 867 p.
2. BRATU SERBAN, Neagu; CAMPERO LITTLEWOOD, Eduardo. *Instalaciones eléctricas: conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Alfaomega, 1994. 227 p.
3. SEYMOUR, Joseph; HORSLEY, Terry. *Los 7 tipos de problemas en el suministro eléctrico*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/236488372/7-Problemas-Elctricos>>. [Consulta: 17 de diciembre de 2019].
4. MOROTE SALMERON, José Luis. *Auditorías energéticas. Definición, ámbito de actuación y normativa*. [en línea]. <<https://ovacen.com/auditorias-energeticas-definicion-ambito-actuacion-normativa/>>. [Consulta: 15 de diciembre de 2019].
5. CRESPIN TIXE, Mayra Jacqueline. *Análisis y diseño del sistema de pararrayos de la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. [en línea]. <<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6637/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-85.pdf>>. [Consulta: 5 de julio de 2020].

6. BIRTIh. *Montaje de las puestas a tierra.* [en línea].
<https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_46_conductores_de equipotencialidad.html>.
[Consulta: 29 febrero 2020].

7. ABREU, Augusto. *Calidad de potencia eléctrica en redes de distribución.*
Venezuela: ENELVEN, 2005. 126 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Plano instalación solar fotovoltaica para el edificio Flor del Café



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Mediciones realizadas en el edificio utilizando los equipos adecuados para cada situación.

Apéndice 2. Tablero y acometida principal



Fuente: edificio Flor del Café.

Apéndice 3. **Equipo analizador de redes eléctricas instalado en tablero principal de distribución**



Fuente: edificio Flor del Café.

ANEXOS

Anexo 1. Área transversal de conductores

| Calibre conductor AWG o MCM | Área transversal | | Calibre conductor AWG o MCM | Área transversal | |
|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-----------------|
| | CM | mm ² | | CM | mm ² |
| 14 | 4110 | 2,1 | 350 | | 177,0 |
| 12 | 6530 | 3,3 | 400 | | 203,0 |
| 10 | 10380 | 5,3 | 450 | | 228,0 |
| 8 | 16510 | 8,4 | 500 | | 253,0 |
| 6 | 26240 | 13,3 | 550 | | 279,0 |
| 4 | 41740 | 21,2 | 600 | | 304,0 |
| 2 | 66360 | 33,6 | 650 | | 329,0 |
| 1/0 | 105600 | 53,5 | 700 | | 355,0 |
| 2/0 | 133100 | 67,4 | 750 | | 380,0 |
| 3/0 | 167800 | 85,0 | 800 | | 405,0 |
| 4/0 | 211600 | 107,2 | 900 | | 456,0 |
| 250 | | 127,0 | 1000 | | 507,0 |
| 300 | | 152,0 | | | |

Fuente: MÉNDEZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. p. 12.

Anexo 2. Capacidad de conducción de conductores

| Calibre AWG o MCM | Capacidad de conducción (amperios) | | Calibre AWG o MCM | Capacidad de conducción (amperios) | |
|-------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------------|--|-------|
| | 60 °C | 75 °C | | 60 °C | 75 °C |
| | TW | THW | | TW | THW |
| 14 | 20 | 20 | 250 | 215 | 255 |
| 12 | 25 | 25 | 300 | 240 | 285 |
| 10 | 30 | 35 | 350 | 260 | 310 |
| 8 | 40 | 50 | 400 | 280 | 335 |
| 6 | 55 | 65 | 500 | 320 | 380 |
| 4 | 70 | 85 | 600 | 355 | 420 |
| 2 | 95 | 115 | 700 | 385 | 460 |
| 1/0 | 125 | 150 | 750 | 400 | 475 |
| 2/0 | 145 | 175 | 800 | 410 | 490 |
| 3/0 | 165 | 200 | 900 | 435 | 520 |
| 4/0 | 195 | 230 | 1000 | 455 | 545 |

Fuente: DODGE, Phelps. *Manual eléctrico*. p. 131.

Anexo 3. Propiedades del material aislante en conductores

| Material aislante | Tipo | Temperatura máxima °C | Cubierta | Utilización |
|--|------|-----------------------|---|-------------------------|
| Hule resist. al calor | RH | 75 | Resistente a la humedad, retardadora de flama | Locales secos |
| Hule resist. al calor | RHH | 90 | | Locales secos y húmedos |
| Hule resist. al calor y humedad | RHW | 75 | | |
| Termoplástico | T | 60 | Ninguna | Locales secos |
| Termoplástico resist. humedad | TW | 60 | | Locales secos y húmedos |
| Termoplástico resist. al calor y humedad | THW | 75 | | |

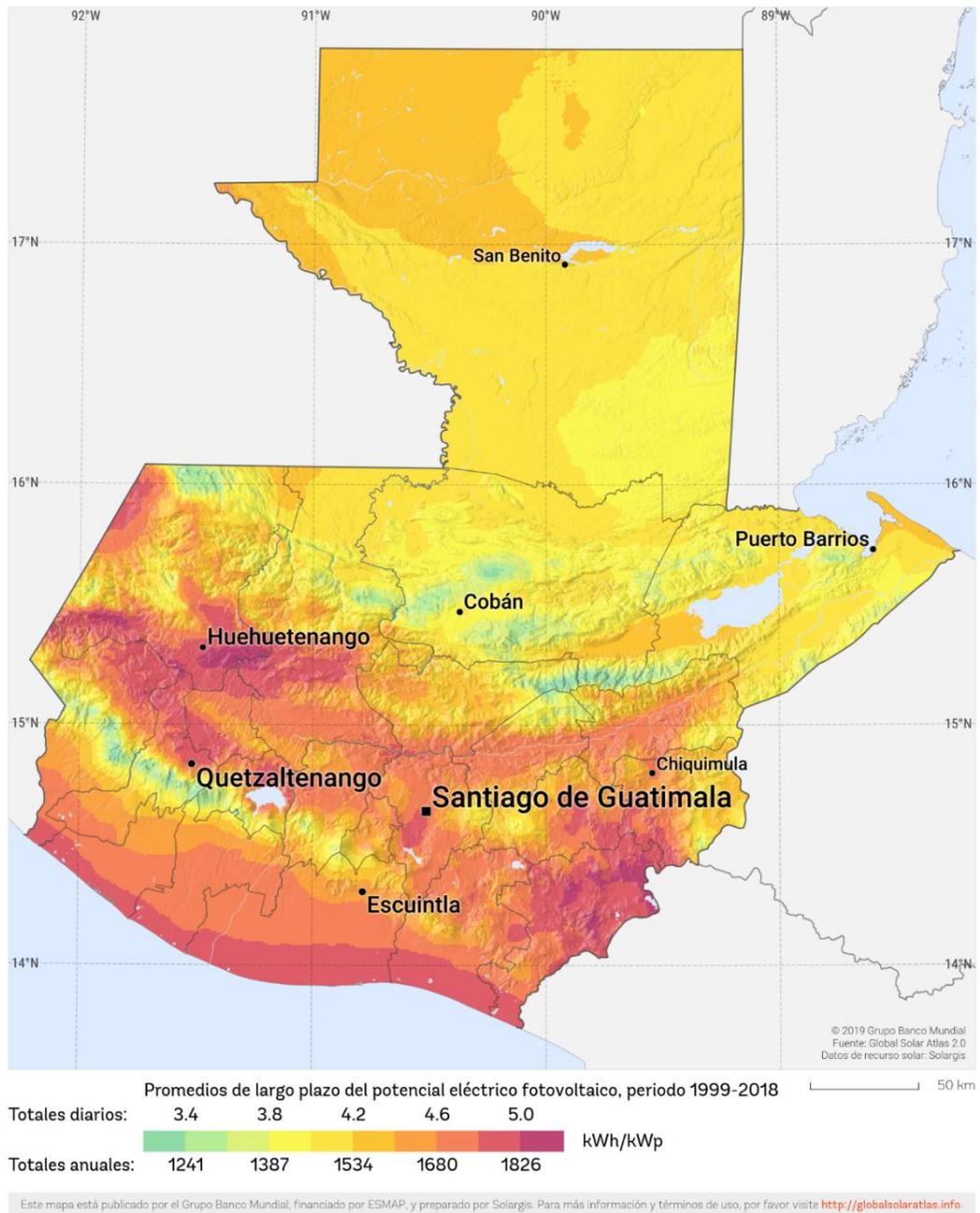
Fuente: MÉNDEZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. p. 13.

Anexo 4. Factores de corrección por temperaturas y cantidad de conductores

| Temperatura ambiente °C | Factor de corrección | | Número de Conductores | Factor de reducción de capacidad de conducción |
|-------------------------|----------------------|------|-----------------------|--|
| | TW | THW | | |
| 21 – 25 | 1.08 | 1.05 | 4 a 6 | 80% |
| 26 – 30 | 1.00 | 1.00 | 7 a 24 | 70% |
| 31 – 35 | 0.91 | 0.94 | 25 a 42 | 60% |
| 36 – 40 | 0.82 | 0.88 | arriba 43 | 50% |
| 41 – 45 | 0.71 | 0.82 | | |
| 46 – 50 | 0.58 | 0.75 | | |
| 51 – 55 | 0.41 | 0.67 | | |
| 56 – 60 | - | 0.58 | | |
| 61 – 70 | - | 0.33 | | |
| 71 – 80 | - | - | | |

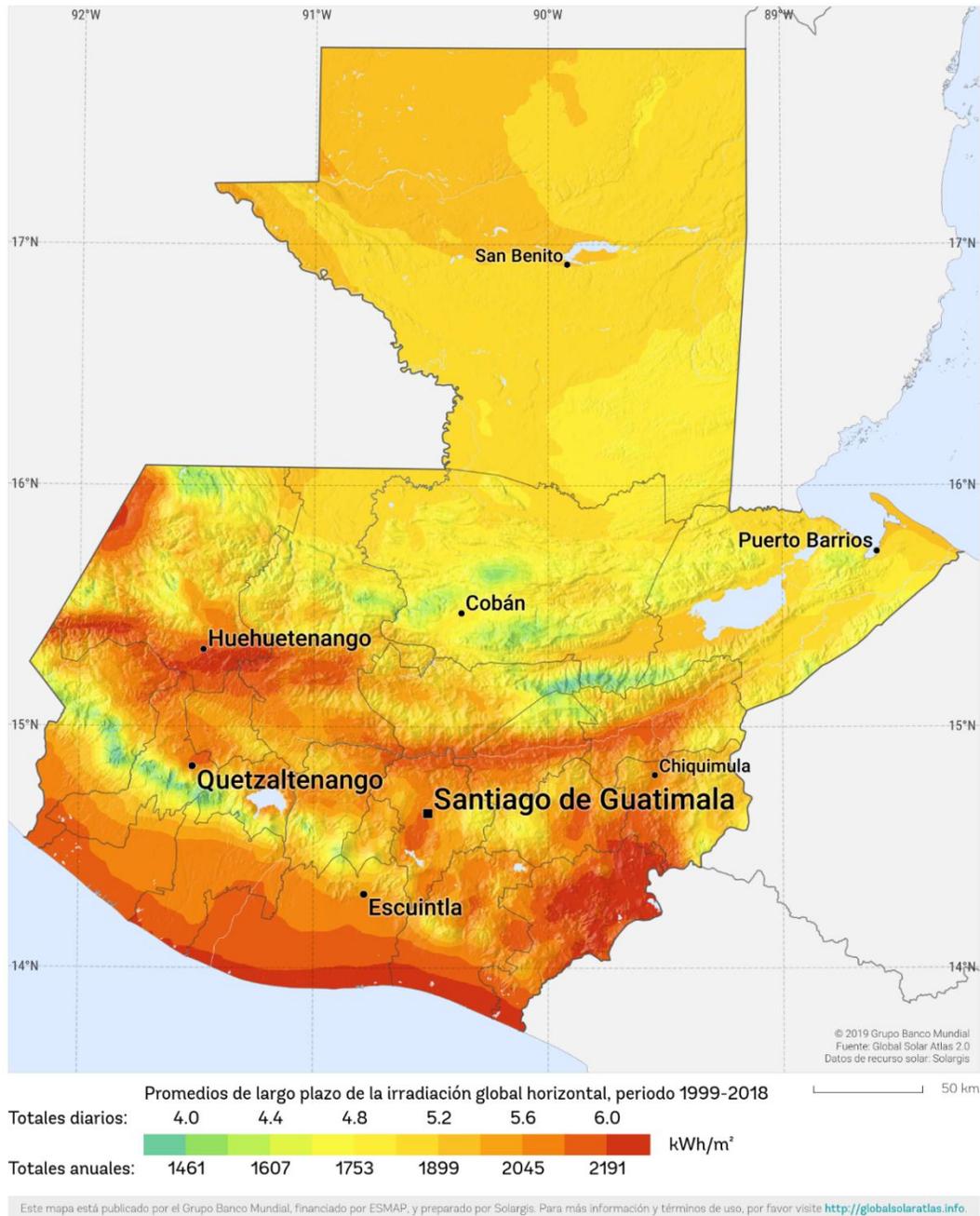
Fuente: MÉNDEZ, Luis Alfonso. *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas*. p. 21.

Anexo 5. Potencial eléctrico fotovoltaico



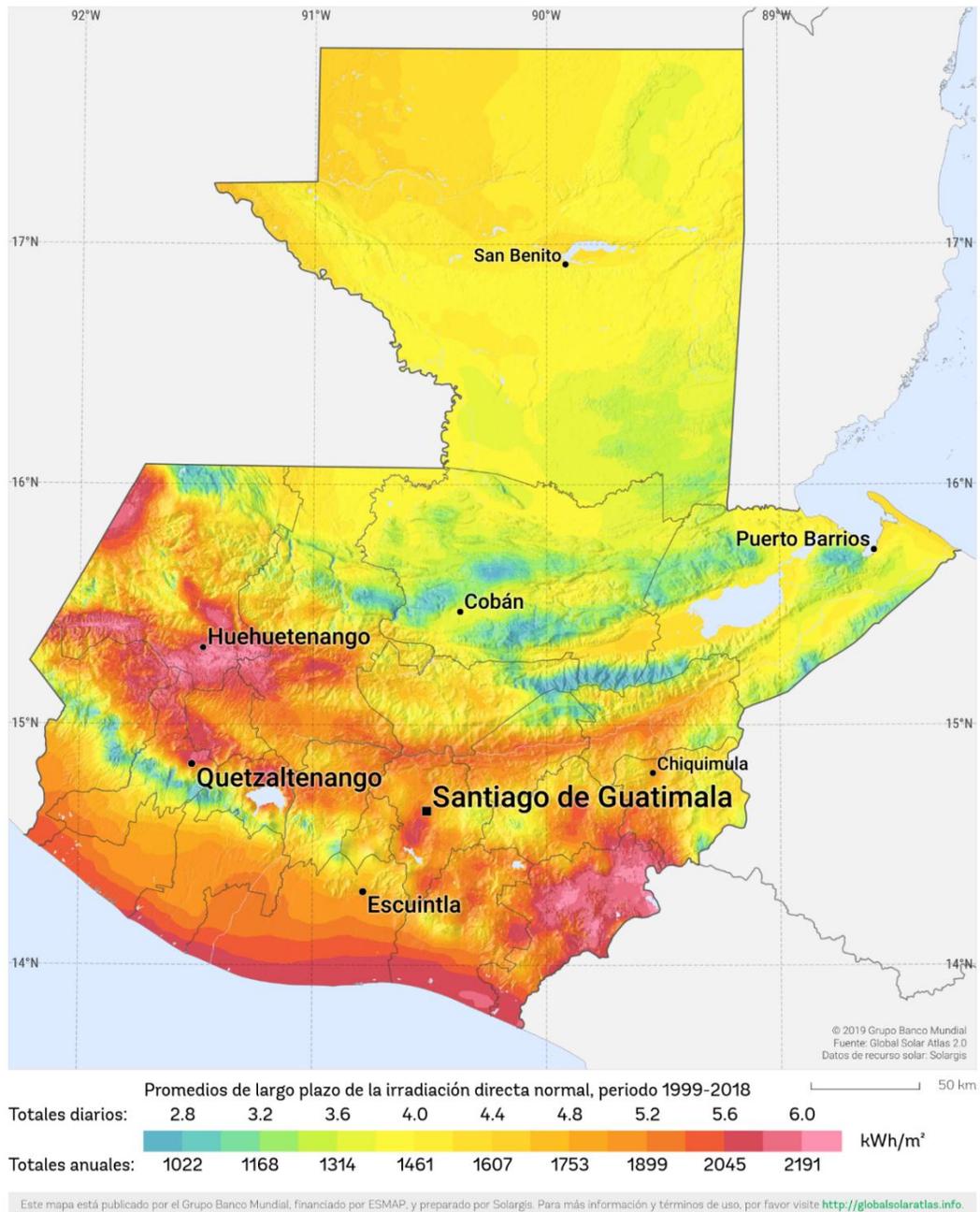
Fuente: SOLARGIS. *Mapas de recursos solares de Guatemala*. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala>. Consulta: 22 de agosto de 2020.

Anexo 6. Irradiación global horizontal



Fuente: SOLARGIS. *Mapas de recursos solares de Guatemala*. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala>. Consulta: 22 de agosto de 2020.

Anexo 7. Irradiación directa normal



Fuente: SOLARGIS. *Mapas de recursos solares de Guatemala*. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala>. Consulta: 22 de agosto de 2020.