



Diagnóstico de sistema eléctrico de Cooper Standard, Cartago, mediante análisis de corrientes de cortocircuito y arco eléctrico

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniera en Mantenimiento Industrial con el grado académico de Licenciatura

REALIZADO POR:
María Jesús Amador Orozco

COORDINADOR DE PRÁCTICA:
Ing. Ignacio del Valle

I SEMESTRE, 2023



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Fecha: 16 November, 2023

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo, María Jesús Amador Orozco, envío al

Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), el Trabajo Final de Graduación, del cual soy autor y fue presentado para optar por el grado de Licenciatura, en la fecha 14 November, 2023, con el título del proyecto:

Diagnóstico de sistema eléctrico de Cooper Standard mediante análisis de corto circuito y arco eléctrico

Para ser publicado en:

- Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet, o
- Catálogo SIBITEC, uso exclusivo de la Comunidad TEC.

Autorizo con embargo¹ Fecha para publicar: 16 November, 2023

En el caso de que no se pueda publicar seleccione:

Confidencial Justificación:

Datos personales:

Nombre autor: María Jesús Amador Orozco

Carrera en la que se presenta el TFG: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus Tecnológico / Centro: Académico: Tecnológico Central Cartago



Correo/s electrónico/s: amador10@estudiantec.cr/orozcoamador1010@gmail.com

Camet: 2017113744

Nº de identificación personal: 305130185

Firma del estudiante

Información de la estudiante y de la empresa

Datos de la estudiante

Nombre: María Jesús Amador Orozco

Número de cédula: 3 513 185

Carné estudiantil: 2017113744

Dirección de residencia: San Antonio de Padua, casa C14, Agua Caliente, Cartago

Celular: 63290320

Correo electrónico: orozcoamador1010@gmail.com

Información del proyecto

Nombre del Proyecto: Diagnóstico de sistema eléctrico de Cooper Standard, Cartago, mediante análisis de corrientes de cortocircuito y arco eléctrico

Profesora Guía: Ing. Suzanne Melara

Horario de trabajo de la estudiante: lunes a viernes de 7:00 a.m. a 4:00 p.m.

Información de la empresa

Nombre: Cooper Standard

Dirección: Parque Industrial Zeta, Tejar, Cartago

Actividad: Manufactura de tubos de transmisión para vehículos

Asesores Industriales: Ing. Jeffry Herrera, Ing. Francisco Gutiérrez

Dedicatoria

A mis padres, por apoyarme en todo el proceso de estudio, por brindarme la ayuda y amor incondicional en todo momento. A mis hermanas, por siempre acompañarme en el camino y por ser mi mayor motivación. A mis sobrinos, por ser mi mayor impulso y alegría.

Agradecimiento

A Cooper Standard, por brindarme la primera oportunidad laboral. A los ingenieros Jeffry Herrera y Francisco Gutiérrez, por darme el espacio para ejecutar este proyecto en la empresa. Al Ing. Randall Mora, por brindar ayuda en todo momento. A mi profesora, Ing. Suzanne Melara, por guiarme siempre para realizar un mejor trabajo. A mis mejores amigos Melissa Gutiérrez, Dayhanna Amador y Pablo Orozco por estar a mi lado en cada momento.

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado, y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Costa Rica

Agosto, 2023

María Jesús Amador Orozco

Cédula: 305130185

Contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Reseña histórica de la empresa	2
1.2 Valores de la empresa	3
1.3 Proceso productivo.....	7
1.4 Situación actual de la empresa	11
1.5 Descripción del problema po resolver	15
CAPÍTULO II. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
2.3 Plan de Acción	15
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	19
3.2. Estudio de cortocircuito	24
3.3. Método kVAs equivalentes	28
3.4. Contribuciones de corriente	30
3.8. Legislación y normativa de cortocircuito	32
3.9. Coordinación de protecciones	34
3.10. Estudio de arco eléctrico	35
3.11. Softwares de simulación	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	41
4.1 Levantamiento de diagrama unifilar	41
4.2 Consumo y Análisis de cargas	48
4.3 Cálculo de corrientes de cortocircuito	55
4.3.1 Métodos de kVAs equivalentes	56
4.4 Modelado de corrientes de cortocircuito en el software de simulación ETAP....	
4.5. Cálculo de corrientes con software ETAP	65
4.6 Comparación de resultados	68
4.7 Estudio de coordinación de protecciones.....	69
4.8 Estudio de Arco eléctrico	77
4.9 Análisis financiero	82
4.9.1 Cálculo del ROI.....	
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	86
5.1 Conclusiones.....	
5.2 Recomendaciones	88
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
CAPÍTULO VII. APÉNDICES	91
CAPÍTULO VIII. ANEXOS.....	125

Índice de figuras

Figura 1. Piezas fabricadas en Cooper Standard.....	
Figura 2. Proceso productivo de Cooper Standard.....	
Figura 3. Organigrama de la Compañía.....	8
Figura 4. Corriente de cortocircuito trifásico en motores de inducción	23
Figura 5. Nomenclatura etiquetas de identificación	42
Figura 6. Etiqueta de identificación Alimentador principal de media tensión	42
Figura 7. Transición aéreo-subterránea de acometida JASEC1000kVA.....	44
Figura 9. Subestación Principal 480V	45
Figura 10. Ubicaciones de elementos principales que componen el sistema eléctrico.....	46
Figura 11. Datos de placa de fusibles en ducto barras	47
Figura 12. Identificación de circuitos de Tablero CS-P3-JK89-CC13	48
Figura 13. Distribución de carga y consumo de tablero CS-P3-DE45-CC02.....	49
Figura 14. Vista preva simplificación de diagrama unifilar a diagrama de bloques.....	57
Figura 15. Parte de diagrama de bloques con valores de KVAs equivalentes correspondientes	62
Figura 16. Derivaciones de centros de carga de Circuito 1 Subestación Principal.....	71
Figura 17. Curvas de protección en serie de Sistema de Bombeo y Tablero CS-P3-CD910-CC19	72
Figura 18. Curvas de protección en serie de Sistema de Bombeo y Tablero CS-P3-KL78-CC12 y CS-P3-JK89-CC13	73
Figura 19. Curvas de protección principal Tablero CS-P3-KL34-CC11.....	
Figura 20. Curva de protección de Transformador CS-P3-KL34-TS07.....	
Figura 21. Corrección en protección apropiada para Transformador TS07	76
Figura 22. Etiqueta de Prevención contra arco eléctrico Subalimentador principal	80
Figura 23. Etiqueta de Prevención contra arco eléctrico Ducto barra 3	80

Índice de tablas

Tabla 1. Plan de acción para objetivo específico 1.....	14
Tabla 2. Plan de acción para objetivo específico 2.....	15
Tabla 3 Plan de acción para objetivo específico 3.....	16
Tabla 4. Plan de acción para objetivo específico 4.....	16
Tabla 5. Hoja con descripción de cada breaker del tablero	50
Tabla 6. Corrección de protecciones en tableros eléctricos	52
Tabla 7. Breakeres mal dimensionados en tableros eléctricos de Planta 3	53
Tabla 8. Propuesta de dimensionamiento de circuitos por corregir.....	54
Tabla 9. Información brindada por compañía eléctrica.	58
Tabla 10. KVAs equivalentes para motores de la planta	59
Tabla 11. KVAs equivalentes para motores de la planta	60
Tabla 12. KVAs equivalentes para conductores de la planta.....	61
Tabla 13. Corrientes de cortocircuito calculadas mediante KVAs	63
Tabla 14. Corrientes de cortocircuito determinadas mediante software de simulación..	66
Tabla 15. Comparación de corrientes de cortocircuito mediante ambos procedimientos	72
Tabla 16. Resumen de correcciones propuestas	82
Tabla 17. Cotización de precios de componentes requeridos	83
Tabla 18. Costos totales de implementación de recomendaciones propuestas	83

Se realizó un levantamiento de planos eléctricos y diagrama unifilar de Planta 3 de Cooper Standard Cartago, y se identificaron las corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico, por medio de método manual con validación con el software de simulación ETAP. Con esto se evaluaron las protecciones actuales del sistema, para verificar la capacidad de interrupción ante un posible escenario de cortocircuito. Además, se determinó la energía incidente, así como los límites de protección de arco y electrocución, mediante un estudio de arco eléctrico en el software.

Se comprobó la viabilidad del proyecto, comparando las pérdidas generadas por el paro de la planta durante un día, contra el costo de inversión necesario para realizar las correcciones propuestas.

ABSTRACT

A survey of electrical plans and one-line diagram of Plant 3 of Cooper Standard Cartago was carried out, and the short-circuit currents of the electrical system were identified, by a manual method with validation with the ETAP simulation software. With this, the current protections of the system were evaluated to verify the interruption capacity in a possible short circuit event scenario. In addition, the incident energy was determined, as well as the arc and electrocution protection limits, through an electric arc study in the software.

The viability of the project was verified, by comparing the losses generated by the plant stoppage for one day, against the investment cost necessary to make the proposed corrections.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Cooper Standard Cartago es una compañía estadounidense, dedicada a fabricar componentes de sistemas de transferencia de fluidos de vehículos. La planta opera desde el año 2008, durante 24 horas al día, de lunes a viernes, con el mismo sistema eléctrico desde entonces, el cual se alimenta por un transformador de tipo pedestal de 1000kVA con un voltaje de 480V en su secundario; la alimentación del primario del transformador proviene de la compañía eléctrica JASEC, con 34500V.

El sistema carece de información técnica, como planos eléctricos y diagramas unifilares, además de la falta de registros de cargas, consumos y de las modificaciones o ampliaciones a las que se ha visto sometido desde que se dio su instalación. Por la falta de información, actualmente no es posible diagnosticar si el sistema es seguro o lo suficientemente robusto para soportar futuras ampliaciones, asegurando la integridad del sistema, del recinto y de los trabajadores de la planta, o bien, para determinar si estas modificaciones representan un riesgo para el sistema.

Para abordar esta necesidad, se realiza un levantamiento completo del sistema eléctrico, documentando la información detallada de cada uno de los elementos que lo componen, se realizan los planos de media tensión, así como los planos de cargas monofásicas y trifásicas, además de la construcción completa del diagrama unifilar de la planta.

Con base en la documentación desarrollada, se realiza un estudio de cortocircuito, para determinar la corriente que circula por los circuitos ramales del sistema, en caso de un evento de este tipo, para seguidamente analizar si las protecciones actuales cuentan con la capacidad interruptora necesaria para cortar la corriente de cortocircuito en el punto de falla. A su vez, se realiza un estudio de arco eléctrico, donde se determina la energía liberada en cada punto de distribución, en caso de que las protecciones existentes no respondan a tiempo ante altas corrientes generadas por un cortocircuito. Esta información fue crucial, para definir los requisitos de equipo de seguridad en situaciones de trabajo en tableros o paneles energizados.

Con base en los resultados obtenidos en estos estudios, se genera un diagnóstico del sistema actual, donde se realizan recomendaciones para robustecerlo, asegurando una respuesta adecuada a eventos externos y minimizando riesgos relacionados con daños a equipos e interrupciones no planificadas, así como la capacidad del sistema para soportar futuras ampliaciones.

Es decir, este proyecto busca evaluar el sistema eléctrico de Planta 3 Cooper Standard Cartago, en términos de seguridad y eficiencia, por medio de una evaluación integral mediante un estudio de cortocircuito, arco eléctrico y un análisis de la capacidad de

interrupción de protecciones del sistema, generando las recomendaciones adecuadas para favorecer estas características y las medidas de protección apropiadas por utilizar, basadas en el Código Eléctrico Nacional en su versión 2012 y la normativa NFPA70 2014.

1.1 Reseña Histórica de la Empresa

Cooper Standard, con sede en Northville, Míchigan, EE. UU., es una empresa transnacional dedicada principalmente al mercado de componentes automotrices para líderes mundiales en el área automotriz, como lo son General Motors, Continental, Tristone entre ellos. La compañía cuenta con sedes en 21 países con 159 instalaciones específicamente. Es el mayor productor mundial de sistemas de sellado, el segundo mayor productor de productos de suministro de combustible y frenos, así como el tercer mayor productor de sistemas de transferencia de fluidos.

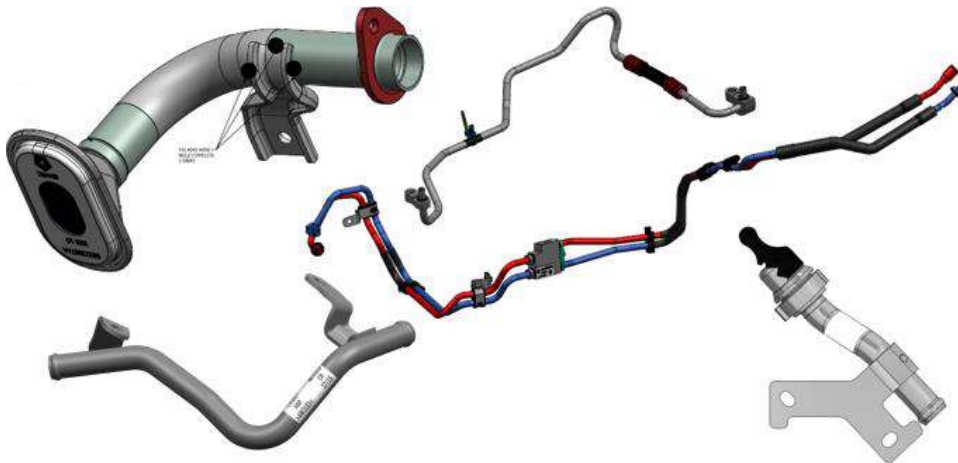


Figura 1. Piezas fabricadas en Cooper Standard, Cartago

Fuente: Cooper Standard (s.f.).

Anteriormente conocida como Hutchings Automotive Products (HAP), se estableció en el año 2005 en Cartago, inicialmente en una primera planta comprada en el Parque Industrial Zeta, en el cantón El Guarco, distrito El Tejar. Luego se inicia la construcción de la segunda planta, la cual es terminada en el 2006.

Para el 2007, se certifica bajo la Norma ISO 14001:2004 Sistema de Gestión Ambiental e ISO/TS 16949:2009 Sistema de Gestión de Calidad; con esto logra para el 2008 ser suplidora del año de General Motors y comprar, así, la tercera planta ubicada en el mismo Parque Industrial. En el cuarto trimestre del 2018, la empresa es adquirida por Cooper Standard.

Cooper Standard Holdings Inc. es una compañía que se estableció en el 2004, y comenzó a operar cuando adquirió el segmento automotriz de Cooper Tire & Rubber Company.

A lo largo de los años, ha expandido y diversificado su cartera de clientes, debido a una combinación de crecimiento integral y adquisiciones estratégicas.

Sus 159 instalaciones se encuentran ubicadas en países como Estados Unidos de América, Canadá, Italia, Polonia, España, Suecia, Serbia, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Francia, Alemania, Países Bajos, China, India, Japón, Corea, Tailandia y Brasil, siendo México y Costa Rica la Región Centroamericana, región que representa el 5% de la Transnacional con diez plantas, tres de ellas ubicadas en Costa Rica, con 463 empleados.

A lo largo de la historia, Cooper Standard se ha enfocado en ser la mejor opción para los usuarios que requieren de los componentes que se manufacturan y producen, objetivo que se ha cumplido desde sus inicios, ya que cada año se suman más clientes a su lista.

El desarrollo de la compañía se refleja en la constante expansión de las plantas de producción. En sus inicios, en el año 2005 se contaba con solamente una planta de producción, y actualmente, casi 20 años después, se cuenta con tres. La segunda planta, “Planta 2”, es una ampliación de $7500m^2$ que se ha hecho de las bases arquitectónicas, así como de los sistemas eléctricos y de abastecimiento de Planta 1, la cual cuenta con área de $6600m^2$, mientras que Planta 3 se construye en un terreno que se encuentra a 100m hacia el sur de las plantas 1 y 2, y esta última tiene un área de $13300m^2$. Planta 3, además de ser la más grande de las tres plantas, representa un 59.51% de la producción total de piezas de Cooper Standard Cartago.

Para cumplir con la demanda en aumento de la compañía, por el constante crecimiento que se ha dado, se requiere la implementación de nuevas líneas de producción, las cuales son compuestas por variedad de máquinas, energizadas con corriente eléctrica en su mayoría. Estas nuevas cargas agregadas necesitan de una alimentación eléctrica, la que es añadida a la instalación actual, ya sea alimentada de tableros eléctricos, directamente de un transformador o ducto barra. Estos añadidos al sistema eléctrico se han hecho por más de 10 años a la instalación eléctrica principal, instalada antes de 2012, año en que la normativa actual fue implementada en el país, por lo que el sistema no fue diseñado para realizar ampliaciones de este tipo, como lo demanda la legislación.



Figura 2. Ubicación de plantas de producción Cooper Standard Cartago
Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación, se presenta el orden jerárquico de la compañía en Costa Rica.

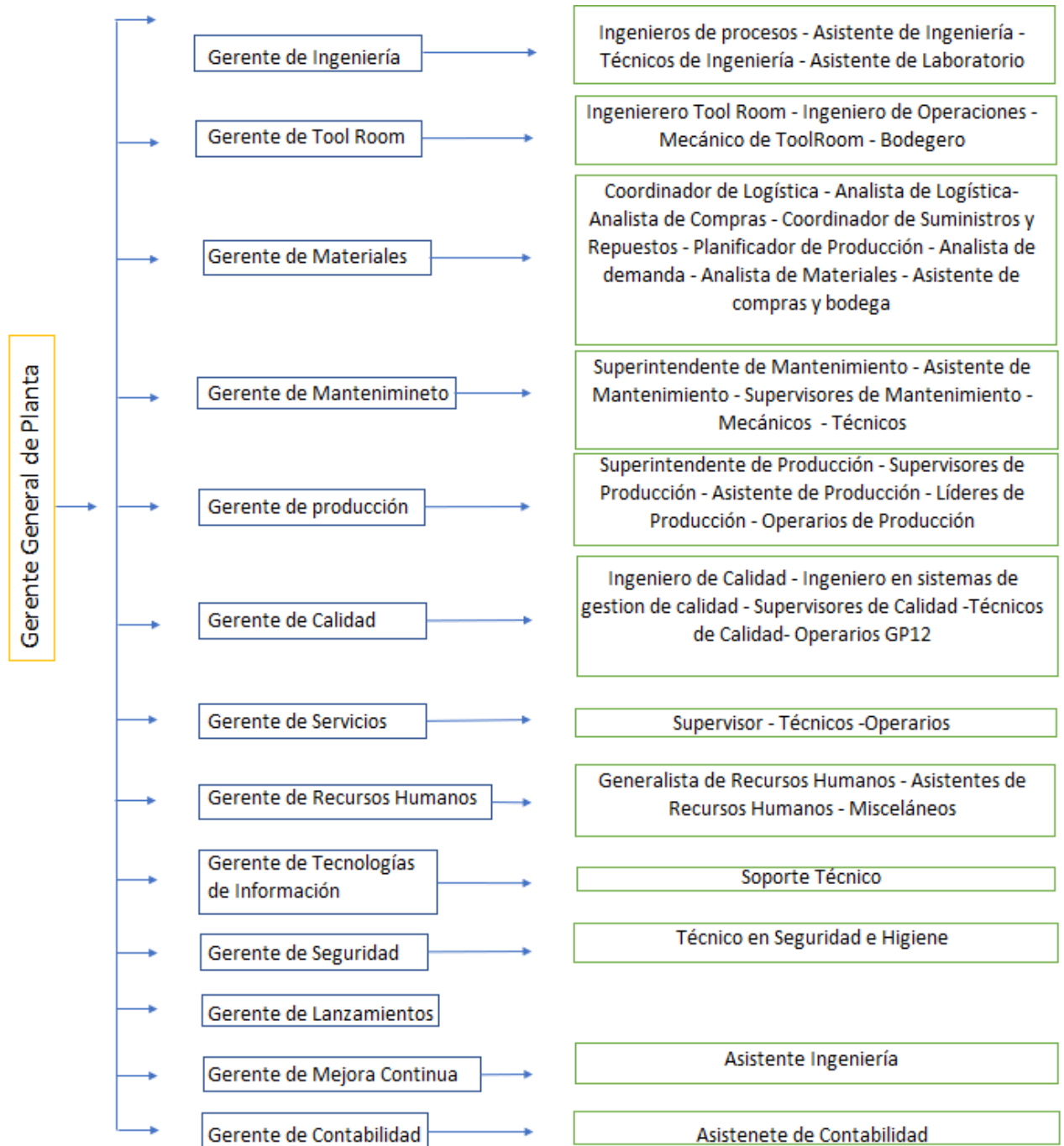


Figura 3. Organigrama de la Compañía.

Fuente: Cooper Standard, realizado en Excel (2023).

1.2 Valores de la empresa

-Visión

“Impulsar el valor mediante la cultura, innovación y resultados, así como ser la primera opción de las partes interesadas a las que sirve” (Cooper Standard, s.f.)

-Misión

“Top 30 / Top 5: Nuestra misión es convertirnos en un proveedor automotriz global ‘Top 30’ en términos de ventas y un proveedor automotriz global ‘Top 5’ en términos de retorno del capital invertido. (ROIC)” (Cooper Standard, s.f.).

-Valores

Desde la sala de reuniones hasta el comedor, nuestros valores son la base de la cultura de Cooper Standard. Aplicamos sistemáticamente estos valores en todas nuestras interacciones comerciales:

- Seguridad ante todo: Ofrecemos un lugar de trabajo seguro desde el punto de vista tanto físico como psicológico y nos centramos en el uso de materiales, productos y procesos responsables con el medio ambiente.
- Colaboración que impulsa el éxito: Ofrecemos un lugar de trabajo seguro desde el punto de vista tanto físico como psicológico y nos centramos en el uso de materiales, productos y procesos responsables con el medio ambiente.
- Integridad siempre: Actuamos siempre de forma sincera, ética y responsable.
- Diversidad que nos fortalece: Creamos una plantilla global que refleja un amplio abanico de diferencias humanas; aprovechamos la singularidad de cada miembro del equipo, y fomentamos una cultura inclusiva en la que cada empleado tenga la sensación de pertenencia y sea valorado.
- Compromiso con la excelencia: Nos exigimos a nosotros mismos, y unos a otros, un nivel alto y nos esforzamos siempre por mejorar con valor, creatividad, perseverancia y disciplina.
- Respeto para todos: Mantenemos un entorno alentador, afectuoso y solidario en el que se escucha con una mente abierta, se habla con consideración y se trata a los demás con dignidad. (Cooper Standard, s.f.)

1.3 Proceso productivo

El proceso de producción general de Planta 3 se compone de cuatro partes principales; Recepción de materiales, Prensable, Ensamble e Inspección final, tal como se muestra en la siguiente figura.

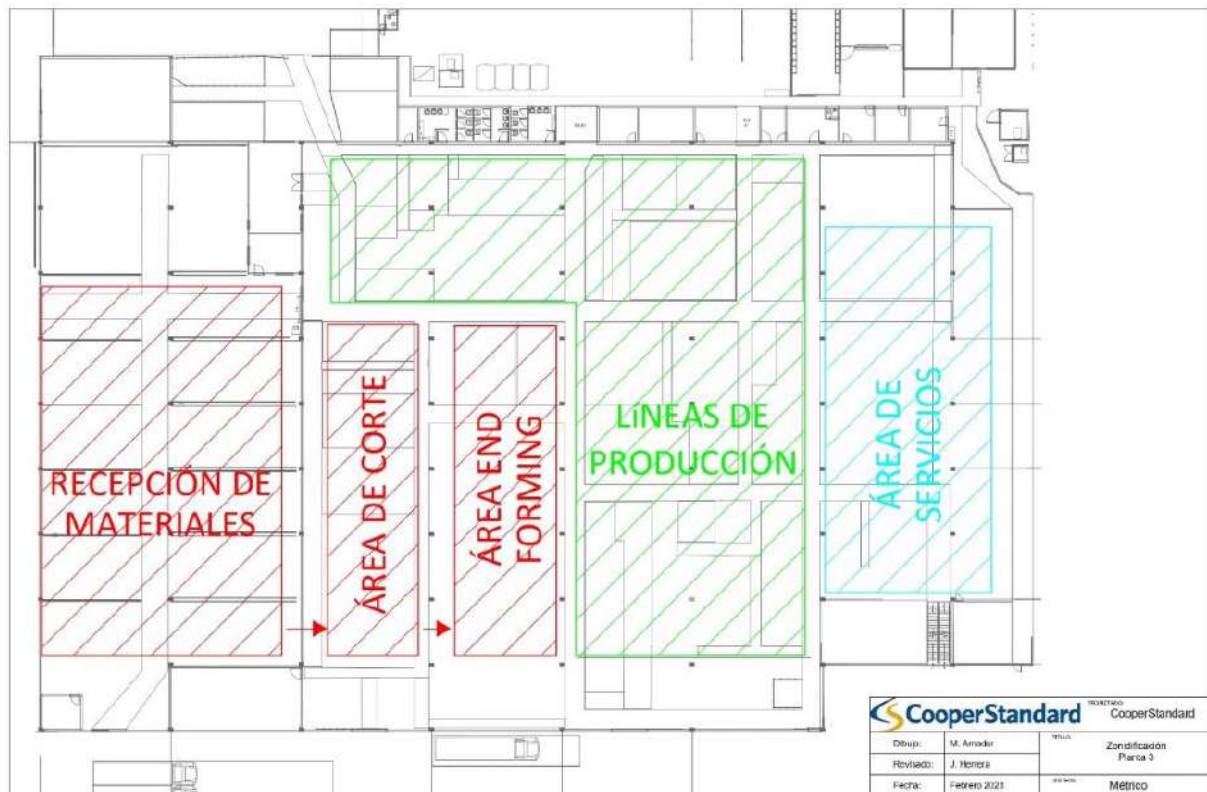


Figura 4. Proceso productivo de Cooper Standard

Fuente: Cooper Standard, realizado en AutoCAD (2023).

Al ser las partes de prensable y ensamble diferentes para cada pieza formada según correspondan, por eso en el área de trabajo se encuentran las distintas líneas de producción con las que se fabrica cada pieza.

A continuación, se presenta el diagrama, con cada estación necesaria para completar la producción de una pieza de la Línea 9506 como ejemplo, para mostrar el proceso completo.

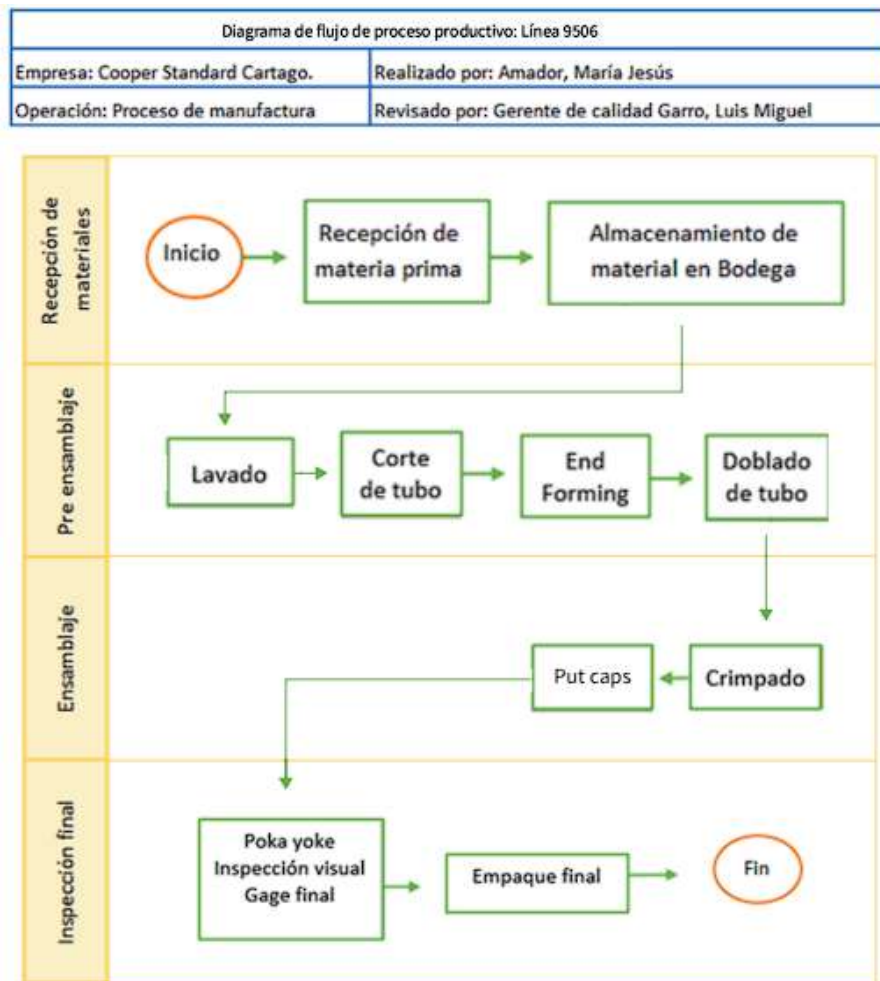


Figura 5. Proceso productivo de Cooper Standard

Fuente: Cooper Standard, realizado en Excel (2023).

Es importante mencionar que en Planta 3 trabajan 45 líneas de producción simultáneamente, durante el turno diurno y el mixto, mientras que en el turno nocturno la producción disminuye, dependiendo de la demanda de producto. Normalmente, son cinco líneas las que permanecen trabajando durante los tres turnos. Los procesos entre ellas varían por procedimientos, como: soldaduras tipo MIG o soldadura en horno, los cuales necesitan de corrientes eléctrica en mayor parte con tensiones de 480V, por lo que se genera constante demanda de energía durante todo el día y la noche de lunes a viernes, en ocasiones incluso los fines de semana, dependiendo de cómo se cumpla con la producción semanal.

1.4 Situación actual de la empresa

Como se mencionó anteriormente, la compañía en sus inicios, conocida como HAP, se instaló en el 2005 en el Parque Industrial Zeta; actualmente opera con la misma instalación existente desde su comienzo, por lo que su sistema eléctrico no cumple la normativa actual costarricense, donde se estipula que los diseños de este tipo deben realizarse basados en el NEC 2014, y la normativa vigente actual (CFIA, 2019) fue designada de uso obligatorio en el año 2012.

De esta instalación inicial no existen ninguna documentación ni planos; tampoco se conocen los registros de las cargas existentes y las cargas añadidas, por lo que no es posible estimar la demanda de cada tablero y subestación. Al no conocer el estado actual preciso de los sistemas, no se sabe concretamente si estos darán abasto para conectar una o varias cargas nuevas, lo cual es bastante común, pues en las líneas de producción de la planta no son fijas, sino que constantemente son cambiadas por otras con mayor o menor demanda, por lo que la instalación en su totalidad puede estar bajo el riesgo de incendio, ya que no se conocen los valores de corriente cortocircuito y, a su vez, la falta de protecciones adecuadas a estas.

Una falla en la instalación puede ocurrir en cualquier momento, debido a roturas de conductores, objetos metálicos que caen en las barras, sobretensiones, o incluso por falta de mantenimiento en los equipos utilizados; no prestar atención a los componentes del sistema puede causar incidentes por degradación en aislamientos, fundición de conductores o deterioro en el estado de los breakers y conexiones.

Esta situación ocurrió el año 2021, cuando el transformador principal de Planta 3 sufrió una falla y dejó de funcionar de manera súbita; este transformador tenía una capacidad de Figura 8. Transformador principal CS-P3-LM34-TH01 1500kVA. Sin embargo, después del fallo se sustituyó por un transformador de Figura 8. Transformador principal CS-P3-LM34-TH01 1000kVA el cual se continúa utilizando actualmente.

El estudio de cortocircuito confiere confiabilidad al sistema eléctrico, y verifica si las protecciones cumplen con las capacidades interruptoras requeridas. Además, la planta carece de un estudio de arco eléctrico. Por lo tanto, se necesita realizar este estudio, para evaluar la energía liberada y establecer las medidas de seguridad y protección necesaria, que el personal técnico debe utilizar en caso de actividades en tableros energizados, lo cual es muy común en la planta.

Una creación del diagrama unifilar se llevará a cabo conforme a las cargas actuales. Además, se hará el estudio de cortocircuito, de acuerdo con el nuevo diagrama, para comprender sobrecorrientes y voltajes en condiciones de fallo. Esto proporcionará información vital sobre la reacción del sistema eléctrico ante eventos inesperados.

Además, se conoce que Cooper Standard, como empresa de manufactura, produce constantemente las 24 horas, cinco días a la semana, repartidos en tres turnos: diurno de 6 a.m. a 3:36 p.m., mixto de 3 p.m. a 10 p.m. y nocturno de 10 p.m. a 4 a.m., algunas veces incluso fines de semana, para alcanzar la demanda solicitada por sus clientes, producción que depende en gran medida de la instalación eléctrica de la empresa.

Planta 3 es completamente energizada por una sola acometida, perteneciente a la compañía suplidora JASEC, acometida que incorpora 34500V al sistema eléctrico de la planta, por medio de una conexión trifásica aéreo-subterránea hacia el transformador principal de Figura 8. Transformador principal CS-P3-LM34-TH01 1000kVA el cual disminuye esta tensión a 480V en una conexión estrella estrella (Y-Y), voltaje que utiliza el alimentador principal para abastecer de energía a los siete ducto barras presentes en la planta, de los cuales se derivan siete transformadores secos trifásicos, que transforman este voltaje a 240V para alimentar a 20 centros de carga, que distribuyen la energía para los equipos necesarios para la producción, iluminación y sistemas electromecánicos de la planta.

1.5 Descripción del problema por resolver

La falta de control de la instalación eléctrica de una empresa de manufactura puede ocasionar que incidentes importantes, para la compañía, sean imposibles de prevenir, por la escasez de registros y datos históricos. Cooper Standard Cartago no ha sido la excepción del caso. Este tipo de eventos se han presentado en las tres plantas de la compañía en Costa Rica, como lo fue el caso de Planta 3 en el año 2021 cuando, por una anomalía del sistema eléctrico, se ocasionó una falla en el Transformador principal tipo pedestal de Figura 8. Transformador principal CS-P3-LM34-TH01 1500kVA el cual dejó de funcionar, dejando sin energía eléctrica a Planta 3 por una semana, mientras se adquiría un nuevo transformador y se contrataba el servicio tercerizado para su instalación, lo que ocasionó un impacto de \$553.221.34 en pérdidas por ventas que Planta 3 genera semanalmente, las cuales representan un 61% de las ventas generadas por toda la compañía en el país, además de invertir en un nuevo equipo transformador de tensión de \$21.500 y contratación para la instalación de este, generando una pérdida total de \$ 574.721.34 para la empresa.

Por otro lado, de acuerdo con la evaluación de Salud, Seguridad y Medio Ambiente, efectuada por la firma AECOM en junio de este año, se han identificado hallazgos con un nivel de riesgo medio. Estos incluyen la ausencia de una copia de los planos eléctricos finales, elaborados por profesionales autorizados, y la falta del informe de aprobación emitido por las Unidades de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE), que certifique el cumplimiento de las pautas establecidas en el Código Eléctrico Nacional. Como resultado, se recomienda concluir la elaboración de los planos del sistema y los estudios eléctricos de cortocircuito y arco eléctrico, para conocer el estado actual del sistema eléctrico, realizados por personal competente. También, se sugiere obtener el informe de aprobación de las unidades de verificación de instalaciones eléctricas, que confirme el cumplimiento de las normativas del Código Eléctrico Nacional. Esto implica llevar a cabo una evaluación exhaustiva del sistema eléctrico en su conjunto y contrastarlo con las regulaciones vigentes, con el fin de implementar las modificaciones necesarias para cumplir con la legislación actual.

Esto va de la mano con la intención, por parte de la compañía, de implementar un sistema contra incendios con el que no se cuenta actualmente. Para este proceso, es imprescindible contar con una instalación eléctrica que cumpla con los requerimientos establecidos en el Código Eléctrico Nacional, reglamento utilizado por parte del cuerpo de Bomberos de Costa Rica para dar el visto bueno a la hora de implementar este sistema. Para ello se necesita, primeramente, contar con los planos eléctricos actualizados, cuyo propósito es

determinar si estos requieren de alguna modificación, para que un proyecto de este tipo sea aprobado por el ente pertinente.

Por otro lado, es común que el personal trabajador de la planta manipule los breakers de los centros de carga que se encuentran en diferentes zonas de la planta de producción, ya que en ellos se enciende directamente el alumbrado, así como tomacorrientes con máquinas, o tomacorrientes con equipos de computación importantes para el servidor de datos y el sistema de telecomunicación de la compañía. Como los breakers no se encuentran identificados con la carga que alimentan, es común que apaguen por error equipos indispensables para monitorear cámaras de seguridad, acceso y marcas de personal operario, sistema SAP, el cual, sin funcionamiento, genera pérdidas de información importante para el control de jornadas de trabajo del personal, cantidad de piezas realizadas por jornada y falta de vigilancia en las plantas.

Cuando se ingresan nuevas líneas de producción a la planta, se presentan también complicaciones para la organización y ubicación de estas en piso, ya que en ocasiones no es posible conectar todos los nuevos equipos de la línea en el lugar estratégico previsto por el Departamento de Producción, pues los circuitos cercanos se encuentran algunas veces saturados, por lo que los disyuntores que protegen los circuitos se sobrecargan y se disparan, lo que ocasiona que se deban acomodar las diferentes máquinas de una línea separadas unas de otras, según la disponibilidad de carga que se encuentre en el sistema eléctrico, y no por cercanía entre ellas. Como es una sola línea de producción, esto conlleva traslado de piezas por la planta para continuar en la siguiente estación que le corresponda, tiempos reflejados en el tiempo muerto como retraso en la producción. La información del diagrama unifilar, planos y análisis de cargas servirán como fuente de consulta para la planificación y organización de la planta por parte del Departamento de Producción de manera óptima, donde la ubicación de los equipos contribuya con la eficiencia de las líneas de producción.

Como base para amortiguar estos problemas, se desarrolló una base de datos para el Departamento de Mantenimiento, donde se maneje el registro de cargas de todo el sistema junto con demandas actualizadas cada vez que se realice una ampliación o modificación del diagrama unifilar eléctrico. Esta información de los puntos de distribución de energía en la planta ayudará a los distintos departamentos envueltos en la planificación de la producción a programar de manera acertada y segura la organización de la planta de producción, además de planos de distribución de media y baja tensión, así como el informe del estudio de cortocircuito, arco eléctrico y selectividad de protecciones adecuadas, y un reporte de costos de inversión para las mejoras planteadas en el diagnóstico desarrollado.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diagnosticar el sistema eléctrico de Planta 3 de Cooper Standard, Costa Rica, mediante el cálculo de corrientes de cortocircuito para la determinación del estudio de arco eléctrico basado en criterios del NEC 2014.

2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el levantamiento de la instalación eléctrica y del diagrama unifilar eléctrico actual de media tensión, para el modelado y simulación de las condiciones actuales de la planta a partir de los criterios del Código Eléctrico Nacional.
2. Establecer las corrientes de cortocircuito de las condiciones actuales, que permitan la identificación de la capacidad interruptora de las protecciones en los elementos principales, por medio del Método de kVA equivalentes.
3. Realizar el estudio de cortocircuito en el software de simulación ETAP, para garantizar la precisión de los resultados obtenidos en el cálculo de corrientes manual. Para asegurar la selección de los equipos óptimos en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico, así como para la obtención del estudio del arc flash en puntos estudiados basado en las normas IEC 60909.
4. Respaldar las recomendaciones propuestas, para robustecer el sistema mediante los beneficios que generaría su implementación, con el fin de mitigar las pérdidas ocasionadas por fallas en el sistema eléctrico.

2.3 Plan de Acción

A continuación, se proponen actividades puntuales realizadas a partir de los objetivos específicos.

Objetivo específico 1: con ayuda del Departamento de Mantenimiento, se obtiene la estimación de la carga utilizada por subestación, para generar un estimado del factor de demanda en los tableros. En este apartado, se espera obtener los diagramas respectivos de las diferentes subestaciones. Sumado a lo anterior, se hace la lectura del NEC para la realización de las recomendaciones necesarias dentro de las actualizaciones de la planta y las protecciones presentes.

Tabla 1. Plan de acción para objetivo específico 1

Actividad	Entregable
Verificación de dimensiones de planos arquitectónicos.	
Actualización de planos con zonas nuevas o modificaciones.	Archivos .pdf y .CAD de los planos arquitectónicos actualizados y sectorizados con las áreas actuales de la planta.
Asistir a Planta 3 para levantamiento de cantidad de tomacorrientes y luminarias en las diferentes áreas de la planta.	Archivos .pdf y .CAD de los planos de baja tensión, tanto de tomacorrientes como de luminarias.
Asistir a Planta 3 los días no productivos (sábados, domingo, vacaciones), para tener completo acceso a los tableros eléctricos y no interrumpir el proceso productivo al apagar algún disyuntor. Determinar elementos aguas arriba y aguas debajo de cada componente del sistema eléctrico.	Archivos .pdf y .CAD de los planos de media tensión, así como el diagrama unifilar de la planta.
Realizar un análisis de cargas con la información de cada tablero, sus cargas, conductores, disyuntores, demanda, factor de potencia, caída de voltaje y consumo.	Se realiza una base de datos en Excel, con el cálculo de demanda para cada tablero y sus respectivos circuitos.

Realizar codificación de cada elemento de la planta bajo una serie de códigos estandarizados para la compañía.	Lista de códigos por elemento, descripción y nomenclatura por utilizar.
Se asiste a la planta a rotular cada tablero, ducto barras y transformadores.	Rotular los elementos del sistema, así como la descripción de cada circuito para cada centro de carga.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Objetivo específico 2: con la información recolectada en campo y los diagramas actualizados, se lleva a cabo el estudio de cortocircuito en los diferentes buses del sistema. Se realiza la investigación, para conocer el valor de potencia de cortocircuito aportada por la compañía distribuidora. Una vez obtenidos dichos datos, se procede con el análisis con los sistemas presentes en el sistema. En este punto, se obtendrá la capacidad interruptora requerida. Con lo mencionado anteriormente, se propone el siguiente plan de acción:

Tabla 2. Plan de acción para objetivo específico 2

Actividad	Entregable
Identificación de elementos principales del sistema: ducto barras, transformadores, cargas especiales, centros de carga, así como su respectiva alimentación	Tabla informativa con detalles de cada elemento del sistema, datos de placa y derivación.
Revisión de conceptos, marco teórico para análisis de cortocircuito.	
Se realiza en el software Excel el cálculo de las corrientes de cortocircuito mediante el Método de kVA equivalentes, se obtienen los valores es kVA de cada elemento del sistema.	Se entrega una memoria de cálculo con los resultados obtenidos de las corrientes de cortocircuito.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Objetivo específico 3: se hace el análisis de cortocircuito, la selección de protecciones y arco eléctrico del sistema. Para ello se realiza un estudio en el software utilizado para tal fin. Con lo mencionado anteriormente, se propone el siguiente plan de acción:

Tabla 3. Plan de acción para objetivo específico 3

Actividad	Entregable
Se modela el diagrama eléctrico en el software, para ejecutar el análisis de cortocircuito utilizando ETAP, con el propósito de confirmar la precisión de los datos derivados de los cálculos de corriente.	Diagrama unifilar simplificado, con los valores respectivos en kVA e informe de cortocircuito con las corrientes identificadas en cada nodo.
Se procede a seleccionar las protecciones necesarias con ayuda del software, con base en la respuesta que estas deben dar. en caso de una corriente de cortocircuito.	Tablas de protecciones seleccionadas, recomendadas para utilizar.
Se realiza el estudio de arco eléctrico, por medio del software ETAP.	Informe de estudio de arco eléctrico, así como rótulos con información de arco eléctrico, como energía incidente liberada y medidas de seguridad, y equipo de protección necesario para manipular los tableros y equipos eléctricos.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Objetivo específico 4: se realiza un estudio de los costos, que respalde la importancia económica de las recomendaciones generadas, mediante la comparación de las pérdidas producidas por situaciones consecuentes a fallos en la instalación eléctrica, en contraste con la inversión requerida para robustecer el sistema y evitarlas.

Tabla 4. Plan de acción para objetivo específico 4

Actividad	Entregable
Cuantificar los costos asociados a paros de producción.	Reporte con pérdida en producción y ventas, ocasionada por paros de planta por hora.
Cotización de costos de implementación de las recomendaciones sugeridas.	Presupuesto de inversión para el reemplazo de los equipos como breakers, conductores y tableros necesarios. para acatar las recomendaciones propuestas.
Evaluación de la inversión necesaria, por medio del cálculo de retorno de la inversión (ROI) en un periodo de una semana.	Se comparan los ingresos totales en el periodo estimado con el costo de la inversión requerida, para implementar las recomendaciones para evaluar la viabilidad de estas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

Como se mencionó anteriormente, Cooper Standard se construyó antes del año 2005, por lo que el diseño de su instalación eléctrica no cumple con el artículo primero del Decreto de Ley RTC 458: 2011, publicado en el diario La Gaceta del 15 de febrero del 2012, donde se estipula lo siguiente:

Oficialícese como ‘Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de Vida y la Propiedad’, la norma NFPA-70, en su última versión en español llamada NEC 2008 (...) (La Gaceta, 2012), la cual fue corregida en el 2019 por ‘(...) en su última versión actualizada en español emitida por la NFPA (...)’. (La Gaceta, 2019)

Esto recuerda que la importancia de cumplir con la normativa, especificada en NEC y la norma NFPA 70, radica en la garantía de la seguridad y calidad en las instalaciones eléctricas.

El seguimiento de estas normas permite que los equipos y sistemas eléctricos funcionen de manera segura y confiable, minimizando los riesgos de accidentes, incendios y otros peligros asociados con la electricidad. Además, el cumplimiento de esta normativa es obligatorio en Costa Rica, lo que significa que las empresas y profesionales que trabajan en el sector eléctrico deben cumplirlas, para garantizar la legalidad y la calidad de sus servicios.

Como es habitual en las plantas de manufactura, se llevan a cabo tareas de mantenimiento, inspección y modificación del sistema eléctrico mientras este permanece energizado. Sin embargo, la falta de un análisis de arco eléctrico plantea un riesgo potencial para el personal. De acuerdo con el Código Eléctrico Nacional (NEC), en su versión de 2014, en el artículo 110.16 "Advertencia de riesgo de arco eléctrico", los equipos eléctricos, como paneles de distribución, centros de control de motores y otros similares, que necesiten ser examinados, ajustados, reparados o mantenidos mientras estén energizados, deben alertar al personal capacitado sobre los riesgos inherentes al arco eléctrico. Además, la norma NFPA 70E establece que estos paneles deben proporcionar información sobre la gravedad potencial de la exposición al arco eléctrico, la distancia segura, la energía liberada en el punto de operación y la selección adecuada de equipos de protección personal.

Un estudio de arco eléctrico bien realizado puede prevenir accidentes mortales y proteger la infraestructura. El NEC, en su artículo 110.24(B), estipula que si se introducen modificaciones en la instalación eléctrica, que puedan influir en la corriente de falla en la acometida, es necesario verificar la máxima corriente de falla disponible o realizar nuevos cálculos de corriente de cortocircuito, si es necesario. Esto se hace para garantizar que los

valores nominales del equipo de entrada sean adecuados, para la máxima corriente de falla disponible en los terminales de línea del equipo.

Un sistema o instalación eléctrica, ya sea residencial, comercial o industrial, está constituido por un conjunto de equipos y componentes que se encargan de distribuir la energía eléctrica hasta los puntos de consumo. El diseño de este tipo de instalaciones se realiza bajo normativas y profesionales que velan por entregar un suministro de energía de una manera confiable y segura.

En Costa Rica, el ente encargado de velar por la correcta realización de estos proyectos es el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, 2019), quien lidera la revisión y aprobación de planos y demás requisitos necesarios. La normativa vigente en este país se rige por el NEC (National Electric Code), en su última versión en español, según una reforma aplicada al decreto RTC 458: 2011 en el año 2019 (La Gaceta, 2019).

Como se menciona en la introducción del escrito, los cortocircuitos en un sistema son originados por defectos en el aislamiento de un circuito, y en muchas situaciones, se produce un arco eléctrico en el punto de la falla. Un arco de esta naturaleza puede tener consecuencias devastadoras y desencadenar un riesgo de incendio. Arcos eléctricos que persisten durante períodos prolongados, combinados con las altas temperaturas que pueden alcanzar, representan una amenaza para el aislamiento de los equipos y otras partes del sistema. Por lo tanto, es crucial eliminar la falla rápidamente de los dispositivos de potencia, y en este contexto, los dispositivos de protección, como interruptores, fusibles y conmutadores, desempeñan un papel fundamental en esta tarea.

3.1 Planos eléctricos

Se entiende por planos eléctricos todos aquellos que contienen la información relativa a los proyectos eléctricos que están respaldados por los cálculos necesarios (CIEMI, 2004).

3.2 Plano unifilar

Para facilitar la interpretación del contratista (o el usuario final al que se destina el diseño), se realiza un esquema unifilar, el cual pretende, por medio de líneas y simbología, la representación del circuito, las dependencias de alimentación de tableros, y demás componentes, de manera que se puedan observar las conexiones entre cada uno (Rojas, 2019).

3.3 Corriente de cortocircuito

La máxima corriente a la tensión nominal, que un dispositivo eléctrico, es identificado que tiene previsto interrumpir, bajo condiciones normalizadas de ensayo. La corriente de cortocircuito se ve afectada tanto por una corriente (i_a) alterna sinodal, que depende de la tensión de la fuente y la impedancia de cortocircuito, como por un componente unidireccional (i_c) que depende del amortiguamiento (relación R/XL). Esta relación R/XL también se conoce como factor de asimetría (NFPA, 2014).

3.4 Coordinación de protecciones

La selectividad o discriminación es la facilidad que posee un sistema de protección, que le permite discernir entre una condición de operación y otra en la cual no debe operar (Barahona, 2019).

3.5 Arco eléctrico

Un arco eléctrico, o descarga voltaica, es un fenómeno eléctrico que sucede entre dos electrodos sometidos a una diferencia de voltaje dentro de un medio gaseoso. Cuando la diferencia de voltaje es lo suficientemente elevada para superar la resistencia eléctrica del gas, se desencadena un flujo de corriente, el cual en muchos casos se puede apreciar a simple vista. Este flujo de corriente se ve precisamente como un arco de luz que conecta los electrodos.

3.6 Corrientes de cortocircuito

La corriente nominal de cortocircuito, como se establece en el artículo 100 "Definiciones" de NFPA 70, hace referencia a la posible corriente simétrica de falla a tensión nominal. Esta es la corriente a la que un dispositivo o sistema puede conectarse sin sufrir daños, más allá de los criterios de aceptación definidos. Además, la corriente nominal de interrupción es definida como la máxima corriente que un dispositivo eléctrico tiene la capacidad de interrumpir a la tensión nominal, bajo condiciones estandarizadas.

En cuanto a la corriente de cortocircuito disponible, se define como la máxima corriente de falla posible en un punto específico del sistema eléctrico bajo estudio. Esta corriente está en proporción directa con la cantidad y el tamaño de las fuentes de corriente de falla presentes. Por lo general, estas fuentes son generadores, motores y la fuente principal de suministro, que suele ser la empresa de distribución (IEEE 551, 2006).

Es fundamental que los sistemas eléctricos en funcionamiento estén preparados para enfrentar posibles fallos por cortocircuito, y su diseño debe contemplar la capacidad de soportar corrientes de falla.

La corriente de cortocircuito disponible se define como la máxima corriente de falla posible en un punto en específico del sistema eléctrico en estudio. La corriente de cortocircuito disponible es directamente proporcional a la cantidad y tamaño de las fuentes de corriente de falla. Normalmente, las fuentes de corriente de falla son generadores, motores y la fuente de suministro principal (la empresa de distribución) (IEEE 551, 2006). Al reconocer la importancia de estos conceptos, resulta esencial entender y gestionar adecuadamente la corriente de cortocircuito en los sistemas eléctricos, asegurando la seguridad y la fiabilidad de las operaciones.

3.7 Estudio de cortocircuito

El objetivo primordial de un análisis de cortocircuito radica en proporcionar la información esencial sobre sobrecorrientes y voltajes, en un sistema eléctrico, durante situaciones de fallo. Esto busca comprender cómo el sistema eléctrico responde ante cualquier eventualidad de este tipo (Energética Soluciones y Consultoría, 2019). La evaluación del estudio de cortocircuito seguirá la metodología establecida en los estándares de ANSI/IEEE 551-2006. Igualmente, resulta crucial generar un análisis efectivo de coordinación de protecciones. Ello permitirá examinar las curvas de corriente-tiempo de los dispositivos de protección, con el propósito de garantizar una protección adecuada para la instalación eléctrica, asegurando su autoprotección en caso de imprevistos. La realización de un completo estudio de cortocircuito y una coordinación adecuada de protecciones revisten importancia, ya que los dispositivos de protección contra sobrecorriente empleados en el sistema eléctrico necesitan estar sincronizados para cualquier período de fallo que exceda los 0.1 segundos, como se indica en el capítulo 210 de NFPA 70. De esta manera, se garantiza que la reacción de los elementos de protección sea correcta ante fallos de mayor duración, y que los servicios y equipos conectados a las ramificaciones de equipo, seguridad humana y críticos no se vean afectados.

Para ejecutar un estudio de cortocircuito, es necesario contar con el diagrama unifilar completo y detallado de la instalación eléctrica. Además, es necesario contar con las cargas asociadas con los datos de placa respectivos, los valores de las impedancias subtransitorias de las máquinas eléctricas, el aporte de la compañía de suministro eléctrico. A pesar de que los eventos de cortocircuito son poco frecuentes, toda instalación eléctrica está expuesta a fallos de suministro eléctrico, y riesgo para el personal.

La corriente máxima disponible en un sistema eléctrico, en caso de cortocircuito, es identificada como la máxima corriente potencial en un punto específico. La corriente de falla es directamente proporcional a la cantidad de fuentes que generan esta corriente, las cuales pueden ser generadores, motores y principalmente la empresa de suministro eléctrico.

Por tanto, es siempre una prioridad contar con un mecanismo de desconexión capaz de interrumpir, de manera adecuada, la alimentación proveniente de la fuente que origina el cortocircuito. Este dispositivo debe ser seleccionado, en función de su capacidad para interrumpir diversas condiciones de fallo. Un cortocircuito induce un flujo de corriente, que es temporal y descontrolado en su naturaleza.

Para llevar a cabo este proceso, resulta esencial determinar la corriente máxima de cortocircuito en todos los puntos en los que se colocarán dispositivos de protección contra sobrecorriente. Este valor máximo de corriente de cortocircuito es fundamental para seleccionar los interruptores automáticos de corte, ajustar las demandas electrodinámicas de los conductores y coordinar todos los elementos de protección involucrados, entre otros aspectos (Barahona, 2015).

Idealmente, los sistemas eléctricos están diseñados para estar libres de fallas lo más posible, siguiendo las normas de diseño pertinentes, utilizando los equipos adecuados para la instalación y ejecutando un mantenimiento periódico. Sin embargo, incluso siguiendo las prácticas recomendadas, se pueden dar fallas en el sistema por causas como: presencia de animales en el equipo, conexiones flojas que le provoquen sobrecalentamiento al equipo, sobretensiones, deterioro en aislamientos, entre otros. Cuando un cortocircuito ocurre, pueden determinarse situaciones inmediatas que ocurren como consecuencia; entre ellas se sabe que, si las corrientes de cortocircuito son muy altas, estas introducen una gran cantidad de energía a la falla, se pueden producir arcos y quemaduras que dañen el equipo adyacente y, también, posiblemente resulte en un riesgo de quemaduras por arco eléctrico para el personal que trabaja en el equipo. Además de todos los componentes que transportan corrientes de cortocircuito, estarán sujetos a tensiones térmicas y esfuerzos mecánicos debidos al flujo de corriente; esta tensión varía en función de la magnitud de la corriente al cuadrado y la duración del flujo de corriente.

Existen distintos métodos de solución, que pueden ser implementados para la solución de un circuito eléctrico y, así, encontrar los valores de corrientes de cortocircuitos que se espera se den en caso de una falla en el sistema, cada uno de los métodos con sus respectivas ventajas y desventajas. Dentro de los métodos existentes se encuentran:

- Método de las componentes simétricas.
- Método de las impedancias.
- Método porcentual.
- Método de la matriz.

- Resolución por software.
- Cálculo kVAs equivalentes.

Este último es el más recomendado utilizarlo para estos estudios, puesto que, a diferencia del método de las impedancias, que requiere cálculos individuales para cada punto de interés, el método de los kVA permite determinar los valores de cortocircuito para múltiples puntos en un solo cálculo. Al simplificar la configuración de la red serie y paralelo, los valores se obtienen de manera sucesiva, siendo no solo más preciso, sino que es más eficiente que el método de las impedancias, donde cada punto requeriría su propio cálculo, lo que podría dar lugar a errores y una mayor carga de trabajo.

Existen diferentes procedimientos para determinar las corrientes de cortocircuito del sistema, como lo son los métodos de: Impedancias, Componentes Simétricas, Flujos de Potencia o kVA Equivalentes; este último será el utilizado para realizar el estudio de cortocircuito en la planta, el cual será profundizado y explicado más adelante en esta sección. Además, actualmente existen herramientas programadas con dichos métodos, en softwares de modelado y simulación, por ejemplo, softwares especializados como ETAP, SKM Power Tools, PSS®E, entre otros, para modelar el sistema eléctrico y ejecutar análisis de cortocircuito. Estos programas aplican algoritmos y modelos avanzados para calcular las corrientes de cortocircuito de manera precisa. En este trabajo, se realizará el estudio de manera analítica y, además, se comparan los resultados obtenidos con los desarrollados por el software ETAP, para tener una mayor credibilidad y certeza de ellos.

El método de kVA equivalentes es una técnica utilizada en el análisis de cortocircuitos eléctricos, para determinar la contribución de los diversos elementos activos y pasivos de un sistema a la corriente de cortocircuito. En este método, los elementos se representan en términos de su capacidad aparente en kVA, en lugar de su impedancia en ohmios.

Las corrientes de cortocircuito en cualquier punto del sistema eléctrico se obtienen dividiendo la potencia aparente (kVA) en el punto de cortocircuito por la tensión de cortocircuito (en fase o en línea) en ese mismo punto. Las fórmulas básicas para el cálculo de corrientes de cortocircuito se expresan de la siguiente manera:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{base}}{V_{cc}} \quad (3)$$

Donde:

I_{cc} : es la corriente de cortocircuito trifásica simétrica en amperios.

kVA: base es la potencia aparente base en kVA en el punto de cortocircuito de referencia.

Vcc: es la tensión de cortocircuito en el punto de referencia.

Para conseguir estos kVA equivalentes de cada punto del sistema, se debe realizar el siguiente cálculo para cada uno de los elementos del sistema, tal como sea requerido.

Para kVAs de transformadores:

$$KkAcc_{equiv} = \frac{KV A_{transformador}}{Z_{pu}} \quad (4)$$

Para kVAs de motores:

$$KV Acc_{equiv} = \frac{HP_{motor}}{X''_d} \quad (5)$$

Para kVAs de conductores:

$$KV Acc_{equiv} = \frac{(kV)^2}{1000 * Z * L} \quad (6)$$

Una vez que se tengan los valores de kVAs equivalentes de cada componente, se realiza una recopilación de los valores, escribiéndolos en cada elemento del diagrama unifilar, para seguidamente calcular los kVAs equivalentes aguas arriba y aguas debajo de cada elemento, es decir, cada vez que la corriente de cortocircuito vaya a cambiar, para una organización mejor se colocan flechas horizontales en cada uno de estos puntos, para colocar en ellas ese valor según si se encuentra en serie o en paralelo con el siguiente elemento, de acuerdo con las siguientes fórmulas.

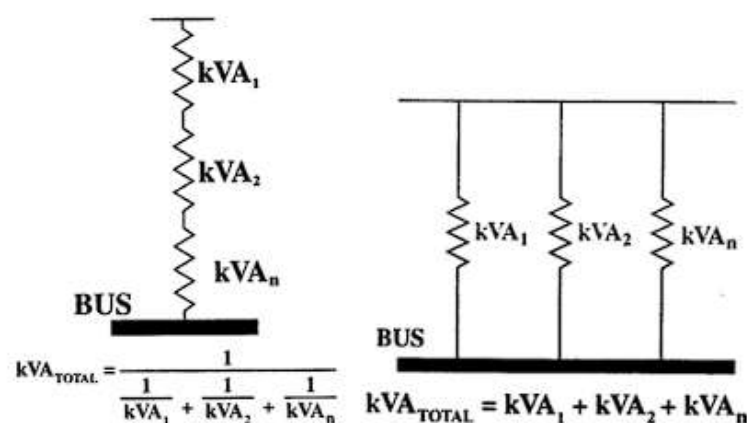


Figura 6. Reducción de KVAs serie y paralelo

Fuente IEEE 551 (2006).

El proceso se realiza primeramente en dirección aguas abajo hacia aguas arriba, y seguidamente se realiza aguas arriba hacia aguas abajo, obteniendo, entonces, dos valores por

flecha, los cuales representan las dos corrientes que están entrando en ambas direcciones en cada punto del sistema, por lo que pueden sumar estos resultados para obtener los KVAs equivalentes en cada punto y, finalmente, calcular la corriente de cortocircuito en cada uno según la fórmula (3).

3.8 Contribuciones de los elementos del sistema

Todas las posibles reacciones del sistema suelen desencadenarse por elementos que aporten estas corrientes en mayor medida; estos son elementos que normalmente se comportan como cargas, pero al momento de una falla generan corriente para el sistema durante un tiempo corto. A continuación, se detallan los componentes principales del sistema, a los que pueden aportar estas corrientes:

3.8.1 Contribución de motores de inducción

Las corrientes de cortocircuito, en motores de inducción, se generan porque el estator de este se activa por una tensión generada por un flujo atrapado en el rotor y se desarrolla una corriente, la cual está delimitada por la reactancia interna del motor. Esta reactancia subtransitoria se puede entender como la impedancia equivalente resultante del bobinado del estator, en el momento en el que se da la falla por cortocircuito, la máquina sin carga y con la tensión nominal del elemento. Por otro lado, la reactancia es el flujo de corriente durante los primeros ciclos de iniciada la falla; esta varía según la norma que se esté utilizando para el análisis, si la potencia del motor es grande (mayor a 50HP) o pequeña (menor a 50 HP), además de la cantidad de ciclos.

Si un motor de inducción se encuentra conectado a un bus infinito, el cual presenta un perfil de tensión constante y donde se inicia una falla, se observa que la tensión rápidamente llegará a cero, pero, por otro lado, el motor en el sistema eléctrico se mantendrá en movimiento debido a la inercia, lo que provoca que se actúe como un generador. En la siguiente figura, se muestra el comportamiento de la corriente de cortocircuito trifásico, en un motor de inducción en el tiempo.

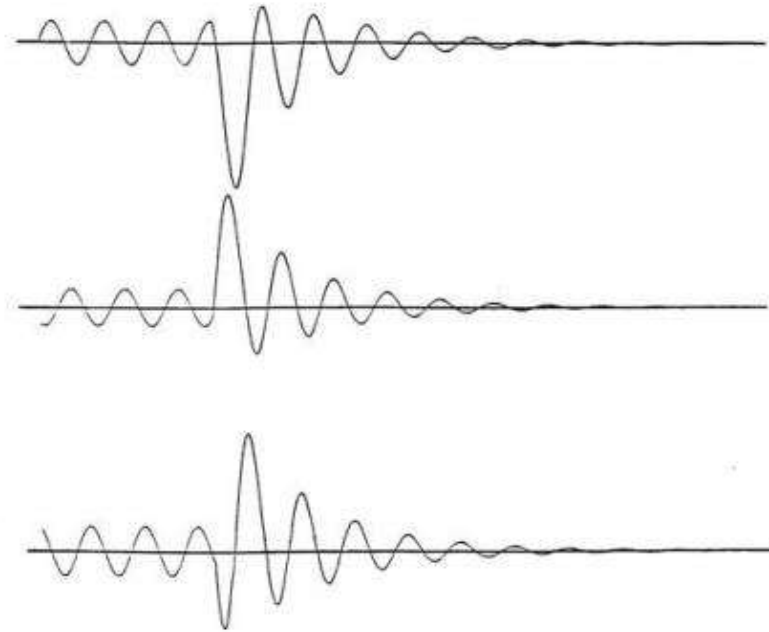


Figura 7. Corriente de cortocircuito trifásico en motores de inducción

Fuente: IEEE 551 (2006)

3.8.2 Contribución de la empresa de distribución de energía eléctrica

En un evento de falla por cortocircuito, el sistema demandará mucha energía, donde la empresa de suministro automáticamente la brindará, hasta que esta falla sea aislada. Esta contribución es básicamente la potencia que es capaz de contribuir la empresa de suministro de energía, en el punto de servicio del edificio o industria, antes de que sus protecciones actúen. La empresa de suministro posee generadores, los cuales suministran la energía según sea la demanda de esta, que contribuyen también a que esta corriente que se entregue sea de gran magnitud, como se demanda comúnmente en eventos de cortocircuito (Núñez 2016).

La contribución de la empresa de suministro eléctrico se percibe como una fuente inagotable de corriente de falla, donde la corriente suministrada en el momento de la falla es constante durante el primer ciclo, y también durante el período de interrupción, que generalmente dura de tres a cinco ciclos. En muchos casos, esta contribución es la más significativa y, en lugares como áreas residenciales o plantas que están fuera de operación, puede ser la única fuente de corriente de falla.

3.8.3 Contribución de bancos de capacitores

El capacitor en un sistema eléctrico con corriente alterna, está cargándose y descargándose constantemente, generando potencia aparente, la cual es consumida por los

motores y demás equipos con bobinas en el sistema. Uno de los puntos más críticos es si el capacitor es capaz de afectar en el cálculo de corrientes de cortocircuito.

Un banco de capacitores puede ser causante de una falla por cortocircuito en el sistema por diversas razones, como las mencionadas a continuación:

-Sobrecargas que provoquen que los fusibles se quemen porque, a veces, la capacidad del fusible puede ser más baja que la necesaria, por lo que la alta resistencia de contacto de la unidad de fusible puede causar temperaturas excesivas y su falla.

-Falla térmica, ya que algunas veces los capacitores funcionan en condiciones de calor extremo, y pueden fallar, debido a la temperatura excesiva. Esta condición puede deberse a la alta temperatura ambiente, el calor irradiado de equipos adyacentes o las pérdidas adicionales.

- Los bancos de capacitores tienden a interactuar con la fuente o la inductancia del transformador, lo que produce ferresonancia. Esto puede generar oscilaciones no amortiguadas en la corriente o el voltaje, dependiendo del tipo de resonancia. Si el sistema no está adecuadamente amortiguado, existe la posibilidad de una falla de la capacitancia o del transformador.

- Las dos fallas que más generan preocupación en un banco sin fusibles son la del aislamiento principal de una unidad y la explosión del cojinete de esta. Si una unidad en un banco de fusibles externo experimenta cualquiera de estas dos fallas, el fusible externo operará y retirará la unidad del servicio; sin embargo, los bancos sin fusibles no cuentan con estos.

Como se ha explicado previamente, un condensador opera en un ciclo controlado, en el cual se carga y descarga en cada mitad de un ciclo, de acuerdo con la frecuencia en la que funcione; de esta forma, el punto en el que contribuirá más a la corriente de cortocircuito será cuando esté conectado a su capacidad máxima. Cuando ocurre un evento de cortocircuito, el voltaje disminuye de manera deliberada, lo que provoca que el condensador se descargue de manera rápida. Por ejemplo, en un banco de capacitores de 10MVAR, con una capacitancia de 139.3 μ F conectado a un cable de 30 metros 500mcm, se llega a alcanzar un aporte de 35kA a medio ciclo.

3.8.4 Contribución por transformador aceite y secos

Concretamente, los equipos de transformación no contribuyen a que una corriente de cortocircuito se genere o aumente; por lo contrario, los transformadores son los elementos de un sistema eléctrico encargados de reducir la corriente de falla suministrada por la compañía eléctrica, o por elementos del sistema que la generen. Estos equipos cuentan con una

impedancia de referencia, que representa el primer obstáculo en el camino de la corriente de falla, que proviene del sistema eléctrico bajo análisis. Por este motivo, uno de los aspectos cruciales por examinar es el de las conexiones tanto de entrada como de salida del transformador.

En muchas ocasiones, los transformadores de distribución tienen tensiones nominales que varían en función de la diferencia de potencial utilizada en el sistema. Por lo tanto, se deben considerar las conexiones en las derivaciones del transformador, que permiten modificar el perfil de voltaje y, al mismo tiempo, afectan su impedancia.

Calcular la intensidad de cortocircuito, en las bornas del secundario de un transformador de distribución, es esencial, para garantizar la seguridad y la fiabilidad del sistema eléctrico. Al utilizar las siguientes fórmulas, se puede obtener esta magnitud fundamental de manera rápida y precisa.

$$I_{cc} = \frac{I_n \times 100}{U_{cc}} \quad (1) \quad \text{Donde: } I_n = \frac{S \times 10^3}{U\sqrt{3}} \quad (2)$$

Con S = kVA intensidad del transformador.

U = tensión compuesta de la red en vacío.

In = corriente nominal en amperios.

Icc = corriente de defecto de intensidad de cortocircuito en amperios.

Ucc = tensión de cortocircuito del transformador expresado en %.

El cortocircuito es un tipo de falla eléctrica en la que hay una conexión directa y sin resistencia entre dos puntos de un circuito eléctrico. Puede ocurrir en sistemas monofásicos y trifásicos, y las diferencias entre un cortocircuito monofásico y uno trifásico se basan en la cantidad de fases involucradas y cómo afectan al sistema eléctrico.

Un cortocircuito monofásico ocurre cuando hay una conexión directa entre las fases de un sistema de alimentación monofásico, lo que puede provocar una sobrecarga de corriente en un solo circuito. Este tipo de cortocircuito es común en sistemas domésticos y pequeñas empresas, donde se utiliza una sola fase para alimentar electrodomésticos y equipos.

Algunas características importantes del cortocircuito monofásico son:

Fases involucradas: en un sistema monofásico, solo hay una fase y un conductor neutro. Por lo tanto, el cortocircuito monofásico involucra a estos dos conductores.

Impacto en el sistema: un cortocircuito monofásico puede sobrecargar el sistema eléctrico y provocar daños en los equipos conectados. También puede provocar incendios si no se interrumpe rápidamente la corriente eléctrica.

En contraste, un cortocircuito trifásico sucede cuando hay una conexión directa entre las fases en un sistema de alimentación trifásico. Los sistemas trifásicos se utilizan en aplicaciones industriales y comerciales, debido a su capacidad para manejar cargas pesadas. Un cortocircuito en un sistema trifásico puede generar corrientes extremadamente altas, lo que puede dañar equipos y provocar incendios si no se controla adecuadamente.

Algunas características importantes del cortocircuito trifásico son:

Fases involucradas: en un sistema trifásico, tres fases (A, B y C) están presentes. Un cortocircuito trifásico puede involucrar cualquier combinación de estas fases, como A-B, B-C o A-C.

Impacto en el sistema: un cortocircuito trifásico puede generar altas corrientes eléctricas y provocar un rápido aumento de temperatura en los conductores. Esto puede dañar los equipos, los transformadores y otros dispositivos conectados al sistema eléctrico. Además, puede causar interrupciones en el suministro eléctrico y, en casos extremos, causar incendios.

Un tema trascendental para la selección de protecciones eléctricas es el tipo de circuito al que será instalado, sea este trifásico, de dos líneas o monofásico.

3.9 Tipos de Fallas de Cortocircuito

- Línea a tierra: esta falla ocurre cuando una fase entra en contacto con tierra. Puede deberse a un aislamiento defectuoso o a la presencia de humedad en el sistema. La corriente fluye hacia la tierra en lugar de regresar al sistema, lo que puede provocar sobrecalentamiento y daños en los equipos eléctricos.
- Línea-línea: en este caso, dos fases diferentes se conectan directamente. Esta situación puede ocurrir debido a un error de cableado, o a un mal funcionamiento de los dispositivos de protección. Puede resultar en una corriente descontrolada entre las fases afectadas, lo que puede dañar gravemente los equipos.
- Dos líneas a tierra: dos fases diferentes entran en contacto con tierra simultáneamente. Esta es una de las fallas más graves, ya que puede provocar una sobrecarga severa y dañar los componentes del sistema eléctrico. Además, aumenta significativamente el riesgo de incendio.

3.10 Legislación y Normativas de Cortocircuito

ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares): establece estándares para equipos eléctricos en Estados Unidos de América, asegurando que los dispositivos sean seguros, eficientes y compatibles con otros componentes del sistema eléctrico.

IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos): la norma IEEE 141-1993 indica los pasos y consideraciones para la realización de este estudio, tomando en cuenta la recolección de datos de los equipos involucrados en la instalación (v.g. motores, transformadores, conductores) además del concepto de sistema pu (por unidad), la reducción del circuito obedece al comportamiento eléctrico básico de los circuitos, considerando las componentes imaginarias en las impedancias que lo conforman. Publica estándares relacionados con la electricidad y la electrónica, incluyendo especificaciones para dispositivos de protección y sistemas eléctricos seguros.

La norma IEEE 1584-2002 es la utilizada para la estimación y consideración de las fallas por arco. En dicha norma se establecen los pasos para su estudio, como se indican a continuación:

- a) Recolección de información del sistema.
- b) Determinar los modelos de operación.
- c) Determinar las corrientes de falla.
- d) Determinar las corrientes de arco.
- e) Definir las características de los elementos de protección y tiempos de reacción.
- f) Documentar las tensiones y tipos de equipos.
- g) Definir las distancias de trabajo.
- h) Determinar la energía incidente.
- i) Determinar los límites de protección.

Los modelos de estimación para arcos eléctricos son dependientes de la tensión existente, y respecto a ellos las fórmulas variarán; para este documento la 50 máxima tensión dentro del circuito es de 34500 V, sin embargo, los tableros por analizar se encuentran en las tensiones 480/277 V y 120/208 V; por ende, la selección de datos en los anexos pertinentes se dará en función de estos valores.

NEC (Código Eléctrico Nacional): es la normativa para instalaciones eléctricas en Estados Unidos de América, estableciendo requisitos para el cableado, dispositivos de protección, sistemas de puesta a tierra y otros aspectos críticos de la seguridad eléctrica.

Del libro NEC 2008, se extrae la normativa actual para el diseño y dimensionamiento del sistema eléctrico en edificaciones, tanto comerciales como residenciales.

En la mismo Código Eléctrico Nacional se habla sobre los cables TSJ; se utilizan en circuitos temporales, debido a su falta de resistencia a condiciones ambientales adversas y a su baja capacidad para soportar altos niveles de corriente durante períodos prolongados. Estos cables no están diseñados para aplicaciones industriales de alta carga o para uso en entornos extremos. Utilizarlos en tales condiciones puede resultar en sobrecalentamiento, derretimiento del revestimiento y, en última instancia, fallas en el sistema eléctrico.

3.11 Coordinación de Protecciones

La coordinación de protecciones implica seleccionar y configurar dispositivos de protección, como interruptores automáticos, fusibles y relés, para que, en caso de una falla, solo el dispositivo más cercano al punto de falla se desconecte. Esto asegura que el resto del sistema permanezca operativo y protegido, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico.

De acuerdo con el artículo 110.10 del Código Eléctrico Nacional, se exige llevar a cabo un análisis de coordinación de sobrecorriente. La coordinación de protecciones tiene como objetivo reducir los efectos de las fallas y, al mismo tiempo, garantizar la continuidad del servicio, al limitar el área afectada por la falla y proteger el resto del sistema. De esta manera, se evitan daños y pérdidas en locales, residencias, comercios e industrias. Cuando existen dos o más dispositivos de protección conectados en serie entre el punto de falla y la fuente de energía, es esencial coordinar su funcionamiento, para asegurar que el dispositivo más cercano al punto de falla se active primero. Los dispositivos de protección restantes deben estar configurados para activarse de manera secuencial, proporcionando, así, una protección de respaldo en caso de que uno de ellos falle en su respuesta. Este enfoque se conoce como coordinación selectiva. Para lograr una coordinación efectiva de los equipos de protección, es fundamental conocer los tipos de equipos instalados, así como comprender sus características de operación y disparo. Con esta información, se pueden realizar ajustes precisos para activar los dispositivos ante una falla de manera oportuna y efectiva.

3.12 Análisis de Curvas de Protecciones

El estado es normal cuando el voltaje, la corriente, la temperatura, entre otros, se encuentran dentro de los márgenes preestablecidos. Los elementos de protección son, como su nombre indica, aquellos dispositivos destinados a la protección de un circuito contra un funcionamiento anormal, ya sea causado por el propio circuito o por condiciones externas. Dado que los elementos de protección deben, en casi todos los casos, desconectar el circuito, han de ir acompañados de un elemento de maniobra. Por lo que respecta a los elementos de protección, se puede distinguir entre los aparatos de maniobra con protección incorporada, llamados normalmente interruptores de protección, y los elementos de protección que no son en sí mismos capaces de desconectar el circuito, pero incluyen algún dispositivo para provocar la apertura de un interruptor preparado para ello, llamados normalmente relés de protección. Aparte están los elementos fusibles, pues son ellos mismos quienes desconectan el circuito, sin necesidad de ningún dispositivo de maniobra.

Determinar la corriente de falla con los métodos conocidos o más convenientes de cálculo, en aquellos puntos donde se requiera la instalación de protecciones. Instalar protecciones, sean estos fusibles o disyuntores de los cuales se conozca su capacidad interruptora de corrientes de cortocircuito, y que estén aprobados por normas conocidas.

Los fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos, se basan en la fusión por efecto Joule de un hilo o lámina intercalada en la línea, que constituye el eslabón más débil del sistema. Tienen capacidades de corriente normalizadas, fusibles e interruptores automáticos. Estos son fusibles para la protección de equipo eléctrico, como capacitores, rectificadores, y circuitos integrados de protección.

La función principal de estos dispositivos se da por el proceso de apertura del interruptor. Cuando un interruptor en servicio está cerrado, existe una cierta presión entre sus contactos, que hace que la superficie de contacto sea máxima y, por tanto, la corriente que por él circula, lo hará con una densidad de corriente mínima, que provocará una baja temperatura. En la maniobra de apertura, al iniciarse el despegue de los contactos, lo primero que se obtiene es una disminución de presión, con el consiguiente aumento de la densidad de corriente. En el instante de la separación de los contactos, la fina capa de aire que los separa es atravesada por la corriente, provocando una rápida elevación de temperatura, que da lugar a un resplandor azulado brillante de la chispa, a la vez que se tiene un elevado campo eléctrico entre los contactos, capaz de producir una fuerte emisión de electrones en el contacto que hace el papel de cátodo. Si la corriente que interrumpen los contactos es débil, la elevación de temperatura de la chispa no alcanzará el valor suficiente como para provocar la fusión y

volatilización del metal de los contactos, pero a partir de cierto límite, la temperatura llegará a sobrepasar el punto de fusión y volatilización del metal, haciendo que la chispa se torne conductora y produzca el "arco", es decir, una llama de color diferente del de la chispa.

La diferencia entre la chispa y el arco depende, en consecuencia, de la mayor o menor intensidad de la corriente en el momento en que los contactos se separan. Al analizar la maniobra de apertura de un interruptor en lo que a tensión e intensidad se refiere, en el instante antes de iniciarse la apertura, la tensión entre sus extremos es prácticamente nula y la intensidad que por él circula es la que en ese momento demanda el circuito o carga que se está alimentando. Iniciada la apertura y establecido el arco, este se irá alargando a medida que los contactos se separan, y, en consecuencia, la intensidad irá disminuyendo hasta anularse.

Este proceso se da en diferentes tipos de disyuntores como:

- **Disyuntores automáticos:** los interruptores automáticos son aparatos destinados a establecer e interrumpir circuitos eléctricos, con la particularidad de que precisan una fuerza exterior que los conecte pero que se desconectan por sí mismos, sin deteriorarse, cuando el circuito en que se hallan presenta ciertas anomalías a las que son sensibles. Para provocar la desconexión, aprovechan la deformación de una lámina bimetálica, que se curva en función del calor producido por la corriente al pasar a través de ella. La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura siguiente. La interrupción del circuito se efectúa siempre cuando las condiciones de trabajo llegan a la zona "rayada" que marca la separación entre ambas.
- **Disyuntores magnéticos:** para iniciar la desconexión, se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula. Cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, sin importar el tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75 A, provocaría la desconexión inmediata. El límite inferior de la curva, viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco.
- **Disyuntores termomagnéticos:** generalmente, los disyuntores automáticos combinan los sistemas de protección descritos anteriormente, en un solo aparato-.

En una distribución radial, el objetivo de la selectividad es desconectar de la red el receptor o la derivación de salida defectuosa y solo esta, manteniendo en servicio la mayor parte posible de la instalación. Se llama "selectividad total" si queda garantizada para cualquier

valor de corriente de defecto hasta el valor máximo disponible en la instalación. En caso contrario se llama "selectividad parcial".

Conocer los diversos fenómenos que se producen en los dispositivos y sus fallas facilitará el uso de la correcta técnica de instalación de selectividad.

- Sobrecargas: se trata de corrientes que superan entre una y diez veces el valor nominal. Deben desconectarse en un plazo adecuado, proporcional a la intensidad de la corriente. La selectividad se logra comparando las curvas de tiempo y corriente de los dispositivos de largo retardo afectados.
- Cortocircuitos: corrientes de gran magnitud, a menudo acompañadas de arcos eléctricos, que deben desconectarse casi instantáneamente.
- Corrientes de fuga a tierra: para evitar la desconexión injustificada debido a problemas de aislamiento, se utilizan dos enfoques: "protección diferencial" para corrientes bajas o "protección de tierra" para corrientes mayores.
- Bajos y cortes de tensión: pueden deberse a cortocircuitos en la instalación o problemas aguas arriba, y provocar la desconexión de dispositivos principales si están equipados con relés de falta de red o tensión mínima.

Diversos métodos son empleados para mejorar la selectividad de protecciones, que generalmente se traduce en evitar el disparo inadecuado de una protección en relación con otras protecciones ubicadas en aguas abajo de la instalación. Estos métodos comprenden:

Para todo tipo de protecciones, ya sea fusibles o disyuntores:

- Superposición de las curvas de corriente y tiempo de las protecciones que requieren coordinación.
- Utilización de software especializado, que contenga información sobre las curvas de corriente y tiempo de las protecciones a coordinar.

Para fusibles de menos de 600 V:

- Consulta de las publicaciones de los fabricantes respecto a los radios de selectividad de los fusibles, es decir, las razones por las que son selectivos con respecto a otros fusibles de la misma marca y familia.

Para disyuntores termomagnéticos:

- Ajuste diferencial de los umbrales de disparo, conocido como selectividad amperimétrica.

- Retardo del disparo del interruptor aguas arriba en el tiempo, con intervalos de decenas o centenas de milisegundos, denominado selectividad cronométrica.
- Empleo de criterios de discriminación más avanzados, como la detección de un número específico de ondas de corriente o la forma de estas ondas, conocido como selectividad "Sellim" y "energética".
- Comunicación de un interruptor automático al otro cuando ha superado su umbral, conocido como selectividad lógica, que se logra mediante automatización.
- Referencia a las tablas de selectividad publicadas por los fabricantes de los interruptores automáticos instalados en la instalación.

3.13 Estudio de Arco Eléctrico

Un arco eléctrico es una descarga eléctrica que puede generar calor extremo, luz intensa y ondas de presión, representando un riesgo significativo para la seguridad de los trabajadores y la integridad del equipo. Se produce en condiciones de fallas, cortocircuitos, error humano, polvo e impurezas, generando grandes cantidades de calor y luz que viajan a través del aire.

El arco eléctrico fue incluido por primera vez como un riesgo eléctrico más por evaluar en la norma NFPA, generándose la nueva normativa NFPA 70-E, la cual contempla el área de seguridad eléctrica, incluyendo los cálculos necesarios para establecer los límites de protección de arco eléctrico.

Identificar y mitigar estos riesgos es esencial para evitar lesiones graves, daños materiales y, potencialmente, salvar vidas. Los equipos de protección personal, la formación adecuada y la implementación de medidas de seguridad son esenciales para manejar los riesgos asociados con los arcos eléctricos de manera efectiva.

El estudio de arco eléctrico implica analizar y prevenir los peligros asociados con los arcos eléctricos, que pueden ocurrir durante un cortocircuito. Identificar y mitigar estos riesgos es esencial para evitar lesiones graves, daños materiales y potencialmente, salvar vidas. Los equipos de protección personal, la formación adecuada y la implementación de medidas de seguridad son esenciales para manejar los riesgos asociados con los arcos eléctricos de manera efectiva.

Los elementos clave que conlleva un buen estudio de arco eléctrico son:

1. Evaluación del Sistema Eléctrico

Se realiza una evaluación completa del sistema eléctrico, identificando las fuentes de energía, los equipos y las configuraciones del circuito. Esto incluye la identificación de los puntos de cortocircuito potenciales y la determinación de las posibles corrientes de falla.

2. Análisis de Coordinación de Protección

Se estudian los dispositivos de protección existentes, como disyuntores y fusibles, para garantizar que estén correctamente coordinados. La coordinación adecuada asegura que el dispositivo más cercano al punto de falla se desconecte primero, minimizando así el impacto del arco eléctrico.

3. Estimación de Energía Incidente

Se calcula la energía incidente, que es la cantidad de energía liberada durante un arco eléctrico. Este cálculo es esencial para determinar los niveles de peligro y seleccionar el equipo de protección personal (EPP) adecuado.

4. Especificación del Equipo de Protección Personal (EPP)

Con base en la energía incidente calculada, se especifican los equipos de protección personal necesarios, como prendas ignífugas, escudos faciales y guantes aislantes. Estos EPP están diseñados para proteger a los trabajadores contra las altas temperaturas y los efectos luminosos intensos de los arcos eléctricos.

5. Establecimiento de Barreras de Seguridad

Se definen las barreras de seguridad y las zonas de restricción, para limitar el acceso a áreas donde los arcos eléctricos pueden ocurrir. Estas barreras ayudan a mantener al personal no esencial alejado de las áreas de riesgo.

6. Desarrollo de Procedimientos de Trabajo Seguro

Se crean procedimientos detallados para el trabajo en caliente, incluyendo pasos específicos para mitigar los riesgos de arco eléctrico. Estos procedimientos deben ser seguidos rigurosamente durante cualquier tarea que involucre sistemas eléctricos activos.

7. Formación y Concienciación del Personal

Se lleva a cabo una formación extensiva para educar a los trabajadores sobre los riesgos asociados con los arcos eléctricos y cómo evitarlos. La concienciación del personal es clave para garantizar la adhesión a los procedimientos de seguridad.

8. Inspecciones Regulares y Actualizaciones

Se establece un programa de inspecciones regulares, para garantizar que el equipo esté en condiciones óptimas y que los procedimientos de seguridad sean efectivos. Además, el estudio debe ser revisado y actualizado periódicamente, para adaptarse a cambios en el sistema eléctrico o en las regulaciones de seguridad.

Un buen estudio de arco eléctrico no solo se centra en identificar los riesgos, sino también en implementar medidas efectivas para mitigarlos. La seguridad eléctrica es un esfuerzo continuo que requiere vigilancia, actualización constante y una colaboración estrecha entre los ingenieros, los trabajadores y los responsables de seguridad en el lugar de trabajo.

Por necesidad y para la continuidad de los procesos, se debe permitir el mantenimiento de equipos eléctricos en estado energizado. Si todo el trabajo de mantenimiento se pudiera realizar en estado desenergizado, no se pueden producir cortocircuitos y, por lo tanto, no existe riesgo de relámpago de arco. Para las plantas de proceso continuo, donde la parada de un proceso puede resultar en una enorme cantidad de pérdidas, tiempo de inactividad y reinicio, se hace necesario mantener el equipo en estado energizado.

Resulta fundamental que en todo sistema industrial de producción se cuente con un sistema eléctrico robusto, confiable y seguro y que, además, el personal de la planta se preocupe por mantenerlo y operarlo sin la exposición a riesgos eléctricos peligrosos; de esta manera, no quedan comprometidas las vidas de los trabajadores y las pérdidas monetarias por menor producción.

Para lograr el cometido de prevenir todos los riesgos asociados a un arco eléctrico, es imprescindible realizar un estudio de este fenómeno en toda industria, para obtener la siguiente información requerida:

a) Determinar y etiquetar la cantidad de energía incidente que se puede generar en cada equipo eléctrico que compone un sistema eléctrico industrial, durante un evento de arco eléctrico.

b) Especificar el equipo de protección personal (EPP) requerido, para que, en el caso de ser expuesto al arco eléctrico, los daños en el trabajador se limiten a sufrir quemaduras de segundo grado, que aún son curables.

c) Determinar la frontera de protección contra riesgos de arco eléctrico (distancia segura) que se debe mantener por personal no calificado, debido a que no cuenta con el EPP básico y por personal calificado, pero que no cuenta con el EPP requerido.

Riesgos eléctricos

Se definen como riesgos eléctricos aquellos que se originan a causa de acciones involuntarias por parte del personal durante la ejecución de actividades de mantenimiento, así como a condiciones físicas inseguras.

El choque eléctrico se produce cuando la corriente eléctrica atraviesa la piel o el cuerpo, ya sea de forma directa o indirecta. La gravedad de este choque depende de la ruta que siga la corriente a través del cuerpo, en relación con su cantidad y duración. Los efectos del choque están relacionados con el nivel de tensión aplicado.

Dentro de las causas de este fenómeno, se encuentran las siguientes:

- Condiciones insalubres.
- Condensación de agua.
- Actuar incorrecto del personal de mantenimiento.
- Fallas en los equipos de la instalación.

En el contexto de la norma NFPA 70E, el peligro de arco eléctrico se presenta cuando las partes de circuitos energizados están expuestas y pueden ser accidentalmente tocadas, o cuando no se han realizado los estudios necesarios para verificar las condiciones de seguridad (Induni Vizcaíno, 2013).

Los trabajadores enfrentan riesgos evidentes, como las elevadas temperaturas generadas durante los arcos eléctricos, que pueden alcanzar alrededor de los 19,000 °C. Esto resulta en la liberación de una cantidad significativa de energía, ocasionando la destrucción de componentes sólidos. Esta destrucción, junto con la explosión, arroja fragmentos de metal y gases tóxicos, los cuales pueden causar daño a las vías respiratorias. Por lo tanto, se requiere el uso de Equipo de Protección Personal (EPP) (Induni Vizcaíno, 2013).

La cantidad de energía en forma de calor liberada por un arco eléctrico se mide en calorías por centímetro cuadrado (cal/cm²), y esta cantidad varía en función de la distancia al arco (IEEE Std 1584, 2018).

Límites de proximidad: los límites de acercamiento se establecen para garantizar la seguridad de las personas en áreas potencialmente peligrosas. Según la NFPA 70E-2018, estos límites se describen en las etiquetas de advertencia y se dividen en las siguientes categorías:

- Frontera de protección contra choque: esta es la distancia a la que una persona debe mantenerse de una fuente que podría generar un arco eléctrico.
- Frontera de aproximación limitada: esta delimita la distancia entre una persona y un conductor o parte del circuito energizado. Solo el personal calificado o el personal no calificado bajo supervisión de un calificado, utilizando el equipo de protección personal, pueden ingresar a esta zona, para prevenir posibles choques eléctricos.
- Frontera de aproximación restringida: aquí, se establece una distancia de seguridad con respecto a un conductor o parte del circuito energizado. Solo el personal calificado tiene autorización para ingresar a esta área.
- Frontera de aproximación prohibida: esta frontera marca la distancia que debe mantener cualquier persona con respecto a un conductor o parte del circuito energizado. Solo el personal calificado está autorizado para ingresar a esta zona.

Estas distancias de seguridad se determinan en función de la tensión de operación y la energía disponible. El Equipo de Protección Personal (EPP) se utiliza para proteger a las personas de los efectos térmicos en estas áreas; sin embargo, siempre que se necesite realizar un trabajo, el empleado debe asegurarse de que las condiciones sean las requeridas. Según lo estipulado en el artículo 130.2 de la NFPA 70E-2018, es permitida la opción de que el empleador pueda demostrar que el desenergizar incrementa los riesgos, así como puede ser inviable debido al diseño o procesos operativos.

Según lo establecido en el artículo 120.5 de la NFPA 70E-2018, para establecer un entorno de trabajo eléctricamente seguro, se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Identificar todas las posibles fuentes de energía de los equipos, asegurándose de que los diagramas y planos estén actualizados.
- Asegurarse de que los dispositivos de protección se abran completamente en caso de una falla.
- Realizar una verificación continua, para garantizar que todos los dispositivos de desconexión estén completamente abiertos o en posición de desconexión total.
- Liberar cualquier energía eléctrica almacenada.
- Asegurarse de que cualquier energía mecánica almacenada también esté liberada o bloqueada.
- Instalar dispositivos de bloqueo y etiquetado, de acuerdo con los procedimientos documentados establecidos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Levantamiento de diagrama unifilar

Por parte del gerente del departamento de mantenimiento, se facilitó el plano arquitectónico de la planta, y con ayuda de un técnico y una cinta métrica tipo cruceta para largas distancias, se realizaron comparaciones de las medidas reales del recinto con las cotas específicas en el plano. De esta manera, se hicieron las correcciones necesarias, así como las actualizaciones pendientes de nuevas áreas o modificaciones en el edificio.

Una vez con planos arquitectónicos confiables, adjuntos en el Apéndice 1, se realiza un reconocimiento general del sistema. Se recorre todo el edificio con el técnico electricista de la planta, quien reconoce y detalla los elementos de cada componente del sistema, por la experiencia que tiene trabajando en el lugar. Se especifican la alimentación y las derivaciones correspondientes de cada componente.

Se reconoce que los equipos más longevos en la planta poseen una codificación específica para identificarlos; sin embargo, debido a las ampliaciones, la mayoría de los componentes, como tableros y transformadores, no cuentan con una identificación específica. Se procede a realizar una nomenclatura para la compañía, donde se especifique el tipo de elemento, su ubicación de acuerdo con el plano arquitectónico y un número consecutivo, de la siguiente manera:

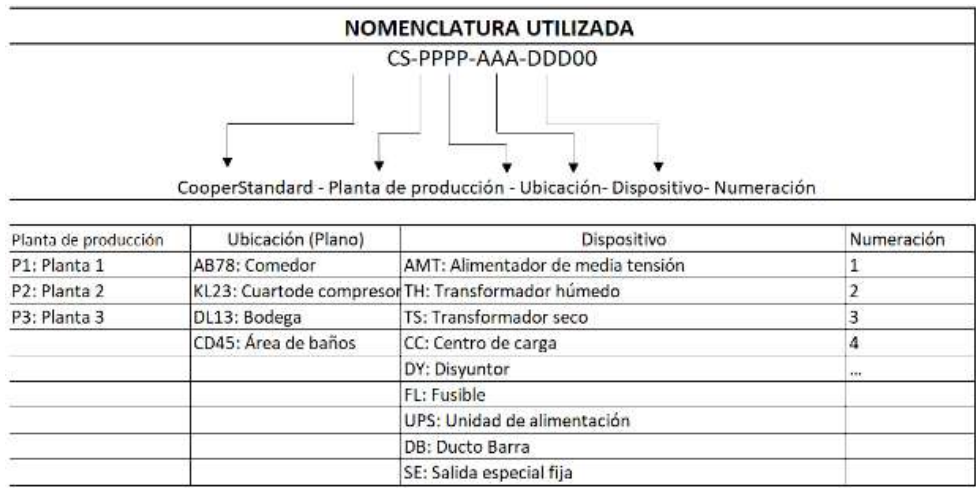


Figura 8. Nomenclatura etiquetas de identificación

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).



Figura 9. Etiqueta de identificación Alimentador principal de media tensión

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Una vez con todas las etiquetas impresas y emplastadas, se procede a colocarlas en los equipos principales del sistema, como lo son transformadores húmedos y secos, tableros eléctricos, ducto barras y cargas especiales. Continuar con el levantamiento de datos del sistema eléctrico de una manera más organizada, reflejando cada componente en un plano eléctrico, donde sea fácil reconocerlo.

Como los equipos principales se encuentran fácilmente visibles, se realiza un mapeo de la planta y se coloca cada elemento en su respectiva ubicación en el plano de Distribución de media tensión, adjunto en el Apéndice 1.

Este levantamiento se hizo dibujando un borrador de diagrama unifilar a mano alzada y tomando notas de los detalles de cada elemento, como calibre de los conductores de alimentación, cantidad de fases, tipo de canalización y longitud. Para esta actividad, se dependía de la disponibilidad del técnico electricista de Planta 3 para asistir los domingos a la planta, puesto que, para corroborar las alimentaciones de los equipos, circuitos y protecciones, era necesario abrir los tableros eléctricos y para esto apagar la protección principal de cada uno, por lo que no podrían haber equipos consumiendo en el momento, para no interrumpir la

producción; por esta razón fue necesario asistir varios domingos, días cuando la planta no se encuentra produciendo.

Se inicia por el exterior del recinto, verificando la ubicación de la única acometida de la compañía, proveniente de distribuidora de energía JASEC, que alimenta de energía eléctrica la subestación principal de la planta. Esta acometida se encuentra al costado sureste de la planta, con tres conductores portacorriente, uno por cada fase, de 500kcmil por una distancia de 10m, estos conductores por los que cuales se aplican 34500 V, que pasan a través de una cuchilla porta fusibles de 200 A cada uno de poste con tres fusibles.



Figura 10. Transición aéreo-subterránea de acometida JASEC

Fuente: Elaboración propia (2023).

Los tres fusibles se encargan de proteger el sistema ante una corriente de cortocircuito proveniente de la red de distribución de la zona. Estos conductores ingresan a la conexión estrella del transformador principal, por medio de una canalización aéreo-subterránea de tubo PVC de 15cm de diámetro, justamente por debajo de la cuchilla porta fusibles. Seguidamente, ingresan al suelo, donde, a su vez, se tiene la conexión de puesta a tierra de la planta. Sin embargo, sobre esta malla de tierras no se tiene conocimiento de la ubicación exacta, donde se encuentra enterrada, ni del estado actual de ella.

conectadas a la subestación. Entre estas cargas están los siete ducto barras que alimentan la zona de producción, donde se cuenta con aproximadamente 150 máquinas electromecánicas y 150 máquinas neumáticas impulsadas por los dos compresores CS-P3-KL34-SE01 y CS-P3-KL34-SE02, los cuales se encuentran alimentados de la subestación principal CS-P3-KL34-AMT01, además del secador CS-P3-KL34-SE04 y del transformador seco trifásico CS-P3-KL34-TS07 de 75KVA 480/240V.



Figura 12. Subestación Principal 480V

Fuente: Elaboración propia (2023).

De los siete ducto barras principales se derivan también los siete transformadores secos y los 20 centros de carga que alimentan el resto de la planta, ubicados en diferentes zonas de ella, como se muestra en la Figura 13.

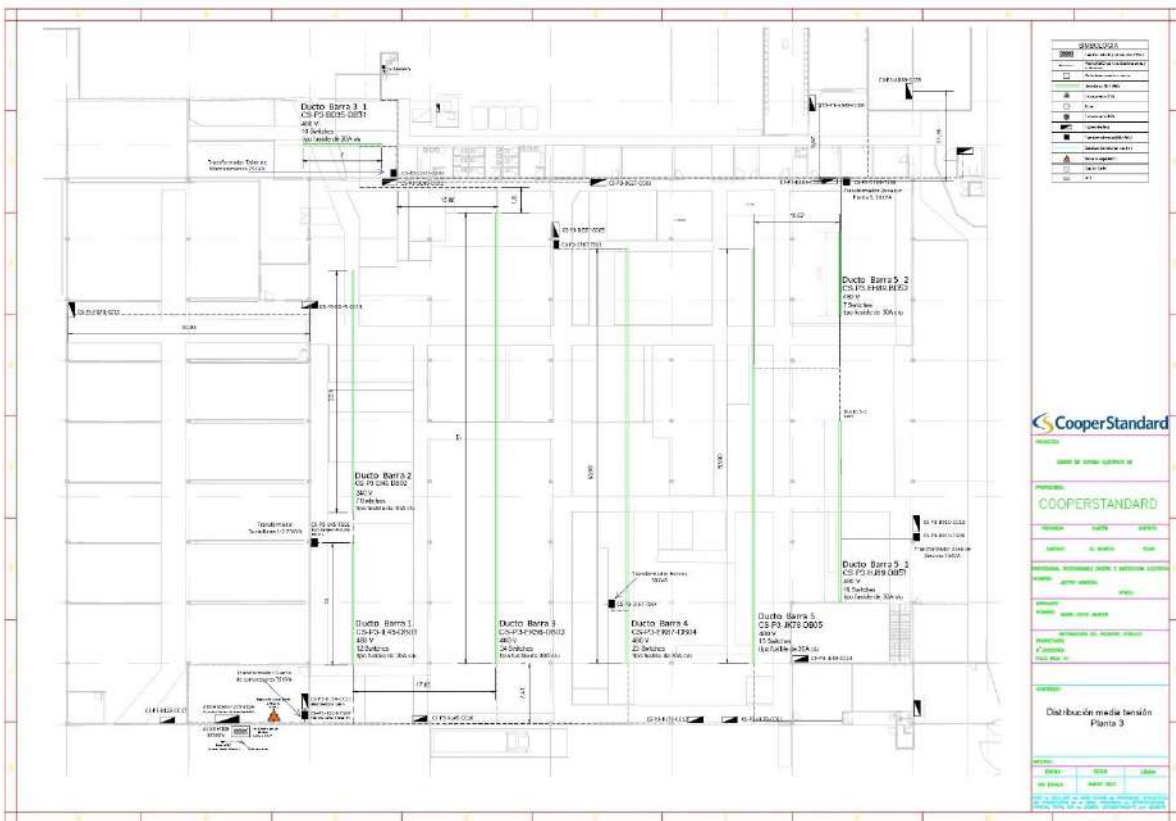


Figura 13. Ubicaciones de elementos principales que componen el sistema eléctrico Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

Como se puede observar, en la Figura 13, todos los ducto barras son de 480V, con la excepción del ducto barra 2 CS-P3-EI45-DB02, que es de 240V, el cual se encuentra aguas abajo del transformador de tensión 480V/240V CS-P3-IJ45-TS01. A partir de los ducto barras se conectan directamente los equipos necesarios, por medio de una extensión con enchufe tipo enchufe de 480V, cada uno protegido con tres fusibles de 30 amperios cada uno. De esta manera, las máquinas pueden ubicarse en otra zona de la planta, dependiendo de las líneas de producción que se requieran en el momento.



Figura 14. Datos de placa de fusibles en ducto barras

Fuente: Elaboración propia (2023).

Existen barras donde los equipos son fijos; sin embargo, se encuentran alimentados igualmente por un enchufe, por ejemplo, ducto barra CS-P3-BD35-DB31, ubicado en el taller de mantenimiento donde se conectan tornos y fresadora, así como el transformador CS-P3-CD45-TS02, perteneciente al taller.

Igualmente, en el caso de los transformadores que, en su mayoría, convierten la tensión de 480V a 240V, a excepción de CS-P3-DE89-TS06, que convierte 480 V a 277 V, el cual se instaló recientemente para poder instalar bombas de agua residual que se alimentan con este voltaje.

En cada centro de carga, se retiró la tapa de protección, para identificar los detalles de placa de cada breaker, así como los conductores que alimentan la carga de cada circuito y la distancia a la que esta se encuentra. En el caso de las cargas fijas a 240 V y 277 V, se derivan de tableros con el voltaje pertinente, así como su protección requerida, tanto del breaker como protección por temperatura y contactores y en algunos casos fusibles.

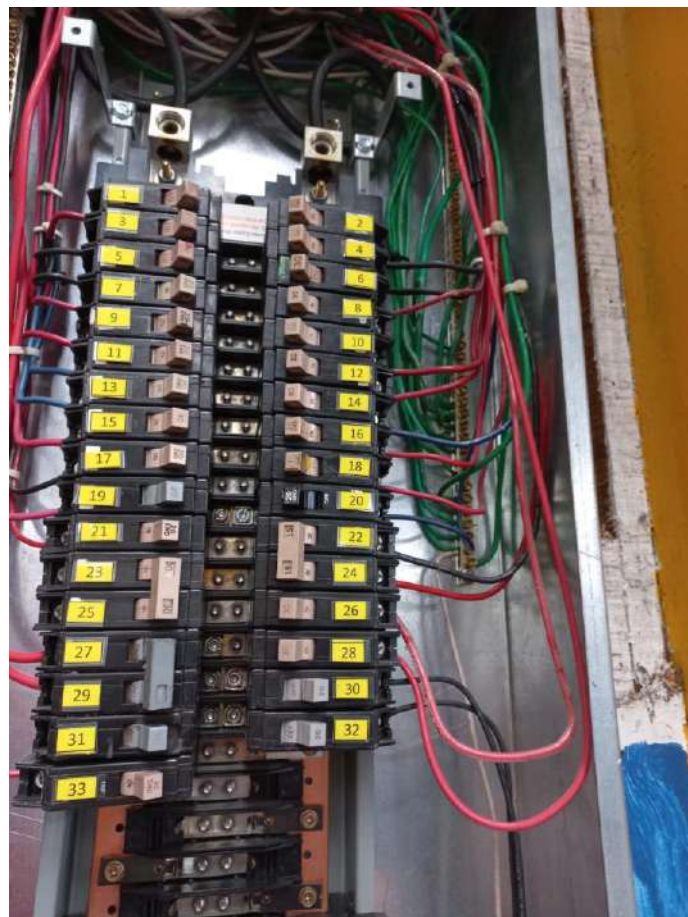


Figura 15. Identificación de circuitos de Tablero CS-P3-JK89-CC13

Fuente: Elaboración propia (2023).

Al seguir el mismo procedimiento, se completa el reconocimiento de cada circuito de cada centro de carga; toda la información recolectada es utilizada para generar los planos de iluminación, tomacorrientes y cargas especiales, los cuales se encuentran detallados en la sección del Apéndice 1.

4.2 Consumo y Análisis de cargas

Para determinar el consumo de cada tablero eléctrico, se mide con un amperímetro la corriente que pasa por cada conductor si es posible, es decir, si éste se encuentra con la carga conectada; de lo contrario, se utiliza el valor de placa de potencia de la carga, a excepción de los tomacorrientes, los cuales se consideran como cargas de 100 W. Según el Código Eléctrico Nacional, se recopila toda la información recolectada en una base de datos en Excel, donde, además, se detalla información como calibre de los conductores de cada circuito, longitud del circuito, carga que alimenta y el amperaje y tipo de breaker de protección. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de las hojas de información realizadas:

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-DE45-CC02" TALLER DE MANTENIMIENTO																		
Modelo: 3TBB20(30-42) Thomas & Betz				Alimentación:		IP 02	AWG	IN 02	AWG	IG 04	AWG							
Cantidad de espacios: 30				Canalización: EMT 76,4mm														
Barra de Tierra: Incorporada				Interruptor Principal: Disyuntor CH3200														
N°	Descripción	Voltaje (V)	Protección			Conductor			Potencia (Wattios)			Área Conductor mm ²	Corriente de Diseño A	L m	Caída de Volt. %			
			N° Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutra	Tierra	Fase A	Fase B	Fase C							
1-5	Torno pequeño Taller Mantenimiento	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			480	480	480	5,26	4,0	10	0,13			
2-6	Máquina de soldar Taller Mantenimiento	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			2500	2500	2500	5,26	20,8	10	0,66			
7-11	Máquina de soldar, Mantenimiento de edificios	240	3	40	CH120	12	12	12	2500	2500	2500	3,31	20,8	25	2,62			
8	Tomacorrientes de planta	120	1	20	CH120	12	12	12	0	0	600	3,31	5,0	30	1,51			
10									0	0	0							
12-14	Centro de carga: CC03	240	2	40	CH120	12	12	12	0	5964	5964	3,31	22,4	26	2,33			
13	Tomacorrientes taller Mto. Edificios	120	1	20	CH120	10	10	10	420	0	0	5,26	3,5	25	0,55			
15	Luces Taller Mantenimiento	208	1	20	CH120	12	12	12	525	0	0	3,31	2,5	10	0,15			
16	Luces Taller Mantenimiento de edificios	208	1	20	CH121	12	12	12	416	0	0	3,31	2,0	10	0,12			
17	Tomacorrientes taller Mto. Edificios	120	1	20	CH120	10	10	10	1000	0	0	5,26	8,3	25	1,32			
18	Tomacorrientes Taller Mantenimiento.	120	1	20	CH120	12	10	10	700	0	0	3,31	5,8	10	0,53			
19-23	Máquina de soldar, Mantenimiento de edificios	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			2500	2500	2500	5,26	20,8	25	1,65			
20-24	Centro de carga: Caseta de seguridad CC04	240	3	20	CH120	10	10	10	38,7	38,7	38,7	5,26	0,8	20	0,05			
25	Tomacorrientes taller Mantenimiento	120	1	20	CH120	10	10	10	600	0	0	5,26	5,0	10	0,32			
26	Tomacorrientes Oficina de mantenimiento	120	1	20		12	12	12	600	0	0	3,31	5,0	5	0,25			
27									0	0	0							
28									0	0	0							
29	Tomacorrientes de planta	120	1	20	CH120	10	10	10	300	0	0	5,26	2,5	30	0,48			
30	Tomacorrientes de planta	120	1	20	CH120	12	12	12	600	0	0	3,31	5,0	30	1,51			
Corriente (A)		92,88		A de Voltaje en acometida				3,22		Total (W):			13 239,47	13 442,67	14 042,67	Potencia Total:	40 725,00	VA
ACOMETIDA PRINCIPAL		2 AWG	33,69	240	40 725,00	92,88	78	3,22										

Figura 16. Distribución de carga y consumo de tablero CS-P3-DE45-CC02

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Como se puede apreciar en la Figura 16, se diseñó una hoja de cálculo, donde se resume la información más importante de cada tablero, como lo es la marca, el modelo, la cantidad de espacios, los conductores que lo alimentan, así como la canalización en la que se encuentran, su protección principal y la descripción de cada circuito, la cantidad de polos que necesita cada uno, el amperaje de su disyuntor tipo breaker, el conductor de cada circuito, la potencia que consume, el amperaje, la distancia "L" en la que se encuentra.

Se realizó el cálculo de la caída de tensión de cada circuito, mediante la siguiente fórmula:

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times Z \times L \times I}{V \times 1000} \quad (3)$$

Donde:

Z es la impedancia del conductor (ohm/km).

L es la distancia (m).

I es la corriente de línea (A).

V es tensión de línea (V).

Se sustituyen los datos del circuito 1-5 de la siguiente manera:

$$\%CV_{1-5} = \frac{\sqrt{3} \times 0.356 \times 10 \times 6}{240 \times 1000} = 0.15$$

Donde:

Z = 0.356 ohm/km, L = 10m, I= 6 A y V= 240 V. Se obtiene un porcentaje de caída de voltaje de 0.15 %.

Se obtiene una caída de tensión para el primer circuito 1-5 de 0.15 %.

Se realizó el mismo procedimiento para los demás circuitos, de cada tablero, los cuales se detallan en la sección de Apéndices, a partir de la Figura 44, para, de esta manera, determinar la potencia total consumida y junto con información hacia la acometida principal de la que se alimenta, se calcula la caída de voltaje de la alimentación del tablero utilizando la fórmula (3):

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 0.54 \times 70 \times 92,56}{240 \times 1000} = 2,53 \%$$

Donde:

Z = 0.54 ohm/km, L = 70 m, I= 92.56 A y V= 240 V. Se obtiene un porcentaje de caída de voltaje de 2.53 %.

Se obtiene un porcentaje de caída de tensión de 2,53 % para el tablero CS-P3-DE45-CC02, y se realiza el mismo registro para cada uno de los centros de carga, los cuales se detallan en la sección de Apéndices, a partir de la Figura 44.

Por último, se generan etiquetas con especificación de la carga conectada en cada breaker y se colocan en cada uno de los tableros, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Hoja con descripción de cada breaker del tablero

CS-P3-DE45-CC02			
Subalimentador Taller de Mantenimiento			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Extensión 240V Torno pequeño Taller de Mantenimiento.	2	Extensión 240V Máquina de soldar Taller de Mantenimiento.
3		4	
5		6	
7	Extensión 240V Máquina de soldar. Taller Mnto. de edificios.	8	Tomacorrientes de planta (sur).
9		10	
11		12	Centro de carga: CS-P3-DE67- CC03.
13	Tomacorrientes Taller Mnto. de edificios.	14	
15	Luces Taller de Mantenimiento.	16	Luces Taller Mnto. de edificios.
17	Tomacorrientes taller Mnto. de edificios.	18	Tomacorrientes Taller de Mantenimiento.
19	Máquina de soldar. Mantenimiento de edificios.	20	Centro de carga: caseta de seguridad CS-P3-AB45- CC04.
21		22	
23		24	
25	Tomacorrientes Taller de Mantenimiento.	26	Tomacorrientes Oficina de Mantenimiento (este).
27		28	
29	Tomacorrientes de planta (sur).	30	Tomacorrientes de planta (sur).

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Una vez con la información de cada circuito de cada uno de los centros de carga registrada en la base de datos, se realizó una evaluación del dimensionamiento de cada uno de los circuitos, basada en la carga instalada. Por ejemplo, en la Figura 16 se observa, en la

columna marcada de color verde, cómo las caídas de tensión de cada circuito no superan el límite establecido por el artículo 210.19 (A) del NEC 2014 para instalaciones industriales, donde se estipula que si la caída máxima de tensión, tanto en alimentadores como en circuitos ramales hasta la salida más lejana, no supera el 5%, ofrecerá una eficiencia de funcionamiento razonable. Por lo que se considera que el cálculo de los calibres de los conductores utilizados para cada carga es correcto, tanto para cada circuito específico como para la alimentación principal del tablero, donde se tiene un cable calibre 2 AWG capaz de soportar hasta 132 A, valor que no es alcanzado pues la demanda máxima del tablero 92.5 A.

Por otro lado, la mayoría de las protecciones tipo breaker utilizadas están correctamente dimensionadas, a excepción del circuito 7-11 del tablero, el que contiene una extensión multiuso trifásica. Esta se utiliza para conectar una máquina de soldar en el área del departamento de mantenimiento de edificios. Este circuito está constituido por un conductor calibre 12 AWG, el cual, según la tabla 310.15(B)(2) del NEC 2014, es capaz de soportar corrientes de hasta 28 A. Por lo que se estipula que la protección de este cable no debe superar los 20 A. En este caso, se tiene un breaker tipo CH120 con un amperaje de 40 A, por lo que se recomienda sustituirlo por un disyuntor con la capacidad adecuada de 20 A, para que de este modo se dé una protección del conductor de manera óptima.

De esta misma forma se evaluaron los circuitos de cada centro de carga, encontrando errores en su mayoría, como el anteriormente mencionado. Además, existen casos de circuitos que no cumplen con los requisitos estipulados en la normativa nacional, como lo son algunos circuitos de tomacorrientes que superan la cantidad máxima de receptáculos instalada, por lo que se debe corregir el circuito distribuyendo la carga en dos o más circuitos separados con su debida protección, de acuerdo con los tomacorrientes que contengan.

A continuación, se muestra la Tabla 6, resumiendo las correcciones recomendadas para realizar en cada tablero que así lo requiera.

Tabla 6. Corrección de protecciones en tableros eléctricos de Planta 3

Tablero	Número de circuito en el tablero	Conductor AWG	Breaker actual A	Breaker recomendado A
CS-P3-KL78-CC01	2	12	30	20
CS-P3-KL78-CC01	4	12	30	20
CS-P3-KL78-CC01	6	12	30	20
CS-P3-KL78-CC01	10	12	30	20
CS-P3-KL78-CC01	12	12	30	20
CS-P3-KL78-CC01	15	12	30	20
CS-P3-DE45-CC02	7-11	12	40	20
CS-P3-DE45-CC02	12-14	12	40	20
CS-P3-DE67-CC03	1-3	12	50	20
CS-P3-DE67-CC03	10-12	12	30	20
CS-P3-DE67-CC03	17-19	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	6	12	30	20
CS-P3-AB89-CC08	1	12	30	20
CS-P3-AB89-CC08	3	12	30	20
CS-P3-FG45-CC14	1-3	12	40	20
CS-P3-FG45-CC14	5-7	12	30	20
CS-P3-FG45-CC14	9-11	12	30	20
CS-P3-FG45-CC14	24-26	10	50	30
CS-P3-BC56-CC20	1-3	12	30	20
CS-P3-AB45-CC04	1	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	1	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	3-4	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	4	12	30	20
CS-P3-KL78-CC12	5-7	12	70	20
CS-P3-KL78-CC12	6	10	70	20
CS-P3-KL78-CC12	8	10	40	20
CS-P3-KL78-CC12	20	12	40	20
CS-P3-CD910-CC18	1	12	30	20

Fuente: Elaboración propia (2023).

Una vez revisado el porcentaje de caída de tensión de cada uno de los circuitos presentados anteriormente, detallados en la sección de Apéndices, a partir de la Figura 44, se

garantiza que el calibre del conductor utilizado es adecuado. Sin embargo, de acuerdo con la nota de la Tabla 310.15(B)(2) del NEC, la protección contra sobrecorriente para estos tipos de conductores no debe ser mayor a: 20 A para el 12 AWG y 30 A para el 10 AWG, por lo que, para garantizar una correcta protección del cable ante una corriente más alta de la nominal, se deben acatar las correcciones establecidas, reemplazando los breakers según corresponda.

De la Tabla 6 existen nueve de esos circuitos, los cuales no cumplen con los requerimientos de distribución de carga contemplados en la normativa, ya que se encuentran conexiones de luminarias y tomacorrientes en paralelo protegidas por un mismo breaker; por lo que se recomienda crear un circuito aparte para cada tipo de conexión. Además, existen casos, como la mayoría de los circuitos del centro de carga de tomacorrientes de planta CS-P3-KL78-CC12, donde hay hasta 20 tomacorrientes protegidos por un mismo disyuntor. De igual manera, se corrige el dimensionamiento de estos circuitos, distribuyendo los 20 tomacorrientes de cada circuito en tres circuitos diferentes de ocho tomacorrientes cada uno, seleccionando la protección pertinente.

A continuación, se presenta la Tabla 7, con las propuestas de acomodo de los nuevos circuitos en cada tablero.

Tabla 7. Disyuntores mal dimensionados en tableros eléctricos de Planta 3

Tablero	Circuito	Carga	Conductor AWG	Breaker actual A	Breaker recomendado A
CS-P3-AB45-CC04	1	1 luminaria y 1 tomacorriente	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	1	2 tomacorrientes de planta y 4 extensiones	12	30	20
CS-P3-DE89-CC07	4	14 tomacorrientes de planta	12	30	20
CS-P3-KL78-CC12	5-7-	23 tomacorrientes de planta	12	70	20
CS-P3-KL78-CC12	6	23 tomacorrientes de planta	10	70	20
CS-P3-KL78-CC12	8	23 tomacorrientes de planta	10	40	20
CS-P3-KL78-CC12	20	23 tomacorrientes de planta	12	40	20
CS-P3-CD910-CC18	1	1 luminaria y 2 tomacorrientes	12	30	20

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 8. Propuesta de dimensionamiento de circuitos por corregir

Tablero	Circuito	Carga	Conductor AWG	Breaker recomendado A
CS-P3-AB45-CC04	1	1 luminaria caseta	12	20
CS-P3-AB45-CC04	2	4 tomacorrientes caseta	12	20
CS-P3-DE89-CC07	1	6 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	5	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	2	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	4	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	15	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	7	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	6	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	9	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	11	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	8	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	19	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	21	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	10	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	22	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	24	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	12	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	23	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	25	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	14	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	27	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	29	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	16	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	26	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	28	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	30	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-KL78-CC12	32	8 tomacorrientes de planta	12	20
CS-P3-CD910-CC18	1	1 luminaria caseta	12	20
CS-P3-CD910-CC18	3	1 tomacorriente caseta	12	20

Fuente: Elaboración propia (2023).

Cabe mencionar que los espacios recomendados para utilizar actualmente se encuentran desocupados; sin embargo, en el caso del centro de carga CS-P3-KL34-TS07, donde se debe corregir el circuito 1, que contiene tomacorrientes y luminarias, implementando dos circuitos aparte para cada tipo de carga, ya no se encuentran espacios disponibles, por lo que se recomienda agregar el circuito correspondiente a los tomacorrientes al tablero CS-P3-KL78-CC12, en los circuitos del número 5 al número 32 del tablero CS-P3-KL78-CC12, tal como se especifican en la Tabla 8.

Se determinaron algunos equipos, los cuales no cuentan con dispositivos de protección asignados, ya que la alimentación principal de estos proviene directamente del transformador de tensión CS-P3-DE89-TS06, como lo son:

- Centro de carga de Laboratorio CS-P3-DE89-CC07.
- Centro de carga de Soda CS-P3-AB89-CC08.
- Centro de carga de Comedor CS-P3-AB89-CC09.
- Centro de carga de sistema de bombeo de agua potable CS-P3-CD910-CC18.

La situación se puede apreciar mejor en el siguiente extracto del diagrama unifilar:

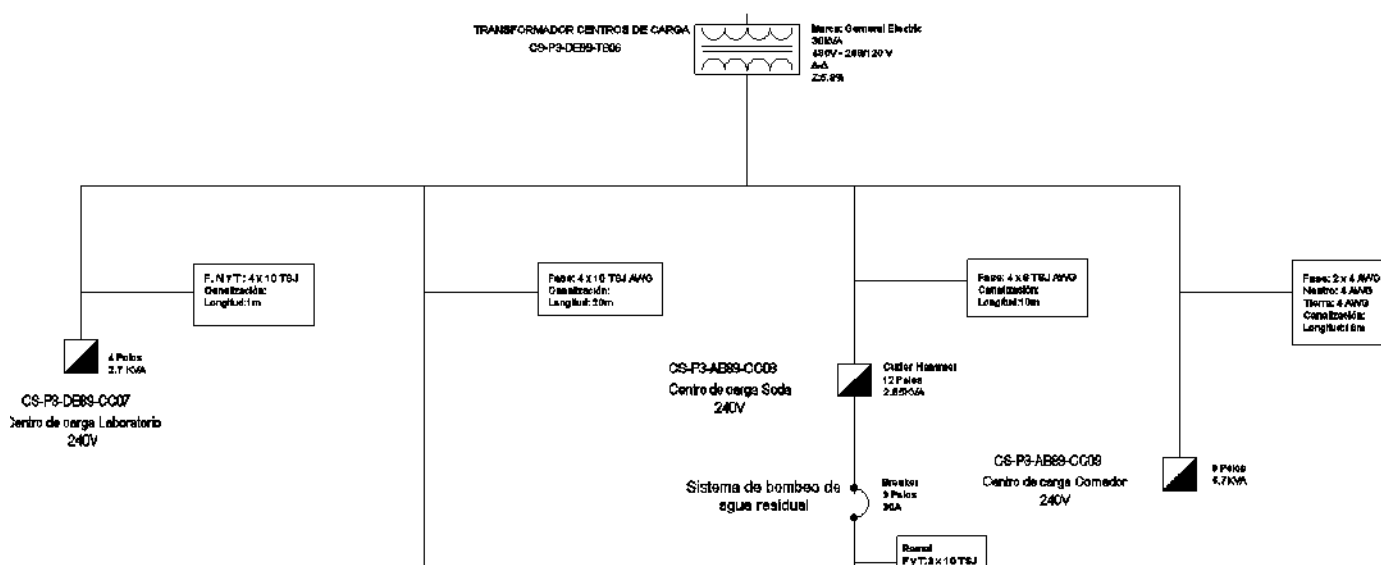


Figura 17. Extracto diagrama unifilar con cargas aguas abajo del transformador CS-P3-DE89-TS06

Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

Por consiguiente, se recomienda agregar un nuevo centro de carga a la planta, donde se puedan instalar los cuatro circuitos alimentadores de cada uno de los tableros mencionados, con la respectiva protección de cada uno. Este nuevo centro de carga debe ubicarse aguas abajo del transformador de tensión CS-P3-DE89-TS06, ya que se encuentran cargas fijas como

sistemas de bombeo de agua, que deben mantenerse en su ubicación actual. Además, de esta manera se le realiza la ampliación al sistema con un nuevo centro de carga, sin modificar significativamente la instalación actual.

Por último, uno de los tableros anteriores, específicamente CS-P3-AB89-CC08, está compuesto en su mayoría por circuitos que alimentan el área de cocina de la planta. En el circuito 1 hay tomacorrientes dobles que no tienen protección contra cortocircuito, como estipula la normativa nacional NEC 2014, es decir, no se utilizan receptáculos tipo GFCI especiales para conexiones en áreas húmedas o donde se realicen trabajos con agua, como lo es la preparación de alimentos que se da durante todo el día en este sitio. Por eso, se recomienda cambiar los cuatro tomacorrientes de este circuito por cuatro receptáculos tipo GFCI de marca Hubbell, modelo GFRST20SNAPBK, seleccionado del catálogo de productos Grainger, distribuidor oficial de Cooper Standard. El dispositivo seleccionado es capaz de interrumpir la corriente, en caso de detectar un pico de corriente o anomalía originada por las condiciones del ambiente a las que se exponen. En el país, es exigido de acuerdo con el Código Eléctrico de Costa Rica 2014, NEC 210.8.

Al acatar las recomendaciones propuestas en este capítulo, se asegura una mayor robustez del sistema desde el correcto dimensionamiento de cada circuito, cumpliendo con la legislación vigente y la normativa de seguridad nacional.

4.3 Cálculo de corrientes de cortocircuito

Realizar un estudio de cortocircuito es esencial en el ámbito de los sistemas eléctricos, ya que garantiza la seguridad tanto de los equipos eléctricos como de las personas que trabajan en proximidad a estos sistemas. Un cortocircuito puede tener consecuencias graves, desde daños materiales hasta peligros para la vida humana. Comprender cómo las corrientes fluyen en un sistema, y cuáles son las corrientes máximas en caso de una falla, permite tomar medidas adecuadas para dimensionar protecciones y minimizar riesgos.

Además, un estudio de cortocircuito desempeña un papel fundamental en el diseño de sistemas de protección. Los dispositivos de protección, como interruptores y fusibles, deben seleccionarse y coordinarse de manera precisa, para interrumpir las corrientes de cortocircuito de modo eficaz. La información proporcionada por el estudio de cortocircuito es esencial para la selección y el ajuste óptimo de estos dispositivos, lo que contribuye en gran medida a mantener la seguridad y el funcionamiento confiable del sistema. La capacidad del sistema está directamente relacionada con la impedancia del sistema y sus componentes. Cuanto menor sea la impedancia, mayor será la corriente de cortocircuito. Por lo tanto, entender las corrientes de

cortocircuito es fundamental para garantizar que el sistema tenga la robustez necesaria para funcionar de manera segura.

En la siguiente sección, se detalla el desarrollo de los cálculos necesarios para analizar las corrientes de cortocircuito del sistema mediante el Método de kVAs Equivalentes.

4.3.1 Método kVAs equivalentes

El método kVAs equivalentes es sumamente preciso para el cálculo de las corrientes de cortocircuito; este se basa en el hecho de que la magnitud de corriente de un dispositivo activo al cortocircuito está directamente ligada con el valor de kVAs equivalentes del dispositivo al cortocircuito. Para realizar este estudio, es fundamental contar con un diagrama unifilar actualizado, ya que se requiere información precisa de cada componente activo y pasivo del sistema.

Para comenzar con este análisis, se simplificó el diagrama unifilar, dejando solamente los elementos que aportan corrientes de cortocircuito significativas al sistema, como lo son las cargas inductivas, por lo que para este análisis no se toman en cuenta los tableros eléctricos compuestos en su totalidad por cargas estáticas, como lo son sistemas de alumbrado y tomacorrientes, creando, así, un diagrama de bloques, y agregando una flecha cada vez que la corriente de cortocircuito cambia, normalmente aguas arriba y aguas abajo de cada elemento.

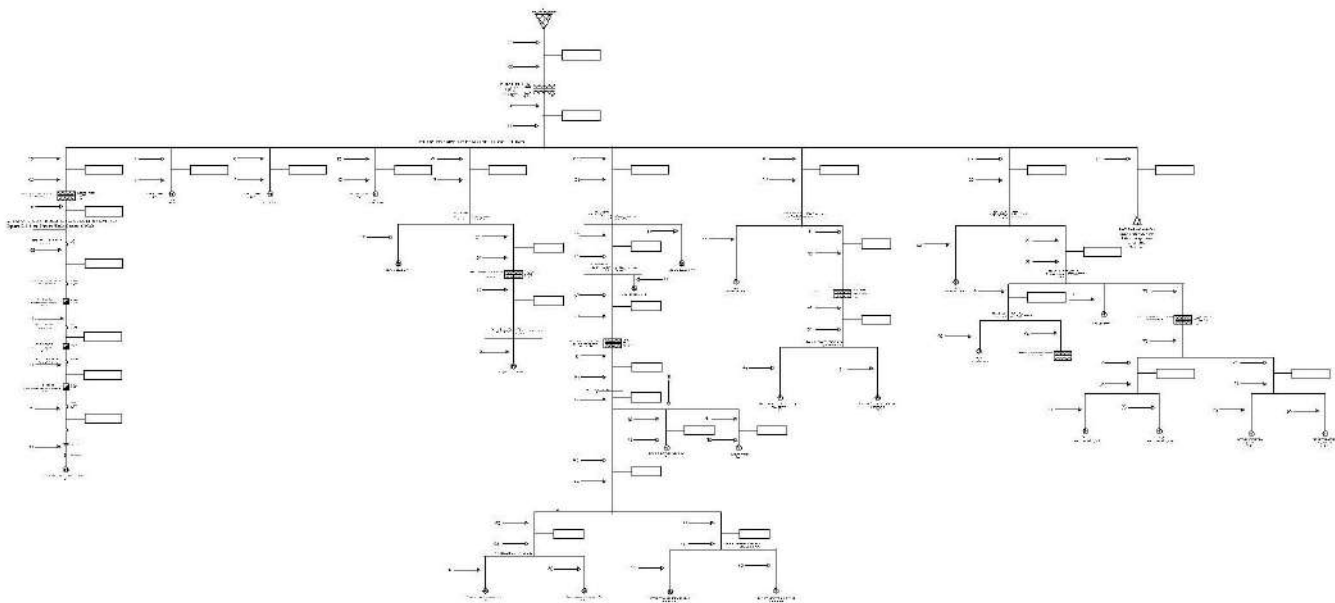


Figura 18. Vista previa de simplificación de diagrama unifilar a diagrama de bloques Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

Primeramente, se realizó el cálculo de los kVAs equivalentes de los elementos activos del sistema, es decir, los que aportan corrientes de cortocircuito por generar una corriente hacia

el sistema indirectamente. Entre ellos se encuentra el aporte por parte de la compañía eléctrica, en este caso JASEC, a la cual es necesario recurrir para conseguir información de corrientes de cortocircuito de aporte de la compañía directamente.

Tabla 9. Información brindada por compañía eléctrica

Línea	Icc monofásica (A)	Icc trifásica (A)	Voltaje
Ia	4053	3377	34500
Ib	3741	3389	34500
Ic	3702	3274	34500

Fuente: Elaboración propia (2023), con Icc como la corriente de cortocircuito en amperios.

Se continuó determinando los kVAs equivalentes de las cargas inductivas del sistema. Como es el caso de los motores, entre ellos se encuentran las cargas fijas conectadas a los centros de carga, como compresores y sistemas de bombeo de agua. Por otro lado, se tienen los motores utilizados en las máquinas de la planta de producción, los cuales se encuentran conectados directamente a los ducto barras, como se explicó previamente.

Los equipos utilizados en las líneas de producción de la planta no son fijos, sino que se cambian constantemente de ubicación en la planta; además, la cantidad de máquinas que se conectan en cada ducto barra varía. Para la finalidad de este análisis, se asume una demanda máxima de cada ducto barra, es decir, que tenga una máquina conectada en cada salida; como la potencia de cada motor conectado en cada salida también varía, se define un valor promedio para trabajarlos por igual y calcular, así, una carga combinada.

Para definir este valor promedio, se creó una lista de la potencia de cada motor de cada máquina del ducto barra 3, ya que es la que demanda más potencia actualmente, con 34 salidas. La potencia de cada motor conectado a la barra varía entre 5HP y 20HP; en total, se encuentran 20 salidas utilizadas y, como se especifica en la Tabla 9.1, hay máquinas que utilizan tres motores.

Tabla 9.1. Promedio de motores CS-P3-BD35-DB31

Nº salida	Máquina End forming	HP de motor
1	EF-74	5
	EF-74	5
	EF-74	20
2	EF-36	5
	EF-36	5
	EF-36	20
3	EF-27	5
	EF-27	5
	EF-27	20
4	EF-04	10
5	EF-06	10
6	EF-08	10
7	EF-03	5
	EF-03	5
	EF-03	20
8	EF-44	5
	EF-44	5
	EF-44	20
9	EF-45	10
10	EF-15	5
11	EF-85	10
12	EF-81	10
13	EF-39	10
14	EF-41	10
15	EF-51	10
16	EF-92	10
17	EF-93	10
18	EF-95	20
19	EF-78	10
20	EF-73	10
	EF-73	5
	EF-73	20
Promedio de motores (HP)		10

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

De acuerdo con la Tabla 9.1, se estima un promedio de motor de 10. HP, por lo que se utilizará un valor promedio de 10 HP por cada salida en cada ducto barra. Con estos valores se creó una carga combinada de un grupo de motores, multiplicando la potencia de cada motor por la cantidad de salidas del ducto barra, para, de esta manera, tener un sistema más simplificado.

De esta forma, se combina la carga de los 34 motores de 10 HP del ducto barra 3 en un solo motor de 340 HP.

Para el cálculo de los kVA para motores de inducción, es necesario conocer los valores de impedancia X_d de cada uno. Al no contar con información específica de cada uno, se recurre a lo estipulado en el Código Eléctrico Nacional, donde se debe asumir un porcentaje de 17% de impedancia para los motores mayores o iguales a 50 HP, y un porcentaje del 20% para motores menores a 50 HP. Por lo que, para las cargas combinadas de motores de cada barra se utilizará un porcentaje de 20%, ya que cada uno de ellos era menor a 50 HP.

Una vez con la información necesaria, se utiliza la fórmula para calcular los kilovoltioamperios equivalentes de cada uno:

$$kVA_{C_{equiv}} = \frac{HP_{motor}}{X''_d} \quad (4)$$

Donde:

HP es la potencia del motor y X_d la impedancia.

Para el caso del compresor se tiene:

$$kVA_{C_{equiv}} = \frac{100}{0.17} = 588 \text{ kVA}$$

Donde:

HP = 100 y $X_d = 0.17$. Se obtiene un resultado de 588 kVA para el motor del compresor.

Se tienen, entonces, los siguientes valores de kVAs equivalentes para cada carga activa, resumidos en la Tabla 10.

Tabla 10. KVAs equivalentes para motores de la planta

N°	Motor	Descripción	Potencia (HP)	Impedancia	KVAs Equivalentes (VAcc)
1	Secador	Cuarto de Compresores	100	0,17	588,24
2	Compresor	Cuarto de Compresores (2)	100	0,17	588,24
3	Bomba residuales 1	Sur	1	0,17	5,88
4	Bomba residuales 2	Parqueo bicicletas (2)	1	0,17	5,88
5	Bomba residuales 3	Entrada	1	0,17	5,88
6	Bomba baños	Sistema de bombeo de agua baños (2)	2	0,17	11,76
7	Bomba carruceles	Sistema de recirculación de agua (2)	2	0,17	11,76
8	Bomba lavado	Sistema de bombeo de agua lavado (2)	2	0,17	11,76
9	Bomba agua potable	Sistema de bombeo de agua potable (2)	2	0,17	11,76
10	Ducto barra 1	Grupo de motores ducto barra 1	120	0,17	705,88
11	Ducto barra 2	Grupo de motores ducto barra 2	120	0,17	705,88
12	Ducto barra 3	Grupo de motores ducto barra 3	340	0,17	2000,00
13	Ducto barra 4	Grupo de motores ducto barra 4	230	0,17	1352,94
14	Ducto barra 5	Grupo de motores ducto barra 5	130	0,17	764,71
15	Ducto barra 3_1	Grupo de motores ducto barra 3_1	100	0,17	588,24
16	Ducto barra 5_1	Grupo de motores ducto barra 5_1	160	0,17	941,18
17	Ducto barra 5_2	Grupo de motores ducto barra 5_2	70	0,17	411,76

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Es la misma manera con información requerida de impedancia de cada transformador, así como su voltaje, y se procede a calcular los kVAs equivalentes de cada uno mediante la siguiente fórmula:

$$kVAcc_{equiv} = \frac{KVA_{transformador}}{Z_{pu}} \quad (5)$$

Donde:

KVA es la capacidad del transformador y Z_{pu} la impedancia, para calcular los kilovoltioamperios equivalentes de cada uno. Para el caso del transformador CS-P3-IJ45-TS01, se tiene:

$$kVAcc_{equiv} = \frac{75}{0.044} = 1704.55KVA$$

Donde:

KVA= y $Z_{pu} = 0.044$. Se obtiene un resultado de 1704.55, KVA para transformador CS-P3-IJ45-TS01.

Tabla 11. KVAs equivalentes para Transformadores de la planta

N°	Transformador	Primario (V)	Secundario (V)	Potencia (KVA)	Imp(%)	KVAs Equi (KVAcc)
1	CS-P3-IJ45-TS01	480	240	75	4.4	1704,545455
2	CS-P3-CD45-TS02	480	240	75	4.4	1704,545455
3	CS-P3-EF67-TS03	480	240	75	4.4	1704,545455
4	CS-P3-JK67-TS04	480	240	30	5.7	526,3157895
5	CS-P3-DE89-TS06	480	208	30	5.8	517,2413793
6	CS-P3-KL34-TS07	480	240	75	4.4	1704,545455
7	CS-P3-IJ910-TS08	480	240	75	6.22	1205,787781

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Para el caso de los conductores, es importante recalcar que, para finalidades de este análisis, y la comparación con los resultados obtenidos, mediante el software ETAP desarrollado más adelante, se asume cada cable multiconductor como un conductor normal, ya que en el software no se permite ingresar multiconductores tipo TSJ. Se realizó un procedimiento similar a los anteriormente desarrollados, para calcular los kVAs equivalentes de cada conductor, de la siguiente manera:

$$kVA_{CC} = (kV)^2 \cdot 1000 / (Z_{cond} \cdot L)$$

Donde : Z_{cond} (Ω/km) y L (Longitud en km)

(6)

Para el caso del transformador principal se tiene: $V=34.5$ kV, $Z= 0.089$ ohm/km y $L = 10$ m, tomando en cuenta la cantidad de conductores por fase que lo alimentan:

$$kVA_{TH01} = \frac{34.5^2 \cdot 1000}{0.089 \times 10} \times 3 = 4012078.65 \text{ kVA}$$

Se obtiene un valor de kVAs equivalentes de 4012078.65 kVA. Al repetir el mismo cálculo para cada conductor alimentador, se determinan los resultados mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. KVAs equivalentes para conductores de la planta

Conductor Alimentación	Fases	Calibre	Conductor	Distancia (m)	km	(KV)	Resistencia (Ohm/km)	KVAs Equivalentes (KVAcc)
TH01	3	500	kcmil	10	0,01	34,5	0,089	4012078,65
ATM01	4	500	kcmil	2	0,002	0,48	0,089	5177,53
CC03	1	2	AWG	26	0,026	0,24	0,620	3,57
CC04	1	10	AWG	15	0,015	0,24	3,900	0,98
CC05	1	2	AWG	5	0,005	0,24	0,620	18,58
CC06	1	3/0	AWG	5	0,005	0,24	0,253	45,53
CC07	1	4*8	TSJ	3	0,003	0,24	2,560	7,50
CC08	1	4	AWG	10	0,01	0,24	1,020	5,65
CC11	1	3/0	AWG	7	0,007	0,24	0,253	32,52
CC12	1	3/0	AWG	48	0,048	0,24	0,253	4,74
CC13	1	8	AWG	15	0,015	0,24	2,560	1,50
CC14	1	1/0	AWG	55	0,055	0,24	0,390	2,69
CC15	1	6	AWG	72	0,072	0,24	1,610	0,50
CC16	1	2	AWG	22,25	0,022	0,12	0,620	1,04
CC17	1	4	AWG	20	0,02	0,24	1,020	2,82
CC18	1	4*10	TSJ	12	0,012	0,24	3,900	1,23
CC19	1	10	AWG	12	0,012	0,24	3,900	1,23
CC20	3	12	TSJ	12	0,012	0,24	6,600	2,18
TS01	3	2/0	AWG	55	0,055	0,48	0,330	38,08
TS02	3	6	AWG	9	0,009	0,48	1,610	47,70
TS03	3	4	AWG	10	0,01	0,48	1,020	67,76
TS04	3	6	AWG	3,5	0,004	0,48	1,610	122,66
TS05	3	6	AWG	7	0,007	0,48	1,610	61,33
TS07	1	2	AWG	8	0,008	0,48	0,620	46,45
TS08	1	4*4	TSJ	2	0,002	0,24	1,020	28,24
SE01	1	250	AWG	10	0,01	0,48	0,171	134,74
SE02	1	3/0	AWG	10	0,01	0,48	0,253	91,07
SE04	1	8	AWG	10	0,01	0,48	2,560	9,00
SE05	1	4*12	TSJ	5	0,005	0,24	6,600	1,75
SE06	1	3*10	TSJ	5	0,005	0,24	3,900	2,95
SE07	1	3*12	TSJ	6	0,006	0,24	6,600	1,45
SE08	1	10	AWG	5	0,005	0,241	3,900	2,98
SE09	1	4*10	TSJ	25	0,025	0,242	3,900	0,60
SE10	1	4*10	TSJ	25	0,025	0,243	3,900	0,61
SE11	1	3*10	TSJ	15	0,015	0,244	3,900	1,02
SE12	1	3*10	TSJ	10	0,01	0,245	3,900	1,54
SE13	1	3*10	TSJ	12	0,012	0,246	3,900	1,29
SE14	1	4*12	TSJ	25	0,025	0,247	3,900	0,63
DB01	2	3/0	AWG	22	0,022	0,248	0,253	22,10
DB02	1	2/0	AWG	17	0,017	0,249	0,330	11,05
DB03	2	4/0	AWG	32	0,032	0,25	0,203	19,24
DB04	2	4/0	AWG	48	0,048	0,251	0,203	12,93
DB05	2	350	kcmil	70	0,07	0,252	0,000	7200,00
DB31	1	4	AWG	17	0,017	0,253	1,020	3,69
DB51	1	3/0	AWG	11	0,011	0,254	0,253	23,18
DB52	1	3/0	AWG	13	0,013	0,255	0,253	19,77

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Una vez con cada valor determinado, se colocaron los kVAs equivalentes de cada elemento en el diagrama unifilar de bloques realizado.

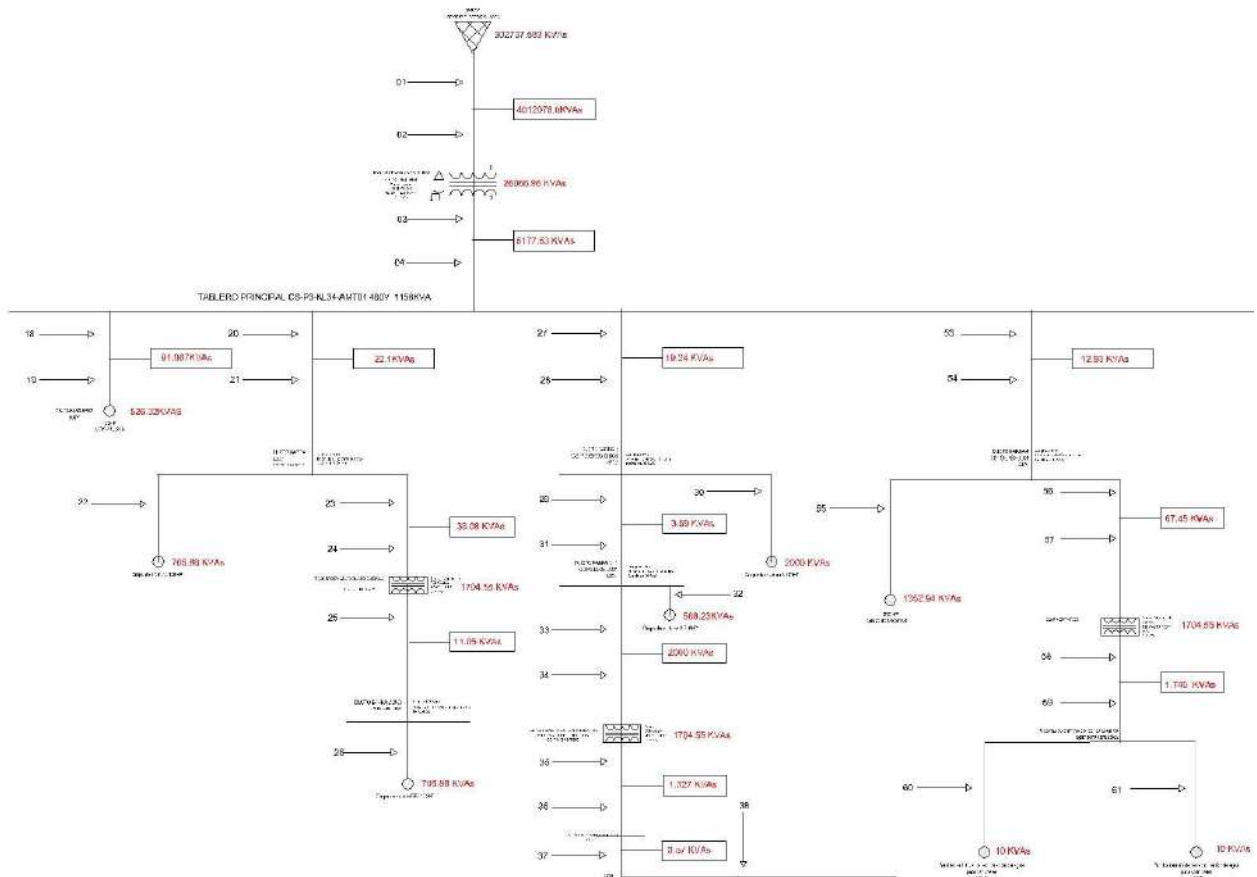


Figura 19. Parte de diagrama de bloques con valores de kVAs equivalentes correspondientes

Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

Seguidamente, se terminaron los kVAs correspondientes para cada flecha, colocada en cada punto donde la corriente de cortocircuito cambia. Para esto, se debe analizar si la corriente que viene aguas arriba o aguas abajo se encuentra en serie o en paralelo con el siguiente elemento. De esta forma, si pasa por elementos que están en series, se realiza una reducción con el cálculo de corrientes en paralelo, según:

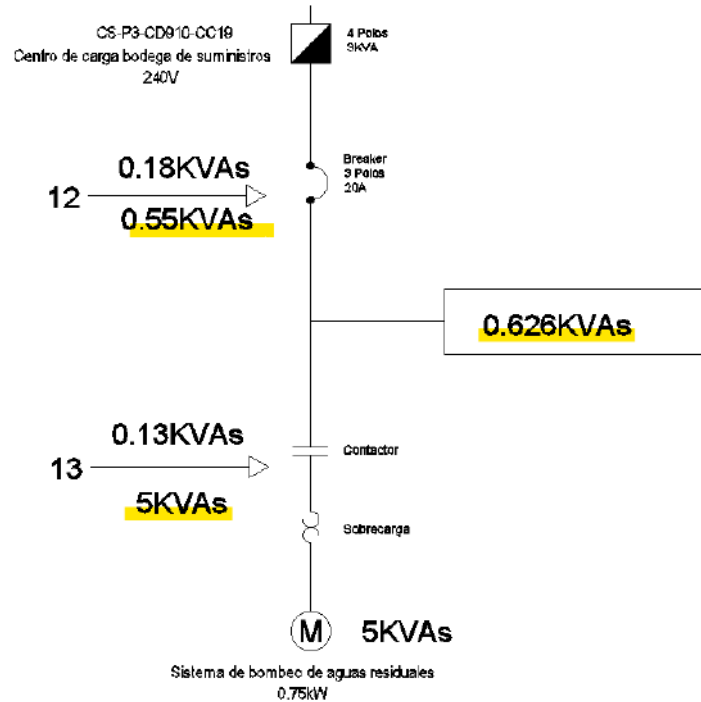
$$kVA_{equiv} = \frac{1}{\frac{1}{KVA} + \frac{1}{KVA} + \frac{1}{KVA}} \quad (7)$$

Como se muestra en la Figura 19.1, donde se tienen los 5kVA del sistema de bombeo de aguas residuales en serie, con los 0.626 kVA de su conductor alimentador, de esta manera se está aplicando la fórmula (7) en dirección aguas arriba.

$$kVA = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{0.626}} = 0.55 \text{ kVA}$$

Figura 19.1. Extracto diagrama de bloques. Cálculo de kVAs en serie

Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).



Mientras que, si la corriente viene de una composición en paralelo, se reduce la corriente por medio de la fórmula utilizada para corrientes en serie:

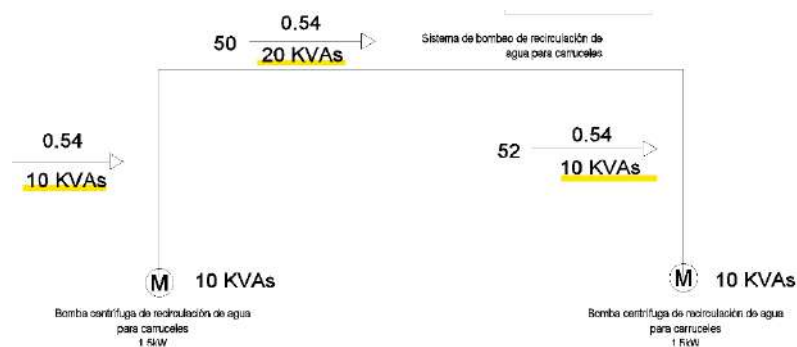
$$KVA_{equiv} = KVA + KVA \quad (8)$$

Como se muestra en la Figura 19.2, donde se tienen los 10 kVA de cada bomba del sistema de recirculación de agua para carruseles en paralelo entre ellos, de esta manera se está aplicando la fórmula (8) en dirección aguas arriba.

$$kVA = 10 + 10 = 20 \text{ kVA}$$

Figura 19.2. Extracto diagrama de bloques. Cálculo de kVAs en paralelo

Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).



Por último, se procede con el cálculo de corrientes de cortocircuito de cada flecha, para determinar cuánto cambia la corriente de cortocircuito en cada punto. Se parte de los kilovoltioamperios totales de cada flecha, los cuales son la suma de kVAs aguas arriba y aguas abajo de cada una de las flechas, utilizando la siguiente fórmula, para determinar la corriente de cortocircuito:

$$I_{CC} = \frac{KVA_{totales}}{\sqrt{3} \cdot KV} (9)$$

En el caso de la flecha 3 se tiene:

$$I_{CC} = \frac{302737.53 + 2544.45}{\sqrt{3} \cdot 0.48} = 32.06 \text{ KA}$$

De igual manera, se realiza el cálculo con la fórmula (9) con cada flecha. En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos para cada una.

Tabla 13. Extracto de Resultados de Corrientes de cortocircuito calculadas mediante kVAs Equivalentes

Nº de flecha	Aguas arriba KVAs	Aguas abajo KVAs	Total KVAs	Tensión KV	Icc K A
1	302737,58	2544,45	305282,03	34,50	5108,83
2	281496,81	2544,45	284041,26	34,50	4753,37
3	23874,47	2779,00	26653,47	0,48	32059,14
4	4254,81	6087,70	10342,51	0,48	12440,11
5	4254,81	0,25	4255,06	0,48	5118,04
6	0,25	0,25	0,50	0,48	0,60
7	0,25	0,25	0,50	0,24	1,20
8	0,25	0,27	0,52	0,24	1,25
10	0,25	0,29	0,54	0,24	1,30
11	0,21	0,35	0,56	0,24	1,36
12	0,18	0,55	0,73	0,24	1,76
13	0,13	5,00	5,13	0,24	12,34
14	4254,81	8,86	4263,67	0,48	5128,40
15	8,98	588,23	597,21	0,48	718,33
16	4254,81	109,44	4364,25	0,48	5249,38
17	130,60	588,23	718,83	0,48	864,62
18	4254,81	45,68	4300,49	0,48	5172,69
19	89,15	523,62	612,77	0,48	737,05
20	4254,81	21,43	4276,24	0,48	5143,52
21	21,98	714,29	736,27	0,48	885,60
22	21,98	705,88	727,86	0,48	875,48
23	21,98	8,41	30,39	0,48	36,55
24	13,93	10,80	24,73	0,48	29,75
25	1704,55	10,88	1715,43	0,24	4126,68
26	6,16	705,88	712,04	0,24	1712,90
27	23874,00	19,06	23893,06	0,48	28738,88
28	19,15	2003,66	2022,81	0,48	2433,06
29	23874,00	3,66	23877,66	0,48	28720,36
30	23874,00	2000,00	25874,00	0,48	31121,59

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

La totalidad de la tabla con las 81 flechas se puede observar en la sección de Apéndices, en la Figura 75.

4.4 Modelado de corrientes de cortocircuito en el software de simulación ETAP

Como se explica, en la Sección 2.3, como parte del proyecto, se pretende corroborar los datos calculados mediante el Método de kVAs Equivalentes, con un modelado del sistema en el software de simulación ETAP. Este software cuenta con una licencia privada en la Escuela de Electromecánica, por lo cual fue necesario solicitar autorización de los distribuidores del software en el país, la Compañía CFS, para poder realizar los estudios y análisis propuestos. La autorización fue aprobada vía correo electrónico, y en la sesión de Anexos se adjunta el correo que lo evidencia.

Un estudio de cortocircuito en software de simulación, como ETAP, es una herramienta fundamental para esta área de la Ingeniería, ya que se trata de un software sumamente robusto, exacto y confiable. Su importancia radica en múltiples aspectos; en primer lugar, se enfoca en la seguridad, detectando las corrientes máximas en situaciones de fallo, lo que resulta crucial

para tomar medidas preventivas y garantizar la integridad del sistema y la seguridad del personal.

Además, contribuye al diseño y coordinación de sistemas de protección. Esto implica asegurar que dispositivos como interruptores y fusibles funcionen de manera efectiva, evitando daños innecesarios y cortes de energía, ayudando a elegir los componentes eléctricos adecuados, considerando su capacidad para soportar corrientes de cortocircuito, sin sufrir daños.

En términos de eficiencia, es una herramienta útil para la optimización de la red eléctrica, identificando áreas problemáticas que requieren mejoras de forma inmediata. También es valioso desde una perspectiva de documentación y registro, ya que los resultados del estudio se archivan para auditorías y aseguramiento del cumplimiento normativo.

Para este estudio, se comenzó realizando el modelado del diagrama unifilar en el software, colocando la información correspondiente para cada elemento, como carga, voltaje, impedancia, calibre de conductores de alimentación, información de acometida. Se procedió realizando un estudio de cortocircuito, que evalúa las condiciones de falla del sistema y evalúa las clasificaciones de los dispositivos de protección para los sistemas. En la Tabla 14. se presenta el reporte de resultados obtenidos en el software.

Tabla 14. Corrientes de cortocircuito determinadas mediante software de simulación

ID	Descripción	Nominal kV	Symm. kA	X/R Ratio
CS-P3-LM34-TH01	Protección transformador principal	0.48	47.32	6.93
CS-P3-KL34-AMT01	Subalimentador Principal	0.48	46.92	6.724
CS-P3-IL45-DB01	Ducto Barra 1	0.48	32.94	2.275
CS-P3-EI45-DB02	Ducto Barra 2	0.24	5.22	3.997
CS-P3-EK56-DB03	Ducto Barra 3	0.48	34.49	3.110
CS-P3-EK67-DB04	Ducto Barra 4	0.48	16.68	1.9013
CS-P3-JK78-DB05	Ducto Barra 5	0.48	23.56	2.762
CS-P3-HJ89-DB51	Ducto Barra 5_1	0.48	15.64	1.9408
CS-P3-EH89-BD52	Ducto Barra 5_2	0.48	19.33	2.293
CS-P3-CD910-CC19	Tablero Bodega suministros CC19	0.24	1.78	0.7956
CS-P3-CD910-CC18	TableroCC18 Agua Potable	0.24	1.17	1.661
CS-P3-DE67-CC05	Tablero área lavado	0.24	3.58	1.795
CS-P3-BC56-CC20	Control bombas baños	0.24	0.66	0.2123
CS-P3-KL34-CC11	Tablero Cuarto Compresores CC11	0.24	3.827	1.833
CS-P3-JK89-CC13	Tablero oficinas Oficinas CC13	0.24	2.137	0.9416
CS-P3-DE67-CC03	Tablero Pasillo Sur CC03	0.24	1.243	0.382

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

4.6 Comparación de resultados

Para poder realizar una tabla comparativa entre ambos resultados generados, fue necesario, para el caso del cálculo de kVAs equivalentes, realizar el cálculo de corriente de cortocircuito, específicamente en cada barra, exactamente como lo determinó el software, es decir, calcular la suma de corrientes de cortocircuito en cada barra.

En la Tabla 15, se muestra la comparación de los resultados de corriente de cortocircuito en cada barra, obtenidos por medio del Método de kVAs Equivalentes, contrastados con los resultados generados por la simulación del estudio en el software ETAP.

Tabla 15. Comparación de corrientes de cortocircuito mediante ambos procedimientos

Código	Barra	Corriente Corto circuito ETAP (KA)	Cálculo KVA's equivalentes (KA)	Diferencia (KA)
CS-P3-LM34-TH01	Protección transformador principal	46,233	44,522	1,711
CS-P3-KL34-AMT01	SubAlimentador Principal	45,83	45,32	0,51
CS-P3-EI45-DB02	Ducto 2	5,228	5,83	0,602
CS-P3-EK56-DB03	Ducto 3	33,92	33,62	0,3
CS-P3-EK67-DB04	Ducto 3_1	12,43	12,41	0,02
CS-P3-JK78-DB05	Ducto 4	16,68	14,53	2,15
CS-P3-EH89-BD52	Ducto 5	23,56	22,5	1,06
CS-P3-HJ89-DB51	Ducto 5_2	19,33	17,87	1,46
CS-P3-CD910-CC19	Ducto 5_1	15,64	15,11	0,53
CS-P3-DE67-CC05	Bodega de suministros	1,786	1,756	0,03
CS-P3-BC56-CC20	Cclavado	3,587	3,084	0,503
CS-P3-KL34-CC11	CC20	0,724	0,62	0,104
CS-P3-JK89-CC13	Cuarto de compresores	3,823	3,753	0,07

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Como se puede observar en la Tabla 15, los resultados obtenidos mediante ambos métodos son muy cercanos; en la mayoría de los casos las diferencias se dan en los decimales de la cifra. Sin embargo, existen diferencias de hasta 2 kA, como es el caso de los ducto Barra 4 y ducto Barra 5_2, marcadas en color verde.

Las diferencias presentes se deben a distintas razones, entre ellas: el redondeo de cifras para el cálculo manual y depender de este redondeo para cálculos consecuentes, la suposición de información de los cables multiconductores tipo TSJ, ya que se utilizó su equivalente de calibre en chaqueta THHN, es decir, si un conductor es de calibre 4x10 TSJ, se asumió su

equivalente como un cable 10 AWG THHN, esto debido a que el software no permite colocar multiconductores de este tipo. Además, por la longevidad de la instalación, algunos elementos ya no tienen especificaciones técnicas, que por deterioro y manipulación se han borrado. En el caso de los conductores, se dan estimaciones por el diámetro de área transversal.

Los errores presentes entre los cálculos manuales y los resultados del software se justifican a causa de los supuestos y aproximaciones utilizados; además de las otras variables que el algoritmo del software utiliza para elaborar el cálculo, las cuales no se toman en cuenta en las fórmulas utilizadas en el Método de kVAs Equivalentes.

Aunque la diferencia de resultados sea mínima, los cálculos manuales pueden arrastrar errores humanos, por la cantidad de cálculos que conlleva el método utilizado.

Los cálculos manuales se consideran confiables y proporcionan resultados precisos para los fines del proyecto, comparados con los resultados obtenidos mediante el software, ya que además esta diferencia de resultados no afecta al análisis de capacidad interruptiva de protecciones ya que ambos se encuentran en el mismo intervalo de rango de operación de la protección en ese momento. Se demuestra la consistencia y la robustez de los métodos utilizados.

4.7 Estudio de coordinación de protecciones

Como parte del alcance de este proyecto, se realizó un diagnóstico de las protecciones principales del sistema eléctrico de la planta, mediante el software de simulación ETAP, utilizando el módulo Protection and Coordination.

Para analizar la coordinación de protecciones, se presentan las curvas de coordinación en los tableros, de forma que la protección principal de cada uno de los tableros coordine con las curvas de protección de los ramales que alimentan las cargas inductivas de Planta 3, así como las protecciones de los alimentadores principales de los tableros eléctricos y los ramales de estos que alimenten a tableros eléctricos derivados, que se encuentren aguas abajo, con el fin de obtener una coordinación selectiva, para lograr una mayor confiabilidad y menores efectos en el sistema, en caso de una falla. Además, se analiza la protección de los transformadores, graficando la curva de daño de estos y la corriente de arranque, donde se verifica si el breaker actualmente utilizado se encuentra protegiendo al equipo.

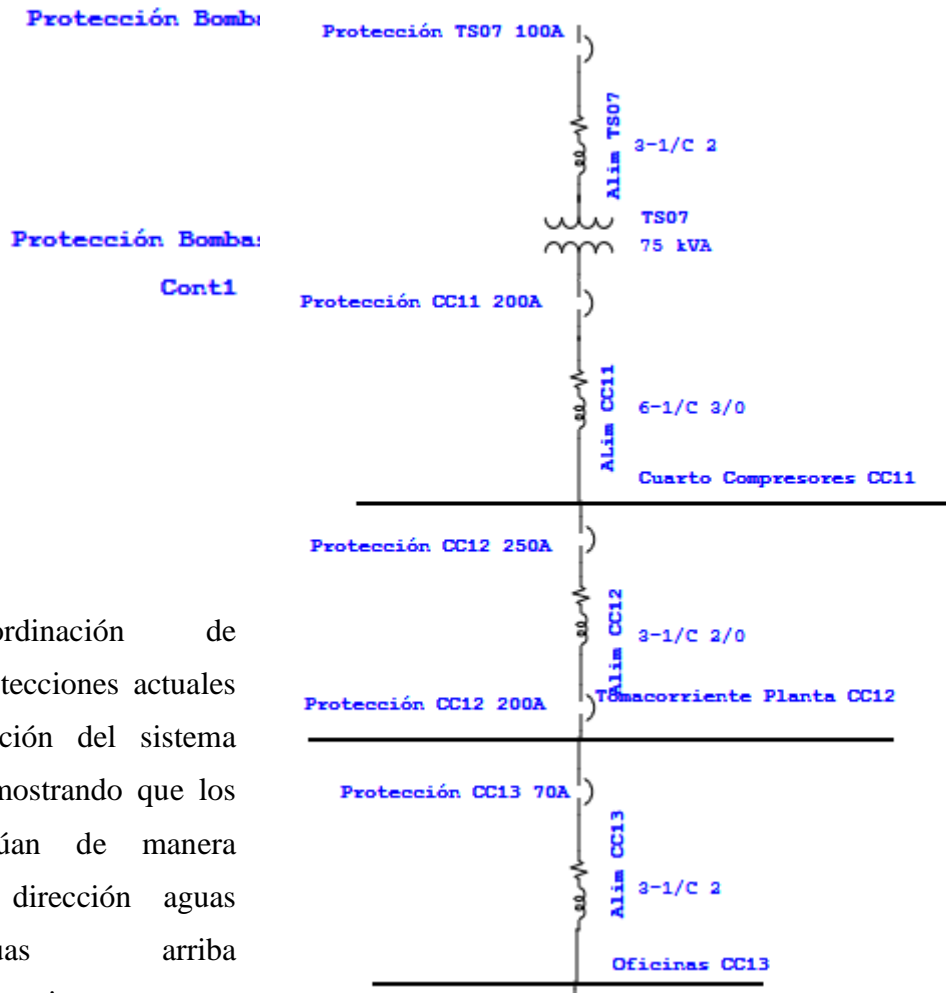
Este estudio se realizó desde aguas abajo hacia arriba del diagrama unifilar, de modo ascendente; de esta manera, se pretende que la protección sea inmediata en el lugar donde se produce la falla, de forma ascendente, hasta llegar a las protecciones de media tensión, lugar en el que se espera que las protecciones aguas abajo puedan eliminar la falla.

Una coordinación de protecciones en ese sistema es de gran importancia, ya que existen centros de carga de los cuales se deriva aguas abajo más de un centro de carga consecutivo de

los cuales alimentan cargas inductivas, por lo que, si esta carga llega a generar una corriente de cortocircuito, que no es detenida apropiadamente, puede generar una reacción en cadena, disparando los centros de carga que se encuentren en su camino, hasta llegar a la subestación principal.

Tal es el caso del circuito 1 de la subestación principal, que desconecta la alimentación del transformador CS-P3-KL34-TS07, el cual suministra 240V al tablero CS-P3-KL34-CC11 del cuarto de compresores. Seguidamente, en el circuito 1 del tablero CS-P3-KL34-CC11 se encuentra la protección principal del centro de carga CS-P3-KL34-CC11 de tomacorrientes de planta, en el cual el circuito ubicado en el primer espacio del tablero es la protección principal del centro de carga CS-P3-JK89-CC13 de oficinas. Luego, en el espacio 27-29 de este tablero se encuentra el disyuntor principal del tablero CS-P3-CD910-CC19 de la bodega de suministros, donde se encuentra conectado el sistema de bombeo de agua residual de la planta, como se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 20. Derivaciones de centros de carga de Circuito 1 Subestación Principal
 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).



coordinación de protecciones actuales sección del sistema demostrando que los actúan de manera la dirección aguas aguas arriba respectivamente,

desconectando el tablero en caso de una falla, dado que son muchos elementos para una sola gráfica mostrados por secciones:

En la Figura 21, se muestran las curvas de

de esta eléctrico, disyuntores correcta en abajo hacia

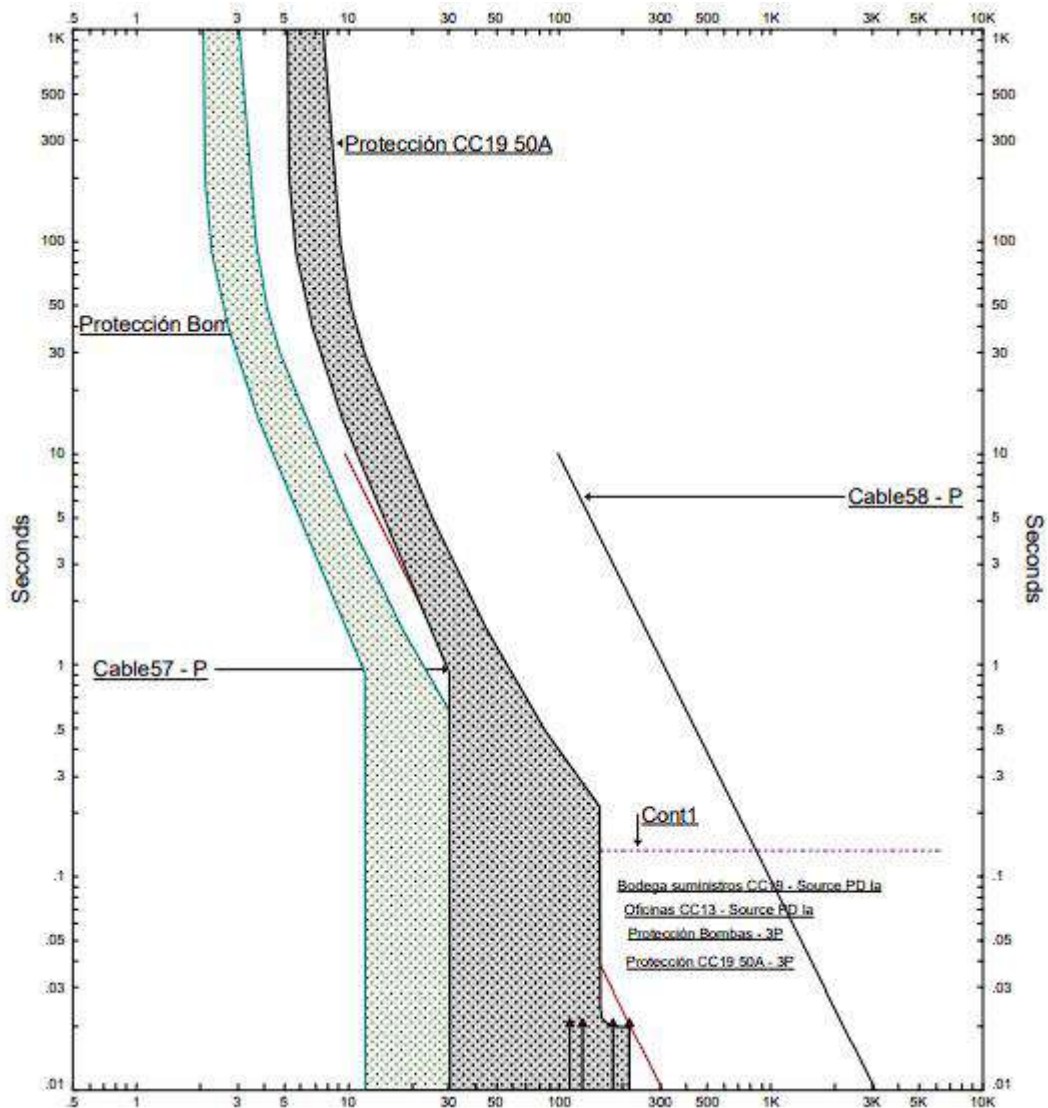


Figura 21. Curvas de protección en serie de Sistema de Bombeo y Tablero CS-P3-CD910-CC19

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

Como se aprecia en la Tabla 13, de la Sección 4.3, en la flecha 12, en caso de que se genere la corriente de cortocircuito de: 1.76kA correspondiente al tablero CS-P3-CD910-CC19, proveniente del motor del sistema de bombeo de agua residual, primeramente, se dispara la protección de la bomba representada por la curva verde de la imagen; esta curva se encuentra de primera en el eje X, como se muestra en la Figura 21. Esta se encarga de proteger al cable 57; inmediatamente después se desconecta la protección color gris, la cual protege al cable de alimentación del tablero CS-P3-CD910-CC19. La protección del sistema de bombeo de agua y la protección del tablero CS-P3-CD910-CC19 se encuentran al lado izquierdo del cable alimentador, que protegen al cable 57 y al cable 58, respectivamente. Se da una coordinación de protecciones hasta este punto de manera correcta.

En la Figura 22, se presentan las curvas de protección de los elementos aguas arriba del centro de carga CS-P3-CD910-CC19.

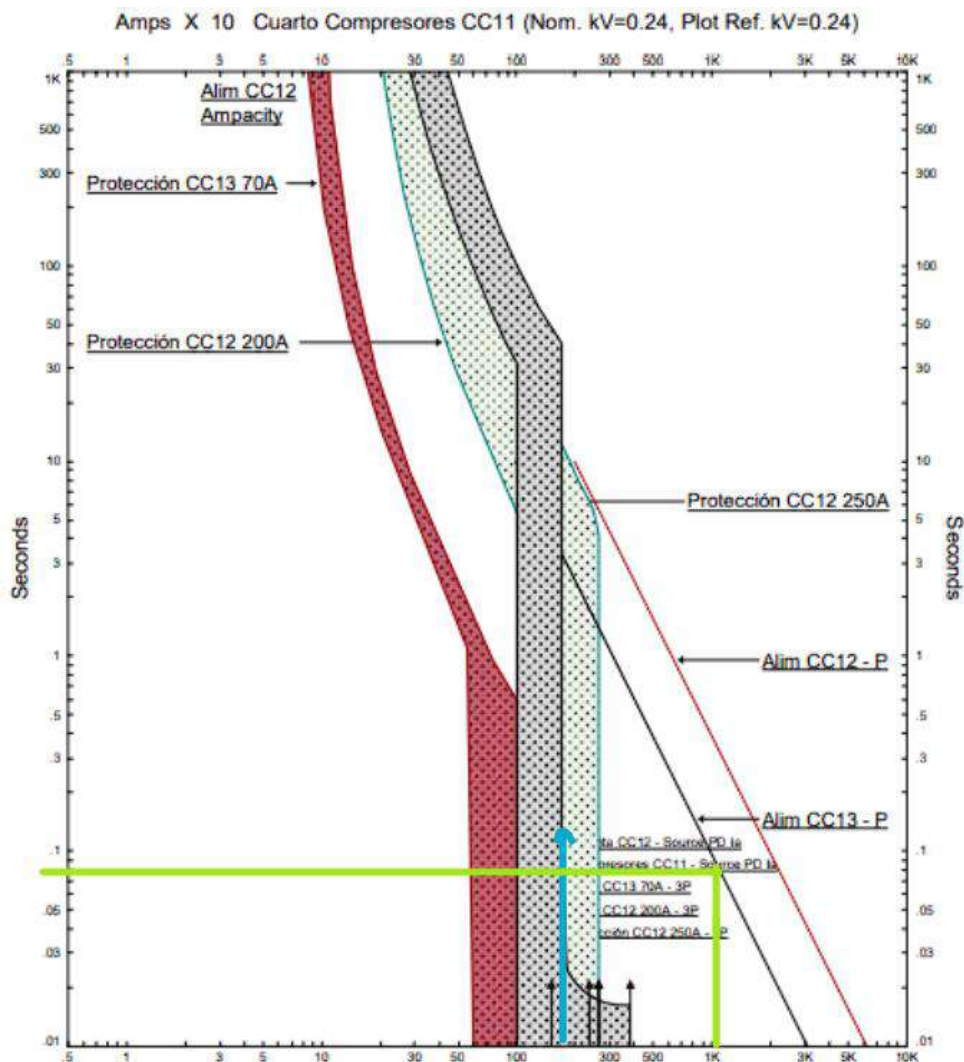


Figura 22. Curvas de protección en serie de Sistema de Bombeo y Tablero CS-P3-KL78-CC12 y CS-P3-JK89-CC13

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

De igual manera se muestra, en la Figura 22, cómo la curva roja se encuentra protegiendo debidamente el cable de alimentación Alim CC13, el cual se encuentra aguas abajo del tablero eléctrico CS-P3-KL78-CC12, por el que podría fluir una corriente de cortocircuito de 1.30kA, como se muestra en la Tabla 13, flecha 10. Esta corriente sería instantáneamente amortiguada por la protección de 200 A, ya que se encuentra en la zona segura de la curva de protección.

Se tiene una capacidad interruptora de hasta 10kA de acuerdo con los datos de placa del disyuntor. El corte de corriente se daría en un tiempo de 0.08 segundos aproximadamente, según se indica en la línea verde en el gráfico de la Figura 22.

Se determina que el sistema no se ve comprometido por las corrientes de cortocircuito generadas en este ramal, porque esta corriente se encuentra en el sector de la gráfica donde el disyuntor se ha activado.

Inmediatamente aguas arriba del centro de carga CS-P3-JK89-CC13, se encuentra su tablero alimentador CS-P3-KL34-CC11, con un interruptor principal de 200 A. Esta protección es capaz de amortiguar la corriente de 1.20 KA, que podría generarse en la alimentación de este centro de carga, obtenida en la Tabla 13, Flecha 7.

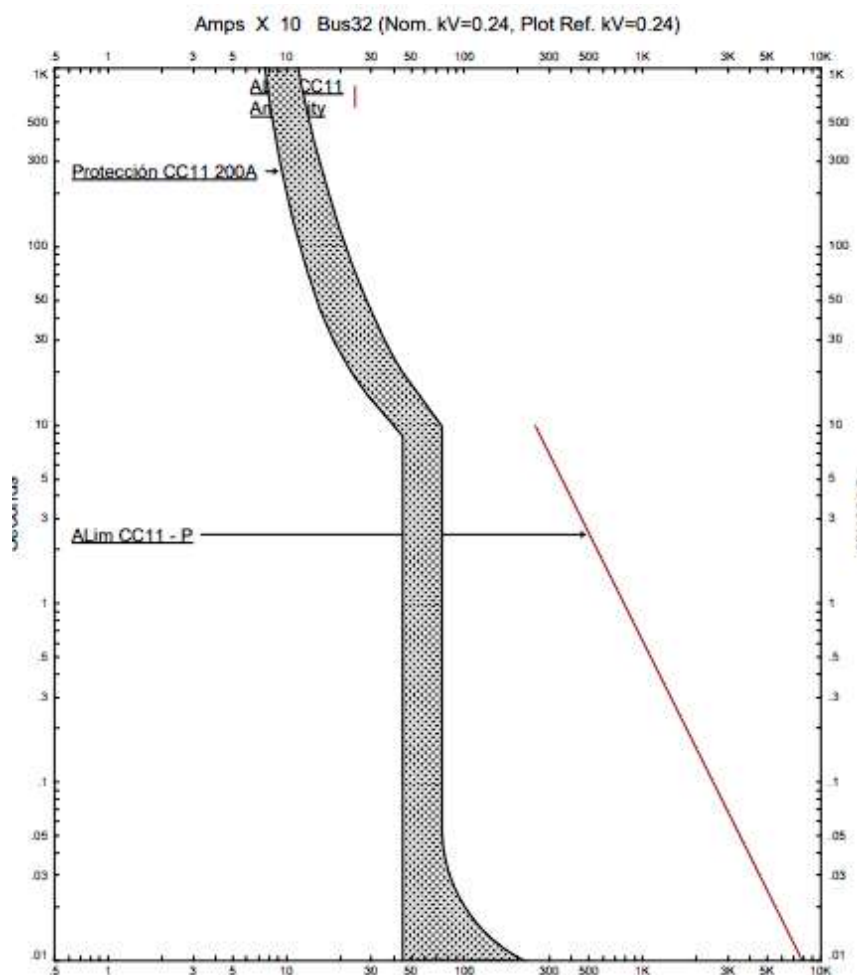


Figura 23. Curvas de protección principal Tablero CS-P3-KL34-CC11

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

En la Figura 23, se observa cómo tanto el cable AlimCC11 se encuentra a la derecha de los límites de disparo del disyuntor, al igual que la corriente de cortocircuito calculada; de esta manera se confirma que el cable AlimCC11 se encuentra correctamente protegido.

Por último, se analiza el elemento aguas arriba de este centro de carga, el cual es el transformador de voltaje CS-P3-KL34-TS07 del cuarto de compresores.

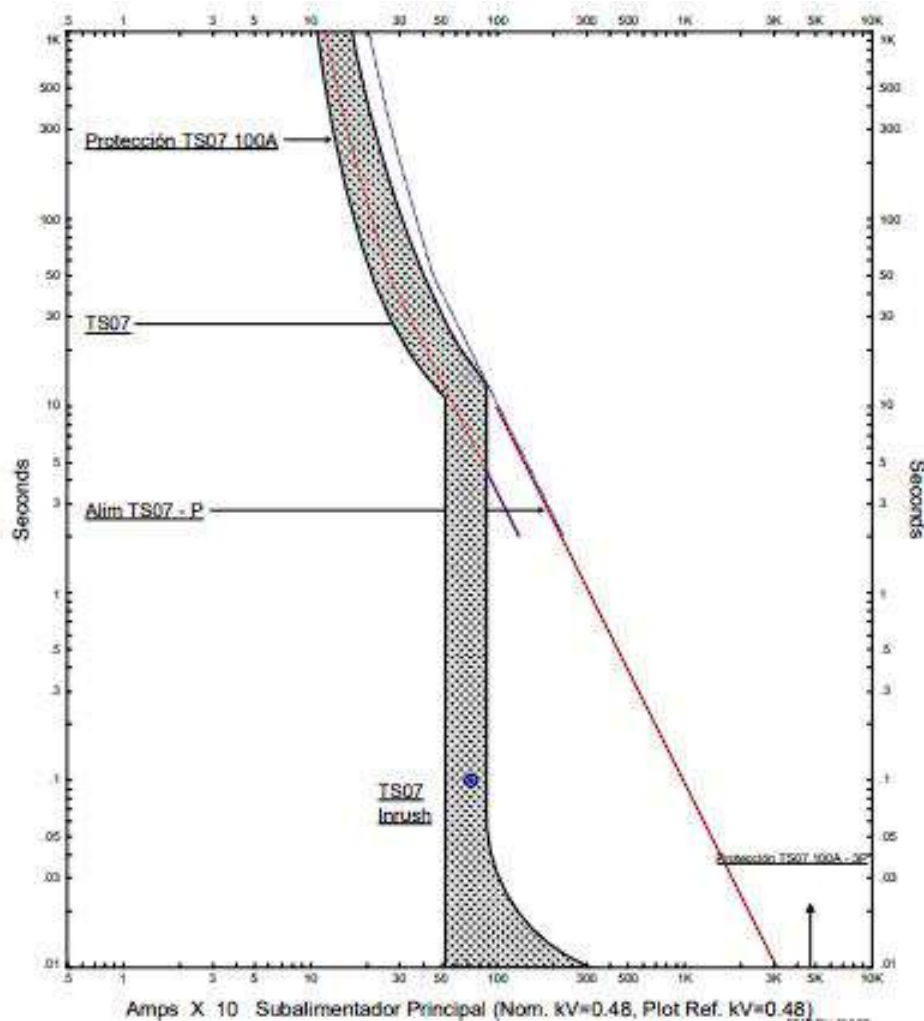


Figura 24. Curva de protección de Transformador CS-P3-KL34-TS07

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

Se muestra, en la Figura 24, la curva de protección del breaker ProtecciónTS07, que alimenta el transformador CS-P3-KL34-TS07, desde el tablero CS-P3-KL34-AMT01. Actualmente, se presenta un medio de desconexión marca Siemens modelo FXD6-A de 100A, para un transformador de 75 kVA. Se observa que la curva de protección se encuentra sobre la línea sobre la curva de daño del transformador (línea de color rojo), es decir, se encuentra en el margen de operación del disyuntor, no en la zona segura donde el elemento se encuentre protegido, a la derecha de la curva.

Para corregir este mal dimensionamiento, se propone un cambio de disyuntor a uno con ajuste del instantáneo, para cubrir de forma correcta la curva de año del transformador. Se propone un breaker marca Square D, modelo HG de 100 A. Se tiene, entonces, una curva apropiada de la siguiente forma:

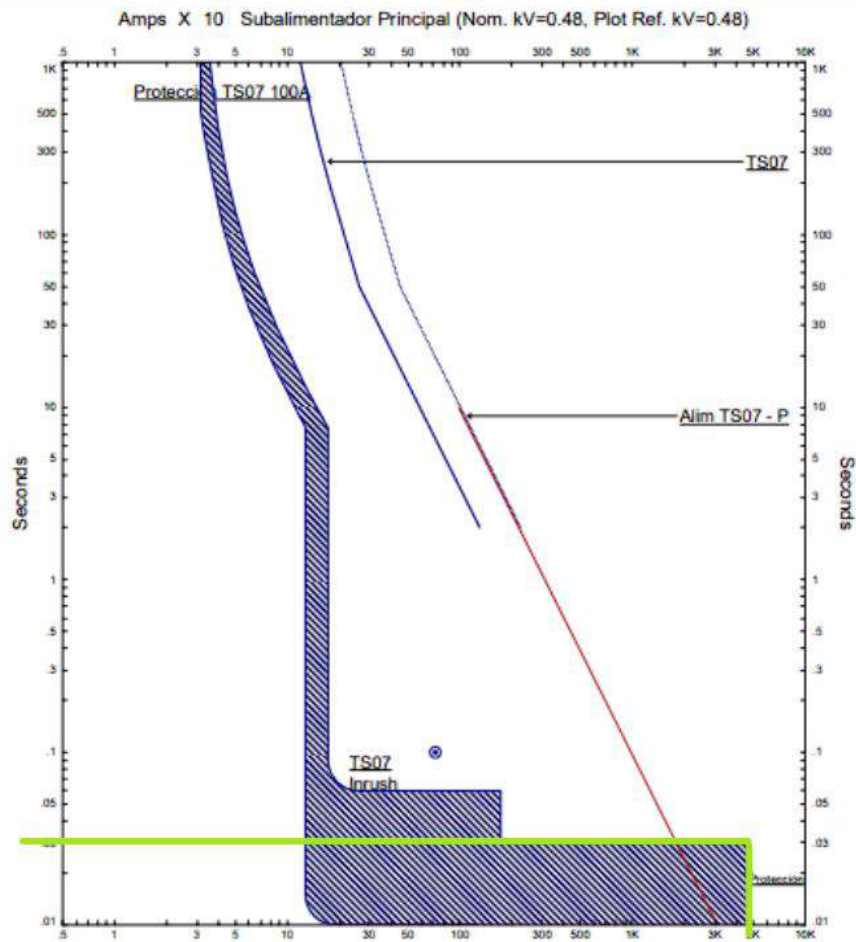


Figura 25. Corrección en protección apropiada para Transformador TS07

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

Por otro lado, según se muestra en la Tabla 13, flecha 5, en la alimentación del transformador CS-P3-KL34-TS07 se puede generar una corriente de cortocircuito de 5118A la cual el disyuntor propuesto es capaz de amortiguar adecuadamente, en un instante de 0.03 segundos aproximadamente, como muestra la línea verde de la Figura 25.

De igual forma, se someten a evaluación las demás protecciones principales y la protección de cada transformador tanto para resguardar adecuadamente cada equipo, así como el conductor de alimentación. En general, se aprecia un correcto dimensionamiento de circuitos.

En la Tabla 16 se muestra la información de cada protección principal del sistema.

Tabla 16. Estado de protección de los elementos activos del sistema

Tablero	Disyuntor A	Capacidad interruptiva KA	Icc KA	Estado
CS-P3-KL34-AMT01	2000	65	46,92	Protegido
CS-P3-DE45-CC02	200	10	8,49	Protegido
CS-P3-DE67-CC03	100	10	1,24	Protegido
CS-P3-KL34-CC11	200	65	3,82	Protegido
CS-P3-KL78-CC12	200	10	2,61	Protegido
CS-P3-JK89-CC13	70	10	2,14	Protegido
CS-P3-CD910-CC19	50	10	1,78	Protegido
CS-P3-BC56-CC20	30	10	0,72	Protegido
CS-P3-IJ45-TS01	100	50	3,84	Protegido
CS-P3-CD45-TS02	100	50	3,42	Protegido
CS-P3-EF67-TS03	100	50	15,44	Protegido
CS-P3-KL34-TS07	100	50	1,25	Protegido
CS-P3-IL45-DB01	400	65	32,94	Protegido
CS-P3-EI45-DB02	100	30	5,23	Protegido
CS-P3-EK56-DB03	400	65	34,49	Protegido
CS-P3-EK67-DB04	400	65	16,68	Protegido
CS-P3-JK78-DB05	600	30	23,57	Protegido
CS-P3-BD35-DB31	100	50	12,43	Protegido
CS-P3-HJ89-DB51	100	50	15,64	Protegido
CS-P3-EH89-BD52	100	50	19,33	Protegido

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

En la sección de Apéndices se encuentran las demás curvas de protección que respaldan estos argumentos, a partir de la Figura 63.

En este estudio, se determinó que los disyuntores actualmente instalados son capaces de proteger las corrientes de cortocircuito del sistema, en caso de que se dé un evento de este tipo. Esto se debe a que las corrientes de cortocircuito son bastante bajas, en comparación con la capacidad máxima de interrupción del dispositivo de protección.

4.8 Estudio de arco eléctrico

Al igual que la simulación de estudio de cortocircuito y el análisis de selección de protecciones del sistema, se procedió a realizar el estudio de arco eléctrico mediante el software de simulación ETAP. En este caso, se hizo utilizando el módulo Arc flash-Auto.

Como se menciona anteriormente, es normal que en la planta se den intervenciones, por parte del personal técnico, en los tableros eléctricos, aunque estos se encuentren energizados, para realizar labores de inspección, mantenimiento o modificación de los circuitos, muchas veces sin el uso de los implementos de seguridad requeridos. Por este motivo, resulta indispensable determinar el nivel de energía incidente presente en cada tablero, en el caso de una falla en el sistema.

Este estudio determina el equipo de protección requerido para llevar a cabo intervenciones de este tipo, tomando en cuenta que la energía incidente ocasionada por un evento de cortocircuito en un periodo de tiempo puede resultar letal para el personal, de acuerdo con el estándar y las prácticas recomendadas por las normas IEEE 1584 2008 y NFPA 70E.

La simulación requiere de diferentes parámetros, como marca, modelo, dimensiones de tablero, tensión, además de la corriente de cortocircuito que circularía por el punto si se da el caso, para determinar la energía incidente liberada en el punto. La energía incidente, medida en calorías por centímetro cuadrado (cal/cm^2), es una unidad que se utiliza para cuantificar la cantidad de energía liberada en un evento de arco eléctrico en un sistema eléctrico. Esta energía se genera cuando ocurre un cortocircuito o una falla en un equipo eléctrico, lo que da lugar a una liberación súbita de energía, en forma de un arco eléctrico extremadamente caliente.

La energía incidente se utiliza para evaluar los riesgos asociados a trabajar en cercanía de equipos eléctricos energizados. Cuanto mayor sea la energía incidente, mayor será el peligro de lesiones graves, en caso de un arco eléctrico. Por lo tanto, se utiliza para determinar la categoría de riesgo en la que se encuentra una ubicación específica o un equipo y, con base en esta categoría, se seleccionan los Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados, como trajes ignífugos y protectores faciales.

El evento de arco eléctrico y el cálculo de la energía incidente presente en un tablero o equipo eléctrico depende principalmente de dos variables: la corriente de cortocircuito y el tiempo que dura la protección, ya sea el principal o los ramales, en caso de que se presente una falla. Por este motivo, se vuelve realmente importante realizar estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones, además de la actualización del diagrama unifilar previo a este estudio.

Luego de completar los estudios de coordinación de protecciones y cortocircuito, se procedió con la evaluación de las energías incidentes en los distintos equipos, donde un

trabajador promedio podría estar en contacto con equipos energizados, evaluando el riesgo eléctrico, tanto por contacto como por arco eléctrico, resultando en la asignación de etiquetas que reflejan las recomendaciones de la norma NFPA 70E, versión 2018. Estas etiquetas indican el equipo de protección personal necesario para el personal cualificado, y también señalan el riesgo asociado con cada tablero, considerando factores como el nivel de voltaje presente en las barras, el riesgo de electrocución y la energía incidente en caso de un arco eléctrico.

La energía incidente se clasifica por colores según la norma NFPA 70E, que establece una codificación de colores para etiquetar los niveles de riesgo asociados con equipos eléctricos en función de la energía incidente, es decir, el calor liberado durante un evento de arco eléctrico. Los colores y las categorías asociadas son los siguientes:

- **Amarillo:** esta etiqueta generalmente se utiliza para identificar áreas de bajo riesgo (A). La energía incidente asociada a estas áreas es relativamente baja, generalmente menor a 1.2 cal/cm². En estas zonas, el personal calificado debe usar ropa ignífuga y guantes adecuados, pero el riesgo de arco eléctrico es bajo.
- **Anaranjado:** las etiquetas de color anaranjado indican un nivel moderado de peligro (B). La energía incidente en estas áreas varía generalmente entre 1.2 y 8 cal/cm². Los trabajadores deben utilizar ropa ignífuga, guantes resistentes al arco y otros Equipos de Protección Personal (EPP) específicos para la categoría.
- **Rojo:** las etiquetas de color rojo representan áreas de alto riesgo. La energía incidente en estas áreas es superior a 8 cal/cm², lo que puede ser peligroso y causar lesiones graves. En estas zonas, se requieren EPP especiales, como trajes ignífugos, guantes resistentes al arco, protección facial, y otros elementos de alta resistencia.

Estos colores y categorías sirven como indicadores visuales para los trabajadores, permitiéndoles identificar fácilmente el nivel de riesgo asociado con el equipo eléctrico. Los colores se utilizan en las etiquetas y señalizaciones de seguridad para comunicar de manera efectiva el riesgo, y garantizar que se tomen las precauciones necesarias al interactuar con equipos energizados.

A continuación, se muestran las etiquetas de arco eléctrico propuestas para los tableros y ducto barras principales, así como la descripción de cada dato que se especifica. En la sección de Apéndice 2, se adjunta la totalidad de etiquetas requeridas.




	 ADVERTENCIA	
Peligro de Destello y de Descarga con Cubiertas o Puertas Abiertas PPE Requerido Adecuado		
<p>Protección contra Destello Level B</p> <p>Energía Incidente (cal/cm²) 3.0</p> <p>Distancia de Trabajo 0.46 m</p> <p>Límite de Protec. Contra Destello 0.73 m</p> <p><small>Camisa de manga larga FR (clasificación de arco mínima de 4), usada sobre una camiseta de algodón sin tratar con pantalones FR (clasificación de arco mínima de 8)</small></p>	<p>Protección contra Conmoción 480 VAC</p> <p>Peligro de Conmoción cuando Cobertores removidos</p> <p>Acercamiento Limitado 1.07 m</p> <p>Acercamiento Restringido 0.30 m</p> <p>Clase de PPE de Guantes 00 V-Rating 500 VAC</p>	
Equipo: Subalimentador Principal 2000A	Dispositivo de Protección de Fuente: Proteccionprincipal	

Figura 26. Etiqueta de Prevención contra arco eléctrico Subalimentador principal Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

- Encabezado y color: la palabra “Advertencia” tiene fondo anaranjado para tableros con nivel de riesgo moderado: el fondo color rojo se utiliza en las etiquetas de los tableros que representen un riesgo alto. Además, se especifica si se requiere y se cuenta con equipo de protección personal.
- Detalle de Riesgo: identifica los dos riesgos asociados con la operación de equipos energizados: riesgo de electrocución y riesgo de arco eléctrico.
- Voltaje de Operación: indica la tensión del equipo, lo cual se relaciona directamente con el riesgo de electrocución, y determina el tipo de guantes necesarios.
- Acercamiento Limitado: define la distancia mínima segura para personas no calificadas, en relación con equipos energizados.
- Acercamiento Restringido: establece la distancia a la que personal calificado podría tener contacto con un elemento energizado. Estas distancias varían según el voltaje.
- Tablero: especifica el nombre del tablero al que se refiere la etiqueta.
- Descripción del EPP: describe el tipo de equipo de protección personal requerido según la energía incidente. Esto incluye categorías de guantes y ropa.
- Distancia de Trabajo: relacionada con eventos de arco, indica la distancia entre la persona y el elemento energizado.
- Frontera de Protección por Arco Eléctrico: marca el límite donde la energía incidente alcanza 1.2 cal/cm², protegiendo a las personas en áreas no calificadas.
- Energía Incidente: muestra el valor de la energía incidente en la ubicación.
- Categoría de Guantes: indica la categoría de guantes necesarios para protección contra contacto eléctrico y arco eléctrico, de acuerdo con el voltaje del equipo. Existen los de clase 00 para tensiones menores a 500V, clase 0 (1.000V), clase 1 (7.500V), clase 2 (17.000V), clase 3 (26.500V y finalmente de clase 4 (36.000V).
- Categoría de Ropa: Especifica el tipo de ropa requerida según la energía incidente, con niveles moderado y alto para diferentes rangos.

Estas etiquetas son esenciales para garantizar la seguridad de quienes operan equipos eléctricos, y proporcionan información detallada sobre los riesgos y los EPP necesarios, en función de la energía incidente y el voltaje del equipo.

A continuación, en la Tabla 17, se muestra el reporte de resultados obtenidos en el estudio de arco eléctrico en el software ETAP.

Tabla 17. Reporte de resultados obtenidos en el estudio de arco eléctrico

Elemento	Límite de protección de arco eléctrico (m)	Energía incidente (cal/cm ²)	Distancia de trabajo (m)	kV	Nivel de riesgo electrocución	Nivel de riesgo arco eléctrico
Bodega suministros CC19	0.3	0.058	0,45	0.24	0	Level A
CC18 Agua Potable	1.1	0.63	0,45	0.24	0	Level A
Cuarto Compresores CC11	0.4	0.072	0,45	0.24	0	Level A
Ducto 1	1.9	2	0,45	0.48	1	Level B
Ducto 2	0.5	0.16	0,45	0.24	0	Level A
Ducto 3.	2	2.08	0,45	0.48	1	Level B
Ducto 5_	2.1	2.25	0,45	0.48	1	Level B
Ducto 5_1	1.9	1.92	0,45	0.48	0	Level A
Ducto 5_2	2	2.09	0,45	0.48	1	Level B
Oficinas CC13	0.3	0.059	0,45	0.24	0	Level A
Pasillo Sur CC03	0.2	0.032	0,45	0.24	0	Level A
SB Agua Baños CC20	0.4	0.0925	0,45	0.24	0	Level A
Subalimentador Principal	2.4	2.97	0,45	0.48	1	Level B
Tomacorriente Planta CC12	0.3	0.0621	0,45	0.24	0	Level A

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

4.9 Análisis económico

Para esta sección, se toman en cuenta todas las modificaciones recomendadas en la sección 4.2, donde se evalúa cada circuito y carga del sistema. Problemas de mal dimensionamiento de circuitos en centros de cargas, compuestos en su totalidad por cargas estáticas, son los más comunes, como lo son alumbrados y tomacorrientes. Por otro lado, en la sección 4.7, donde se analizan las protecciones utilizadas, se propone un cambio de disyuntor del transformador CS-P3-KL34-TS07. Por último, se debe agregar un centro de carga nuevo al sistema con cuatro circuitos de alimentación para los tableros CS-P3-DE89-CC07, CS-P3-AB89-CC08, CS-P3-AB89-CC09 y CS-P3-CD910-CC18.

A continuación, se muestra una tabla resumen de cada circuito que se debe modificar o agregar.

Tabla 18. Resumen de correcciones propuestas

Tablero	Circui- to	Carga	Con- duc- tor AWG	Longi- tud m	Breaker reco- mendado A
CS-P3-AB45-CC04	1	1 luminaria caseta	10	5	30
CS-P3-AB45-CC04	2	4 tomacorrientes caseta	12	5	20
CS-P3-DE89-CC07	1	6 tomacorrientes planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	5	8 tomacorrientes planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	2	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	4	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	15	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	7	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	6	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	9	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	11	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	8	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	19	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	21	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	10	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	22	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	24	8 tomacorrientes de planta	12	25	20

CS-P3-KL78-CC12	12	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	23	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	25	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	14	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	27	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	29	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	16	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	26	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	28	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	30	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-KL78-CC12	32	8 tomacorrientes de planta	12	25	20
CS-P3-CD910-CC18	1	1 luminaria	10	10	30
CS-P3-CD910-CC18	3	1 tomacorrientes	12	10	20
CS-P3-DE89-CC21	1	Protección principal CS-P3-DE89-CC07	10	15	30
CS-P3-DE89-CC21	2	Protección principal CS-P3-AB89-CC08	10	15	30
CS-P3-DE89-CC21	3	Protección principal CS-P3-AB89-CC09	10	15	30
CS-P3-DE89-CC21	4	Protección principal CS-P3-CD910-CC18	8	25	50

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Seguidamente, se realiza la cotización de cada elemento, tomando en cuenta la distancia total de conductor necesario para instalar cada circuito, así como la canalización requerida, tanto para los nuevos circuitos como para los cables que se encuentren actualmente sin canalización. Para esto, se agregan al presupuesto 100m de bandeja portacables tipo escalera de 30cm, que normalmente se utiliza en la planta para soportar los cables provenientes de cada tablero. A continuación, se muestran las especificaciones y el precio de cada componente que se debe adquirir:

Tabla 19. Cotización de precios de componentes requeridos

Artículo	Cantidad	Descripción	Precio total
Longitud de cable 12 AWG	655 metros	Southwire wheel 2500ft Cable 12AWG THHN	₡324 168
Longitud de cable 10 AWG	15 metros	Southwire 50ft Cable 10AWG THHN	₡14 348
Cantidad de breakers de 20A	28 unidades	EATON CHF120 20A 1Pole	₡476 155
Cantidad de breaker de 30A	5 unidades	EATON CHF230 30A 2Pole	₡ 151 455
Cantidad de breaker de 50A	1 unidad	EATON CHF250 50A 2Pole	₡ 32 416
Caja de breakers de 6 espacios	2 unidades	SQUARE D QO312L125G	₡ 211 506
Breaker transformador TS07	3 unidades	SQUARE HGL36100	₡1 009 705
Breaker principal caja nueva	4 unidades	Eaton GHB3100 125A 3Pole	₡ 712 639
Bandeja porta cables	100m	Bandeja portacables tipo escalera 30cm	₡ 531 424
Receptáculos tipo GFCI	4 unidades	Hubbell GFRST20SNAPBK	₡136 044
Total			₡3 599 860

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Los precios presupuestados son directamente de los distribuidores de componentes y equipos eléctricos GRAIGER, distribuidor oficial de Cooper Standard, a quienes, por convenios con la empresa, se les proporciona el beneficio de un envío completamente gratuito desde Estados Unidos de América, razón por la que este valor no es considerado en la cotización.

Se puede ver el detalle del costo de cada elemento en la sección de Anexos, a partir de la Figura 103.

Al hablar con personal técnico con experiencia realizando ampliaciones o modificaciones en el sistema, este proyecto puede completarse en una jornada laboral de 40 horas, tomando en cuenta las múltiples modificaciones y añadidos que se deben implementar, empleando dos técnicos electricistas y dos ayudantes eléctricos, quienes reciben un salario de ₡2 800 por cada hora, considerando el respectivo rebajo de cargas sociales, en jornada diurna. Se tiene, entonces, un costo total de pago por salarios para los dos técnicos y dos ayudantes, de ₡448 000.

Se propone que este proyecto se realice durante el próximo paro de mantenimiento programado en la planta para lograr una desconexión total. De esta forma, el total de horas

necesarias se trabajará en cinco días laborales de la semana de shut down; de este modo, los equipos pueden ser intervenidos sin que se encuentren energizados, lo que, a su vez, no generaría retrasos ni pérdidas en la producción de Planta 3.

El resumen de los datos determinados se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Costos totales de implementación de recomendaciones propuestas

Costos	₡
Materiales	3 599 860
Mano de obra (salario de técnicos)	448 000
Total	4 087 860

Fuente: Elaboración propia, realizado en Word (2023).

Estas mejoras son fundamentales para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica. Una falla en cualquiera de los ramales podría provocar un paro no planificado en la producción, lo que resultaría en tiempos de inactividad y posibles daños en barras de tableros, conductores de acometida, o incluso transformadores.

Dado que es imposible predecir cuándo ocurrirá una falla y qué impacto tendrá, ya que no se acostumbra reportar las reparaciones por anomalías de este tipo, el costo de una posible falla no se puede determinar con precisión. Sin embargo, se puede estimar mediante posibles escenarios de paro de la planta y lo reflejado en las pérdidas que generaría por hora.

Si bien se sabe, la Planta 3 produce \$4 610.17 en ventas por hora, lo que equivale a ₡2 433 509; si se divide esta cantidad entre las 40 líneas que operan simultáneamente durante el turno diurno, se obtiene un promedio de ₡60 837.72 por línea, dinero que se pierde por cada hora que una línea pase detenida. Está demostrado a continuación:

$$Pérdida\ por\ línea = \frac{2433509}{40} = ₡\ 60\ 837$$

En Planta 3 no se cuenta con registros históricos de las intervenciones por mantenimientos correctivos, de carácter eléctrico, en componentes del sistema, así como registros de fallas que, a su vez, produzcan que una línea de producción se detenga.

Se estimó una frecuencia donde se da un paro por línea de producción, consultando a los supervisores y técnicos electromecánicos de Planta 3 al respecto, considerando que ellos son quienes se encargan de realizar estas reparaciones. Por medio de estas entrevistas, se determinó que, si se da un fallo en el sistema eléctrico del área de producción, este sería en los ducto barras, donde se encuentran conectados todos los equipos de producción. En los ducto barras, la falla eléctrica más común es el cambio de fusibles por activación, en un periodo de

tres meses, si alguna línea de producción se detuviera dos horas aproximadamente, como consecuencia de fallas de este tipo.

Para proceder con el cambio, se debe desconectar la alimentación del ducto barra (disyuntor proveniente del alimentador principal), por políticas de seguridad de la empresa. Por esta razón, varias líneas se ven afectadas y detenidas en la planta de producción.

Para ejemplificar el escenario, se utiliza el ducto barra 3, como se ha realizado en el resto del proyecto, el cual opera con 20 máquinas. Cada equipo pertenece a una línea de producción diferente, por lo que, si se da una falla en este ducto barra, por hora se estarían perdiendo:

$$\text{Pérdida por falla} = 60837.72 \cdot 20 = \text{¢}12\,167\,422 \text{ Por hora.}$$

El resumen de los datos determinados se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores de costos de inversión y de pérdidas generadas por hora por falla de línea de producción

Valores	¢
Costos de inversión	4 087 860
Pérdidas por trimestre	12 167 422.00

Fuente: Elaboración propia, realizado en Word (2023).

4.9.1 Cálculo del ROI

Con los valores determinados, se calculó el porcentaje de retorno de inversión para el proyecto, tomando en cuenta que las pérdidas de ¢12 167 422, una vez que el proyecto se lleve a cabo, se evitarán, y esta cantidad será la de las ganancias generadas por el proyecto, de la siguiente manera:

$$\text{ROI (\%)} = ((\text{Ganancias} - \text{Costo de Inversión}) / \text{Costo de Inversión}) \times 100$$

Donde:

Ganancias son las ganancias generadas por el proyecto, y Costo de Inversión es la inversión inicial en el proyecto.

Se sustituyen los valores:

$$\text{ROI (\%)} = ((12.167.422 - 4\,087\,860) / 4\,087\,860) \times 100 = 197.64\%$$

El ROI en este caso sería del 197.64%. Esto significa que el proyecto genera un retorno positivo de aproximadamente el 197.64% sobre la inversión inicial de ¢4 087 860. Mediante este indicador, se determina que el proyecto es rentable.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A partir de la investigación llevada a cabo, la ejecución del proyecto y considerando diversas fuentes bibliográficas, los cálculos manuales efectuados, y la simulación realizada en software de simulación ETAP, se derivan las siguientes conclusiones en relación con los objetivos establecidos:

Se completó el levantamiento de la instalación eléctrica y del modelo actual de la planta, así como los planos eléctricos y unifilares completos, proporcionando una base sólida para la comprensión de las condiciones actuales de la planta, según los estándares del NEC.

Se calcularon las corrientes de cortocircuito en la configuración actual, utilizando el Método de KVA Equivalentes. Determinando que la máxima corriente de corto circuito de 45,32kA se generan en el Sub Alimentador principal.

Se validan corriente de cortocircuito manuales, con una comparación contra los resultados obtenidos mediante el software ETAP con una diferencia máxima de 2,15kA. Se determina la correcta selectividad de protecciones del sistema con excepción del disyuntor del Transformador CS-P3-KL34-TS07. Se analiza el nivel de riesgo eléctrico de cada tablero, donde se advierte del peligro por arco eléctrico de riesgos de Nivel A y Nivel B en cada centro de carga respectivamente, así como y las medidas de seguridad necesarias para realizar trabajos en cada uno.

Se respaldaron las recomendaciones propuestas, para robustecer el sistema mediante los beneficios que generaría su implementación. Se determinó que el proyecto genera un retorno positivo de aproximadamente el 197.64% sobre la inversión inicial de ₡4 087 860.

Estas mejoras fortalecerán la infraestructura eléctrica, y mitigarán las pérdidas ocasionadas por fallas en el sistema eléctrico de la planta de producción. Esto se traduce en una mayor confiabilidad y eficiencia operativa, así como en la reducción de posibles interrupciones costosas.

5.2 Recomendaciones

Con base en el análisis realizado y las conclusiones descritas anteriormente, se recomienda que:

- Durante el próximo paro programado, se realicen las modificaciones del sistema que se proponen, cambiar breakers requeridos, agregar circuitos, portacables y tableros necesarios.
- Es indispensable para un control y análisis de fallas. que se registre cada paro, intervención, ampliación o reparación que se dé en la planta, por inconvenientes del sistema eléctrico.
- Realizar los análisis de cortocircuito, coordinación de protecciones y arco eléctrico en Planta 1 y Planta 2 de Cooper Standard, con el fin de resolver las mismas necesidades que aún tienen estas dos plantas en temas de seguridad, legislación y normativa vigente.
- Se recomienda realizar estos estudios con la respectiva actualización de planos y diagramas unifilares al menos cada tres años, para mantener un control de las cargas instaladas, para asegurarse de que no supere la demanda instalada capaz de soportar para el sistema.
- Crear procesos de mantenimientos preventivos, programados para monitoreo, revisión y control del consumo de los centros de carga y ducto barras, así como el estado físico de los conductores y breakers como medida de prevención.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- G Barahona, (2015). Análisis de Cortocircuitos I.
- Barahona, G. (2019). NEC-Motores. Cartago.
- Brenes, D. (2019). Rediseño eléctrico del sistema de potencia y emergencia del edificio La colmena, San José, Costa Rica. Cartago.
- CIEMI. (2004). Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros en edificios. Costa Rica.
- Código Eléctrico Nacional (NEC). (2002).
- Código Eléctrico Nacional (NEC). (2008).
- Código Eléctrico Nacional (NEC). (2014)-
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) (2019). Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros en edificios.
- Cooper Standard. (s.f.). Nuestros valores. Extraído de: <https://www.cooperstandard.com/es/node/179>
- Cuaderno Técnico N.º 201 de Schneider Electric. (1991). Selectividad con los interruptores automáticos de potencia BT.
- IEEE 141. (1994). IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants.
- IEEE 551. (2006). IEEE recommended practice for calculating short-circuit currents in industrial and commercial power systems.
- IEEE Std 1015-1993. (2005). IEEE recommended practice for applying low-voltage circuit breakers used in industrial and commercial power systems (IEEE blue book).
- IEEE Std 241-(1990).. Gray book, electric power systems in commercial buildings. ISBN 1 55937-088-2.
- IEEE Std 399. (1997). IEEE recommended practice for industrial and commercial power systems analysis (IEEE brown book).
- IEEE Std C37.112. (1996). IEEE standard inverse-time characteristic equations for in industrial and commercial power systems. United States of America.
- IEEE Std 1584. (2018). Arc Flash Calculator United States of America.

- Induni Vizcaíno, J. (2013, enero). Estudio de “arc flash” en una instalación para centro de datos en baja tensión utilizando la norma IEEE 1584-2002 (TFG). Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería.
- La Gaceta. (8 de febrero de 2019). Reforma al Decreto Ejecutivo N.º 36979-MEIC, RTCR 458:2011 Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad, publicado en La Gaceta N.º 33 del 15 de febrero del 2012. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Moon H. Yuen. El ABC del cortocircuito. Técnica de los MVA (kVA). Miembro senior del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (E.U.A.).
- Mullin, R. C., y Simmons. P. (2014). Electrical wiring. Based on the NEC 2014. (18a ed.).
- National Fire Protection Association (NFPA). (2014). NEC 2014. Massachusetts: NFPA 70E. overcurrent relays.
- Ramírez, M. (2021). Rediseño del sistema eléctrico de la Fábrica nacional de licores. Cartago.
- Rojas, M. (2019). Propuesta para el cambio de Nivel de tensión de 230/460 v en Plantel de PROTECTO en Ochomogo . Cartago.
- Stevenson, W. (1979). *Análisis de sistemas eléctricos de potencia*. (2a ed.). McGraw-Hill, México.
- United States of America IEEE 1584. (2018). Guide for performing arc-flash hazard calculations. IEEE Standard, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY.
- Wildi, T. (2007). Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México.

CAPÍTULO VII. APÉNDICES

Apéndice 1. Planos

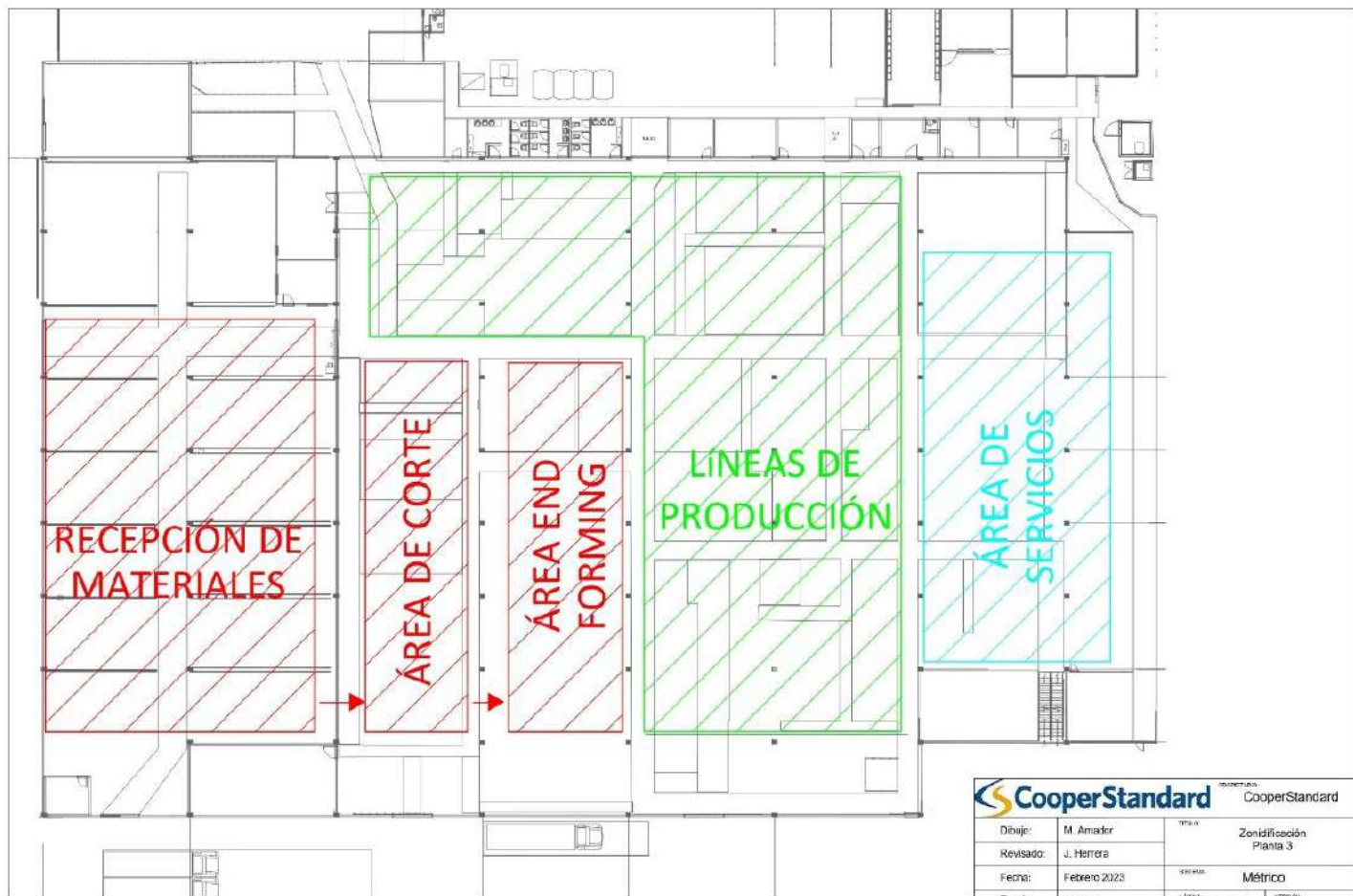


Figura 28. Proceso productivo de Cooper Standard Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

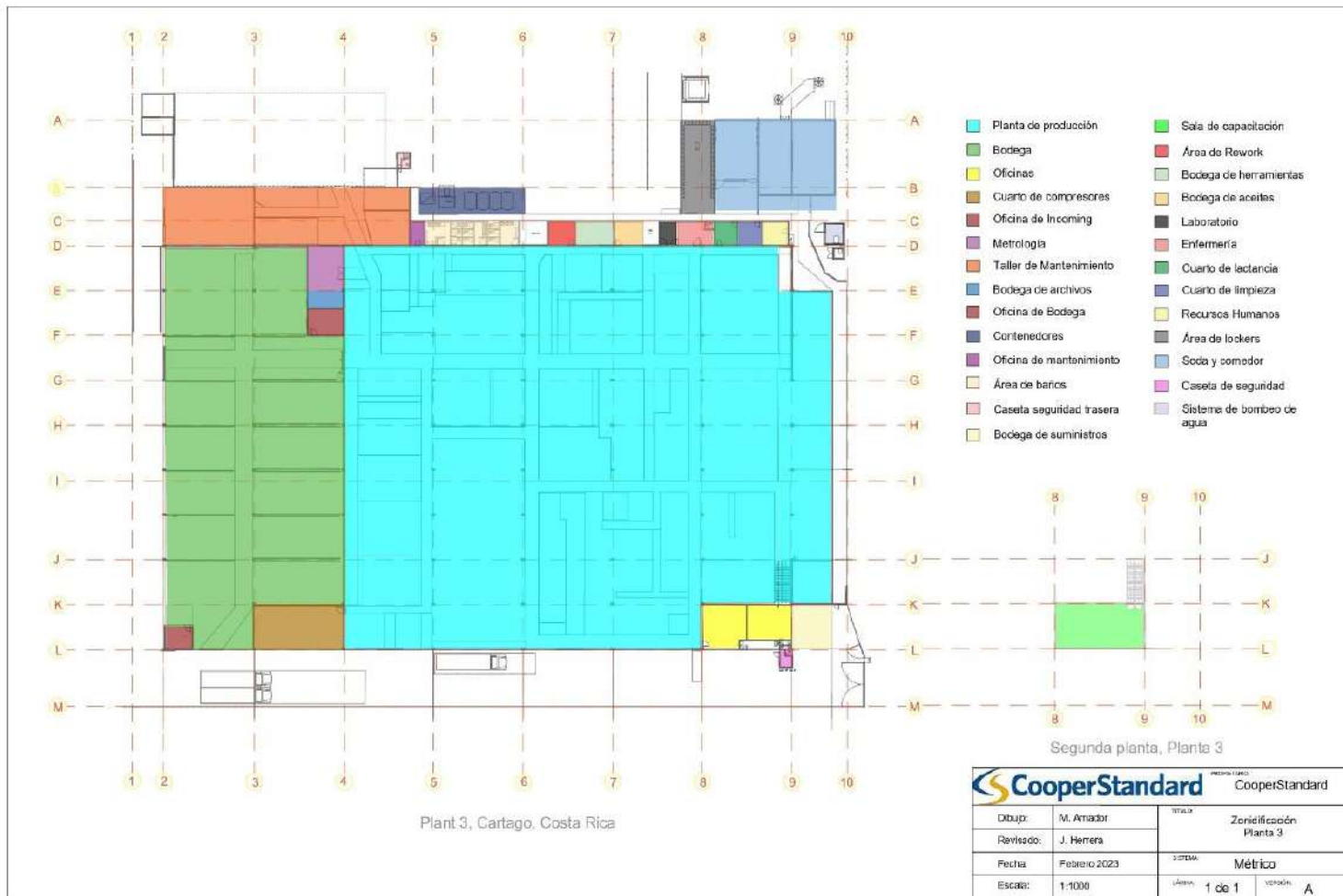


Figura 29. Plano de Zonificación de Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

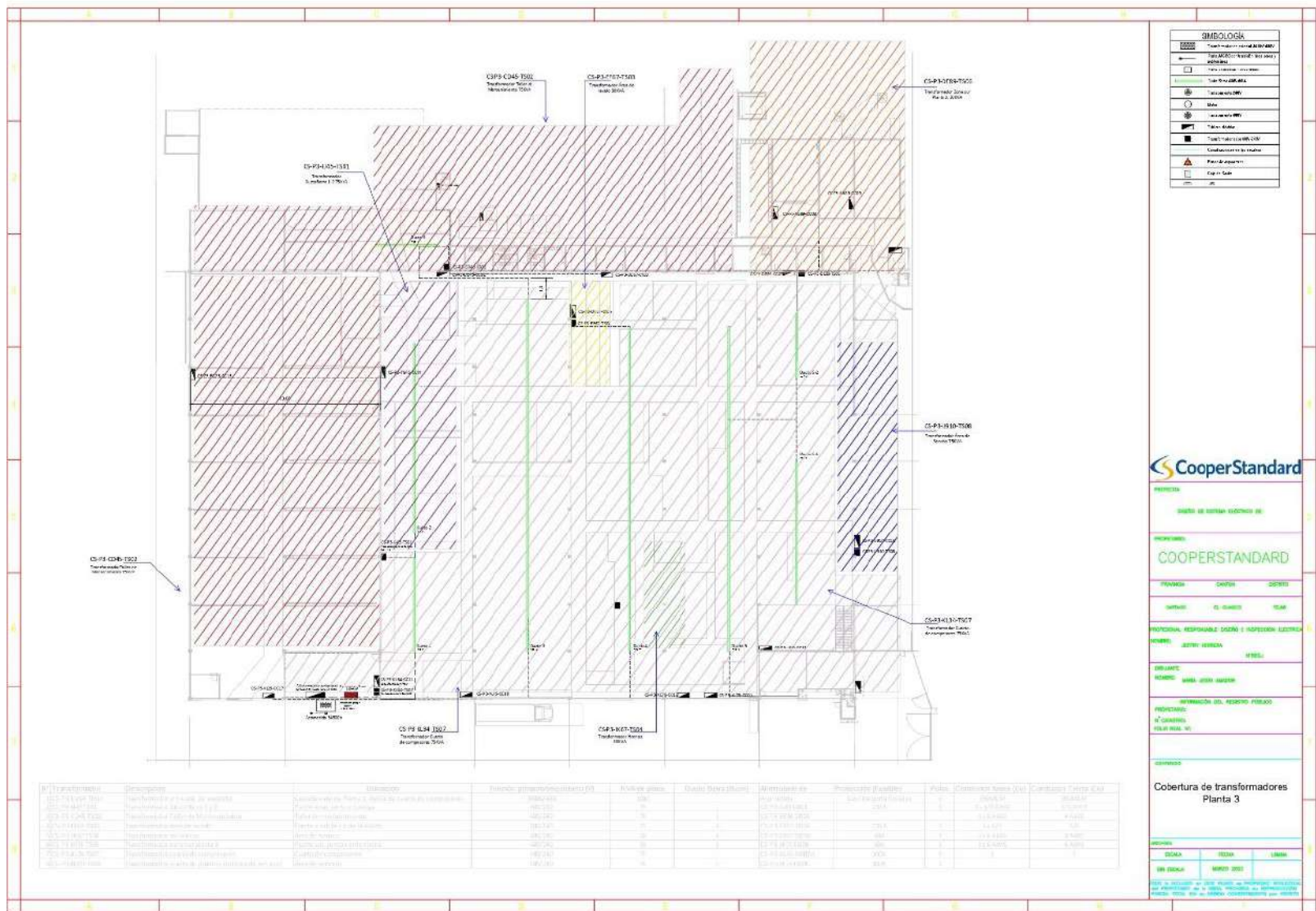


Figura 31. Cobertura de transformadores secos, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

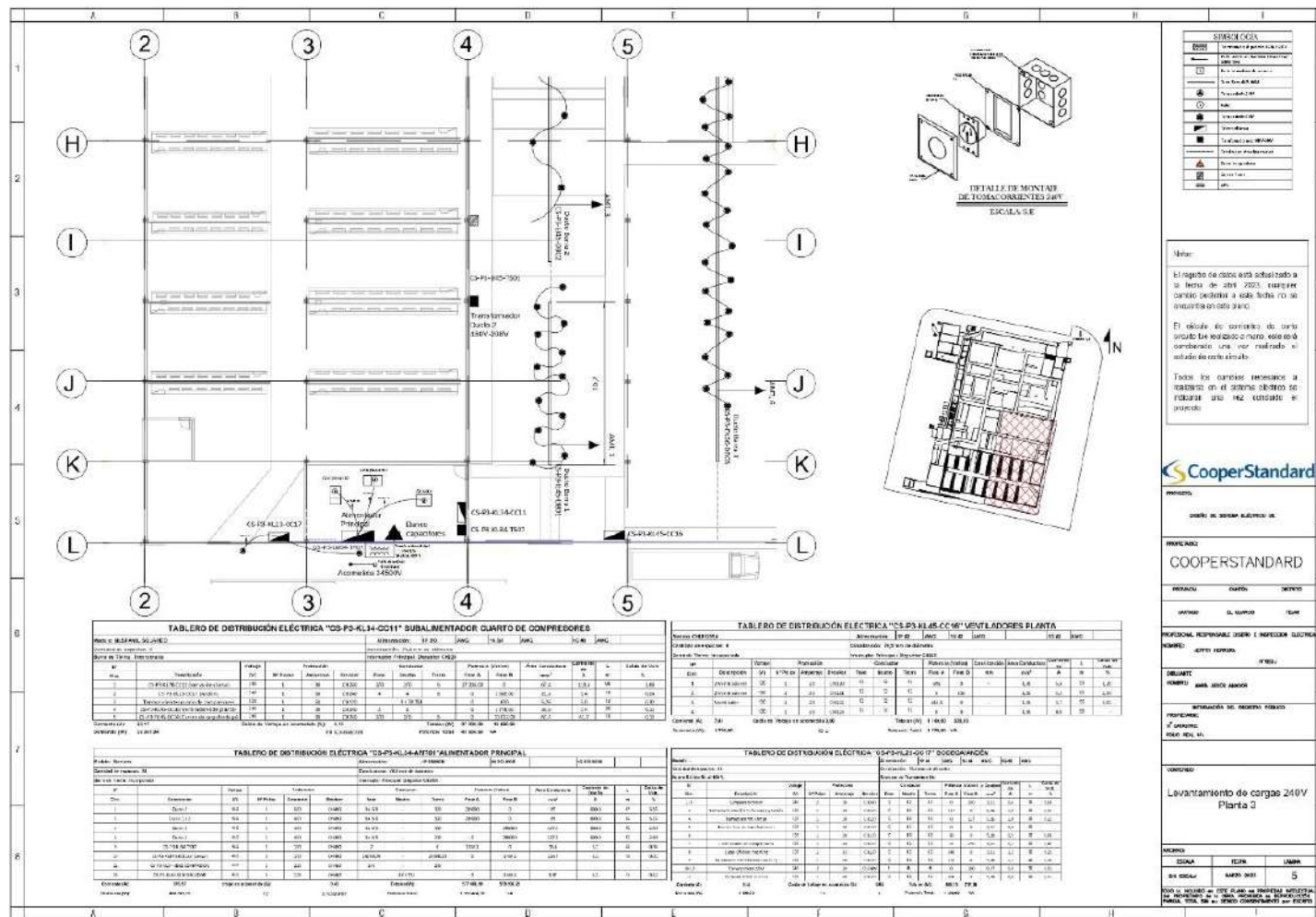


Figura 32. Cargas especiales a 240V, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

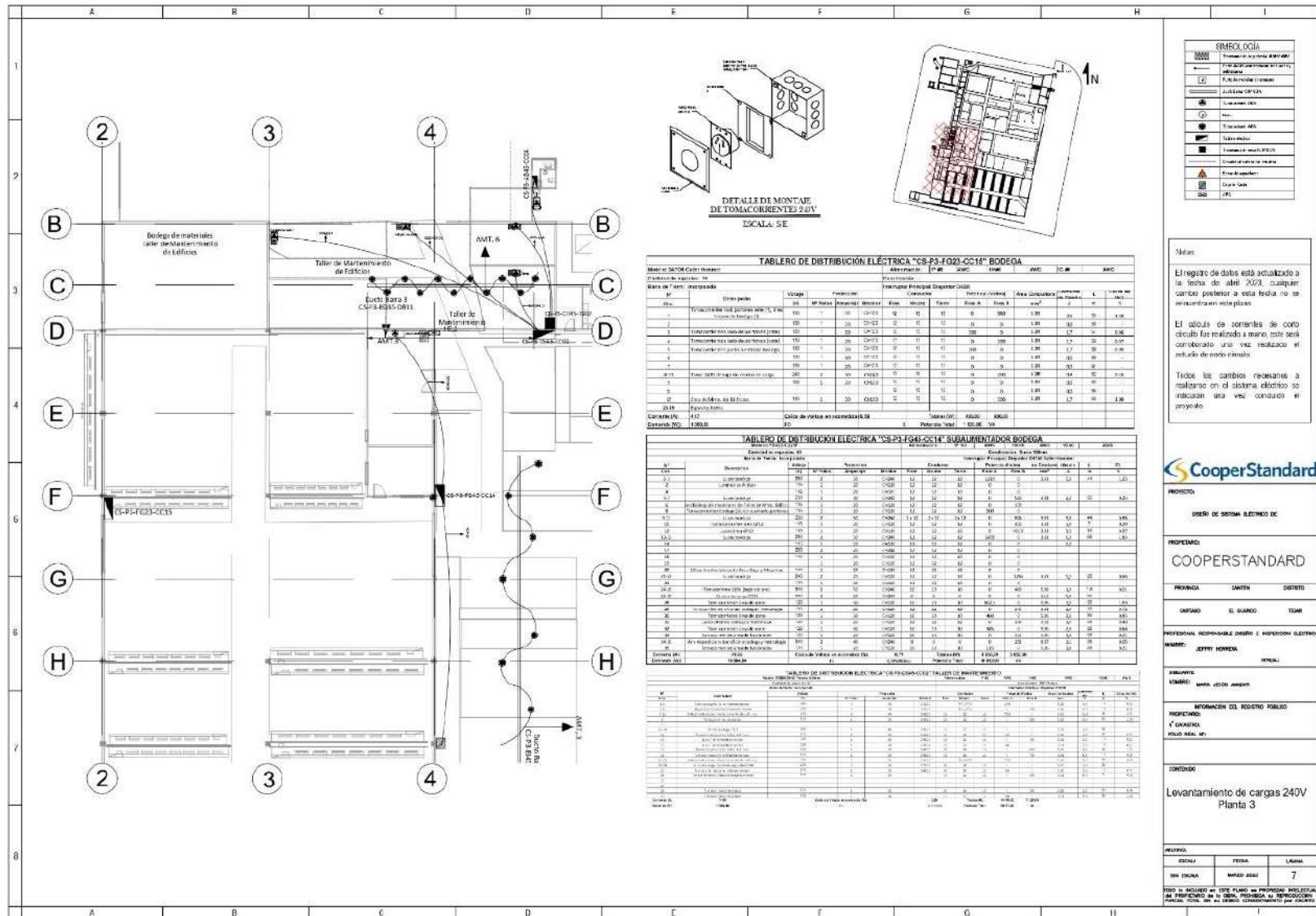


Figura 33. Cargas especiales a 240V, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

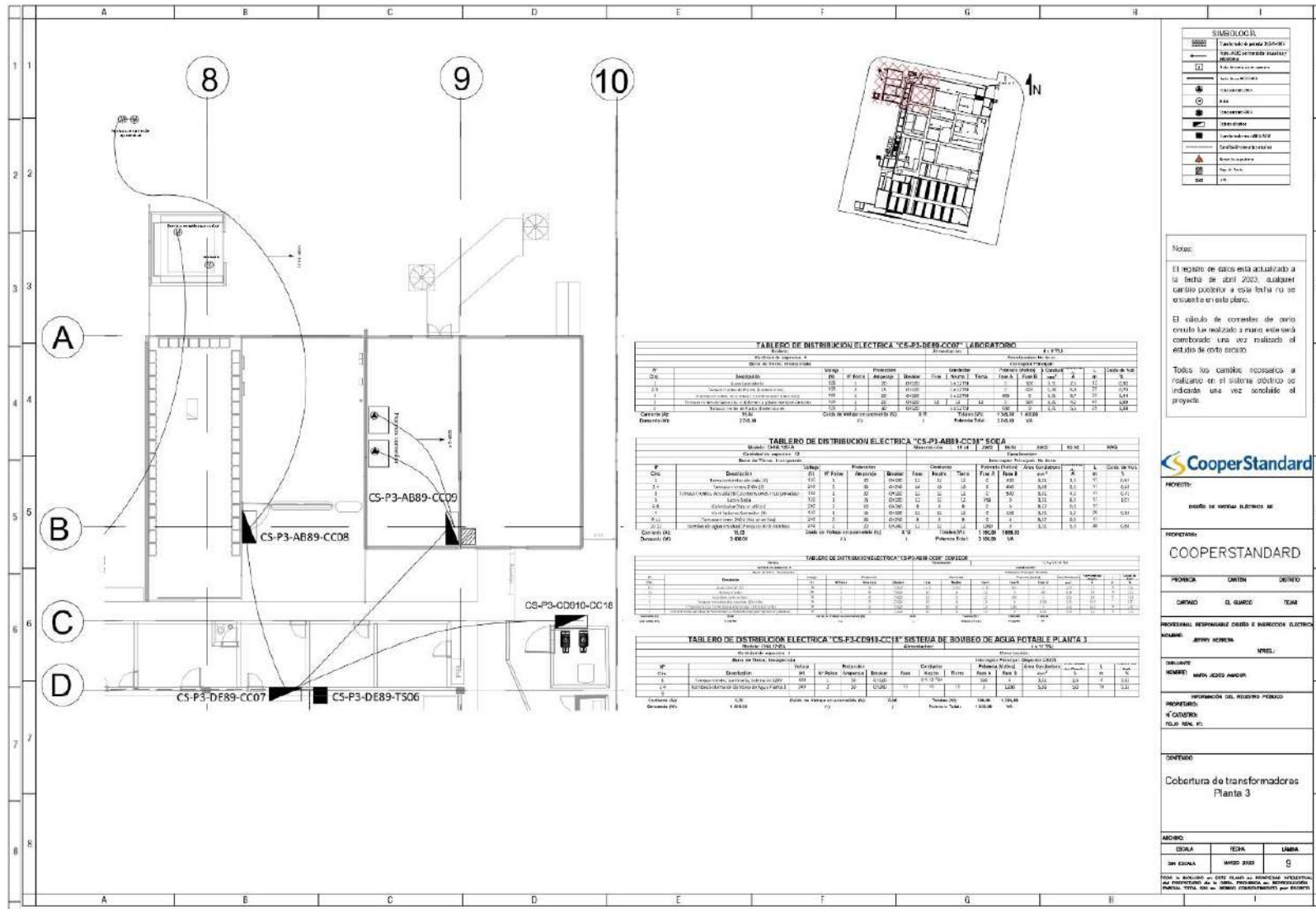


Figura 36. Cargas especiales a 240V, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023)

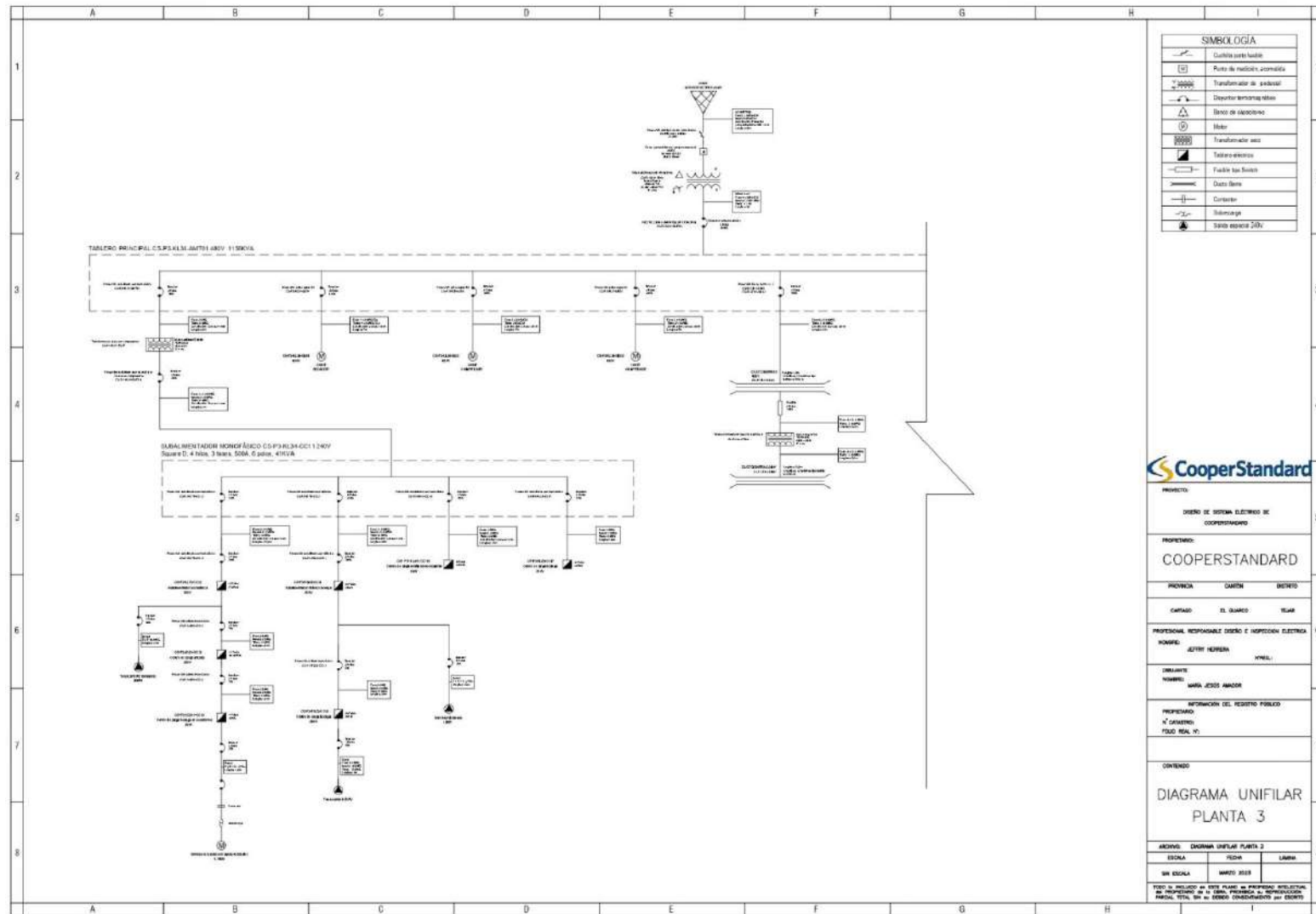


Figura 41. Diagrama unifilar, Planta 3. Parte 1 Fuente: Elaboración propia, realizado en AutoCAD (2023).

Tableros Electricos Planta 3

N°	Tablero	Descripción	Ubicación	Tensión fase (V)	Alimentado de	Protección (Disyuntor)	Polos	Conductor fases (C)	Conductor Neutro (C)	Conductor Tierra (C)
1	CS-P3-KL34-AMT01	Alimentador principal	Cuarto de compresores	480	CS-P3-LM34-TH01	2000A	3	4x 500 MCM	4 x 500 MCM	4 x 1/0
2	CS-P3-KL78-CC01	Centro de carga luminarias de planta de producción	Pasillo norte, Nave 2	480	CS-P3-KL34-AMT01	No tiene	-	3 x 350 MCM	4 x 350 MCM	3 x 350 MCM
3	CS-P3-DE45-CC02	Centro de carga de Taller de mantenimiento	Pasillo sur, entrada Taller de Mnto.	480	CS-P3-CD45-TS02	200A	3	3 x 2 AWG	1 x 2 AWG	1 x 6AWG
4	CS-P3-DE67-CC03	Centro de carga baños, Laboratorio, RRHH, bodegas	Pasillo sur, entrada Rework	240	CS-P3-DE45-CC02	100A	2	2 x 2AWG	1 x 2 AWG	-
5	CS-P3-AB45-CC04	Centro de carga de caseta de seguridad	Caseta de guarda trazera	240	CS-P3-DE45-CC02	20A	3	2 x 10 AWG	1 x 10 AWG	1 x 12AWG
6	CS-P3-DE67-CC05	Centro de carga Área de lavado	Área de lavado	240	CS-P3-EF67-TS03	200A	3	3 x 3/0 AWG	1 x 3/0 AWG	1 x 4AWG
8	CS-P3-DE89-CC07	Centro de carga de Laboratorio	Pasillo sur, entrada laboratorio	240	CS-P3-DE89-TS05	No tiene	-	2 x 10 AWG	1 x 10 AWG	1 x 10 AWG
9	CS-P3-AB89-CC08	Centro de carga Soda	Soda	240	CS-P3-DE89-TS05	No tiene	-	2 x 4 AWG	1 x 4 AWG	1 x 4 AWG
10	CS-P3-AB89-CC09	Centro de carga Comedor	Comedor	240	CS-P3-DE89-TS05	No tiene	-	-	4 x 8 TSJ	-
11	CS-P3-IJ910-CC10	Centro de carga Área de servicio	Costado oeste planta, área de servicio	240	CS-P3-IJ910-TS08	225A	3	3/0 AWG	3/0 AWG	4 AWG
12	CS-P3-KL34-CC11	Centro de carga SubAlimentador cuarto de compresores	Cuarto de compresores	240	CS-P3-KL34-AMT01	200A	2	2 x 3/0 AWG	1 x 3/0 AWG	1 x 8AWG
13	CS-P3-KL78-CC12	Centro de carga tomacorrientes planta de producción	Pasillo norte, entrada principal planta	240	CS-P3-KL34-CC11	200A	2	2 x 2/0 AWG	1 x 2/0 AWG	1 x 6AWG
14	CS-P3-JK89-CC13	Centro de carga Oficinas	Oficinas	240	CS-P3-KL78-CC12	70A	2	2 x 2 AWG	1 x 2 AWG	1 x 8AWG
15	CS-P3-FG45-CC14	Centro de carga SubAlimentador Bodega	Pasillo este, entrada bodega	240	CS-P3-KL34-CC11	150A	2	2 x 1/0 AWG	1 x 1/0 AWG	1 x 6 AWG
16	CS-P3-FG23-CC15	Centro de carga de portonez andén	Bodega costado este	240	CS-P3-FG45-CC14	50A	2	2 x 6 AWG	1 x 6 AWG	1 x 8 AWG
17	CS-P3-KL45-CC16	Centro de carga Ventiladores	Pasillo norte, entrada principal planta	240	CS-P3-KL34-CC11	100A	3	2 x AWG	1 x 2 AWG	2 x 2 AWG
18	CS-P3-KL23-CC17	Centro de carga Bodega/Andén	Bodega costado norte	240	CS-P3-KL34-CC11	30A	3	2 x 4 AWG	1 x 4 AWG	1 x 8 AWG
19	CS-P3-CD910-CC18	Centro de carga Sistema de bombeo de agua potable	Pasillo externo norte, junto a comedor	240	CS-P3-DE89-TS05	No tiene	-	-	4 x 10 TSJ	-
20	CS-P3-CD910-CC19	Centro de carga Bodega de suministros	Bodega de suministros	240	CS-P3-JK89-CC13	No tiene	-	2 x 4 AWG	1 x 4 AWG	3 x 8 AWG
21	CS-P3-BC56-CC20	Centro de carga Sistema de agua de baños y recirculación	Costado sur exterior, detrás de los baños	240	CS-P3-DE45-CC03	No tiene	-	2 x 4 AWG	1 x 4 AWG	4 x 8 AWG

Transformadores Planta 3

N°	Transformador	Descripción	Ubicación	V primaria/secundaria	KVA de placa	Ducto Barra (Barr)	Alimentado de	Protección (Fusible)	Polos	Conductor fases (C)	Conductor Tierra
1	CS-P3-LM34-TH01	Transformador principal, de pedestal	Costado este de Planta 3, detrás de cuarto de compresores	3450/480	1000	-	Acometida	Fusible de poste	3	-	-
2	CS-P3-IJ45-TS01	Transformador Ducto Barra 1 y 2	Pasillo este, junto a bodega	480/240	75	1	CS-P3-IL45-DB01	100 A	3	3 x 3/0 AWG	3/0 AWG
3	CS-P3-CD45-TS02	Transformador Taller de Mantenimiento	Taller de mantenimiento	480/240	75	3	CS-P3-EK56-DB03	-	-	3 x 6 AWG	6 AWG
4	CS-P3-EF67-TS03	Transformador Área de lavado	Delante a salida sur de la planta	480/240	75	4	CS-P3-EK67-DB04	100 A	3	3 x 4/0	3/0
5	CS-P3-JK67-TS04	Transformador de Hornos	Área de hornos	480/240	30	4	CS-P3-EK67-DB04	60A	3	3 x 6 AWG	8 AWG
6	CS-P3-DE89-TS06	Transformador zona sur planta 3	Pasillo sur, junto a enfermería	480/208	75	5	CS-P3-JK78-DB05	30A	3	3 x 6 AWG	6 AWG
7	CS-P3-KL34-TS07	Transformador cuarto de compresores	Cuarto de compresores	480/240	30	-	CS-P3-KL34-AMT01	100A	3	2	6
8	CS-P3-IJ910-TS08	Transformador planta de producción (área de servicio)	Área de servicio	480/240	75	5	CS-P3-JK78-DB05	100A	3	-	-

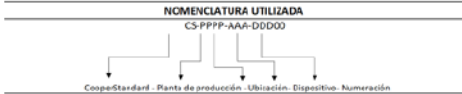
Ducto Barras Planta 3

N°	Ducto Barra	Descripción	Ubicación	Tensión (V)	Ducto Barra (Barr)	Alimentado de	Protección (Disyunt)	Polos	Conductor fases (C)	Conductor Tierra (C)	Longitud (m)
1	Ducto 1	CS-P3-IL45-DB01	Planta de producción, nave 5	480	1	CS-P3-KL34-AMT01	400A	3	6x 3/0 AWG	3/0 AWG	15
2	Ducto 2	CS-P3-EI45-DB02	Planta de producción, nave 5	240	2	CS-P3-KL34-AMT01	400A	3	3 X 2/0 AWG	2/0 AWG	30
3	Ducto 3	CS-P3-EK56-DB03	Planta de producción, nave 4	480	3	CS-P3-KL34-AMT01	400A	3	6X 4/0 AWG	2/0 AWG	65
4	Ducto 4	CS-P3-EK67-DB04	Planta de producción, nave 3	480	4	CS-P3-KL34-AMT01	400A	3	6X 4/0 AWG	3/0 AWG	65
5	Ducto 5	CS-P3-JK78-DB05	Planta de producción, nave 2	480	5	CS-P3-KL34-AMT01	600A	3	6 X 350 MCM	-	65
6	Ducto 3_1	CS-P3-BD35-DB31	Taller de mantenimiento	480	3	CS-P3-KL34-AMT01	Fusible 200 A	3	3 X 4 AWG	8 AWG	15
7	Ducto 5_1	CS-P3-HJ89-DB51	Planta de producción, nave 1	480	5	CS-P3-KL34-AMT01	Fusible 100 A	3	3 X 3/0 AWG	6 AWG	22
8	Ducto 5_2	CS-P3-EH89-DB52	Planta de producción, nave 1	480	5	CS-P3-KL34-AMT01	Fusible 200 A	3	3 X 3/0 AWG	4 AWG	10

Figura 43. Resumen información general de componente eléctricos Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).



CS-P3-KL34-AMT01			
ALIMENTADOR PRINCIPAL			
Espacio	Alimenta a	Espacio	Alimenta a
1	Ducto 5	2	
3	Ducto 1 y 2	4	Ducto 4
5		6	Ducto 3
7		8	
9	CS-P3-KL34-TS07	10	CS-P3-KL34-SE03
11		12	CS-P3-KL34-SE02
13		14	
15		16	CS-P3-KL34-SE04
17		18	
19		20	
21		22	
23		24	



Planta de producción	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB78: Comedor	AMT: Alimentador de media tensión	1
P1: Planta 2	KL33: Cuartado compresor	TR: Transformador húmedo	3
P1: Planta 3	DL13: Botega	TS: Transformador seco	3
OD45: Área de baños	CC: Centro de carga		4
	DY: Disyuntor		---
	FL: Fusible		
	UPS: Unidad de alimentación		
	DB: Ducto Barra		
	SE: Salida especial fija		

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-KL34-AMT01"ALIMENTADOR PRINCIPAL																	
Modelo: Siemens						Alimentación: 1P 350MCM		1N 350 MCM						1G 350 MCM			
Cantidad de espacios: 24						Canalización: 76,2 mm de diámetro											
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: Disyuntor CH2900											
Nº	Descripción		Voltaje	Protección		Conductor			Potencia (Vatios)			Canalización	Área Conductores	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.	
Circ.			(V)	Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	Fase C	mm	mm²	A	m	%
1	Ducto 5		480	3	600	CH480	3 x 3/0	-	3/0	36000	36000	36000	140	85	400,0	57	2,24
3	Ducto 1 y 2		480	3	400	CH480	3 x 3/0	-	3/0	36000	36000	36000	140	85	400,0	55	2,16
4	Ducto 4		480	3	400	CH480	3 x 4/0	-	3/0	36000	35000	36000	140	107,2	400,0	60	1,87
6	Ducto 3		480	3	400	CH480	3 x 4/0	-	2/0	36000	35000	36000	140	107,2	400,0	62	1,93
9	CS-P3-KL34-TS07		480	3	100	CH480	2	-	6	489,3666667	489,3666667	489,3666667	140	33,6	2,0	53	0,03
10	CS-P3-KL34-SE01 Compresor		480	3	150	CH480	250 MCM	-	250 MCM	489,3666667	489,3666667	489,3666667	-	128,7	2,0	72	0,01
12	CS-P3-KL34-SE02 COMPRESOR		480	3	225	CH480	3/0	-	2/0	489,3666667	489,3666667	489,3666667					
15	CS-P3-KL34-SE04 SECADOR		480	3	125	CH480	4 X 8 T5J			489,3666667	489,3666667	489,3666667	-	8,37	2,0	72	0,15
Corriente (A):			977,39	Itaje en acometida (%):			0,46	Totales (W):			385 957,47	385 957,47	385 957,47				
Demanda (W):			469 148,36	FD			0,405181518	Potencia Total:			1 157 872,40	VA	KVA				
Voltaje Nominal			120/240 V														
Voltaje Calculado			120/240 - CAIDA														
			Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída Y.								
ACOMETIDA PRINCIPAL			350,00	177,44	480	1 157 872,40	977,39	10	6,46								

Figura 44. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-KL34-AMT01"ALIMENTADOR PRINCIPAL Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-KL78-CC01			
Alumbrado Planta 3			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luminarias Nave 1 FILA 1	2	Luminarias Nave 3 FILA 3
3	Luminarias Nave 1 FILA 2	4	Luminarias Nave 4 FILA 1
5	Luminarias Nave 1 FILA 3	6	Luminarias Nave 4 FILA 2
7	Luminarias Nave 2 FILA 1	8	Luminarias Nave 4 FILA 3
9	Luminarias Nave 2 FILA 2	10	Luminarias Nave 5 FILA 1
11	Luminarias Nave 2 FILA 3	12	Luminarias Nave 5 FILA 2
13	Luminarias Nave 3 FILA 1	14	Luminarias Nave 5 FILA 3
15	Luminarias Nave 3 FILA 2	16	



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-KL78-CC01" LUMINARIAS DE PLANTA															
Modelo: PRL2A184ML225S Cutler Hammer						Alimentación: 1P 350MCM		IN 350 MCM		IG 350 MCM					
Cantidad de espacios: 18						Canalización: 76,2 mm de diámetro									
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: Disyuntor CH2100 en caja CH2AAS de Cutler Hammer									
Nº		Voltaje	Protección			Conductor			Potencia (Wattios)		Canalización	Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.
Circ.	Descripción	(V)	Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm²	A	m	%
1	Nave 1, Fila 1	277	1	20	CH120	12	12	12	1108	0	-	3,31	4,0	57	0,99
2	Nave 3, Fila 3	277	1	30	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	58	1,34
3	Nave 1, Fila 2	277	1	20	CH120	12	12	12	990	0	-	3,31	3,6	55	0,86
4	Nave 4, Fila 1	277	1	30	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	60	1,39
5	Nave 1, Fila 3	277	1	20	CH120	12	12	12	1195,4	0	-	3,31	4,3	54	1,02
6	Nave 4, Fila 2	277	1	40	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	62	1,43
7	Nave 2, Fila 1	277	1	20	CH120	12	12	12	1468,1	0	-	3,31	5,3	54	1,25
8	Nave 4, Fila 3	277	1	20	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	64	1,48
9	Nave 2, Fila 2	277	1	20	CH120	12	12	12	1468,1	0	-	3,31	5,3	53	1,23
10	Nave 5, Fila 1	277	1	30	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	72	1,66
11	Nave 2, Fila 3	277	1	20	CH120	12	12	12	1468,1	0	-	3,31	5,3	53	1,23
12	Nave 5, Fila 2	277	1	30	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	70	1,62
13	Nave 3, Fila 1	277	1	20	CH120	12	12	12	1468,1	0	-	3,31	5,3	56	1,29
14	Nave 5, Fila 3	277	1	30	CH120	12	12	12	0	1468,1	-	3,31	5,3	68	1,57
15	Nave 3, Fila 2	277	1	20	CH120	12	12	12	1468,1	0	-	3,31	5,3	54	1,25
16															
17															
18															

Corriente (A):	51,86	Caída de Voltaje en acometida (%):	0,24	Totales (W):	10 633,90	10 276,70
Demanda (W):	14 364,24	FD	0,686935812	Potencia Total:	20 910,60	VA
Voltaje Nominal	120/240 V					
Voltaje Calculado	120/240 - CAIDA					

	Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.
ACOMETIDA PRINCIPAL	350,00	177,40	277	20 910,60	51,86	57	0,24

Figura 45. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-KL78-CC01" LUMINARIAS DE PLANTA

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).



CS-P3-DE45-CC02		
SubAlimentador Taller de		
Espacio	Descripción	Espacio
1	Extensión 240V	2
3	Torno pequeño Taller de Mantenimiento	4
5	Máquina de soldar. Taller de Mantenimiento	6
7	Extensión 240V	8
9	Máquina de soldar. Taller Mnto. de edificios	10
11	Tomacorrientes s Taller Mnto. de edificios	12
13	Tomacorrientes s Taller Mnto. de edificios	14
15	Luces Taller de Montacimientos s taller Mnto. Edificios	16
17	Máquina de soldar. Mantenimiento de edificios	20
21	Tomacorrientes s Taller de Mantenimiento	22
23	Tomacorrientes s Taller de Mantenimiento	24
25	Tomacorrientes s de planta (sur)	26
27	Tomacorrientes s de planta (sur)	28
29	Tomacorrientes s de planta (sur)	30

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-DE45-CC02" TALLER DE MANTENIMIENTO																			
Modelo: 3TBB20(30-42) Thomas & Betts										Alimentación: IP #2		AWG		1N #2		AWG		1G #6	AWG
Cantidad de espacios: 30										Canalización: EMT 76.4mm									
Barra de Tierra: Incorporada										Interruptor Principal: Disyuntor CH3200									
Nº	Descripción	Voltaje	Protección			Conductor			Potencia (Watos)			Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.				
			Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	Fase C					mm²	A	m	%
Circ.		[V]																	
1-5	Torno pequeño Taller Mantenimiento	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			480	480	480	5,26	4,0	10	0,13				
2-6	Máquina de soldar Taller Mantenimiento	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			2500	2500	2500	5,26	20,8	10	0,66				
7-11	Máquina de soldar. Mantenimiento de edificios	240	3	40	CH120	12	12	12	2500	2500	2500	3,31	20,8	25	2,62				
8	Tomacorrientes de planta	120	1	20	CH120	12	12	12	0		600	3,31	5,0	30	1,51				
10																			
12-14	Centro de carga: CC03	240	2	40	CH120	12	12	12	0	5364	5364	3,31	22,4	26	2,93				
13	Tomacorrientes taller Mnto. Edificios	120	1	20	CH120	10	10	10	420	0		5,26	3,5	25	0,55				
15	Luces Taller Mantenimiento	208	1	20	CH120	12	12	12	525			3,31	2,5	10	0,15				
16	Luces Taller Mantenimiento de edificios	208	1	20	CH121	12	12	12	416	0		3,31	2,0	10	0,12				
17	Tomacorrientes taller Mnto. Edificios	120	1	20	CH120	10	10	10	1000			5,26	8,3	25	1,32				
18	Tomacorrientes Taller Mantenimiento.	120	1	20	CH120	12	10	10	700			3,31	5,8	10	0,59				
19-23	Máquina de soldar. Mantenimiento de edificios	240	3	30	CH120	4 x 10 TSJ			2500	2500	2500	5,26	20,8	25	1,65				
20-24	Centro de carga: Caseta de seguridad CC04	240	3	20	CH120	10	10	10	98,7	98,7	98,7	5,26	0,8	20	0,05				
25	Tomacorrientes taller Mantenimiento	120	1	20	CH120	10	10	10	600	0		5,26	5,0	10	0,32				
26	Tomacorrientes Oficina de mantenimiento	120	1	20		10	12	12	600			3,31	5,0	5	0,25				
27																			
28																			
29	Tomacorrientes de planta	120	1	20		10	10	10	300			5,26	2,5	30	0,48				
30	Tomacorrientes de planta	120	1	20		12	12	12	600	0		3,31	5,0	30	1,51				

Corriente (A)	92,88	da de Voltaje en acometida	3,22	Totales (W):	13 239,67	13 442,67	14 042,67
Demanda (W)	22 290,00	FD	0,54732965	Potencia Total:	40 725,00	VA	
Voltaje Nomina	120/240 V						
Voltaje Calculac	120/240 - CAIDA						

	Calibre	Área Cond	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	Caída V.
ACOMETIDA PRINCIPAL	2 AWG	33.60	240	40 725,00	92,88	70	3,22

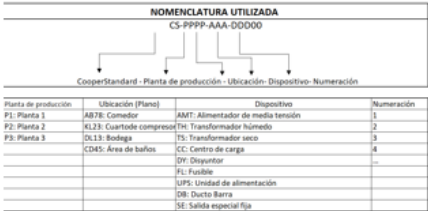
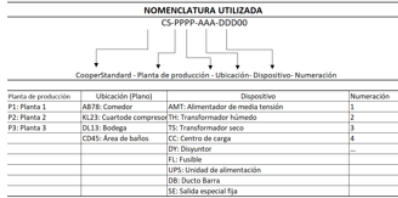


Figura 46. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-DE45-CC02" TALLER DE MANTENIMIENTO

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

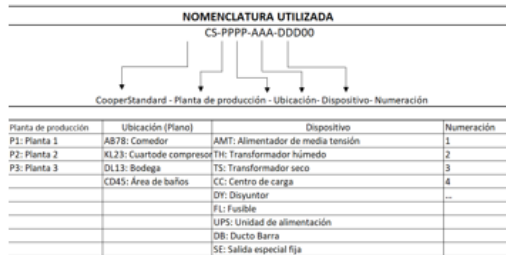
CS-P3-DE89-CC07			
Centro de carga Laboratorio			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luces de laboratorio	2-3	Tomacorrientes de Planta + Extensión 120v
5	Tomacorrientes de Laboratorio, Enfermería y Baño hombres Derecho	4	Tomacorrientes de planta (+ 10 extensiones añadidas)
		6	Tomacorrientes de Planta + Extensión 120v



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-DE89-CC07" LABORATORIO															
Modelo:						Alimentación: 4 x 8 TSJ									
Cantidad de espacios: 6						Canalización: No tiene									
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal:									
N°	Descripción	Voltaje (V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Conductor			Potencia (Watts)		Canalización	Conductor	Corriente de	L	Caída de Volt.
Circ.						Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm ²	A	m	%
1	Luces Laboratorio	120	1	20	CH120	3 x 12 TSJ			0	300	13	3,31	2,5	12	0,30
2-3	Tomacorrientes de Planta (4 extensiones)	120	2	15	CH120	3 x 12 TSJ			0	600	13	5,26	5,0	25	0,79
4	4 Tomacorrientes de planta (+ 10 extensiones añadidas)	120	1	20	CH120	3 x 12 TSJ			685	0	13	3,31	5,7	25	1,44
5	Tomacorrientes de: Laboratorio, Enfermería y Baño hombres Derecho	120	1	20	CH120	12	12	12	0	500	13	3,31	4,2	45	1,89
6	Tomacorrientes de Planta (4 extensiones)	120	1	30	CH120	3 x 12 TSJ			660	0	13	3,31	5,5	25	1,38
Corriente (A):		11,44		Caída de Voltaje en acometida (%):		0,11		Totales (W):		1345,00		1400,00			
Demanda (W):		2 745,00		FD		1		Potencia Total:		2 745,00		VA			
Voltaje Nominal		120/240 V		Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA									

	Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	Caída V.
ACOMETIDA PRINCIPAL	4 x 8 TSJ	8,37	240	2 745,00	11,44	5	0,11

CS-P3-AB45-CC04			
Centro de carga Caseta de seguridad sur			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luces y tomacorrientes de caseta	2	Extensión 240V
3		4	Compresor junto a caseta



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-AB45-CC04" CASETA DE SEGURIDAD															
Modelo:						Alimentación: 1P #10 AWG 1N #10 AWG 1G #10 AWG									
Cantidad de espacios: 4						Canalización:									
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal:-									
N°	Descripción	Voltaje (V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Conductor			Potencia (Watts)		Canalización	Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.
Circ.						Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm ²	A	m	%
1	Luces y tomacorrientes	120	1	30	CH120	12	12	12	96	0		3,31	0,8	5	0,04
2-4	Extensión 240 Compresor	240	2	20	CH120	3 x 12 TGP			0	200		3,31	0,8	5	0,02
3		120	1	20	CH121				0	0			0,0		
Corriente (A):		1,23		Caída de Voltaje en acometida (%):		0,06		Totales (W):		96,00		200,00			
Demanda (W):		296,00		FD		1		Potencia Total:		296,00		VA			
Voltaje Nominal		120/240 V		Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA									

	Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.
ACOMETIDA PRINCIPAL	10 AWG	5,26	240	296,00	1,23	15	0,06

Figura 47. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-AB45-CC04" CASETA DE SEGURIDAD Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).



CS-P3-DE67-CC05			
Centro de carga Área de lavado			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Teclé TL-10	2	Extensión 240V Multiuso
3		4	
5		6	
7	Extensión Tanque TK-06	8	Teclé TL-11
9		10	
11		12	
13	Extensión 240V Multiuso	14	Extensión Tanque TK-07
15		16	
17		18	
19	Torno área ReWork	20	Extensión Tanque TK-10
21		22	
23		24	
25	Extensión 240V Multiuso	26	Extensión Tanque TK-01
27		28	
29		30	
31	Extensión Tanque TK-01	32	Bombas de recirculación
33		34	
35		36	
37	Extensión Tanque TK-02	38	
39		40	
41		42	

NOMENCLATURA UTILIZADA
CS-PPPP-AAA-DDD00

CooperStandard - Planta de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración

Planta de producción	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB78: Comedor	AMT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	KL23: Cuartode compresor	TH: Transformador húmedo	2
P3: Planta 3	DL13: Bodega	TS: Transformador seco	3
	CD45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		DY: Disyuntor	--
		FI: Fusible	--
		UPS: Unidad de alimentación	--
		DB: Ducto Barra	--
		SE: Salida especial fija	--

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-DE67-CC05" ÁREA DE LAVADO															
Modelo: -				Alimentación:		1P 3/0	AWG	1N 3/0	AWG	1G #4	AWG				
Cantidad de espacios: 42				Canalización:											
Barra de Tierra: Incorporada				Interruptor Principal: Disyuntor CH3200											
Nº	Descripción	Voltaje (V)	Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	Fase C	Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caida de Voltaje %
1-5	Teclé TL-10	240	3	20	CH240		4 x 10 TSJ		250,0	250,0	250,0	5,26	2,1	10	0,07
2-6	Extensión 240V multiuso	240	3	30	CH240		4 x 8 TSJ		66,7	66,7	66,7	8,37	0,6	20	0,02
7-11	Extensión Tanque TK-06	240	3	40	CH240		4 x 6 TSJ		4000,0	4000,0	4000,0	5,26	33,3	20	2,11
8-12	Teclé TL-11	240	3	20	CH240		4 x 10 TSJ		250,0	250,0	250,0	5,26	2,1	10	0,07
13-17	Extensión 240V Multiuso	240	3	30	CH240		4 x 10 TSJ		66,7	66,7	66,7	5,26	0,6	12	0,02
14-18	Extensión Tanque TK-07	240	3	20	CH240		4 x 10 TSJ		4000,0	4000,0	4000,0	5,26	33,3	12	1,27
19-23	Torno área ReWork	240	3	60	CH240		4 x 10 TSJ		500,0	500,0	500,0	5,26	4,2	10	0,13
20-24		240	3	30	CH240		4 x 10 TSJ		0,0	0,0	0,0	5,26	0,0	20	-
25-29	Extensión 240V Multiuso	240	3	30	CH240		4 x 6 TSJ		66,7	66,7	66,7	13,3	0,6	12	0,01
26-30	Extensión Tanque TK-10	240	3	20	CH240		4 x 12 TSJ		4000,0	4000,0	4000,0	3,31	33,3	7	1,17
31-35	Extensión Tanque TK-01	240	3	40	CH240		4 x 8 TSJ		4000,0	4000,0	4000,0		33,3		
32-36	Bombas de recirculación	240	3	20	CH240		3 x 12 TSJ		933,3	933,3	933,3	3,31	7,8	20	0,78
37-41	Extensión Tanque TK-02	240	3	40	CH240		4 x 8 TSJ		4000,0	4000,0	4000,0	8,37	33,3	12	0,80
38-42		240	2	20	CH241		3 x 12 TSJ		0,0	0,0	0,0	9,37	0,0	13	-
Corriente (A):		135,67	da de Voltaje en acometida (0,13	Totales (W):		22 133,33	22 133,33	22 133,33					
Demanda (W):		32 560,00	FD		0,490361446	Potencia Total:		66 400,00	VA						
Voltaje Nomina		120/240 V													
Voltaje Calculad		120/240 - CAIDA													

	Calibre	rea Con	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.
ACOMETIDA PRINCIPAL	3/0	85,00	240	66 400,00	135,67	5	0,13

Figura 49. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-DE67-CC05" ÁREA DE LAVADO

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-AB89-CC08			
Área de soda			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Tomacorrientes de soda	2	Tomacorrientes 240V
3	Tomacorrientes de soda	4	(3)
5	Luceminarias de Soda	6	Calentador (No se utiliza)
7	Ventiladores comedor	8	Bombas de aguas residuales (bajo porque para bicicletas)
9		10	
11		12	

NOMENCLATURA UTILIZADA			
CS-PPPP-AAA-DDDDDD			
Código: Plantas de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración			
Planta de producción	Ubicación (Planta)	Dispositivo	Numeración
P3: Planta 3	AB89: Comedor	AWT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	SL3: Cochera compressora	TR: Transformador Normal	2
PK: Planta 4	D.L3: Baños	TR: Transformador carga	3
	CH45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		OP: Operador	5
		FL: Fuelle	6
		UPR: Unidad de alimentación	7
		DB: Ducto Base	8
		SE: Señal específica	9

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-AB89-CC08" SODA															
Modelo: CH16L126FA							Alimentación:		P, M y G 4 x 8 T3J						
Cantidad de espacios: 12							Canalización:								
Barra de Tierra: Incorporada							Interruptor Principal: No tiene								
Nº	Descripción	Voltaje (V)	Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Potencia (Watts)	Canalización	Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.	
Circ.		(V)				Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm²	A	m	%
1	Tomacorrientes de soda (4)	120	1	30	CH120	12	12	12	0	400		3,31	3,3	17	0,57
2-4	Tomacorrientes 240V (5)	240	2	30	CH240	10	10	10	0	600		5,56	2,5	17	0,15
3	Tomacorrientes de soda (5) (2 extensiones incorporadas)	120	1	30	CH120	12	12	12	0	500		3,31	4,2	17	0,71
5	Luces Soda	120	1	15	CH120	12	12	12	750	0		3,31	5,8	17	1,07
6-8	Calentador (No se utiliza)	240	2	50	CH240	8	8	8	0	0		8,37	0,0	17	-
7	Ventiladores Comedor (4)	120	1	15	CH120	12	12	12	0	156		3,31	1,8	25	0,33
9-11	Tomacorriente 240 V (No se utiliza)	240	2	30	CH240	8	8	8	0	0		8,37	0,0	17	-
10-12	Bombas de agua residual (Porque de bicicletas)	240	2	20	CH240	12	12	12	1200	0		3,31	5,0	35	0,88
Corriente (A):		15,03		Caída de Voltaje en acometida (%):		0,12		Totales (W):		1 950,00		1 656,00			
Demanda (W):		3 606,00		FD		1		Potencia Total:		3 606,00		VA			
Voltaje Nominal:		120/240 V													
Voltaje Calculado:		120/240 - CAIDA													
ACOMETIDA PRINCIPAL				Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.					
				4 AWG	21,20	240	3 606,00	15,03	10	0,12					

Figura 50. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-AB89-CC08" SODA Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

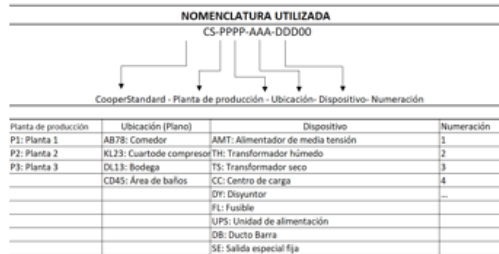
CS-P3-AB89-CC09			
Área de comedor			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luces Comedor	2	Bombas comedor
3	Tomacorrientes área común comedor	4	Tomacorrientes área de microondas (2do y 3to)
5	Tomacorrientes área de microondas (2do y 3to)	6	Tomacorrientes área de microondas (1to y 4to)
7		8	

NOMENCLATURA UTILIZADA			
CS-PPPP-AAA-DDDDDD			
Código: Plantas de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración			
Planta de producción	Ubicación (Planta)	Dispositivo	Numeración
P3: Planta 3	AB89: Comedor	AWT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	SL3: Cochera compressora	TR: Transformador Normal	2
P3: Planta 3	D.L3: Baños	TR: Transformador carga	3
	CH45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		OP: Operador	5
		FL: Fuelle	6
		UPR: Unidad de alimentación	7
		DB: Ducto Base	8
		SE: Señal específica	9

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-AB89-CC09" COMEDOR															
Modelo:							Alimentación:		P, M y G 4 x 8 T3J						
Cantidad de espacios: 8							Canalización:								
Barra de Tierra: Incorporada							Interruptor Principal: No tiene								
Nº	Descripción	Voltaje (V)	Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Potencia (Watts)	Canalización	Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.	
Circ.		(V)				Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm²	A	m	%
1-3	Luces Comedor (18)	120	2	5	CH120	2 x 12	2 x 12	2 x 12	325	0		3,01	1,7	5	1,16
2-4	Bombas comedor	240	2	30	CH240	10	10	10	0	300		5,26	3,0	10	0,12
5	Luces área común comedor	120	1	20	CH120	12	12	12	100	0		3,01	3,0	5	0,10
6	Tomacorrientes área de microondas (2do y 3to)	120	1	20	CH120	10	10	10	0	1000		5,26	5,0	7	0,10
7	Tomacorrientes (1ro y 4to área de microondas) - 6 tomacorrientes	120	1	20	CH120	10	10	10	1000	0		5,26	5,0	10	1,00
8	Tomacorrientes (Otro área de microondas) - 6 tomacorrientes (Baños y áreas y pasillos)	120	1	20	CH120	10	10	10	0	1000		5,26	3,0	5	0,10
Corriente (A):		28,02		Caída de Voltaje en acometida (%):		0,04		Totales (W):		2 925,00		3 800,00			
Demanda (W):		6 725,00		FD		1		Potencia Total:		6 725,00		VA			
Voltaje Nominal:		120/240 V													
Voltaje Calculado:		120/240 - CAIDA													
ACOMETIDA PRINCIPAL				Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.					
				4 X 8 T3J	0,37	240	6 725,00	28,02	5	0,04					

Figura 51. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-AB89-CC09" COMEDOR Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-JK89-CC13			
OFICINAS			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luminarias Oficinas, baño visitantes y parqueo	2	2 Tomacorrientes área de espera entrada 2 detrás de pared (sala orosi)
3		4	Tomacorriente para dentro oficina
5	Tomacorriente Sala Orosi	6	Tomacorriente para dentro oficina
7		8	
9		10	
11		12	Luminarias Área de servicio y caseta de vigilancia. 3
13		14	Tomacorriente oficina (columna central)
15	Tomacorrientes Sala Orosi Pared Norte y 1	16	Luces de emergencia entrada planta
17		18	Tomacorrientes Oficinas área de cubículos y 1 en la pared
19	Tomacorrientes Planta Nave 1	20	Luminarias Sala de Capacitación Turrialba
21	Tomacorrientes Sala de Capacitación Turrialba	22	Aire Acondicionado oficinas y Sala Turrialba
23		24	Tomacorrientes Área de servicio
25		26	Tomacorrientes Área de servicio
27	Centro de carga bodega de suministros	28	Tomacorrientes Área de servicio
29	CS-P3-CD910-CC19	30	Ventilador Nave 1
31		32	2 Ventiladores Nave 1
33	Tomacorriente sobre puerta principal Planta 3 y pared norte oficina	34	
35		36	
37		38	
39		40	
41		42	



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-JK89-CC13" OFICINAS																	
Modelo: PB423ML225										Alimentación:		1P Ø2	AWG	1N Ø4	AWG	1G Ø3	AWG
Cantidad de espacios: 30										Conalización: 76,2 mm de diámetro							
Barra de Tierra: Incorporada										Interruptor Principal: Disyuntor CH270							
N°	Descripción	Volaje (V)	Protección			Conductor			Potencia (Wattios)		Sección de Conductor		Corriente de Diseño	L	Costo de Volt.		
Circ.			N° Palar	Ampereaje	Breaker	Fase	Neutra	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm ²	A	m	z		
1	Luminarias Oficinas, baño visitantes y parqueo	120	1	20	CH120	10	10	10	377	0		5,26	8,1	10	0,52		
2		120	1	20	CH120	10	10	10	0	0		5,26	0,0	10	-		
3		120	1	20	CH120	10	10	10	0	0		5,26	0,0	10	-		
4	2 Tomacorrientes área de espera entrada 2 detrás de pared (sala orosi)	120	1	20	CH120	10	10	10	0	400		5,26	3,3	10	0,21		
5	Tomacorrientes Sala Orosi	120	1	20	CH120	12	12	12	1000	0		3,31	8,3	10	0,84		
6	Tomacorriente pared oeste oficina	120	1	30	CH120	12	12	12	0	100		3,31	0,8	10	0,08		
7		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0		3,31	0,0	10	-		
8		120	1	30	CH120				0	0			0,0	10	#DIV/0!		
9	Extensión multusos Sala de Capacitación	120	1	20	CH120	10	10	10	100	0		5,26	0,8	10	0,05		
10		120	1	20	CH120	10	10	10	0	0		5,26	0,0	10	-		
11		120	1	20	CH120	10	10	10	0	0		5,26	0,0	10	-		
12	Luminarias Área de servicio y caseta de vigilancia, 2 Tomacorrientes caseta de vigilancia	120	1	30	CH120	12	12	12	1440	0		3,31	12,0	10	1,21		
13		120	1	20	CH120	10	10	10	0	0		5,26	0,0	10	-		
14	Tomacorriente oficina (columna central)	120	1	30	CH120	10	10	10	100	0		5,26	0,8	10	0,05		
15	Tomacorrientes Sala Orosi Pared Norte y 1 Oeste	120	1	30	CH120	10	10	10	0	400		5,26	3,3	10	0,21		
16	Luces de emergencia entrada planta	120	1	30	CH120	12	12	12	300	0		3,31	2,5	10	0,25		
17		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0		5,26	0,0	10	-		
18	Tomacorrientes Oficinas área de cubículos y 1 en la pared	120	1	20	CH120	12	12	12	500	0		5,26	4,2	10	0,26		
19	Tomacorrientes Planta Nave 1	120	1	30	CH120	10	10	10	0	1100		5,26	9,2	10	0,58		
20	Luminarias Sala de Capacitación Turrialba	120	1	20	CH120	12	12	12	624	0		3,31	5,2	10	0,52		
21	Tomacorrientes Sala de Capacitación Turrialba	120	1	20	CH120	12	12	12	0	120		3,31	1,0	10	0,10		
22-24	Aire Acondicionado oficinas y Sala Turrialba	240	2	15	CH240				1560	0			6,5	10	#DIV/0!		
23-25		240	2	30	CH240				0	0			0,0	10	#DIV/0!		
26	Tomacorrientes Área de servicio	120	1	30	CH120	10	10	10	1200	0		5,26	10,0	10	0,63		
27-29	Centro de carga bodega de suministros CS-P3-CD910-CC19	240	2	50					0	3032			12,6	10	#DIV/0!		
28	Tomacorrientes Área de servicio	120	1	30	CH120	10	10	10	0	800		5,26	6,7	10	0,42		
30	Ventilador Nave 1	120	1	20	CH120	12	12	12	0	400		3,31	3,3	10	0,34		
31		120	1	20	CH120				0	0			0,0	10	#DIV/0!		
32	2 Ventiladores Nave 1	120	1	20	CH120	12	12	12	0	800		3,31	6,7	10	0,67		
33	Tomacorriente sobre puerta principal Planta 3 y pared norte oficina	120	1	20	CH121	12	12	12	200	0		3,31	1,7	11	0,18		

Figura 52. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-JK89-CC13" OFICINAS Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-FG45-CC14			
SUBALIMENTADOR BODEGA			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luminarias bodega	2	
3		4	
5	Luminarias bodega	6	Luces bodega de materiales de Taller de Mnto. Edificios
7		8	Tomacorrientes Bodega (ducto cuadrado, portones)
9	Luminarias bodega	10	Tomacorrientes área GP12
11		12	Luces área GP12
13	Luminarias bodega	14	
15		16	
17		18	
19		20	Máquinas obsoletas
21	Luminarias bodega	22	
23		24	Tomacorriente 220V (bajo tablero)
25	Centro de carga CC15 (Bodega, este)	26	
27	Tomacorrientes oficinas bodega y metrología	28	Tomacorriente área de corte
29	Luminarias oficinas	30	Tomacorriente área de corte
31	Tomacorrientes área de actividades	32	Tomacorriente área de corte
33	Tomacorriente s área de actividades	34	Aire Acondicionador oficina bodega y metrología
35	Tomacorriente s área de actividades	36	
37		38	
39		40	
41		42	

NOMENCLATURA UTILIZADA			
CS-PPPP-AAA-DDDD			
Cooperstand - Planta de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración			
Planta de producción:	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB7B: Comedor	AMT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	KL23: Cuartel de compresor	TH: Transformador húmedo	2
P3: Planta 3	SL13: Bodega	TS: Transformador seco	3
	CCM5: Área de baños	CC: Centro de carga	4
	DF: Disyuntor	FI: Fusible	-
	UPS: Unidad de alimentación	DB: Ducto Barra	-
	SE: Salida especial fija		-

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-FG45-CC14" SUBALIMENTADOR BODEGA																							
Modelo: PB423CC22SF										Alimentación:		1P 1/0		A/WG		1N 1/0		A/WG		1G 26		A/WG	
Cantidad de espacios: 40										Canalización: Ducto 100mm													
Barra de Tierra: Incorporada										Interruptor Principal: Disyuntor CH150 Cutler Hammer													
Nº	Descripción	Voltaje (V)	Protección			Conductor			Potencia (Wattios)		Canalización		Corriente		L	CV							
			Nº Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm²	A	m									
1-3	Luces bodega	230	2	40	CH240	12	12	12	1219	0	13	3,31	5,3	44	1,23								
2	Luminarias Ánden	115	1	20	CH120	12	12	12	0	0													
4		115	1	20	CH121	12	12	12	0	0													
5-7	Luces bodega	230	2	30	CH240	12	12	12	0	500	13	3,31	2,2	22	0,25								
6	Luces bodega de materiales de Taller de Mnto. Edificios	115	1	20	CH120	12	12	12	0	170													
8	5 Tomacorrientes Bodega (ducto cuadrado, portones)	115	1	20	CH120	12	12	12	500	0													
9-11	Luces bodega	230	2	30	CH240	2 x 12	2 x 12	2 x 12	0	874		3,31	3,8	44	0,88								
10	Tomacorrientes área GP12	115	1	20	CH120	12	12	12	0	450		3,31	3,9	7	0,29								
12	Luces área GP12	115	1	20	CH120	12	12	12	0	402,5		3,31	3,5	10	0,37								
13-15	Luces bodega	230	2	30	CH240	12	12	12	1455	0		3,31	6,3	55	1,83								
14		115	1	20	CH120	12	12	12	0	0			0,0										
17		230	2	20	CH240	12	12	12	0	0													
18		115	1	20	CH120	12	12	12	0	0													
19			1	20	CH120	12	12	12	0	0													
20	13 Luminarias fotocelda Área Gage y Máquinas obsoletas	120	1	20	CH120	12	12	12	0	0													
21-23	Luces bodega	240	2	20	CH120	12	12	12	0	1256		3,31	5,2	25	0,66								
22		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0													
24-26	Tomacorriente 220V (bajo tablero)	240	2	50	CH240	10	10	10	0	460		5,26	1,9	1,5	0,01								
25-27	Centro de carga CC15	240	2	20	CH240	6	6	6	0	0		13,3	0,0	30	-								
28	Tomacorriente área de corte	120	1	30	CH120	10	10	10	862,5	0		5,26	7,2	35	1,59								
29	Tomacorrientes oficinas bodega y metrología	120	1	20	CH120	12	12	12	0	345		3,31	2,9	25	0,72								
30	Tomacorriente área de corte	120	1	30	CH120	10	10	10	460	0		5,26	3,8	35	0,85								
31	Luces oficinas bodega y metrología	120	1	20	CH120	12	12	12	0	230		3,31	1,9	25	0,48								
32	Tomacorriente área de corte	120	1	30	CH120	10	10	10	345	0		5,26	2,9	35	0,64								
33	Tomacorrientes área de facilidades	120	1	20	CH120	10	10	10	0	115		5,26	1,0	35	0,21								
34-36	Aire Acondicionador oficina bodega y metrología	240	2	40	CH240	8	8	8	0	253		8,37	1,1	25	0,05								
35	Tomacorrientes área de facilidades	120	1	20	CH120	10	10	10	115	0		5,26	1,0	35	0,21								
37																							
38																							
39																							
40																							
Corriente (A):		41,69	Árda de Voltaje en acometida (3		0,71	Totales (W):		4 956,50	5 055,50														
Demanda (W):		10 004,80	FD		0,939280863	Potencia Total:		10 012,00	VA														

Voltaje Nomina 120/240 V
 Voltaje Calcular 120/240 - CAIDA

ACOMETIDA PRINCIPAL	Calibre	Área Cond	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	Caída V.
	1/0	53,50	240	10 012,00	41,69	55	0,71

Figura 53. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-FG45-CC14" SUBALIMENTADOR BODEGA

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-FG23-CC15			
PORTONES BODEGA			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Tomacorrientes lado portones este (1), área	2	
3	Tomacorrientes lado de portones	4	Tomacorrientes lado de portones (este)
5	Tomacorrientes junto a entrada	6	
7		8	Tomacorriente 240V (debajo de centro de carga)
9		10	
11		12	Tomacorrientes bodega de materiales área de Mnto. de Edificios
13		14	
15		16	

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-FG23-CC15" BODEGA																
Modelo: EATON Cutler Hammer						Alimentación:	1P #6	AWG	1N #6	AWG	1G #8	AWG				
Cantidad de espacios: 16						Canalización: -										
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: Disyuntor CH220										
N°	Descripción	Voltaje (V)	Protección			Conductor			Potencia (Wattios)		Análisis	Área Conductor (mm²)	Corriente de Diseño (A)	L (m)	Caída de Volt. (%)	
			N° Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B						mm
1	Tomacorrientes lado portones este (1), área trasera de bodega (1)	120	1	20	CH120	12	12	12	0	300		3,31	2,5	55	1,38	
2		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0		3,31	0,0	56	-	
3	Tomacorrientes lado de portones (este)	120	1	20	CH120	12	12	12	200	0		3,31	1,7	57	0,96	
4	Tomacorrientes lado de portones (este)	120	1	20	CH120	12	12	12	0	200		3,31	1,7	58	0,97	
5	Tomacorrientes junto a entrada bodega	120	1	20	CH120	12	12	12	200	0		3,31	1,7	59	0,99	
6		120	1	40	CH120	12	12	12	0	0		3,31	0,0	60	-	
7		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0		3,31	0,0	61	-	
8-10	Toma 240V debajo de centro de carga	240	2	30	CH240	10	10	10	0	200		5,26	0,8	62	0,16	
9		120	1	20	CH120	12	12	12	0	0		3,31	0,0	63	-	
11						12	12	12	0	0		3,31	#DIV/0!	64	#DIV/0!	
12	Tomacorrientes bodega de materiales área de Mnto. de Edificios	120	1	20	CH120	12	12	12	0	200		3,31	1,7	65	1,09	
13-16	Espacios libres															
Corriente (A):		4,17		Caída de Voltaje en acometida: 0,38				Totales (W):		400,00		600,00				
Demanda (W):		1 000,00		FD				1		Potencia Total: 1 000,00 VA						
Voltaje Nominal		120/240 V														
Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA														
ACOMETIDA PRINCIPAL		Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.								
		#6	13,30	240	1 000,00	4,17	72	0,38								

NOMENCLATURA UTILIZADA
CS-PPPP-AAA-DDDD00

CooperStandard - Planta de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración

Planta de producción	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB78: Conector	AMT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	KL23: Cuartode compresor	TH: Transformador húmedo	2
P3: Planta 3	DL13: Bodega	TS: Transformador seco	3
	CD45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		DI: Disyuntor	--
		FI: Fusible	
		UPLS: Unidad de alimentación	
		DB: Ducto Barra	
		SE: Salida especial fija	

Figura 54. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-FG23-CC15" BODEGA

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-KL45-CC16			
Ventiladores de Planta			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Ventiladores	2	Ventilador
3	Ventilador	4	
5		6	
7		8	

NOMENCLATURA UTILIZADA			
CS-PPPP-AAA-DDDDO			
CooperStandard - Planta de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración			
Planta de producción	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB78: Comedor	AMT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	KL23: Cuartode compresor	TR: Transformador húmedo	2
P3: Planta 3	DL13: Bodega	TS: Transformador seco	3
	CD45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		DI: Disyuntor	--
		FL: Fusible	--
		UPS: Unidad de alimentación	--
		DB: Ducto Barra	--
		SE: Salda especial fija	--

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-KL45-CC16" VENTILADORES PLANTA															
Modelo: CHL8125SA						Alimentación:		1P #2	AWG	1N #2	AWG	1G #2	AWG		
Cantidad de espacios: 8						Canalización: 76,2 mm de diámetro									
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: Disyuntor CH225									
N°	Voltaje		Protección			Conductor			Potencia (Watts)		Canalización	Área Conductor	Corriente de	L	Caída de Volt.
Circ.	Descripción	(V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm	mm ²	A	m	%
1	2 Ventiladores	120	1	20	CH120	12	12	12	696	0	-	3,31	5,8	55	3,21
2	2 Ventiladores	120	1	20	CH121	12	12	12	0	638	-	3,31	5,3	55	2,94
3	Ventilador	120	1	20	CH122	12	12	12	444,6	0	-	3,31	3,7	55	2,05
4		120	1	20	CH123	12	12	12	0	0	-	3,31	0,0	55	-
5															
6															
7															
8															

Corriente (A): 7,41 Caída de Voltaje en acometida 0,08 Totales (W): 1 140,60 638,00
 Demanda (W): 1 778,60 FD 1 Potencia Total: 1 778,60 VA

Voltaje Nominal 120/240 V
 Voltaje Calculado 120/240 - CAIDA

	Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.
ACOMETIDA	2,00	33,60	240	1 778,60	7,41	22,25	0,08

CS-P3-KL23-CC17			
ANDÉN (norte, bodega)			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Lámpara exterior (Fotocelda)	2	Tomacorrientes área de Scrap y Andén
3		4	Tomacorriente Rampa
5	Bomba fosa	6	
7	Luminarias cuarto de compresores	8	Luminarias Área de Incoming
9	Tomacorrientes Área de Incoming	10	Tomacorriente 240V
11	Tomacorriente Romana	12	

NOMENCLATURA UTILIZADA			
CS-PPPP-AAA-DDDDO			
CooperStandard - Planta de producción - Ubicación - Dispositivo - Numeración			
Planta de producción	Ubicación (Plano)	Dispositivo	Numeración
P1: Planta 1	AB78: Comedor	AMT: Alimentador de media tensión	1
P2: Planta 2	KL23: Cuartode compresor	TR: Transformador húmedo	2
P3: Planta 3	DL13: Bodega	TS: Transformador seco	3
	CD45: Área de baños	CC: Centro de carga	4
		DI: Disyuntor	--
		FL: Fusible	--
		UPS: Unidad de alimentación	--
		DB: Ducto Barra	--
		SE: Salda especial fija	--

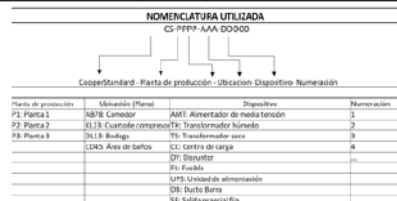
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-KL23-CC17" BODEGA/ANDÉN														
Modelo: -						Alimentación:		1P #4	AWG	1N #4	AWG	1G #8	AWG	
Cantidad de espacios: 12						Canalización: 76,2 mm de diámetro								
Neutro Sólido: S _N al 100 %						Supresor de Transientes: No								
N°	Voltaje		Protección			Conductor			Potencia (Watts)		Área Conduc	Corriente de	L	Caída de Volt.
Circ.	Descripción	(V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm ²	A	m	%
1-3	Lámpara exterior	240	2	30	CH240	12	12	12	0	150	3,31	0,6	20	0,06
2	Tomacorrientes áreas de Scrap y Andén	120	1	30	CH120	10	10	10	117	0	5,26	1,0	20	0,12
4	Tomacorriente Rampa	120	1	30	CH120	10	10	10	0	117	5,26	1,0	20	0,12
5	Bomba fosa de transformador	120	1	20	CH120	12	12	12	0	0	3,31	0,0	20	-
6		120	1	20	CH120	10	10	10	60	0	5,26	0,5	20	0,06
7	Luces cuarto de compresores	120	1	20	CH120	12	12	12	0	270	3,31	2,3	20	0,45
8	Luces Oficina incoming	120	1	15	CH120	12	12	12	140	0	3,31	1,2	20	0,23
9	Tomacorrientes Oficina incoming	120	1	20	CH120	10	10	10	152	0	5,26	1,3	20	0,16
10-12	Tomacorriente 220V	240	2	20	CH240V	8	8	8	0	200	8,37	0,8	20	0,03
11	Tomacorriente romana	120	1	20	CH120	10	10	10	100	0	5,26	0,8	20	0,11

Corriente (A): 5,44 Caída de Voltaje en acometida (%): 0,05 Totales (W): 569,00 737,00
 Demanda (W): 1 306,00 FD 1 Potencia Total: 1 306,00 VA

ACOMETIDA PRINCIPAL	Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.
	#1	21,20	240	1 306,00	5,44	12	0,05

Figura 55. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-KL45-CC16" VENTILADORES PLANTA y "CS-P3-KL23-CC17" BODEGA/ANDÉN Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

CS-P3-CD910-CC18			
Sistema de bombeo de agua potable Planta 3			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Tomacorriente y Luminaria 1 Extensión 120V	2	Controlador Sistema de Bombeo de Agua Planta 3
3		4	



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-CD910-CC18" SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PLANTA 3														
Modelo: CH4L1255A						Alimentación:		4 x 10 TSJ						
Cantidad de espacios: 4						Canalización:								
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: Disruptor CH225								
N°	Descripción	Voltaje (V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Conductor			Potencia (Watts)		Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.
Circ.						Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm ²	A	m	%
1	Tomacorriente, Luminaria, Extensión 120V	120	1	30	CH120		3 X 12 TSJ		300	0	3,31	2,5	6	0,15
2-4	Bombas Sistema de Bombeo de Agua Planta 3	240	2	30	CH240	10	10	10	0	2200	5,56	9,2	10	0,27
Corriente (A):		10,42	Caída de Voltaje en acometida (%):		0,63	Totales (W):		300,00	2 200,00					
Demanda (W):		2 500,00			1	Potencia Total:		2 500,00	VA					
Voltaje Nominal		120/240V												
Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA												
ACOMETIDA PRINCIPAL				Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.				
				4 X 10 TSJ	3,31	240	2 500,00	10,42	12	0,63				

CS-P3-CD910-CC19			
Centro de carga de Bodega de suministros			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Luminarias Área de servicio y Bodega de suministros	2	Controlador Bomba de agua residuales (pasillo exterior este)
3	Tomacorrientes bodega de suministros	4	

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-CD910-CC19" BODEGA DE SUMINISTROS															
Modelo: CH4L1255A						Alimentación:		1P #10 AWG 1N #10 AWG 1G #10 AWG							
Cantidad de espacios: 4						Canalización:									
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: 50A									
N°	Descripción	Voltaje (V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Conductor			Potencia (Watts)		Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.	
Circ.						Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm ²	mm ²	A	m	%
1	Área de servicio (100W x 8) y bodega de suministros	120	1	20	CH120	12	12	12	0	888	-	3,31	7,4	10	0,75
3	Tomacorrientes bodega de suministros	120	1	20	CH120	12	12	12	0	144		3,31	1,2	10	0,12
2-4	Bombas de agua residuales	240	2	20	CH240	12	12	12	2000			3,31	8,3	20	0,84
Corriente (A):		12,63	Caída de Voltaje en acometida (%):		0,03	Totales (W):		2 000,00	1 032,00						
Demanda (W):		3 032,00			1	Potencia Total:		3 032,00	VA						
Voltaje Nominal		120/240 V													
Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA													
ACOMETIDA PRINCIPAL				Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.					
				3/0	85,00	240	3 032,00	12,63	12	0,03					

CS-P3-BC56-CC20			
Sistema de bombeo de agua de baños y bombas de recirculación			
Espacio	Descripción	Espacio	Descripción
1	Controlador de Bombas de agua para recirculación de carruceles	2	Controlador Bomba de agua para Baños
3		4	

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA "CS-P3-BC56-CC20" SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE BAÑOS														
Modelo: CH4L1255A						Alimentación:		3x 12 TSJ						
Cantidad de espacios: 4						Canalización:								
Barra de Tierra: Incorporada						Interruptor Principal: CH230								
N°	Descripción	Voltaje (V)	N° Polos	Amperaje	Breaker	Conductor			Potencia (Watts)		Área Conductor	Corriente de Diseño	L	Caída de Volt.
Circ.						Fase	Neutro	Tierra	Fase A	Fase B	mm ²	A	m	%
1-3	Bombas de recirculación de carruceles	240	2	30	CH240		3 X 12 TSJ		2736	0	3,31	11,4	5	0,29
2-4	Sistema de bombeo de agua para baños	240	2	30	CH240		3 X 10 TSJ		0	2736	5,56	11,4	5	0,17
Corriente (A):		22,80	Caída de Voltaje en acometida (%):		1,38	Totales (W):		2 736,00	2 736,00					
Demanda (W):		5 472,00			1	Potencia Total:		5 472,00	VA					
Voltaje Nominal		120/240 V												
Voltaje Calculado		120/240 - CAIDA												
ACOMETIDA PRINCIPAL				Calibre	Área Cond.	Voltaje	Demanda	Corriente	Distancia	% Caída V.				
				3 x 12 TSJ	3,31	240	5 472,00	22,80	12	1,38				

Figura 56. Análisis de consumos y etiqueta de identificación de circuitos Tablero "CS-P3-CD910-CC18", "CS-P3-CD910-CC19", "CS-P3-BC56-CC20"

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

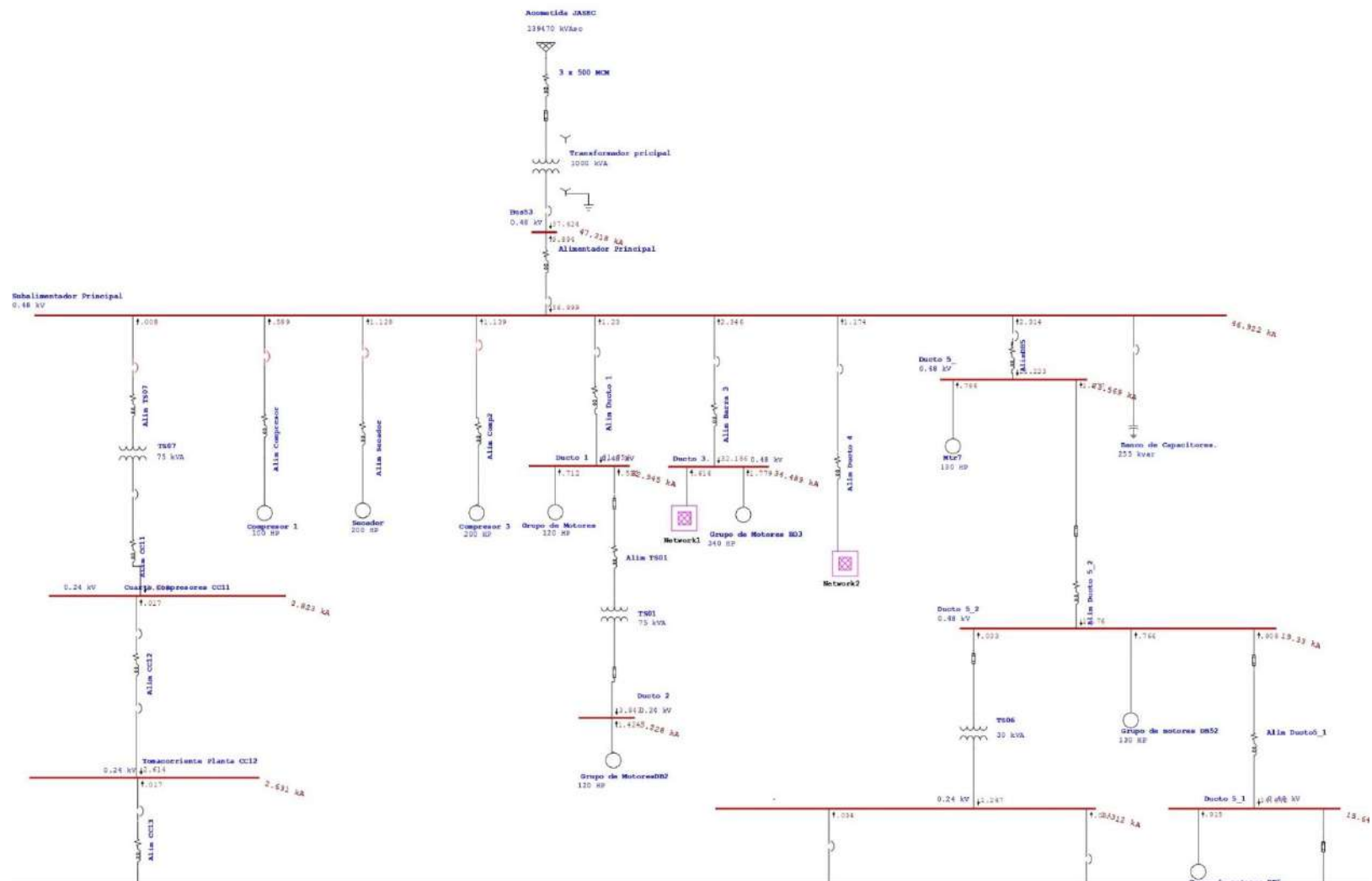


Figura 57. Modelado para estudio de cortocircuito. Diagrama unifilar, Planta 3

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

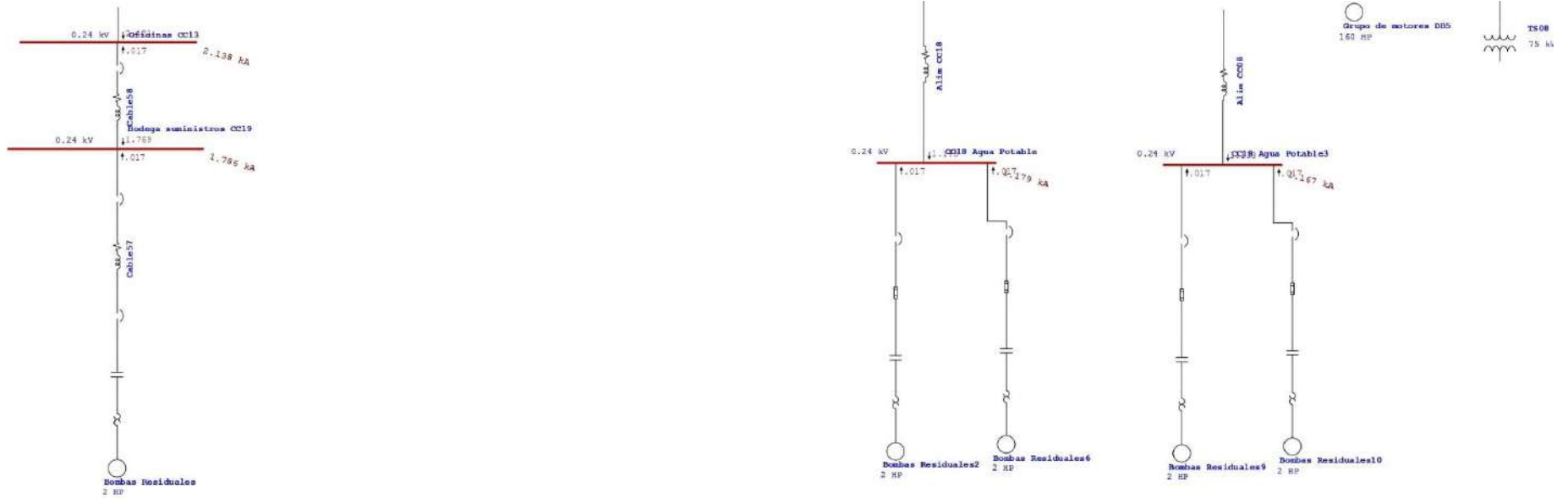
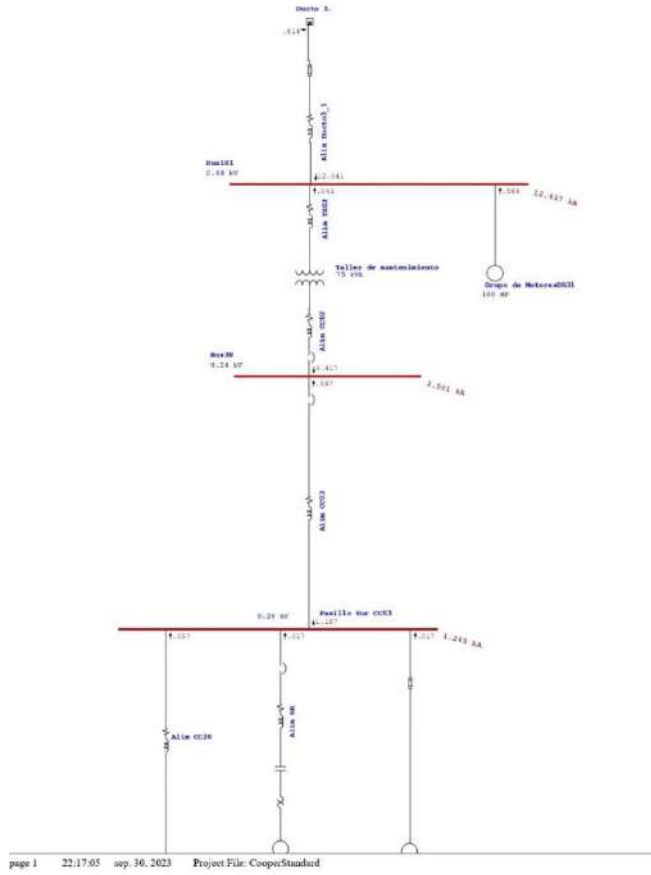


Figura 58. Modelado para estudio de cortocircuito parte2. Diagrama unifilar, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

One-Line Diagram - 0.65=>Network1 (Short-Circuit Analysis)



One-Line Diagram - 0.65=>Network1 (Short-Circuit Analysis)

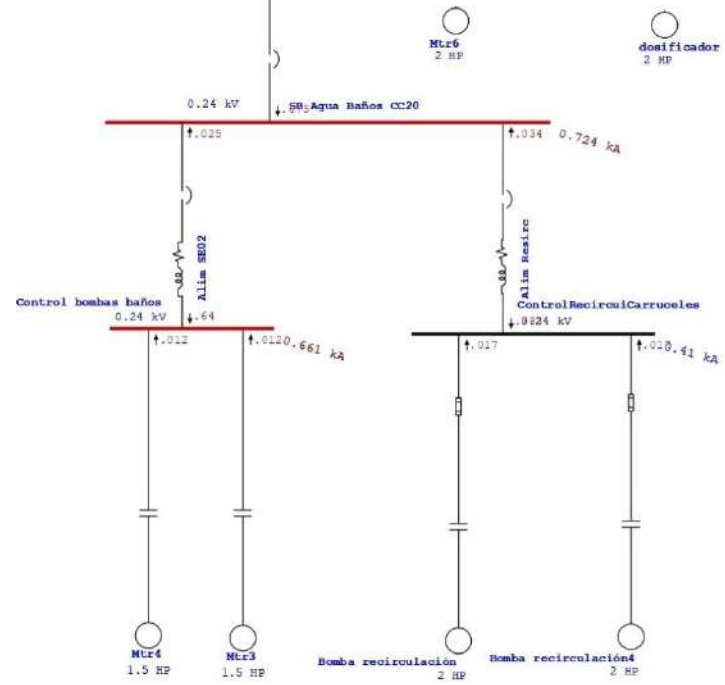


Figura 59. Modelado para estudio de corto circuito Ducto 3. Diagrama unifilar, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizada en ETAP (2025).

One-Line Diagram - 0.65=>Network2 (Short-Circuit Analysis)

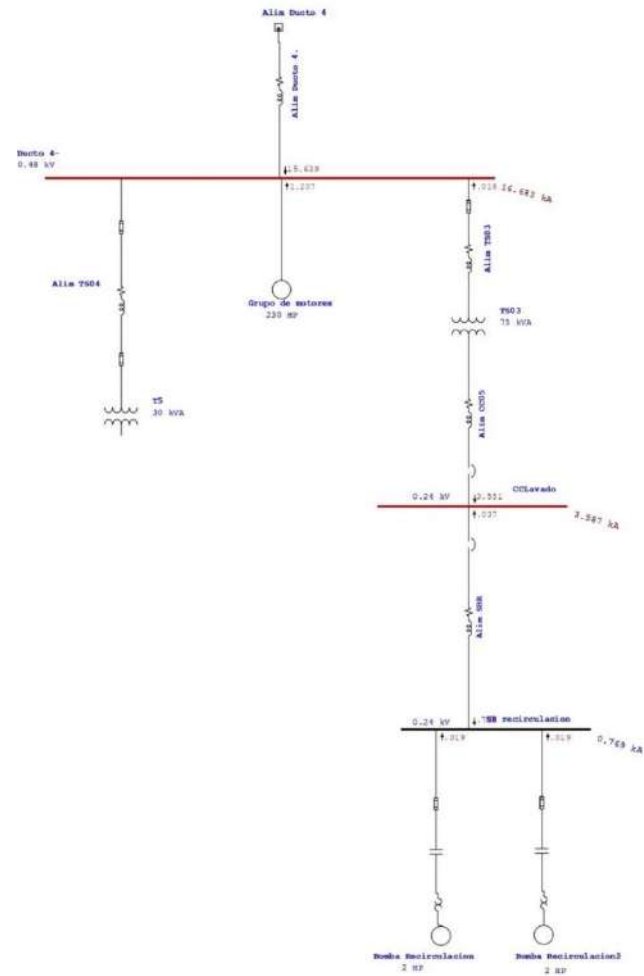


Figura 60. Modelado para estudio de cortocircuito Ducto 4. Diagrama unifilar, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

One-Line Diagram - 0.65 (Arc Flash)

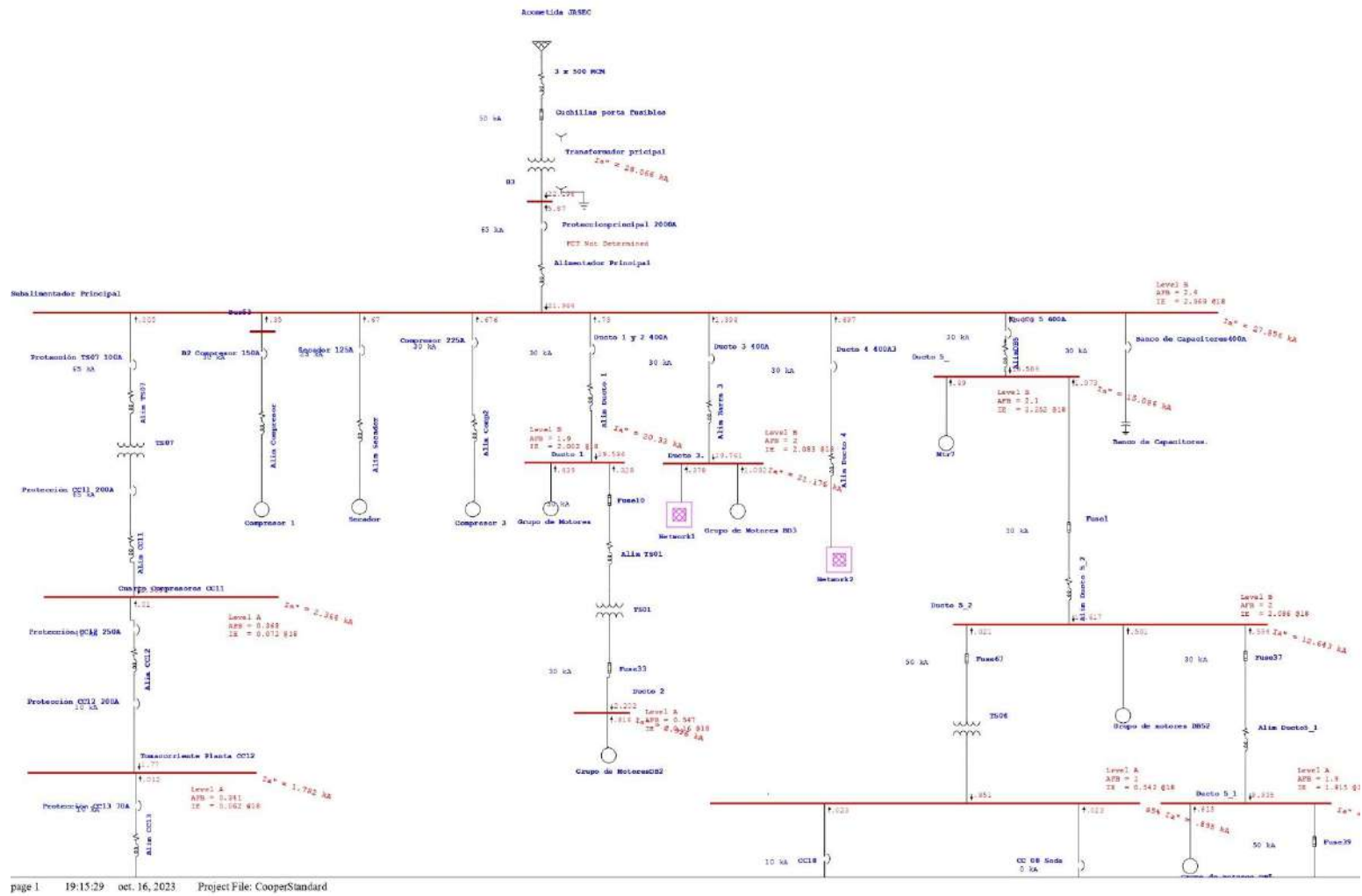
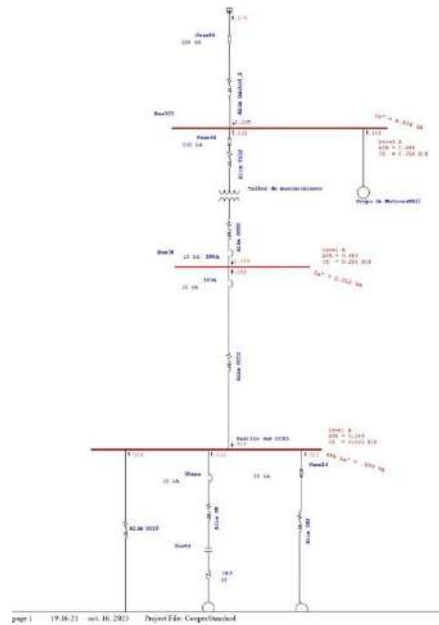
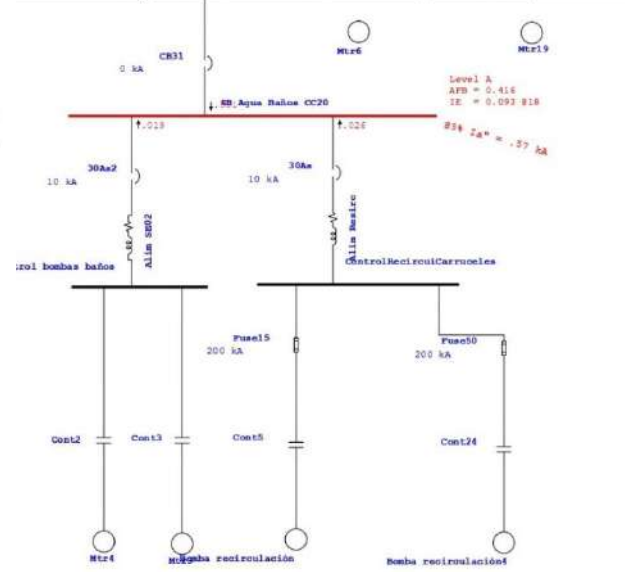


Figura 61. Modelado para arco eléctrico. Diagrama unifilar, Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

One-Line Diagram - 0.65=>Network1 (Arc Flash)



One-Line Diagram - 0.65=>Network1 (Arc Flash)



One-Line Diagram - 0.65 (Arc Flash)

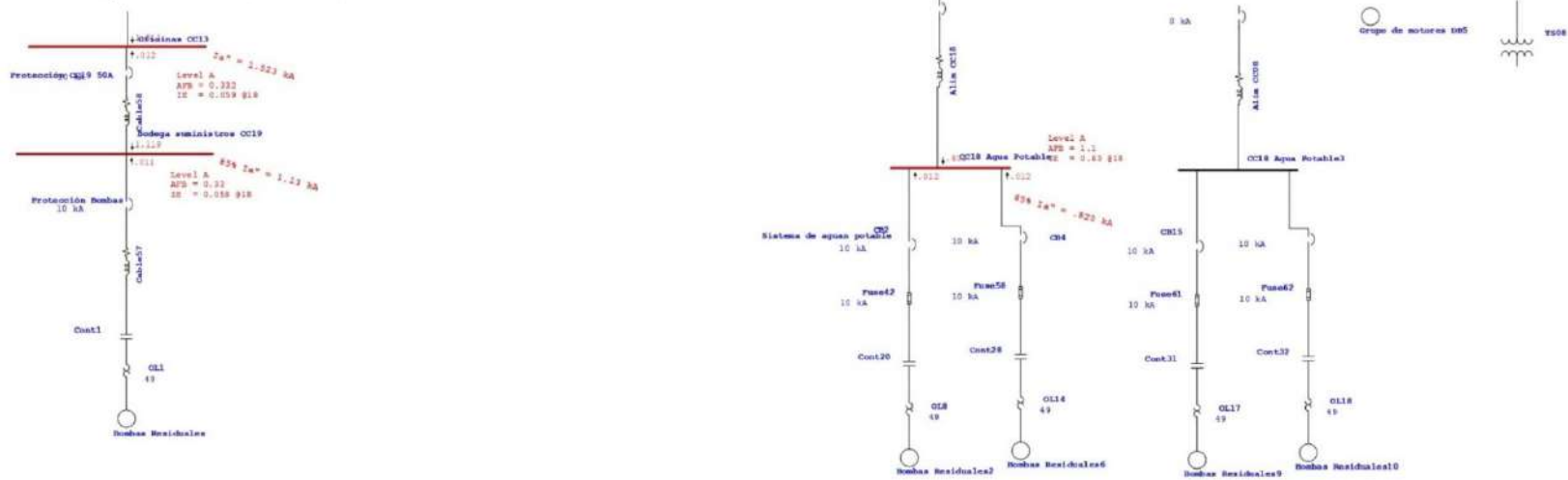


Figura 62. Modelado para arco eléctrico 2 Planta 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

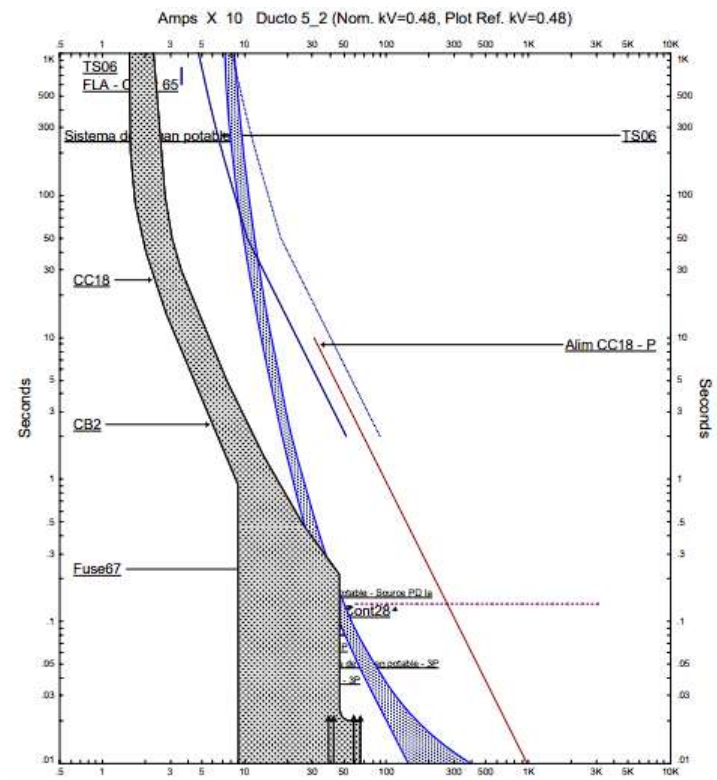


Figura 63. Selectividad de protecciones ramal alimentado por TS06

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

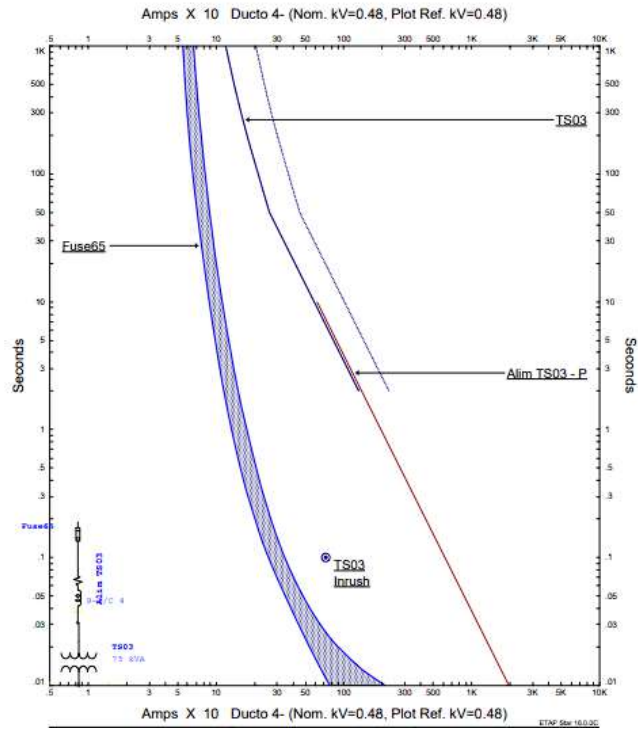


Figura 64. Protección para transformador TS03 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

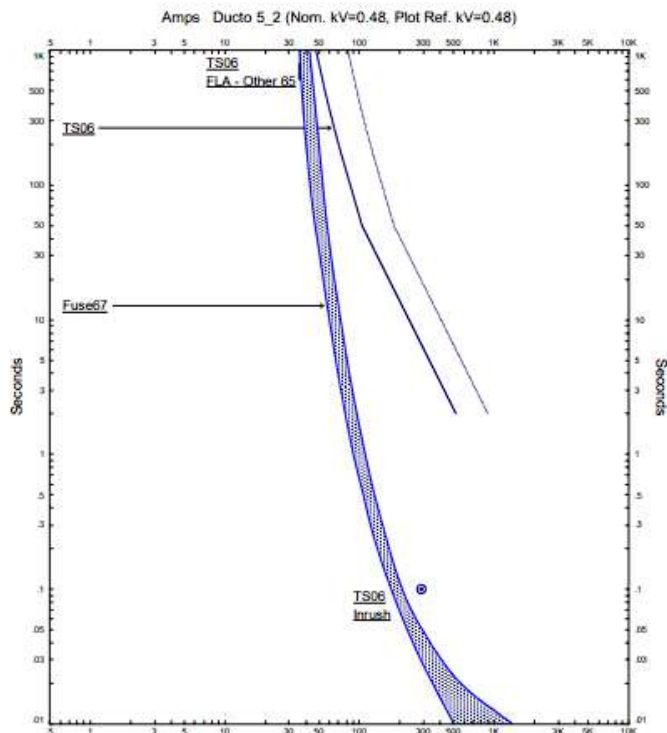


Figura 65. Protección para transformador TS01 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

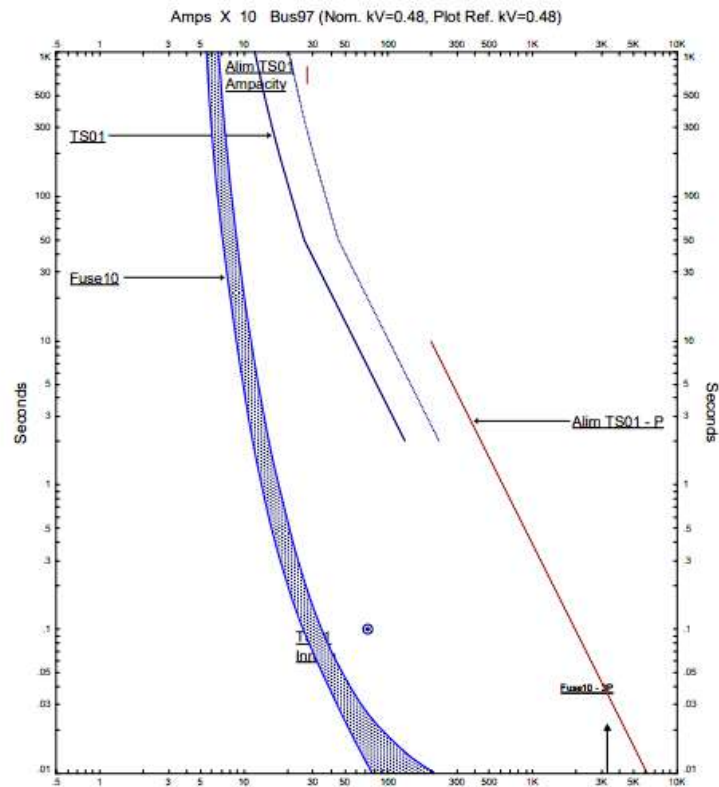


Figura 66. Protección para transformador TS06 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2023).

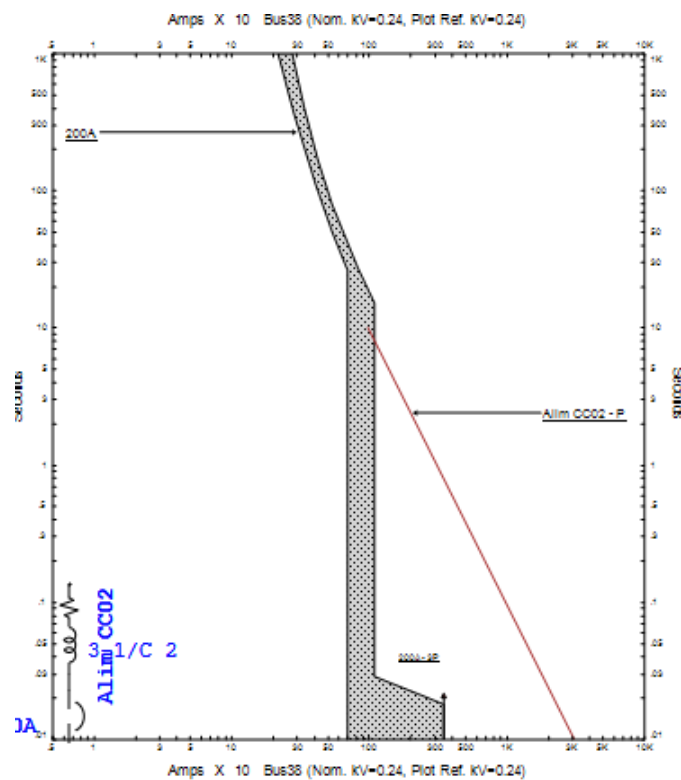


Figura 67. Protección para tablero CC02 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

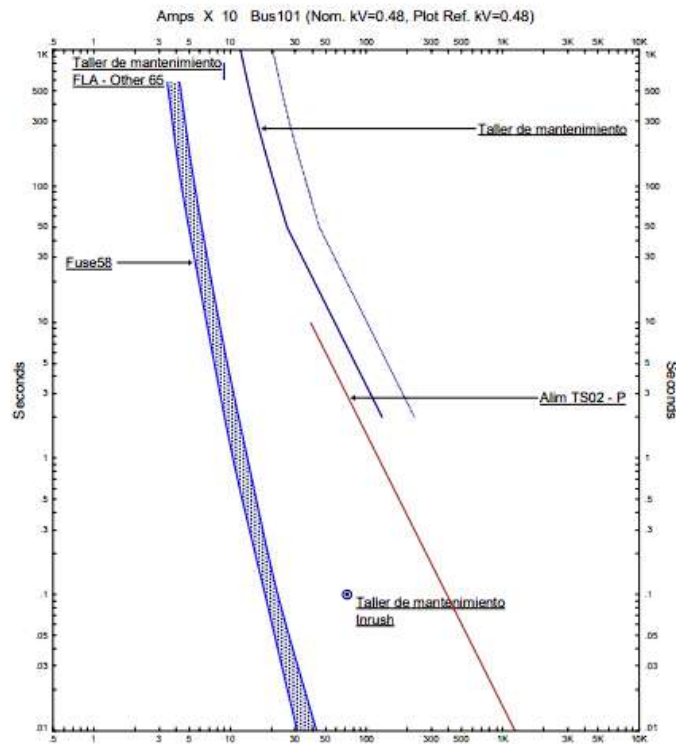


Figura 68. Protección para transformador TS02 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

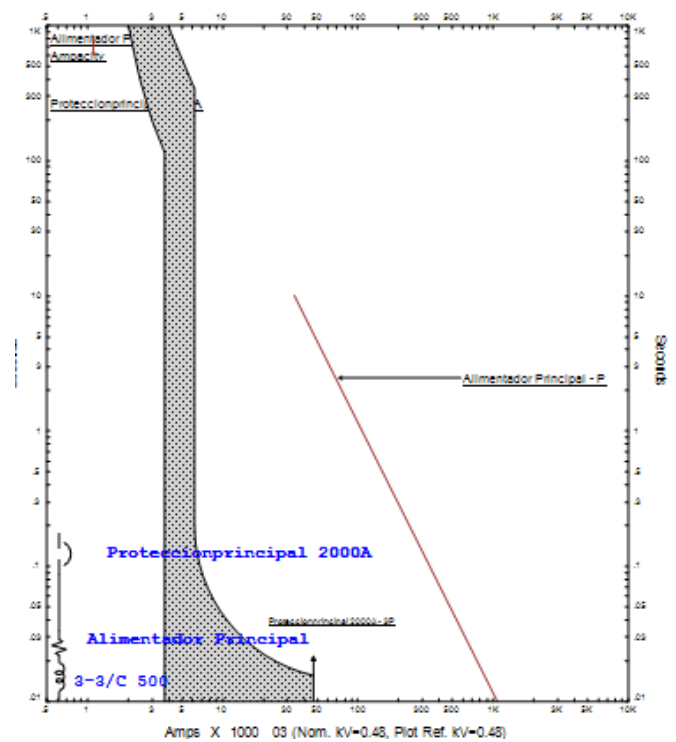


Figura 69. Protección para Alimentación Subestación Principal

Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

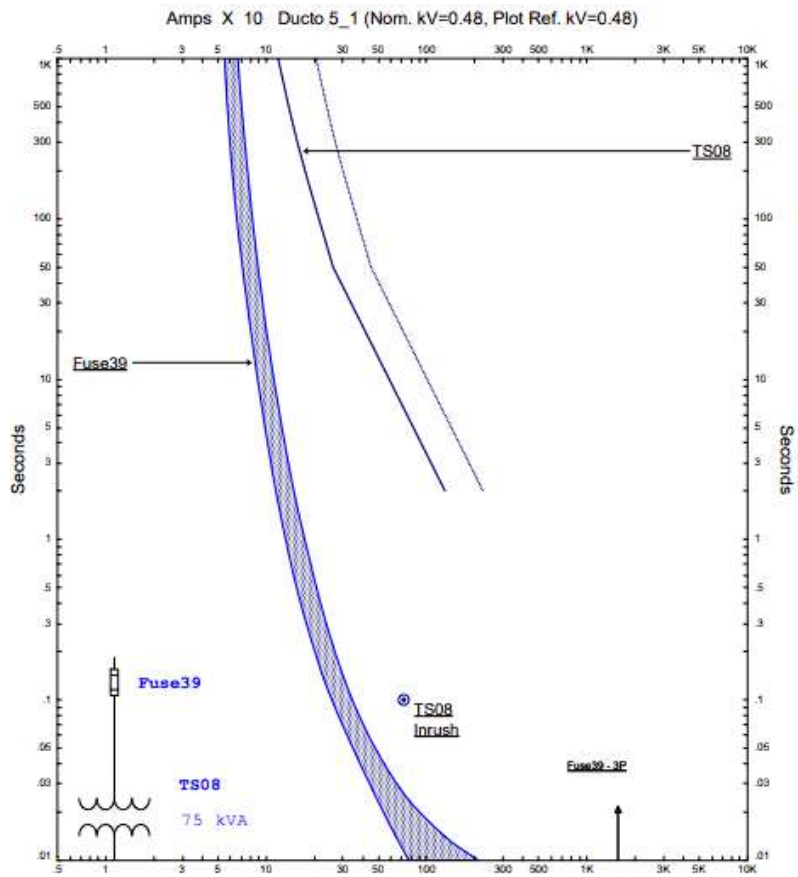


Figura 70. Protección para transformador TS08 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

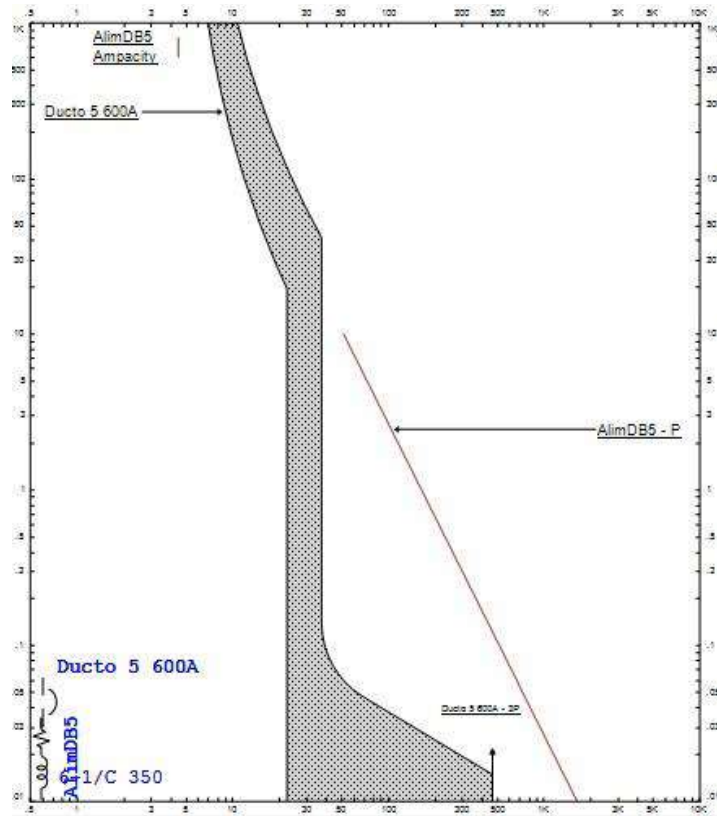


Figura 71. Protección para Ducto Barra 5 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

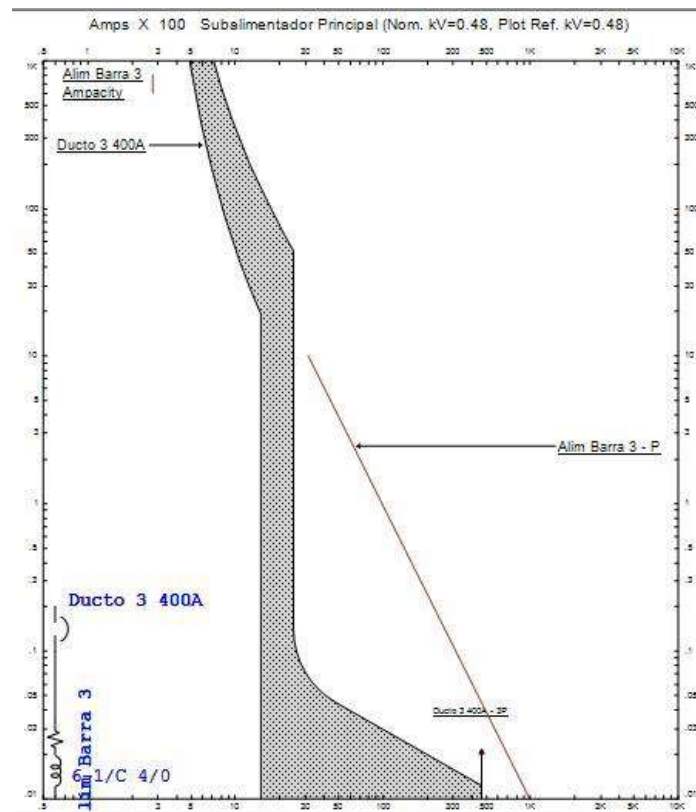


Figura 72. Protección para Ducto Barra 3 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

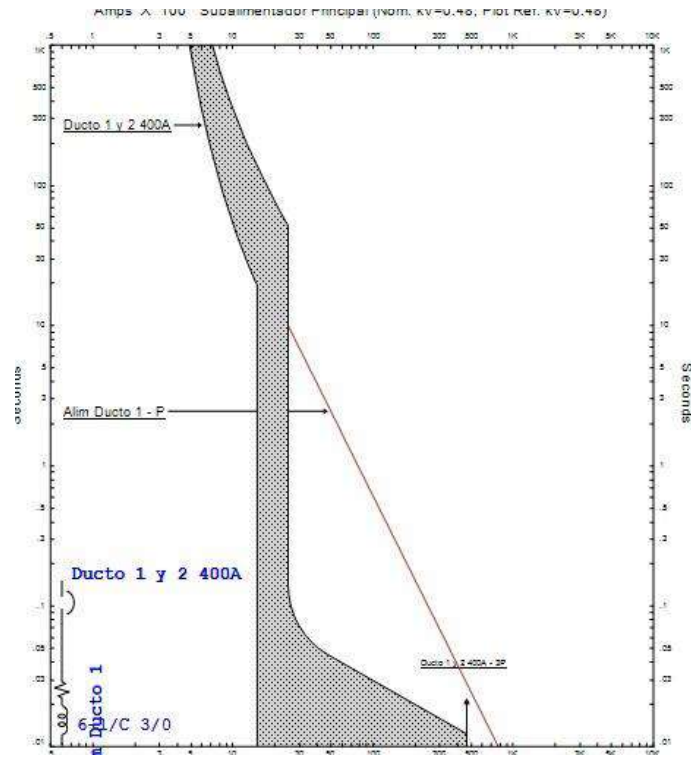


Figura 73. Protección para Ducto Barra 1 y 2 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

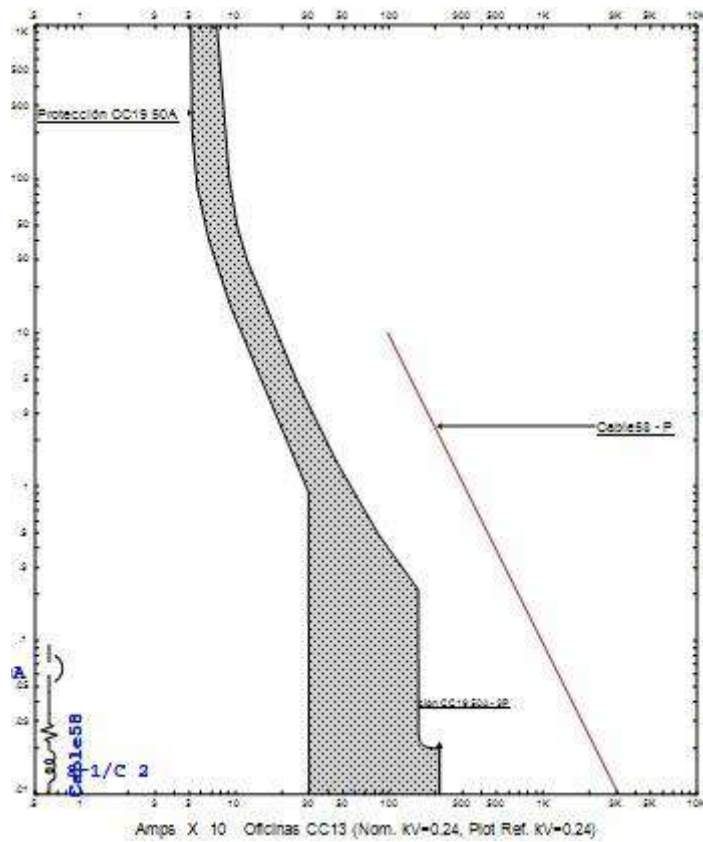


Figura 74. Protección para Tablero CC19 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

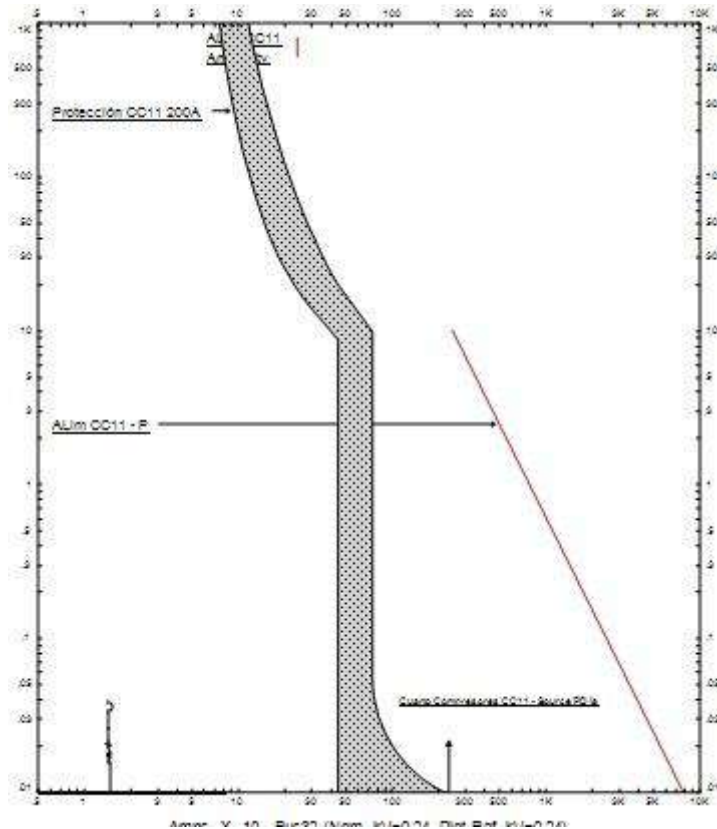


Figura 75. Protección para Tablero CC11 Fuente: Elaboración propia, realizado en ETAP (2025).

KVAs equivalentes de Transformadores secos

$$kVA_{cc} = kVA \text{ del transformador} / Z_{pu}$$

Nº	Transformador	Tensión en primario (V)	Tensión en secundario (V)	Potencia (KVA)	Impedancia (%)	KVAs Equivalentes (KVAcc)
1	CS-P3-LM34-TH01	34500	480	1500	5,75	26086,95652
2	CS-P3-IJ45-TS01	480	240	75	4,4	1704,545455
3	CS-P3-CD45-TS02	480	240	75	4,4	1704,545455
4	CS-P3-EF67-TS03	480	240	75	4,4	1704,545455
5	CS-P3-JK67-TS04	480	240	30	5,7	526,3157895
6	CS-P3-DE89-TS06	480	208	30	5,8	517,2413793
7	CS-P3-KL34-TS07	480	240	75	4,4	1704,545455
8	CS-P3-IJ910-TS08	480	240	75	6,22	1205,787781

Figura 76. Cálculo kVAs equivalentes de transformadores

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

KVAs equivalentes de Motores

$$kVA_{\text{equivalentes}} = \text{HP del motor} / X'' \text{ d pu}$$

Nº	Motor	Descripción	Tensión (V)	Potencia (HP)	Impedancia (%)	KVAs Equivalentes (KVAcc)
1	Secador	Cuarto de Compresores	480	200	17	1176,470588
2	Compresor	Cuarto de Compresores (2)	480	100	17	588,2352941
3	Bomba residuales 1	Sur	240	1	20	5
4	Bomba residuales 2	Parqueo bicicletas (2)	208	1	20	5
5	Bomba residuales 3	Entrada	240	1	20	5
6	Bomba baños	Sistema de bombeo de agua baños (2)	240	2	20	10
7	Bomba carruceles	Sistema de recirculación de agua (2)	240	2	20	10
8	Bomba lavado	Sistema de bombeo de agua lavado (2)	240	2	20	10
9	Bomba agua potable	Sistema de bombeo de agua potable (2)	240	2	20	10
10	Ducto barra 1	Grupo de motores ducto barra 1	480	120	17	705,8823529
11	Ducto barra 2	Grupo de motores ducto barra 2	480	120	17	705,8823529
12	Ducto barra 3	Grupo de motores ducto barra 3	480	340	17	2000
13	Ducto barra 4	Grupo de motores ducto barra 4	480	230	17	1352,941176
14	Ducto barra 5	Grupo de motores ducto barra 5	480	130	17	764,7058824
15	Ducto barra 3_1	Grupo de motores ducto barra 3_1	480	100	17	588,2352941
16	Ducto barra 5_1	Grupo de motores ducto barra 5_1	480	160	17	941,1764706
17	Ducto barra 5_2	Grupo de motores ducto barra 5_2	480	70	17	411,7647059

Figura 77. Cálculo kVAs equivalentes de motores

Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

KVAs equivalentes de Conductores

$$kVA_{cc} = (kV)^2 / (1000 * [(Z_{cond}) * L])$$

Donde : Z_{cond} (Ω/km) y L (Longitud en km)

Conductor Alimentación	Cant Fase	Calibre	Conductor	Distancia (m)	km	Tensión (V)	(KV)	Resistencia (Ohm/km)	Impedancia	MVAs	KVAs Equivalentes (KVAcc)
TH01	3	500	kcmil	10	0,01	34500	34,5	0,089	0,00089	4012,07865	4012078,652
ATM01	4	500	kcmil	2	0,002	480	0,48	0,089	0,000178	5,17752809	5177,528
CC01	1	350	kcmil	57	0,057	277	0,277	0,125	0,007125	0,01076898	10,769
CC02	1	2	AWG	70	0,07	240	0,24	0,62	0,0434	0,00132719	1,327
CC03	1	2	AWG	26	0,026	240	0,24	0,62	0,01612	0,0035732	3,573
CC04	1	10	AWG	15	0,015	240	0,24	3,9	0,0585	0,00098462	0,985
CC05	1	2	AWG	5	0,005	240	0,24	0,62	0,0031	0,01858065	18,581
CC06	1	3/0	AWG	5	0,005	240	0,24	0,253	0,001265	0,0455336	45,534
CC07	1	4*8	TSJ	3	0,003	240	0,24	2,56	0,00768	0,0075	7,500
CC08	1	4	AWG	10	0,01	240	0,24	1,02	0,0102	0,00564706	5,647
CC09	1	4*8	TSJ	15	0,015	240	0,24	2,56	0,0384	0,0015	1,500
CC10	1	3/0	AWG	2	0,002	240	0,24	0,253	0,000506	0,11383399	113,834
CC11	1	3/0	AWG	7	0,007	240	0,24	0,253	0,001771	0,032524	32,524
CC12	1	3/0	AWG	48	0,048	240	0,24	0,253	0,012144	0,00474308	4,743
CC13	1	8	AWG	15	0,015	240	0,24	2,56	0,0384	0,0015	1,500
CC14	1	1/0	AWG	55	0,055	240	0,24	0,39	0,02145	0,00288331	2,885
CC15	1	6	AWG	72	0,072	240	0,24	1,61	0,11592	0,00049689	0,497
CC16	1	2	AWG	22,25	0,02225	120	0,12	0,62	0,013795	0,00104386	1,044
CC17	1	4	AWG	20	0,02	240	0,24	1,02	0,0204	0,00282353	2,824
CC18	1	4*10	TSJ	12	0,012	240	0,24	3,9	0,0468	0,00123077	1,231
CC19	1	10	AWG	12	0,012	240	0,24	3,9	0,0468	0,00123077	1,231
CC20	3	12	TSJ	12	0,012	240	0,24	6,6	0,0792	0,00218182	2,182
TS01	3	2/0	AWG	55	0,055	480	0,48	0,33	0,01815	0,03808264	38,083
TS02	3	6	AWG	9	0,009	480	0,48	1,61	0,01449	0,04770186	47,702
TS03	3	4	AWG	10	0,01	480	0,48	1,02	0,0102	0,06776471	67,765
TS04	3	6	AWG	3,5	0,0035	480	0,48	1,61	0,005635	0,12266193	122,662
TS05	3	6	AWG	7	0,007	480	0,48	1,61	0,01127	0,06133097	61,331
TS07	1	2	AWG	8	0,008	480	0,48	0,62	0,00496	0,04645161	46,452
TS08	1	4*4	TSJ	2	0,002	240	0,24	1,02	0,00204	0,02823529	28,235
SE01	1	250	AWG	10	0,01	480	0,48	0,171	0,00171	0,13473684	134,737
SE02	1	3/0	AWG	10	0,01	480	0,48	0,253	0,00253	0,09106719	91,067
SE04	1	8	AWG	10	0,01	480	0,48	2,56	0,0256	0,009	9,000
SE05	1	4*12	TSJ	5	0,005	240	0,24	6,6	0,033	0,00174545	1,745
SE06	1	3*10	TSJ	5	0,005	240	0,24	3,9	0,0195	0,00295385	2,954
SE07	1	3*12	TSJ	6	0,006	240	0,24	6,6	0,0396	0,00145455	1,455
SE08	1	10	AWG	5	0,005	241	0,241	3,9	0,0195	0,00297851	2,979
SE09	1	4*10	TSJ	25	0,025	242	0,242	3,9	0,0975	0,00060066	0,601
SE10	1	4*10	TSJ	25	0,025	243	0,243	3,9	0,0975	0,00060563	0,606
SE11	1	3*10	TSJ	15	0,015	244	0,244	3,9	0,0585	0,00101771	1,018
SE12	1	3*10	TSJ	10	0,01	245	0,245	3,9	0,039	0,0015391	1,539
SE13	1	3*10	TSJ	12	0,012	246	0,246	3,9	0,0468	0,00129308	1,293

Figura 78. Cálculo kVAs equivalentes de conductores Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

Corriente de corto circuito de conductores de Acometida

Información brindada por compañía suplidora JASEC via email

Línea	Icc monofásica (A)	Icc trifásica (A)	Voltaje	VA	KVAs
Ia	4053	3377	34500	302737582,9	302737,5829
Ib	3741	3389	34500	279432839,3	279432,8393
Ic	3702	3274	34500	276519746,4	276519,7464

Figura 79. Cálculo kVAs equivalentes de acometida Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).

N° de flecha	Aguas arriba VAs	Aguas abajo VAs	Total VAs	Tensión KV	Corriente de corto circuito A
1	302737,583	2544,45	305282,033	34,5	5108,831
2	281496,81	2544,45	284041,26	34,5	4753,371
3	23874,465	2779	26653,465	0,48	32059,136
4	4254,81	6087,7	10342,51	0,48	12440,106
5	4254,81	0,25	4255,06	0,48	5118,042
6	0,25	0,25	0,5	0,48	0,601
7	0,25	0,25	0,5	0,24	1,203
8	0,25	0,27	0,52	0,24	1,251
10	0,25	0,29	0,54	0,24	1,299
11	0,214	0,35	0,564	0,24	1,357
12	0,18	0,55	0,73	0,24	1,756
13	0,13	5	5,13	0,24	12,341
14	4254,81	8,86	4263,67	0,48	5128,398
15	8,98	588,23	597,21	0,48	718,332
16	4254,81	109,44	4364,25	0,48	5249,377
17	130,6	588,23	718,83	0,48	864,618
18	4254,81	45,68	4300,49	0,48	5172,686
19	89,15	523,62	612,77	0,48	737,048
20	4254,81	21,43	4276,24	0,48	5143,517
21	21,98	714,29	736,27	0,48	885,595
22	21,98	705,88	727,86	0,48	875,480
23	21,98	8,41	30,39	0,48	36,553
24	13,93	10,8	24,73	0,48	29,746
25	1704,55	10,88	1715,43	0,24	4126,683
26	6,16	705,88	712,04	0,24	1712,902
27	23874	19,056	23893,056	0,48	28738,880
28	19,15	2003,66	2022,81	0,48	2433,062
29	23874	3,66	23877,66	0,48	28720,361
30	23874	2000	25874	0,48	31121,585
31	3,7	589,8	593,5	0,48	713,870
32	3,09	588,23	591,32	0,48	711,247
51	0,54	10	10,54	0,12	50,711
52	0,54	10	10,54	0,12	50,711
53	23874	12,8	23886,8	0,12	114925,420
54	1,47	1354,64	1356,11	0,12	6524,587
55	1,47	1352,94	1354,41	0,48	1629,102
56	1,47	1,74	3,21	0,12	15,444
57	1,47	1,74	3,21	0,12	15,444
58	1,47	1,74	3,21	0,12	15,444
59	0,8	20	20,8	0,12	100,074
60	0,8	10	10,8	0,12	51,962
61	0,8	10	10,8	0,12	51,962
62	4254,81	692	4946,81	0,480	5950,088
63	2674,39	766,4	3440,79	0,12	16554,509
64	2674,39	764,71	3439,1	0,12	16546,378
65	2674,39	11,69	2686,08	0,12	12923,408
66	19,62	28,66	48,28	0,48	58,072
67	19,62	22,62	42,24	0,12	203,227
68	10,63	941,18	951,81	0,12	4579,398
69	941,18	1205,79	2146,97	0,12	10329,614
70	19,62	941,18	960,8	0,12	4622,651
71	19,62	6,04	25,66	0,12	123,457
72	18,9	6,19	25,09	0,12	120,714
73	18,9	2,59	21,49	0,12	103,394
74	18,9	20	38,9	0,12	187,158
75	2,57	10	12,57	0,12	60,477
76	2,57	10	12,57	0,12	60,477
77	18,9	3,6	22,5	0,12	108,253
78	4,334	10	14,334	0,12	68,964
79	4,34	5	9,34	0,12	44,937
80	4,34	5	9,34	0,12	44,937
81	4254,81	5177,53	9432,34	0,12	45381,367

Figura 80. Cálculo kVAs equivalentes de acometida Fuente: Elaboración propia, realizado en Excel (2023).



ADVERTENCIA



Peligro de Destello y de Descarga con Cubiertas o Puertas Abiertas
PPE Requerido Adecuado

Protección contra Destello

Level B

Energía Incidente (cal/cm²) **3.0**

Distancia de Trabajo **18.0 in**

Límite de Protec. Contra Destello **2.4 ft**

PPE Requirements have not been approved

Protección contra Conmoción **480 VAC**

Peligro de Conmoción cuando
covers removed

Acercamiento Limitado **3.5 ft**

Acercamiento Restringido **1.0 ft**

Clase de PPE de Guantes 00

V-Rating 500 VAC

Equipo: **Subalimentador Principal
2000A**

Dispositivo de Protección de Fuente: **Proteccionprincipal**



ADVERTENCIA



Peligro de Destello y de Descarga con Cubiertas o Puertas Abiertas
PPE Requerido Adecuado

Protección contra Destello

Level A

Energía Incidente (cal/cm²) **0.1**

Distancia de Trabajo **18.0 in**

Límite de Protec. Contra Destello **0.5 ft**

PPE Requirements have not been approved

Protección contra Conmoción **240 VAC**

Peligro de Conmoción cuando

covers removed

Acercamiento Limitado **3.5 ft**

Acercamiento Restringido **1.0 ft**

Clase de PPE de Guantes **00**

V-Rating **500 VAC**

Equipo: **CCLavado**

Nombre Equipo:

Dispositivo de Protección de Fuente: **Fuse65**



ADVERTENCIA



Peligro de Destello y de Descarga con Cubiertas o Puertas Abiertas
PPE Requerido Adecuado

Protección contra Destello

Level A

Energía Incidente (cal/cm²) **1.5**

Distancia de Trabajo **18.0 in**

Límite de Protec. Contra Destello **1.7 ft**

PPE Requirements have not been approved

Protección contra Conmoción **480 VAC**

Peligro de Conmoción cuando

covers removed

Acercamiento Limitado **3.5 ft**

Acercamiento Restringido **1.0 ft**

Clase de PPE de Guantes **00**

V-Rating **500 VAC**

Equipo: **Ducto 4-**

Nombre Equipo:

Dispositivo de Protección de Fuente: **Ducto 4 400A3**

CAPÍTULO VIII. ANEXOS



Figura 81. Transformador principal, Planta 3 Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 82. Protección Acometida, cuchilla porta fusibles Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 83. Subestación principal y Banco de capacitores Planta 3 Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 84. Capacitores dañados de Banco de capacitores Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 85. Carga espacial Compresor Fuente: Elaboración propia (2023).

KAESER		KAESER KOMPRESSOREN SE	
COMPRESSORS		Carl-Kaeser-Str. 26	
		GERMANY - 98450 Coburg	
		www.kaeser.com	
Model	CSD 100	Part No.	101818.1
Year	2014	Serial No.	1052
psig	125.0	cfm	494
Voltage	460Y/266 V		
Phase	3	Package FLA	139
Hz	60	Drive Motor FLA	114
RPM	3580	HP	100.0
Short circuit current:	50 kA rms sym.	480 V max.	
Supply fuse (field provided):	Class AJT	600 Vac	200 A
Enclosure Type rating:	Type 1		
Wiring Diagram	SCSDX-U3014.01		
For service, refer to equipment number	5191542		
Option	K1	C3	
MADE IN GERMANY	Factory Identification	CC	

Figura 86. Placa de datos compresor principal Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 88. Bomba de sistema de agua potable Planta Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 89. Sistema de recirculación de agua para carruseles Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 90. Sistema de recirculación de agua para carruseles Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 91. Sistema de bombeo de agua para baños Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 92. Sistema de bombeo de agua para baños Fuente: Elaboración propia (2023).

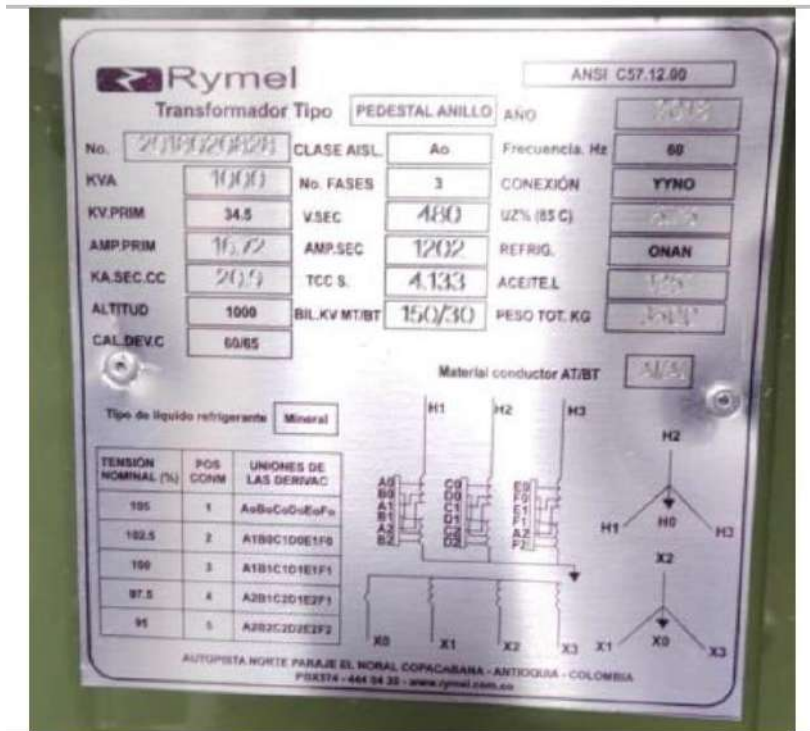


Figura 93. Datos de placa Transformador principal Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 94. Datos de placa Transformador CS-P3-IJ45-TS01 Fuente: Elaboración propia (2023).

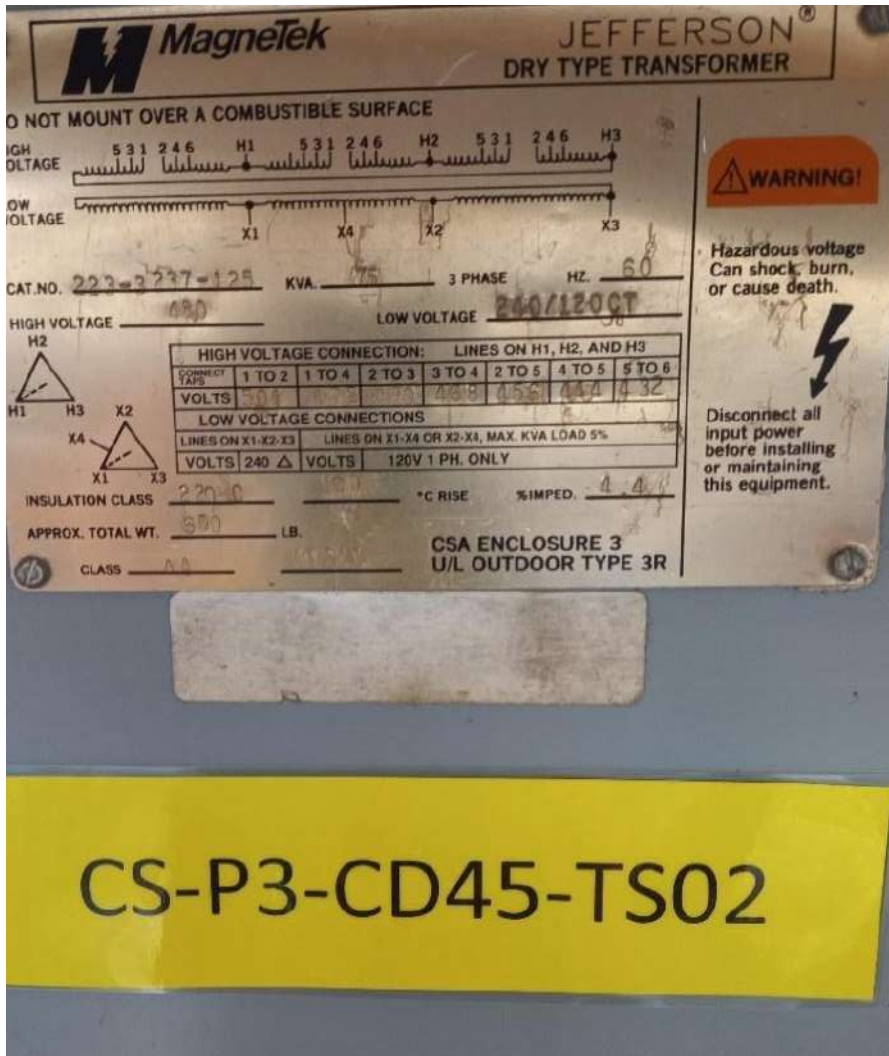


Figura 95. Datos de placa Transformador CS-P3-CD45-TS02 Fuente: Elaboración propia (2023).

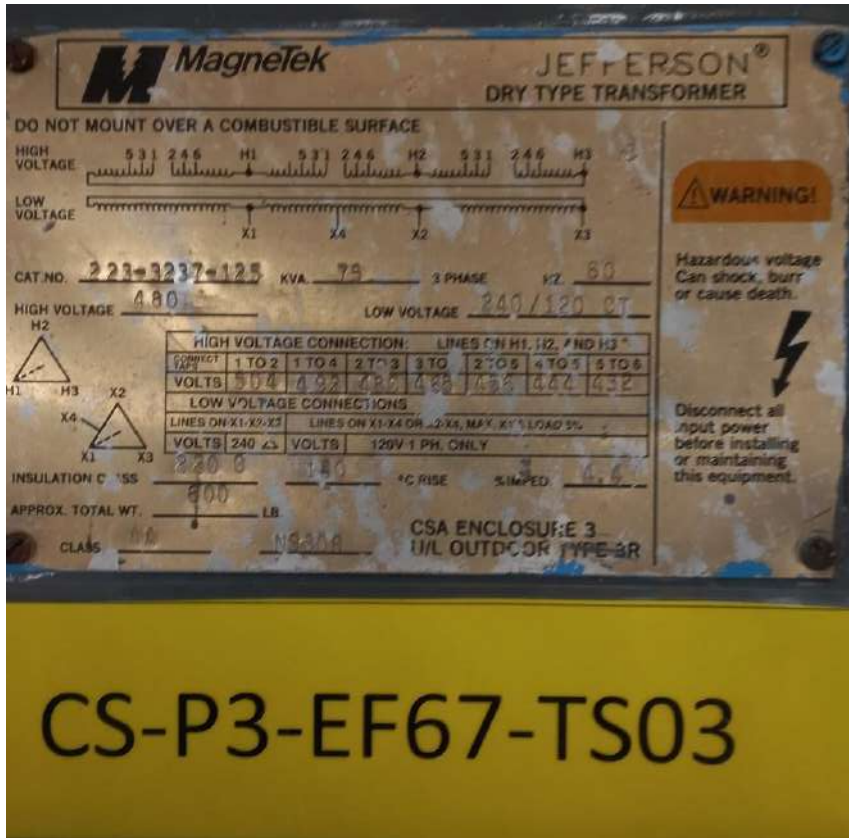


Figura 96. Datos de placa Transformador CS-P3-EF67-TS03 Fuente: Elaboración propia (2023).

INSPECTION AND FINAL TEST
M. BAKER
FW4308
972691

Transformer

Catalog Number TYPE QL
9T23B3872

30.0 kVA 60 Hz 3 PH 5.8% IMP
40C AMBIENT 150C RISE 220C SYSTEM 15-19C

PRIMARY (H) 480 VOLTS (LINE-LINE)
SECONDARY (X) 208 VOLTS (LINE-LINE)
120 VOLTS (LINE-NEUTRAL)

JUMPER CONNECTION TAP VOLTS

1	583
2	452
3	469
4	459
5	455
6	442
7	432

COIL TAP ARRANGEMENT

ENCLOSURE TYPE 2 (IP00), RAINPROOF TYPE 3R (IP32) WHEN PROVIDED WITH SHIELD KIT 9T18Y4317605

BEFORE HANDLING, INSTALLING AND OPERATING, SEE INSTRUCTION 425A667/APP001
ALUMINUM CONDUCTOR PRIMARY: 18KV BIL SECONDARY: 18KV BIL

NET WT 300 LB

IN ACCORDANCE WITH NEC SECTION 450-9, ALLOW AT LEAST SIX INCHES CLEARANCE FOR VENTILATION. CHECK ADDITIONAL NEC AND LOCAL CODES.

GE Consumer & Industrial NEMA CLASS AA DRY TYPE TRANSFORMER Made in USA

CS-P3-DE89-TS06

Figura 98. Datos de placa Transformador CS-P3-DE89-TS06 Fuente: Elaboración propia (2023).

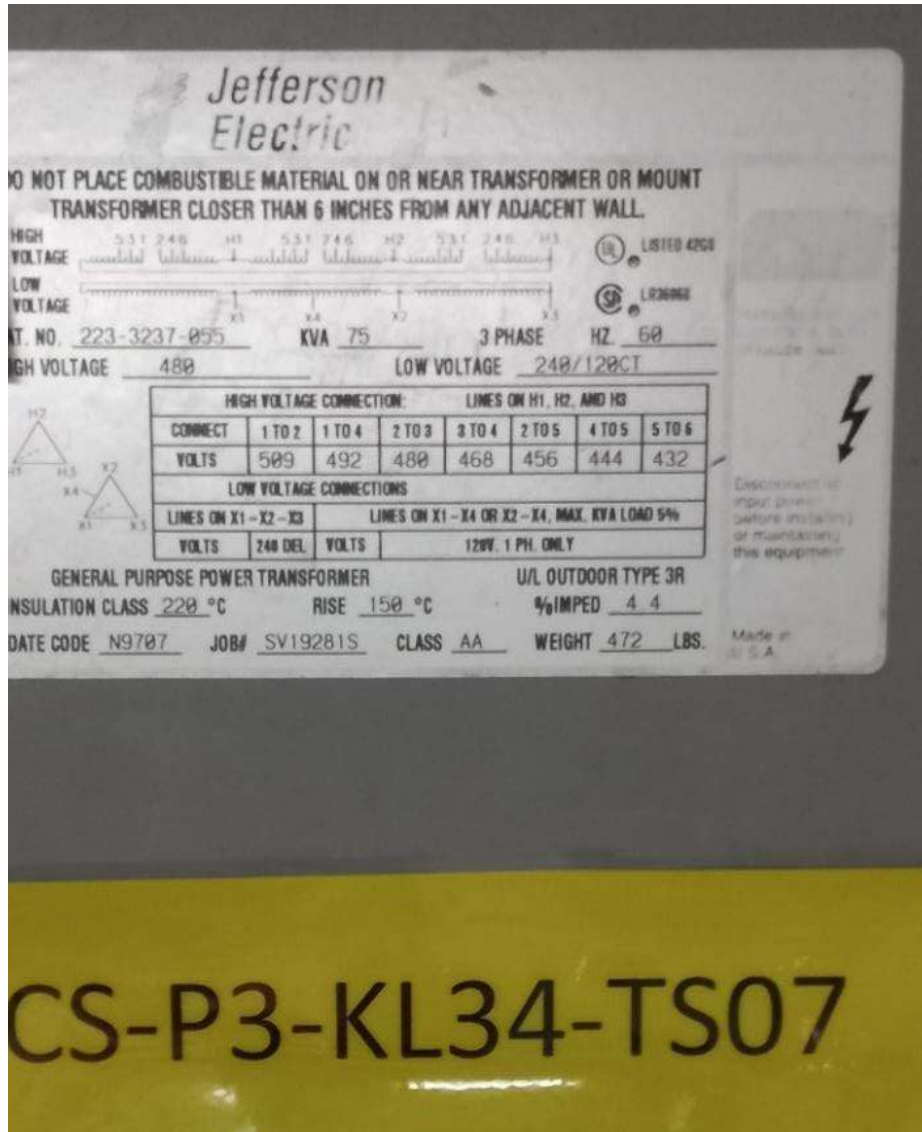


Figura 99. Datos de placa Transformador CS-P3-KL34-TS07 Fuente: Elaboración propia (2023).

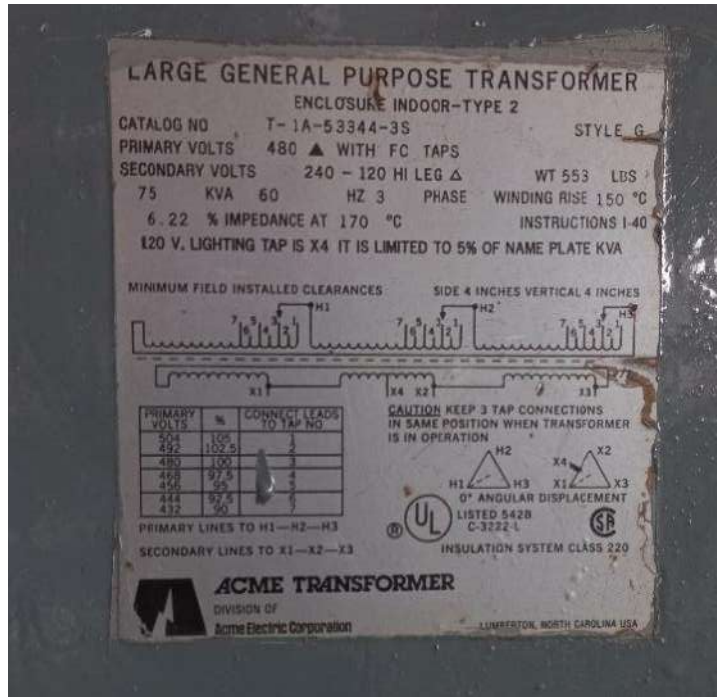


Figura 100. Datos de placa Transformador CS-P3-IJ910-TS08 Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura 101. Corrientes de cortocircuito brindadas por la compañía JASEC Fuente: e-mail (2023).

Visto bueno para uso de información.


Quesada, Christian
 To: simlara@itcr.ac.cr
 Cc: Amador Orozco, Maria Jesus
 jueves 12/10/2023 15:02

[Translate message to English](#) |
 [Never translate from Spanish](#) |
 [Translation preferences](#)

Por medio del presente se da el visto bueno a la practicante María Jesús Amador Orozco, estudiante de Ingeniería en Mantenimiento Industrial del Tecnológico de Costa Rica, quien actualmente se encuentra elaborando su proyecto de graduación titulado **"Diagnóstico de sistema eléctrico de Cooper Standard, Cartago, mediante análisis de corrientes de cortocircuito y arco eléctrico"**, para que comparta el informe final de su proyecto con la compañía CFS encargada de la distribución del Software ETAP en el país, quienes como condición para que se pudiera realizar el análisis requerido para el proyecto en el software solicitaron que se les enviara el documento público finalizado, el cual consultando con las autoridades pertinentes de la compañía no hay problemas de confidencialidad al compartirlo.

Comparto el correo como respaldo de la solicitud.


Sergio Pacheco <sergio.pacheco@cfs.cr>
 para ggomex@itcr.ac.cr, mi <...>
 25 abr 2023, 8:06 ☆ ↶ ⓘ

Buenos días María Jesús

Adelante con la autorización para realizar el análisis con el laboratorio del ITCR. La única condición es que se nos envíe el documento público del trabajo final de graduación.

Saludos



Sergio Pacheco
Gerente Comercial | CFS

+506 4000-1263 Ext 1812 | +506 8401-2020
sergio.pacheco@cfs.cr
www.cfs.cr
 Oficentro La Virgen, Costa Rica

CFS SOMOS

Saludos cordiales,

Christian Quesada
 Maintenance Superintendent
christian.quesada@cooperstandard.com
 4033-1700 ext. 173
 Zona Franca Zeta, Ed. 19-29 Guadalupe
 Cartago 30106
 Costa Rica

Figura 102. Autorización para uso de ETAP Fuente: e-(2023).

Number of Poles: 1; Standard

↑ Amps	AC Voltage Rating	Phase	Max. AIR Rating	For Use With	Brand	Price
20 A	120/240V AC	Single	10kA at 120/240V AC	Type CH Loadcenters	EATON	\$32.85



EATON Circuit Breaker: 20 A, 120/240V AC, Single Phase, 10kA at 120/240V AC, Type CH Loadcenters, CH

Item 60JL50

Mfr. Model CHF120

[View Product Details](#)

Web Price ⓘ


\$32.85 / each

To check availability

[Enter location](#) ▾

Figura 103. Disyuntor EATON Tipo CH20 Fuente: Grainger (2023).

THHN Building Wire



Thermoplastic high-heat-resistant nylon (THHN) building wire is a coated wire typically run through conduit or cable trays. This general purpose wire is used to supply an electrical current in a range of indoor wiring projects, including control circuits and appliances. It has a durable nylon jacket that resists abrasion, protects against shock, and shields the thermoplastic insulation and metal conductor from damage.

Number of Conductors: 1 Solid

↑ Wire Size	Jacket Material	Jacket Color	Wire Color	Length	Brand	Price
12 AWG	Nylon	Beige	Beige	2,500 ft	SOUTHWIRE	\$610.57

Figura 104. 2500ft de Cable conductor 12AWG THHN Fuente: Grainger

THHN Building Wire



Thermoplastic high-heat-resistant nylon (THHN) building wire is a coated wire typically run through conduit or cable trays. This general purpose wire is used to supply an electrical current in a range of indoor wiring projects, including control circuits and appliances. It has a durable nylon jacket that resists abrasion, protects against shock, and shields the thermoplastic insulation and metal conductor from damage.

Number of Conductors: 1 Solid

Wire Size	Jacket Material	Jacket Color	Wire Color	Length	Brand	Price
10 AWG	Nylon	Black	Black	50 ft	SOUTHWIRE	\$27.21

Figura 105. 50ft de Cable conductor 10AWG THHN Fuente: Grainger (2023).

CH Series



These CH series miniature circuit breakers plug into panelboards and load centers. They interrupt currents when faults are detected in the circuit. These breakers connect to the power supply through bus bars, which eliminates the need to pigtail wires and helps organize the panelboard or load center.

Number of Poles: 2; Standard

Amps	AC Voltage Rating	Phase	Max. AIR Rating	For Use With	Brand	Price
30 A	120/240V AC	Single	10kA at 120/240V AC	Type CH Loadcenters	EATON	\$57.45

Figura 106. Disyuntor EATON Tipo CH230 Fuente: Grainger (2023).

CH Series



These CH series miniature circuit breakers plug into panelboards and load centers. They interrupt currents when faults are detected in the circuit. These breakers connect to the power supply through bus bars, which eliminates the need to pigtail wires and helps organize the panelboard or load center.

Number of Poles: 2; Standard

Amps	AC Voltage Rating	Phase	Max. AIR Rating	For Use With	Brand	Price
50 A	120/240V AC	Single	10kA at 120/240V AC	Type CH Loadcenters	EATON	\$61.33

Figura 107. Disyuntor EATON Tipo CH250 Fuente: Grainger (2023).

Square D QO - Main Lug Load Centers



These Square D main lug load centers distribute power downstream from main breakers and are used when all the circuit slots in the main breaker load center are full or when a remote panel is desired. They're used with QO series circuit breakers to protect circuits from overcurrents. They are used in residential, commercial, and industrial applications.

Indoor; 3 Phase; Main Lug

Amps	Voltage	Number of Spaces	Short Circuit Current Rating	Max. No. of Tandem Breakers	Included Enclosure Cover	Price
125 A	208Y/120/240V AC	12	65kA	0	Order Separately	\$398.12

Figura 108. Caja de disyuntores de 6 espacios Fuente: Grainger

H-Frame Square D Molded Case Circuit Breakers



H-frame Square D molded case circuit breakers are rated up to 150A and 600VAC and interrupt excessive current flows to protect devices from electrical damage. They're used in construction, oil and gas, control equipment panels, and other industrial and commercial applications. Their current-carrying parts, mechanisms, and trip devices are contained in a molded case.

Number of Poles: 3; 600V AC

↑ Amps	Max. AIR Rating	Instantaneous Trip	Terminal Connection	Phase Connection	Series	Price
100 A	65kA at 240V AC	Fixed	Line/Load Lug	ABC	HG	\$1,929.31

Figura 109. Disyuntor para Transformador TS07 Fuente: Grainger (2023).

GHB Series, Bolt-On Eaton Cutler-Hammer Miniature Circuit Breakers



These GHB series miniature circuit breakers are bolted into place in panelboards for low-voltage fluorescent lighting applications. They interrupt currents when faults are detected in the circuit. They have a lug orientation to allow for straight-in wiring through bus bars, which eliminates the need to pigtail wires and helps organize the load center.

3 Number of Poles; Standard

↑ Amps	AC Voltage Rating	Phase	Max. AIR Rating	For Use With	Price
100 A	277/480V AC	Three	14kA at 277/480V AC	Eaton Powerline Panelboards	\$1,346.21

Figura 110. Disyuntor para Nuevo centro de carga Fuente: Grainger (2023).

Decorator Duplex Receptacles with Snap-In Modules



These decorator duplex receptacles support two electrical plugs and have modular terminations that secure snap-in modules. Modular terminations connect and disconnect quickly to help save time when installing devices or troubleshooting.

Standard Resistance

2 Pole / 3 Wire

↑ NEMA Receptacle Configuration	Current Rating	Voltage Rating	Wire Connection Location	Additional Electrical Protections	Housing Color	HUBBELL
5-20R	20 A	125V AC	Back	GFCI	Black	\$63.87

Figura 111. Tomacorrientes GFCI para área de cocina Fuente: Grainger(2023).