

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



Rediseño del sistema de iluminación, diseño del sistema de iluminación de emergencias para los hangares, estudio de cortocircuito y de arco eléctrico para COOPESA R.L.

INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, GRADO LICENCIATURA.

Christhofer Andrés Arroyo Chacón

COORDINADOR DE PRÁCTICA:

Ing. Greivin Barahona Guzmán

ALAJUELA, COSTA RICA

I SEMESTRE 2019



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 29/05/2019

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Christhofer Andrés Arroyo Chacón

carné No. 2014085176, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería Mantenimiento Industrial, presentado en la fecha 5/6/2019, con el título

Rediseño del sistema de iluminación, diseño del sistema de iluminación de emergencias para los hangares, estudio de cortocircuito y de arco eléctrico para COOPESA R.L.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:

Correo electrónico:

Cédula No.:



carroyo0195@gmail.com

115930093



Datos personales

Nombre completo: Christhofer Andrés Arroyo Chacón

Número de cédula: 115930093

Número de carné: 2014085176

Edad: 24 años

Números de teléfono: 87933009, 22521229

Correos electrónicos: carroyo0195@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: San Antonio de Alajuelita, del mirador San José 125 metros al Norte y 200 metros al Este, ultima casa de dos plantas con portón negro.

Datos de la Empresa

Nombre: Cooperativa Autogestionaria de Servicios Aeroindustriales RL (COOPESA R.L.)

Actividad Principal: Mantenimiento de aeronaves de cuerpo angosto.

Dirección: 300 metros Oeste del Aeropuerto internacional Juan Santamaria, Alajuela, Costa Rica

Contacto: marketing@coopesa.com

Teléfono: 2437 2828

Dedicatoria

A Dios por darme la oportunidad de estudiar y salir adelante en la vida.

A mi familia por apoyarme desde el primer momento en que decidí entrar a la universidad.

A mi hermana Jennifer Isabel Arroyo Chacón y a su esposo Julio César Oviedo Aguilar por apoyarme incondicionalmente.

A todas las personas que, de una u otra forma, me ayudaron y enseñaron tanto durante estos años.

Agradecimiento

Quiero agradecerle a todo el personal del Tecnológico de Costa Rica, desde las personas que mantenían limpias las aulas hasta los profesores, a todos ellos gracias por su esfuerzo y ayudarme a enfrentar el maravilloso mundo de la ingeniería.

Agradezco al personal de Mantenimiento y Salud Ocupacional de COOPESA R.L., por dejarme desarrollar mi proyecto en esta magnífica cooperativa.

Agradezco a mi profesor Guía el Ing. Luis Chévez y a mis asesores industriales Don Manuel Jiménez y a Don Santiago Roldan, por brindarme el apoyo y facilitar el proceso.

Índice general

Resumen	1
Abstract	2
Capítulo 1: Introducción	3
1.1 Reseña de la empresa	3
1.2 Descripción del proceso productivo	4
1.3 Planteamiento del problema	5
1.3.1 Descripción del problema a resolver	5
1.4 Objetivos del proyecto.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Justificación.....	7
1.6 Viabilidad.....	8
Capítulo 2: Marco teórico	9
2.1 Iluminación	9
2.1.1 Iluminación general uniforme	10
2.1.2 Iluminación general e iluminación localizada de apoyo	10
2.1.3 Iluminación general localizada	11
2.2 Métodos de diseño de iluminación.....	11
2.3 Iluminación de emergencias	18
2.4 Estudio de cortocircuito.....	21
2.4.1 Motores síncronos	21
2.4.2 Máquinas inductivas	21
2.4.3 Proveedores de energía	22
2.4.4 Banco de condensadores.....	22
2.4.5 Cables.....	23
2.5 Métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito.....	24
2.5.1 Método de las impedancias	25
2.5.2 Método de las componentes simétricas	25

2.6 Estudio de arco eléctrico.....	27
2.6.1 Rotulación de los tableros	31
Capítulo 3: Recopilación de datos.....	32
3.1 Rediseño de iluminación	32
3.2 Diseño de iluminación de emergencias	34
3.3 Estudio de cortocircuito.....	34
3.4 Estudio de arco eléctrico.....	34
Capítulo 4. Criterios de diseño	35
4.1 Rediseño de iluminación	35
4.2 Diseño de iluminación de emergencias	39
4.3 Estudio de cortocircuito.....	42
4.4 Estudio de arco eléctrico.....	43
Capítulo 5: Resultados	44
5.1 Rediseño de iluminación de COOPESA R.L.	44
5.1.1 Comparativa de producción de CO ₂ de los sistemas de iluminación.....	63
5.2 Diseño de iluminación de emergencias	64
5.3 Estudio de cortocircuito	66
5.3.1 Cortocircuitos trifásicos	66
5.3.1.1 Compresores	66
5.3.1.2 Hangares	67
5.3.1.3 Administración	68
5.3.1.4 TMC	69
5.3.2 Cortocircuitos monofásicos	72
5.3.2.1 Compresores	72
5.3.2.2 Hangares	73
5.3.2.3 Administración	74
5.3.2.4 TMC	75
5.4 Estudio de arco eléctrico.....	77
5.4.1 Compresores	77

5.4.2 Hangares	78
5.4.3 Administración	78
5.4.4 TMC	80
5.5 Protocolo de seguridad para los tableros de COOPESA R.L.....	82
5.5.1 Protocolo de arco eléctrico	83
5.5.2 Interpretación de las etiquetas de arco eléctrico	83
5.6 Comparación con el software ETAP 16	85
5.7 Verificación de conductores y protecciones	90
5.7.1 Verificación de conductores	90
5.7.2 Verificación de protecciones.....	93
5.7.3 Sustitución de protecciones.....	95
Capítulo 6: Análisis económico	97
Conclusiones y recomendaciones.....	105
Conclusiones.....	105
Recomendaciones	106
Bibliografía.....	107
Apéndices.....	109
Apéndice 1. Tablas de Cálculo para Cortocircuito.....	109
Apéndice 2. Diagramas unifilares y Etiquetas de Arco eléctrico.	118
Apéndice 3. DIALux.....	123
Apéndice 4. Memoria de cálculo	126
4.1. Cálculo de impedancias	126
4.2. Cálculo de la impedancia equivalente.	129
4.3. Cálculo de corrientes de Cortocircuito.....	130
Apéndice 5. Tablero de Iluminación y Planos CAD.	133
Anexos.....	135
Anexo 1 Tablas y graficas de diseño.	135

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso productivo.....	4
Figura 2 Perdida de la agudeza visual con la edad	11
Figura 3 Comparación entre diferentes índices de color.	13
Figura 4 Datos de Halogenuros Metálicos	15
Figura 5 Datos de Vapor de sodio a baja presión.....	15
Figura 6 Datos de Vapor de sodio a alta presión.....	16
Figura 7 Comparativa de LED vs Iluminación tradicional	17
Figura 8 Luminaria de emergencia Halógena DS-70W2	19
Figura 9 UPS de 6000 VA / 6000 W.....	20
Figura 10 Tipos de fallas de cortocircuito	23
Figura 11 Capacidad de soporte de corrientes de cortocircuito en cables.....	24
Figura 12 Sistemas simétricos de fasores	26
Figura 13 Simplificación de un cortocircuito Monofásico	27
Figura 14 Nivel de EPP para cada categoría de Arco Eléctrico	29
Figura 15 Ejemplo de selección de tiempo arco eléctrico.....	30
Figura 16 Requerimientos mínimos de una etiqueta de arco eléctrico	31
Figura 17 Factores de reflexión de los colores	33
Figura 18 Áreas de iluminación, Hangar Principal	36
Figura 19 Nivel de iluminación de emergencias en hangares.	40
Figura 20. Toneladas de CO2 producidas al año.	64
Figura 21 Etiqueta de arco eléctrico, TAD	84
Figura 22 Datos de entrada de la Red.	86
Figura 23 Datos del transformador principal de TMC	86
Figura 24 Datos del conductor principal de TMC.....	87
Figura 25 Datos del motor del compresor 2 de TMC.....	88
Figura 26 Comparativa de consumos de iluminación.	104
Figura 27 Diagrama unifilar de Compresores	118
Figura 28 Diagrama Unifilar de Hangares.....	119
Figura 29 Diagrama unifilar de Administración	120
Figura 30 Diagrama Unifilar de TMC	121
Figura 31 Etiquetas de Arco eléctrico para TMC.	122
Figura 32 Hangar principal, Vista frontal	123
Figura 33 Hangar 2, Vista Superior.....	124
Figura 34 Hangar 3, Vista a $\frac{3}{4}$	125
Figura 35 Detalle del tablero TTMCA.....	129
Figura 36. Tablero de Iluminación.....	133

Figura 37. Distribución de Luminarias, Planta Alta.	134
Figura 38. Distribución de Luminarias, Planta Baja.	134
Figura 39 Valores típicos de X/R para transformadores.....	135
Figura 40 Valores típicos de X/R para motores de inducción.....	136
Figura 41 Valores típicos de X/R para motores síncronos y generadores.	136
Figura 42 Valores de reactancias para motores de inducción.....	137
Figura 43 Valores de CO ₂ según la fuente.....	137
Figura 44 Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.....	138
Figura 45 Valores de corriente de aporte en el punto de la acometida principal.....	138

Índice de tablas

Tabla 1 Hoja de datos de iluminación	32
Tabla 2 Dimensiones de los Hangares.	34
Tabla 3 Luminarias usadas para el rediseño.	38
Tabla 4 Diferentes alternativas para el sistema de emergencias.	41
Tabla 5 Nivel actual de lúmenes en los hangares	45
Tabla 6 Resumen de resultados de los Hangares	46
Tabla 7 Resumen de resultados de Exterior.	47
Tabla 8 Resumen de resultados de TMC-TALLERES.....	48
Tabla 9 Resumen de resultados de TALLERES MTO.....	50
Tabla 10 Resumen de resultados de Talleres segundo piso.....	52
Tabla 11 Resumen de resultados de Administración segundo piso.	53
Tabla 12 Resumen de Administración primer piso.	58
Tabla 13 Resumen de resultados de Talleres primer piso.	61
Tabla 14 Resultados de la alternativa 1 para iluminación de emergencias.....	64
Tabla 15 Resultados de la alternativa 2 para iluminación de emergencias.....	65
Tabla 16 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de Compresores	66
Tabla 17 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de Hangares.	67
Tabla 18 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de Administración	68
Tabla 19 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de motores de Administración	69
Tabla 20 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra TMC	70
Tabla 21 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de bombas de agua de TMC	70
Tabla 22 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de cuartos fríos de TMC	71
Tabla 23 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de bombas de agua de TMC	71
Tabla 24 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de compresores de TMC	72
Tabla 25 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de Compresores	72
Tabla 26 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de Hangares	73
Tabla 27 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de Administración	74
Tabla 28 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de motores de Administración	74
Tabla 29 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de TMC	75
Tabla 30 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de bombas de agua de TMCA.....	75
Tabla 31 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de cuartos fríos de TMCB	76
Tabla 32 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra bombas de agua de TMCC.....	76
Tabla 33 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de compresores de TMCD.....	77
Tabla 34 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Compresores.....	77
Tabla 35 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Hangares.....	78
Tabla 36 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Administración.....	79

Tabla 37 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TADMT de Administración	79
Tabla 38 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de TMC.....	80
Tabla 39 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCA de TMC	80
Tabla 40 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCB de TMC	81
Tabla 41 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCC de TMC.....	81
Tabla 42 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCD de TMC	82
Tabla 43 Comparación de Corrientes de Cortocircuito Trifásicas Asimétricas.....	88
Tabla 44 Comparación de Corrientes de Cortocircuito Monofásicas.....	89
Tabla 45 Comparativa de la energía incidente por arco eléctrico.....	90
Tabla 46 Verificación de soporte de los conductores del sistema eléctrico.	91
Tabla 47 Verificación de protecciones del tablero TTA (Compresores)	93
Tabla 48 Verificación de protecciones del tablero TTB (Hangares)	93
Tabla 49 Verificación de protecciones del tablero TAD (Administración)	94
Tabla 50 Verificación de protecciones del tablero TMC (Taller Materiales Compuestos)	95
Tabla 51 Sustitución de Protecciones de los diferentes Tableros.	96
Tabla 52 Costo de la inversión de luminarias.	97
Tabla 53 Costo de la inversión de luminarias para iluminación de emergencias.	98
Tabla 54 Análisis Económico del Hangar 1	99
Tabla 55 Análisis de la inversión del proyecto en Hangar 1	100
Tabla 56 Análisis económico del Hangar 2.....	100
Tabla 57 Análisis de la inversión del proyecto en el Hangar 2	101
Tabla 58 Análisis económico de COOPESA R.L.	102
Tabla 59 Análisis económico general de COOPESA R.L.....	103
Tabla 60 Valores de Red distribuidora para transformadores de 500 KVA (Compresores, Hangares)	109
Tabla 61 Valores de Red distribuidora para transformadores de 750 KVA (Administración).....	109
Tabla 62 Valores de Red distribuidora para transformadores de 300 KVA (TMC).....	109
Tabla 63 Datos del Generador.	110
Tabla 64 Datos del banco de condensadores.....	110
Tabla 65 Glosario de los equipos.....	110
Tabla 66 Valores de impedancia de los transformadores.....	112
Tabla 67 Impedancias de los Equipos.	112
Tabla 68 Valores de impedancias de los cables.	114
Tabla 69 Resumen de resultados de arco eléctrico para Hangares.	117
Tabla 70 Valores base para TMC	126
Tabla 71 Impedancia Equivalente de los motores y cables, TMCA.....	130
Tabla 72 Valor de impedancia total, en la barra principal TMC	130

Tabla 73 Resultados de corriente de fallo del tablero principal TMC. 132

Resumen

COOPESA R.L., una de las más importantes MRO (Mantenimiento Reparación y Overhaul) de toda América Latina, ha venido experimentando muchos cambios tanto a nivel estructural como de crecimiento de personal y, debido a la antigüedad de sus instalaciones, la cooperativa necesita actualizar algunos aspectos, específicamente, los relacionados con iluminación. El sector aeronáutico debe encontrarse siempre actualizado para poder ser competitivo y crecer a futuro.

Debido a esta necesidad, el presente proyecto tiene la finalidad de realizar un rediseño a sus sistemas de iluminación, para efectos de este proyecto rediseñarlo a LED, debido a sus altas ventajas contra otros tipos de iluminación. En los hangares donde se realiza una tarea tan especializada es deber contar con los niveles de iluminación adecuados, en estos mismos hangares, al no contar con un sistema de iluminación de emergencias COOPESA R.L. corre el gran peligro de sufrir accidentes laborales, por este motivo, se diseñó un sistema de iluminación de emergencias eficiente para el recinto tan especializado.

Al poseer instalaciones tan antiguas y no presentar estudios eléctricos recientes, surge la necesidad de verificar si el sistema se encuentra debidamente protegido ante una falla por cortocircuito lo mismo sucede ante una ocasionada por arco eléctrico. Toda industria mediana o grande debe tener estudios de arco eléctrico para proteger a los operarios, más cuando la misma empresa cuenta con los técnicos capacitados para trabajar en los tableros.

Los diferentes estudios y diseños realizados cumplen con todas las normativas nacionales, para verificar y proteger bien el sistema, tales como IEEE_0551-2006 y IEEE_141-1993, INTE/ISO 8995-2016 y IEEE 1584-2002. Además de algunas otras consultadas, específicamente las de FAA y EASA

Palabras clave:

Aeronáutica; Iluminación; Iluminación de emergencias; Cortocircuito; Arco eléctrico; COOPESA R.L.

Abstract

COOPESA R.L., one of the most important MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) of all Latin America, has been undergoing many changes both structurally and personnel growth and due to the age of its facilities the cooperative needs to update its facilities, specifically lighting, the aeronautical sector must always be updated to be able to be competitive and grow in the future.

Due to this need this project has the purpose of redesigning its lighting systems, for the effects of this project re-design it to LED, due to its high advantages against other types of lighting, in the hangars where such a specialized task is performed is to have adequate lighting levels, in these same hangars to not have an emergency lighting system COOPESA R.L. is in great danger of occupational accidents, for this reason an efficient emergency lighting system was designed for the specialized enclosure.

With such old installations and no recent electrical studies, the need arises to verify if the system is properly protected against a fault by short circuit, the same happens with a fault by electric arc, all medium or large industry must have studies of electric arc to protect the operators, more when the same company has technicians trained to work on the panels.

The different studies and designs carried out comply with all national regulations, to verify and protect the system well, such as IEEE_0551-2006 and IEEE_141-1993, INTE/ISO 8995-2016 and IEEE 1584-2002, some others specifically consulted those of FAA and EASA.

Keywords:

Aeronautics; Lighting; Emergency lighting; Short circuit; Arc Flash; COOPESA R.L.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Reseña de la empresa

La Cooperativa Autogestionaria de Servicios Aeroindustriales R.L. (COOPESA R.L.) fue fundada en 1963. Actualmente, cuenta con más de 650 empleados, muchos de ellos asociados con esta. La cooperativa se ubica a 300 metros oeste del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, para tener muy fácil acceso a las aeronaves que requieran de sus servicios. COOPESA cuenta con muchas certificaciones internacionales, entre ellas las que más destacan son la EASA¹ y FAA². En las aeronaves de cuerpo angosto, COOPESA da servicio a los dos grandes fabricantes de aviones, Boeing 737 CL, B757, 737 NG, Airbus A320, entre otras.

Dentro de los servicios de mantenimiento que brindan se encuentran: mantenimiento pesado, programas de prevención y control de corrosión, reparaciones estructurales, mantenimiento en línea, modificaciones, modificaciones/actualizaciones de aviónica, entre otros.

Misión

Estamos en el negocio de mantenimiento, reparación y revisión de aeronaves. La esencia de nuestra organización es la honestidad profesional y el servicio al cliente, por lo tanto; Nuestros productos y servicios son de excelente calidad y confiabilidad a precios competitivos (COOPESA R.L., 2018).

Visión:

Ser la estación reparadora de aeronaves líder en América Latina, reconocida a nivel mundial, con precios competitivos, calidad, seguridad, entrega a tiempo, instalaciones modernas tecnología de punta y armonía con el ambiente (COOPESA R.L., 2018).

¹ European Aviation Safety Agency.

² Federal Aviation Administration.

Valores

- Eficiencia.
- Equidad.
- Aprendizaje.
- Compromiso.
- Cooperación.

1.2 Descripción del proceso productivo

Seguidamente, se muestra el proceso general productivo de COOPESA:

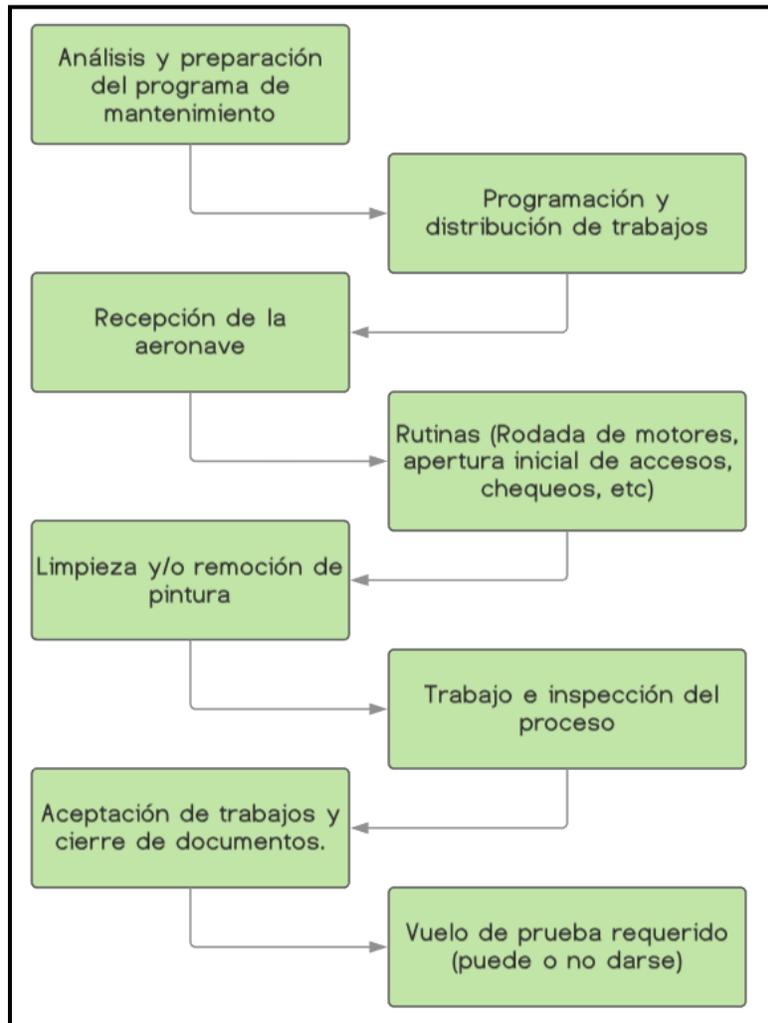


Figura 1 Diagrama de flujo del proceso productivo
Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Descripción del problema a resolver

Actualmente, COOPESA tiene una problemática muy seria: la falta de un sistema de iluminación de emergencias para sus tres hangares. Este problema se ha estado hablando en reuniones dentro de la empresa, buscando una solución eficiente y pronta, han existido casos en donde se está trabajando de noche y el flujo de corriente falla, lo que provoca una completa falta de visibilidad en los hangares y esto podría generar una sensación de pánico por parte de sus trabajadores, y desembocar en accidentes laborales, ya que el hangar es grande y existen múltiples objetos en el suelo que pueden provocar tropiezos, esto sin mencionar que hay trabajadores en las alturas que se expondrían a una caída mortal.

Otra problemática que presenta es un incumplimiento en la normativa nacional de iluminación INTE/ISO 8995-:2016, basado en un estudio que se realizó, donde la medición de lúmenes promedio dio 200 lux en un área (oficinas) que, según la norma, debe estar en 500 lux, por citar un ejemplo. El rediseño del sistema de iluminación importante, pues la empresa debe cumplir con la normativa para la protección de sus trabajadores, además, un buen rediseño de iluminación nos puede generar un ahorro energético para la empresa.

Otra situación presentada en la cooperativa es la antigüedad de su diseño eléctrico, su falta de protocolos de desconexión de transformadores y su cercanía con la subestación El Coco del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), dando problemas si se presenta una falla por cortocircuito.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

- Proponer un rediseño, así como un estudio en el sistema eléctrico de COOPESA R.L., para solucionar diferentes problemáticas presentadas en la empresa, por medio de las normativas vigentes del país.

1.4.2 Objetivos específicos

- Rediseñar el sistema de iluminación utilizando el software DIALux evo 8.1, con el fin de actualizar las instalaciones y cumplir con la normativa vigente, esto basado en la norma INTE/ISO 8995-2016.
- Diseñar el sistema de iluminación de emergencias para los hangares con el software DIALux 4.13, para reducir los accidentes laborales empleando la norma NFPA 101-2006.
- Calcular las corrientes de cortocircuito de forma manual en los diferentes puntos de la instalación eléctrica, para verificar que el sistema este adecuadamente protegido utilizando la normativa IEEE_0551-2006 y IEEE_141-1993.
- Elaborar el estudio de arco eléctrico para las diferentes barras que constituyen la instalación eléctrica para obtener un protocolo de seguridad en los tableros, basado en la norma IEEE 1584-2002.

1.5 Justificación

Al realizar el proyecto propuesto, COOPESA R.L. solucionará la problemática de iluminación y eléctrica que presenta. Esto tiene una gran importancia, ya que toda empresa debe cumplir con las normativas nacionales que la rigen, de no solucionarse este problema, se expone a multas y, lo más peligroso, a accidentes laborales que toda empresa desea evitar.

A la hora de realizar el rediseño de iluminación, se tomará muy en cuenta el estudio que se realizó y la normativa nacional. Con estos datos, se procederá a hacer el rediseño, el cual cumplirá con la normativa vigente y se solucionará el problema. Al no existir un sistema de iluminación de emergencias, el personal, en caso de una falla del flujo eléctrico, podría sufrir un accidente, por esto, el diseño de iluminación de emergencia resolverá esta dificultad.

Asimismo, el estudio de cortocircuito y de arco eléctrico es de importancia, debido a que toda empresa necesita estar protegida en caso de una falla por cortocircuito y proteger al personal en caso de que ocurra un arco eléctrico. Al analizar las corrientes de falla, se puede verificar si las protecciones de los equipos soportarían esta falla, para que, en caso de que ocurra, no se afecte la productividad de la empresa, recordando que COOPESA R.L. tiene servicio 24/7.

1.6 Viabilidad

Actualmente, se encuentra mucha información acerca de temas de iluminación, así como de cortocircuito y de arco eléctrico. Siempre se puede contar con la información aprendida durante el proceso educativo, además de contar con el software DIALux evo que es de uso libre, el cual se ha utilizado anteriormente durante la carrera y es muy preciso. Cabe destacar que, en este caso, es la herramienta de diseño, para el estudio de cortocircuito, arco eléctrico e iluminación se cuentan con las normativas nacionales que los rigen como lo son la IEEE_0551-2006, IEEE 141-1993, IEEE 1584-2002, NFPA 101-2006, INTE/ISO 8995-2016 y el Manual de Disposiciones Técnicas Generales Sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios, versión 2013 (Unidad de Ingeniería de Bomberos, Costa Rica), etc.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Iluminación

En la industria, el tema de iluminación es de alta importancia, ya que posee gran utilidad diaria, por eso mismo, se estableció una norma nacional para regular el nivel de lux dependiendo de cada área específica, así como su importancia, no es lo mismo la cantidad de lux de una sala de operaciones a la de una oficina. Al respecto, se menciona que:

Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etcétera (Calleja, 2001).

El sistema de iluminación se compone de varias magnitudes, algunas de las más básicas son:

Flujo luminoso: se define como la energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo, su unidad es el Lumen (lm).

Intensidad luminosa: se expresa como el flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme, su unidad es la candela (cd).

Nivel de iluminación: es el nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen, su unidad es el lux , donde:
 $lux = lm/m^2$.

Luminancia: se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por el observador, su unidad es : cd/m^2

En la industria, existen varios tipos de sistema de iluminación, pero los más utilizados son: sistema de iluminación general uniforme, iluminación general e iluminación localizada de apoyo y la iluminación general localizada. A continuación, se explicarán cada una de estas variantes.

2.1.1 Iluminación general uniforme

Se presenta cuando la distribución de lux es uniforme a lo largo y ancho del recinto, según Calleja (2001), “las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel de iluminación necesario para la tarea que se va a realizar”, por lo tanto, no depende directamente del puesto de trabajo y es de uso general multipropósito.

2.1.2 Iluminación general e iluminación localizada de apoyo

Este tipo de iluminación se presenta cuando se desea cubrir un área en especial, por lo general, se suelen utilizar cuando el nivel requerido en esa área debe ser de 1000 lux o más (áreas muy especializadas). Por citar un ejemplo, en la industria para la fabricación de vehículos en las áreas de inspección final se requieren 1000 lux, pero, como lo indica Calleja (2001): “Generalmente, la capacidad visual del trabajador se deteriora con la edad, lo que obliga a aumentar el nivel de iluminación general o a complementarlo con iluminación localizada”. Esta pérdida de agudeza visual se puede observar en la figura 2.

Hay que tener en cuenta que las personas expuestas a niveles de iluminación muy altos, deben estar en constante revisión de su visibilidad, ya que exponerse a altas intensidades luminosas es perjudicial para la salud.

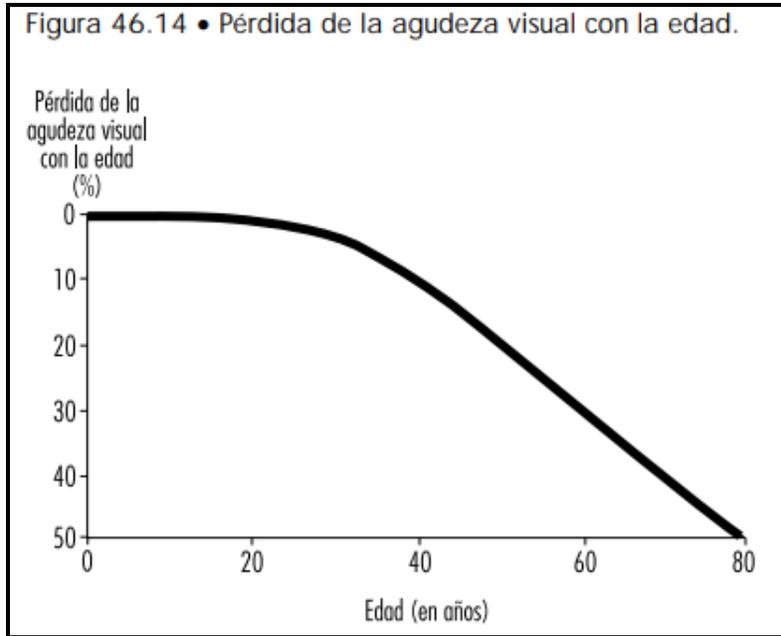


Figura 2 Pérdida de la agudeza visual con la edad
Fuente: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2019.

2.1.3 Iluminación general localizada

Este es un tipo de iluminación con fuentes de luz distribuidas teniendo en cuenta dos aspectos: las características de iluminación y la cantidad de lux del puesto de trabajo. Este es uno de los tipos de iluminación más utilizada en la industria, pues se necesita saber la cantidad de lux del puesto de trabajo antes de la fase de diseño.

2.2 Métodos de diseño de iluminación

En la práctica de diseñar sistema de iluminación, existen varios métodos muy útiles para tal fin, pero que se adecuan a tareas distintas, unos métodos más precisos que otros, para aplicaciones más especializadas.

Método de lúmenes: este método es usado tanto para diseño como para analizar o evaluar una iluminación existente. El objetivo principal es obtener el número de luminarias adecuado para lograr la cantidad de lux establecidos, para este método es necesario saber las dimensiones del recinto (alto, ancho, área, color, etc.), las limitaciones físicas, si presenta, y el tipo de actividad a realizar, este método solo aplica para iluminación interior.

Método de las cavidades zonales: es un método simple, funcional y seguro. Es muy similar al método de lúmenes, solo que es un poco más riguroso con los

coeficientes de reflexión, para este método se toma en cuenta la distancia entre la luminaria entre suelo y el techo, igualmente que el anterior solo aplica para iluminación interior y que el área es un cuadrilátero.

Método del punto por punto: es un método más riguroso, ya que analiza varios puntos clave en el área a iluminar, estos puntos son escogidos por el diseñador y son numerados para dar un seguimiento adecuado, este método sirve para cualquier aplicación (exterior, interior, público, etc.) sirve para cualquier tipo y forma de superficie, se pueden mezclar tipos de luminarias y normalmente se requiere de la utilización de algún software para agilizar su proceso.

Deslumbramiento: otro aspecto importante en temas de iluminación es el deslumbramiento que se puede producir en los lugares de trabajo, así lo define la misma normativa nacional:

El deslumbramiento es la sensación visual provocada por áreas brillantes dentro del campo visual y que puede ser percibida como un deslumbramiento molesto o un deslumbramiento discapacitante.

El deslumbramiento puede también ser provocado por reflexiones en superficies especulares, conocidas usualmente como reflexiones velantes o deslumbramiento reflejado (INTE/ISO 8995-2016, 2016).

Por lo tanto, a la hora de diseñar un buen sistema de iluminación, se debe tener en cuenta este tipo de variables, debido a que un alto deslumbramiento puede provocar fatiga, dolor de ojos, cansancio excesivo, lo cual repercutirá en la calidad y eficiencia del trabajo.

El deslumbramiento se percibe mejor cuando se mira una lámpara directamente (como mirar al sol), en oficinas se da mucho este problema, por los reflejos de las pantallas de datos, otra razón se debe a tener ventanas abiertas y un nivel de iluminación pobre, lo cual provoca un deslumbramiento por el sol, la solución es adecuar el nivel de iluminación ya sea regulando y aprovechando la luz natural o poniendo cortinas.

Se presenta la fórmula 1 utilizada por la norma para calcular el índice de deslumbramiento CUD (Capacidad unificada de deslumbramiento, en español) o UGL (Unified glare rating, en inglés).

$$CUD = 8 * \text{Log} \left[\frac{0,25}{Lb} * \sum \frac{L^2 * W}{p^2} \right] \quad (1)$$

Donde:

Lb: Luminancia del fondo (cd/m²).

L: Luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador (cd/m²).

W: Ángulo sólido de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

p: Índice de posición de Guth para cada luminaria individual, que se relaciona con su desplazamiento de la línea de visión.

CRI (Ra): el rendimiento color es la capacidad de una fuente de luz de reproducir los colores, su valor máximo es el 100. Es un dato que da el fabricante, respecto a la construcción de la bombilla o lámpara. La idea es que se asemeje lo mayor posible a los colores de verdad, no se recomienda el uso de luminarias con índices de Ra menores a 80 en áreas de trabajo de personas o que estas permanescan durante mucho tiempo, pero existen excepciones, como en los lugares con alturas mayores a 6 m, para el caso de COOPESA R.L., los hangares cumplen con esta excepción.

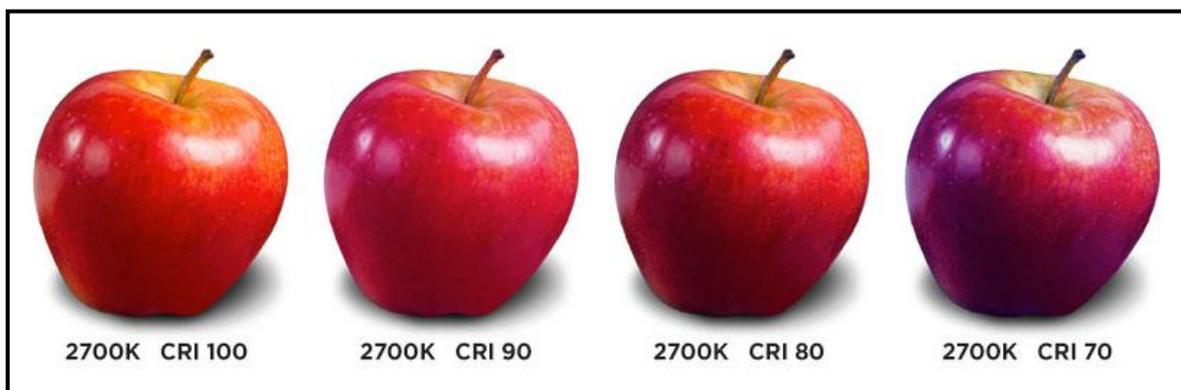


Figura 3 Comparación entre diferentes índices de color.
Fuente: Westinghouse Electric.

En la industria, existen miles de tipos de luminarias, pero las más conocidas actualmente son las luminarias HID, LED y fluorescentes. Estas últimas están en

las mayorías de construcciones a nivel industrial, en lugares como oficinas, salas de reuniones, talleres, bodegas, etc.

Fluorescentes: son luminarias consideradas muy eficientes, una luminaria fluorescente promedio tiene una vida útil de 12 000 horas (Phillips, 2017), las cuales se ven afectadas con la cantidad de encendidos durante el día. Al ser lámparas con descarga de mercurio de baja presión, cada vez que se enciende la luminaria, esta perderá vida útil.

HID: las luminarias de halogenuro metálico (descarga de alta intensidad) son usualmente utilizadas en grandes áreas a iluminar, con alturas mayores a 6 metros, es otra variante de las lámparas de vapor de mercurio (Chinen, 2013). Dentro de esta gran familia, se encuentran las lámparas halógenas, vapor de sodio a baja presión, vapor de sodio a alta presión, vapor de sodio, mercurio halogenado y mezcladoras, principalmente se va a desarrollar las luminarias halógenas, vapor de sodio a baja y alta presión, las más conocidas en la industria.

Halógenas: son luminarias para grandes alturas, se genera un arco entre los dos electrodos (al igual que las luminarias fluorescentes), pero más corto y con mayor intensidad generando más luz y calor, la luz se produce por la excitación de los gases o vapores metálicos, tiene una eficacia entre 70-90 lm/w y un Ra (CRI) entre 60-90, las cuales las hacen muy utilizadas en las naves industriales como alimenticias, de procesos, etc., son luminarias que tardan 600 s en reencender (10 minutos) (Montserrat, 2018).

HALOGENUROS METÁLICOS	
Potencias nominales	20-2.000 W
Eficacia	70-90 lm/W
Flujo luminoso	3.300-32.000 lm
Temperatura de color	2.800-5.000 K
IRC	60-90
Tono	Blanco
Espectro de emisión	Discontinuo
Tiempo de encendido	300
Tiempo de reencendido	600
Tamaño	Grande
Posición de funcionamiento	Universal



Figura 4 Datos de Halogenuros Metálicos
Fuente: Grupo de Estudios Luminotécnicos – UPC, 2019.

Vapor de sodio a baja presión: son unas de las luminarias más eficaces del mercado (180 Lm/W, inclusive) y son robustas. Es importante reducir la radiación de calor del tubo de descarga al mínimo para asegurar la temperatura de funcionamiento optima (260 °C) (Secades, 2014).

Las luminarias de sodio de baja presión son muy utilizadas en las carreteras y autopistas, debido a su bajo índice cromático (CRI).

VAPOR DE SODIO BAJA PRESIÓN	
Potencias nominales	18-180 W
Eficacia	180 lm/W
Flujo luminoso	1.800-32.000 lm
Temperatura de color	2.000 K
IRC	0
Tono	Amarillo anaranjado
Espectro de emisión	Discontinuo
Tiempo de encendido	Entre 5 y 10 minutos
Tiempo de reencendido	Entre 5 y 10 minutos
Tamaño	Grande
Posición de funcionamiento	Universal



Figura 5 Datos de Vapor de sodio a baja presión
Fuente: Grupo de Estudios Luminotécnicos – UPC, 2019.

Vapor de sodio a alta presión: son bombillas usadas para ahorrar energía comparándolas con las de halogenuros metálicos, aunque su CRI sea peor que esta, además, su vida útil es más larga.

VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN	
Potencias nominales	50-10.000 W
Eficacia	100 lm/W
Flujo luminoso	3.500 y 130.000 lm
Temperatura de color	2300 K
IRC	25
Tono	Amarillo dorado
Espectro de emisión	Discontinuo
Tiempo de encendido	300
Tiempo de reencendido	600
Tamaño	Grande
Posición de funcionamiento	Universal



Figura 6 Datos de Vapor de sodio a alta presión
Fuente: Grupo de Estudios Luminotécnicos – UPC, 2019.

LED: los Diodos emisores de luz, (Light Emitting Diode, en inglés) son la fuente de iluminación más avanzada hasta la fecha, cuentan con importantísimas ventajas en el mercado laboral que los ha hecho muy competitivos, la primera ventaja es el ahorro energético, aportando un descenso de nuestra facturación de luz del orden de 70-80 %, (Ortiz, 2014). Otra ventaja es su larga vida útil de 50 000 horas hasta 100 000 horas, dependiendo de la construcción de la luminaria, sus bajas emisiones de CO₂ y su bajo mantenimiento, la hacen la mejor alternativa a los nuevos sistemas de iluminación, su coste es más elevado que las típicas luminarias fluorescentes, pero casi siempre suele ser rentable a futuro, bajando los costes de la facturación eléctrica.

Las luminarias LED, en comparación con otras fuentes de iluminación, son más rentables, igualando inclusive la eficacia de las luminarias de vapor de sodio a baja presión, en la siguiente figura, se representa una aproximación de las luminarias leds contra las luminarias tradicionales:

EQUIVALENCIAS LED vs ILUMINACIÓN TRADICIONAL							
LED	INCANDESCENTES Y HALÓGENAS	BAJO CONSUMO	TUBOS FLUORESCENTES	HALOGENUROS METÁLICOS	VAPOR DE SODIO	VAPOR DE SODIO SIN BALASTRO	LÚMENES
% AHORRO	90%	72%	64%	61%	73%	87%	
2w	20w	6w					80-120
3w	35w	8w					120-250
5w	40w	11w					280-380
6w	50w	13w	12w				360-450
7w	60w	15w	14w				450-600
9w	70w	18w	18w				600-800
10w	80w	20w	20w				750-850
12w	100w	25w	25w				800-950
13w	110w	30w	28w				900-1.000
15w	120w	40w	32w				1.100-1.300
18w	140w	50w	36w				1.250-1.500
20w	150w	60w	44w				1.600-1.800
25w	200w	70w	58w				1.850-2.050
30w	250w	80w	70w	60w	80w	250w	2.200-2.650
50w	400w	100w	120w	100w	120w	300w	3.000-4.000
80w	600w	150w		150w	200w	500w	6.000-7.500
100w	750w	200w		200w	250w	750w	9.000-10.000
120w	850w	250w		240w	300w	900w	10.500-12.000
150w	1000w	300w		300w	400w	1200w	13.000-15.000
200w	1500w	400w		400w	500w	1500w	18.000-20.000

Figura 7 Comparativa de LED vs Iluminación tradicional
Fuente: Bgenosstore, 2017.

Otro elemento que se utiliza en la mayoría de las luminarias es el balastro, específicamente en las luminarias fluorescentes. Son dispositivos encargados de transformar la energía para la adecuada operación de las lámparas, dependiendo de su estructura se dividen en magnéticos y electrónicos, sus principales funciones son:

- Proveer energía controlada para que produzca el encendido del fluorescente.

- Controlar, regular y emitir el suministro adecuado de corriente, para que el fluorescente trabaje a su máxima eficiencia (Sylvania, 2019).

Existen diferentes tipos de balastos, como el de emergencias, los ahorradores de energía, los de multi-voltaje y los de alta intensidad de descarga HID.

Balastos magnéticos: es el balastro convencional que se utiliza en la mayoría de luminarias de tubos fluorescentes, consiste de un gran número de espiras de hilo de cobre arrolladas sobre un núcleo y que, por su concepción, tiene elevadas pérdidas térmicas (Rivas, 2016). Generalmente, este tipo de balastos al encender la luminaria tiene un tiempo para accionar, lo cual provoca que la luminaria se encienda al rato de haber activado el interruptor.

Balastos electrónicos: los balastos electrónicos son más eficientes, alargan la vida útil de los tubos, a diferencia de los magnéticos, la luminaria se enciende casi de inmediato, al ser electrónicos regulan y limitan la intensidad de corriente, se pueden alimentar varios tubos a la vez, siempre y cuando, la capacidad del balastro lo permita.

2.3 Iluminación de emergencias

En la industria, una de las partes con la que hay que tener mucho cuidado son con los sistemas de emergencia. Ude ellos es el sistema de emergencia de iluminación, pues un buen sistema de iluminación de emergencias puede salvar vidas, cuando ocurre una falla en el flujo de corriente que alimentan a las luminarias, debe existir un sistema secundario de iluminación para evitar que el personal entre en pánico, muchas empresas recurren a las luminarias con baterías para tal fin. Así lo comenta la normativa nacional:

Se requiere disponer de alimentación de emergencia para la iluminación de las vías de salida. Un sistema de alumbrado de emergencia bien concebido debe ser autónomo, se debe activar de forma automática en caso de interrupción de la fuente de energía normal o de respaldo. La iluminación debe realizarse por medio de lámparas autónomas de emergencia con batería y focos direccionables o con luminarias ordinarias del edificio cuando cuenten con balastro de emergencia (Unidad de ingeniería de bomberos, 2013).

En esta misma normativa, se menciona que deben alumbrar las vías de salida y la importancia radica en evacuar la edificación lo antes posible, debido a que no se conoce con certeza el origen de la falla (puede ser una falla de la compañía de distribución de electricidad, un incendio, un terremoto, etc.), por lo cual se requiere alumbrar las salidas de emergencia. Asimismo, se indica que hay ciertos requerimientos que se deben cumplir en un sistema de iluminación de emergencias.

- La autonomía de la fuente debe ser de 90 minutos.
- Desempeño de 10 lux promedio en el inicio y 1 lux a nivel de suelo.
- El desempeño de la carga de la batería, promedio no menor a 6 lux y 0.6 lux al final de los 90 minutos.

Existen principalmente dos métodos para iluminar una industria con iluminación de emergencias: con baterías y con fuente generadora.

Baterías: son los más utilizados para oficinas, salas de reuniones, pasillos, escaleras, y otras zonas de evacuación, son confiables y económicas. Existen muchos tipos diferentes, pero los más comunes son con dos focos. Hay miles de combinaciones de potencia, flujo luminoso, cantidad de leds, potencia de los halógenos, etc. Un ejemplo de ello son las luminarias DUALUX, específicamente el modelo DS-70W2, que tiene capacidad para aun area de 2100 m², especiales para salas de conferencias, oficinas amplias, etc.



Figura 8 Luminaria de emergencia Halógena DS-70W2
Fuente: DUALUX, 2019

Fuentes generadoras o respaldos de baterías: los generadores pueden conectarse para los sistemas de emergencia, dentro de los cuales están los sistemas de iluminación de emergencia, también existen los sistemas de

alimentación ininterrumpida (UPS), los cuales son muy usados para este tipo de aplicaciones, un generador o un UPS depende de la capacidad de carga. Son activos elevados de precio, se recomienda el uso de UPS para circuitos de iluminación de emergencias dentro de una instalación, siempre y cuando, cumpla con la capacidad y el tiempo establecido con anterioridad.

Normalmente, el sistema de iluminación no representa una gran carga para la empresa, a menos que cuente con luminarias muy potentes, como el caso de COOPESA R.L., luminarias de 400 W cada una, las cuales, al necesitar estar funcionando un mínimo de 90 minutos, son baterías muy especializadas, lo cual conlleva un costo muy elevado.



Figura 9 UPS de 6000 VA / 6000 W
Fuente: Forza, 2019.

Una fuente generadora puede ser un generador o un grupo electrógeno, la principal diferencia consiste en que el grupo electrógeno lleva incorporado el motor (conjunto) generalmente a diésel, en el generador es un elemento aparte y el motor puede estar alimentado por diésel, vapor u otras fuentes de energía. En el caso de

iluminación de emergencias, por lo general, se utiliza un grupo electrógeno, para alimentar un tablero de emergencias, el cual puede constar de iluminación de emergencias, sistemas contra incendio, sistemas de datos, etc.

Ya sea un grupo electrógeno o un generador, estos deben ser de transferencia automática, debido a que, si no se encuentra ningún operario cerca del generador, no podría activarse, por tal motivo ante cualquier falla del flujo eléctrico, alerta de incendio o emergencia en general, se debe activar para poder evitar accidentes y pérdidas humanas.

2.4 Estudio de cortocircuito

Las fallas de cortocircuito predominan entre las causas más devastadoras para una instalación eléctrica, así lo indica la normativa nacional, “se refiere a un corto circuito como una conexión anormal con una baja impedancia realizada accidentalmente o intencionalmente entre dos puntos con diferencia potencial” (IEE 551, 2006).

Las corrientes de cortocircuito pueden provenir de máquinas rotativas que dependen de la impedancia de la máquina. Este es un valor variable en el tiempo y es complejo, se pueden clasificar varias fuentes de fallas, como lo son los motores síncronos y condensadores, generadores síncronos, máquinas inductivas, el proveedor de energía, etc.

2.4.1 Motores síncronos

Son motores que se alimentan de una corriente de fallo, al igual que en los generadores síncronos, cuando ocurre algún imprevisto en el sistema eléctrico, los motores síncronos reciben menos energía para su funcionamiento, la inercia que esta presenta actúa como una fuerza motriz, luego con la fuerza provocada el motor funciona como un generador, produciendo corrientes de fallo.

2.4.2 Máquinas inductivas

Existen dos tipos de máquinas inductivas, las de jaula de ardilla y las de rotor bloqueado, al igual que en el caso de los motores síncronos, son interpretados por la falla como un generador. Esta energía es generada debido a la producida por el fallo en el sistema, por la cantidad de energía cinética almacenada en el rotor y la

carga, debido a que el campo magnético del entrehierro no es permanente, dura algunos ciclos la falla.

2.4.3 Proveedores de energía

Los datos de cortocircuito serán suministrados por la compañía eléctrica, a partir de los diferentes estudios realizados, para conocer la corriente de falla en el punto de la acometida, ya que es la que mayor aporta al sistema.

2.4.4 Banco de condensadores

Elementos que tienen como función principal la de compensar energía reactiva, para la corrección del factor de potencia, debido a que la empresa suministradora de energía penaliza un bajo factor de potencia (por debajo de 0.9). Además, existen múltiples beneficios como la reducción de las caídas de tensión, de los costos de la facturación eléctrica, de las pérdidas de los conductores, etc.

Para efectos de este proyecto, la corriente de descarga de los bancos de condensadores no ha sido contemplada en los cálculos manuales, pues la corriente no aporta una gran contribución, la norma IEEE 551-2006. En la sección 7.2.1 se desarrolla un ejemplo típico donde se expone el caso del efecto que tendría la corriente de un banco de capacitores, al final, se logra observar que el aporte no es significativo, por lo mismo, la norma no lo contempla dentro de los elementos que afectan un cortocircuito.

Como se observó anteriormente, la principal corriente de falla viene dada por la compañía distribuidora de energía, los motores, condensadores y otros elementos que dan un aporte breve de corriente son elementos que alimentan esta falla. Además, incluyendo la fortaleza de la corriente y la duración de esta al contrario también existen elementos que se opondrán a la falla, como los transformadores, toda carga resistiva (hornos, alumbrado, etc.), dispositivos de protección, etc.

En la industria, se busca protección contra una falla por cortocircuito a razón de proteger el equipo, la instalación e, incluso, al personal, para ello, existen los dispositivos de protección, los cuales deben impedir el paso de la corriente e interrumpirla.

Es importante saber qué tipos de cortocircuito pueden presentarse en la industria, los más comunes son las fallas trifásicas, monofásicas a tierra, la falla línea a línea

y la falla bifásica a tierra. Una de las más comunes es la falla trifásica, esta también es la más sencilla de calcular: “La corriente de secuencia cero I_0 y la corriente de secuencia negativa I_2 son iguales a cero” (Glover, 2017). Por lo tanto, se calcula solo con la red de secuencia positiva, esto simplifica enormemente los cálculos, de ahí que la falla trifásica sea la más sencilla de resolver.

A continuación, se muestran los tipos de cortocircuito presentados en la industria.

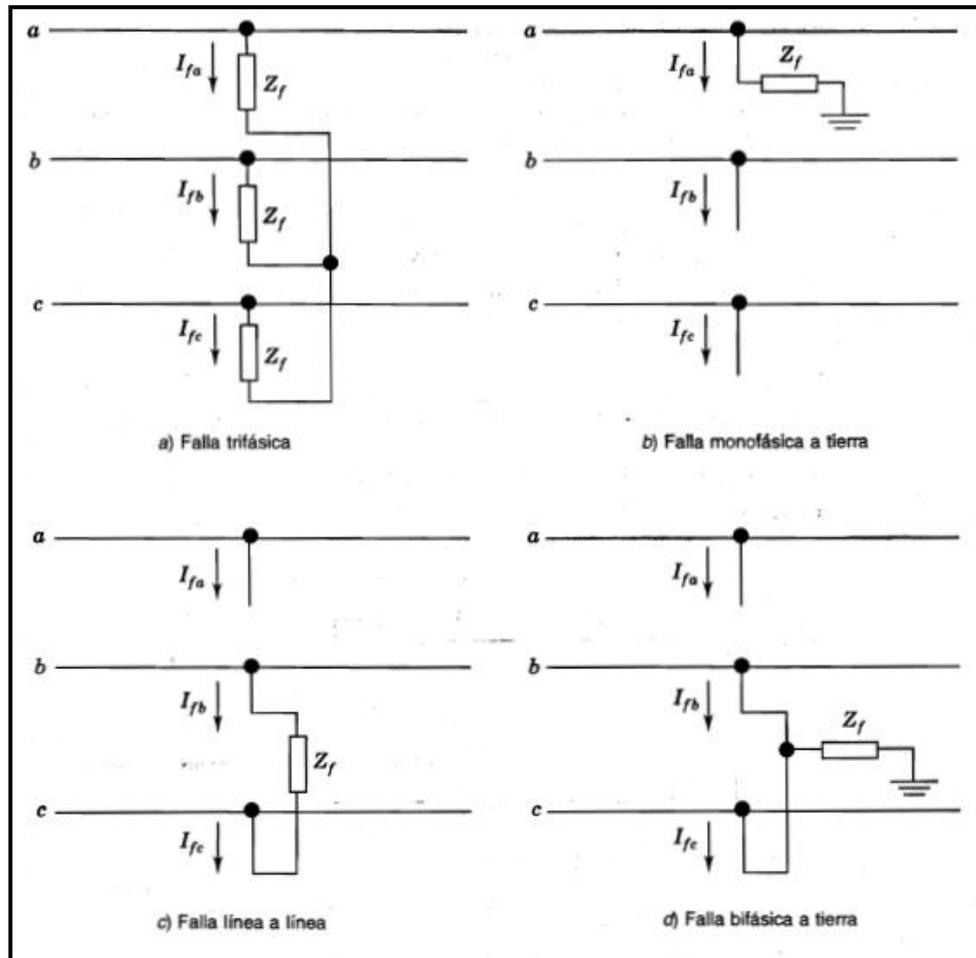


Figura 10 Tipos de fallas de cortocircuito
Fuente: Stevenson, 1996.

2.4.5 Cables

Los cables, a diferencia de los demás elementos, no contribuyen en corrientes de cortocircuito, pues son un elemento pasivo, por lo cual la corriente fluye por él y, dependiendo de la intensidad, se verán afectados. Un cable está diseñado para soportar una cierta corriente nominal, por la cual no tendrá problemas, pero en caso de una corriente de cortocircuito el cable podría verse afectado gravemente, a tal

punto de quemarse y debilitar su vida útil, para ello, los fabricantes dan tablas con las capacidades de soporte de corrientes de cortocircuito.

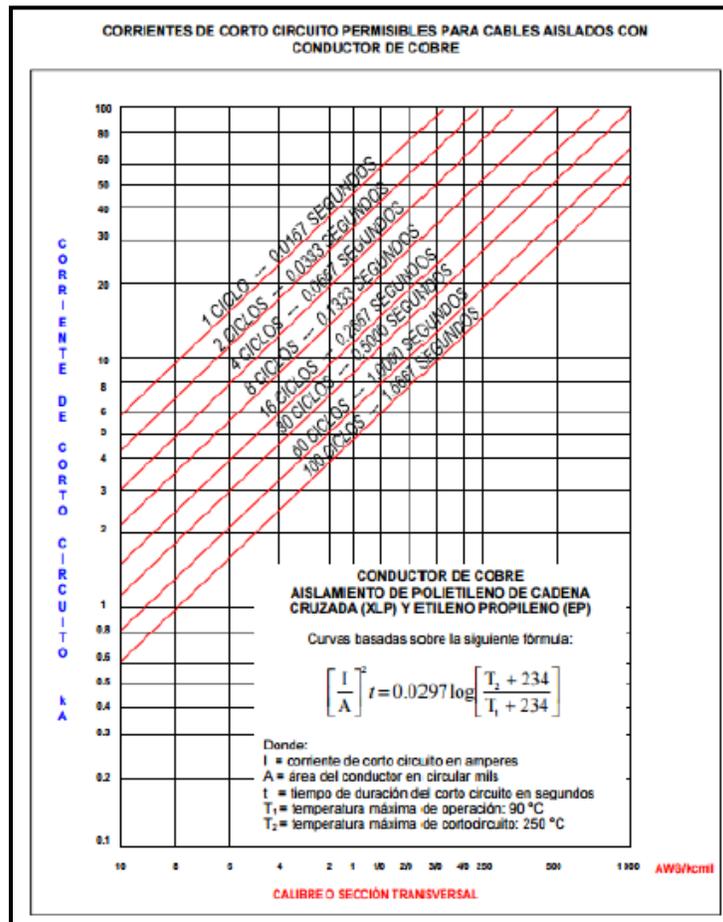


Figura 11 Capacidad de soporte de corrientes de cortocircuito en cables.
 Fuente: NEC, 2014.

2.5 Métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito

Existen varios métodos para obtener las corrientes de cortocircuito. En este caso, se hablará del método de las impedancias, este es recomendado por la norma IEEE141-1993. Para emplearlo, se debe contar con un diagrama unifilar detallado de la instalación eléctrica a analizar, en este diagrama debe encontrarse información como:

- Transformadores del sistema (datos de placa, impedancias porcentual, voltaje de operación y potencia).
- Los motores (datos de placa, impedancias al cortocircuito).

- Medios de protección del sistema (fusibles, disyuntores, voltaje, modelo, etc.).
- Conductores (calibre, longitud, etc.).

2.5.1 Método de las impedancias

Este es un método muy preciso en cuanto a cálculos de fallas y es apto para circuitos de baja tensión,. Se puede calcular el valor de la falla en cualquier punto de la instalación eléctrica. Los pasos para calcular este método son los siguientes:

- Realizar el circuito unifilar de la instalación eléctrica.
- Identificar el punto o puntos en los cuales se desea hacer el análisis de fallas.
- Calcular las impedancias aplicando las formulas de dicho método (conductores, motores, transformadores, etc.)
- Calcular las corrientes de falla en cada punto deseado.
- Analizar si el sistema puede protegerse ante esta falla.

En el método de las impedancias, se realiza el cálculo de cada elemento en el sistema pu (por unidad). Este sistema es altamente conocido y fácil de usar, refleja el porcentaje de los datos respecto a una base. La mayoría de fabricantes dan los datos de los equipos en pu, para facilitar los cálculos de cortocircuito.

2.5.2 Método de las componentes simétricas

Es un método muy utilizado en sistemas de potencia, debido a su excelente precisión. Es muy utilizado cuando se plantea resolver el cortocircuito monofásico, ya que este método contempla el uso de las corrientes homopolares (secuencia cero), la idea del método consiste en suponer que todo circuito trifásico asimétrico puede ser expresado por medio de la suma o composición de tres sistemas simétricos, los que a su vez son fácilmente solubles (Ferro, 2015).

Para este método, existen las tres secuencias, positivas, negativas y cero, representadas en diagramas. Si las tres tensiones son de igual magnitud y difieren uno del otro en el mismo ángulo de fase, se le conoce como un sistema simétrico.

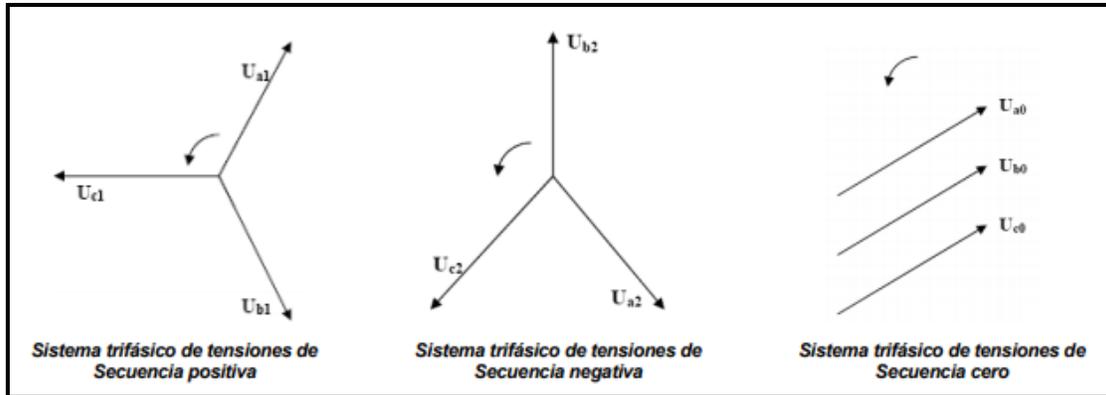


Figura 12 Sistemas simétricos de fasores
Fuente: Ferro, 2015.

Se pueden resumir los pasos para las componentes simétricas, específicamente para el cálculo del circuito monofásico a tierra:

- Realizar el circuito unifilar de la instalación eléctrica
- Identificar el punto o puntos donde se requiera realizar el análisis
- Calcular las redes de secuencia (positiva, negativa y cero, en pu) aplicando las mismas fórmulas del método de impedancias
- Juntar los circuitos en serie (monofásico a tierra).
- Reducir los tres circuitos y obtener las corrientes monofásicas

A modo de simplificación, se mostraron los pasos básicos para realizar el estudio de cortocircuito monofásico (ver apéndice 4.2), al ser monofásico, los tres circuitos se deben colocar en serie. Debido a que no importa en qué fase se encuentre la corriente, será la misma para las tres fases (a,b,c).

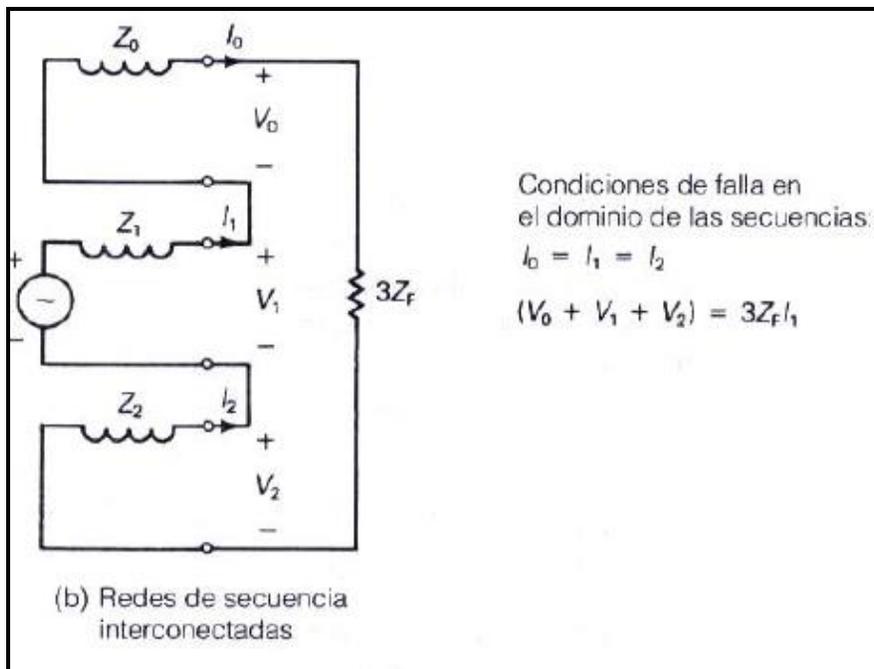


Figura 13 Simplificación de un cortocircuito Monofásico
Fuente: Glover, 2017.

El cálculo de corrientes de cortocircuito se basa fundamentalmente en la ley de ohm

$$V = I * R$$

Donde

V =Diferencia de tensión

I =Flujo de corriente

R =Resistencia.

Las variables del sistema y de los equipos causan que una determinación exacta de la corriente de corto circuito sea muy difícil de realizar. Sin embargo, es suficientemente preciso realizar aproximaciones (Carpio, 2016), por lo tanto, el software utilizado para la simulación cumple con los requisitos para esta.

2.6 Estudio de arco eléctrico

El estudio de arco eléctrico para una industria es de gran utilidad para evitar accidentes laborales, uno de los efectos de las corrientes de cortocircuito en los tableros es el arqueo eléctrico. Esto sucede cuando hay una desconexión de un tablero y se presenta una falla por cortocircuito, esta puede ser tan elevada en su

magnitud que rompa la impedancia del aire, haciendo un arqueo eléctrico, lo que podría causar graves lesiones a las personas o equipos que estén cerca. Así lo indica Félix Redondo Quintela (2014):

Los interruptores mecánicos de corriente eléctrica interrumpen la corriente separando sus contactos una determinada distancia. Hasta que esa separación alcanza un determinado valor puede existir arco eléctrico entre los dos contactos, que están a diferente potencial al separarse.

Algunos de los riesgos del arco eléctrico son:

- Explosión, quemaduras: la expansión del aire junto con la energía de la falla, pueden provocar quemaduras o incluso la muerte.
- Problemas auditivos: un gran impacto sonoro se genera al existir esta falla, afectando al personal cercano.
- Paro de producción: un riesgo grande es el paro de la producción debido al mal funcionamiento del tablero, donde se van a desenergizar los sistemas conectados a este.
- Afectación de equipos: incluso, si el equipo no está conectado al tablero que falla, si hay algún equipo cerca de la explosión este puede dañarse.

Dentro de la importancia de un estudio de arco eléctrico, se encuentra el uso del equipo de protección personal (EPP). Existen muchos fabricantes de equipos de protección, pero todos deben cumplir con las normativas pertinentes, dentro de los equipos de protección personal se encuentran, gafas o caretas protectoras, guantes dieléctricos, pantalones y camisetas de cuero o materiales anti-quemaduras, etc. Existen muchas variedades de telas, las telas ignífugas la hacen naturalmente resistente al fuego y al arco eléctrico sin perder nunca sus cualidades de protección al contrario de materiales retardantes a la flama los cuales pierden sus propiedades con los lavados (Sköld, 2019).

La norma NFPA 70E define para los distintos niveles de energía incidente los trajes utilizables para lograr mitigar los efectos de la energía irradiante durante el arco eléctrico, dichos trajes se muestran a continuación. Cabe mencionar que, para rangos de liberación de energía más arriba de 40 *cal/cm*, no existe una categoría

como tal, esto quiere decir que para intensidades de energía emitidas mayores a las presentadas en la tabla, estas solo se clasifican como de alto riesgo y no existe una protección que pueda ofrecer seguridad operacional a este tipo de fallas a una distancia de operación normal de trabajo (Herrera, 2017).

Categoría	Nivel de energía (cal/cm²)	Descripción de la ropa
0	-	Materiales no fundentes inflamables
1	5	Camisa y pantalones de algodón o lana
2	8	Camisa y pantalón RLL
3	25	Camisa, pantalón y overol RLL
4	40	Camisa, pantalón y overol RLL y traje de arco multi capas (3 o más)

Figura 14 Nivel de EPP para cada categoría de Arco Eléctrico
Fuente: NFPA 70E, 2015.

Otro aspecto importante que afecta directamente los cálculos de arco eléctrico son los disyuntores, dispositivos capaces de interrumpir las corrientes de cortocircuito en un tiempo determinado. Cuanto más rápida sea la acción de interrumpir menor es la intensidad del arco eléctrico. Para obtener la duración del arco eléctrico, es necesario contar con las curvas de disparo del dispositivo que se está utilizando, y obtener la corriente de arco eléctrico, con este dato, solo se debe trazar una línea en la curva de disparo y se obtendrá el tiempo que durará el arco eléctrico, depende mucho del dispositivo de protección (fabricante).

Para tener una mejor visión, se presenta una figura a modo de ejemplo del tiempo de arco eléctrico por medio de los disyuntores.

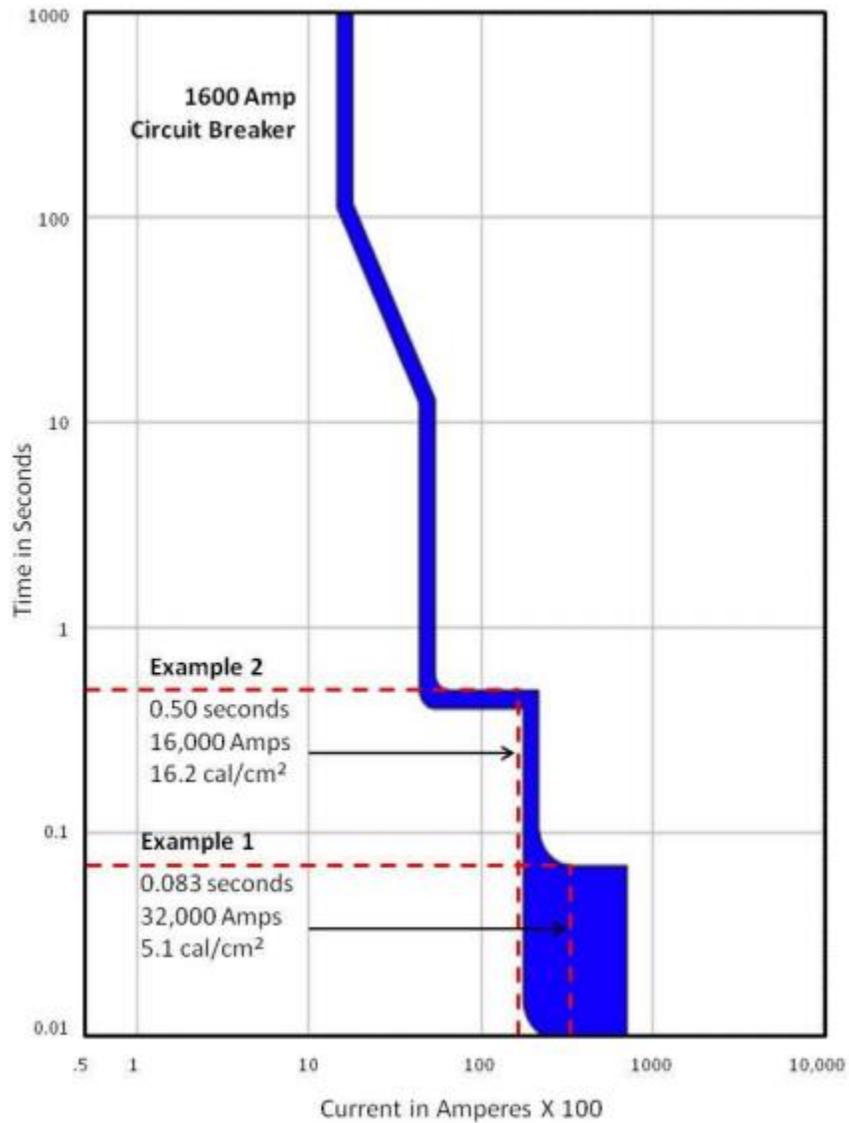


Figura 15 Ejemplo de selección de tiempo arco eléctrico
Fuente: Phillips, 2010.

En la figura 15, se plantea el ejemplo de una corriente de arco eléctrico de 32 000 A, con un disyuntor de 1600 A, se observa que la parte inferior del eje se encuentran las corrientes (X100), al trazar la corriente de 320 (A) se obtiene un tiempo de 0,083 (Cinco ciclos aproximadamente), en el ejemplo número dos con una corriente de 16 000 A, se obtiene un tiempo de 0,5 segundos. Es importante recordar que cuanto más tiempo se dure en mitigar la falla, mayor será la energía incidente de arco eléctrico.

2.6.1 Rotulación de los tableros

Los tableros debidamente rotulados evitan accidentes. Un tablero debe tener sus etiquetas de arco eléctrico, para las cuales se deben saber qué rotular y qué información se debe presentar. Existen muchas formas de etiquetar un tablero, pero siempre debe tener la información básica:

- Voltaje del sistema.
- Límite de arco eléctrico.
- Energía incidente, clasificación mínima de EPP.

Realizar una evaluación de riesgo de arco eléctrico de forma interna requiere tiempo, recursos y software de análisis para calcular de forma precisa el riesgo de arco eléctrico (BRADY, 2018).

Es importante mencionar que, en la rotulación de las etiquetas de arco eléctrico, la palabra “Danger” y “Warning” se utilizan diferente, en tableros mayores a 600 V se suele utilizar la palabra “Danger” y en tableros menores de 600 V la palabra “Warning”.

The diagram shows a warning label with the following structure:

- Encabezado:** A red box with a black exclamation mark icon and the word **WARNING**.
- Encabezado:** Below the red box, the text **Peligro de arco eléctrico y descarga EPP adecuado requerido**.
- Table:** A table with two main columns: **PROTECCIÓN DE ARCO** and **PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS**.

PROTECCIÓN DE ARCO		PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS	
Energía incidente a:	18 pulgadas	Riesgo de choque cuando se retira la cubierta	480 VAC
Clasificación mín. de arco:	0.45 cal/cm ²	Acercamiento limitado	42 pulgadas
Límite de arco eléctrico:	10 pulgadas	Acercamiento restringido	12 pulgadas
Clase de guantes:	00	Nombre de bus:	
EPP: Camisa y pantalón o overol, no fundentes (ASTM F1506) o de fibra no tratada) + casco + lentes de seguridad + protección auditiva		PNL_P-5	
		Prot Dev: 100/3 BS-18 LAB PNL	
- EPP específico para el sitio:** Located below the table.

Figura 16 Requerimientos mínimos de una etiqueta de arco eléctrico
Fuente: BRADY, 2018.

Capítulo 3: Recopilación de datos

En esta sección, se hará énfasis en la recolección de datos importantes para el rediseño de iluminación e iluminación de emergencias, así como el estudio de cortocircuito y arco eléctrico. La recopilación de datos es de suma importancia, debido a que hay que conocer el sistema actual de la empresa, para entender cómo están las instalaciones, qué se podría dejar o reestructurar y qué es necesario cambiar completamente.

3.1 Rediseño de iluminación

Para el rediseño de iluminación de COOPESA R.L., se tomarán en cuenta datos importantes como el tipo de trabajo a realizar, los colores de las paredes, techo y suelo (niveles de reflectancia), altura del montaje de luminarias existente y altura del techo. Para ello, se elaboró una hoja en Excel para recopilar los datos, donde cada local representa un número.

Tabla 1 Hoja de datos de iluminación

Mediciones para Iluminación						
Número	Altura Lumi / Altura Techo	Techo	Piso	Pared	Sentado-Pie	Observaciones
1	2,40 / 2,40	Blanco	Gris	Blanco	Sentado	Oficina
2	2,40 / 2,40	Blanco	Gris	Blanco	Sentado	Sala Reunión
3	2,40 / 2,40	Blanco	Gris	Blanco	Sentado	Oficina
4	2,40 / 2,40	Blanco	Gris	Blanco	Sentado	Oficina

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tipo de trabajo a realizar: es de importancia saber el tipo de trabajo, si es de oficina, especializado o alguna otra actividad que involucre un nivel de iluminación más alto, ya que, debido a que la cooperativa es de un servicio especial (aeroespacial), existen muchas tareas que se deben realizar con mucha precisión, así como un buen acabado. También es de importancia saber si la tarea a realizar es sentado o de pie, pues el nivel de iluminación se ve afectado con la altura de la luminaria. Si el trabajo se realizado sentado, se recomienda hacer el cálculo a 0.85 m y las mediciones de deslumbramiento a 1.2 m, según lo menciona Calleja (2001).

Índices de reflectancia: dependiendo del color se ve afectado en medida el índice de reflectancia, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 46.7 • Factores de reflexión de diferentes colores y materiales iluminados con luz blanca.

Color/material	Factor de reflexión (%)
Blanco	100
Papel blanco	80–85
Marfil, amarillo lima	70–75
Amarillo brillante, ocre claro, verde claro, azul pastel, rosa claro, crema	60–65
Verde lima, gris pálido, rosa, naranja, gris azulado	50–55
Madera clara, azul celeste	40–45
Roble, hormigón seco	30–35
Rojo oscuro, verde árbol, verde oliva, verde hierba	20–25
Azul oscuro, púrpura	10–15
Negro	0

Figura 17 Factores de reflexión de los colores
Fuente: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2018.

COOPESA es una empresa en potencial expansión, lo cual requiere un acomodo de oficinas y talleres muy frecuente, por ello, si se analiza el sistema de iluminación actual, se concluye que existen luminarias “partidas” por paredes, niveles de iluminación muy bajos o altos, por lo cual algunas paredes, inclusive, son de colores totalmente diferentes (violeta, por ejemplo), por lo tanto, se quiere volver a pintar algunos espacios con colores más claros, para el diseño de iluminación se tomarán en cuenta estos colores lo más exacto posible.

Altura de montaje y techo: la altura del techo es de mucha importancia para un buen diseño de iluminación, ya que se puede colocar la luminaria suspendida o empotrada, al existir una altura de techo general de 2.7 m (oficinas) se utiliza una luminaria empotrada, pero, en ciertos talleres o espacios grandes, donde la altura del techo es precisamente elevada (3.4 m) se diseña con luminarias suspendidas, recordando que cuanto más cerca esté el foco de luz del piso, mayor va a ser el nivel de lumens, pero se ve afectado el índice de deslumbramiento UGR.

3.2 Diseño de iluminación de emergencias

Para el diseño de iluminación de emergencias, se procede a obtener los datos de la estructura a diseñar, COOPESA cuenta con 3 hangares y una capacidad para 7 aeronaves.

Tabla 2 Dimensiones de los hangares.

Hangar	Altura (m)	Área aproximada (m ²)	Capacidad
Hangar Principal	16.8	3900	4 aeronaves
Hangar 2	13,45 /13.75 /15.14	3100	2 aeronaves
Hangar 3	18.03	1700	1 aeronave

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que en el diseño de iluminación, se deben conocer los datos de reflectancia de las paredes, piso y techo, la altura de las luminarias para no impactar con las colas de las aeronaves, para ello, se contó con los planos constructivos de los tres hangares.

3.3 Estudio de cortocircuito

Los datos eléctricos recolectados no son muy actuales, lo cual dificulta el estudio de cortocircuito, la cooperativa cuenta con diferentes acometidas, para el estudio de cortocircuito y arco eléctrico, se realizó el diagrama unifilar de 4 acometidas diferentes, los cuales presentan equipos críticos para la compañía, dos de ellos a 480 V y los otros dos a 240 V.

Para el estudio de cortocircuito monofásico, es de importancia conocer bien las características de los transformadores, en el caso de la empresa, sus transformadores cuentan con la característica de estar sólidamente aterrizados, lo cual significa que su impedancia de tierra es cero ($Z_f = 0$), esto afecta en los cálculos de cortocircuito monofásico.

3.4 Estudio de arco eléctrico

Para el estudio de arco eléctrico, se recopilaron los datos de los disyuntores termomagnéticos, todos son marca Square D, de diferentes capacidades y con un tiempo de interrupción entre 0.016 s y 0.026 s. Se contó con el catálogo de estos disyuntores para poder observar las gráficas de interrupción.

Capítulo 4. Criterios de diseño

En un proyecto eléctrico se debe contar con ciertos criterios y parámetros para un buen diseño, dentro del diseño del tema de iluminación existen varios factores que podrían hacer que un proyecto eléctrico no sea el adecuado, para COOPESA R.L. es de vital importancia contar con un diseño excepcional en lo que respecta a la iluminación, cuenta con la particularidad que se debe adaptar a estándares internacionales como la FAA y EASA.

4.1 Rediseño de iluminación

Sin duda alguna, el área más importante para iluminar adecuadamente deben ser los hangares, la normativa nacional INTE/ISO 8995-1:2016 indica que el área de hangares debe estar en los 500 Lux, con un índice de deslumbramiento máximo de 22 y un índice de rendimiento de color de 80 o mayor.

Otro aspecto de diseño es el área a iluminar, para los hangares se procedió a seccionarlos en áreas diferentes, por ejemplo, para el hangar principal que cuenta con una capacidad de 4 aeronaves, se secciona el área a iluminar en 4 secciones (una para cada aeronave), con el fin de preservar la buena iluminación (500 lux) para cada avión, el hangar 2 en dos áreas y el hangar 3 en una sola área, para explicarlo mejor se presenta la figura 18.

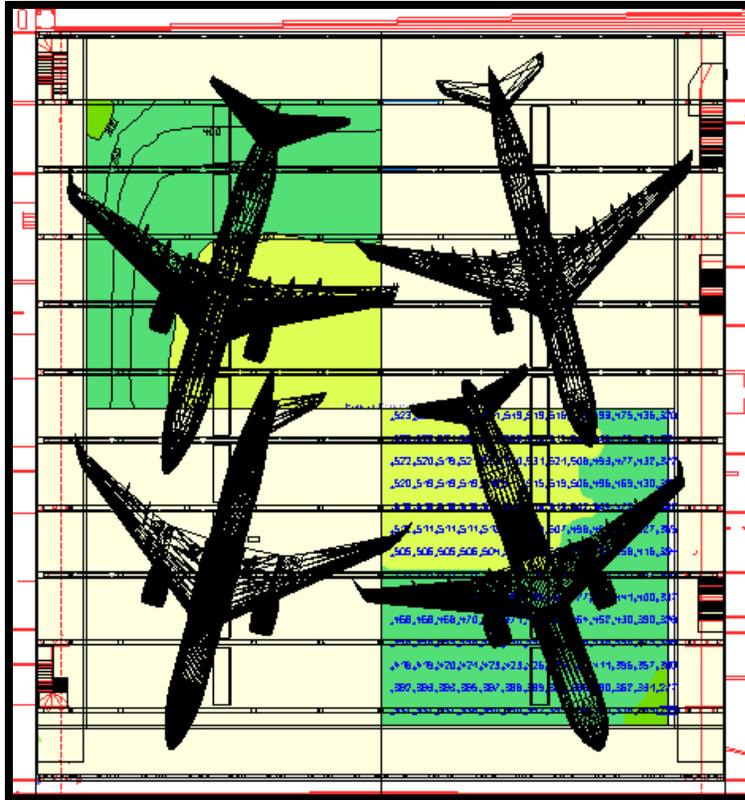


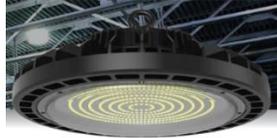
Figura 18 Áreas de iluminación, Hangar Principal
Fuente: Elaboración propia (DIALux Evo, 2019)

Se pueden apreciar las cuatro áreas a iluminar por separado (en la figura se muestran solo dos), la idea es principalmente que COOPESA, en ciertas ocasiones, trabaja 1, 2, 3 o 4 aviones simultáneamente. En caso de que un avión no se requiera trabajar en horas nocturnas, en esa área, no se encenderían las luces, al hacer esto no se afectan las otras áreas, debido a que se aseguró que en cada área existan 500 lux independientemente de las otras, lo mismo ocurre si se llega a dañar una luminaria, lo cual genera un ahorro energético importante. El área no quedaría completamente a oscuras, debido a la reflectancia de la estructura y a la luz indirecta de las otras luminarias.

Dentro de una instalación industrial tan grande como COOPESA, se cuenta con diferentes niveles de iluminación a ocupar, tanto como oficinas, talleres de pintura, talleres de inspección, tratado de metales a muy alta precisión, etc. y, por supuesto, el área de mantenimiento de motores y aeronaves en sí, por lo tanto, un solo tipo de luminaria no cumpliría con todas estas áreas, se seleccionaron 7 tipos diferentes

de luminarias, con las cuales se cumple cada área de trabajo (340 áreas en total), según la normativa nacional.

Tabla 3 Luminarias usadas para el rediseño.

Luminarias Propuestas en DIALux Evo.							
Marca o Proveedor	SYLVANIA	LEDENCR	EATON, COOPER LIGHTING	OSRAM, ILUKON	RIGILUZ - HIGH BAY LIGHT 60W	RIGILUZ - HIGH BAY LIGHT 80W	ZOLU LIGHTING- HIGH BAY LED 150 W
Código	P27	PL13	GR LED	TRLED	HBL60	HBL80	HBL150
Modelo	P275402X2	PLV13W	GRLEDT2X4	TROFFERLED2X4	HBL60W	HBL80W	HBL150W
Flujo Luminoso (Lm)	4000	1000	6400	10000	9000	12000	27000
Potencia (w)	40	13	60	75	60	80	150
Dimensiones (mm)	603 X 603 X 10	Ø 165 X 26	120 X 60 X 83	120 X 60 X 83	Ø 261 X 172	Ø 261 X 172	Ø 280 X 188
Voltaje (V)	120 - 277	120 - 277	120 - 277	120 - 277	100 - 277	100 - 277	100-277
Temperatura Color (K)	4000 - 6500	4000 - 6500	4000 - 6500	4000 - 6500	4000 - 6500	4000 - 6500	3000-6500
RA	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80
Otros	Panel LED - Montaje en Techo	Panel LED - Montaje en Techo	Panel LED - Montaje en Techo/suspendido	Troffer LED - Montaje en Techo / Suspendido	HIGH BAY LIGHT - Montaje Suspendido	HIGH BAY LIGHT - Montaje Suspendido	HIGH BAY LIGHT - Montaje Suspendido
Imagen							

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Observando las características de las luminarias, las necesarias para oficinas y pasillos son del tipo panel led, una luminaria muy utilizada en la industria para estas aplicaciones; para talleres, se presenta el rediseño con luminarias tipo Troffer led (GRLED, TRLED), que cuentan con una carcasa resistente a los golpes, y una cubierta que protege el panel led de su interior; para lugares con grandes alturas (>4 m), se utilizan luminarias HBL (60 y 80 W) y, especialmente para los hangares, la serie de 150 W, cabe destacar que todas cuentan con diferentes certificaciones internacionales (UL, CE, ROHS, etc.).

Para el hangar principal, se cambian 80 luminarias HID por 90 HBL150W, en el hangar 2 se cambian 60 HIB por 68 HBL, y en el hangar 3 se deja la misma cantidad (61 luminarias), solo se cambia la marca y la potencia por HBL150W.

4.2 Diseño de iluminación de emergencias

No existe una norma nacional para la iluminación de emergencias específica para los hangares, la norma NFPA 101 – 2006 (Código de seguridad humana), al igual que el Manual de Disposiciones Técnicas Generales Sobre Seguridad Humana Y Protección contra Incendios, versión 2013 (Cuerpo de bomberos de Costa Rica) dan una serie de requerimientos mínimos por cumplir. Dentro de ellos, un nivel mínimo de 10 Lux al inicio y un mínimo en cualquier punto de 0,1 lux, además de contar con una autonomía de 90 minutos.

COOPESA suministró un informe técnico con una serie de requisitos de iluminación, dentro de ellos el de iluminación de emergencia, el cual lo estipula en 20 Lux, con esta información y verificando no faltar a la normativa nacional se procede a diseñar el sistema de iluminación de emergencias.

Área	Nivel de Mantenimiento Promedio (lux)	
	Normal	Emergencia
Salas de recepción, escaleras, corredores y vestíbulos	250	20
Oficinas	500	20
Salones o salas de reuniones	350	20
Cuartos de control de seguridad	500	500
Aparatos de estación contra incendios y cuartos de alarma	500	20
Cuartos técnicos (eléctricos y mecánicos)	300	20
Cuartos técnicos (Telecom)	500	20
Lavatorios	300	20
Áreas de trabajo-talleres	500	20
Áreas de trabajo-hangares	500	20
Bodegas	250	20
Cuartos de servicio	300	20

Figura 19 Nivel de iluminación de emergencias en hangares.
Fuente: COOPESA R.L., 2019.

Para este diseño, se plantean dos alternativas, debido a que el sistema actual cuenta con lámparas HID (Halogenuros). Estas presentan un inconveniente, cuando se dejan de alimentar y se enfría, tardan aproximadamente 10 minutos en volver a encender, un sistema de iluminación de emergencias debe proveer iluminación adecuada en cualquier momento. Con las lámparas LED la mayoría de estas luminarias, al volver el flujo de corriente, se apagan al instante, lo que ocasionaría 10 minutos a oscuras (mientras vuelven a encender las HID), por lo tanto, se diseñaron dos alternativas, en caso que se proceda a realizar el cambio de luminarias a LED y el otro caso en el que se quede el sistema actual.

A continuación, se presentan los datos de las dos alternativas.

Tabla 4 Diferentes alternativas para el sistema de emergencias.

Diseño de Iluminación de Emergencias para los Hangares		
Luminarias Propuestas		
Información	Alternativa 1	Alternativa 2
Condición	Instalaciones rediseñadas, LED	Instalaciones Actuales o LED
Marca	Sylvania	DUALUX
Modelo	LUXEM N - MID	DH-110
Flujo Luminoso (Lm)	11190	7700
Potencia (W)	90	110
Dimensiones (mm)	1182 X 343 X 82	12,5 X 20 X 7,7 X25,7, Ø 10,18
Voltaje (V)	120 - 277	120
Batería (h)	1,5	1,5
Vida Útil (h)	60000	50000
Tiempo de activación (s)	0,5	0,5
Normas	NOM, LM79, LM80	UL
Otros	Luminaria con Batería de emergencia, LED.	Luminaria LED, solo emergencia.
Imagen		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede observar, se cuenta con una marca reconocida a nivel mundial, como lo es Sylvania, y una marca nacional (DUALUX) especialistas en iluminación de emergencias. La luminaria LUXEM N es para grandes alturas, con la particularidad que cuenta con baterías de emergencia que se activan al instante cuando el flujo de corriente falla. Estas luminarias aportan normalmente un flujo de 22380 lm (4 tubos led) en el modo de emergencia tiene una autonomía de 90 minutos y alimenta 2 luminarias (1190 lm), por lo tanto, como se observa en el análisis económico, se pueden sustituir 16 luminarias HBL150W por estas luminarias y así reducir un poco la inversión del diseño.

Con respecto a las luminarias especiales de emergencia DUALUX, cuenta con diferentes ventajas, al ser fabricantes ellos realizan la luminaria con las

especificaciones deseadas, cuentan con un amplio stock de repuestos, además, posee el sistema OPTO SENS, un sensor de luz que evita que se enciendan las lámparas, aunque falte la energía eléctrica, si existe algún tipo de iluminación (5-10-15-20 o más lux, varía según la configuración) y, para el caso de la empresa, se le puede incluir la tarjeta METALARC (también de DUALUX), una tarjeta temporizadora que apaga la luminaria minutos después (4-15 minutos) aun cuando el flujo de corriente se establezca, dependiendo de su configuración.

4.3 Estudio de cortocircuito

La instalación eléctrica de COOPESA ha cambiado a lo largo de los años, ya que es una cooperativa que inicia operaciones en el año 1963. Actualmente, cuenta con 3 hangares y una capacidad de 7 aeronaves, como sigue en potencial crecimiento, la instalación eléctrica cambia constantemente, un ejemplo de ello es tener varias acometidas, y sub-ramales. Igualmente, no cuenta con un diagrama unifilar y, al tener tal magnitud, se decide crear el diagrama unifilar y realizar el estudio de cortocircuito a los componentes más críticos, con la experiencia de los profesionales eléctricos a cargo. Se destaca que existen fundamentalmente 4 áreas de trabajo que hay que proteger a toda costa contra una falla por cortocircuito.

1. Planta de emergencia.
2. Compresores.
3. Iluminación de los hangares.
4. Servidores de informática.

El servicio que brinda la empresa es muy técnico, lo cual implica la ausencia de motores de gran potencia, pero cuenta con una red de aire comprimido con bastante magnitud, por lo cual la afectación de compresores es una pérdida grande de producción, ya que estos alimentan áreas como estructuras, pintura, láminas, etc.

Como el servicio brindado es 24/7, los 365 días del año, se reparan y se reciben aeronaves, incluso en la noche-madrugada, por ello, un fallo en las luminarias los dejaría completamente sin operar, produciendo atrasos y pérdidas monetarias.

Lo mismo sucede con los servidores de informática, al quemarse o fallar una tarjeta, todas las órdenes de trabajo, recibo y retiro de materiales quedan imposibilitadas,

se tiene que proceder a anotar manualmente cada orden, lo cual produce una demora importante en las labores de mantenimiento y reparación de las aeronaves. Para el estudio de cortocircuito monofásico, se tomaron ciertos criterios de diseño, como se resolvió el cortocircuito monofásico por medio de las componentes simétricas, se tomó que las componentes positivas son iguales que las negativas. Las únicas que varían son las componentes homopolares (secuencia cero), para ello, en los transformadores, la secuencia cero se tomó con el mismo valor de impedancia que la de secuencia positiva, para el caso de motores la reactancia subtransitoria se definió en 20 %, para los calibres de los cables según la teoría es tres veces mayor que las impedancias positivas. Con estos criterios se procedió a calcular las corrientes monofásicas de cada una de las acometidas presentadas. Para el cálculo de cortocircuito, se procede a realizar solo con el aporte de la red eléctrica, se omite el estudio de cortocircuito con la fuente local (grupo electrógeno), debido a que la magnitud del generador es menor que la del bus infinito (RED), por este motivo se procede a omitir el cálculo de corrientes de cortocircuito con el generador.

4.4 Estudio de arco eléctrico

Para el estudio de arco eléctrico en los tableros de imposible acceso, se tomaron varios criterios de diseño estandarizados, como la separación de las barras de 13 mm, las distancias de trabajo de 457,2 mm, entre otros.

Capítulo 5: Resultados

En esta sección, se encuentran los resultados obtenidos mediante las metodologías utilizadas a lo largo del proyecto, el objetivo principal de basarse en las normas consultadas es tener una base teórica sólida que garantice que los resultados calculados estén basados en técnicas confiables, seguras y adecuadas para la instalación.

Con el software DIALux evo 8.1, se tiene como objetivo principal diseñar de manera adecuada cada espacio en la empresa, igualmente con el DIALux 4,13, y la utilización del Software ETAP 16, para verificar que los resultados manuales de cortocircuito y arco eléctrico son aproximados.

En la industria, existen diferentes tipos de fallos de cortocircuito, el principal es el trifásico, pero también se da en muy alto porcentaje el monofásico, para la empresa es de importancia analizar ambos. El trifásico, por la gravedad de sus corrientes de cortocircuito, y el monofásico, debido a las condiciones de la empresa, al encontrarse en una zona de alta incidencia de rayos, como lo es Alajuela y por las grandes alturas de sus hangares, COOPESA R.L. ya se ha visto afectado por la caída de estos, provocando lesiones a sus trabajadores y afectación de sus equipos.

5.1 Rediseño de iluminación de COOPESA R.L.

Actualmente, los niveles de iluminación de la empresa no cuentan con los niveles mínimos que exige la norma, para realizar el rediseño se contó con un estudio preliminar de lumens en las instalaciones, donde la gran mayoría se encontraban por debajo de la norma, aun así, se tomaron las mediciones de iluminación de los hangares, esto con el fin de verificar dichos resultados, se muestran los niveles de iluminación tomados el día 4 de abril del 2019.

Tabla 5 Nivel actual de lúmenes en los hangares

Nivel de Lux actualmente en los hangares			
Área	H medición (m)	Hora	Em lux
Hangar 1			
Norte Izquierda	0,85	06:17 p.m.	223
Norte Derecha	0,85	06:23 p.m.	231
Sur Izquierda	0,85	06:28 p.m.	222
Sur Derecha	0,85	06:32 p.m.	220
Pasillo Norte	0,85	06:37 p.m.	100
Pasillo Sur	0,85	06:40 p.m.	120
Pasillo Este	0,85	06:43 p.m.	140
Pasillo Oeste	0,85	06:47 p.m.	118
Hangar 2			
Este	0,85	06:00 p.m.	190
Oeste	0,85	06:05 p.m.	266
Pasillo Norte	0,85	06:09 p.m.	170
Pasillo Sur	0,85	06:12 p.m.	117
Hangar 3			
Central	0,85	06:56 p.m.	225

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se logra observar que ningún nivel medido alcanza el mínimo permitido, esto debido a que cuenta con 80 luminarias HID, que su eficacia luminosa se encuentra en el rango de 70/90 lm/W. Además, existen luminarias quemadas, con sus campanas dañadas o simplemente desgastadas, lo cual explica el bajo nivel de iluminación presentado en los hangares 1 y 2.

Con respecto al hangar 3, este cuenta con 55 luminarias marca Hyundai Lighting de 150 W y 6 de 200W, según las especificaciones del fabricante, una luminaria de 150 W da un flujo luminoso de 18900 lm y la de 200 W da 25000 lm, si se simulan estas mismas luminarias en DIALux Evo, da un promedio menor a 500 Lux (a 0,85 mts de altura), lo cual indica que no cumple con la normativa nacional. Otro problema que se presenta es que es frecuente que las lámparas dejen de emitir luz. Investigando

se encontró que estas luminarias no presentan la certificación UL (Underwriters Laboratories), lo que no asegura ninguna confiabilidad.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos del rediseño de la empresa, son 340 áreas en total, las cuales se aseguró que cumplieran con la normativa nacional.

Tabla 6 Resumen de resultados de los Hangares

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
HANGARES	Hangar Principal						
	Norte Izquierda	500	22	80	529	21,3	> 80
	Norte Derecha	500	22	80	525	21,3	> 80
	Sur Izquierda	500	22	80	520	21,3	> 80
	Sur Derecha	500	22	80	518	21,3	> 80
	Pasillo Norte	200	28	40	265	18,6	> 80
	Pasillo Sur	200	28	40	256	18,6	> 80
	Pasillo Este	200	28	40	290	18,6	> 80
	Pasillo Oeste	200	28	40	265	18,6	> 80
	Hangar 2						
	Este	500	22	80	633	20,1	> 80
	Oeste	500	22	80	573	20,1	> 80
	Pasillo Norte	200	28	40	404	20	> 80
	Pasillo Sur	200	28	40	352	20	> 80
	Hangar 3						
	Central	500	22	80	610	18,6	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los hangares, sin duda alguna, son de las áreas más importantes a cumplir con la norma, como se puede observar, todas las áreas superan los 500 lux, y su índice

de deslumbramiento (CUDL) o UGL (en inglés), se encuentran por debajo de su valor límite, el valor Ra se supera con facilidad al buscar luminarias que entreguen este valor de fábrica, para poder cumplir con la normativa, aparte de cambiar el sistema viejo a un sistema ahorrador de energía, como lo es el LED. Se insertaron más luminarias en los hangares 1 y 2, específicamente 10 luminarias más en el hangar 1, en la parte central de las vigas que recorren el largo del hangar, esto para poder aportar mayor flujo luminoso a las demás áreas. En el hangar 2, igualmente, se agregaron 8 luminarias más también en la parte central del hangar, todas estas luminarias son HBL150.

Tabla 7 Resumen de resultados de exterior.

Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
Exterior (SALUD, COOPACEC)	Enfermería, baños pacientes	200	22	80	295	12,6	> 80
	Enfermería, Cocina	200	22	80	303	20	> 80
	Enfermería, consultorio 1	500	19	90	764	15,6	> 80
	Enfermería, consultorio 2	500	19	90	528	17,7	> 80
	Enfermería, consultorio 3	500	19	90	552	17,4	> 80
	Enfermería, Recepción	500	19	80	516	19	> 80
	Enfermería, sala de espera	200	22	80	350	19,4	> 80
	Odontología, Recepción	500	19	90	628	18,6	> 80
	Odontología, sala 1	500	19	90	585	16,5	> 80
	Odontología, sala 2	500	19	90	531	14,4	> 80
	Almacén	100	25	60	163	16,2	> 80
	Bodega RED-TAG	100	25	60	141	17,9	> 80
	Bunker	100	25	60	176	19,8	> 80
	CPC, aula	500	19	80	695	19	> 80
	CPC, Baño	200	25	80	331	18,9	> 80
	CPC, Baño	200	25	80	330	18,9	> 80
	CPC, Baño	200	25	80	268	13,6	> 80
	CPC, comedor	200	22	80	303	20,5	> 80
	CPC, comedor	200	22	80	315	19,7	> 80
	CPC, Oficina 1	500	19	80	796	15,3	> 80

CPC, Oficina 2	500	19	80	576	18,6	> 80
CPC, Oficina 3	500	19	80	612	18,7	> 80
CPC, Oficina 4	500	19	80	615	15,8	> 80
CPC, Oficinas	500	19	80	533	16,4	> 80
CPC, Sala reuniones 1	500	19	80	591	18,5	> 80
CPC, Sala reuniones 2	500	19	80	678	18,5	> 80
CPC, Sala reuniones 3	500	19	80	611	18,8	> 80
Envío de materiales, bodega	100	25	60	151	15,2	> 80
Envío de materiales, oficinas	500	19	80	500	18,6	> 80
Envío de materiales	100	25	60	133	20,7	> 80
Seguridad entrada	300	19	80	350	17,7	> 80
Caseta, Guarda	300	19	80	300	18,1	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En las áreas exteriores a la empresa, se encuentra el edificio de salud y COOPACEC (asociación solidarista), también parte de la empresa cuenta con áreas muy especializadas en la parte médica, como lo son las salas de odontología, las salas de enfermería, etc. En la visita al edificio, se logró observar justamente en la sala de odontología dos focos fluorescentes quemados, luminarias partidas por paredes, etc.

Todas las áreas se logran cumplir por encima de la norma, se utilizan luminarias GRLED, para los almacenes, paneles Led P27, para oficinas y PL13, para baños y áreas pequeñas a iluminar.

Tabla 8 Resumen de resultados de TMC-TALLERES

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
TMC, TALLERES	Bóveda de transformadores	200	25	60	238	16,7	> 80
	Bóveda de transformadores 2	200	25	60	238	16,7	> 80
	Taller de accesorios, Oficina	500	19	80	666	12,9	> 80

Taller de peso y balance	500	22	80	513	20,9	> 80
Taller de peso y balance, pasillos	100	25	80	129	24,9	> 80
Taller de tratamientos térmicos	200	25	20	280	15,8	> 80
Taller de soldadura GSE	300	25	60	376	17,7	> 80
Baño TMC	200	25	80	217	19,7	> 80
Booth Lijado	300	22	80	300	22	> 80
TMC, Mesas de trabajo	500	25	80	694	23,9	> 80
TMC, Bodega	100	25	60	146	22,3	> 80
TMC, Capilla de Pintura	750	22	80	851	13,9	> 80
TMC, Comedor-Duchas	200	22	80	283	17,1	> 80
TMC, Corte y Lijado	750	22	80	804	14,6	> 80
TMC, Cuarto Limpio	1000	19	80	1000	18,9	> 80
TMC, Cuarto Side Wall	200	25	60	271	22,3	> 80
TMC, Mesas de trabajo	500	25	80	613	25	> 80
TMC, Oficina 2	500	19	80	672	12,7	> 80
TMC, Oficina 3	500	19	80	742	10,5	> 80
TMC, Oficinas	500	19	80	689	17,1	> 80
TMC, Pasillo Grande	100	25	80	217	19,3	> 80
TMC, Pintura	500	22	80	501	19,1	> 80
TMC, Side Wall	300	25	60	456	17,7	> 80
Bodega de Partes Removidas, Arriba	100	25	60	136	25	> 80
Bodega de Partes Removidas, Abajo	100	25	60	113	24,4	> 80
Vestidores Producción	200	22	60	237	20,8	> 80
Comedor de Producción	200	22	80	245	22	> 80
Booth	500	19	80	606	18	> 80
Centro administrativo produ, Oficina 1	500	19	80	533	18,6	> 80
Centro administrativo produ, Oficina 2	500	19	80	630	19	> 80
Centro administrativo produ, Oficina 3	500	19	80	618	19	> 80
Taller de accesorios, bodega 1	100	25	60	195	17,8	> 80
Taller de accesorios, bodega 2	100	25	60	229	17,9	> 80
Taller de accesorios, casilleros	200	22	80	200	10,4	> 80
Taller de accesorios	300	25	60	377	17,2	> 80
Cuarto de compresores	200	25	60	200	22	> 80
Electroplating, Oficinas	500	19	80	535	19	> 80
Electroplating	300	25	60	310	19,9	> 80
Electroplating, pasillo	100	25	80	129	23,2	> 80

Taller de Baterías	300	25	60	384	14,9	> 80
Taller de Magnaflux	300	25	60	427	15,4	> 80
Taller de Magnaflux, sala 2	300	25	60	325	16,5	> 80
Equipo de Brigada	300	25	60	370	15,1	> 80
Baños	200	25	80	231	18	> 80
Taller de accesorios	300	25	80	383	16,4	> 80
Pasillo Compresores	100	25	80	134	23,1	> 80
Estantería	100	25	60	200	16	> 80
Baños de Producción	200	25	80	249	23,1	> 80
Bodega American	100	25	60	132	19,3	> 80
Bodega Limpieza 1	100	25	60	184	18,7	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El taller de materiales compuestos (TMC), un taller especializado en pintura, preparación de materiales y pegado de diferentes materiales de las aeronaves, cuenta con áreas especializadas como lo son la capilla de pintura (851 lux), la cual utiliza luminarias GRLED, con su carcasa desmontable para su fácil mantenimiento.

También están las áreas de preparación de las partes (694 lux), como lo son estructuras de las aeronaves, las cuales requieren de una alta precisión. Por este motivo, se utilizan luminarias TRLED, luminarias muy potentes, debido a la altura en la que se encuentra el techo de esta área (3,5 m). Además, cuenta con un cuarto limpio (1000 lux), una sala donde se requiere entrar en total descontaminación, debido a que ahí se preparan las mezclas de los compuestos (aditivos) para unir las piezas y se realizan tareas de pegado, lo que necesita una alta iluminación, además de estar a una temperatura controlada.

Tabla 9 Resumen de resultados de TALLERES MTO

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra

Talleres MTO	Bodega Desechos Peligrosos	100	25	60	140	17,4	> 80
	Taller Neumático	300	22	80	455	14,1	> 80
	Taller de celdas de combustible	300	22	80	462	16	> 80
	Taller de celdas de combustible, bodega	100	25	60	152	18	> 80
	Bodega 100	200	25	60	238	19,3	> 80
	Inspección	300	19	80	367	18,3	> 80
	Taller de Soldadura de Aviación	300	25	60	448	25	> 80
	Taller de Soldadura de Aviación, comedor	200	22	80	270	21,4	> 80
	Taller de Soldadura de Aviación, oficina	500	19	80	673	16,3	> 80
	Taller de Soldadura de MTO, Oficina	500	19	80	513	19	> 80
	Taller de Soldadura de MTO	300	25	60	512	25	> 80
	Taller Automotriz, Bodega	200	25	60	290	21,3	> 80
	Planta Eléctrica	200	25	60	279	20,1	> 80
	Transformadores Eléctricos	200	25	60	378	19,8	> 80
	Salud Ocupacional	500	19	80	502	18,7	> 80
	Mantenimiento, Comedor	200	22	80	330	16,8	> 80
	Mantenimiento, Oficina 1	500	19	80	521	18,5	> 80
	Mantenimiento, Oficina 2	500	19	80	612	15,2	> 80
	Mantenimiento, Oficina Jefe	500	19	80	511	19	> 80
	Mantenimiento, Pasillo	100	28	40	200	21,1	> 80
	Mantenimiento, Archivero	500	19	80	723	16,4	> 80
	Mantenimiento, casilleros	200	22	60	200	21,8	> 80
	Taller Automotriz	300	25	80	360	25	> 80
	Taller Mecánico	300	25	80	398	25	> 80
	Bodega de Láminas	200	25	60	362	24,5	> 80
	Taller Eléctricos	200	25	60	355	20,1	> 80
	Taller de Carpintería	300	25	80	408	21	> 80
	Bodega 100	100	25	60	142	22,6	> 80
	Bodega	100	25	60	215	15,7	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El área de mantenimiento, donde se encuentran los talleres de automotriz, carpintería, soldadura, entre otros, talleres con niveles de iluminación de 300 Lux. En el taller de soldadura de avión se realizan pequeñas soldaduras en las aeronaves, debido a que la mayoría de la estructura del avión es a base de remaches (mayor facilidad de desmontar piezas, menos peso, etc.), todas las áreas rediseñadas se encuentran por encima del nivel de iluminación requerido por la norma. Para los talleres, se utilizan luminarias GRLED, en los talleres de carpintería es recomendable el uso de protectores antipolvo para estas luminarias (actualmente traen un protector, pero según recomendación del asesor de ventas, es recomendable instalarle un protector adicional).

Tabla 10 Resumen de resultados de Talleres segundo piso

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
Talleres Segundo Piso	Baño Hombres, Producción	200	25	80	216	25	> 80
	Taller de equipo de emergencia, oficinas	500	19	80	552	18,8	> 80
	Taller de equipo de emergencia, Sala	500	19	80	559	18,9	> 80
	Cuarto de Oxigeno	500	19	80	505	18,5	> 80
	Taller de equipo de emergencia, Comedor	200	22	80	422	16,3	> 80
	Taller de equipo de emergencia, Oficina	500	19	80	628	16,3	> 80
	Soda, Cocina	500	22	80	572	17,1	> 80
	Comedor COOPESA.R.L.	200	22	80	337	21,2	> 80
	Baño, Soda	200	25	80	205	19,4	> 80
	Soda	500	19	80	528	14,4	> 80
	Soda, Oficina-Almacén	200	25	60	330	19,6	> 80
Soda, preparación de alimentos	200	25	80	338	18,1	> 80	

	Taller de sillas, Casilleros	200	22	60	305	17,3	> 80
	Taller de Sillas, Comedor	200	22	80	294	17,6	> 80
	Taller de Sillas, Sala A	300	22	80	469	17,9	> 80
	Taller de Sillas, Sala B	300	22	80	446	16,6	> 80
	Soda, Pasillo	200	28	40	235	17,9	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el segundo piso del área de talleres, se encuentra el comedor (205 lux), el taller de sillas (actualmente solo se utiliza para guardar sillas), el cuarto de oxígeno (505 lux) donde se recargan, reparan y almacenan los tanques de oxígeno para las aeronaves, al igual que los anteriores se utilizan luminarias P27 para oficinas, GRLED para el comedor, y los talleres.

Tabla 11 Resumen de resultados de Administración segundo piso.

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
Administración segundo piso.	Archivero de Contabilidad	200	25	80	232	18	> 80
	Aula 1	500	19	80	825	14,8	> 80
	Aula 2	500	19	80	807	14,4	> 80
	Aula 3	500	19	80	773	13,6	> 80
	Aula 4	500	19	80	605	16	> 80
	Aula 5	500	19	80	745	14,6	> 80
	Almacén del baño	100	25	60	123	17,2	> 80
	Baño de Adm Hombres	200	25	80	304	19,5	> 80
	Baño de Repts Mujeres	200	25	80	341	20,8	> 80
	Baño Norte adm	200	25	80	207	20,1	> 80
	Baño Mujeres Produ.	200	25	80	333	13,9	> 80
	Baño Repts Hombres	200	25	80	367	19,9	> 80
	Centro Desarrollo	500	19	80	579	17,9	> 80
	Centro Desarrollo 1	500	19	80	635	17,7	> 80
	Centro Desarrollo 2	500	19	80	607	17,7	> 80
CD oficina	500	19	80	613	15	> 80	

Comedor Adm	200	22	80	274	20	> 80
Contabilidad	500	19	80	555	17,7	> 80
Contabilidad Sala Reun.	500	19	80	522	18,5	> 80
Contabilidad Sala Reun 2.	500	19	80	508	17,2	> 80
Contraloría Ofic 1.	500	19	80	534	17,7	> 80
Contraloría Ofic 2.	500	19	80	526	16	> 80
Contraloría Sala Reun.	500	19	80	588	18,8	> 80
Control de Calidad	500	19	80	547	18,8	> 80
CC oficina 1.	500	19	80	542	15,9	> 80
CC oficina 2.	500	19	80	625	17	> 80
CC oficina 3.	500	19	80	500	11	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Ofic 1	500	19	80	517	17,6	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Ofic 2	500	19	80	521	15,4	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Ofic 3	500	19	80	520	15	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Ofic 4	500	19	80	610	15,2	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Ofic 5	500	19	80	506	16,3	> 80
Direcc. de Mercadeo y Ventas Sala Ventas	500	19	80	571	18,8	> 80
Dirección Financiera y GG Baño Gerencia	200	25	80	209	10,9	> 80
Dirección Financiera y GG Baño Gerente	200	25	80	246	15	> 80
Dirección Financiera y GG Cocina Gerente	200	25	80	200	11,6	> 80
Dirección Financiera y GG Ofic. Secretaria	500	19	80	520	18,1	> 80
Dirección Financiera y GG Ofic. Gerente	500	19	80	516	18,8	> 80
Dirección Financiera y GG Ofic. 2	500	19	80	626	17,9	> 80

Dirección Financiera y GG Ofic-Reuniones	500	19	80	592	17,8	> 80
Dirección Financiera y GG pasillo Gerencia	100	28	40	336	18,3	> 80
Dirección de RH Ofici 1	500	19	80	561	17,1	> 80
Dirección de RH Ofici 2	500	19	80	506	16,5	> 80
Dirección de RH Ofici 3	500	19	80	510	15,7	> 80
Dirección de RH Ofici 4	500	19	80	505	10,3	> 80
Dirección de RH Ofici 5	500	19	80	603	17,4	> 80
Dirección de RH Ofici 6	500	19	80	666	17,2	> 80
Dirección de RH Ofici 7	500	19	80	509	11,2	> 80
Dirección Recursos Humanos	500	19	80	550	17,9	> 80
Facturación y Tesorería Ofici 1	500	19	80	529	15,3	> 80
Facturación y Tesorería Ofici 2	500	19	80	513	12,6	> 80
Facturación y Tesorería Ofici 3	500	19	80	624	14,9	> 80
Facturación y Tesorería Ofici 4	500	19	80	534	15,9	> 80
Facturación y Tesorería Ofici 5	500	19	80	624	18,2	> 80
Informática Almacén-sala	500	19	80	578	18,1	> 80
Informática Almacén Datos	300	25	80	475	16,1	> 80
Informática Bodega-sala	300	25	80	493	19,8	> 80
Informática	500	19	80	681	18,3	> 80
Informática Ofici 1	500	19	80	571	11,1	> 80
Informática Ofici 2	500	19	80	674	18,8	> 80
Informática Ofici 3	500	19	80	639	15	> 80
Ingeniería de Proyecto y Mantenimiento	500	19	80	581	17,7	> 80
Oficina de Representantes 1	500	19	80	511	16,1	> 80

Oficina de Representantes 2	500	19	80	515	15,7	> 80
Oficina de Representantes 3	500	19	80	633	14	> 80
Oficina de Representantes 4	500	19	80	725	17,3	> 80
Oficina de Representantes 5	500	19	80	511	15,9	> 80
Oficina de Representantes 6	500	19	80	610	15,1	> 80
Oficina de Representantes 7	500	19	80	720	16	> 80
Oficina de Representantes 8	500	19	80	660	16,8	> 80
Oficina de Representantes 9	500	19	80	736	18	> 80
Oficina de Representantes 10	500	19	80	660	18,9	> 80
Oficina de Representantes 11	500	19	80	622	18,4	> 80
Oficina de Representantes 12	500	19	80	572	17,1	> 80
Oficina de Representantes 13	500	19	80	506	15,8	> 80
Oficina de Representantes 14	500	19	80	528	18,1	> 80
Ofici Consejo Administrativo-Consejo 1	500	19	80	508	16,2	> 80
Ofici Consejo Administrativo-Consejo 2	500	19	80	509	18,6	> 80
Ofici Consejo Administrativo-Consejo 3	500	19	80	552	16,1	> 80
Planillas	500	19	80	574	17,6	> 80
Publicaciones Oficina 1	500	19	80	686	14,1	> 80
Publicaciones Oficina 2	500	19	80	609	17,1	> 80

Sala Consejo Administrativo Baño	200	25	80	211	12,7	> 80
Sala Consejo Administrativo Sala Reunión	500	19	80	591	18,9	> 80
Sala de Ventas Oficina 1	500	19	80	669	17,9	> 80
Sala de Ventas Sala	500	19	80	622	17	> 80
Sala de Ventas Sala Reuniones	500	19	80	564	15,8	> 80
Servicio al Cliente Ofici 1	500	19	80	586	15,8	> 80
Servicio al Cliente Ofici 2	500	19	80	522	16	> 80
Servicio al Cliente Pasillo	100	28	40	200	17,9	> 80
Zona Franca Oficina 1	500	19	80	606	17,2	> 80
Zona Franca Oficina 2	500	19	80	633	15,2	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El área de administración, que cuenta con la mayor cantidad de luminarias, la gran mayoría P27, debido a que se encuentran la mayoría de las oficinas (500 lux), así como el área de control de calidad, contabilidad, planillas, salas de ventas, etc. Además, estas las oficinas semiabiertas (cubículos a media altura en áreas amplias), por lo cual se debe tener un buen diseño de iluminación, para que no generar sombras en los escritorios de los empleados, al ser a media altura. Existen áreas con iluminación más localizada (control de calidad, contabilidad, etc.), todas las áreas rediseñadas cumplen con la normativa nacional.

En esta área en específico se debe tener sumo cuidado con los índices de deslumbramiento, debido a que se ven afectados por las pantallas de las computadoras, las luminarias P27 cuentan con un difusor lechoso, específicamente para evitar el deslumbramiento, debido a que es especial para oficinas, salas de ventas y pasillos.

Tabla 12 Resumen de Administración primer piso.

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra*
Administración Primer piso	Servicio de Línea	500	19	80	565	17,4	> 80
	Servicio de Línea, comedor	200	22	80	255	19,4	> 80
	Servicio de Línea, casilleros	200	22	80	395	11,7	> 80
	Servicio de Línea, oficina 1	500	19	80	662	17	> 80
	Servicio de Línea, Pasillo	100	28	40	311	15,7	> 80
	Servicio de Línea, sala grande	500	19	80	542	18,1	> 80
	Taller de Aviónica, almacén	100	25	60	132	14,7	> 80
	Taller de Aviónica, comedor	200	22	80	278	20,9	> 80
	Taller de Aviónica, Oficina 1	500	19	80	610	13,6	> 80
	Taller de Aviónica, Oficina 2	500	19	80	666	13,4	> 80
	Taller de Aviónica, almacén	100	25	60	106	18,4	> 80
	Taller de Aviónica, Pasillo	100	28	40	392	16,6	> 80
	Taller de Aviónica, Sala A	500	19	80	742	16,3	> 80
	Taller de Aviónica, Sala B	500	19	80	740	16,3	> 80
	Taller de Aviónica, Sala C	500	19	80	728	15,5	> 80
	Central Telefónica	100	25	60	222	12,2	> 80
	Envío de materiales, almacén	100	25	60	263	20,4	> 80
	Envío de materiales, Oficina 1	500	19	80	564	16,8	> 80

Envío de materiales, Oficinas	500	19	80	505	18,5	> 80
Envío de materiales, Cuarto Cuarentena	100	25	60	159	16,3	> 80
Pasillo Escaleras	100	28	40	101	19,5	> 80
Pasillo Escaleras, Baño	200	25	80	240	10	> 80
Almacén C	200	25	60	226	14,6	> 80
Almacén Central CP	200	25	60	225	16,5	> 80
Almacén Central	200	25	60	280	20,6	> 80
Almacén Central, comedor	200	22	60	241	16	> 80
Almacén Central, casilleros	200	22	60	292	12,6	> 80
Almacén Central, oficina 1	500	19	80	501	12,5	> 80
Almacén Central, oficinas	500	19	80	652	10	> 80
Almacén Central, sala oficinas	500	19	80	616	16,3	> 80
Taller de Pintura	1000	16	90	1051	16	> 90
Booth Nocturno	500	19	80	552	17,4	> 80
Dirección de Planeamiento, Comedor	200	22	80	465	16,1	> 80
Dirección de Planeamiento, Sala A	500	19	80	586	18,6	> 80
Dirección de Planeamiento, Sala B	500	19	80	538	16,6	> 80
Dirección de Operaciones, Oficina 1	500	19	80	531	17,1	> 80
Dirección de Operaciones, Oficina 2	500	19	80	502	16,5	> 80
Dirección de Operaciones, Oficina 3	500	19	80	587	15,4	> 80
Dirección de Operaciones, Sala Central	500	19	80	636	17,3	> 80
Almacenamiento de escaleras	100	25	60	280	10	> 80
Gerentes de proyectos	500	19	80	641	18,2	> 80
Booth 1	500	19	80	526	18,6	> 80
Ingeniería de Hangar	500	19	80	512	19	> 80

Ingeniería de Hangar, comedor	200	22	80	200	22	> 80
Ingeniería de Hangar, Oficina 1	500	19	80	503	18,3	> 80
Ingeniería de Hangar, Oficina 2	500	19	80	506	18,5	> 80
Ingeniería de Hangar, Oficina 3	500	19	80	534	18,6	> 80
Booth 3	500	19	80	695	17,7	> 80
Booth 2, pasillo	100	28	40	290	19,6	> 80
Booth 2	500	19	80	635	19	> 80
Biblioteca Técnica, Computadoras	500	19	80	584	18,4	> 80
Biblioteca Técnica, Estantería	200	19	80	387	16,5	> 80
Biblioteca Técnica, Oficina	500	19	80	585	14,9	> 80
Control de Inventarios y Verificación	500	19	80	504	16,9	> 80
Gerencia de Talleres	500	19	80	609	14,4	> 80
Gerencia de Hangar, Almacén	100	25	60	254	16,7	> 80
Gerencia de Hangar, Pasillo	100	28	40	305	16,8	> 80
Gerencia de Hangar, Sala R 1	500	19	80	540	16,2	> 80
Gerencia de Hangar, Sala R 2	500	19	80	644	16,9	> 80
Gerencia de Hangar, Salón	500	19	80	652	16,9	> 80
Taller de Acabados y Técnicas	1000	16	90	1211	15,7	> 90
Taller de Acabados y Técnicas, Sala B	1000	16	90	1050	16	> 90
Taller de Acabados y Técnicas, Sala A	1000	16	90	1038	14,7	> 90
Proveeduría	500	19	80	642	18,7	> 80
Proveeduría, Oficina	500	19	80	514	15,9	> 80

Comedor Producción	200	22	80	235	21,5	> 80
Taller de Tapicería	1000	19	90	1247	19	> 90
Taller de Tapicería, casilleros	200	22	80	329	19,3	> 80
Taller de Tapicería, Pila de lavado	200	22	80	264	16	> 80
Presentación de aeronaves, oficina 1	500	19	80	526	17,9	> 80
Presentación de aeronaves, oficina 2	500	19	80	549	18,8	> 80
Presentación de aeronaves, oficina 3	500	19	80	587	18,8	> 80
Presentación de aeronaves, oficina 4	500	19	80	682	17,6	> 80
Taller de preparación de Pintura	750	25	80	838	18.4	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el área de administración del primer piso, se encuentran lugares importantes, como lo es el almacén central (280 lux), lugar donde se guardan equipos de seguridad, etc. El taller de aviónica (742 lux), lugar especializado en electricidad y electrónica de las aeronaves, donde se utilizan luminarias GRLED, debido al gran espacio, las oficinas de ingeniería de los aviones (503 lux) donde se realizan todas las planeaciones y modificaciones a las aeronaves.

Tabla 13 Resumen de resultados de Talleres primer piso.

Resumen de Resultados							
Edificio	Área	Norma INTE/ISO 8995-1:2016			DIALux Evo		
		Em lux	CUDL	Ra	Em lux	CUDL	Ra
Talleres Primer Piso	Taller de Láminas, CP	500	19	80	686	18,1	> 80
	Taller de Láminas	750	19	80	843	19	> 80
	Taller de Láminas, Este	300	25	80	346	24	> 80

Taller de Láminas, Bodega	100	25	60	167	22,9	> 80
Taller de Láminas, Motores	300	25	80	351	25	> 80
Taller de Láminas, Pasillo	100	28	40	188	22,8	> 80
Booth 8	500	19	80	627	16,5	> 80
Booth 7	500	19	80	552	15,7	> 80
Taller de Tornos	500	19	60	644	19	> 80
Taller de Tornos, Bodega	100	25	60	143	25	> 80
Taller de Tornos, Sala Fresadoras	500	19	60	549	18,8	> 80
Bodega de Caja de Herramientas	100	25	60	252	18,6	> 80
Comedor de Limpieza	200	22	80	456	13,7	> 80
Inspección, Oficina Supervisor	500	19	80	540	10,5	> 80
Inspección, Oficina 1	500	19	80	703	15,4	> 80
Inspección, Sala Central	500	19	80	576	13,6	> 80
Inspección, Sala Este	500	19	80	679	16,5	> 80
Inspección, Sala Oeste	500	19	80	745	16,3	> 80
Taller de Motores	500	22	80	560	21	> 80
Taller de Motores, Bodega	100	25	60	209	24,2	> 80
Taller de Motores, Comedor-Casillero	200	22	80	383	22	> 80
Taller de Motores, Oficina 1	500	19	80	639	17,8	> 80
Taller de Motores, Oficina 2	500	19	80	523	17,8	> 80
NDT, Comedor	200	22	80	386	20,2	> 80
NDT, Cuarto Oscuro	200	25	60	294	25	> 80
NDT, Sala Oficinas	500	19	80	502	18,4	> 80
Bodega de Herramientas, Oficinas	500	19	80	500	16,8	> 80
Bodega de Herramientas, Sala Norte	200	25	60	370	20,6	> 80
Bodega de Herramientas, Sala Sur	200	25	60	279	21,1	> 80

	Booth 6	500	19	80	699	18,9	> 80
	Booth 4	500	19	80	692	18,9	> 80
	Booth 5	500	19	80	725	18,7	> 80
	Bodega de Herramientas	100	25	60	268	15	> 80
	Bodega Herramientas, Pasillo	200	28	40	226	20,5	> 80
	Bodega Herramientas, CG	100	25	60	242	16,2	> 80

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por último, en el área de talleres del primer piso se encuentran talleres de alta importancia como el taller de motores (560 lux), donde se reparan y se da mantenimiento a las turbinas de las distintas aeronaves, lugar que cuenta con grandes carcassas para 4 tubos fluorescentes. En este lugar, se sustituyeron estas por luminarias HBL80, para cumplir con la normativa nacional y reducir el consumo de potencia de este taller. Otro taller importante a considerar es el de tornos, pues se realizan trabajos muy precisos. Este taller cuenta con 9 luminarias HBL60 para alcanzar 644 lux promedio con un índice de deslumbramiento de 19.

5.1.1 Comparativa de producción de CO₂ de los sistemas de iluminación

Uno de los propósitos de cambiar el sistema de iluminación de fluorescentes a LED, es bajar el nivel de CO₂ que produce COOPESA. Para ello se analizó la cantidad de toneladas de CO₂ que se producen al año comparándola con los que produciría el sistema LED.

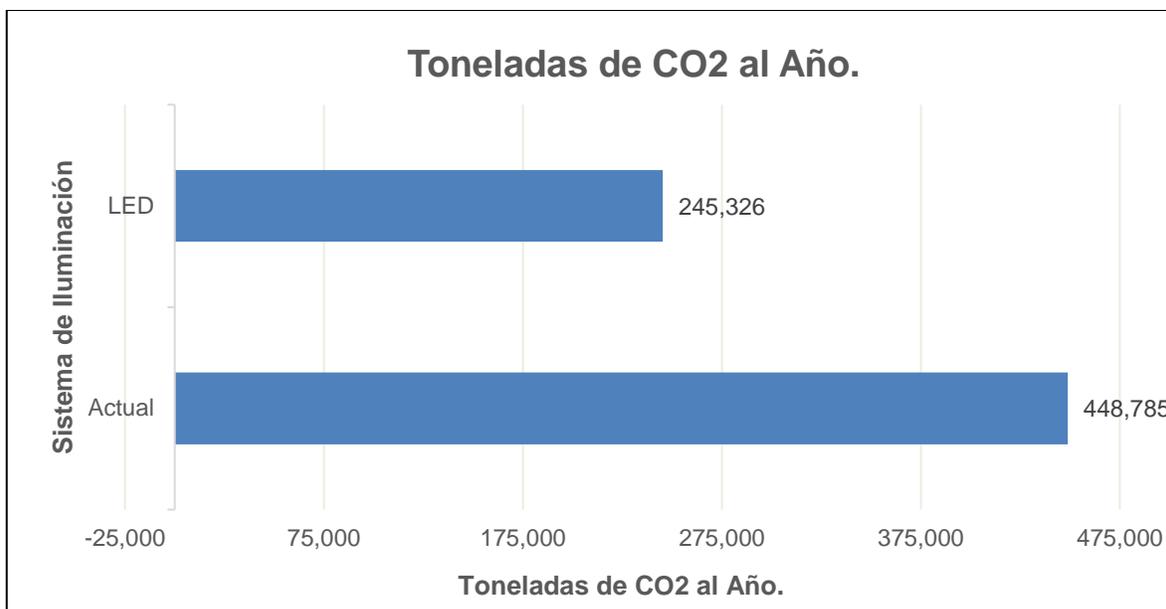


Figura 20. Toneladas de CO2 producidas al año.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar una reducción del 45,33 %, al cambiar el sistema antiguo de iluminación, lo que nos aporta en 203,458 toneladas de CO2 menos a año.

5.2 Diseño de iluminación de emergencias

Se mostrarán a continuación los resultados obtenidos dentro del diseño de iluminación de emergencias, el cual cuenta con dos alternativas, como se mencionó en la sección 4.2.

Tabla 14 Resultados de la alternativa 1 para iluminación de emergencias.

Alternativa 1, Sylvania, LUXEM N - MID							
Edificio	Área	NFPA 101 / COOPESA R.L.			DIALux		
		Em lux	Emin Lux	Tiempo (h)	Em lux	Emin lux	Tiempo (h)
Hangar 1	Vía de Evacuación, Oeste	10	0,1	1,5	16	1,23	1,5
	Vía de Evacuación, Este	10	0,1	1,5	15	1,28	1,5
	Área Antipánico Norte Izquierda	10 / 20	0,1	1,5	24	7,77	1,5
	Área Antipánico Norte Derecha	10 / 20	0,1	1,5	24	7,91	1,5
	Área Antipánico Sur Izquierda	10 / 20	0,1	1,5	24	7,07	1,5

	Área Antipánico Sur Derecha	10 / 20	0,1	1,5	24	7,06	1,5
Hangar 2	Vía de Evacuación, Sur	10	0,1	1,5	10	1,67	1,5
	Vía de Evacuación, Norte	10	0,1	1,5	10	0,95	1,5
	Área Antipánico Este	10 / 20	0,1	1,5	21	1,45	1,5
	Área Antipánico Oeste	10 / 20	0,1	1,5	21	2,44	1,5
Hangar 3	Vía de Evacuación, Oeste	10	0,1	1,5	11	3,04	1,5
	Vía de Evacuación, Este	10	0,1	1,5	12	2,96	1,5
	Área Antipánico	10 / 20	0,1	1,5	20	3,55	1,5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las vías de evacuación no se contemplan con 20 Lux, si no con 10 lux, esto debido a que estas áreas están despejadas (de las sombras de las aeronaves), por este mismo motivo COOPESA solicita un mínimo de 20 lux, pues las aeronaves abarcan mucha área y se presentan grandes sombras. Como se observa, el diseño cumple con ambas normativas. Se colocaron, de forma estratégica, 4 luminarias en cada zona del hangar principal para un total de 16 luminarias en todo el recinto, el hangar 2 cuenta con 10 luminarias en total y el hangar 3 con 6 luminarias.

Tabla 15 Resultados de la alternativa 2 para iluminación de emergencias.

Alternativa 2, DUALUX, DH-110							
Edificio	Área	NFPA 101 / COOPESA R.L.			DIALux		
		Em lux	Emin Lux	Tiempo (h)	Em lux	Emin lux	Tiempo (h)
Hangar 1	Vía de Evacuación, Oeste	10	0,1	1,5	11	1,31	1,5
	Vía de Evacuación, Este	10	0,1	1,5	12	1,41	1,5
	Área Antipánico Norte Izquierda	10 / 20	0,1	1,5	29	4,06	1,5
	Área Antipánico Norte Derecha	10 / 20	0,1	1,5	30	4,37	1,5
	Área Antipánico Sur Izquierda	10 / 20	0,1	1,5	29	3,72	1,5
	Área Antipánico Sur Derecha	10 / 20	0,1	1,5	29	3,87	1,5
Hangar 2	Vía de Evacuación, Sur	10	0,1	1,5	15	2,83	1,5
	Vía de Evacuación, Norte	10	0,1	1,5	14	3,04	1,5
	Área Antipánico Este	10 / 20	0,1	1,5	25	2,53	1,5

	Área Antipánico Oeste	10 / 20	0,1	1,5	28	2,55	1,5
Hangar 3	Vía de Evacuación, Oeste	10	0,1	1,5	12	1,87	1,5
	Vía de Evacuación, Este	10	0,1	1,5	12	1,79	1,5
	Área Antipánico	10 / 20	0,1	1,5	20	1,89	1,5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que en el diseño anterior, este también cumple con las normativas, cuenta con una ventaja al ser luminarias con dos focos, estos son redireccionables, lo cual da margen a colocarlos de forma estratégica y así iluminar de forma homogénea todo el hangar.

5.3 Estudio de cortocircuito

A una instalación eléctrica industrial de tantos años como la de COOPESA, se le deben realizar estudios eléctricos cada 5 años o cada vez que se requiera modificar la instalación eléctrica, se definirán a continuación los diferentes cortocircuitos estudiados en la empresa.

5.3.1 Cortocircuitos trifásicos

Seguidamente, se mostrarán los resultados de cortocircuito trifásico obtenidos durante el cálculo, dentro de las 4 cometidas que se analizaron: compresores, hangares, administración y TMC (Taller de materiales compuestos).

5.3.1.1 Compresores

Esta acometida alimenta principalmente a los compresores de la empresa, estos son de vital importancia, debido a que muchos de los departamentos los necesitan (pintura, estructuras, laminado, etc.), están alimentados a 480 V y alimentan dos compresores, un secador industrial, un transformador y dos hornos industriales, entre otros circuitos de ramales de tomacorrientes e iluminación.

Tabla 16 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de compresores

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 480 V, TTA	
R	0,0166

X	0,0409
I Simétrica (KA)	13,615
X/R	2,453
I Asimétrica (KA)	14,628

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 16, se muestra el valor de corriente de cortocircuito del tablero distribución principal del edificio de Electroplating, el cual se encuentran los compresores.

Estos datos omiten el posible aporte de corriente del banco de capacitores, el cual es utilizado para corregir el factor de potencia de 0.86 a 0.95, debido a que la norma IEEE 0551-2006 indica que la corriente de aporte de los bancos no es significativa para estos cálculos, por tal motivo se procedió a omitirla.

5.3.1.2 Hangares

Esta acometida alimenta 3 power eléctricos utilizados para energizar partes de los aviones, un motor de una dobladora industrial, las luces del hangar principal, y tres motores de bancos de pruebas hidráulicas, entre otros ramales de tomacorrientes. En este tablero está alimentado un generador de 500 KVA de la marca MATRA, de transferencia manual.

Tabla 17 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de Hangares.

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 480 V, TTB	
R	0,0158
X	0,0491
I Simétrica (KA)	11,650
X/R	3,104
I Asimétrica (KA)	13,099

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En esta tabla 17, se muestran los resultados de corrientes de cortocircuito de la barra principal de la acometida del edificio de hangares, ubicada estratégicamente en el centro del edificio para evitar caídas de voltaje elevadas, además de encontrarse a la par del banco de transformadores que lo alimentan.

5.3.1.3 Administración

Esta acometida alimenta una serie de motores, dos motores para dos laminadoras y un motor de una dobladora, además de alimentar las luces del hangar 2 y 3, un transformador para diferentes cargas a 120 V, incluyendo los servidores de datos, igualmente que el tablero de hangares, esta alimentado por el mismo generador de 500 KVA, con transferencia manual.

Tabla 18 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra principal de Administración

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TAD	
R	0,0108
X	0,0604
I Simétrica (KA)	29,364
X/R	5,578
I Asimétrica (KA)	37,700

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En esta tabla 18, se presentan los resultados del circuito principal de administración, el circuito más antiguo de COOPESA, con más de 50 años de antigüedad, debido a esto es bastante robusto, cuenta con varillas de cobre en lugar de cables, para conectar a los diferentes ramales.

Si se observa y compa este tablero con los anteriores e, incluso, con el de TMC, se ve que las corrientes son muy elevadas, lo cual tiene una explicación muy sencilla, el voltaje de 240 V, al estar con un voltaje bajo (comparándolo con el de 480 V), la

corriente tiende a incrementarse, debido a la ley de Ohm. Este tablero debe actualizarse lo antes posible, pues no cumple con ninguna normativa actualizada.

Tabla 19 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de motores de Administración

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TADMT	
R	0,0236
X	0,0641
I Simétrica (KA)	26,387
X/R	2,715
I Asimétrica (KA)	28,879

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En este tablero se analizaron principalmente los tres motores conectados, al ser los únicos motores contemplados dentro del diagrama, se logra observar que gran parte de la corriente de cortocircuito se encuentra en este tablero, una corriente de 28,879 KA comparándola con las demás obtenidas es muy elevada. Este tablero es uno de los más antiguos que posee la empresa, por tal motivo se debe estudiar con detalle, y actualizarse lo antes posible, para evitar pérdidas importantes ante un cortocircuito.

5.3.1.4 TMC

El taller de materiales compuestos tiene la acometida más grande que posee COOPESA, para este proyecto, alimenta todo un taller de materiales compuestos, entre sus cargas más importantes se encuentran: 6 motores de bombas para el sistema de tratamientos de aguas, lavado y remoción de pintura del hangar 3, un motor para un cuarto frío de químicos, dos motores de aires acondicionados de las oficinas y de la sala limpia, un motor de una laminadora Side Wall industrial, un transformador de 240 a 480 V para esta laminadora, dos hornos industriales, dos motores de compresores de vacío, un motor para la capilla de pintura y el motor de

la puerta del hangar 3. El diagrama se divide en 5 tableros: TTMC, TTMCA, TTMCB, TTMCC y TTMC D.

Tabla 20 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TTMC	
R	0,0125
X	0,0486
I Simétrica (KA)	14,370
X/R	3,868
I Asimétrica (KA)	16,967

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Este es el tablero principal, por lo tanto, es lógico que presente la corriente de falla más elevada de la edificación, cuenta con una corriente de 16,967 KA.

Tabla 21 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de bombas de agua de TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TTMCA	
R	0,0255
X	0,0585
I Simétrica (KA)	11,289
X/R	2,289
I Asimétrica (KA)	11,992

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En este tablero se encuentran conectados 3 de las 6 bombas de agua, para la planta de tratamientos y para el sistema de remoción y lavado de las aeronaves.

Tabla 22 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de cuartos fríos de TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCB	
R	0,0767
X	0,0731
I Simétrica (KA)	6,809
X/R	0,9534
I Asimétrica (KA)	6,819

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Este tablero alimenta el cuarto frío (sala limpia), donde se llevan a cabo trabajos de pegado de materiales, por lo tanto, almacenan productos químicos, al ser una sala tan grande, necesita un motor lo suficientemente grande para soportar la carga térmica de los equipos y las personas, además, este mismo tablero alimenta los aires acondicionados de las oficinas de TMC.

Tabla 23 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de bombas de agua de TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCC	
R	0,0405
X	0,0594
I Simétrica (KA)	10,0327
X/R	1,467
I Asimétrica (KA)	10,1704

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que el primer sub-tablero, este también alimenta 3 bombas de agua, específicamente para la planta de tratamientos. Cabe destacar que esta planta es

grande, por la cantidad de personas y trabajos con químicos que se realizan a diario en la empresa.

Tabla 24 Corriente de cortocircuito trifásico de la barra de compresores de TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TTMCD	
R	0,0462
X	0,0595
I Simétrica (KA)	9,568
X/R	1,286
I Asimétrica (KA)	9,640

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En este tablero se alimentan los dos compresores de vacío con encendido automático, son altamente utilizados durante el día, por ello, se decidió tenerlos en un tablero aparte. Se observa que son compresores medianos, pero su corriente de cortocircuito es muy similar al de las bombas de agua.

5.3.2 Cortocircuitos monofásicos

En esta sección, se mostrarán los resultados obtenidos del análisis de cortocircuito monofásico, por el método de las componentes simétricas, al igual que la sección 5.3.1 se analizaron las 4 acometidas.

Cabe mencionar que los transformadores se encuentran sólidamente aterrizados, por lo tanto, su $Z_f = 0$, lo cual afecta en los cálculos de cortocircuito monofásico.

5.3.2.1 Compresores

Tabla 25 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de Compresores

Norma IEE

Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 480 V, TTA	
I _{base}	601,406
R	0,0557
X	0,1337
I ABS	20,701
I CC (KA)	12,449

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al realizar los cálculos monofásicos, se tomaron en consideración criterios de diseño, específicamente en la sección 4.3, el tablero de compresores alimenta cargas muy importantes, por tal motivo es necesario protegerlas ante cortocircuitos fase-tierra, el uso de los compresores es 24/7 y, al tener una corriente menor que la trifásica, si este se encuentra protegido ante esta falla, deberá soportar la corriente monofásica.

5.3.2.2 Hangares

Tabla 26 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de hangares

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 480 V, TTB	
I _{base}	601,406
R	0,0485
X	0,1461
I ABS	19,4727
I CC (KA)	11,711

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El tablero de hangares se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la empresa, por tal motivo es uno de los puntos mejores ubicados, un cortocircuito monofásico de 11,71 KA es casi tan elevado como el trifásico (13 KA), por lo tanto, una mala selección del disyuntor principal podría dejar transcurrir ambas corrientes,

como se observa en la sección 5.6.2, el tablero de hangares tiene disyuntores que soportan 10 KA, lo cual una falla monofásica no lo soportaría ni menos una trifásica.

5.3.2.3 Administración

Tabla 27 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de Administración

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TAD	
I _{base}	1804,219
R	0,0354
X	0,181
I ABS	16,189
I CC (KA)	29,210

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El tablero de administración que alimenta cargas como motores, y otras monofásicas como los servidores de datos, eran frecuentemente dañadas por la alta rayería, se quemaban las tarjetas de los servidores, de las alarmas, etc., estas cargas son usadas 24/7, debido a la alta información que se maneja, por lo cual es de importancia tener un sistema de protección y respaldo (UPS).

Tabla 28 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de motores de Administración

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TADMT	
I _{base}	1804,219
R	0,0980
X	0,2007
I ABS	13,427
I CC (KA)	24,225

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El tablero de motores de administración, a diferencia de otros tableros no es de uso 24/7, debido que las máquinas se usan ocasionalmente, por tal motivo no es un tablero crítico, pero igualmente debe estar protegido ante cortocircuitos, ya que en él se encuentran máquinas de alto valor económico.

5.3.2.4 TMC

Tabla 29 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de TMC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero Principal de 240 V, TTMC	
I _{base}	721,687
R	0,0401
X	0,1447
I ABS	19,968
I CC (KA)	14,4107

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Observando una corriente de 14,41 KA superior a la protección de los disyuntores SD34TD5 y SD35TD6, se puede considerar una falla bastante problemática, si un sistema no puede soportar fallas monofásicas que son las más frecuentes (80 % aproximadamente), no podrá soportar una trifásica.

Tabla 30 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de bombas de agua de TMCA

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCA	
I _{base}	721,6878
R	0,0934
X	0,1796
I ABS	14,812

I CC (KA)	10,689
-----------	--------

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Un sub-tablero del sistema principal de TMC, con una corriente monofásica de 10,689 KA, casi tan alta como la principal, debido a la gran cantidad de bombas de agua procedentes de este tablero.

Tabla 31 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de cuartos fríos de TMCB

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCB	
I _{base}	721,687
R	0,3411
X	0,2549
I ABS	7,043
I CC (KA)	5,083

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El segundo sub-tablero de TMC que alimentan los aires acondicionados y la sala limpia, cuenta con una pequeña corriente de 5,0835 KA, la más pequeña de los sub-tablero de TMC, la cual no representa ningún inconveniente para el sistema.

Tabla 32 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra bombas de agua de TMCC

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCC	
I _{base}	721,687
R	0,1649
X	0,1737
I ABS	12,520
I CC (KA)	9,036

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El siguiente sub-tablero es el de TTMCC, el cual alimenta las bombas restantes de agua y la de la planta de tratamientos, con una corriente de 9,036 KA, podría representar algún inconveniente, pero los disyuntores están en capacidad de soportar y cerrar el paso de la corriente, sin problemas.

Tabla 33 Corriente de cortocircuito monofásico en la barra de compresores de TMCD

Norma IEE	
Análisis de Cortocircuito en el Tablero de 240 V, TTMCD	
Ibase	721,687
R	0,1944
X	0,1845
I ABS	11,189
I CC (KA)	8,075

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con una corriente de 8,075 KA, el tablero TMCD alimenta dos compresores de vacío, utilizados constantemente durante el día, al igual que el tablero TMCC, los disyuntores no tendrán problema con una corriente de esta magnitud.

5.4 Estudio de arco eléctrico

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del cálculo de arco eléctrico, se analizaron cada uno de los tableros. Este análisis cuenta con la particularidad de que los dispositivos de desconexión son de acción rápida (0.016 – 0.026 s), lo cual disminuye en gran parte los valores de energía del destello.

5.4.1 Compresores

Tabla 34 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Compresores

Norma IEEE
Análisis de Arco eléctrico en el tablero principal TTA

Ia (KA)	8,053
En (J/cm ²)	2,116
E (cal/cm ²)	0,706
Db (mm)	351,542

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el caso del tablero de compresores, si se analiza la energía incidente que se produciría en caso de una falla por arco eléctrico, se obtendrá que es de 0.70651424 cal/cm², lo cual sugiere una categoría de 0, la mínima, por lo tanto, no se requiere de gran medida de seguridad aparte de los guantes protectores, zapatos de seguridad y las gafas de seguridad.

5.4.2 Hangares

Tabla 35 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Hangares

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero principal TTB	
Ia (KA)	8,053
En (J/cm ²)	2,116
E (cal/cm ²)	0,706
Db (mm)	351,542

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que el caso anterior, la energía incidente no es suficientemente alta como para entrar en la categoría 1, por lo tanto, se requiere de la protección mínima, anteriormente mencionada, debido a la acción rápida de desconexión del disyuntor SDCOT1 de 0,025 s, disminuye considerablemente el arco eléctrico producido por la falla. A modo de ejemplo en la tabla 69, se presentan los pasos en EXCEL para determinar los valores presentados.

5.4.3 Administración

Tabla 36 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de Administración

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero principal TAD	
Ia (KA)	11,055
En (J/cm ²)	2,981
E (cal/cm ²)	1,034
Db (mm)	425,455

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con la mayor energía incidente de 1,0348 cal/cm² , se acerca a la categoría 1, sin embargo, no la alcanza, igualmente, como se menciona en todos los tableros, se debe utilizar el equipo básico de protección personal (lentes, guantes, zapatos, etc.), a la hora de manipular el interior del tablero, con una distancia de casi 50 cm, a la cual sin estos objetos se produciría una quemadura de segundo grado, o inclusive la muerte, este tablero al ser uno de los más viejos y robustos, se procedieron a utilizar muchos criterios de diseño, debido a que no se encontraban datos parecidos en la norma, por lo cual los resultados aquí obtenidos pueden variar de acuerdo con la realidad, se calculó con los datos más aproximados a la realidad, pero igualmente se recomienda utilizar un buen equipo de protección (categoría 1 o 2).

Tabla 37 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TADMT de Administración

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero TADMT	
Ia (KA)	10,196
En (J/cm ²)	2,731
E (cal/cm ²)	0,583
Db (mm)	319,480

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que su tablero principal, pero, en menor medida de energía incidente con 0,5835 cal/cm², y una distancia de 32 cm aproximadamente, este tablero puede producir una falla grave al operario.

5.4.4 TMC

Tabla 38 Resultados de Arco Eléctrico para la barra de TMC

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero principal TTMC	
Ia (KA)	6,438
En (J/cm ²)	1,661
E (cal/cm ²)	0,5990
Db (mm)	323,697

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El tablero de TMC con una energía incidente de 0,599 cal/cm², se encuentra dentro de la categoría 0, la mínima de arco eléctrico, la cual, como todos los tableros, requiere de su equipo de protección personal básico, al ser el tablero principal, se espera que los demás sub-tableros, presenten menores datos, pues la energía crítica se encuentra en el tablero principal.

Tabla 39 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCA de TMC

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero TTMCA	
Ia (KA)	5,363
En (J/cm ²)	1,364
E (cal/cm ²)	0,2913
Db (mm)	225,763

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El sub-tablero TMCA cuenta con una menor energía incidente, debido a que cuenta con una pequeña corriente de 5,36 KA, y con una distancia de 23 cm aproximadamente, no representa un gran problema ante una falla de arco eléctrico.

Tabla 40 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCB de TMC

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero TTMCB	
Ia (KA)	3,659
En (J/cm ²)	0,9021
E (cal/cm ²)	0,1927
Db (mm)	183,603

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El sub-tablero TMCB, cuenta con la corriente más baja de arco eléctrico, lo cual se ve implícito en el dato de energía incidente.

Tabla 41 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCC de TMC

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero TTMCC	
Ia (KA)	4,905
En (J/cm ²)	1,238
E (cal/cm ²)	0,2645
Db (mm)	215,128

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con una energía incidente de 0,2645 cal/cm² y una distancia de 22 cm aproximadamente, el tablero TMCC se encuentra en una categoría 0, debido a la alta eficacia de protección de su disyuntor de acción rápida.

Tabla 42 Resultados de Arco Eléctrico para la barra TTMCD de TMC

Norma IEEE	
Análisis de Arco eléctrico en el tablero TTMCD	
Ia (KA)	4,732
En (J/cm ²)	1,191
E (cal/cm ²)	0,2704
Db (mm)	217,494

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por último, el sub-tablero TMCD, que alimenta dos compresores, cuenta con una energía incidente de 0,27 cal/cm², y una distancia de 22 cm, no representa ningún problema para su disyuntor.

Como se logró observar, ninguno de los tableros es de categoría 1 o superior. Hay que recordar que el efecto de arco eléctrico se ve afectado por la corriente de cortocircuito, el tiempo de desconexión de los disyuntores, la distancia entre las barras del tablero y el tipo del tablero, entre otros. Cabe mencionar que las distancias mínimas Db de cada tablero se basan en la distancia a la cual se daría una quemadura de segundo grado, si un operario se encuentra dándole mantenimiento a un tablero y, por error, deja caer algún artefacto que realice un contacto entre fases o una fase a tierra y, si no cuenta con el equipo de protección requerido, es seguro que recibirá una quemadura de segundo grado o, inclusive, la muerte.

5.5 Protocolo de seguridad para los tableros de COOPESA R.L.

Como parte del proceso de estudio de arco eléctrico, se plantea un protocolo de seguridad para los tableros, con el fin de que los técnicos capacitados sepan acerca de las medidas de seguridad al ejecutar cualquier trabajo en el interior de los tableros, además para facilitar la adaptación de los nuevos técnicos y para comprender mejor el tema de arco eléctrico, que es muy poco visto dentro de las

empresas, pero es muy útil que sepan acerca de las etiquetas y puedan leer la información claramente.

5.5.1 Protocolo de arco eléctrico

Antes de recurrir a realizar algún trabajo dentro de los tableros, el personal debe equipar su equipo de protección personal, el cual se encuentra en la descripción de cada tablero. Una vez que se encuentre con los dispositivos de seguridad necesarios, si es posible desconectar el tablero de electricidad, se deberá hacer, si no, debe proceder a la apertura del tablero, para ello, va a necesitar herramientas conductoras de electricidad (llaves, destornilladores, etc.), las cuales podrían causar un arco eléctrico, si no se manipulan correctamente. Por ejemplo, una llave o un destornillador, si por error se cae y hace un contacto entre dos fases o una fase y tierra, la cantidad de energía que está fluyendo se libera con gran magnitud, produciendo quemaduras o la muerte. Por eso, se está tratando de evitar estas tragedias.

Una vez que la tapa que cubre los tableros se encuentre abierta, se procede a realizar el trabajo en sí (cambiar disyuntores, cambiar cables, etc.), es recomendable que el trabajo lo realicen entre dos o más personas (una más alejada del tablero, inspeccionando), en caso de que ocurra una falla por arco, la otra persona tendrá más tiempo de evitarla y llamar al personal de salud ocupacional o la brigada de emergencias, una vez que el trabajo se haya realizado, con el mismo cuidado con el cual se abrió la tapa, se vuelve a cerrar (recordando que los tornillos, también pueden crear arcos eléctricos), luego, se pondrá a funcionar el tablero y es recomendable anotar cuál fue el trabajo realizado en el tablero e informar cualquier observación del mismo al departamento de mantenimiento.

5.5.2 Interpretación de las etiquetas de arco eléctrico

Para tener una idea clara, se explicarán los datos que incluye una etiqueta de arco eléctrico. En la figura 21, se muestra la etiqueta de arco eléctrico del tablero de TAD.

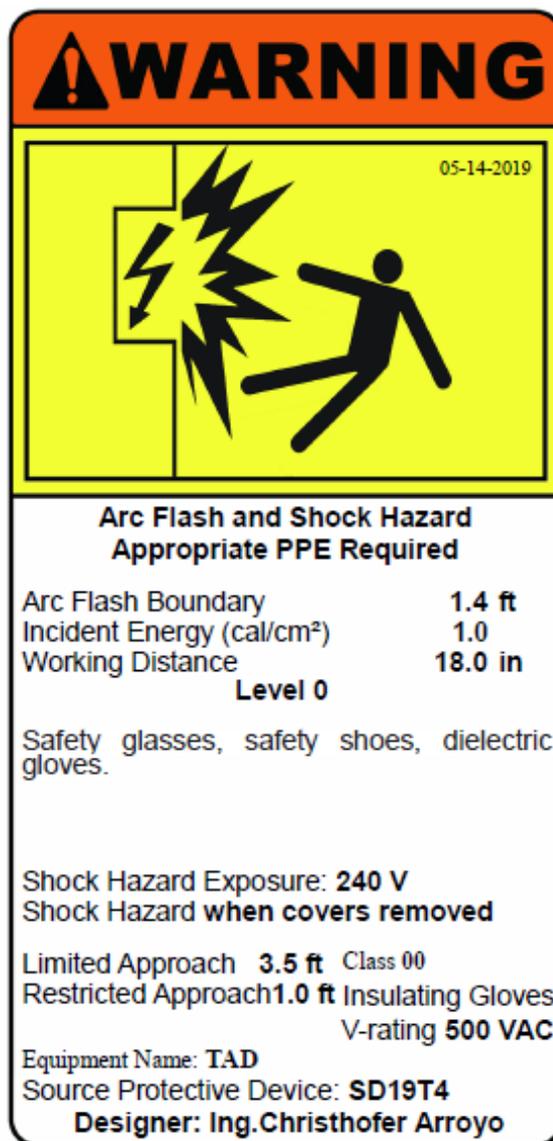


Figura 21 Etiqueta de arco eléctrico, TAD
Fuente: Elaboración propia, (ETAP, 2019).

Warning: significa precaución.

Arc Flash Boundary: Distancia mínima a “salvo”, la cual una persona puede estar sin sufrir quemaduras de segundo grado, generalmente se establece a 1,2 cal/cm² durante 1 segundo, 1.4 ft equivalen a 42,672 cm.

Incident Energy: energía del arco eléctrico, se mide en cal/cm², puede producir quemaduras e inclusive la muerte, 1,2 cal/cm² es equivalente a colocar el dedo en la llama de un encendedor durante 1 segundo.

Work Distance: generalmente la distancia del trabajador al tablero mientras se está trabajando, 18 in equivalen a 45,72 cm.

Level: define el nivel de arco eléctrico al cual está asociado el tablero, donde 0 es la categoría mínima y 4 la máxima, de ello dependerá el equipo de protección.

Shock Hazard Exposure: nivel de voltaje del tablero.

Limited Approach: distancia límite a la cual se puede aproximar sin el equipo de seguridad, corre el riesgo de quemaduras, 3,5 ft equivalen a 106,68 cm.

Class: clase de los guantes a utilizar, donde el nivel 00, soporta 2500 V (AC) o 500 VAC.

Restricted Approach: distancia restringida a la cual se puede aproximar sin el equipo de seguridad correspondiente, corre riesgo se quemaduras. 1 ft equivale a 30,48 cm.

Equipment Name: nombre del tablero.

Source protective device: glosario del disyuntor principal del tablero, para más información consulte la sección 5.6.2.

En la figura 30 de apéndices se pueden observar algunas etiquetas de arco eléctrico, no se incluyen todas por temas de espacio, igualmente, se pueden consultar en los demás archivos del proyecto.

5.6 Comparación con el software ETAP 16

En esta sección, se presentará la comparación de resultados de los cálculos manuales, con el software ETAP 16. El principal objetivo de comparar los resultados es comprobar que la metodología propuesta es confiable, que el cálculo realizado es preciso y acertado en caso de que se deseen realizar ajustes en el circuito por parte de la empresa. Se presentarán los valores de corrientes asimétricas en los puntos analizados para las corrientes trifásicas, debido a que estas son las más peligrosas y las corrientes monofásicas, además de incluir una comparación de los cálculos de arco eléctrico. Estos datos son calculados para $\frac{1}{2}$ ciclo.

Para realizar un análisis en el software ETAP, se deben especificar muchos aspectos, introducir cada una de las especificaciones de los motores, cables, la RED, etc., por ejemplo, en la figura 22 se muestran los datos de la red eléctrica.

Power Grid Editor - UICE

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

34,5 kV Swing

Grounding

Y

SC Rating

	MVA _{sc}	MVA _{sc}	X/R	kAsc
3-Phase	280,85		50,72	4,7
1-Phase	418,29	139,43	50,72	7

sqrt(3)V_{ll} I_f V_{ln} I_f

SC Impedance (100 MVA)

	% R	% X
Pos.	0,70188	35,5993
Neg.	0,70188	35,5993
Zero	0,01002	0,50804

Figura 22 Datos de entrada de la Red.
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019.

Por otra parte, para un transformador se debe especificar qué tipo es, su potencia nominal, el tipo de conexión, etc., como se muestra en la figura 23.

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

300 kVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C 34,5 0,24 kV

Voltage Rating

	kV	FLA	Nominal Bus kV
Prim.	34,5	5,02	34,5
Sec.	0,24	721,7	0,24

Other 65

Z Base

kVA

300

Power Rating

kVA

Rated 300

Other 65

Derated 300

Alert - Max

kVA

300

Derated kVA

User-Defined

Figura 23 Datos del transformador principal de TMC
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019.

Igualmente, para los conductores eléctricos, se debe insertar la distancia, el calibre, el tipo de revestimiento, el número de conductores por fase y su frecuencia, en la figura 24 se muestra las especificaciones del conductor principal.

Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Ampacity	Protection
NEC	Mag.	60 Hz	Code : 250			
THHN	100 %	0,6 kV	1/C	CU	250	AWG/kcmil

Info		 	
ID	C29TX6T	From	Bus3
			0,24 kV
To	TTMC		0,24 kV

Revision Data	
Base	

Equipment		Condition	
Tag #		Service	<input checked="" type="radio"/> In
Name			<input type="radio"/> Out
Description		State	As-Built

No. of Conductors / Phase	3
---------------------------	---

Figura 24 Datos del conductor principal de TMC.
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019.

Para finalizar, se deben agregar los datos de los equipos, principalmente motores. ETAP cuenta con su biblioteca técnica, las especificaciones relacionadas con el NEC 2008, por lo tanto, solo hay que introducir la potencia del motor. En la figura 25 se muestra el motor del compresor 2 de TMC.

Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load	Start Dev	Start Cat		
1	7,5 HP 0,23 kV		NEC				Cable Info not available		
Ratings									
			FL			NL	OL		
			100 %	75 %	50 %	0 %	100 %		
HP	7,5	kV	0,23	% PF	85,86	85,86	85,86	0	85,86
kVA	8,76	FLA	22	% Eff	74,32	74,32	74,32	0	74,32
Poles	4	RPM	1800	%FLA	100	75	50	0	100
		% Slip	0,05	RPM	1799	SF	1		
Library...	None								

Figura 25 Datos del motor del compresor 2 de TMC.
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019.

Los resultados que se presentan muestran los valores en distintos puntos de los diferentes diagramas unifilares, en ETAP se simuló bajo la mayor precisión en cuanto a las características de los dispositivos eléctricos de la empresa, en la tabla 43 y la tabla 44 se muestran la comparación de resultados de las corrientes trifásicas y monofásicas estudiadas en los diferentes puntos.

Tabla 43 Comparación de Corrientes de Cortocircuito Trifásicas Asimétricas

CONTRIBUCIÓN DE LA RED EXTERNA, TRIFÁSICO				
Tablero por estudiar	Norma IEE	ETAP 16	%	Desviación Estándar
	I (kA) Asimétrica a 1/2 ciclo.		Error	
TTA	14,629	14,098	3,623	0,3748
TTB	13,099	13,279	1,374	0,1273
TAD	37,700	37,436	0,7005	0,1867
TADMT	28,879	28,173	2,446	0,4996
TTMC	16,967	16,843	0,7317	0,0878
TTMCA	11,992	13,107	9,297	0,7884
TTMCB	6,819	6,893	1,096	0,0528
TTMCC	10,170	10,800	6,192	0,4453
TTMCD	9,640	10,419	8,076	0,5506
Promedio	-	-	3,726	0,3459

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En esta tabla, se muestra la comparación de los resultados. Se puede observar un porcentaje de error promedio de 3,7265 % lo cual indica una alta precisión en los cálculos manuales. Cabe destacar que los cálculos manuales se realizaron con la ayuda de Excel 2016 desde la obtención de los datos de placa, la reducción de impedancias del circuito hasta los cálculos de las corrientes de falla, por lo tanto, cuenta con una precisión bastante buena, sin embargo, no iguala los cálculos realizados por el software, debido a que este toma en cuenta cálculos más avanzados, la desviación estándar en promedio es de 0,3459, lo que indica que los porcentajes de error varían en un 34, 59 % a la media respectivamente.

Tabla 44 Comparación de Corrientes de Cortocircuito Monofásicas

CONTRIBUCIÓN DE LA RED EXTERNA, MONOFÁSICO				
Tablero por estudiar	Norma IEE	ETAP 16	% Error	Desviación Estándar
	Icc (kA) a 1/2 ciclo.			
TTA	12,449	12,252	1,589	0,1400
TTB	11,711	11,399	2,664	0,2206
TAD	29,210	28,942	0,9178	0,1896
TADMT	24,225	23,457	3,173	0,5436
TTMC	14,410	14,188	1,545	0,1575
TTMCA	10,689	11,021	3,098	0,2342
TTMCB	5,083	4,796	5,656	0,2033
TTMCC	9,036	8,684	3,896	0,2490
TTMCD	8,075	8,204	1,591	0,0909
Promedio	-	-	2,681	0,2254

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que en la tabla anterior, se puede ver un error promedio del 2.6815 % y una desviación estándar de 22,54 %. Otro factor importante a tomar en cuenta es que Excel permite realizar operaciones matemáticas con números complejos, por lo tanto, no hubo la necesidad de simplificar los circuitos por aparte en sus partes real e imaginaria, con Excel se simplificó una sola vez con ayuda de las funciones de números imaginarios de Excel, esto disminuye considerablemente los posibles errores que puedan ocurrir al tratarlos en dos diagramas.

Para el estudio de arco eléctrico también se realizó una comparativa con el software, que se muestra a continuación.

Tabla 45 Comparativa de la energía incidente por arco eléctrico.

Arco Eléctrico				
Tablero por estudiar	Norma IEE	ETAP 16	% Error	Desviación Estándar
	E (cal/cm ²)			
TTA	0,7065	0,6870	2,762	0,0138
TTB	0,8209	0,7240	11,808	0,0685
TAD	1,034	1,040	0,4984	0,0036
TADMT	0,5835	0,5730	1,802	0,0074
TTMC	0,5990	0,591	1,339	0,0057
TTMCA	0,2914	0,311	6,729	0,0139
TTMCB	0,1927	0,195	1,182	0,0016
TTMCC	0,2646	0,2780	5,070	0,0095
TTMCD	0,2704	0,2830	4,646	0,0089
Promedio	-	-	3,982	0,0148

Fuente: Elaboración propia, 2019.

5.7 Verificación de conductores y protecciones

Dentro del estudio de cortocircuito, es de vital importancia analizar las corrientes de falla y verificar la integridad de la instalación eléctrica. En esta sección, se encuentra un análisis de los dispositivos de protección y los alimentadores, comparándolos con la capacidad interruptora de cortocircuito de los dispositivos y la capacidad permisible de cortocircuito de los conductores.

5.7.1 Verificación de conductores

Uno de los principales elementos en una instalación eléctrica son los conductores, cuanto más antigua sea la instalación y menos mantenimiento se le dé, mayor es la posibilidad de que estos elementos sufran serios daños en el futuro, inclusive, provocando cortocircuitos, incendios u otros accidentes fatales para la empresa, es de suma importancia analizar la capacidad de soporte de estos conductores cuando se realiza un estudio de cortocircuito, para así verificar la integridad de los alimentadores.

Tabla 46 Verificación de soporte de los conductores del sistema eléctrico.

Cable	Calibre	Corriente Asimétrica, 1/2 Ciclo (KA)	Capacidad de Soporte (KA)	Condición	Edificio
COT1	#250	13,279	200	✓	HANGARES, 480
C1P1	#1/0	7,453	50	✓	
C2P2	#1/0	4,496	50	✓	
C3P3	#1/0	7,075	50	✓	
C4D	#8	4,092	12	✓	
C5LOE	#10	1,481	6	✓	
C6LE	#10	1,481	6	✓	
C7BH1	#4	2,76	25	✓	
C8BH2	#4	4,72	25	✓	
C9BH3	#4	4,944	25	✓	
C10GEN	#250	4,879	200	✓	
C11T2	# 250	14,098	200	✓	COMPRESORES, 480
C12SC	# 12	4,824	6	✓	
C13COM1	#1/0	12,314	50	✓	
C14COM2	#3/0	12,795	90	✓	
C15HN1	#2	11,58	40	✓	
C16HN2	#6	9,36	15	✓	
C17TX3C	#4	10,265	25	✓	
C18BC	#2/0	13,232	70	✓	ADMINISTRACIÓN, 240
C19T4	#400	37,436	200	✓	
C21T5	#4/0	7,994	100	✓	
C22TM	#1	28,173	50	✓	
C23PM	#12	1,064	6	✓	
C24SM	#6	3,29	15	✓	
C25IC	#10	2,299	6	✓	
C26LH2	#4	6,648	25	✓	
C27LH3	#6	0,846	15	✓	

C28SD	#12	0,175	6	✓	TMC, 240
C29TX6T	#250	16,843	200	✓	
C30TD1	#3/0	13,107	90	✓	
C31TD2	#1	6,893	50	✓	
C32TD3	#2	10,8	40	✓	
C33TD4	#10	1,247	6	✓	
C34TD5	#2	9,294	40	✓	
C35TD6	#1	7,527	50	✓	
C36TD7	#3	10,413	35	✓	
C37TD8	#8	2,523	12	✓	
C38TD9	#8	0,633	12	✓	
C40TN	#6	3,425	15	✓	
C41TN	#6	4,026	15	✓	
C42TN	#6	4,026	15	✓	
C43TOE	#8	0,598	12	✓	
C44LSW	#8	0,308	12	✓	
C45C1	#10	2,848	6	✓	
C46C2	#8	10,406	12	✓	
C47BA1	#10	0,446	6	✓	
C48BA2	#10	0,426	6	✓	
C49BA3	#10	0,474	6	✓	
C50BA4	#8	0,766	12	✓	
C51BA5	#10	0,53	6	✓	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 46, se muestra la capacidad de soporte de los conductores, como se logra observar, ningún conductor sobrepasa los límites, lo que significa que el conductor está en capacidad de soportar las corrientes de falla del sistema. Estos valores dependen directamente del área del conductor, de las temperaturas mínimas y máximas de operación y del tiempo de cortocircuito que según la norma se calcula a medio ciclo (0,00833 segundos).

5.7.2 Verificación de protecciones

Al igual que los conductores, las protecciones deben estar en capacidad para soportar un cortocircuito, su capacidad interruptora debe ser mayor que la capacidad de cortocircuito para poder disipar estas corrientes. En esta sección, se analizan los principales tableros con sus respectivas protecciones. Cabe señalar que se estudiaron solo los tableros principales (se omiten los tableros secundarios).

Tabla 47 Verificación de protecciones del tablero TTA (Compresores)

Tablero	TTA				
Voltaje (V)	480				
Corriente Asimétrica (KA)	14,099				
Alimentador	(9x#250KcmilAWG)F+(1x#250KcmilAWG)N				
Capacidad Soporte (KA)	200				
Protección	Marca	Modelo	Cap. Nominal (A)	C.Int (KA)	Condición
SD11T2	Square D	MA36600	800	30	✓
SD12SC	Square D	FAL3420	20	18	✓
SD13COM1	Square D	LA36350	350	30	✓
SD14COM2	Square D	LA36400	400	30	✓
SD15HN1	Square D	LA36250	250	25	✓
SD16HN2	Square D	KA36175	175	25	✓
SD17TX3C	Square D	KA36250	250	25	✓

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 47, se muestran las capacidades de los disyuntores del tablero de compresores, la cual indica que el sistema se encuentra bien protegido. El único que presenta una aproximación a la falla es el disyuntor SD12SC, el cual protegerá el ramal, pero es el más próximo a fallar.

Tabla 48 Verificación de protecciones del tablero TTB (Hangares)

Tablero	TTB
Voltaje (V)	480
Corriente Asimétrica (KA)	13,279
Alimentador	(9x#250KcmilAWG)F+(1x#250KcmilAWG)N

Capacidad Soporte (KA)	200				
Protección	Marca	Modelo	Cap. Nominal (A)	C.Int (KA)	Condición
SDCOT1	Square D	MA36600	600	30	✓
SD1PW1	Square D	KA36225	225	25	✓
SD2PW2	Square D	KA36225	225	25	✓
SD3PW3	Square D	KH36150	150	35	✓
SDMD	Square D	FA34050	50	18	✓
SDLHO	Square D	FA34100	100	18	✓
SDLHE	Square D	FA34101	100	18	✓
SDBMH1	Square D	QBA32125	125	10	X
SDBMH2	Square D	QBA32126	125	10	X
SDBMH3	Square D	QBA32127	125	10	X

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el tablero de hangares, se analizaron los disyuntores, en el cual tres de ellos no soportarían las corrientes de cortocircuito. Estos son para los motores de los bancos hidráulicos, con una capacidad de interrupción de 10 KA, la cual es deficiente para la corriente de 13,279 KA, por lo cual requiere sustituir estos disyuntores por otros que soporten más corriente de disparo.

Tabla 49 Verificación de protecciones del tablero TAD (Administración)

Tablero	TAD				
Voltaje (V)	240				
Corriente Asimétrica (KA)	37,700				
Alimentador	(9x#400KcmilAWG)F+(1x#400KcmilAWG)N				
Capacidad Soporte (KA)	200				
Protección	Marca	Modelo	Cap. Nominal (A)	C.Int (KA)	Condición
SD19T4	Square D	MA361000	1000	42	✓
SD22TM	Square D	KA36200	200	42	✓
SDLH2	Square D	KA36200	200	42	✓
SDLH3	Square D	KA36150	150	42	✓
SDSD	Square D	FA34050	50	42	✓

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 49, se presentan las distintas protecciones del tablero, las cuales todas soportarían la magnitud de esta falla, al ser el tablero a 240 V, la mayoría de los disyuntores tienen corrientes de disparo mayores, con lo cual difícilmente algún ramal se encuentre indebidamente protegido.

Tabla 50 Verificación de protecciones del tablero TMC (Taller Materiales Compuestos)

Tablero	TMC				
Voltaje (V)	240				
Corriente Asimétrica (KA)	16,968				
Alimentador	(9x#250KcmilAWG)F+(1x#250KcmilAWG)N				
Capacidad Soporte (KA)	200				
Protección	Marca	Modelo	Cap. Nominal (A)	C.Int (KA)	Condición
SDTX6T	Square D	MA36600	600	42	✓
SD30TD1	Square D	KA36200	200	42	✓
SD31TD2	Square D	KA36125	125	42	✓
SD32TD3	Square D	KA36125	125	42	✓
SD33TD4	Square D	FA34100	100	25	✓
SD34TD5	Square D	Q232175	175	10	X
SD35TD6	Square D	Q232175	150	10	X
SD36TD7	Square D	FA34030	30	25	✓
SD37TD8	Square D	FA36020	20	25	✓
SD38TD9	Square D	KA36125	125	42	✓

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el tablero de TMC, se encontraron dos disyuntores (SD34TD5, SD35TD6), con capacidades de interrupción por debajo de la corriente de falla. Al existir una falla en este tablero, podría perjudicar a los compresores que alimenta, los cuales, como se determinó anteriormente, son muy utilizados durante el día, así que, a modo de proteger y salvaguardar la vida de los equipos para evitar pérdidas monetarias, se deben sustituir estos disyuntores.

5.7.3 Sustitución de protecciones

En el anterior apartado, se comprobaron las capacidades de interrupción de los diferentes disyuntores en la empresa; en este, se hará la sustitución de las

protecciones deficientes. En la tabla 51, se muestran las sustituciones de los disyuntores anteriores.

Tabla 51 Sustitución de Protecciones de los diferentes Tableros.

Tablero	Marca	Modelo	Cap. Nominal (A)	C.Int (KA)	Condición	Marca	Modelo	C.Int (KA)
Hangares	Square D	3 X QBA32125	125	10	X	Square D	KH36125	35
TMC	Square D	Q232175	175	10	X	Square D	KA36175	42
TMC	Square D	Q232175	150	10	X	Square D	KA36150	42

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se sustituyen los tres disyuntores de los hangares por tres modelos KH36125, de 125 amperios nominal y una capacidad interruptora de 35 KA, lo suficiente para soportar la corriente de 13,27 KA, en el caso del tablero de TMC, se sustituye el modelo anterior por un KA36175 y KA36150, de 175 y 150 amperios respectivamente, ambos con una capacidad interruptora de 42 KA, lo necesario para evitar un daño en los compresores.

Capítulo 6: Análisis económico

Uno de los temas más importantes de cualquier proyecto es su análisis económico, para ello, se determinó la rentabilidad del cambio de luminarias fluorescentes (su mayoría T8), por las luminarias LED y las luminarias HID por las equivalentes HBL, a continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 52 Costo de la inversión de luminarias.

Edificio	Área (m ²)	Cantidad de Luminarias						
		P27540	PLV13	GR LED	TRLED	HBL60	HBL80	HBL150
Planta Alta - Administración	1960	317	69	-	-	-	-	-
Planta Baja - Administración	3000	258	2	51	32	-	-	-
Talleres - Primer Piso	2600	94	-	35	-	15	54	-
Talleres - Segundo Piso	975	52	35	25	-	-	-	-
Talleres MTO	1500	28	-	51	-	31	-	-
Hangares	8700	-	-	-	-	-	-	219
TMC, Talleres	3600	71	13	171	40	9	-	-
Exterior (Salud, COOPACEC)	1118	77	7	15	-	-	-	-
Total	23453	897	126	348	72	55	54	219
Proveedor		GRUPO DIEZ	LEDENCR	GRUPO DIEZ	GRUPO DIEZ	LEDENCR	LEDENCR	FUZIONLED
Precio unitario		₡31.500	₡7.065	₡104.550	₡124.124	₡71.200	₡88.540	₡135.543
Precio Total por luminarias		₡28.255.500	₡890.190	₡36.383.400	₡8.936.928	₡3.916.000	₡4.781.160	₡29.683.917
Costo de la Inversión		₡112.847.095						

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El costo total de la inversión es de ₡112.847.095, una inversión muy necesaria. Se obtuvieron diferentes cotizaciones con respecto a las luminarias utilizadas, buscando específicamente que contaran con las características eléctricas

establecidas, luminarias que se encontraran normadas y al mejor precio del mercado. Como se observa en la tabla 52, el área que tiene mayor cantidad de luminarias es la planta alta de administración, donde se cuenta con la mayoría de oficinas.

El precio establecido es unitario, por lo cual no incluye ningún descuento que se podría aplicar (inclusive un 20 %, consultando con diferentes proveedores), tampoco cuenta con los precios de mano de obra, cableado o compra de kit para colgar las luminarias, aunque algunas luminarias ya lo traen por defecto. El costo es meramente de las luminarias, debido a que se podría reutilizar ciertos cables (los que se encuentren en mejores condiciones), para reducir los costos operativos, al bajar la potencia de una luminaria de 64 W (fluorescente), por un panel LED de 40W, el calibre del cable no debería ser un problema mayor, pues consumirá menos corriente, con lo cual no se calentará y alargará su vida útil.

Tabla 53 Costo de la inversión de luminarias para iluminación de emergencias.

Edificio	Área (m ²)	Cantidad de luminarias según la alternativa	
		SYLVANIA (LUXEM N - MID)	DUALUX (DH-110)
Hangar 1	3900	16	16
Hangar 2	3100	10	12
Hangar 3	1700	6	5
Total de Luminarias		32	33
Precio unitario		₡256.352,00	₡179.987,00
Precio Total por luminarias		₡8.203.264,00	₡5.939.571,00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para la inversión de la iluminación de emergencias, se plantean utilizar luminarias marca Sylvania, las cuales tienen un costo unitario de ₡391.895, si se va a utilizar esta la alternativa 1, el costo de las luminarias HBL150 es de ₡ 135.543, si en lugar de comprar 16 luminarias de estas, se sustituyen por 16 luminarias LUXEM N, la inversión será de ₡256.352 unitario, con una inversión final de ₡8.203.264,00 esto sin el costo del cable, disyuntor ni mano de obra. Comparándolo con la alternativa 2, la cual representa un costo de luminaria unitario de ₡179.987,00, muy bajo

comparada a la alternativa 1, y una inversión total de ¢5.939.571,00. La diferencia es de ¢2.263.693,00, la alternativa 2 tampoco contempla el costo de los cables, disyuntor ni mano de obra, pero sí incluye la tarjeta Metalarc (tarjeta temporizadora) justamente para el caso que no replanee cambiar el sistema a LED.

Tabla 54 Análisis Económico del Hangar 1

Análisis Económico		
Hangar 1		
Horario	L-D 6 pm - 6 am	
Datos	HID	LED
Potencia (W)	32000	13500
Diferencia (KW)	18,5	
Horas al día	12	
Días a la semana	7	
Horas Punta	56	
Horas Nocturno	280	
Cargo por energía, KWh		
Periodo Punta	¢72,95	
Periodo Nocturno	¢16,68	
Cargo por potencia, KW		
Periodo Punta	¢11.837,00	
Periodo Nocturno	¢5.293,00	
Costo (¢/mes)	¢541.138,47	
Costo Luminarias	¢12.198.870,00	
Recuperación (meses)	22,542	
Recuperación (años)	1,878	
Vida Útil Luminaria (años)	7,7	
Ahorro anual	¢6.493.661,62	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se logra observar una recuperación importante a lo largo de 2 años aproximadamente, cambiando una potencia HID de 32 KW, por luminarias LED de 13,5 KW, esto genera un ahorro mensual de ¢541.138,4, unos ¢6.493.661,62 al

año, las tarifas se obtuvieron del ICE (1 abril del 2019 al 30 junio del 2019), el tipo de tarifa de COOPESA R.L. es T-MT (tarifa media tensión).

Tabla 55 Análisis de la inversión del proyecto en Hangar 1

Hangar Principal						
Tasa	10 %					
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-¢12.198.870,00					
Costos Anuales		¢0,00	¢0,00	¢0,00	-¢500.000,00	-¢500.000,00
Ahorro Anual		¢6.493.661,62	¢6.493.661,62	¢6.493.661,62	¢6.493.661,62	¢6.493.661,62
PDFIR	¢12.198.870,00	¢6.493.661,62	¢6.493.661,62	¢6.493.661,62	¢5.993.661,62	¢5.993.661,62
VAN	¢11.765.249,15	VAN > 0 = RENTABLE TIR > 0 = RENTABLE				
TIR	44 %					
ROI (años)	1,88					
Ahorro	58 %					

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Un VAN y TIR mayores a cero indica que el proyecto es rentable, el proyecto se calculó a 5 años plazo, debido a que la empresa planea mudarse a sus nuevas instalaciones (aproximadamente dentro de 3 a 5 años), por tal motivo aunque la vida útil de las luminarias se establezca en 7 años, se realiza el cálculo para 5, los primeros 3 años no deberían de existir gastos de mantenimiento, debido a que la luminaria está nueva, y no es un activo que se desgaste muy rápido, a partir de los 3 años, se representa un costo de -¢500.000,00, aproximadamente para cambiar cuatro luminarias al año, también, al cambiar de HID a HBL (Hight Bay Light), este ahorra aproximadamente un 58 % de energía.

Tabla 56 Análisis económico del Hangar 2

Hangar 2		
Horario	L-D 6 pm - 7 am	
Datos	HID	LED
Potencia (W)	24000	10200
Diferencia (KW)	13,8	
Horas al día	12	

Días a la semana	7
Horas Punta	56
Horas Nocturno	280
Cargo por energía, KWh	
Periodo Punta	₺72,95
Periodo Nocturno	₺16,68
Cargo por potencia, KW	
Periodo Punta	₺11.837,00
Periodo Nocturno	₺5.293,00
Costo (₺/mes)	₺403.660,05
Costo Luminarias	₺9.216.924,00
Recuperación (meses)	22,833
Recuperación (años)	1,902
Vida Útil Luminaria (años)	7,7
Ahorro Anual	₺4.843.920,56

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al igual que en el hangar principal, al pasar de 24 KW a 10,2 KW nos genera un ahorro de 3,8 KW, lo cual implica unos ₺403.660,05 mensuales, ₺4.843.920,56 al año, con una recuperación de aproximadamente 2 años.

Tabla 57 Análisis de la inversión del proyecto en el Hangar 2

Hangar 2						
Tasa	10 %					
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-₺9.216.924,00					
Costos Anuales		₺0,00	₺0,00	₺0,00	-₺500.000,00	-₺500.000,00
Ahorro Anual		₺4.843.920,56	₺4.843.920,56	₺4.843.920,56	₺4.843.920,56	₺4.843.920,56
PDFIR	₺9.216.924,00	₺4.843.920,56	₺4.843.920,56	₺4.843.920,56	₺4.343.920,56	₺4.343.920,56
VAN	₺8.493.378,57	VAN > 0 = RENTABLE TIR > 0 = RENTABLE				
TIR	43 %					
ROI (años)	1,90					
Ahorro	58 %					

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con un ahorro del 58 %, un VAN y TIR mayores a cero, se deduce que el proyecto también es rentable.

En total con los dos hangares se estima un ahorro mensual de ₡944.798,51 (colones), unos ₡11.337.582,17 al año, actualmente COOPESA R.L., paga entre ₡14.000.000 y ₡16.000.000 al mes, aproximadamente.

Para el hangar 3, no se realizó una comparativa económica, es normal saber que en el hangar 3 no es rentable cambiar las luminarias de 150W por las luminarias de 200W, al agregar más carga en potencia, no será rentable a futuro, pero debido a que no cumple con la normativa nacional, se debe realizar el cambio, el cual tiene un costo de ₡8.268.123,00. Se estimó un análisis general de las luminarias en la empresa y se muestra a continuación.

Tabla 58 Análisis económico de COOPESA R.L.

COOPESA R.L., GENERAL		
Horario	L-D 6 am - 7 pm	
Datos	Fluorescentes	LED
Potencia (W)	118976	71418
Diferencia (KW)	47,558	
Horas al día	13	
Días a la semana	7	
Horas Punta	112	
Horas Valle	252	
Cargo por energía, KWh		
Periodo Punta	₡72,95	
Periodo Valle	₡27,10	
Cargo por potencia, KW		
Periodo Punta	₡11.837,00	
Periodo Valle	₡8.264,74	
Costo (₡/mes)	₡1.886.364,97	
Costo Luminarias	₡83.163.178,00	
Recuperación (meses)	44,086	
Recuperación (años)	3,673	
Vida Útil Luminaria (años)	10,5	
Ahorro Anual	₡22.636.379,60	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para este análisis, se contaron todas las luminarias de cada recinto con ayuda de un plano eléctrico general de luminarias que existía. Para este análisis, como en la empresa existen algunas áreas sin ventanas o encontrarse estas tapadas con cortinas, las luminarias se encienden prácticamente desde la mañana hasta la noche (alrededor de las 7 pm) e inclusive más tarde. Insertar luminarias de mayor flujo luminoso que las que se encuentran en algunas áreas refleja una disminución de la cantidad de lámparas, en otras áreas la iluminación existente es tan mínima que se añadieron más lámparas para cumplir con la norma, lo cual exige que consuma más, por ejemplo, en oficinas amplias donde existían dos luminarias con dos tubos T8 de 32W (un total de 128 W) con una falta de iluminación clara, se tuvo que recurrir a insertar 4 paneles led (160 W) para cumplir con la norma. También, en talleres con muchas luminarias se cambiaron por paneles más potentes, así disminuyendo el consumo de potencia, pero aumentando el nivel de iluminación.

Tabla 59 Análisis económico general de COOPESA R.L.

COOPESA R.L.						
Tasa	10 %					
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-C\$83.163.178,00					
Costos Anuales		C\$0,00	C\$0,00	C\$0,00	-C\$500.000,00	-C\$500.000,00
Ahorro Anual		C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60
PDFIR	-C\$83.163.178,00	C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60	C\$22.636.379,60	C\$22.136.379,60	C\$22.136.379,60
VAN	C\$1.994.542,89					
TIR	11 %					
ROI (años)	3,67					
Ahorro	40 %					

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Un TIR más bajo que los anteriores casos, pero igualmente mayor a cero indica que el proyecto igualmente es rentable, el ROI (periodo de recuperación de la inversión), es de casi 4 años, lo cual es alto comparándolo con los hangares, pero igualmente rentable.

Para facilitar la interpretación del sistema general de COOPESA R.L., en la figura 25, se muestra una comparativa del consumo actual vs LED, donde se representa mejor la diferencia de la facturación eléctrica, cerca del 40 % menos en LED.

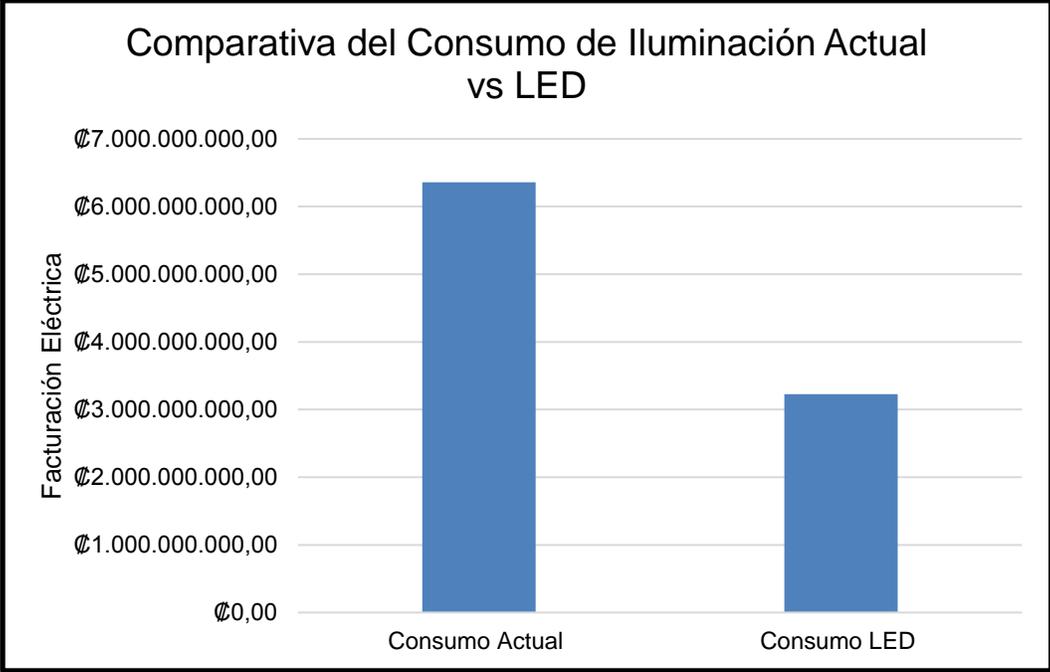


Figura 26 Comparativa de consumos de iluminación.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Del proyecto realizado se concluye:

- Mediante el uso del software DIALux Evo se diseñaron todas las áreas a iluminar, cumpliendo con la normativa nacional en los niveles de iluminación, deslumbramiento y rendimiento de color, revelando soluciones precisas y confiables para la empresa.
- Con el uso del Software de DIALux en su versión 4.13 se solventó la problemática de la falta de iluminación de emergencias, postulando dos alternativas eficientes y fiables para los hangares, así evitando accidentes y pérdidas humanas en caso de emergencia, tal como darle las herramientas necesarias al personal para evacuar en caso de faltante del flujo eléctrico en horas nocturnas.
- Por medio del cálculo manual de corrientes de falla trifásicas y monofásicas a medio ciclo con el método de la norma IEEE 551-2006, se concluye que los criterios empleados para el cálculo manual y su posterior simulación son valores confiables y conservadores con pequeñas diferencias de 3,723% para el cálculo trifásico y 2,681% para el cálculo monofásico
- Mediante los cálculos manuales y con ayuda del software eléctrico se obtuvo un protocolo de arco eléctrico, así como las etiquetas para los diferentes tableros, para informar al personal ante una falla de este tipo y salvaguardar la vida de los operarios.
- Por medio de los cálculos de arco eléctrico a medio ciclo con la norma IEEE 1584-2002, se concluye que los métodos de cálculo empleados para este tipo de falla al compararlos con el software de simulación son datos confiables para su posterior protocolo y etiquetado.
- Se concluye que la correcta selección de los dispositivos de protección de un sistema eléctrico, nos brinda una seguridad ante eventos de cortocircuito y arco eléctrico, soportando y reduciendo los efectos de estas fallas.

Recomendaciones

A partir del proyecto realizado se recomienda:

- Mantener actualizados los datos técnicos de los tableros, debido que, mientras se realizaba el levantamiento de los diagramas unifilares, existían disyuntores no marcados, por lo cual se tuvo que invertir mayor el tiempo para buscar a que tablero / máquina pertenecían estos.
- Se sugiere enormemente el uso de un software de simulación para realizar los estudios eléctricos a futuro.
- Realizar un estudio de cortocircuito y arco eléctrico cada 5 años o cada vez que se modifique el diagrama unifilar
- Se recomienda realizar un estudio de calidad de energía y de balanceo de cargas, debido a que se encontraron varios problemas de esta índole.
- Se aconseja un estudio de armónicos si se rediseña el sistema de iluminación a LED.
- Se recomienda guardar y mantener un orden de todos los planos de COOPESA R.L., debido a que se perdieron planos eléctricos con el transcurso de los años.
- Se invita a COOPESA R.L. a instalar sensores de movimiento en las luminarias para evitar el desperdicio de energía.
- Se recomienda a COOPESA R.L. probar las luminarias de emergencia, según la norma NFPA 101-2006 e adquirir luminarias debidamente normadas.
- Se sugiere realizar el cambio de luminarias a LED por partes, conforme lo indica el proyecto, empezando con los hangares y luego con oficinas.
- Se invita al Departamento de Mantenimiento a tener más acceso y control de los tableros y transformadores para evitar el desgaste por falta de mantenimiento a estos activos.
- Se sugiere al departamento de Salud Ocupacional contar con los equipos de protección adecuados para mitigar el arco eléctrico.

Bibliografía

- BRADY. (2018). *La guía para seguridad de arco eléctrico en el área de trabajo* . Obtenido de BRADY:
https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/Common/Arc_Flash_Guidebook_Latin_America.pdf
- Calleja, F. R. (2001). *CONDICIONES NECESARIAS PARA EL CONFORT VISUAL, ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*. Madrid: Chantal Dufresne, BA.
- Carpio, J. A. (2016). *Actualización de diagramas unifilares, estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones de los edificios A, B, C y D de la acometida principal de la sede central del Tecnológico de Costa Rica*. Cartago: TECNOLÓGICO DE COSTA RICA .
- Chinen, L. M. (26 de 12 de 2013). FAMILIA 28540041 LÁMPARAS DE HALOGENURO. Perú.
- Félix Redondo Quintela, R. C. (2014). *Descarga eléctrica y arco eléctrico*. Salamanca: Universidad de Salamanca .
- Ferro, I. G. (2015). *El método de las componentes simétricas*. Electrotecnia.
- Glover, D. (2017). *Sistemas de Potencia Análisis Y Diseño, sexta edición*. Boston: Cengage Learning.
- Guzman., G. B. (2018). Análisis de cortocircuitos en redes eléctricas de menos de 600 VMétodo de los KVA´sequivalentes. Cartago.
- Herrera, E. A. (2017). *Análisis de corto circuito y coordinación de protecciones de una Sub-estación de media tensión para la Oficina consultora Apame Design*. CARTAGO: TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- IEE 551-2006. (2006). *Práctica recomendada para calcular corrientes de cortocircuito de CA en sistemas de potencia industriales y comerciales*.
- INTE/ISO 8995-2016. (15 de 04 de 2016). Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1. Interiores. San José, Costa Rica.
- Montserrat, C. M. (2018). *Grupo de Estudios Luminotécnicos - UPC*. Obtenido de <https://grlum.dpe.upc.edu/>
- Ortiz, M. C. (2014). *La Tecnología LED*.

- Phillips. (2017). *Lámparas fluorescentes T8*. Obtenido de Phillips:
<http://www.lighting.philips.com.mx/prof/lamparas-y-tubos-convencionales/fluorescent-lamps-and-starters/tl-d/t8-estandar>
- Phillips, J. (2010). *On the Job: In the field , How Long?* Electrical Contractor Magazine.
- Rivas, A. J. (2016). *PROPUESTA PARA EL AHORRO DE ENERGIA POR ILUMINACION EN LA EMPRESA ZIPSA MEDIANTE EL USO DE LAMPARAS LEDs* Y. Managua.
- Secades, M. R. (2014). *SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA ILUMINACIÓN*,. UNIVERSIDAD DE OVIEDO.
- Sköld. (2019). *Equipos de protección contra arco eléctrico*. Obtenido de Skoldtechnology:
<http://skoldtechnology.com/>
- Stevenson., J. J. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. Naucapal de Juarez, México: McGraw-Hill.
- Sylvania. (2019). *Balastos*. Obtenido de <http://www.sylvania-americas.com/es/sylvania/materiales>
- Unidad de ingeniería de bomberos. (2013). *MANUAL DE DISPOSICIONES TÉCNICAS GENERALES SOBRE SEGURIDAD HUMANA Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS VERSIÓN 2013*.

Apéndices

Apéndice 1. Tablas de Cálculo para Cortocircuito.

Tabla 60 Valores de Red distribuidora para transformadores de 500 KVA (Compresores, Hangares)

Datos de la Red Distribuidora Trifásica - Compresores, Hangares								
Compañía	Tensión (V)	Corriente Trifásica (A)	Corriente Monofásica (A)	Z (Ω)	X/R	Z(p.u)	X(p.u)	R(p.u)
ICE	34500	4700	7000	4,2380	50,72	0,001780297	0,001779951	3,5094E-05

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 61 Valores de Red distribuidora para transformadores de 750 KVA (Administración)

Datos de la Red Distribuidora Trifásica - Administración								
Compañía	Tensión (V)	Corriente Trifásica (A)	Corriente Monofásica (A)	Z (Ω)	X/R	Z(p.u)	X(p.u)	R(p.u)
ICE	34500	4700	7000	4,2380	50,72	0,002670445	0,002669926	5,2641E-05

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 62 Valores de Red distribuidora para transformadores de 300 KVA (TMC)

Datos de la Red Distribuidora Trifásica - Compresores								
Compañía	Tensión (V)	Corriente Trifásica (A)	Corriente Monofásica (A)	Z (Ω)	X/R	Z(p.u)	X(p.u)	R(p.u)
ICE	34500	4700	7000	4,2380	50,72	0,001068178	0,001067971	2,10562E-05

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 63 Datos del Generador.

Datos del Generador							
Generador	Tensión (V)	Potencia (KVA)	Corriente (A)	X(%)	X/R	X (p.u)	R (p.u)
MATRA	480	500	602	19	10	0,19	0,019

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 64 Datos del banco de condensadores.

Banco de Condensadores			
480 v , 75 KVA , Fp:0.95			
Marca	Etapa	Fusible	Capacidad de la Etapa
Siemens	#1	3 x 150 A	1 x 12.5 kVAR
Siemens	#2	3 x 150 A	1 x 12.5 kVAR
Siemens	#3	3 x 150 A	1 x 12.5 kVAR
Siemens	#4	3 x 150 A	1 x 12.5 kVAR
Siemens	#5	3 x 150 A	1 X 25 kVAR

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 65 Glosario de los equipos

Glosario de los equipos	
Codificación	Nombre
PW1	POWER JET 1
PW2	POWER JET 2
PW3	POWER JET 3
MD	MOTOR DOBLADORA
LHO	LUCES HANGAR PRINCIPAL LADO OESTE

LHE	LUCES HANGAR PRINCIPAL LADO ESTE
MBH1	MOTOR BANCO HIDRÁULICO 1
MBH2	MOTOR BANCO HIDRÁULICO 2
MBH3	MOTOR BANCO HIDRÁULICO 3
SC	SECADOR
COM1	COMPRESOR 1
COM2	COMPRESOR 2
HN1	HORNO 1
HN2	HORNO 2
PM	PULLMAX (MÁQUINA)
SM	SUMMIT (MÁQUINA)
IC	IMCAR (MÁQUINA)
LH2	LUCES DE HANGAR 2
LH3	LUCES DE HANGAR 3
SD	SERVIDORES DE DATOS
BA1	BOMBA DE AGUA 1
BA2	BOMBA DE AGUA 2
BA3	BOMBA DE AGUA 3
CF	CUARTO FRIO
AC1	AIRE ACONDICIONADO 1
AC2	AIRE ACONDICIONADO 2
BPT	BOMBA PLANTA TRATAMIENTOS
LSW	LAMINADORA SIDE WALL
HTMC1	HORNO TMC 1

HTMC2	HORNO TMC 2
CTMC1	COMPRESOR VACIO TMC 1
CTMC2	COMPRESOR VACIO TMC 2
CPI	CAPILLA PINTURA
PH3	PORTÓN HANGAR 3
BA4	BOMBA DE AGUA 4
BA5	BOMBA DE AGUA 5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 66 Valores de impedancia de los transformadores.

Transformador	Potencia (KVA)	Z (%)	X/R	X %	R %	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX1H	500	5,5	3	5,2178	1,7393	0,055	0,0522	0,017393
TX2C	500	5,5	3	5,2178	1,7393	0,055	0,0522	0,017393
TX3C	75	2,4	3	2,2768	0,7589	0,16	0,1518	0,050596
TX4A	750	5,75	6	5,6718	0,9453	0,0575	0,0567	0,009453
TX5A	500	5,5	6	5,4252	0,9042	0,0825	0,0814	0,013563
TX5A2	10	2,34	3	2,2199	0,7400	1,755	1,6649	0,554980
TX6T	300	5	4	4,8507	1,2127	0,05	0,0485	0,012127
TX7T	10	2,34	3	2,2199	0,7400	0,702	0,6660	0,221992

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 67 Impedancias de los Equipos.

Equipo	Tensión (V)	Potencia (KVA)	Corriente (A)	X %	X/R	X (p.u)	R (p.u)
PW1	480	90	140	0	0	0,0000	0,0000

PW2	480	90	140	0	0	0,0000	0,0000
PW3	480	90	140	0	0	0,0000	0,0000
MD	480	30	40	27,8	5	4,6333	0,9267
LHO	480	16	40	0	0	0,0000	0,0000
LHE	480	16	40	0	0	0,0000	0,0000
MBH1	480	60	78	20,8	5	1,7333	0,3467
MBH2	480	60	78	20,8	5	1,7333	0,3467
MBH3	480	60	78	20,8	5	1,7333	0,3467
SC	480	5	9	27,8	5	27,8000	5,5600
COM1	480	100	141	20,8	8	1,0400	0,1300
COM2	480	150	180	20,8	9	0,6933	0,0770
HN1	480	72	103	0	0	0,0000	0,0000
HN2	480	45	61	0	0	0,0000	0,0000
PM	240	5	16	27,8	5	41,7000	8,3400
SM1	240	20	54	27,8	5	10,4250	2,0850
IC	240	10	28	27,8	5	20,8500	4,1700
LH2	240	24	70	0	0	0,0000	0,0000
LH3	240	12,2	55	0	0	0,0000	0,0000
SD	240	5	20	0	0	0,0000	0,0000
BA1	240	2	6,8	27,8	5	41,7000	8,3400
BA2	240	2	6,8	27,8	5	41,7000	8,3400
BA3	240	2	6,8	27,8	5	41,7000	8,3400
CF	240	5	15,2	27,8	5	16,6800	3,3360
AC1	240	5	15,2	27,8	5	16,6800	3,3360

AC2	240	5	15,2	27,8	5	16,6800	3,3360
BPT	240	3	9,6	27,8	5	27,8000	5,5600
LSW	480	5	7,6	27,8	5	16,6800	3,3360
HTMC1	240	43	104	0	5	0,0000	0,0000
HTMC2	240	55	130	0	5	0,0000	0,0000
CTMC1	240	5	15,2	27,8	5	16,6800	3,3360
CTMC2	240	7,5	22	27,8	5	11,1200	2,2240
CPI	240	3	9,6	27,8	5	27,8000	5,5600
PH3	240	7,5	22	27,8	5	11,1200	2,2240
BA4	240	3	9,6	27,8	5	27,8000	5,5600
BA5	240	2	6,8	27,8	5	41,7000	8,3400

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 68 Valores de impedancias de los cables.

Cable	Tensión (V)	Calibre	Conductores	Distancia (Km)	Z (Ω /Km)	X (Ω /Km)	R (Ω /Km)	Z (Ω)	X (Ω)	R (Ω)	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
COT1	480	#250	3	0,003	0,217867	0,1350	0,1710	0,000218	0,000135	0,000171	0,000473	0,000293	0,000371
C1P1	480	#1/0	1	0,04	0,415735	0,1440	0,3900	0,016629	0,005760	0,015600	0,036088	0,012500	0,033854
C2P2	480	#1/0	1	0,1	0,415735	0,1440	0,3900	0,041574	0,014400	0,039000	0,090220	0,031250	0,084635
C3P3	480	#1/0	1	0,045	0,415735	0,1440	0,3900	0,018708	0,006480	0,017550	0,040599	0,014063	0,038086
C4D	480	#8	1	0,022	2,565705	0,1710	2,5600	0,056446	0,003762	0,056320	0,122495	0,008164	0,122222
C5LOE	480	#10	1	0,045	3,903447	0,1640	3,9000	0,175655	0,007380	0,175500	0,381196	0,016016	0,380859
C6LE	480	#10	1	0,045	3,903447	0,1640	3,9000	0,175655	0,007380	0,175500	0,381196	0,016016	0,380859
C7BH1	480	#4	1	0,092	1,032012	0,1570	1,0200	0,094945	0,014444	0,093840	0,206044	0,031345	0,203646

C8BH2	480	#4	1	0,045	1,032012	0,1570	1,0200	0,046441	0,007065	0,045900	0,100782	0,015332	0,099609
C9BH3	480	#4	1	0,042	1,032012	0,1570	1,0200	0,043345	0,006594	0,042840	0,094064	0,014310	0,092969
C10GEN	480	#250	3	0,006	0,217867	0,1350	0,1710	0,000436	0,000270	0,000342	0,000946	0,000586	0,000742
C11T2	480	# 250	3	0,007	0,217867	0,1350	0,1710	0,000508	0,000315	0,000399	0,001103	0,000684	0,000866
C12SC	480	# 12	1	0,023	6,602373	0,1770	6,6000	0,151855	0,004071	0,151800	0,329546	0,008835	0,329427
C13COM1	480	#1/0	1	0,023	0,415735	0,1440	0,3900	0,009562	0,003312	0,008970	0,020751	0,007188	0,019466
C14COM2	480	#3/0	1	0,025	0,288189	0,1380	0,2530	0,007205	0,003450	0,006325	0,015635	0,007487	0,013726
C15HN1	480	#2	1	0,02	0,637420	0,1480	0,6200	0,012748	0,002960	0,012400	0,027666	0,006424	0,026910
C16HN2	480	#6	1	0,024	1,618638	0,1670	1,6100	0,038847	0,004008	0,038640	0,084304	0,008698	0,083854
C17TX3C	480	#4	1	0,08	1,032012	0,1570	1,0200	0,082561	0,012560	0,081600	0,179169	0,027257	0,177083
C18BC	480	#2/0	1	0,003	0,358861	0,1410	0,3300	0,001077	0,000423	0,000990	0,004254	0,003672	0,002148
C19T4	240	#400	3	0,003	0,169779	0,1310	0,1080	0,000170	0,000131	0,000108	0,002211	0,001706	0,001406
C21T5	240	#4/0	2	0,003	0,243791	0,1350	0,2030	0,000366	0,000203	0,000305	0,004762	0,002637	0,003965
C22TM	240	#1	1	0,002	0,512739	0,1510	0,4900	0,001025	0,000302	0,000980	0,013353	0,003932	0,012760
C23PM	240	#12	1	0,02	6,602373	0,1770	6,6000	0,132047	0,003540	0,132000	1,719368	0,046094	1,718750
C24SM	240	#6	1	0,025	1,618638	0,1670	1,6100	0,040466	0,004175	0,040250	0,526900	0,054362	0,524089
C25IC	240	#10	1	0,015	3,903447	0,1640	3,9000	0,058552	0,002460	0,058500	0,762392	0,032031	0,761719
C26LH2	240	#4	1	0,018	1,032012	0,1570	1,0200	0,018576	0,002826	0,018360	0,241878	0,036797	0,239063
C27LH3	240	#6	1	0,1	1,618638	0,1670	1,6100	0,161864	0,016700	0,161000	2,107602	0,217448	2,096354
C28SD	240	#12	1	0,12	6,602373	0,1770	6,6000	0,792285	0,021240	0,792000	10,316208	0,276563	10,312500
C29TX6T	240	#250	3	0,003	0,217867	0,1350	0,1710	0,000218	0,000135	0,000171	0,001135	0,000703	0,000891
C30TD1	240	#3/0	1	0,007	0,288189	0,1380	0,2530	0,002017	0,000966	0,001771	0,010507	0,005031	0,009224
C31TD2	240	#1	1	0,024	0,512739	0,1510	0,4900	0,012306	0,003624	0,011760	0,064092	0,018875	0,061250
C32TD3	240	#2	1	0,0075	0,637420	0,1480	0,6200	0,004781	0,001110	0,004650	0,024899	0,005781	0,024219

C33TD4	240	#10	1	0,028	3,903447	0,1640	3,9000	0,109297	0,004592	0,109200	0,569253	0,023917	0,568750
C34TD5	240	#2	1	0,011	0,637420	0,1480	0,6200	0,007012	0,001628	0,006820	0,036519	0,008479	0,035521
C35TD6	240	#1	1	0,02	0,512739	0,1510	0,4900	0,010255	0,003020	0,009800	0,053410	0,015729	0,051042
C36TD7	240	#3	1	0,007	0,834336	0,1540	0,8200	0,005840	0,001078	0,005740	0,030418	0,005615	0,029896
C37TD8	240	#8	1	0,02	2,565705	0,1710	2,5600	0,051314	0,003420	0,051200	0,267261	0,017813	0,266667
C38TD9	240	#8	1	0,09	2,565705	0,1710	2,5600	0,230913	0,015390	0,230400	1,202674	0,080156	1,200000
C40TN	240	#6	1	0,014	1,618638	0,1670	1,6100	0,022661	0,002338	0,022540	0,118026	0,012177	0,117396
C41TN	240	#6	1	0,01	1,618638	0,1670	1,6100	0,016186	0,001670	0,016100	0,084304	0,008698	0,083854
C42TN	240	#6	1	0,01	1,618638	0,1670	1,6100	0,016186	0,001670	0,016100	0,084304	0,008698	0,083854
C43TOE	240	#8	1	0,09	2,565705	0,1710	2,5600	0,230913	0,015390	0,230400	1,202674	0,080156	1,200000
C44LSW	480	#8	1	0,06	2,565705	0,1710	2,5600	0,153942	0,010260	0,153600	0,200446	0,013359	0,200000
C45C1	240	#10	1	0,01	3,903447	0,1640	3,9000	0,039034	0,001640	0,039000	0,203305	0,008542	0,203125
C46C2	240	#8	1	0,009	2,565705	0,1710	2,5600	0,023091	0,001539	0,023040	0,120267	0,008016	0,120000
C47BA1	240	#10	1	0,08	3,903447	0,1640	3,9000	0,312276	0,013120	0,312000	1,626436	0,068333	1,625000
C48BA2	240	#10	1	0,084	3,903447	0,1640	3,9000	0,327890	0,013776	0,327600	1,707758	0,071750	1,706250
C49BA3	240	#10	1	0,075	3,903447	0,1640	3,9000	0,292759	0,012300	0,292500	1,524784	0,064063	1,523438
C50BA4	240	#8	1	0,069	2,565705	0,1710	2,5600	0,177034	0,011799	0,176640	0,922050	0,061453	0,920000
C51BA5	240	#10	1	0,066	3,903447	0,1640	3,9000	0,257627	0,010824	0,257400	1,341810	0,056375	1,340625

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 69 Resumen de resultados de arco eléctrico para Hangares.

Corriente de Arco Eléctrico			Energía Incidente Normalizada			Energía de Arco Eléctrico			Distancia		
HANGAR			HANGAR			HANGAR			HANGAR		
Tablero B			Tablero B			Tablero B			Tablero B		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
K	-0,097	Enclosed Arc	K1	-0,555	Factor 1	Cf	1,5	Factor	Cf	1,5	Factor
Lbf A	11650,00681	Corriente Simétrica (A)	K2	-0,113	Factor 2	En	2,116761557	J/cm ²	En	2,116761557	J/cm ²
Lbf KA	11,65000681	Corriente Simétrica (KA)	Ia	8,053543209	Corriente Simétrica (KA)	t	0,025	s	Eb	5	J/cm ²
KV	0,48	Voltaje Tablero	G	13	mm	D	457,2	mm	t	0,025	s
G	13	mm				X	2		X	2	
						E	2,956052303	J/cm ²			
Ia	8,053543209	KA	En	2,116761557	J/cm ²	E	0,706514237	cal/cm ²	Db	351,5420465	mm

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Apéndice 2. Diagramas unifilares y Etiquetas de Arco eléctrico.

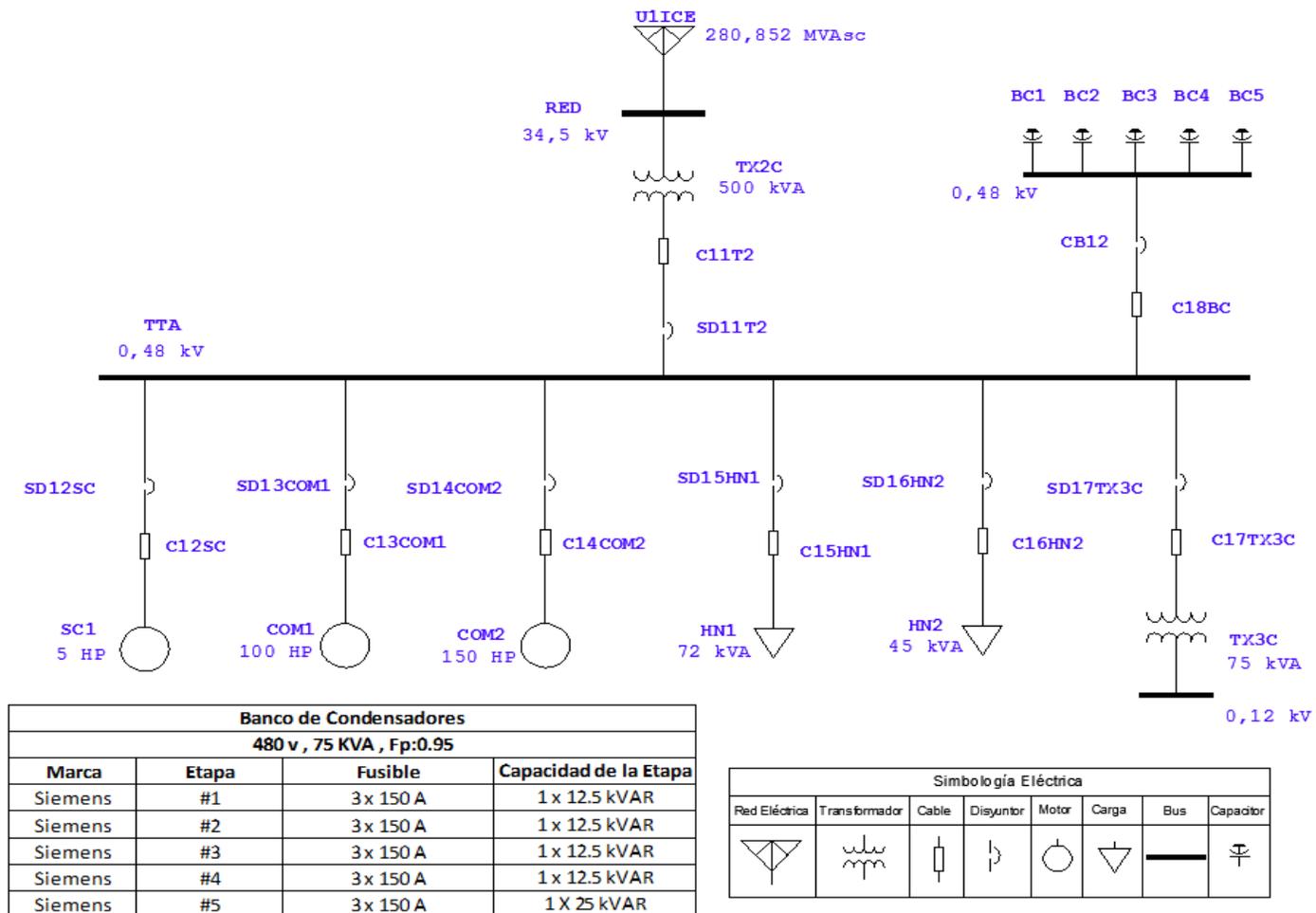
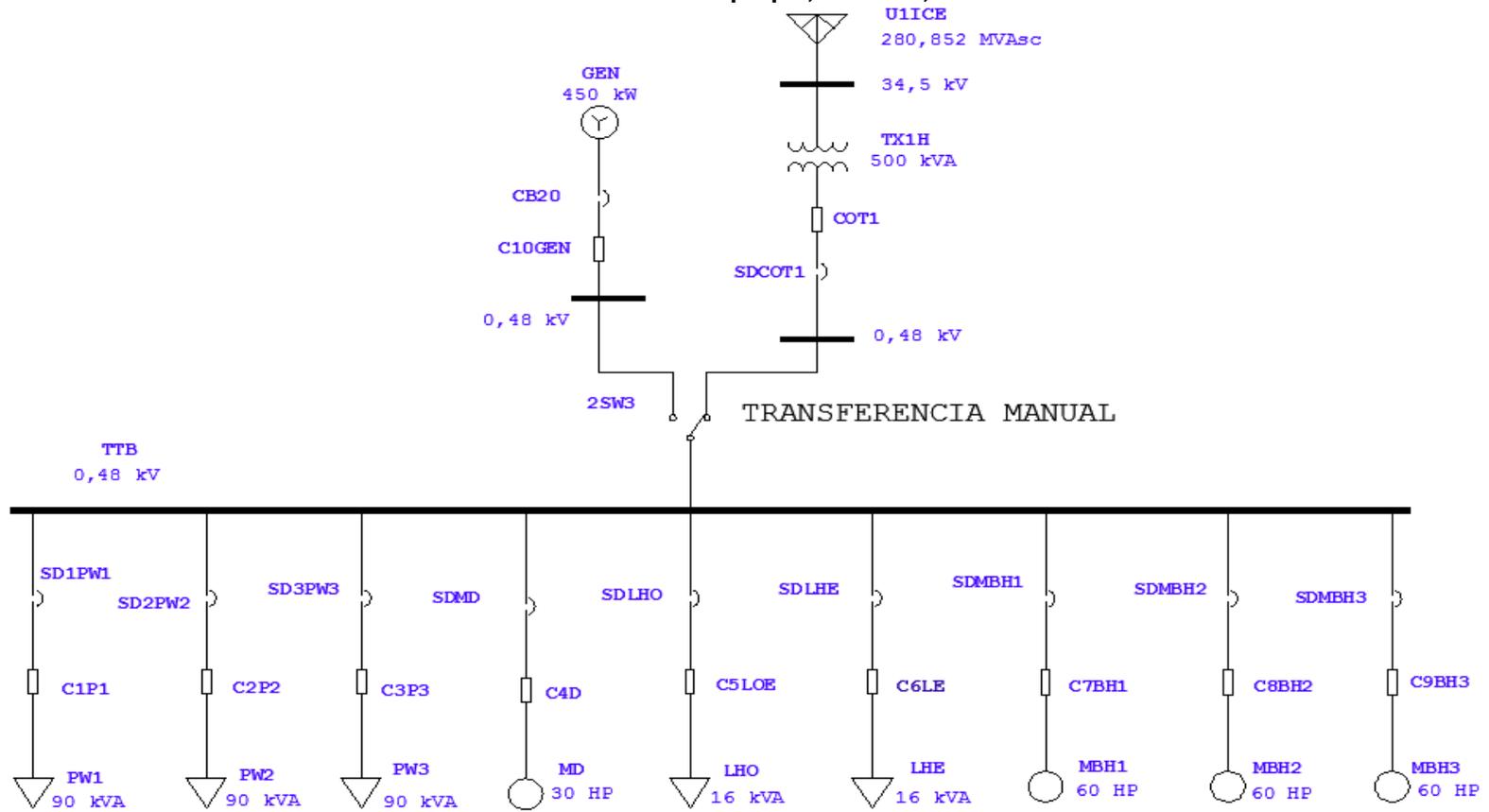


Figura 27 Diagrama unifilar de Compresores

Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019.



Simbología Eléctrica							
Red Eléctrica	Transformador	Cable	Disyuntor	Motor	Carga	Bus	Generador

Figura 28 Diagrama Unifilar de Hangares
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019

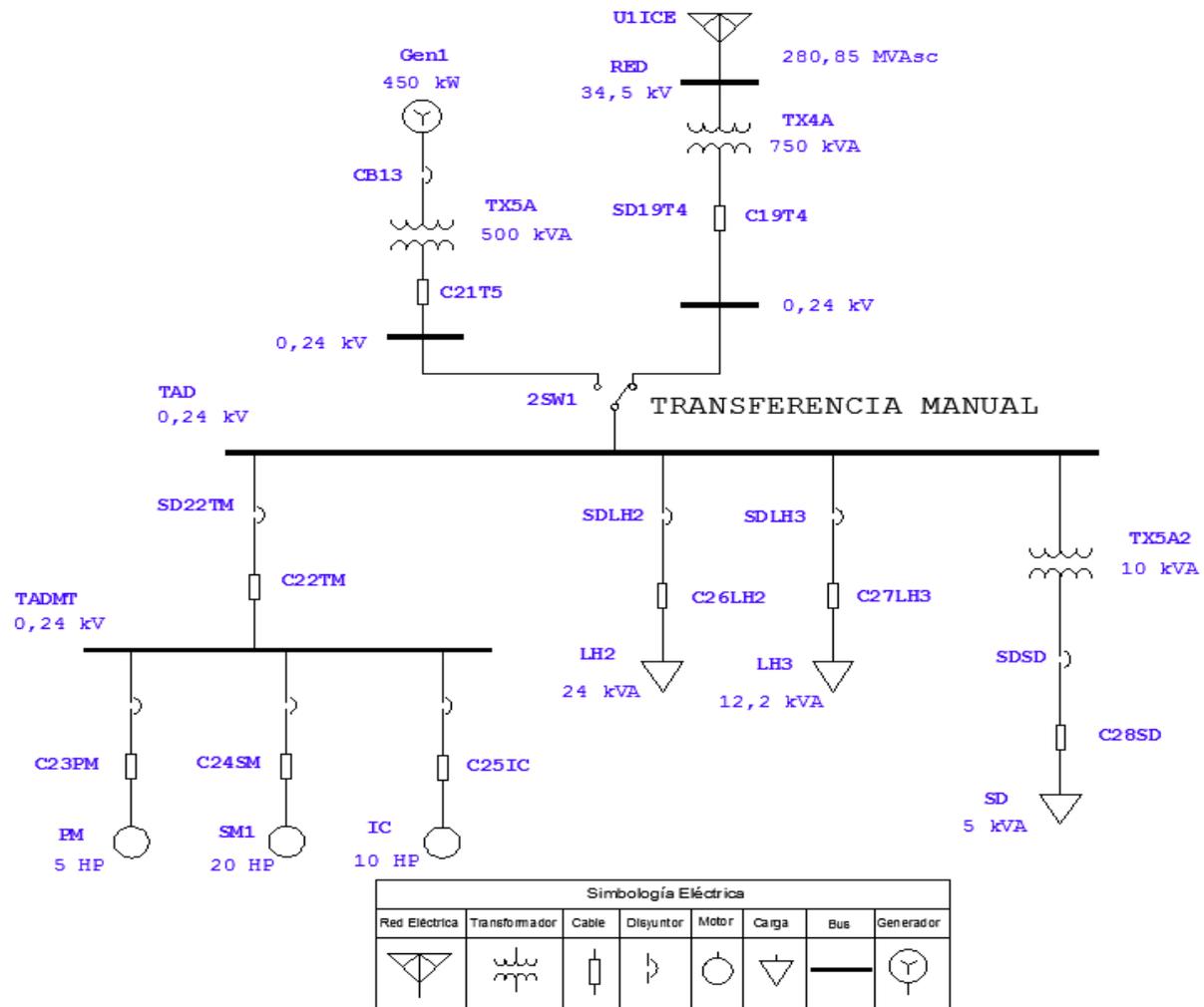


Figura 29 Diagrama unifilar de Administración
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019

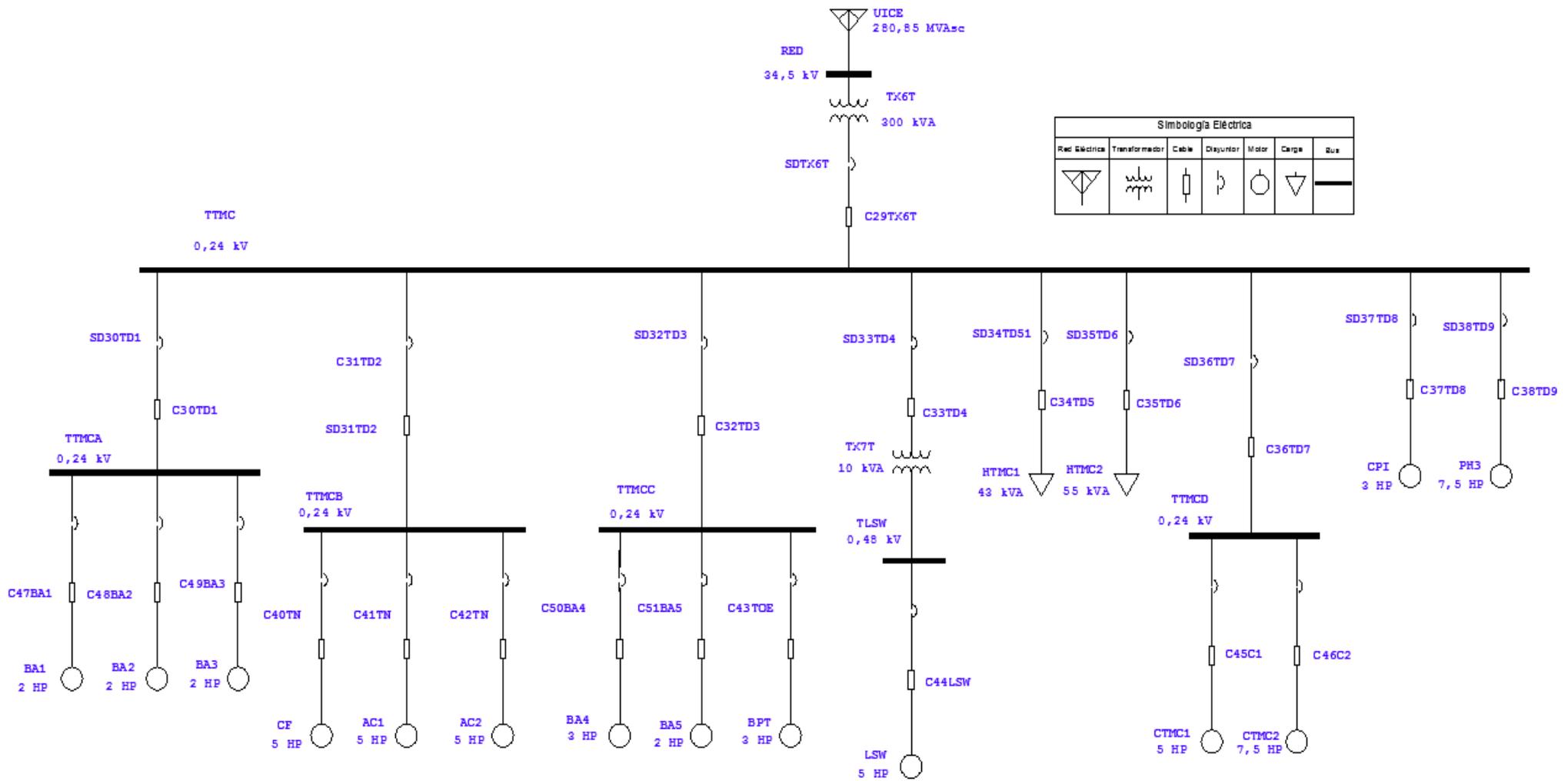


Figura 30 Diagrama Unifilar de TMC
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019

⚠️ WARNING

05-17-2019

**Arc Flash and Shock Hazard
Appropriate PPE Required**

Arc Flash Boundary	1.1 ft
Incident Energy (cal/cm ²)	0.6
Working Distance	18.0 in

Level 0
PPE Requirements have not been approved

Shock Hazard Exposure: 240 V
Shock Hazard when covers removed

Limited Approach	3.5 ft	Class 00
Restricted Approach	1.0 ft	Insulating Gloves
		V-rating 500 VAC

Equipment Name:
Source Protective Device: SDTX6T
TTMC

⚠️ WARNING

05-17-2019

**Arc Flash and Shock Hazard
Appropriate PPE Required**

Arc Flash Boundary	0.8 ft
Incident Energy (cal/cm ²)	0.3
Working Distance	18.0 in

Level 0
PPE Requirements have not been approved

Shock Hazard Exposure: 240 V
Shock Hazard when covers removed

Limited Approach	3.5 ft	Class 00
Restricted Approach	1.0 ft	Insulating Gloves
		V-rating 500 VAC

Equipment Name:
Source Protective Device: SD30TD1
TTMCA

⚠️ WARNING

05-17-2019

**Arc Flash and Shock Hazard
Appropriate PPE Required**

Arc Flash Boundary	0.6 ft
Incident Energy (cal/cm ²)	0.2
Working Distance	18.0 in

Level 0
PPE Requirements have not been approved

Shock Hazard Exposure: 240 V
Shock Hazard when covers removed

Limited Approach	3.5 ft	Class 00
Restricted Approach	1.0 ft	Insulating Gloves
		V-rating 500 VAC

Equipment Name:
Source Protective Device: SD31TD2
TTMCB

Figura 31 Etiquetas de Arco eléctrico para TMC.
Fuente: Elaboración propia, ETAP 16, 2019

Apéndice 3. DIALux.



Figura 32 Hangar principal, Vista frontal
Fuente: Elaboración propia, DIALux Evo, 2019.

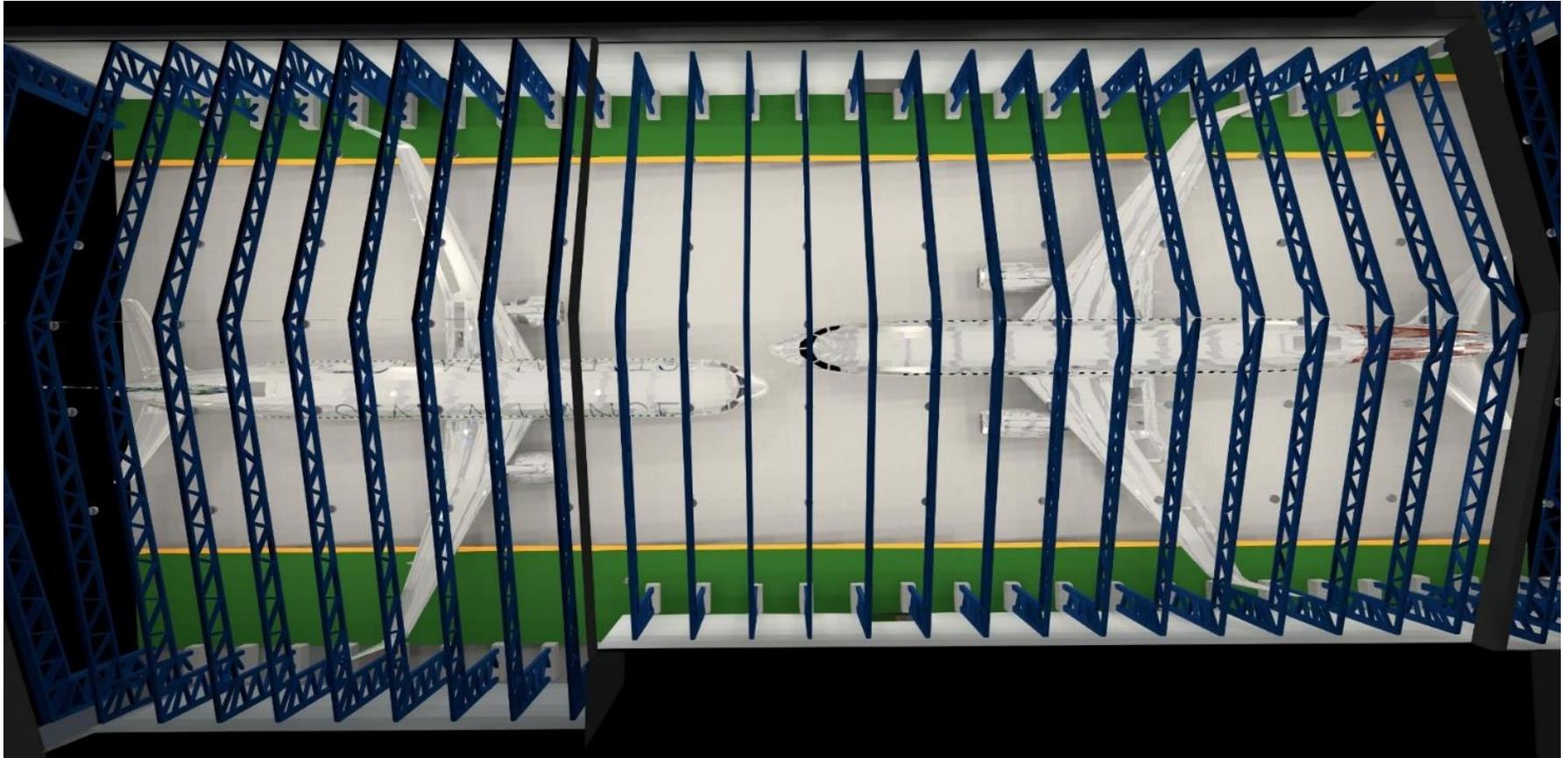


Figura 33 Hangar 2, Vista Superior
Fuente: Elaboración propia, DIALux Evo, 2019.



Figura 34 Hangar 3, Vista a $\frac{3}{4}$
Fuente: Elaboración propia, DIALux Evo, 2019.

Apéndice 4. Memoria de cálculo.

En esta sección se detallara la metodología de cálculo empleada en el análisis de corrientes de cortocircuito, debido a que el diseño y rediseño de iluminación se hizo totalmente con un software especializado, no se realizaron metodologías de cálculo, el estudio de cortocircuito basaron en las normas IEEE 141-1993 y IEEE 551-2006, y para arco eléctrico en la norma IEEE 1584-2002, se pretende explicar cómo se realizaron los cálculos de dichos estudios, para ello se tomara a modo de ejemplo el diagrama unifilar de TMC, para los cálculos de arco eléctrico se pueden consultar en la norma.

4.1. Cálculo de impedancias

El primer paso por seguir es definir una base para los valores en por unidad de todos los componentes, para el diagrama unifilar de TMC la base fue de 300 KVA, 34500 V, 240 V, las corrientes de impedancia se calcularon con las ecuaciones siguientes.

$$I_{base}(A) = \frac{S_{BASE}(KVA) \times 1000}{V_{LL}(V) \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

$$Z_{base}(\Omega) = \frac{V_{LN\,BASE}(V)}{I_{BASE}(A)} \quad (3)$$

Con estas ecuaciones se obtiene el resultado para TMC, (recordemos que el VLN (Voltaje línea neutro) es el voltaje de línea-línea entre raíz de tres).

Tabla 70 Valores base para TMC

Potencia Base (KVA)	300
Corriente Base (A)	5,020
Voltaje Base (V)	34500
Impedancia Base (Ω)	3967,5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El segundo paso es obtener los valores de reactancia y resistencia de los calibres (ver apéndice 1), estos fueron obtenidos de la tabla 9 del NEC, (Figura 39).

$$X(\Omega) = \frac{X\left(\frac{\Omega}{m}\right) \times Distancia(m)}{\#Conductores} \quad (4)$$

$$R(\Omega) = \frac{R\left(\frac{\Omega}{m}\right) \times Distancia(m)}{\#Conductores} \quad (5)$$

Estos valores se encuentran en ohmios, debido a que la metodología del cálculo utiliza valores en p.u., se procede a convertirlos.

$$X(p.u) = \frac{X\left(\frac{\Omega}{m}\right)}{Z_{BASE}} \quad (6)$$

$$R(p.u) = \frac{R\left(\frac{\Omega}{m}\right)}{Z_{BASE}} \quad (7)$$

En las anteriores formulas, se calculó el valor de reactancia y resistencia en p.u., para la base de TMC, en la tabla 68, se encuentran los resultados de estos cálculos.

El cálculo de la reactancia y resistencia de la fuente se procede con las siguientes formulas.

$$Z(\Omega) = \frac{V_{LL}(V)}{I_{3ph}(A) \times \sqrt{3}} \quad (8)$$

$$Z(pu) = \frac{Z(\Omega)}{Z_{BASE}(\Omega)} \quad (9)$$

$$\frac{X}{R} = 50,72 \quad (Figura 40)$$

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \quad (10)$$

Despejando la ecuación 10 y la ecuación de la figura 40, se puede obtener el equivalente para Rs

$$R_S(pu) = \sqrt{\frac{Z_S^2}{1 + \frac{X^2}{R}}} \quad (11)$$

Una vez obtenido el valor de Rs con la ecuación de la figura 40, se obtiene Xs, estos datos se encuentran en el apéndice 1, en la tabla 62.

Para los transformadores el valor de Z (%) se toma de los datos de placa, en caso de que no se puedan encontrar se permite utilizar datos de fabricantes con modelos parecidos, o en todo caso la norma nos permite utilizar 4 % para transformadores menores a 600 KVA, el valor típico de X/R se toma de la figura 35.

$$X(\%) = \left(\frac{X}{R}\right) \times R(\%) \quad (12)$$

$$R(\%) = \frac{Z(\%)}{\sqrt{\left(\frac{X}{R}\right)^2 + 1}} \quad (13)$$

Una vez estén los valores en porcentaje, se procede a calcularlos a pu.

$$X(pu) = \frac{X(\%) \times S_{BASE}}{100 \times S_{TRAFO}} \quad (14)$$

$$R(pu) = \frac{R(\%) \times S_{BASE}}{100 \times S_{TRAFO}} \quad (15)$$

Los Datos calculados anteriormente se encuentran en la tabla 66, para el caso de los transformadores y generadores, se calculan con los criterios de la norma IEEE, para motores menores a 50 Hp se utiliza una reactancia de 27,8 % y para motores mayores a 50 hp se utiliza 20,8 %.

$$R(pu) = \frac{Base(KVA) \times \%R_{Motor}}{Motor(KVA) \times 100} \quad (16)$$

$$X(pu) = \frac{Base(KVA) \times \%X_{Motor}}{Motor(KVA) \times 100} \quad (17)$$

Los resultados de los motores se encuentran en la tabla 67 y la unidad generadora en la tabla 63.

4.2. Cálculo de la impedancia equivalente.

Una vez obtenidos los valores en p.u de todos los componentes del sistema (omitiendo los meramente resistivos o que no aporten corrientes de cortocircuito), se procede a simplificar los elementos hasta obtener un equivalente de impedancia $Z = R + Xj$, a modo de ejemplo se presenta el tablero TTMCA, el cual consta de tres motores de bombas, para simplificar se utilizan las fórmulas de series y paralelos.

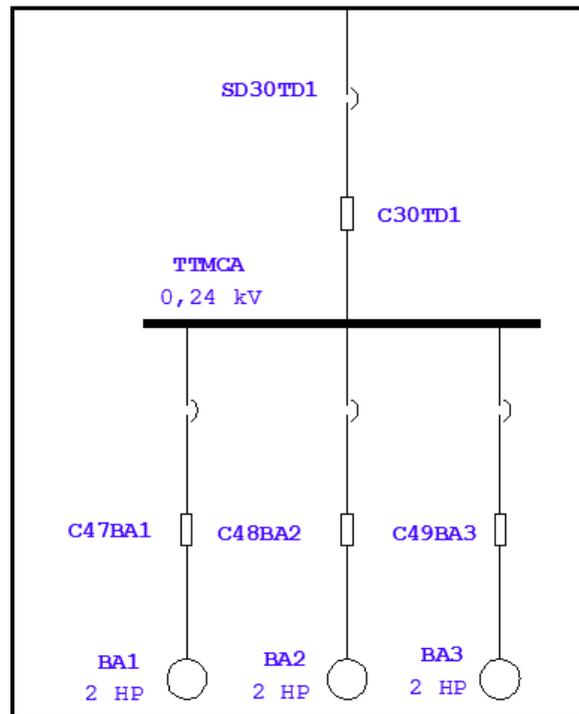


Figura 35 Detalle del tablero TTMCA
Fuente: Elaboración propia (ETAP16, 2019.)

Las impedancias de las bombas BA1, BA2 y BA3, se suman con las impedancias de los cables C47BA1, C48BA2 y C49BA3, para luego realizar un paralelo entre todas estas impedancias, una vez realizado el paralelo se suma la impedancia resultante con la impedancia del cable C30TD1, para luego realizar un paralelo con las demás impedancias totales.

Tabla 71 Impedancia Equivalente de los motores y cables, TMCA

Cálculo de impedancias p.u, Motores y Cables, Paralelo		
1/Z25	0,005404-0,02265i	Motores de Bombas y Cable
1/Z26	0,005443-0,02263i	
1/Z27	0,005356-0,02268i	
Zsum	0,016203-0,06796i	
Zr1	3,319+13,922i	
Zt1	3,329+13,928i	

Fuente: Elaboración propia (EXCEL,2016)

Al finalizar todas las impedancias se obtiene una impedancia equivalente total, con la cual se proceden a realizar los cálculos de cortocircuito.

Tabla 72 Valor de impedancia total, en la barra principal TMC

Zprod	-0,06959+0,03665i
Zsum	0,3598+1,524i
Ztotal	0,01256+0,04862i

Fuente: Elaboración propia (EXCEL, 2016)

Para el cortocircuito monofásico se realiza el mismo procedimiento con las tres secuencias (positiva, negativa y cero), la secuencia apositiva y negativa generalmente son la misma, la que cambia es la secuencia cero (ver sección 4.3), una vez obtenidas las tres impedancias simplificadas, como se muestra en esta sección, se deben colocar en serie, además de contemplar la impedancia de tierra o falla (Z_f), en caso de ser necesaria.

4.3. Cálculo de corrientes de Cortocircuito.

Para el cálculo de corrientes de falla trifásica se utilizan la impedancia equivalente total del circuito,

La impedancia total viene dada por la fórmula:

$$Z_{TOTAL} = R + Xj = 0,01256 + 0,04862j \quad (18)$$

Impedancia del tablero principal de TMC es:

$$Z = \frac{1}{Z_{TOTAL}} = 4,984 - 19,278j \quad (19)$$

Se obtiene el valor absoluto de la impedancia:

$$Z_{Abs} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4,984^2 + (-19,278)^2} = 19,9127 \quad (20)$$

Se obtiene el valor de la corriente simétrica:

$$I_{sim}(A) = \frac{Z_{ABS} \times S_{TRAFO}(KVA) \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{Tablero}(V)} = \frac{19,9127 \times 300 \times 1000}{\sqrt{3} \times 240} = 14370,7 \text{ A} \quad (21)$$

Luego se obtiene la relación X/R:

$$\frac{X}{R} = \frac{0,04862}{0,01256} = 3,8710 \quad (22)$$

El cálculo de la corriente asimétrica viene dado por la fórmula:

$$I_{Asim} = I_{sim} \times \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\pi}{X/R}}} \quad (23)$$

$$I_{Asim}(A) = (14370,7) \times \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\pi}{3,8710}}} = 16970,54 \text{ A} \quad (24)$$

Los resultados varían un poco debido a la falta de precisión presentados en las fórmulas anteriores.

Tabla 73 Resultados de corriente de fallo del tablero principal TMC.

Corriente de Cortocircuito Asimétrica, TMC					
I _{sim}	4,98404335582882-19,2789296027809i			Voltaje	240
Z _{abs}	19,91275508			BaseKVA	300
Z _R	0,012569532	Z _{IMA}	0,048620589		
I _{sim A}	14370,79313				
Corriente de Cortocircuito Asimétrica				Relación X/R	
I _{Asim}	16967,76696	A		X/R	3,868130397
				Exponente	-1,62434682
				e	0,197040336

Fuente: Elaboración propia (EXCEL, 2016).

Para el caso de cortocircuito monofásico, una vez estando en serie el circuito (las tres impedancias), se muestran los cálculos de corriente monofásica.

$$I_0 = I_1 = I_2 = 3I_1 = \frac{3V_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + (3Z_F)} \quad (25)$$

Después de obtener la corriente en p.u., se debe multiplicar por la corriente base de cada tablero y así obtener la corriente en A.

$$I(A) = I_0 \times I_{BASE} \quad (26)$$

Apéndice 5. Tablero de Iluminación y Planos CAD.

Conexión	Tabla para luces																				Balanceo de cargas			Caída de tensión	
	Información general						Amperios			Conductores			Ducto		Fase A	Fase B	Fase C	longitud (m)	% Caída						
	N-C	ID	Fases	Hilos	# salidas	Potencia (w)	Voltaje (V)	Corriente	Estandar	Polos	Fase	Neutro	Tierra	Diametro						Tipo					
Hangares, 480	TH1E	TH1E/1	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			34	0,2142		
		TH1E/2	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		34	0,2142		
		TH1E/3	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,166	34	0,2142		
		TH1E/4	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			34	0,2142		
		TH1E/5	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		34	0,2142		
		TH1E/6	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,166	34	0,2142		
		TH1E/7	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			34	0,2142		
		TH1E/8	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		34	0,2142		
		TH1E/9	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,166	34	0,2142		
		TH1E/10	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			34	0,2142		
	TH1OE	TH1OE/1	1	2	5	750	277	3,384	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,708		38	0,2992		
		TH1OE/2	1	2	5	750	277	3,384	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,708	41	0,3229		
		TH1OE/3	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			36	0,2268		
		TH1OE/4	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		36	0,2268		
		TH1OE/5	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			36	0,2268		
		TH1OE/6	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		36	0,2268		
		TH1OE/7	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			36	0,2268		
		TH1OE/8	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		36	0,2268		
		TH1OE/9	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	2,166			36	0,2268		
		TH1OE/10	1	2	4	600	277	2,708	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,166		36	0,2268		
	TH2E	TH2E/1	1	2	8	1200	277	5,415	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		4,332		46	0,5796		
		TH2E/2	1	2	10	1500	277	6,769	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			5,415	46	0,7245		
		TH2E/3	1	2	10	1500	277	6,769	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	5,415			46	0,7245		
		TH2E/4	1	2	5	750	277	3,384	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,708		46	0,7245		
		TH2OE/1	1	2	10	1500	277	6,769	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			5,415	47	0,7402		
		TH2OE/2	1	2	10	1500	277	6,769	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	5,415			47	0,7402		
	TH2OE	TH2OE/3	1	2	10	1500	277	6,769	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		5,415		47	0,7402		
		TH2OE/4	1	2	5	750	277	3,384	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,708	47	0,3701		
		TH3/1	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	7,500			40	0,2141		
		TH3/2	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		7,500		40	0,2141		
TH3/3		1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	7,500			40	0,2141			
TH3/4		1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		7,500		40	0,2141			
TMC, 240	TH3	TH3/5	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	7,500			40	0,2141		
		TH3/6	1	2	3	450	120	4,688	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			3,750	40	1,0070		
		TH3/7	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	7,500			40	0,2141		
		TH3/8	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		7,500		40	0,2141		
		TH3/9	1	2	6	900	120	9,375	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			7,500	40	0,2141		
		TH3/10	1	2	3	450	120	4,688	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	3,750			40	1,0070		
		TH3/11	1	2	7	1050	120	10,938	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		8,750		40	2,3498		
		TADM2/1	1	2	78	3120	277	14,079	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			11,264	35	1,1466		
		TADM2/2	1	2	89	3560	277	16,065	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	12,852			34	1,2709		
		TADM2/3	1	2	100	2960	277	13,357	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		10,686		35	1,0878		
TADM	TADM2/4	1	2	77	2648	277	11,949	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			9,560	35	0,9731			
	TADM1/1	1	2	105	4200	277	18,953	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	15,162			40	1,7640			
	TADM1/2	1	2	70	3710	277	16,742	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		13,394		30	1,1686			
	TADM1/3	1	2	96	3840	277	17,329	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			13,863	30	1,2096			
	TADM1/4	1	2	42	3790	277	17,103	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	13,862			41	1,6315			
TTPA1	TTPA1/1	1	2	32	2400	277	10,830	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		8,664		38	0,9576			
	TTPA1/2	1	2	52	2451	277	11,060	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			8,848	35	0,9007			
	TTPA1/3	1	2	59	1919	277	8,660	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	6,928			33	0,6649			
	TTPA1/4	1	2	8	640	277	2,888	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		2,310		21	0,1411			
	TTPA1/5	1	2	9	720	277	3,249	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			2,599	21	0,1588			
	TTPA1/6	1	2	6	480	277	2,166	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	1,733			21	0,1058			
	TTPA1/7	1	2	64	3190	277	14,395	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		11,516		45	1,5072			
	TTPA1/8	1	2	68	3805	277	17,171	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			13,736	34	1,3583			
	TTPA1/9	1	2	59	3515	277	15,862	20	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	12,690			30	1,1072			
	TTPA1/10	1	2	31	2480	277	11,191	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		8,953		40	1,0416			
TTPB	TTPB1/1	1	2	32	2020	277	9,116	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			7,292	35	0,7423			
	TTPB1/2	1	2	6	480	277	2,166	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40	1,733			20	0,1008			
	TTPB1/3	1	2	3	240	277	1,083	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40		0,866		20	0,0504			
	TTPB1/4	1	2	3	240	277	1,083	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH40			0,866	20	0,0504			
	TTPB1/5	1	2	3	240	277	1,083	15	1	12	THHN	12	THHN	14	THHN	1/2"	PVC SCH4								

Anexos

Anexo 1 Tablas y graficas de diseño.

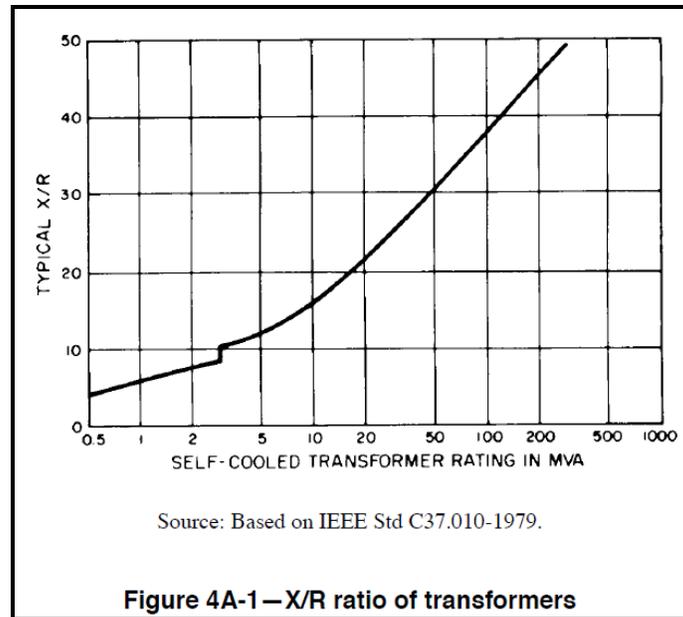


Figura 39 Valores típicos de X/R para transformadores
Fuente: IEEE 141-1993

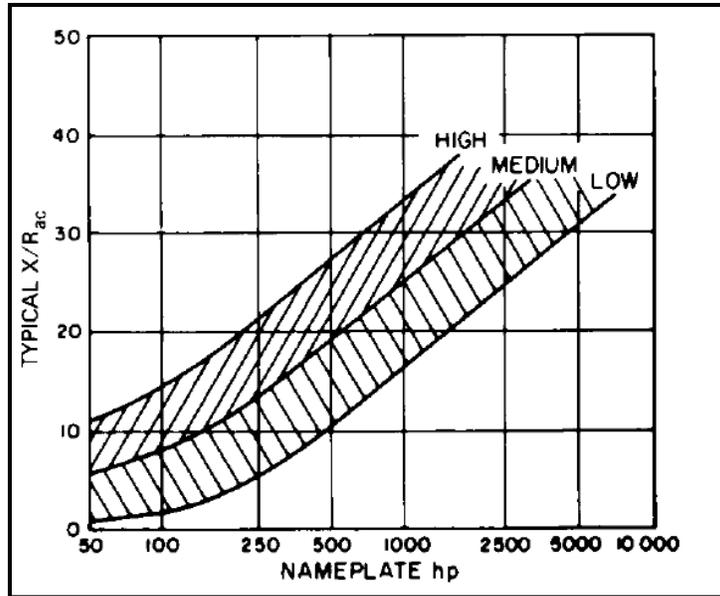


Figura 40 Valores típicos de X/R para motores de inducción.
Fuente: IEEE 141-1993.

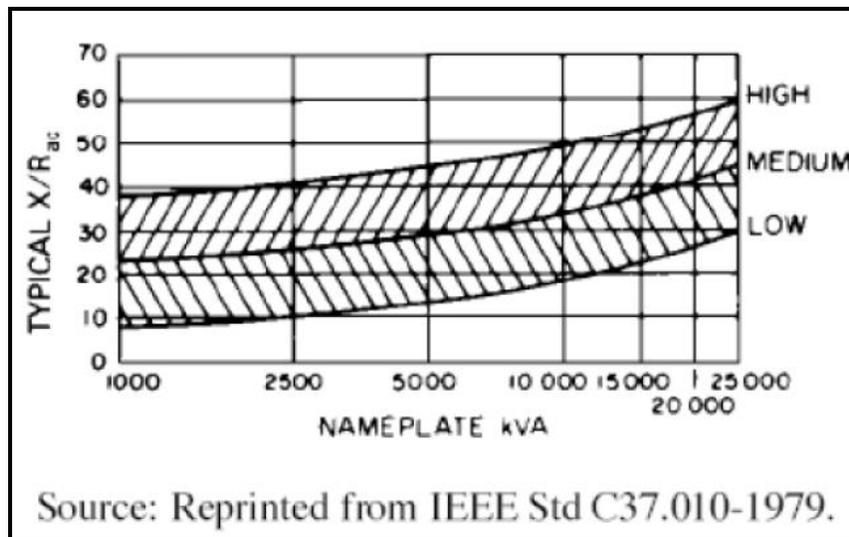


Figura 41 Valores típicos de X/R para motores síncronos y generadores.
Fuente: IEEE 141-1993.

Tabla 2.1. Reactancias o factores recomendados para motores de inducción
Fuente: ANSI/IEEE 551-2006.

Tipo de máquina	Reactancia recomendada	Factor recomendado
Primer ciclo		
Motores grandes >1000 hp (746 kW)	16.7%	1X _d "
Motores medianos [50-999] hp	20.8%	1.2X _d "
Motores pequeños <50 hp (37 kW)	27.8%	1.67X _d "
De 1.5 a 5 ciclos		
Motores grandes >1000 hp (746 kW)	25.0%	1.5X _d "
Motores medianos [50-999] hp	50%	3.0X _d "
Motores pequeños <50 hp (37 kW)	NA	NA

Figura 42 Valores de reactancias para motores de inducción
Fuente: IEEE 551-2006.

Fuente emisión	Gas emitido	Factor de emisión	
Consumo combustibles fósiles	CO ₂	Diésel	2,613 kg/L
		Gasolina	2,231 kg/L
	CH ₄	Diésel	0,149 g/L
		Gasolina	0,907g/L
	N ₂ O	Diésel	0,154g/L
		Gasolina	0,283g/L
Consumo LPG	CO ₂	1,611 kg/L	
	CH ₄	0139 g/L	
	N ₂ O	0,002745 g/L	
Uso de la electricidad	CO ₂	0,0557 kg/kWh	

Figura 43. Valores de CO₂ según la fuente.
Fuente: IMN, 2019.

Tabla 9. Resistencia y reactiva en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75°C (167°F). Tres conductores individuales en un conduit.

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro Ohms al neutro por 1000 pies														Calibre (AWG o kcmil)
	X_L (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de aluminio			
	Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	— —	— —	— —	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	— —	— —	— —	14
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300

Figura 44 Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.
Fuente: NEC 2014.

Coco	34.5 kV A	Cortocircuito 3ø (kA)	4.7
		Cortocircuito 1ø (kA)	7.0
		Relación X/R	50.72
		Componente DC (kA)	6.2
		Corriente pico (kA)	12.8

Figura 45 Valores de corriente de aporte en el punto de la acometida principal.
Fuente: ICE.