

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



**Informe de práctica de especialidad para optar por el título de:
Licenciatura en Mantenimiento Industrial.**

Rediseño del Sistema Eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores.

REALIZADO POR:

Miguel Ramiro Quesada Bolaños

COORDINADOR DE PRÁCTICA:

Ing. Ignacio Del Valle Granados.

Cartago, Agosto 2020.



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 5 de agosto, 2020

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Miguel Ramiro Quesada Bolaños
carné No. 2015088056, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado
de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento
Industrial, presentado en la fecha 2020-08-05, con el título Rediseño del
Sistema Eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores.

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

Firma de estudiante: Miguel R. Quesada B.
Correo electrónico: miguelrqbv97@gmail.com
Cédula No.: 207620903

Profesor Guía:

Ing. Julio Andrés Morera Hidalgo.

Asesor Industrial:

Ing. Esteban Oviedo Alfaro.

Tribunal Examinador:

José Alberto Garro Zavaleta

Rodolfo Elizondo Hernández

Información del estudiante y de la empresa.

Nombre: Miguel Ramiro Quesada Bolaños
Cédula: 207620903
Carné ITCR: 2015088056

Dirección de residencia en época lectiva: 300 metros oeste de la entrada principal del Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Dirección de residencia en época no lectiva: 500 metros sureste de la Escuela Francisco Alfaro, calle Guayabal, La Arena, Grecia, Alajuela, Costa Rica.

Teléfono: +506 84589393
email: miguelrqbv97@gmail.com

Información del proyecto.

Nombre del proyecto: Rediseño del Sistema Eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores.

Profesor Asesor: Ing. Julio Andrés Morera Hidalgo.

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a viernes, de 8:00 a 15:45

Información de la empresa.

Nombre: Fábrica Nacional de Licores

Zona: Grecia

Dirección: Rincón de Salas, Grecia, Alajuela, Costa Rica.

Teléfono: +506 24940100

Actividad principal: Producción de alcohol para uso industrial, doméstico, medicinal y como materia prima para elaboración de licores.

Dedicatoria.

No existe nadie en el mundo que merezca más esta dedicatoria que mis padres, David Quesada y Alice Bolaños. Esto es solo una vaga manera de agradecerles todo lo que han hecho por mí, ya que sin ellos jamás hubiera podido llegar a ser quien soy. Porque cada día lo dan todo, para asegurarnos lo mejor a mi hermana y a mí.

A mis abuelos, Enrique Bolaños Q., Ada Vindas, pero muy especialmente a María Cristina Salazar, quien falleció durante el tiempo que realizaba este proyecto. A ellos, porque siempre estuvieron pendientes de mí, dándome su apoyo, motivación y consejos.

A mi hermana, Ana Bárbara Quesada, por estar siempre para mí, ser ese gran apoyo y confidente. Te deseo lo mejor en la vida.

A mi padrino, Enrique Bolaños V., por siempre estar para mí, aconsejarme, escucharme, apoyarme, en todos los momentos de mi vida.

Agradecimiento.

Primeramente, a Dios, por darme el don de la vida, por permitirme levantarme cada día, para tratar de ser mejor. Por tantas bendiciones que tengo en la vida.

Nuevamente a mis padres, porque siempre han sido mi motor, mi motivación para crecer en la vida, por darme todo.

A mi familia, porque cada uno de mis primos, tíos, abuelos y demás, de alguna u otra manera estuvieron ahí dándome su apoyo.

A mis amigos y compañeros del TEC, por haber sido parte importante de esa gran experiencia y ayudarme a crecer como persona. Siempre los recordaré.

A Esteban Oviedo, mi asesor industrial, por abrirme las puertas en FANAL para poder realizar el proyecto final de graduación, por el apoyo y la ayuda brindada.

Al personal de la Fábrica Nacional de Licores, por estar siempre anuentes a ayudarme y hacer que mi tiempo en la empresa fuera una gran experiencia.

A José Eduardo Arce Ureña y el Grupo ABC S.A., por la guía y apoyo brindado durante la elaboración de este proyecto.

A Luis Chévez, por ser un gran amigo, dispuesto a ayudarme, escucharme y aconsejarme. Le deseo el mayor de los éxitos en su vida.

Al Tecnológico de Costa Rica, sus trabajadores y profesores, principalmente a los de la escuela de Ingeniería Electromecánica, por ser quienes me formaron.

Resumen.

El presente proyecto surge debido a que la Fábrica Nacional de Licores tiene una instalación eléctrica con aproximadamente 40 años de antigüedad, lo que implica la existencia de sistemas obsoletos, además de incumplir con la legislación vigente, basada en la norma NFPA 70, NEC 2014, a la vez, que se pone en riesgo la vida y la seguridad de las personas. Aunado a esto, una modernización en dichos implementos permitiría tener un sistema más eficiente, mientras se monitoriza el uso de la energía de manera sencilla.

Se rediseñó la instalación eléctrica de la fábrica, comenzando por el sistema en media tensión, centralizando toda la alimentación hacia una subestación de media tensión, desde donde se distribuirá la energía para los transformadores existentes de 1500 kVA y 500 kVA, a través de las instalaciones de la empresa.

De igual manera, se realizó el rediseño del sistema en baja tensión, a 460Y/266 V, con subsistemas derivados a 240 Δ /120 V y 208Y/120 V. Se contempló la alimentación de motores y equipos, así como de tableros de iluminación y tomacorrientes. Además, se realizaron estudios de corto circuito y arco eléctrico en los tableros, junto con un estudio de iluminación del área de envase.

Se estima que el costo total del proyecto será de 335 898 354 ¢, donde aproximadamente 260 898 354 ¢ están asociados al costo de materiales y equipos, mientras que 75 000 000 ¢ son debido a mano de obra. Se tiene un VAN de 4179256202 ¢ y un TIR del 169%, lo que implica una recuperación de la inversión en dos años y un mes.

Palabras clave: normativa; rediseño; corto circuito; arco eléctrico.

Abstract.

The current project started due to an electric installation of at least 40 years old. As a result, obsolete systems and the neglect of the current legislation based on the norm NFPA 70, NEC 2014, and risk life and security. Moreover, modernization of the implements would allow a more efficient system while monitoring the energy use in a simple way.

The redesign of the electrical installation of the plant started with a medium voltage system centralizing all power to a medium voltage substation from where the power will be distributed for the existing 1500 kVA and 500 kVA transformers through the facilities of the company.

Additionally, the redesign of the low voltage system, from 460Y/266 V, with derived subsystems to 240 Δ /120 V and 208Y/120 V. Including the power supply of motors and equipment, as well as the lighting boards and outlets. Also, short circuit and electric arc flash carried out on the boards, as well as a lighting study of the packaging area.

The estimate of the total budget of the project would be of 335 898 354 ₡. Approximately 260 898 354 ₡ are linked to cost of materials and equipment while 75 000 000 ₡ are linked to labor. A VNA of 4179256202 ₡ and an IRR of 169% that implies a recovery of the investment in two years and one month.

Keywords: norm; redesign; short circuit; arc flash.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	13
1.1. Sobre la empresa.....	13
1.1.1. Reseña de la empresa.....	13
1.1.2. Visión.....	13
1.1.3. Misión.....	14
1.1.4. Proceso productivo.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Alcance.....	15
2. Marco Teórico.....	17
2.1. Conceptos básicos.....	17
2.2. Artículos del NEC 2014.....	21
3. Datos de partida para el diseño.....	25
3.1. Entorno Físico del Diseño.....	25
3.2. Estado del sistema actual.....	26
3.3. Preferencias del cliente.....	29
4. Diseño del sistema.....	32
4.1. Datos generales del sistema.....	32
4.2. Sistema eléctrico de media tensión:.....	32
4.2.1. Sistema de alimentación:.....	32
4.2.2. Estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones en media tensión:.....	35

4.3.	Sistema eléctrico de baja tensión:	37
4.4.	Otras consideraciones.	65
4.4.1.	Bombas del sistema contra incendios.	65
4.5.	Sistema de puesta a tierra.	66
4.6.	Estudios de cortocircuito y arco eléctrico.	66
4.7.	Estudios de iluminación.	69
5.	Análisis económico.	71
6.	Conclusiones.	75
7.	Recomendaciones.	76
8.	Bibliografía.	77
9.	Anexos.	79
9.1	Tablas utilizadas.	79
9.2	Fichas técnicas.	89
9.3.	Imágenes demostrativas.	94
10.	Apéndices.	96

Índice de figuras.

Figura 1.1. Proceso Productivo de la Fábrica Nacional de Licores.	15
Figura 3.1. Ubicación de la Fábrica Nacional de Licores.	25
Figura 3.2. Reconectador Automático Schneider Electric E-Series.	27
Figura 3.3. Demanda máxima en el transformador de confección de licores.....	29
Figura 4.1. Módulo de protección de transformador DVCAS.	33
Figura 4.2. Coordinación de protecciones en media tensión para transformador principal.....	35
Figura 4.3. Coordinación de protecciones en media tensión para el banco de transformadores de producción.....	36
Figura 4.4. Coordinación del ramal de la bomba B501.	41
Figura 4.5. Coordinación del alimentador de CCM de las bombas de la torre de destilación.	45
Figura 4.6. Coordinación del ramal de la bomba de enfriamiento 1	49
Figura 4.7. Coordinación del ramal de enfriamiento.....	52
Figura 4.8. Coordinación del ramal de las calderas.	55
Figura 4.9. Coordinación del alimentador del tablero de calderas.	57
Figura 4.10. Coordinación del ramal del transformador de cargas generales de destilería.	63
Figura 4.11. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de destilería.	67
Figura 4.12. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de la soda.	68
Figura 4.13. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de producción. ..	68
Figura 4.14. Estudio de iluminación para el área de envase.....	69

Índice de tablas.

Tabla 3.1. Distribución de las acometidas eléctricas.	26
Tabla 4.1. Datos de equipos de la torre de destilación.	38
Tabla 4.2. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de la torre de destilación.	42
Tabla 4.3. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de la torre de destilación (continuación).....	43
Tabla 4.4. Datos de equipos de enfriamiento.	46
Tabla 4.5. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de enfriamiento.	50
Tabla 4.6. Resultados del cálculo de los ramales de las cargas del tablero de calderas.	56
Tabla 4.7. Datos de equipos de CCM de materia prima.	58
Tabla 4.8. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de materia prima.	58
Tabla 4.9. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de materia prima (continuación).....	59
Tabla 4.10. Dimensionamiento del alimentador y CCM de materia prima.	59
Tabla 4.11. Datos del CCM de bombas de alcohol.....	59
Tabla 4.12. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de alcohol.	60
Tabla 4.13. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de alcohol (continuación).....	60
Tabla 4.14. Dimensionamiento del alimentador y CCM de bombas de alcohol.....	60
Tabla 4.15. Cálculo de ramales de cargas del tablero de zonas externas.....	61
Tabla 4.16. Dimensionamiento de los ramales de las cargas generales de destilería.	61
Tabla 5.1. Perdidas en los transformadores actuales.	71
Tabla 5.2. Datos de perdidas en transformadores para el sistema propuesto.....	72
Tabla 5.3. Costos asociados al proyecto.	73
Tabla 5.4. Análisis económico del proyecto.....	73

Índice de anexos.

Anexo 1. NEC 2014: Tabla 430.250.....	79
Anexo 2. NEC 2014: Tabla 310.15(B)(16).	80
Anexo 3. NEC 2014: Tabla 310.12(B)(17).	81
Anexo 4. NEC 2014: Tabla 8.....	82
Anexo 5. NEC 2014: Tabla 9.....	83
Anexo 6. NEC 2014: Tabla 430.52.....	84
Anexo 7. Tabla de contactores NEMA.	84
Anexo 8. NEC: Tabla 450.3(A).....	85
Anexo 9. NEC 2014: Tabla 250.122.....	85
Anexo 10. NEC 2014: Tabla 1.....	86
Anexo 11. NEC 2014: Tabla 4.....	86
Anexo 12. NEC 2014: Tabla 5 (Aislamiento XHHW-2 solamente)	86
Anexo 13. NEC: Tabla 5 (Aislamiento THHN solamente)	87
Anexo 14. NEC 2014: Tabla 450.3(B).....	87
Anexo 15. NEC 2014: Tabla 310.106(A).....	88
Anexo 16. Tabla de selección de fusibles Fusarc CF.	88
Anexo 17. Dimensiones de canasta portacables tipo escalera Crouse-Hinds.	89
Anexo 18. Ficha técnica de las luminarias para el área de envase.....	90
Anexo 19. Características del cable con aislamiento THHN.	91
Anexo 20. Características del cable con aislamiento XHHW-2.....	92
Anexo 21. Características del cable con aislamiento EPR.....	93
Anexo 22. Switchboard QED2.....	94
Anexo 23. Porta fusibles SM6 QM.	94
Anexo 24. Transformador TRIHAL.....	95

Índice de apéndices.

Apéndice 1. Celda de media tensión DVCAS de Schneider Electric.....	96
Apéndice 2. Transformador Howard Industries de 1500 kVA.....	96
Apéndice 3. Disyuntor principal del tablero de destilería.....	97
Apéndice 4. Generadores eléctricos Electra Molins.....	97
Apéndice 5. Banco de transformadores 75kVA, para tonelería.	98
Apéndice 6. Transformador de 167kVA, parte del banco envase.	98
Apéndice 7. Tablero CCM envase.	99
Apéndice 8. Transformador de 75kVA, parte del banco de confección de licores.	99
Apéndice 9. Transformador de 50kVA, para mercadeo.	100
Apéndice 10. Transformador de 50kVA, para iluminación exterior.	100
Apéndice 11. Tableros QED2 del cuarto eléctrico destilería.	101
Apéndice 12. Banco de transformadores del pozo #4.....	101
Apéndice 13. Gráfico de consumo de tablero de tonelería, alimentado por un banco de transformadores de 75 kVA.....	102

1. Introducción.

1.1. Sobre la empresa.

1.1.1. Reseña de la empresa.

La idea de crear la Fábrica Nacional de Licores nace en el año 1850, impulsado por el entonces presidente, Juan Rafael Mora Porras. En 1853, se crea la planta, para ser inaugurada hasta 1856, bajo el nombre de Fábrica Nacional de Aguardientes. Su propósito era el de fomentar la industria de la caña de azúcar, así como buscar el consumo de licor de calidad, mientras se producían ingresos para el estado. (Fábrica Nacional de Licores, 2020).

En los cincuenta se decide reubicar de manera estratégica la fábrica a la zona de Grecia, donde se concentra una gran cantidad producción de caña de azúcar, la cual es la principal materia prima para la elaboración del producto, sumado al fácil acceso a la capital. La construcción de dicha planta concluyó en 1981, sin embargo, el traslado de las operaciones fue dándose de manera paulatina hasta 1996. (Fábrica Nacional de Licores, 2020).

La Fábrica Nacional de Licores, se ha preocupado siempre por mantener los mejores estándares de calidad, preocupándose por utilizar materias primas de la más alta calidad mientras se rige por normas francesas, las cuales son superadas con facilidad, lo cual le permite competir tanto en el mercado nacional como internacional. (Fábrica Nacional de Licores, 2020).

1.1.2. Visión.

“Ser una empresa pública competitiva, moderna y consolidada en la producción y comercialización de alcoholes para la industria y bebidas alcohólicas, con altos estándares de calidad e inocuidad, para satisfacer los gustos y preferencias del

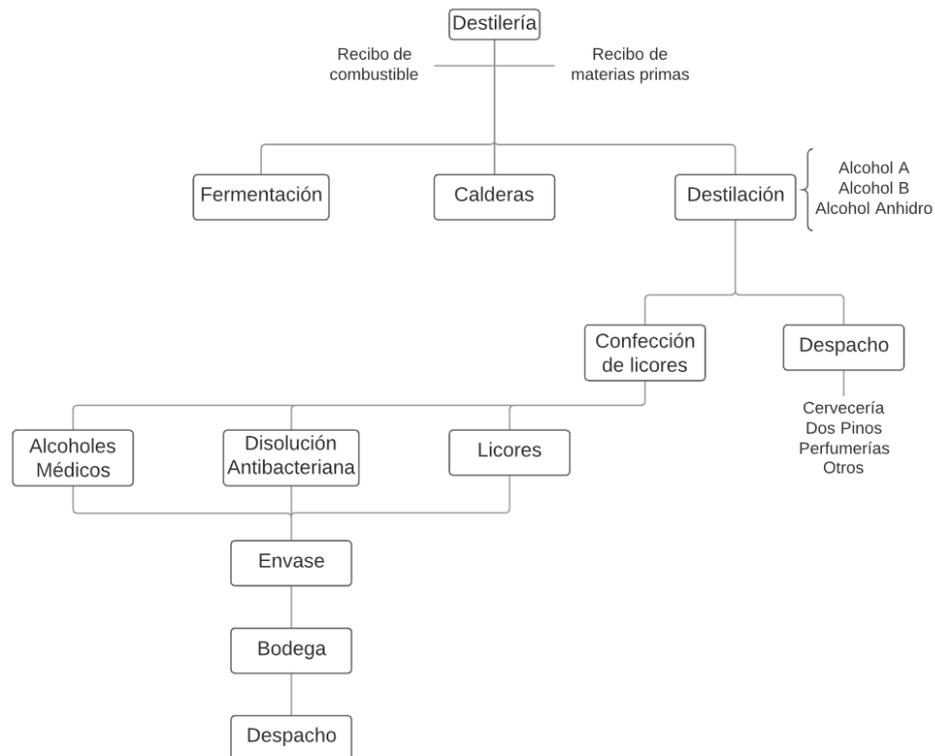
mercado, con un enfoque de bienestar social y salud pública”. (Fábrica Nacional de Licores, 2020).

1.1.3. Misión.

“Somos la primera agroindustria estatal, especializada en la producción y comercialización de alcoholes y bebidas alcohólicas con altos estándares de calidad, para apoyar el desarrollo del sector agropecuario nacional”. (Fábrica Nacional de Licores, 2020).

1.1.4. Proceso productivo.

A continuación, se presenta un diagrama del proceso productivo de la Fábrica Nacional de Licores, donde se observan los procesos que serán tomados en cuenta para el rediseño presentado en el presente proyecto.



Fuente: FANAL. Lucidchart.com.

Figura 1.1. Proceso Productivo de la Fábrica Nacional de Licores.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Realizar el rediseño del sistema eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores, con el fin modernizar el sistema, buscando la seguridad de las personas, así como un ahorro energético, basado en la normativa actual, NEC 2014.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Proponer un rediseño a la instalación eléctrica y sistema de puesta a tierra, de acuerdo con la normativa vigente en Código Eléctrico Nacional NEC 2014.
- Realizar un análisis de cortocircuito y arco eléctrico en los tableros de nivel 1 de la instalación eléctrica propuesta, basado en las normas IEC 60909 e IEC 1584.
- Estimar el costo final del proyecto, determinando así su factibilidad, mediante indicadores financieros como el VAN y el TIR.

1.3. Alcance.

El presente proyecto se centrará en rediseñar el sistema eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores, ubicada en Grecia, esto debido a que la instalación actual es bastante antigua, lo que implica tener equipos no tan eficientes y completos como los existentes en la actualidad. Además, por su longevidad, no cumple con la normativa vigente, basado en el NEC 2014.

Para esto, se comenzará con el diseño de una subestación en media tensión, desde donde se alimentarán los transformadores de 1500 kVA y 500 kVA, los cuales disminuyen la tensión a 460 V, para energizar los tableros principales. Seguidamente se terminarán los alimentadores de CCM, tableros de distribución y transformadores en baja tensión.

Además, se diseñaron los circuitos ramales de los motores, tomando en cuenta los disyuntores, contactores y sobrecargas. De igual manera, para los equipos existentes, se contempló únicamente el alimentador de los paneles ya existentes. Es importante recalcar que para los edificios de control de calidad, mercadeo, administración, así como los circuitos de iluminación y tomacorrientes, solo se diseñó el circuito alimentador, basado en mediciones de demanda realizadas en dichas áreas, mediante el uso de un medidor de energía Marca Circutor.

2. Marco Teórico.

2.1. Conceptos básicos.

-Baja tensión: nivel de tensión menor o igual a 1 kV. (ARESEP, 2015)

-Media tensión: nivel de tensión mayor a 1 kV, pero menor o igual a 100 kV. (ARESEP, 2015)

-Subestación: ensamble cubierto de un equipo, (por ejemplo, interruptores, dispositivos de interrupción, ruptores de circuitos, barras colectoras y transformadores), a través del cual pasa la energía eléctrica con fines de distribución conmutación o modificación de sus características. (National Fire Protection Association, 2014).

-Fusible: dispositivo de protección contra sobre corriente con una parte fundible de apertura de un circuito, que se calienta y rompe por el paso de una sobre corriente a través de ella. (National Fire Protection Association, 2014).

-Centro de control de motores: ensamble de una o más secciones encerradas que tienen barras de energía comunes Y que contiene principalmente unidades de control de motores. (National Fire Protection Association, 2014).

-Instalación eléctrica: una instalación eléctrica residencial, comercial o industrial se encarga de distribuir la energía eléctrica hasta los puntos de consumo. El diseño de una instalación eléctrica contempla la selección de una variedad de equipos y materiales para que los usuarios tengan un suministro confiable y seguro. (National Fire Protection Association, 2008).

En Costa Rica, el ente encargado de velar por la correcta realización de estos proyectos es el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), quien debe encargarse de la revisión y aprobación de planos y demás requisitos necesarios. La normativa vigente en nuestro 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).

Una instalación eléctrica, tiene entre sus componentes:

-Equipo de acometida: equipo necesario, consiste generalmente en un(os) interruptor(es) automático(s) o interruptor(es) y fusible(s) con sus accesorios conectados al extremo de carga de los conductores de acometida a un edificio o estructura u otra área designada y destinado para constituir el control principal Y desconexión del suministro. (National Fire Protection Association, 2014)

-Transformador: un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas (normalmente) no están conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo. (National Fire Protection Association, 2008)

-Tablero principal: Es el tablero o grupo de tableros diseñados para formar un solo tablero incluyendo barras colectoras, detectores de sobrecorriente automáticos y algunas veces circuitos de iluminación, calefacción o potencia. Diseñados para ser colocados en un gabinete o caja de cortacircuitos colocada en una pared o muro divisorio y accesible sólo desde la parte frontal. (Brenes, 2019).

-Tablero de distribución: panel único de grandes dimensiones, marco o ensamble de paneles sobre cuyo frente, parte posterior o sobre ambos, se montan interruptores dispositivos de protección contra sobretensión u otros, barras colectoras y generalmente, instrumento. Estos ensambles son, en general accesibles desde la parte posterior, así como desde del frente y no han sido previstos para ser instalados en gabinetes. (National Fire Protection Association, 2014)

-Alimentador: todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de un sistema derivado separado u otra fuente de suministro de energía eléctrica y el dispositivo de protección contra sobrecorriente final del circuito ramal. (National Fire Protection Association, 2008).

-Circuito ramal: conductores de circuito entre el dispositivo final contra sobrecorriente que protege el circuito y la(s) salida(s). (National Fire Protection Association, 2008).

-Interruptor termomagnético: es un dispositivo que interrumpe el paso de la intensidad de corriente (I) cuando existe un excesivo calentamiento a causa de sobrecarga o cortocircuito, los interruptores termomagnéticos utilizan una tira bimetal como elemento principal para abrir el circuito, causando la protección al circuito y elementos conectados al sistema. (Harper, 2004).

-Sobrecorriente: cualquier corriente que supere la corriente nominal de un equipo o la capacidad de conducción de corriente de un conductor. Puede ser el resultado de una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra. (National Fire Protection Association, 2008).

-Puesta a tierra: conexión a tierra o a cualquier cuerpo conector que extienda la conexión a tierra. (National Fire Protection Association, 2008).

-Factor de demanda: relación entre la demanda máxima de un sistema, o parte de este, y la carga total conectada al sistema o a una parte de este, en estudio. (National Fire Protection Association, 2008).

-Corriente: el movimiento de cargas eléctricas sobre unidad de tiempo en el interior de un conductor se denomina corriente eléctrica o intensidad de corriente, se expresa con la unidad de amperios. (Harper, 2004).

-Tensión: es el trabajo necesario para generar el movimiento de una carga eléctrica por el conductor en un circuito cerrado, el voltaje alterno varía en forma cíclica debido al cambio de polaridad en función del tiempo (60 Hz en Ecuador) generando una onda senoidal de 60 ciclos en un segundo. (Fowler, New York).

-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).

-Diagrama 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).

-Sobrecarga: funcionamiento de un equipo por encima de su capacidad nominal de plena carga, o de un conductor por encima de su capacidad nominal de conducción de corriente que, cuando persiste durante un tiempo suficiente largo, podría causar daños o un calentamiento peligroso. Una falla como un cortocircuito o una falla a tierra no es una sobrecarga. (National Fire Protection Association, 2008).

-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 G. , 2019).

2.2. Artículos del NEC 2014.

El presente diseño se basa en la normativa de NFPA 70, NEC 2014, por lo que, a continuación, se presentan los principales artículos utilizados para el desarrollo de este:

-215.2 Alimentadores a no más de 600 volts. (1) Generalidades.

Los conductores de los alimentadores deben tener una capacidad no menor que la requerida para alimentar la carga, según lo calculado las partes III, IV y V del artículo 220. Los conductores deben estar dimensionados para transportar no menos que el valor más alto especificado en 215.2 (A)(1) (a) o (b).

- (a) Donde un alimentador abastece cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el calibre mínimo del conductor del alimentador debe tener una ampacidad permitida no menor que la carga no continúa más el 125 % de la carga continua.
- (b) El calibre mínimo del conductor del alimentador debe tener una capacidad permitida no menor que la carga máxima que se va a alimentar después de la aplicación de cualquier factor de ajuste o corrección.

-215.3 Protección contra sobrecorriente.

Los alimentadores deben estar protegidos contra sobrecorriente, de acuerdo con lo establecido en la parte I del artículo 240. Cuando un alimentador suministra cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobre corrientes no debe ser inferior a la carga no continua, más del 125 % de la carga continua. (National Fire Protection Association, 2014)

-240.6(A) Fusibles e interruptores de circuito de disparo fijo.

Los valores en amperes nominales normalizados de los fusibles e interruptores automáticos de disparo en inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes nominales normalizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10, y 601. Debe permitirse el uso de fusibles e interruptores de circuito de tiempo inverso con valores nominales en amperes no normalizadas. (National Fire Protection Association, 2014)

-392.22(B)(1)(d).

Cuando cualquiera de los cables de un solo conductor instalados sea del 1/0 AWG hasta 4/0 AWG, la suma de los diámetros de todos los cables de un solo conductor no debe exceder el ancho de la bandeja. (National Fire Protection Association, 2014)

-430.24 Varios motores o un(os) motor(es) y otra(s) carga(s).

Los conductores que alimentan varios motores o un(os) motor(es) y otra(s) carga(s) deben tener una ampacidad no inferior a la suma de cada uno de los siguientes:

- 125 % de la corriente nominal de plena carga del motor como el valor nominal más alto, tal como se determina en la sección 430.6(A).
- La suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo, tal como se determina la sección 430.6(A).
- 100 % de las cargas no continuas que no son motores.
- 125 % de las cargas continuas que no son motores.

(National Fire Protection Association, 2014)

-430.32(A)(1) Dispositivo separado de protección contra sobrecarga.

Un dispositivo separado de protección contra sobrecarga que sea sensible la corriente del motor. Este dispositivo se debe seleccionar para que se dispare o debe tener valor nominal no superior al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor:

- Motores como factor de servicio marcado de 1,15 o más: 125 %
- Motores como aumento de temperatura marca de 140° C o menos: 125 %
- Todos los demás motores: 115 % (National Fire Protection Association, 2014)

-430.22 Motor único.

Los conductores que alimenten un solo motor que se use en una aplicación de servicio y continuo, deben tener una ampacidad no menor del 125 % del valor nominal de corriente de plena carga del motor, cómo se determina en la sección 430.6(A)(1), o no menor que la especificada en la sección 430.22(A) hasta (G). (National Fire Protection Association, 2014).

-430.32(C) Selección el dispositivo de protección contra sobrecarga.

Cuando el elemento detector o el ajuste o el dimensionamiento del dispositivo protección contra sobrecarga seleccionado de acuerdo con las secciones 430.32(A)(1) y 430.32(B)(1) no son suficientes para arrancar el motor o llevar la carga, debe permitirse el uso de elementos detectores de mayor tamaño o incrementos en los ajustes o el dimensionamiento, siempre que la corriente de disparo del dispositivo de protección contra sobrecarga no exceda los siguientes porcentajes del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor.

- Motores con factores servicio marcado de 1,15 o más: 140 %
- Motores con aumento de temperatura marca de 40° C o menos: 140 %
- Todos los demás motores: 130 % (National Fire Protection Association, 2014)

-430.62 Valor nominal o ajuste carga del motor: (A) Carga específica.

Un alimentador que se utilice para la alimentación de una(s) carga(s) fija(s) específica(s) de motor(es) y que conste de conductores mencionados con base en la sección 430.24, debe estar dotado de un dispositivo de protección con un valor nominal o ajuste no superior al mayor valor nominal o ajuste del dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra el circuito ramal para cualquier motor alimentado por el alimentador más la suma de todas las corrientes de plena carga de los demás motores del grupo. (National Fire Protection Association, 2014)

-625.40 Protección contra sobre corriente.

El dispositivo de protección contra sobrecorriente para los alimentadores y circuitos ramales de los equipos de alimentación para vehículos eléctricos, debe dimensionarse para régimen continuo y debe tener una capacidad nominal no menor al 125 % de la carga máxima del equipo de alimentación para vehículos eléctricos. Cuando haya cargas no continuas conectadas al mismo alimentador o circuito ramal, el valor nominal dispositivo de protección contra sobre corriente no debe ser menor a la suma de todas las cargas no continuas más de 125 % de las cargas continuas. (National Fire Protection Association, 2014)

-695.6(B)(1). Motores de las bombas contra incendios y otros equipos.

Los conductores que alimentan el motor o motores de las bombas contra incendios, las bombas de mantenimiento de la presión y el equipo de accesorio asociado a la bomba contra incendios debe tener un valor nominal mínimo del 125 % de la suma de la corriente de plena carga del motor o motores de las bombas contra incendios o las bombas de mantenimiento de la presión y el 100 % del equipo accesorio asociado de la bomba contra incendios. (National Fire Protection Association, 2014).

3. Datos de partida para el diseño.

3.1. Entorno Físico del Diseño.

La Fábrica Nacional de Licores se encuentra ubicada en Rincón de Salas, Grecia, a una altura de 794 m.s.n.m. con una temperatura máxima promedio de 28°C, según el (Intituto Meteorológico Nacional., 2020).



Fuente: Google Maps

Figura 3.1. Ubicación de la Fábrica Nacional de Licores.

3.2. Estado del sistema actual.

La Fábrica Nacional de Licores cuenta actualmente con cuatro acometidas, las cuales se distribuyen de la siguiente manera. Además, en el plano de distribución de transformadores actuales¹, se puede observar gráficamente las zonas que estos alimentan.

Tabla 3.1. Distribución de las acometidas eléctricas.

Acometida	Tensión (kV)	Consumo máximo (kWh)	Demanda (kW)	Transformador (kVA)	Zona alimentada
1	34,5	135800	329,7	1500	Destilería
2	34,5	33950	192,2	500, 3Ø	Envase
				75, 3Ø	Tonelería
				225, 3Ø	Confección de licores
				50, 1Ø	Mercadeo
				50, 1Ø	Iluminación Externa
				75, 3Ø	Pozo #4
3	0,24	2090	-	NA	Tienda, caseta de guardas, casa y almacén
4	0,24	108	-	NA	Caseta entrada principal

Fuente: (FANAL, 2020). Microsoft Excel.

La acometida uno, como se ve en la tabla anterior, alimenta la zona de destilería, comprendiendo la recepción y distribución de las materias primas, fermentación (actualmente fuera de uso, pero con proyecciones a reactivarse), destilación, control de calidad, así como despacho de alcohol hacia otras zonas de la fábrica.

¹ en adelante se utilizará este formato de palabra para identificar los hipervínculos utilizados dentro del trabajo.

En este caso se cuenta con un reconectador automático marca Schneider Electric E-Series, con capacidad interruptiva de 16 kA a 38 kV, como el que se observa en la siguiente figura. Este se ubica en el punto de conexión con la compañía eléctrica, específicamente el Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.), a través del circuito “Naranjo- Argentina”.



Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Figura 3.2. Reconectador Automático Schneider Electric E-Series.

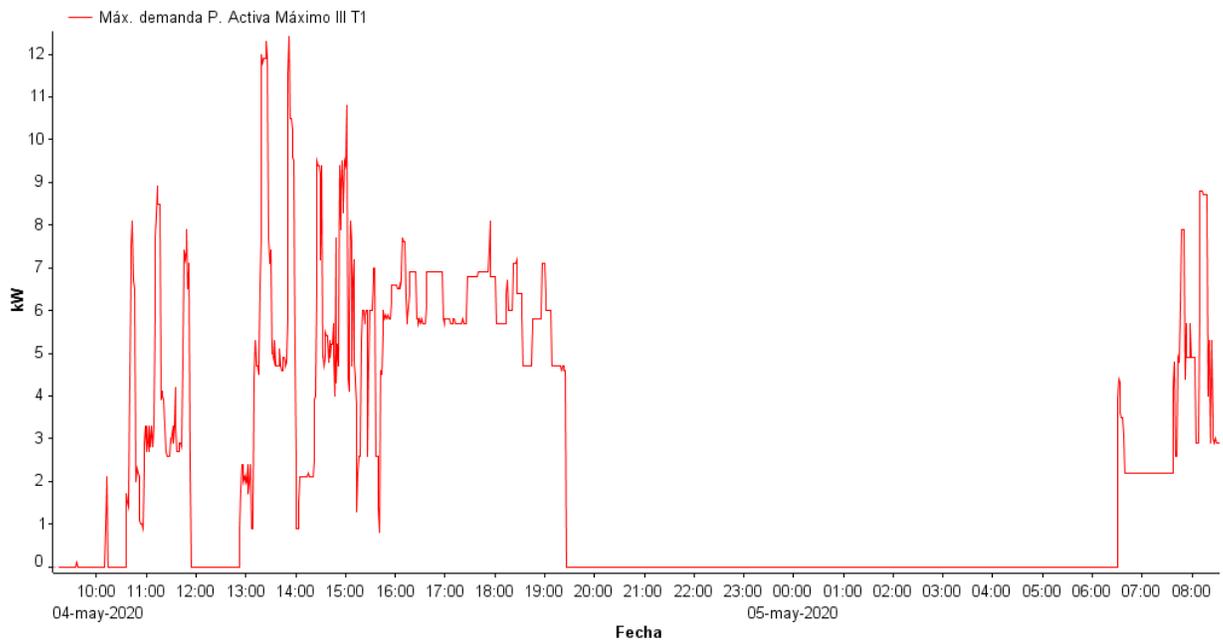
Seguidamente, se pasa a una subestación de media tensión, donde se tiene una celda DVCAS de Schneider Electric, con una capacidad interruptiva de 52 kA a 38 kV (Apéndice 1). Esta funciona como interruptor principal del transformador Howard Industries de 1500 kVA que se tiene en la misma bóveda, el cual reduce la tensión de 34,5 kV a 460 V (Apéndice 2).

Junto a dicha bóveda, se encuentra el cuarto eléctrico principal, donde la mayoría de los equipos cuentan con una antigüedad de 40 años. Se tiene un tablero principal (Apéndice 3), el cual se comunica internamente por barras. De este, se derivan los diferentes disyuntores que alimentan las distintas zonas de esta sección de la fábrica.

Además, se cuenta con dos generadores eléctricos marca Electra Molins de 350 kVA a 440 V (Apéndice 4), los cuales alimentan a los distintos tableros a través de una transferencia automática de la marca Schneider Electric.

Por otro lado, la acometida 2 alimenta, primeramente, un banco de transformadores de poste de 75 kVA (Apéndice 5), el cual brinda energía a un tablero tipo I-Line, desde donde se conectan el área de envase de alcoholes de la CCSS, el taller mecánico, la bodega de tonelería y la planta de tratamiento de aguas de proceso.

Seguidamente, se tiene un banco de transformadores de 500 kVA (Apéndice 6) y otro de 225 kVA (Apéndice 8). El primero alimenta el tablero del cuarto eléctrico de envase, desde donde se distribuye hacia la planta embotelladora de alcohol y el edificio administrativo, mientras que el segundo brinda energía al cuarto de control de motores de confección de licores. Este último actualmente está prácticamente fuera de uso, ya que se han eliminado mucho de los equipos para los que se diseñó, o han sido sustituidos por sistemas hidráulicos, lo cual se puede ver en el siguiente gráfico, donde se tiene una demanda máxima de 12,3 kW.



Fuente: Propia. PowerVision Plus

Figura 3.3. Demanda máxima en el transformador de confección de licores.

Finalmente, se tiene transformadores monofásicos de 50 kVA, uno para alimentar el edificio de mercadeo, mientras que el otro energiza un circuito de iluminación exterior. Además de un último banco de transformadores de 75 kVA para la bomba del pozo 4 ubicado en el sector noreste de la propiedad.

3.3. Preferencias del cliente.

El presente proyecto surge de la idea de centralizar la alimentación de la planta en una sola acometida, ya que se considera innecesario el tener cuatro facturaciones de energía eléctrica, teniendo en cuenta que todas son alimentadas desde la misma subestación. Además, esto implica costos extra asociados a mantenimiento de las líneas, transformadores, entre otros.

Por otro lado, se está teniendo un gran costo relacionado con las pérdidas por transformación. Como se vio en la tabla 2.1, la primera acometida alimenta un transformador de 1500 kVA, mas, según datos de facturación, solo se demandan 329,7 kW, es decir, aproximadamente un 22 % de la capacidad de este. En la segunda, se reportan 192 kW demandados, con una potencia en transformadores total de 1000 kVA, lo cual representa un 25 % de utilización.

Además de lo indicado anteriormente, el sistema eléctrico actual es muy antiguo, ya que, en algunas zonas se cuenta con los equipos instalados cuando se construyó la planta hace alrededor de 40 años. Esto conlleva a tener dificultad para realizar ciertas tareas, como lo es la medición de parámetros, o controlar procesos de manera remota.

Por especificación de la empresa, el rediseño se realizará utilizando como base equipos de la marca Schneider Electric, principalmente debido a que algunos de los dispositivos ya instalados son de dicho fabricante, con lo cual se llevaría a una estandarización de estos. Sin embargo, para efectos de licitación, se podrán utilizar unidades de otra casa matriz, siempre y cuando cumplan las características especificadas.

En cuanto al nivel de rediseño que se desea, el cliente solicita que, para áreas como los edificios de mercadeo, administración y control de calidad, solo se diseñe el alimentar del tablero principal de cada uno de ellos, ya que en el proyecto no se considera realizar modificaciones en dichos recintos.

Para las líneas de producción del área de envase, se plantea la utilización de ductobarras, debido a la facilidad que brindan a la hora de realizar la instalación, así como el ahorro en cableado que se tendría. También, se solicita tomar en cuenta que en el futuro se utilizará iluminación led, con lo cual se pretende disminuir el consumo de energía.

Otro de los requerimientos que se solicitan es manejar solo tensiones trifásicas de 460 V y 240 V dentro de la planta, eliminando el 380 V que se tiene en la actualidad. Esto implica que muchos de los equipos actuales deberán ser sustituidos o rebobinados (en el caso de los motores), por lo que el diseño debe contemplar dicho cambio.

4. Diseño del sistema.

4.1. Datos generales del sistema.

- Temperatura promedio: 28°C
- Cálculo para la caída de tensión:

$$\% CV = \frac{\sqrt{3} \times L \times I_L \times Z}{1000 \times V}$$

Donde:

-% CV: porcentaje de caída de tensión.

-L: distancia (m).

-I_L: corriente de línea (A).

-Z: impedancia de conductor (Ω/km).

-V: tensión de línea.

Nota: los valores de Z se tomarán de la tabla 8 del NEC 2014 si se utilizan canastas porta cables o de la tabla 9 si es tubería.

4.2. Sistema eléctrico de media tensión:

4.2.1. Sistema de alimentación:

Circuito de alimentación: Naranjo - Argentina.

Corriente de corto circuito en el punto de conexión: 2,763 kA 3∅

Tensión en el primario: 34,5 kV.

Conexión: aéreo-subterránea.

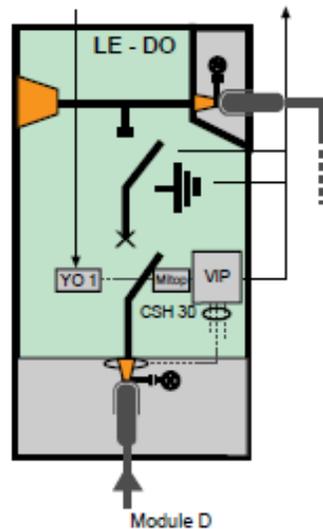
Transformadores: 1500 kVA / 500 kVA.

Conductor: 1/0 AWG, aislamiento EPR (Lámina 12).

Canalizaciones (Lámina 13):

- Ducto subterráneo: PVC, SDR 41, 103 mm de diámetro.
- Bandejas portacables tipo escalera de 228,6 mm de ancho.

Como se mencionó anteriormente, en la actualidad se tiene una celda de media tensión DVCAS que funciona como interruptor principal del transformador de 1,5 MVA, teniendo una configuración tipo “DO”, (D: Módulo de protección de transformadores; O: Módulo de línea de salida).



Fuente: (Schneider Electric, 2019)

Figura 4.1. Módulo de protección de transformador DVCAS.

En el presente proyecto, se plantea utilizar dicho equipo como protección principal de la subestación de media tensión, añadiendo un módulo de salida extra a la celda existente, para seccionar la alimentación de los transformadores de 1500 kVA (transformador principal) y el de 500 kVA (banco de transformadores de producción). Para esto, se utilizarán fusibles limitadores de corriente como protección de cada uno dichos dispositivos, modelo Fusarc CF de Schneider Electric.

Según la tabla 450.3(A) del NEC 2014, dichos fusibles se deben seleccionar al 300 % de la corriente nominal del transformador, con lo que se tiene lo siguiente:

-Transformador de 1500 kVA:

$$I_d = \frac{1500 \text{ kVA}}{34,5 \text{ kV} \times \sqrt{3}} \times 300 \%$$

$$I_d = 75,3 \text{ A} \rightarrow 70 \text{ A}$$

De la tabla de selección del fabricante, se tiene que para este tipo de transformador se requiere un fusible de 53 A, lo cual cumple con lo establecido en la norma.

-Banco de transformadores de 500 kVA:

$$I_d: \frac{500 \text{ kVA}}{34,5 \text{ kV} \times \sqrt{3}} \times 300 \%$$

$$I_d = 25,1 \text{ A} \rightarrow 25 \text{ A}$$

Según Schneider Electric, se selecciona un fusile de 25 A, lo cual corresponde el valor calculado.

En ambos casos, se utilizarán porta fusibles modelo SM6 QM de Schneider Electric, como el que se muestra en el anexo 22. Además, junto al banco de transformadores de producción, se pondrá otro juego de fusibles, esto debido a la distancia existente entre este y la subestación de media tensión, como se puede observar en el diagrama unifilar.

Para la alimentación de cada transformador, se deberá utilizar cables monoconductores calibre 1/0 AWG, ya que, de acuerdo con la tabla 310.106(A), este es el tamaño mínimo requerido en tensiones entre 28001 V y 35000 V. Además, se estos llevarán una cubierta tipo EPR con un nivel de aislamiento del 133 %.

4.2.2. Estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones en media tensión:

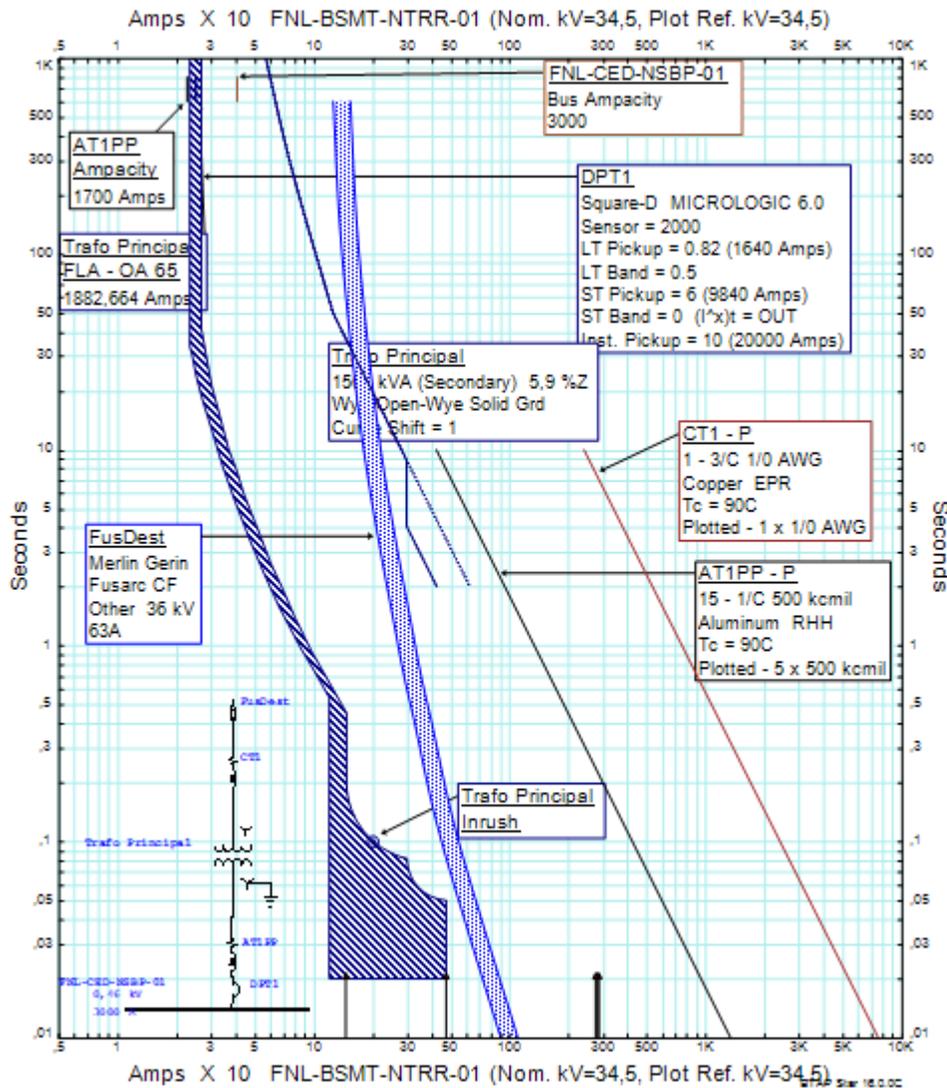
- Transformador principal:

- a) Cortocircuito trifásico:

- Primario del transformador a 34,5 kV: 2,841 kA.

- Secundario del transformador a 460Y/266 V: 40,682 Ka.

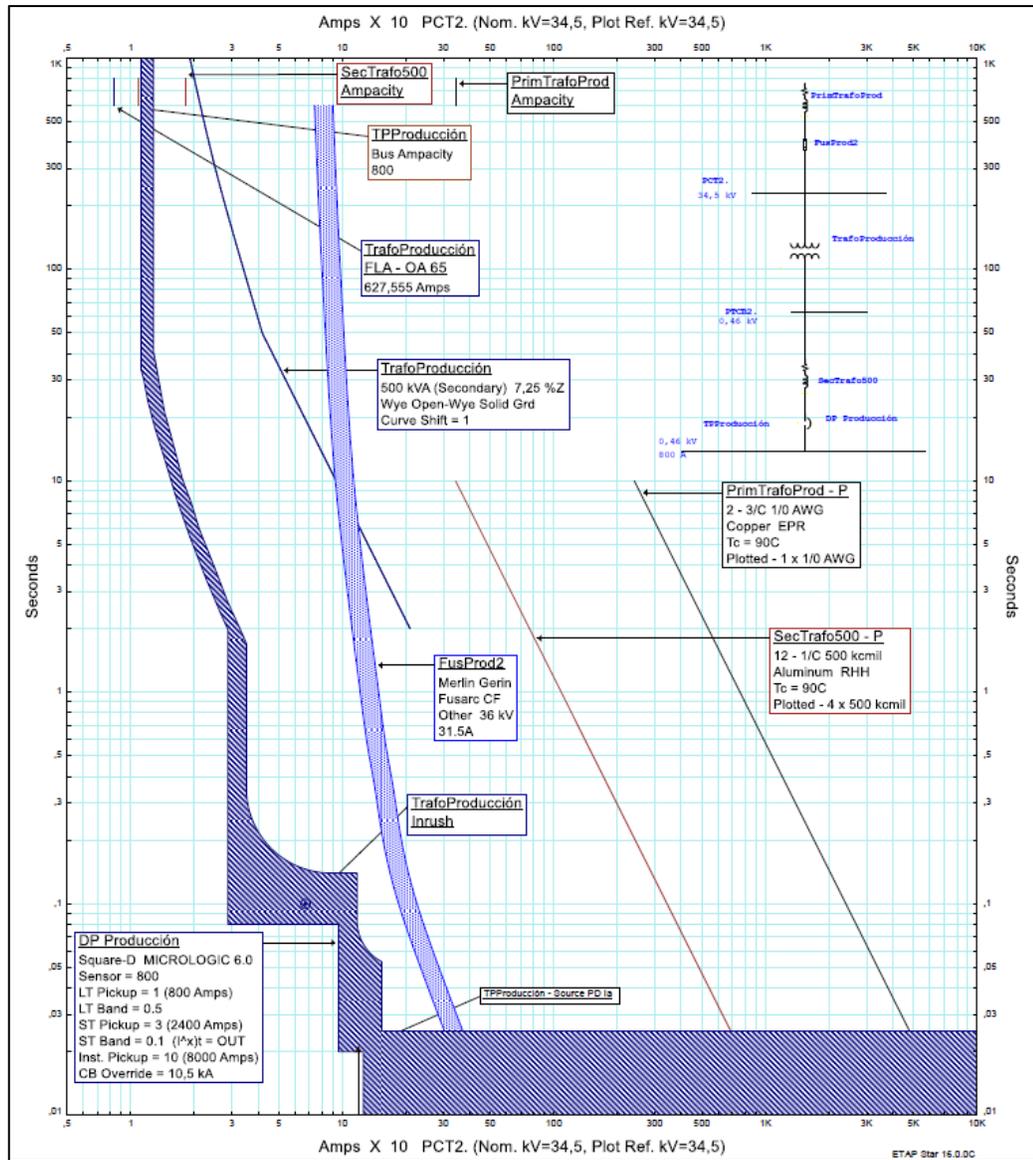
- b) Coordinación de protecciones:



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.2. Coordinación de protecciones en media tensión para transformador principal.

- Banco de transformadores producción.
 - a) Cortocircuito trifásico:
 - Primario del transformador a 34,5 kV: 2,827 kA
 - Secundario del transformador a 460Y/266 V: 23,174 kA
 - b) Coordinación de protecciones:



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.3. Coordinación de protecciones en media tensión para el banco de transformadores de producción.

4.3. Sistema eléctrico de baja tensión:

Para el sistema eléctrico en baja tensión, se tiene que inmediatamente después de los transformadores, se instalará un panel principal tipo switchboard QED-2 de Schneider Electric, como el que se observa en el anexo 23, desde donde se distribuirá a las diferentes zonas de la fábrica.

Como se puede observar en el diagrama unifilar, primeramente, se tiene el tablero de distribución principal (FNL-CED-NSBP-01), alimentado por el transformador de 1,5 MVA (FNL-BSMT-NTRR-01). Este alimenta al “Tableros de distribución Soda” (FNL-CED-NSBP-01) y al “Tablero de distribución Producción”. Además, por indicación del encargado de mantenimiento de FANAL, se dejará una prevista de 600 A para el área de fermentación.

Es importante aclarar que, en caso de no especificarse, los conductores utilizados calibre 1/0 AWG serán seleccionados en aluminio con aislamientos XHHW-2. Los de tamaño 2 AWG o menores, se utilizarán en cobre con cubierta THHN.

Para efectos de este proyecto, se presentará de manera más detallada el dimensionamiento del tablero de distribución de destilería, como muestra de cómo se realizaron los cálculos y selección de componentes y equipos, ya que en el resto de los casos se realiza de manera similar, cuyos datos se pueden verificar en el diagrama unifilar.

Destilería (FNL-CED-NSBP-02):

Como se puede apreciar en la lámina 14, este tablero se encuentra inmediatamente después del tablero de distribución principal, unido por el mismo sistema de barras, teniendo su propio interruptor principal, como se muestra en el apéndice 11.

-Tablero de destilación (FNL-CED-NCCMP-04):

Según la información recopilada, en la torre de destilación se cuenta con los siguientes equipos:

Tabla 4.1. Datos de equipos de la torre de destilación.

Bombas	Potencia (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	Longitud (m)
B501	25	460	34	90,6
B510	5	460	7,6	93,6
B511	1,36	460	2,75	88,5
B512	4,5	460	6,9	90
B520	5	460	7,6	93
B521	1,36	460	2,75	99,5
B531	9,3	460	13,2	98,1
B540	9,3	460	13,2	96,7
B542	1,36	460	2,75	113
B543	1,36	460	2,75	111
B550	5	460	7,6	100
B551	6,8	460	10,3	101
B570	1,36	460	2,75	103,1
B571	1,36	460	2,75	104
B572	6,8	460	10,3	109
B573	1,36	460	2,75	107

Fuente: propia. Microsoft Excel.

Los valores de corriente de la tabla anterior fueron obtenidos de la tabla 430.250 del NEC 2014, debido a que, según la información suministrada por el departamento de mantenimiento de FANAL, se realizará un rebobinado de los motores de las bombas que se tienen actualmente, cambiando su tensión de 380 V a 460 V. (FANAL, 2020).

A continuación, se muestra la memoria de cálculo para la bomba B501 de 25 HP.

Bomba B501.

-Conductores:

Como se observa en la tabla 4.1, la corriente a plena carga para este motor es de 34 A y, según lo expresado en el artículo 430.22, la corriente de diseño para la selección del calibre del conductor se calcula de la siguiente manera:

$$I_d = 34 A \times 125 \%$$

$$I_d = 42,5 A$$

De acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), se selecciona un conductor por fase calibre **6 AWG** en cobre, el cual tiene una ampacidad de **55 A @ 60 °C**. Además, la cubierta a utilizar será THHN, a pesar de haberse utilizado la columna a 60 °C, debido a sus características, así como a la disponibilidad de este en el mercado.

Seguidamente, se procede a verificar la caída de tensión en el conductor debido a la distancia:

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 90,6 m \times 34 A \times 1,41 \Omega/km}{1000 \times 460 V}$$
$$\%CV = 1,63\% < 3 \%$$

-Disyuntor:

Según la tabla 430.52, para un motor jaula de ardilla, el ajuste máximo del interruptor automático de tiempo inverso es del 250 % de la corriente a plena carga del motor, por lo tanto:

$$I_d = 34 A \times 250 \%$$

$$I_d = 85 A$$

Según el artículo 240.6(A), se debe seleccionar un disyuntor de **80 A**. Sin embargo, en la figura 4.4, se observa que este se puede ajustar a un valor de 56 A, lo cual permite el arranque del motor a su vez que protege el cable del ramal.

-Contactor:

Basado en la tabla de contactores NEMA; se selecciona un contactor de tamaño **NEMA 2**, el cual está diseñado para motores de hasta 25 HP a 460 V.

-Sobrecarga:

Según el artículo 430.32(A)(1), la corriente de ajuste del dispositivo de sobrecarga se calcula como:

$$I_{SC\text{mín}} = 34 A \times 115 \%$$

$$I_{SC\text{mín}} = 31,1 A$$

Del artículo 430.32(C):

$$I_{SC\text{máx}} = 34 A \times 130 \%$$

$$I_{SC\text{mín}} = 44,2 A$$

-Cable de puesta a tierra:

De la tabla 250.122, se tiene que, para un disyuntor de 80 A, se debe utilizar un cable calibre **8 AWG**. En este caso, este tendrá una cubierta THHN.

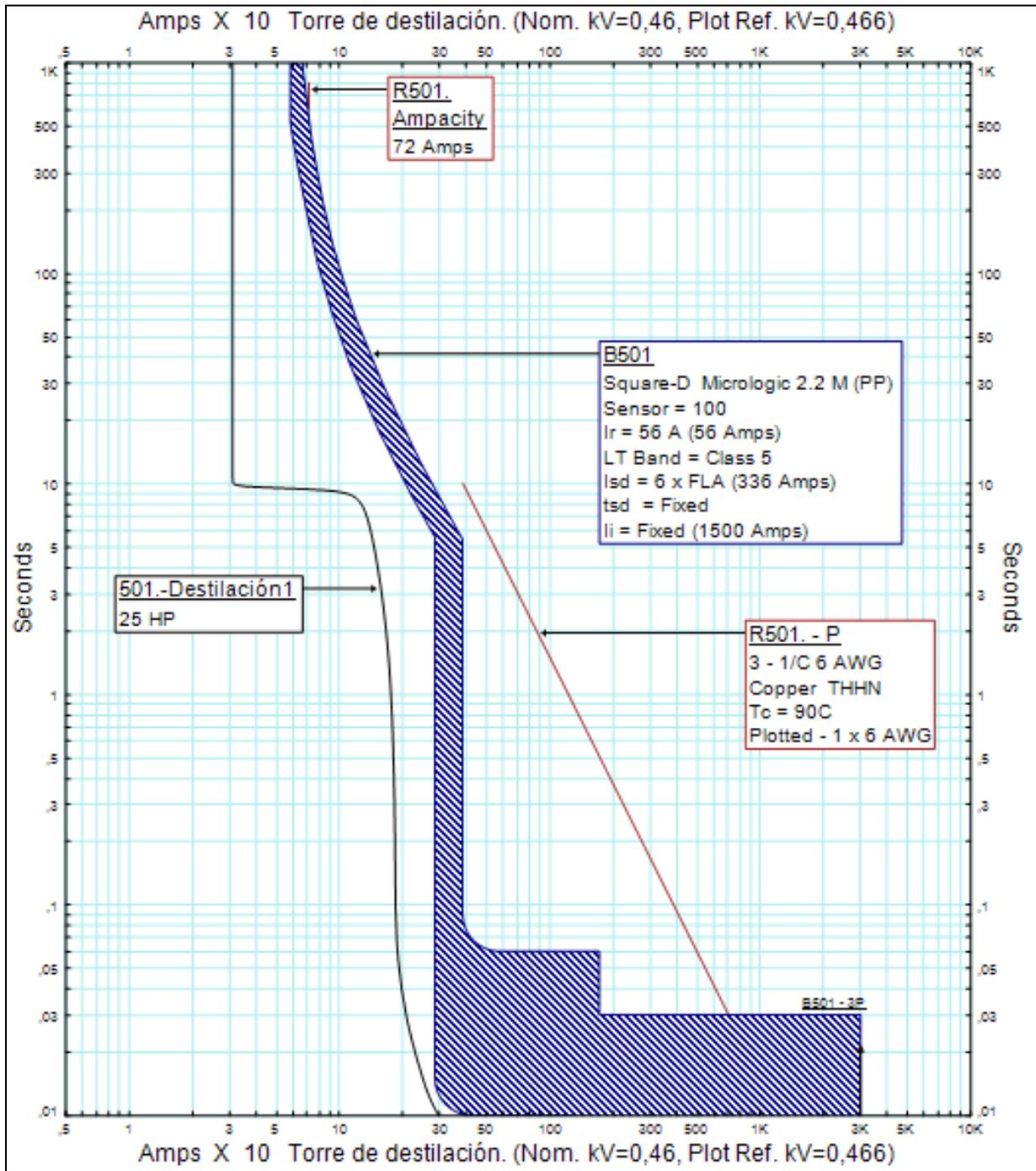
-Canalización:

Como canalización para los cables de este ramal, se utilizará tubería EMT. Esto implica que, para calcular el diámetro de este, se deberá conocer primeramente el área transversal aproximada del cable a utilizar, la cual se puede encontrar en la tabla 5 del NEC 2014, teniendo que para un conductor calibre 6 AWG con cubierta THHN, dicha media es de 32,71 mm².

De la información anterior, se puede determinar que el área trasversal aproximada de los cables es de 98,13 mm². Ahora, según la tabla 1 del NEC 2014, cuando se tienen más de 3 conductores, el porcentaje de sección transversal del tubo debe ser del 40 %. Con esto, se puede determinar que la tubería a utilizar será de **21 mm de diámetro**, según la tabla 4 del NEC 2014.

-Estudio de coordinación del ramal:

Según el estudio realizado en el software ETAP, se tiene una corriente de cortocircuito a la salida del motor de **1,97 kA**, teniendo que la coordinación de los elementos del ramal de la siguiente manera:



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.4. Coordinación del ramal de la bomba B501.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los datos obtenidos para todos los motores del grupo.

Tabla 4.2. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de la torre de destilación.

Bombas	Potencia (HP)	Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Cable de tierra
B501	25	42,50	6 AWG	80	8 AWG
B510	5	9,50	14 AWG	15	14 AWG
B511	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B512	4,5	8,63	14 AWG	15	14 AWG
B520	5	9,50	14 AWG	15	14 AWG
B521	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B531	9,3	16,50	12 AWG	30	10 AWG
B540	9,3	16,50	12 AWG	30	10 AWG
B542	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B543	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B550	5	9,50	14 AWG	15	14 AWG
B551	6,8	12,88	12 AWG	25	10 AWG
B570	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B571	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG
B572	6,8	12,88	12 AWG	25	10 AWG
B573	1,36	3,44	14 AWG	15	14 AWG

Fuente Microsoft Excel.

Tabla 4.3. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de la torre de destilación (continuación).

Bombas	Contactador NEMA	Sobrecarga mínima (A)	Sobrecarga máxima (A)	Canalización (mm)
B501	2	39,10	44,20	21
B510	0	8,74	9,88	16
B511	00	3,16	3,58	16
B512	0	7,94	8,97	16
B520	0	8,74	9,88	16
B521	00	3,16	3,58	16
B531	1	15,18	17,16	16
B540	1	15,18	17,16	16
B542	00	3,16	3,58	16
B543	00	3,16	3,58	16
B550	0	8,74	9,88	16
B551	1	11,85	13,39	16
B570	00	3,16	3,58	16
B571	00	3,16	3,58	16
B572	1	11,85	13,39	16
B573	00	3,16	3,58	16
Nota: Las dimensiones dadas en la columna canalización se refieren al diámetro de la tubería EMT utilizada.				

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Como se puede observar, en el caso de las bombas B551 y B572 se utilizaron cables calibre **12 AWG**, ya que la caída de tensión superaba el 3 % permitido.

Seguidamente, se procede a dimensionar el alimentador del grupo de motores. Para el cálculo del cable, se realiza según lo indicado en el artículo 430.24 del NEC 2014, con lo que se tiene lo siguiente:

$$I_{dramal} = 34 A \times 125 \% + 95,95 A$$

$$I_{dramal} = 138,45 A$$

De la tabla 310.15(B)(17), se tiene que, para llevar dicha corriente, es necesario utilizar un conductor **1/0 AWG**, el cual tiene una ampacidad de **180 amperios** a 75 °C. Este se selecciona con una cubierta XHHW-2. Para este caso, la caída de tensión se desprecia, ya que la longitud del alimentador es de apenas 9 m.

Para la selección del disyuntor principal del alimentador, de acuerdo con el artículo 430.62(A), se tiene que:

$$I_d = 80 A + 95,95 A$$

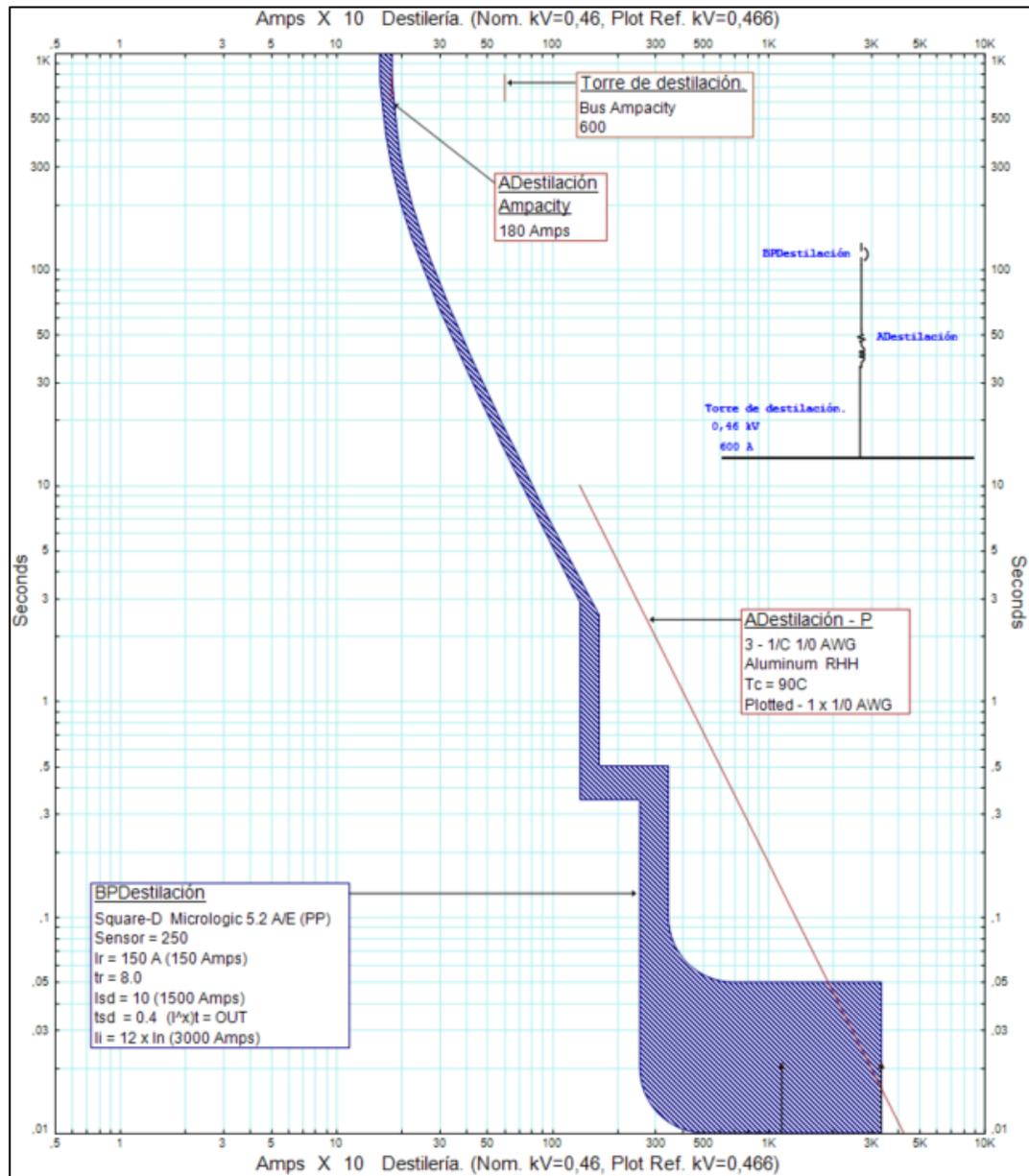
$$I_d = 175,95A$$

De acuerdo con el artículo 240.6(A), se debe seleccionar un disyuntor de **175 A**. Sin embargo, en la figura 4.5, se puede observar que se puede ajustar a un valor de 150 A, con el fin de proteger de mejor manera al conductor.

Igualmente, para determinar la ampacidad del centro de control de motores, se toma como base el dato de corriente de diseño del cable del alimentador. Según Schneider Electric (2019), el CCM modelo 6 de **600 A** en sus barras principales, y **300 A** para las verticales es el que mejor se adecua a dicha especificación.

Por otro lado, para el cable de puesta a tierra, se utiliza igualmente la tabla 250.122, obteniendo que para un disyuntor de 175 amperios se debe instalar un conductor calibre **6 AWG** en cobre, con cubierta THHN.

A continuación, se muestra el estudio de coordinación de este alimentador:



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.5. Coordinación del alimentador de CCM de las bombas de la torre de destilación.

-Enfriamiento (FNL-CED-NCCMP-01):

Junto a la torre de destilación se tiene un depósito de utilizado para disminuir la temperatura el agua que se emplea en el proceso de destilación, donde se cuenta con 3 torres de enfriamiento, así como dos bombas de 150 HP, como se puede observar en la lámina 15. Los datos de dichos equipos se encuentran a continuación.

Tabla 4.4. Datos de equipos de enfriamiento.

Equipo	Potencia (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	Longitud (m)
Torre 1	20	460	27	83
Torre 2	20	460	27	86
Torre3	20	460	27	89
Bomba 1	150	460	180	60,5
Bomba 2	150	460	180	62

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Bombas de enfriamiento.

-Conductores:

Para el cálculo de la corriente de diseño de los conductores de ramal de esta bomba se utiliza lo estipulado en el artículo 430.22, por lo que se tiene lo siguiente:

$$I_d = 180 A \times 125 \%$$

$$I_d = 225 A$$

De la tabla 310.15(B)(17), se tiene que el cable **3/0 AWG** en aluminio tiene una ampacidad de **240 A @ 75 °C**. Este se selecciona con una cubierta XHHW-2, el cual está diseñado para una temperatura de hasta 90 °C y tiene una gran disponibilidad a nivel de mercado.

Para la verificación de la caída de tensión se tiene que:

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 62 \text{ m} \times 180 \text{ A} \times 0.413 \text{ } \Omega/\text{km}}{1000 \times 460 \text{ V}}$$
$$\%CV = 1,73 \% < 3 \%$$

-Disyuntor:

Basado en los datos de la tabla 430.52, la corriente de diseño de la protección debe ser del 250 % de la corriente a plena carga del motor, teniendo un interruptor automático de tiempo inverso, teniendo entonces:

$$I_d = 180 \text{ A} \times 250 \%$$

$$I_d = 450 \text{ A}$$

Dicho valor concuerda con uno de los disyuntores normalizados que se menciona en el artículo 240.6(A) del NEC 2014. A pesar de esto, el disyuntor seleccionado el valor de ajuste más similar que posee es de 442 A, lo cual también se permite en el mismo artículo. No obstante, dicho valor no permite proteger el cable cuando la corriente supere por poco la ampacidad máxima de este, por lo que dicho rango deberá ser cubierto solamente por la sobrecarga.

-Contactor:

De acuerdo con NEMA; un motor 150 HP a 460 V utiliza un contactor de tamaño **NEMA 5**.

-Sobrecarga:

Para el caso de estos motores, se tiene que el factor de servicio es de 1,25, por lo que basado en el artículo 430.32(A)(1), la corriente de ajuste del dispositivo de sobrecarga se debe calcular como:

$$I_{SC\text{mín}} = 180 \text{ A} \times 125 \%$$

$$I_{SC\text{mín}} = 225 \text{ A}$$

Del artículo 430.32(C):

$$I_{SC}^{m\acute{a}x} = 180 A \times 140 \%$$

$$I_{SC}^{m\acute{i}n} = 252 A$$

-Cable de puesta a tierra:

Para determinar el calibre del cable de puesta a tierra, se utiliza la tabla 250.122, según el tamaño del disyuntor. Para este caso, se tiene que, para 450 A, se utiliza un conductor calibre **2 AWG** en cobre. En este caso, este tendrá una cubierta THHN.

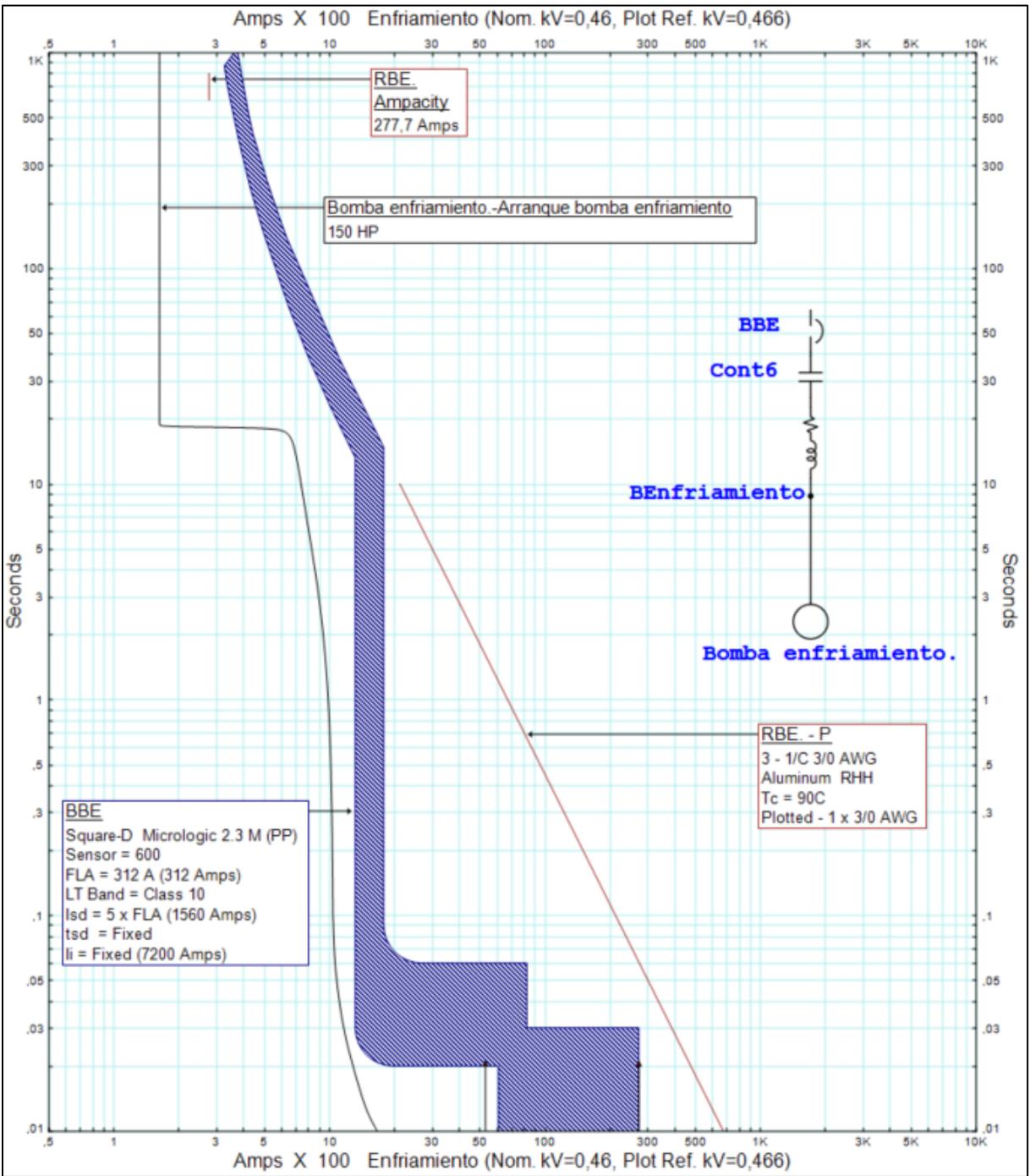
-Canalización:

Para este caso se utilizará una canasta portacables, donde se llevarán los ramales de ambas bombas. Según el artículo 392.22(B)(1)(d), el ancho de la canasta debe ser mayor que la suma de los diámetros de los cables. De la tabla 5 del NEC 2014 podemos encontrar que el diámetro de los conductores XHHW-2 calibre 3/0 AWG es de 14,73 mm.

Con esto se tiene que el ancho mínimo de la bandeja portacables debe ser de 103,11 mm, dejando un espacio igual a un diámetro entre cada grupo de conductores. Además, se debe tomar en cuenta los cables de tierra, los cuales tienen un diámetro de 9,754 mm, con lo cual se tiene un resultado final de 122,62 mm. Del catálogo de Crouse-Hinds (2018), se selecciona una canasta tipo escalera de **152,4 mm (6")** de ancho, la cual se describe mediante el código TR-12-A.

-Estudio de coordinación del ramal:

Del estudio de cortocircuito realizado en ETAP, se sabe que en el punto de conexión del motor la corriente de falla es de **8,55 kA**. A continuación, se presenta el estudio de coordinación del ramal.



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.6. Coordinación del ramal de la bomba de enfriamiento 1

En la siguiente tabla, se mostrarán los resultados del dimensionamiento de los otros ramales de motores de dicho grupo, así como el alimentador de este.

Tabla 4.5. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de enfriamiento.

Equipo	Potencia (HP)	Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Cable de tierra
Torre de enfriamiento 1	20	33,75	8 AWG	60	10 AWG
Torre de enfriamiento 2	20	33,75	8 AWG	60	10 AWG
Torre de enfriamiento 3	20	33,75	8 AWG	60	10 AWG
Bomba enfriamiento 1	150	225,00	3/0 AWG	450	2 AWG
Bomba enfriamiento 2	150	225,00	3/0 AWG	450	2 AWG

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.6. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de enfriamiento (continuación).

Equipo	Contactador NEMA	Sobrecarga mínima (A)	Sobrecarga máxima (A)	Canalización (mm)
Torre de enfriamiento 1	2	31,05	35,1	16*
Torre de enfriamiento 2	2	31,05	35,1	16*
Torre de enfriamiento 3	2	31,05	35,1	16*
Bomba enfriamiento 1	5	225	252	152,4**
Bomba enfriamiento 2	5	225	252	152,5**
* Diámetro de la tubería EMT. **Ancho de la canasta tipo escalera.				

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Es importante tomar en cuenta que las bombas 1 y 2 son mutuamente excluyentes, por lo que el alimentador se diseña tomando en consideración la corriente de solo una de ellas. Por esto se tiene que, según el artículo 430.24, la ampacidad del conductor deberá ser superior a:

$$I_d = 180 A \times 125 \% + 81 A$$

$$I_d = 306 A$$

De la tabla 310.15(B)(17), se tiene que se debe utilizar conductores **calibre 250 kcmil**, con una ampacidad de **315 A @ 75 °C** en aluminio. Estos llevarán una cubierta XHHW-2. La caída de tensión para este caso es despreciable, ya que la longitud del cable es de 8 m.

Seguidamente, se procede a seleccionar el disyuntor del circuito alimentador, según lo estipulado en el artículo 430.62(A):

$$I_d = 450 A + 81 A$$

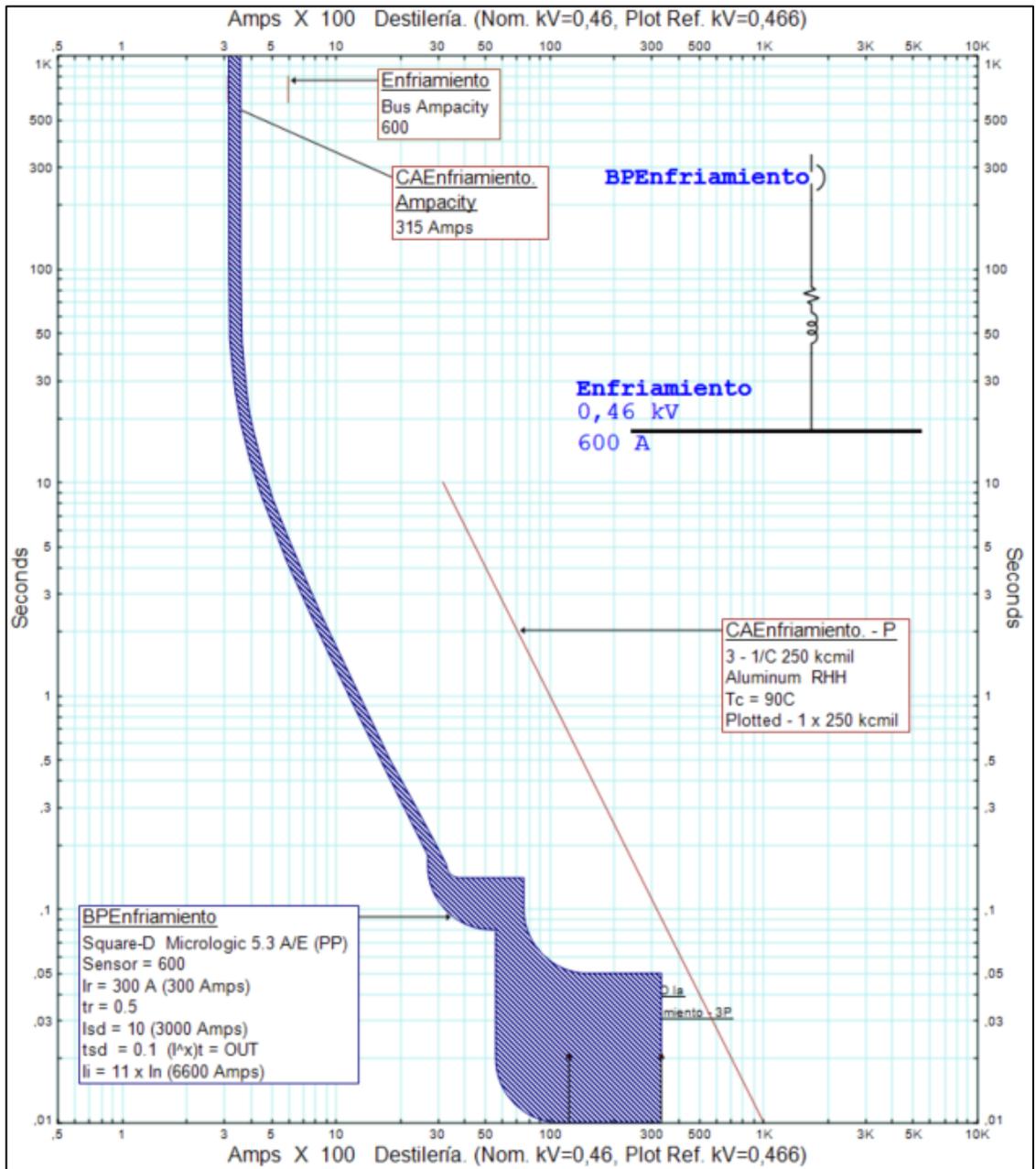
$$I_d = 531 A$$

Para este caso, se selecciona un disyuntor de **500 amperios**, según los valores normalizados en el artículo 240.6(A). A pesar de esto, en la figura 4.7 se observa como si se ajusta la protección a dicho valor, se deja desprotegido al cable. Por esto, se sugiere ajustar la protección a un valor de 300 A, lo cual permite igualmente el arranque del motor.

En el caso del centro de control de motores a utilizar, se emplea la ampacidad de los cables del alimentador para determinar la corriente de las barras, la cual corresponde a 306 A. Por lo tanto, se utilizará uno de **600 A** en sus conductores principales y verticales. Según Schneider Electric (2019), el CCM modelo 6 es el que cumple con dichas características.

Para el cable de puesta a tierra, se utiliza la tabla 250.122, donde se tiene que para un disyuntor de 500 amperios se debe instalar un conductor de calibre **2 AWG** en cobre, con cubierta THHN.

Finalmente, según los resultados de estudios de ETAP, la corriente de cortocircuito en las barras del CCM es de **28,86 kA**.



Fuente: Propia. ETAP 16

Figura 4.7. Coordinación del ramal de enfriamiento.

-Calderas (FNL-CCAL-NPBP-01):

La Fábrica Nacional de Licores cuenta con dos calderas de 600 HP, las cuales proveen el vapor diferentes zonas de la fábrica como la torre de destilación. Según las mediciones realizadas, estas tienen un consumo de aproximadamente 30 kVA, sin embargo, se los cálculos fueron hechos para 35 kW debido a un factor de seguridad aplicado. Además, se tiene una resistencia eléctrica instalada en el tanque de almacenamiento de diario bunker de 10 kW, utilizada únicamente cuando se va a encender la caldera. Seguidamente, se muestra la memoria de cálculo del ramal de las calderas.

Calderas 1 y 2.

-Conductores:

De acuerdo con el NEC 2014, en el artículo 215.2, cuando se está en presencia de una carga continua, se le debe aplicar un factor de corrección a la corriente del 1,25 %. Por lo tanto, la corriente de diseño, tomando un factor de potencia de 0,85, se puede determinar cómo:

$$I = \frac{35 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 460 \text{ V} \times 0,85}$$

$$I = 51,68 \text{ A}$$

$$I_d = 51,68 \text{ A} \times 125 \%$$

$$I_d = 64,60 \text{ A}$$

De acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), se selecciona un conductor por fase calibre **4 AWG** en cobre, el cual tiene una ampacidad de **70 A @ 60 °C**. Se utilizará cubierta THHN. El cable de neutro tendrá las mismas características de los de fase.

Seguidamente, se procede a verificar la caída de tensión en el conductor debido a la distancia:

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 18,5 \text{ m} \times 51,68 \text{ A} \times 0,97 \text{ } \Omega/\text{km}}{1000 \times 460 \text{ V}}$$

$$\%CV = 0,35 \% < 3 \%$$

-Disyuntor.

Según el NEC 2014, el artículo 215.3, cuando se tienen cargas continuas, la corriente de diseño del disyuntor se calcula al 125 % de la corriente, por lo que el disyuntor de este ramal se determina de la siguiente manera:

$$I_d = 51,68 \text{ A} \times 125 \%$$

$$I_d = 64,60 \text{ A}$$

De acuerdo con el artículo 240.6(A), el valor del disyuntor a utilizar es de **70 A**.

-Cable de puesta a tierra:

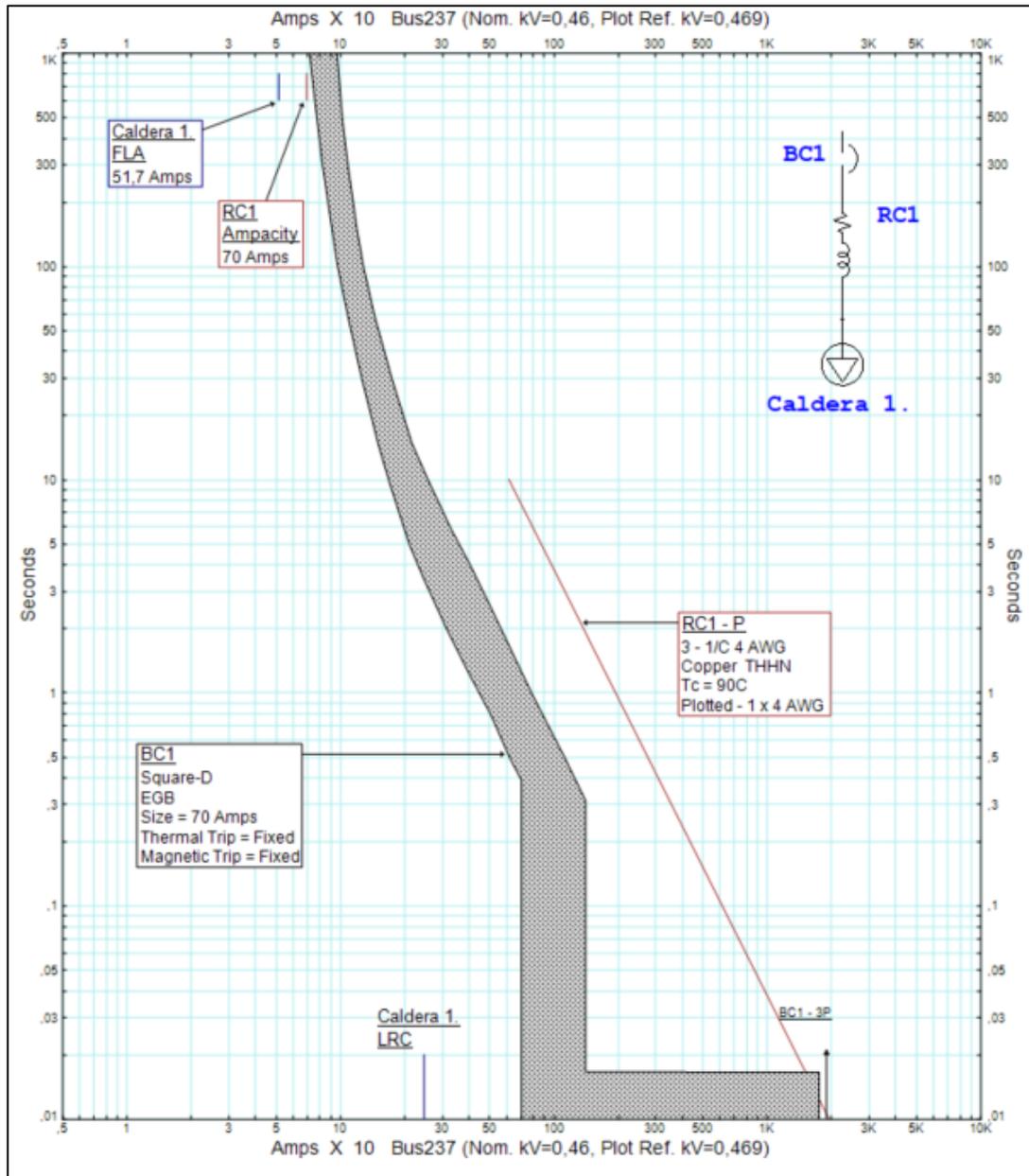
Para el caso de las calderas, se enviará un cable de puesta a tierra y otro de puesta a tierra aislado, ya que, en los paneles de control de dichos equipos, se cuenta con instrumentos como PLC, los cuales requieren de esta conexión para su correcto funcionamiento, seleccionados de acuerdo con la tabla 250.112, y deberán ser de un calibre **8 AWG**, los cuales tendrán una cubierta THHN.

-Canalización:

Para el transporte de los cables de los ramales de las calderas, se utilizará tubería EMT de **27 mm** de diámetro, para el cual, según los datos de la tabla 4, se tiene una ocupación al 40 % de 222 mm², ya que, de acuerdo con la información de la tabla 5, el área transversal de los conductores a instalar es de 212,64 mm².

-Estudio de coordinación del ramal:

El valor de la corriente de cortocircuito en el punto de conexión con el tablero de la caldera es de **4,36 kA**, según los datos provistos por ETAP.



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.8. Coordinación del ramal de las calderas.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los datos para todas las cargas de este tablero.

Tabla 4.6. Resultados del cálculo de los ramales de las cargas del tablero de calderas.

Equipo	Potencia (kW)	Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Cable de tierra	Distancia (m)	Canalización (mm)
Caldera 1	35	64,60	4AWG	70	8AWG	10,5	27*
Caldera 2	35	64,60	4AWG	70	8AWG	18,5	27*
Resistencia	10	15,69	12AWG	20	12AWG	30,5	16*

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Para el cálculo del alimentador, se toma en cuenta nuevamente el artículo 215.2, ya que se tienen cargas continuas en el tablero alimentado. Es importante mencionar que, en un funcionamiento típico de la planta, solamente una de las calderas entrará en funcionamiento, sin embargo, para realizar el cálculo de la ampacidad del conductor, se supondrá que ambas pueden estar trabajando en un mismo momento. Teniendo en mente eso, se selecciona el cable a utilizar como se muestra a continuación.

$$I_d = 115,91 A \times 125 \%$$

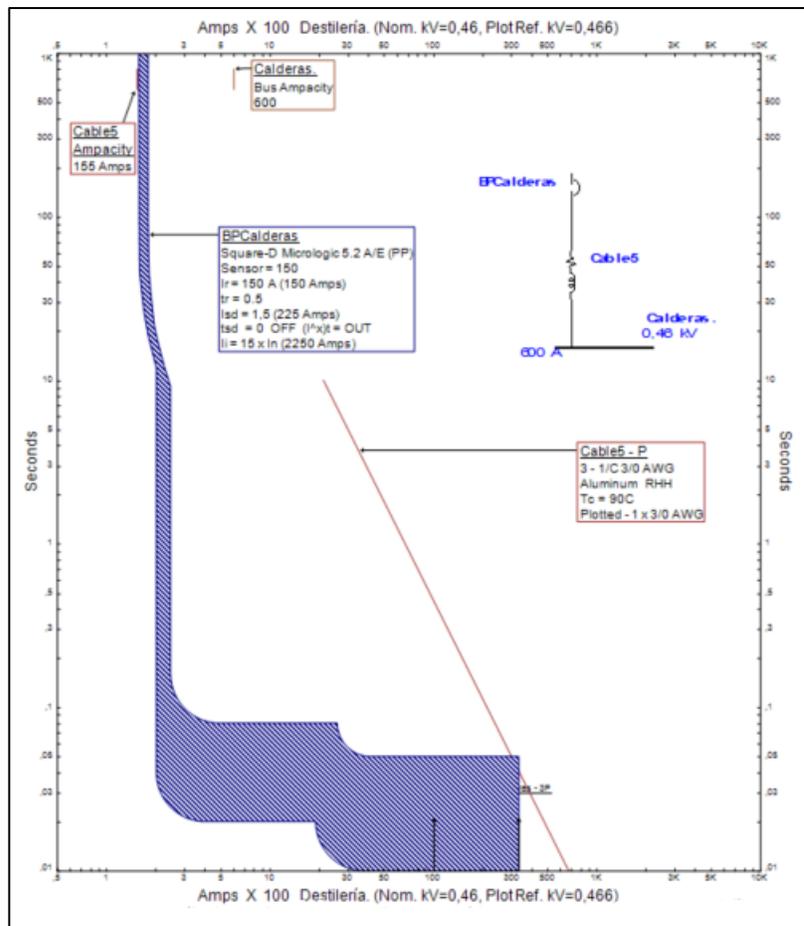
$$I_d = 144,89 A$$

Dicha corriente puede ser llevada por un cable de calibre **3/0 AWG** en aluminio, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), ya que posee una ampacidad a 75 °C de **155 A**. Este será instalado con una cubierta XHHW-2, al igual que el cable de neutro.

Seguidamente, se tiene que, para el disyuntor, según el artículo 215.3, la corriente mínima de ajuste debe estar al 125 % de las cargas continuas, lo cual coincide con la forma de dimensionar el conductor. Por lo tanto, del artículo 240.6(A), se encuentra que el valor de dicho dispositivo es de **150 A**. Además, esto implica que el calibre del cable de tierra debe ser de un calibre **6 AWG** en cobre, con cubierta THHN.

A continuación, se determina el diámetro del tubo EMT a utilizar. Como se hizo anteriormente, se utilizan los datos de la tabla 5 para obtener el área transversal total de los cables, para luego seleccionar la canalización adecuada en la tabla 4, recordando que solo se podrá utilizar el 40 % de su sección transversal. De esta manera, se encuentra que se debe elegir tubería de 53 mm de diámetro.

Finalmente, con los datos del corriente de los conductores, se procede a seleccionar el tablero, basado en la ampacidad de sus barras. En este caso se elige un tablero tipo NF, de 250 A, de acuerdo con las especificaciones de Schneider Electric (2019). Según los estudios de cortocircuito realizados en ETAP, la corriente de falla en esta unidad es de 19,04 kA.



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.9. Coordinación del alimentador del tablero de calderas.

Para el caso de los centros de control de motores de materia prima (FNL-CED-NCCMP-02) y bombas de alcohol (FNL-CED-NCCMP-03), el proceso de diseño y selección de sus ramales, alimentador, así como el tablero en sí, se realizan de manera similar a los de enfriamiento (FNL-CED-NCCMP-01) y la torre de destilación (FNL-CED-NCCMP-04), por lo que solamente se mostrará una tabla resumen con los resultados obtenidos.

- Materia prima (FNL-CED-NCCMP-02)

Tabla 4.7. Datos de equipos de CCM de materia prima.

Bomba	Potencia (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	Longitud (m)
Diario Alcohol	15	460	21	120,1
Diario bunker	10	460	14	118
Descarga Alcohol	10	460	14	164
Descarga Bunker	10	460	14	150
Pozo #1	50	460	65	95,8

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.8. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de materia prima.

Bomba	Potencia (HP)	Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Calibre de Tierra
Diario Alcohol	15	26,25	8AWG	50	10 AWG
Diario bunker	10	17,50	10AWG	35	10 AWG
Descarga Alcohol	10	17,50	8AWG	35	10 AWG
Descarga Bunker	10	17,50	10AWG	35	10 AWG
Pozo #1	50	81,25	2AWG	150	6 AWG

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.9. Dimensionamiento de los ramales de los equipos de materia prima (continuación).

Bomba	Contactador NEMA	Sobrecarga mínima (A)	Sobrecarga máxima (A)	Canalización (mm)
Diario Alcohol	2	26,25	29,4	16*
Diario bunker	1	17,5	19,6	16*
Descarga Alcohol	1	16,1	18,2	16*
Descarga Bunker	1	16,1	18,2	16*
Pozo #1	3	74,75	84,5	35*
*Diámetro de la tubería EMT.				

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.10. Dimensionamiento del alimentador y CCM de materia prima.

Alimentador CCM Materia Prima						
Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Cable de Tierra	Longitud (m)	Tablero	Isc. Tablero (kA)
144,25	1/0 AWG	300	4 AWG	9,6	CCM Modelo 6	22,95

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

-Bombas de alcohol (FNL-CED-NCCMP-03).

Tabla 4.11. Datos del CCM de bombas de alcohol.

Bombas	Potencia (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	Longitud (m)
Despacho de primera	10	460	14	95
Despacho de segunda	10	460	14	96
Anhidro	2,52	460	4,13	108
Trasiego Segunda	2,52	460	4,13	109
Trasiego Primera	7,5	460	11	110

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.12. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de alcohol.

Bombas	Potencia (HP)	Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Calibre Tierra
Despacho de primera	10	17,50	10AWG	35	10 AWG
Despacho de segunda	10	17,50	10AWG	35	10 AWG
Anhidro	2,52	5,16	14AWG	15	14 AWG
Trasiego Segunda	2,52	5,16	14AWG	15	14 AWG
Trasiego Primera	7,5	13,75	12AWG	25	10 AWG

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.13. Dimensionamiento de los ramales de las bombas de alcohol (continuación).

Bombas	Contactor NEMA	Sobrecarga mínima (A)	Sobrecarga máxima (A)	Canalización (mm)
Despacho de primera	1	16,1	18,2	16*
Despacho de segunda	1	16,1	18,2	16*
Anhidro	0	4,7495	5,369	16*
Trasiego Segunda	0	4,7495	5,369	16*
Trasiego Primera	1	12,65	14,3	16*
*Diámetro de la tubería utilizada				

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Tabla 4.14. Dimensionamiento del alimentador y CCM de bombas de alcohol.

Alimentador							
Corriente Diseño (A)	Conductores	Disyuntor (A)	Cable de Tierra	Longitud (m)	Tablero	Isc Tablero (kA)	Canalización (mm)
50,76	6 AWG	60	10 AWG	11	CCM Modelo 6	24,1	21*
*Diámetro de la tubería utilizada							

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Por último, el único elemento faltante en el tablero de distribución de destilería es el transformador de cargas generales (FNL-CED-NTRR-01), el cual reduce la tensión de 460 V a 208Y/120 V. Para llegar a su dimensionamiento, se debe comenzar por los elementos alimentados más lejanos. Dicha información se muestra a continuación, y para su diseño se tomaron en cuenta el artículo 215.2, correspondiente a los conductores, y el artículo 215.3 para los disyuntores.

Tabla 4.15. Cálculo de ramales de cargas del tablero de zonas externas
(FNL-ALM-NPBK-01).

Tablero	Potencia demandada (kVA)	Polos	Tensión (V)	Corriente (A)	Conductores y neutro	Disyuntor (A)	Cable de tierra	Longitud (m)	Canalización (mm)
Almacén	22,75	3	208	63,23	2 AWG	80	8 AWG	2	35*
Romana	1,22	2	208	10,2	10 AWG	20	12 AWG	140	16*
Casa	7,53	2	208	36,18	6 AWG	50	10 AWG	65	21*
Caseta	1,22	2	208	10,2	12 AWG	20	12 AWG	90	16*
Tienda	5,2	2	208	33,8	6 AWG	50	10 AWG	95	16*
*Diámetro de la tubería EMT									

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

De igual manera, se procede a calcular las cargas del tablero que alimenta el transformador, como se muestra a continuación.

Tabla 4.16. Dimensionamiento de los ramales de las cargas generales de destilería.

Tablero	Potencia demanda (kVA)	Polos	Tensión (V)	Corriente (A)	Conductores y neutro	Disyuntor (A)	Cable de tierra	Longitud (m)	Canalización (mm)
I y T Destilería	6,76	3	208	18,79	10 AWG	20	12 AWG	2	16*
Cuarto calderas	5,70	3	208	15,83	10 AWG	25	10 AWG	20	16*
I y T Destilación	2,31	3	208	6,42	12AWG	15	14 AWG	125	16*
C.C. Pasillos	14	3	208	38,91	2 AWG	50	10 AWG	3	35*
Zonas externas	37,92	3	208	105,38	4/0 AWG	125	6 AWG	100	100**
* Diámetro de la tubería a utilizar									
** Ancho de la canasta a utilizar									

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Ahora, según lo mostrado en la tabla 4.16, la suma de las potencias demandadas es de 66,67 kVA, por lo tanto, del catálogo de (Schneider Electric, 2019), se selecciona un transformador de 75 kVA, el cual tiene un Z de 4,9 %.

Para el dimensionamiento del alimentador de este transformador, se tomará la potencia total de este, aunque la carga demanda sea menor. De esta manera, se podrían sumar cargas al tablero que este alimenta, sin necesidad de realizar un cambio en dicha parte de la instalación. Además, este es una carga constante, por lo que, según el artículo 215.2, la corriente de los conductores se determina como:

$$I_T = \frac{75 \text{ kVA}}{0.46 \text{ V} \times \sqrt{3}}$$

$$I_T = 94,13 \text{ A}$$

$$I_d = 94,13 \text{ A} \times 125 \%$$

$$I_d = 117,67 \text{ A}$$

De la tabla 310.15(B)(16), se tiene que, para esta corriente se debe utilizar un conductor 1/0 AWG, que cuenta con una ampacidad a 120 amperios para un cable de aluminio a 75 °C. Como se dijo anteriormente, este utilizará un aislamiento XHHW-2.

Para el cable del secundario del transformador, se tiene que:

$$I_T = \frac{75 \text{ kVA}}{0,208 \text{ V} \times \sqrt{3}}$$

$$I_T = 208,18 \text{ A}$$

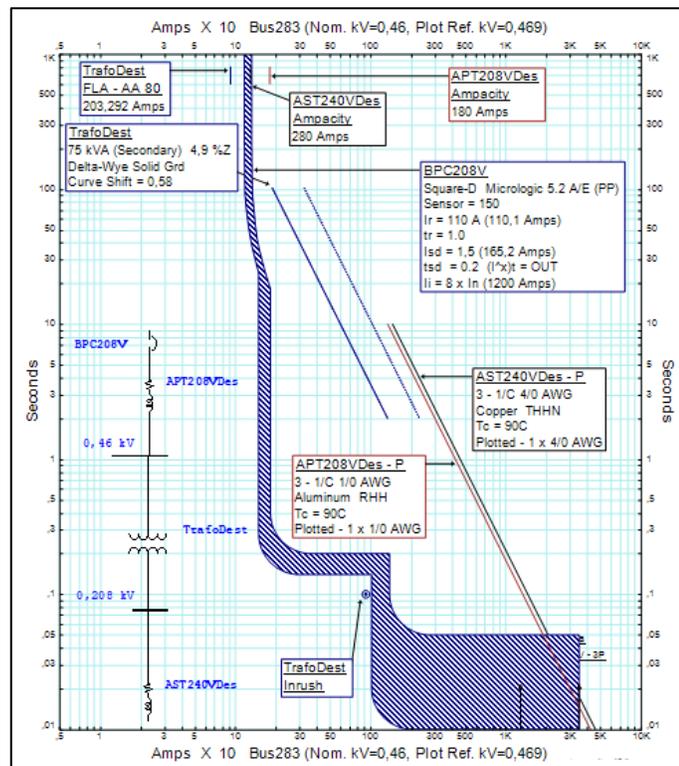
$$I_d = 208,18 \text{ A} \times 125 \%$$

$$I_d = 260,22 \text{ A}$$

Dicha corriente debe conducirse a través de un cable calibre 4/0 AWG, cuya ampacidad es de 280 A, a 75 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(17), para conductores al aire libre, ya que se instalará en una canasta de 100 mm de ancho, según los datos de la tabla 5.

En cuanto al disyuntor del alimentador, este se instalará únicamente en el primario, debido a que el tablero principal, el transformador y el tablero al que se le suplirá la energía, se encuentran en el cuarto eléctrico de destilería (lámina 14), se considera innecesario utilizar protección en el secundario. Según la tabla 450.3(B), dicha protección se debe calcular al 125 % de la corriente nominal del transformador. Dicho valor coincide con el del cálculo de conductor del ramal, por lo que del artículo 240.6, se determina que este será de 110 A.

A continuación, se muestra el estudio de coordinación para dicho ramal. Además, se determinó que la corriente de corto circuito es de 22,10 kA en el primario del transformador.



Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.10. Coordinación del ramal del transformador de cargas generales de destilería.

Una vez se tienen todos los componentes del tablero de destilería, se procede a calcular la protección de este. Dado que en esta área de la fábrica predominan los motores, se debe diseñar según lo dicho en el artículo 430.62, por lo que se tiene que tomar en cuenta el disyuntor de la bomba de 150 HP, más la suma de la corriente de las demás cargas, como se muestra a continuación:

$$I_d = I_{D\text{Disyuntor Enfriamiento}} + I_{Materia\ prima} + I_{Bombas\ Alcohol} + I_{Destilación} + I_{Calderas} \\ + I_{Trafo\ 75\ kVA}$$

$$I_d = 531\ A + 129,95\ A + 115,91\ A + 128\ A + 47,26\ A + 94,13\ A$$

$$I_d = 1046,25\ A$$

Por lo tanto, el valor de ajuste máximo del disyuntor principal del tablero de destilería es de 1000 A, basado en el artículo 240.6(A).

En el caso particular de este tablero, únicamente se deben dimensionar las barras, internas, pues este será alimentado por el mismo juego de barras del tablero principal. En caso contrario, donde se utilizarán cables, simplemente se utilizaría la tabla 310.15(B)(17) para seleccionar el conductor adecuado, basado en el cálculo siguiente:

$$I_d = I_{D\text{Conductor Enfriamiento}} + I_{Materia\ prima} + I_{Bombas\ Alcohol} + I_{Destilación} \\ + I_{Calderas} \times 125\% + I_{Trafo\ 75\ kVA} \times 125\%$$

$$I_d = 306\ A + 129,95\ A + 115,91\ A \times 125\% + 128\ A + 47,26\ A + 94,13\ A \times 125\%$$

$$I_d = 873,76\ A$$

Tomando en cuenta esta corriente y el catálogo de (Schneider Electric., 2012), se debe seleccionar un tablero QED2 con 1200 A en sus barras. A modo de ejemplo, si este fuera alimentado por cables, debería utilizarse 3 conductores 250 kcmil, en una canasta de 228,6 mm de ancho, según Crouse-Hinds (2018).

Finalmente, debe calcular la ampacidad de las barras del tablero de distribución principal. Esto se basará tanto en la capacidad del transformador como de la carga demandada. De la tabla resumen, se puede determinar que esta última es de 1055 kVA, lo que equivale a 1324 amperios, sin embargo, se debe tomar en cuenta la carga del área de fermentación, que se encuentra actualmente fuera de servicio, la cual equivale a unos 600 amperios. Del transformador, se sabe que este podrá entregar hasta 1882,6 A. Basado en este, se selecciona un tablero QED2 del catálogo de Schneider Electric (2012), de 3000 A en sus barras.

Para la selección del disyuntor principal del tablero, se realizó con base en la tabla 450.3(A), donde se indica que este debe ser del 125 % de la corriente nominal del transformador, por lo que se debe ajustar a un valor de 2000 A.

En el caso del transformador de producción, los conductores del secundario se diseñaron para que este sea sustituido por uno nuevo de 750 kVA, con el fin de poder cubrir una mayor cantidad de equipos en caso de necesitar alimentar a través del TIE, así como para una futura ampliación de la planta.

4.4. Otras consideraciones.

4.4.1. Bombas del sistema contra incendios.

De acuerdo con lo especificado en el artículo 695 del NEC 2014, las bombas del sistema contra incendios deben estar disponibles para funcionar en cualquier momento que se requiera. Debido a esto, los conductores de los ramales se diseñan al 125% de la corriente a plena carga de las bombas, obtenida de la tabla 430.250.

Además, se debe garantizar una selectividad completa en las protecciones, para igualmente garantizar que siempre se podrán alimentar dichos sistemas. Asimismo, se deberá utilizar tubería listada, capaz de soportar el fuego por al menos 3 horas.

De igual manera, el generador eléctrico (FNL-CPE-EPEP-01) deberá conectarse al tablero de distribución principal, a través de la transferencia automática, de tal manera que siempre se cumpla con la alimentación de las bombas del sistema supresor de incendios.

4.5. Sistema de puesta a tierra.

Para el sistema de puesta a tierra de la acometida, según el Manual para redes de distribución eléctrica subterránea 13,8; 24,9 y 34,5 kV (Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales., 2015), el sistema de puesta a tierra deberá tener una resistencia menor a 10Ω en el punto de conexión, en caso contrario, deberá presentarse un estudio de resistividad del suelo para demostrar que dicho valor no es posible de alcanzar en el terreno utilizado.

En este caso se propone utilizar una configuración de 3 varillas en delta, las cuales deberán ser recubiertas en cobre y listadas. Deberán contar con un diámetro mínimo de 15,8 mm de diámetro, así como una longitud no menor de 2,44 m. Estas deberán enlazarse con cable desnudo 1/0 AWG o mayor, utilizando soldadura exotérmica para unir los elementos. De acuerdo con la tabla 250.66, el conducto del electrodo de puesta a tierra deberá ser de un calibre 6 AWG o superior.

4.6. Estudios de cortocircuito y arco eléctrico.

Por medio de la aplicación del software ETAP, se lograron obtener los valores de cortocircuito y arco eléctrico para los distintos tableros del sistema. A continuación, se muestran los datos del primer estudio, los cuales también se pueden observar en el diagrama unifilar. Por otro lado, en las láminas 23 , 24 y 25, se tienen los resultados de arco eléctrico. Además, se obtuvieron las etiquetas para colocar en las cubiertas de los tableros.

Además de esto, se presentan en las láminas 20, 21 y 22, los estudios de flujos de carga. En estos, se puede observar las caídas de tensión, tensiones en barras, así como un aproximado de las demandas y factores de potencia que se podrían tener, sin embargo, se ha comprobado que en la práctica estos pueden variar.

Es importante mencionar que estos estudios fueron realizados en la condición que se consideró más crítica, donde el transformador de 1500 kVA lleva la totalidad de la carga, por lo que el disyuntor en el secundario del transformador de 500 kVA se encuentra en estado abierto.

<u>Informe Resumen de Cortocircuito</u>					
Corriente de Falta Trifásica y LG					
Barra		Falta Trifásica		Falta L-G (kA)	
ID	kV	Sim.	Asim.	Sim.	Asim.
FNL-ALM-NPBK-01	0.208	1.970	1.971	1.746	1.746
FNL-BSMT-NSMTA-01	34.500	2.842	3.216	2.095	2.366
FNL-BSMT-NTRR-01	34.500	2.841	3.214	2.094	2.363
FNL-CED-NCCMP-01	0.460	28.863	30.144	1.651	2.691
FNL-CED-NCCMP-02	0.460	22.948	23.028	1.654	2.556
FNL-CED-NCCMP-03	0.460	24.100	24.473	1.663	2.568
FNL-CED-NCCMP-04	0.460	23.639	23.737	1.653	2.567
FNL-CED-NPB-01	0.460	19.038	19.076	1.674	2.510
FNL-CED-NPBK-01	0.208	3.780	3.829	3.795	3.842
FNL-CED-NSBP-01	0.460	34.881	40.574	1.637	2.754
FNL-CED-NSBP-02	0.460	34.881	40.574	1.637	2.754

Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.11. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de destilería.

Informe Resumen de Cortocircuito

Corriente de Falta Trifásica y LG

Barra		Falta Trifásica		Falta L-G (kA)	
ID	kV	Sim.	Asim.	Sim.	Asim.
FNL-CBI-NPBP-01	0.460	14.816	14.832	1.708	2.423
FNL-CC-NPBM-01	0.240	1.313	1.314	0.000	0.000
FNL-CC-NPBP-01	0.460	13.692	13.695	1.692	2.250
FNL-CEM-NPBM-01	0.240	1.597	1.602	0.000	0.000
FNL-CEM-NPBP-01	0.460	1.787	1.806	1.757	1.785
FNL-CES-NCCMP-01	0.460	21.613	21.778	1.677	2.579
FNL-CES-NPBK-01	0.208	3.569	3.620	3.620	3.673
FNL-CES-NSBP-01	0.460	23.162	23.384	1.669	2.595

Todas las corrientes de falta son valores iniciales en kA rms

Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.12. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de la soda.

Informe Resumen de Cortocircuito

Corriente de Falta Trifásica y LG

Barra		Falta Trifásica		Falta L-G (kA)	
ID	kV	Sim.	Asim.	Sim.	Asim.
FNL-AC-NPBM-01	0.240	2.865	2.898	0.000	0.000
FNL-CEME-NPBM-01	0.240	1.928	1.928	0.000	0.000
FNL-CEP-NDBP-01	0.460	14.451	14.461	1.682	2.426
FNL-CEP-NPBM-02	0.240	3.594	3.675	0.000	0.000
FNL-CEP-NPBM-03	0.240	6.897	6.970	0.000	0.000
FNL-CEP-NPBP-01	0.460	13.462	13.466	1.679	2.352
FNL-CEP-NSBP-01	0.460	17.039	17.075	1.672	2.557

Todas las corrientes de falta son valores iniciales en kA rms

Fuente: Propia. ETAP 16.

Figura 4.13. Resultados de cortocircuito para los tableros del área de producción.

4.7. Estudios de iluminación.

Utilizando el software DIALux EVO, se realizó el estudio de iluminación para el área de envase de licores. Para ello se dividió el planta de estudio en las distintas zonas, es decir, bodegas de licores finos y de licores corrientes, clasificadas como salas de aprovisionamientos y almacenaje, donde la intensidad lumínica debe ser de 100 lx. Por otro lado, se tiene el sector, donde se encuentran las líneas de producción, las cuales corresponden a una industria de productos alimenticios, tabaco y alcohol, es decir, debe haber una intensidad lumínica de 500 lx en el área de trabajo.



Fuente: Propia. DIALux EVO.

Figura 4.14. Estudio de iluminación para el área de envase.

La simulación anterior se realizó utilizando luminarias tipo **Campana HB Evo**, de Sylvania, cuya ficha técnica se muestra en el anexo 18.

Como se puede apreciar, con una misma distribución en las luminarias a través del edificio, es posible obtener una iluminación adecuada para el trabajo a realizar. Sin embargo, existen tres zonas que se observan más oscuras. Estas son la parte superior de la lavadora RECIFE, la oficina de jefe de líneas y la encajonadora de la línea de producción PET, lo cual no afecta el proceso que ahí se lleva a cabo.

5. Análisis económico.

Como primer aspecto a tomar en cuenta para desarrollar este proyecto fue el exceso de transformadores que se tienen actualmente, los cuales se encuentran subutilizados en su mayoría. Ejemplos de esto se pueden apreciar en la *figura 3.3*, donde se aprecia que la demanda del transformador de 225 kVA de confección de licores es de 12,3 kW, y en el *apéndice 13*, que muestra este mismo dato para la unidad reductora de tensión, con un máximo de 7,2 kW. Es decir, un porcentaje de utilización de 5,45 % y 9,5 %, respectivamente. A continuación, se muestra una comparativa entre las pérdidas actuales y las que se tendrán con el rediseño, debido a transformación. Dichos datos fueron obtenidos del Manual para redes de distribución eléctrica subterránea 13,8; 24,9 y 34,5 kV (Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales., 2015).

Tabla 5.1. Pérdidas en los transformadores actuales.

Transformadores actuales						
	Descripción	Tipo	Potencia (kVA)	Tensión entrada (V)	Tensión salida (V)	Pérdidas (W)
Acometida 1	Principal	Aceite	1500	34500	460Y/266	14650
	Destilación	Seco	100	460	380	2475
	Planta vieja	Seco	45	460	380Y/220	1553
	Centros de carga y tomacorrientes	Seco	100	460	380Y/220	2475
	Iluminación	Seco	25	460	240Δ/120	921
	Soda	Seco	75	460	208Y/120	2368
Acometida 2	Mercadeo	Aceite	50 *M	34500	240/120	660
	Pozo #4	Aceite	75	35500	460	1170
	Tonelería	Aceite	75	34500	240Δ/120	1170
	Confección de licores	Aceite	225	34500	460Y/266	2730
	Iluminación externa	Aceite	50 *M	34500	240/120	660
	Envase	Aceite	500	34500	460/266	5535
	TRA01	Seco	112,5	460	240Δ/120	2690
	TRA02	Seco	112,2	460	240Δ/120	2690
	TRA03	Seco	150	460	240Δ/120	3027
Total						44774

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

*M= transformador monofásico.

Tabla 5.2. Datos de perdidas en transformadores para el sistema propuesto.

Transformadores propuestos					
Descripción	Tipo	Potencia (kVA)	Tensión entrada (V)	Tensión salida (V)	Perdidas (W)
Principal	Húmedo	1500	34500	460Y/266	14650
CG Destilería	Seco	75	460	208Y/120	2368
CG Pasillo 2	Seco	75	460	208y/120	2368
Servidores	Seco	30	460	208Y/120	1844
Mantenimiento	Seco	75	460	460Y/266	2254
Mantenimiento 2	Seco	45	460	240Δ/120	1553
CG Producción	Seco	112,5	460	240Δ/120	2690
Cargas 240 Envase	Seco	75	460	240Δ/120	2270
Tonelería	Seco	75	460	240Δ/120	2270
Producción	Húmedo	500	34500	460Y/266	5535
Total					37802

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Al realizar la comparación de los resultados, se obtiene una diferencia de 6,972 kW, lo cual representa un ahorro de 4 186 456,56 ¢ al año. A esto, se le pueden sumar otras perdidas en cables que estén subdimensionados, entre otras irregularidades, sin embargo, para este análisis no serán contempladas.

Además, para el área del envase de licores, se contempló la instalación de una nueva línea de embotellado en vidrio. Esto representa un aumento en la producción de aproximadamente 2880 botellas por hora, traducándose en un aumento en la utilidad de más de 500 000 000 ¢ al mes. Dicho proyecto se espera realizar 2 años después de la instalación del sistema eléctrico acá propuesto.

Seguidamente, se presenta un cuadro con los costos asociados al proyecto. Para este caso, no se contemplaron gastos administrativos, como lo son los permisos municipales, trámites del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, entre otros.

Tabla 5.3. Costos asociados al proyecto.

Descripción	Costo
Disyuntores	45901000
Tubería EMT	3192450
Tubería PVC	5902100
Canasta	6875870
Cableado	74661712
Tableros	85500000
UPS	8737500
Transformadores	17377722
Otros equipos	12750000
Mano de obra	75000000
Total	335898354 ¢

Fuente: Propia. Microsoft Excel

A continuación, se muestra el análisis económico con los indicadores VAN y TIR

Tabla 5.4. Análisis económico del proyecto.

Inversión	-335898354,00 ¢
1	4186456,56 ¢
2	4186456,56 ¢
3	6000000000,00 ¢
VAN	4179256202,00 ¢
TIR	162%

Fuente: Propia. Microsoft Excel.

Como se puede observar, para el tercer año, luego de implementar la nueva línea de producción, el proyecto logra tener indicadores bastante atractivos, donde el VAN es muy elevado, al igual que el TIR. Esto representa una recuperación de la inversión a dos años y un mes después de la implementación de este.

Sin embargo, más allá de lo económico, tener un sistema eléctrico actualizado y en buen estado tiene como fin buscar la seguridad de las personas, así como de los equipos con los que se cuenta, con lo cual, se logran mantener los niveles de producción deseados.

Además, como se mencionó anteriormente, se pretende cumplir con la legislación actual, basada en la norma NFPA 70, por lo tanto, la planta podrá realizar los trámites relacionado con permisos del Ministerio de Salud, permisos municipales, así como aseguradoras.

6. Conclusiones.

-Se realizó en rediseño del sistema eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores, logrando comprobar que se tendrá un ahorro económico debido a uso más eficiente que se tendrá de los transformadores, además de tener una instalación eléctrica más moderna, con facilidad para realizar el monitoreo de diferentes variables eléctricas. Sumado a esto, se cumplirá con el objetivo principal de la normativa, que es velar por la vida y la seguridad de las personas.

-Mediante el uso del software ETAP se logró determinar los valores de cortocircuito y arco eléctrico en los diferentes tableros que se tienen en la instalación. Se encuentra que el tablero de distribución principal es el que posee la corriente de falla de corto más alta, con 34, 88 kA. Además, la energía incidente es de 33686,8 cal/cm², lo cual implica que dicho tablero no debe abrirse a menos que sea desenergizando.

-El costo final del proyecto se estima en 335 898 354 \$, los cuales se verán reflejados como una disminución en la facturación eléctrica, debido a la eliminación de transformadores que trabajaban a una eficiencia muy baja, lo cual genera pérdidas, así como en un aumento en la producción a la hora de instalar los equipos de la nueva línea de producción, acá contemplada. Con esto se tiene un VAN de 4179256202 \$ y un TIR del 162 %, recuperando la inversión en dos años y un mes.

7. Recomendaciones.

-Sustituir el generador actual en caso de que se ponga en funcionamiento el área de fermentación, ya que este posee una capacidad de apenas 350 kVA, los cuales deben utilizarse para abastecer cargas críticas, como lo es el cuarto de bombas contra incendios, lo cual provocaría que algunas partes de este proceso tuvieran que dejar de trabajar, poniendo en peligro la producción del alcohol.

-Realizar un cambio de ubicación del generador de producción. Como se puede ver en planos, este equipo se encuentra junto a la subestación de media tensión, a aproximadamente 300 metros del tablero que alimenta. Esto provoca que se tengan grandes caídas de tensión, especialmente si se toma en cuenta que dicha máquina tiene una tensión de salida de 440 V, no 460 V como el resto del sistema. Además, en caso de algún fallo, este podrá ser atendido más fácilmente.

-Solicitar un cambio del tipo de tarifa. En la actualidad la fábrica se encuentra en la modalidad industrial, la cual posee un único monto tanto para demanda como energía. Sin embargo, se considera conveniente moverse a la facturación de media tensión, ya que durante la noche muchas de las cargas, como las calderas o la torre de destilación, continúan en operación, y en este periodo se tienen tarifas más cómodas.

-Como se mencionó anteriormente, y se tomó en cuenta para el diseño, se recomienda cambiar el transformador de 500 kVA de producción por un TRIHAL (Schneider Electric) de 750 kVA. Esto previendo ampliaciones en la planta, además de ayudar a la alimentación del tablero principal, a través del TIE, de una manera más completa.

-Instalar un sistema supresor de incendios en las bóvedas de transformadores, cuartos eléctricos, cuarto de bombas del sistema contra incendios, y de ser posible, a lo largo de la ruta por donde se llevarán los cables conductores de estas últimas.

8. Bibliografía.

- ARESEP. (29 de Setiembre de 2015). Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión. Costa Rica: La Gaceta.
- Barahona, G. (2019). NEC-Motores. Cartago.
- Barahona, G. (2019). *Presentación sobre coordinación de protecciones*. 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.
- Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales. (Julio de 2015). Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13,8 kV; 24,9 kV; 34,5 kV. Costa Rica.
- Crouse-Hinds. (Julio de 2018). Catálogo Sistema de Soporte para Cables. U.S.A.: EATON Corp.
- Elizondo, K. (2018). *Rediseño de la Instalación Eléctrica de la Planta de Envases Comeca S. A.* Cartago.
- Fábrica Nacional de Licores. (2020). Obtenido de fanal.co.cr
- FANAL, D. d. (2020). Datos para el proyecto.
- Fowler. (New York). *Electricidad principios y aplicaciones*. 1994: Reverte .
- Harper. (2004). *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. Limusa S.A.: México.
- Intituto Meteorológico Nacional. (12 de Mayo de 2020). *Estaciones automáticas*. Obtenido de Estación automática La Argentina, Grecia, Alajuela: <https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas>

La Gaceta. (8 de febrero de 2019). Reforma al Decreto Ejecutivo N° 36979-MEIC, RTCR 458:2011 Reglamento de Oficialización del Código Eléctric de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad, Publicado en La Gaceta N° 33 del 15 de febrero del 2012. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.

National Fire Protection Association. (2008). *NEC*. Bostón: Consejo de Normas.

National Fire Protection Association. (2014). *NEC 2014*. Massachusetts: NFPA.

Rojas, M. (2019). *Propuesta para el cambio de Nivel de tensión de 230/460 v en Plantel de PROTECTO en Ochomogo* . Cartago.

Schneider Electric. (2016). Fuses. Francia.

Schneider Electric. (2018). Automatic Circuit Reclosers/ Sectionalisers. Francia, Francia.

Schneider Electric. (Abril de 2019). DIGEST 178. U.S.A.

Schneider Electric. (2020). SM6 Modular Units. Francia.

Schneider Electric. (2012). Power-Style™ Low Voltage Switchboards. U.S.A.: Schneider Electric.

9. Anexos.

9.1 Tablas utilizadas.

Tabla 430.250 Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna
 Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas deben permitirse para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 1000 volts.

Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (Amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.1 y 1.25.

Fuente: NEC 2014

Anexo 1. NEC 2014: Tabla 430.250.

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

*Ver sección 310.15(B)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es distinta a 30° C (86° F)

**Ver sección 240.4(D) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Fuente: NEC 2014.

Anexo 2. NEC 2014: Tabla 310.15(B)(16).

Tabla 310.15(B)(17) (antes Tabla 310.17) Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30°C (86°F)*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver la Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	—	—	18	—	—	—	—
16	—	—	24	—	—	—	—
14**	25	30	35	—	—	—	—
12**	30	35	40	25	30	35	12**
10**	40	50	55	35	40	45	10**
8	60	70	80	45	55	60	8
6	80	95	105	60	75	85	6
4	105	125	140	80	100	115	4
3	120	145	165	95	115	130	3
2	140	170	190	110	135	150	2
1	165	195	220	130	155	175	1
1/0	195	230	260	150	180	205	1/0
2/0	225	265	300	175	210	235	2/0
3/0	260	310	350	200	240	270	3/0
4/0	300	360	405	235	280	315	4/0
250	340	405	455	265	315	355	250
300	375	445	500	290	350	395	300
350	420	505	570	330	395	445	350
400	455	545	615	355	425	480	400
500	515	620	700	405	485	545	500
600	575	690	780	455	545	615	600
700	630	755	850	500	595	670	700
750	655	785	885	515	620	700	750
800	680	815	920	535	645	725	800
900	730	870	980	580	700	790	900
1000	780	935	1055	625	750	845	1000
1250	890	1065	1200	710	855	965	1250
1500	980	1175	1325	795	950	1070	1500
1750	1070	1280	1445	875	1050	1185	1750
2000	1155	1385	1560	960	1150	1295	2000

*Ver sección 310.15(B)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es distinta a 30°C (86°F)

** Ver sección 240.4(D) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Fuente: NEC 2014

Anexo 3. NEC 2014: Tabla 310.12(B)(17).

Tabla 8 Propiedades de conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Área		Conductores						Resistencia en corriente continua a 75°C (167°F)						
			Trenzado			Total			Cobre				Aluminio		
	mm ²	Mils circulares	Canti- dad	Diámetro		Diámetro		Área		No recubiertos		Recubiertos		ohm/ km	ohm/ kFT
				mm	pulg.	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT		
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106

Notes:

- Estos valores de resistencia son válidos solamente para los parámetros indicados. Al usar conductores con hilos recubiertos, de distinto tipo de trenzado y especialmente a otras temperaturas, cambia la resistencia.
 - Ecuación para el cambio de temperatura: $R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2 - 75)]$ donde $\alpha_{Cu} = 0.00323$, $\alpha_{Al} = 0.00330$ at 75°C.
 - Los conductores con trenzado compacto o comprimido tienen aproximadamente un 9% y un 3%, respectivamente, menos de diámetro del conductor desnudo que los conductores mostrados. Para las dimensiones reales de los cables compactos, Ver la Tabla 5A.
 - Las conductividades usadas, según la IACS: cobre desnudo = 100%, aluminio = 61%.
 - El trenzado de Clase B está listado también como sólido para algunos calibres. Su área y diámetro total son los de la circunferencia circunscrita.
- Nota Informativa: La información sobre construcción de los cables cumple con NEMA WC/70-2009 o ANSI/UL 1581-2011. La resistencia se calcula de acuerdo con el Manual de la Oficina Nacional de Normas 100, de 1966 y el Handbook 109, de 1972.

Fuente: NEC 2014.

Anexo 4. NEC 2014: Tabla 8.

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

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro															Calibre (AWG o kcmil)
	Ohms al neutro por 1000 pies															
	X_L (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de aluminio				
	Conductos de PVC o Aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	— —	— —	— —	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	— —	— —	— —	14	
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12	
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10	
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8	
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6	
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4	
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3	
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2	
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1	
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0	
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0	
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0	
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0	
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250	
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300	
350	0.131 0.040	0.164 0.050	0.125 0.038	0.141 0.043	0.128 0.039	0.200 0.061	0.217 0.066	0.207 0.063	0.174 0.053	0.190 0.058	0.197 0.060	0.240 0.073	0.253 0.077	0.262 0.080	350	
400	0.131 0.040	0.161 0.049	0.108 0.033	0.125 0.038	0.115 0.035	0.177 0.054	0.194 0.059	0.180 0.055	0.161 0.049	0.174 0.053	0.184 0.056	0.217 0.066	0.233 0.071	0.240 0.073	400	
500	0.128 0.039	0.157 0.048	0.089 0.027	0.105 0.032	0.095 0.029	0.141 0.043	0.157 0.048	0.148 0.045	0.141 0.043	0.157 0.048	0.164 0.050	0.187 0.057	0.200 0.061	0.210 0.064	500	
600	0.128 0.039	0.157 0.048	0.075 0.023	0.092 0.028	0.082 0.025	0.118 0.036	0.135 0.041	0.125 0.038	0.131 0.040	0.144 0.044	0.154 0.047	0.167 0.051	0.180 0.055	0.190 0.058	600	
750	0.125 0.038	0.157 0.048	0.062 0.019	0.079 0.024	0.069 0.021	0.095 0.029	0.112 0.034	0.102 0.031	0.118 0.036	0.131 0.040	0.141 0.043	0.148 0.045	0.161 0.049	0.171 0.052	750	
1000	0.121 0.037	0.151 0.046	0.049 0.015	0.062 0.019	0.059 0.018	0.075 0.023	0.089 0.027	0.082 0.025	0.105 0.032	0.118 0.036	0.131 0.040	0.128 0.039	0.138 0.042	0.151 0.046	1000	

Notas:

- Estos valores se basan en las siguientes constantes: alambres del tipo RHH del UL con trenzado de Clase B, en configuración acunada. La conductividad de los alambres es del 100 por ciento IACS para cobre y del 61 por ciento IACS para aluminio; la del conducto de aluminio es del 45 por ciento IACS. No se tiene en cuenta la reactancia capacitiva, que es insignificante a estas tensiones. Estos valores de resistencia sólo son válidos a 75°C (167°F) y para los parámetros dados, pero son representativos para los tipos de alambres para 600 volts que operen a 60 Hz.
- Z Eficaz es definido como $R \cos(\theta) + X \sin(\theta)$, donde θ es el ángulo del factor de potencia del circuito. Al multiplicar la corriente por la impedancia eficaz se obtiene una buena aproximación de la caída de tensión de línea a neutro. Los valores de impedancia eficaz de esta tabla sólo son válidos con un factor de potencia de 0.85. Para cualquier otro factor de potencia (PF), del circuito, la impedancia eficaz (Ze) se puede calcular a partir de los valores de R y X_L dados en esta tabla, como sigue: $Z_e = R \times PF + X_L \sin[\arccos(PF)]$.

Fuente: NEC 2014.

Anexo 5. NEC 2014: Tabla 9.

Tabla 430.52 Valor nominal o ajuste máximos de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos ramales de motores

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente de plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible de elemento dual (de acción retardada) ¹	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de c.a. distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla — diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos ³	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

Nota: Para algunas excepciones a los valores especificados, véanse la sección 430.54.

¹Los valores de la columna fusible sin retardo de tiempo se aplican a fusibles de Clase CC de acción retardada.

²Los valores de la última columna también cubren los valores nominales de los ruptores de circuito de tiempo inverso no ajustables, que se pueden modificar como se describe en la sección 430.52(C)(1), excepción No. 1 y No. 2.

³Los motores sincrónicos de bajo par y baja velocidad (usualmente 450 rpm o menos), como los utilizados para accionar compresores alternativos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que el valor nominal de los fusibles o el ajuste de los ruptores de circuito sea mayor al 200% de la corriente de plena carga.

Fuente: NEC 2014.

Anexo 6. NEC 2014: Tabla 430.52.

Contactador Tamaño NEMA	Máxima potencia en hp		
	Voltaje del motor	Una fase	Tres fases
00	115	1/3	----
	200	----	1 ½
	230	1	1 ½
	480	----	2
0	575	----	2
	115	1	----
	200	----	3
	230	2	3
1	480	----	5
	575	----	5
	115	2	----
	200	----	7 ½
2	230	3	7 ½
	480	----	10
	575	----	10
	115	3	----
3	200	----	10
	230	7 ½	15
	480	----	25
	575	----	25
4	115	----	----
	200	----	40
	230	----	50
	480	----	100
5	575	----	100
	115	----	----
	200	----	75
	230	----	100
6	480	----	200
	575	----	200
	115	----	----
	200	----	150
7	230	----	200
	480	----	400
	575	----	400
	115	----	----
8	200	----	200
	230	----	300
	480	----	600
	575	----	600

NEMA: National Electrical Manufacturers Assoc.

Fuente: (Barahona G. , 2019)

Anexo 7. Tabla de contactores NEMA.

Tabla 450.3(A) Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 1000 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)

Limitaciones del lugar	Impedancia nominal del transformador	Protección primaria de más de 1000 volts		Protección secundaria (ver Nota 2.)		
		Interruptor automático (ver Nota 4.)	Valor nominal del fusible	Más de 1000 volts		1000 volts o menos
				Interruptor automático (ver Nota 4.)	Valor nominal del fusible	Valor nominal del Interruptor automático o del fusible
Cualquier lugar	No más del 6%	600% (ver Nota 1.)	300% (ver Nota 1.)	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	125% (ver Nota 1.)
	Más del 6% y no más del 10%	400%	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	225% (ver Nota 1.)	125% (ver Nota 1.)
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3.)	Cualquiera	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	No requerido	No requerido	No requerido
	No más del 6%	600%	300%	300% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)
	Más del 6% y no más del 10%	400%	300%	250% (ver Nota 5.)	225% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)

Notas:

1. Donde el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste normalizados, debe permitirse tomar un valor nominal o ajuste más alto que no exceda de:
 - a. El siguiente valor nominal o ajuste normalizado más alto para fusibles e interruptor automático de 1000 volts y menos, o
 - b. El siguiente valor nominal o ajuste más alto comercialmente disponible para fusibles e interruptores de circuitos de más de 1000 volts.
2. Donde se requiera protección contra sobrecorriente del secundario, debe permitirse que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis sets de fusibles agrupados en un lugar. Donde se utilicen múltiples dispositivos de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptor automático como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles.
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión garantizan que solamente personal calificado monitoreará y prestará servicios de reparación y mantenimiento en la instalación de transformadores.
4. Los fusibles accionados electrónicamente que puedan ser configurados para abrirse a una corriente específica se deben configurar cumpliendo con los ajustes para interruptor automático.
5. Debe permitirse que en un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga se omita la protección independiente del secundario.

Fuente: NEC 2014

Anexo 8. NEC: Tabla 450.3(A).

Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conducto, etc., sin exceder (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Nota: Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A) (5) o (B) (4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.

*Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120.

Fuente: NEC 2014

Anexo 9. NEC 2014: Tabla 250.122

Tabla 1 Porcentaje de sección transversal de conductos y tuberías para conductores y cables

Cantidad de conductores y/o cables	Área transversal (%)
1	53
2	31
Más de 2	40

Fuente: NEC 2014.

Anexo 10. NEC 2014: Tabla 1.

Tabla 4 Dimensiones y área porcentual de conductos y tuberías (áreas de conductos o tuberías para las combinaciones de cables permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículo 358 — Tubería metálica eléctrica (EMT)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Más de 2 cables 40%		60%		1 cable 53%		2 cables 31%		Diámetro interno nominal		Área total 100%	
		mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²
16	½	78	0.122	118	0.182	104	0.161	61	0.094	15.8	0.622	196	0.304
21	¾	137	0.213	206	0.320	182	0.283	106	0.165	20.9	0.824	343	0.533
27	1	222	0.346	333	0.519	295	0.458	172	0.268	26.6	1.049	556	0.864
35	1¼	387	0.598	581	0.897	513	0.793	300	0.464	35.1	1.380	968	1.496
41	1½	526	0.814	788	1.221	696	1.079	407	0.631	40.9	1.610	1314	2.036
53	2	866	1.342	1299	2.013	1147	1.778	671	1.040	52.5	2.067	2165	3.356
63	2½	1513	2.343	2270	3.515	2005	3.105	1173	1.816	69.4	2.731	3783	5.858
78	3	2280	3.538	3421	5.307	3022	4.688	1767	2.742	85.2	3.356	5701	8.846
91	3½	2980	4.618	4471	6.927	3949	6.119	2310	3.579	97.4	3.834	7451	11.545
103	4	3808	5.901	5712	8.852	5046	7.819	2951	4.573	110.1	4.334	9521	14.753

Fuente: NEC 2014.

Anexo 11. NEC 2014: Tabla 4.

Tabla 5 (Continuación)

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Área aproximada		Diámetro aproximado	
		mm ²	pulg. ²	mm	pulg.
XHHW, XHHW-2, XHH	1	98.97	0.1534	11.23	0.442
	1/0	117.7	0.1825	12.24	0.482
	2/0	141.3	0.2190	13.41	0.528
	3/0	170.5	0.2642	14.73	0.58
	4/0	206.3	0.3197	16.21	0.638
	250	251.9	0.3904	17.91	0.705
	300	292.6	0.4536	19.30	0.76
	350	333.3	0.5166	20.60	0.811
	400	373.0	0.5782	21.79	0.858
	500	450.6	0.6984	23.95	0.943
	600	561.9	0.8709	26.75	1.053
	700	640.2	0.9923	28.55	1.124
	750	679.5	1.0532	29.41	1.158
	800	717.5	1.1122	30.23	1.190
	900	796.8	1.2351	31.85	1.254
	1000	872.2	1.3519	33.32	1.312
	1250	1108	1.7180	37.57	1.479
	1500	1300	2.0156	40.69	1.602
	1750	1492	2.3127	43.59	1.716
2000	1682	2.6073	46.28	1.822	

Fuente: NEC 2014.

Anexo 12. NEC 2014: Tabla 5 (Aislamiento XHHW-2 solamente)

THHN, THWN, THWN-2	14	6.258	0.0097	2.819	0.111
	12	8.581	0.0133	3.302	0.130
	10	13.61	0.0211	4.166	0.164
	8	23.61	0.0366	5.486	0.216
	6	32.71	0.0507	6.452	0.254
	4	53.16	0.0824	8.230	0.324
	3	62.77	0.0973	8.941	0.352
	2	74.71	0.1158	9.754	0.384
	1	100.8	0.1562	11.33	0.446

Fuente: NEC 2014.

Anexo 13. NEC: Tabla 5 (Aislamiento THHN solamente)

Tabla 450.3(B) Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 1000 volts y menos (como un porcentaje de la corriente nominal del transformador)

Método de protección	Protección primaria			Protección secundaria (Ver Nota 2)	
	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes	Corrientes de menos de 2 amperes	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes
Protección del primario únicamente	125% (Ver Nota 1.)	167%	300%	No se exige	No se exige
Protección del primario y secundario	250% (Ver Nota 3.)	250% (Ver Nota 3.)	250% (Ver Nota 3.)	125% (Ver Nota 1.)	167%

Notas:

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático no ajustable, debe permitirse elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, debe permitirse que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente.
3. Debe permitirse que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento.

Fuente: NEC 2014

Anexo 14. NEC 2014: Tabla 450.3(B).

Tabla 310.106(A) Calibre mínimo de los conductores

Tension nominal del conductor (Volts)	Calibre mínimo del conductor (AWG)	
	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre
2001-5000	8	8
5001-8000	6	6
8001-15,000	2	2
15,001-28,000	1	1
28,001-35,000	1/0	1/0

Fuente: NEC 2014.

Anexo 15. NEC 2014: Tabla 310.106(A).

Fusarc CF fuses DIN standard for transformer protection (rating in A) ^{(1) (2) (3)}

Operating voltage (kV)	Rated voltage (kV)	Transformer power (kVA)																	
		25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	
3	7.2	16	25	31.5	40	50	63	63	80										
		20	31.5	40	50	63	80	80	100	100	125	125	160	200	250				
5	7.2	16	25	31.5	40	50	63	63	80										
		10	20	31.5	40	50	63	80	80	100	100	125	125	160	200	250			
6	7.2	6.3	16	20	25	31.5	40	40	50	63	63	80							
		10	20	25	31.5	40	50	63	80	80	100	100	125	125	160	200	250		
6.6	7.2	6.3	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80								
		10	20	25	31.5	40	50	63	80	80	100	100	125	125	160	200	250		
10	12	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80							
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250			
11	12	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80							
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
13.2	17.5	4	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80						
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
13.8	17.5	4	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80						
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
15	17.5	4	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80						
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
20	24	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80							
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
22	24	6.3	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80						
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
25	36	4	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80						
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
30	36	4	6.3	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	63	63	80					
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				

Fuente: (Schneider Electric, 2016)

Anexo 16. Tabla de selección de fusibles Fusarc CF.

9.2 Fichas técnicas.

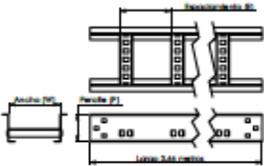
Sistema de Soporte para Cables

Tramo Recto

Perfil Tipo "Z" en Aluminio

Información para ordenar
Ejemplo de número de parte y descripción
TR-11A
 Tramo Recto de Aluminio 6" de Ancho, Espaciamiento de 6" y Peralta a 4".

• NMX-J-511-ANCE 2011

TR — **1** **1** — **A**

Tipo de producto		Ancho de charola (W)		Espaciamiento entre travesaños (E)		Opciones peraltes (P)		Clasificación
TR	Tramo recto	0	4" (10.16 cm)	1	6" (15.24 cm)	3	3 1/4"	8A
		1	6" (15.24 cm)	2	9" (22.86 cm)	12A	3 1/4"	12A/rC
		2	9" (22.86 cm)	3	12" (30.48 cm)	A	4"	12A/rC
		3	12" (30.48 cm)	4	18" (45.72 cm)	B	4 1/2"	12A/rC
		4	16" (40.64 cm)			C	5"	12A/rC
		5	18" (45.72 cm)			D	6"	12A/rC
		6	20" (50.80 cm)					
		7	24" (60.96 cm)					
		8	30" (76.20 cm)					
		9	36" (91.44 cm)					

Ancho de charola (W)		Espaciamiento entre travesaños (E)		Catálogo	Peso Teórico 3 1/4" (Kg)	Ancho de charola (W)		Espaciamiento entre travesaños (E)		Catálogo	Peso Teórico 3 1/4" (Kg)
pulg	cm	pulg	cm			pulg	cm	pulg	cm		
4"	10.16	6"	15.24	TR-01	4.28	18"	45.72	6"	15.24	TR-51	7.70
		9"	22.86	TR-02	3.98			9"	22.86	TR-52	6.26
		12"	30.48	TR-03	3.81			12"	30.48	TR-53	5.54
		18"	45.72	TR-04	3.69			18"	45.72	TR-54	4.82
6"	15.24	6"	15.24	TR-11	4.95	20"	50.80	6"	15.24	TR-61	7.98
		9"	22.86	TR-12	4.46			9"	22.86	TR-62	6.45
		12"	30.48	TR-13	4.16			12"	30.48	TR-63	5.69
		18"	45.72	TR-14	3.91			18"	45.72	TR-64	4.92
9"	22.86	6"	15.24	TR-21	5.62	24"	60.96	6"	15.24	TR-71	5.62
		9"	22.86	TR-22	4.88			9"	22.86	TR-72	4.88
		12"	30.48	TR-23	4.51			12"	30.48	TR-73	4.51
		18"	45.72	TR-24	4.13			18"	45.72	TR-74	4.13
12"	30.48	6"	15.24	TR-31	6.32	30"	76.2	6"	15.24	TR-81	6.32
		9"	22.86	TR-32	5.34			9"	22.86	TR-82	5.34
		12"	30.48	TR-33	4.85			12"	30.48	TR-83	4.85
		18"	45.72	TR-34	4.36			18"	45.72	TR-84	4.36
16"	40.64	6"	15.24	TR-41	7.11	36"	91.44	6"	15.24	TR-91	7.11
		9"	22.86	TR-42	5.86			9"	22.86	TR-92	5.86
		12"	30.48	TR-43	6.24			12"	30.48	TR-93	6.24
		18"	45.72	TR-44	4.62			18"	45.72	TR-94	4.62

Nota: Todos los tramos rectos se surten con 2 conectores tipo "Z" con su respectiva tornillería.
 *Cuentan con certificación ANCE.
 Advertencia: Los tramos rectos no están diseñados para ser utilizados como andadores. NO utilizarlos como escaleras o para cargar personal.

Fuente: (Crouse-Hinds, 2018)

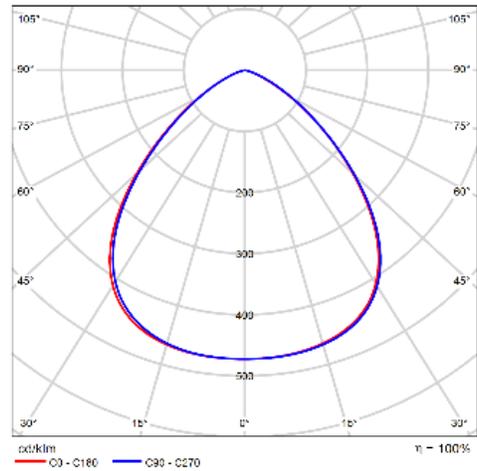
Anexo 17. Dimensiones de canasta portacables tipo escalera Crouse-Hinds.

Ficha de producto

SYLVANIA CAMPANA EVO UL 100W



N° de artículo	
P	99.3 W
Φ Lámpara	13341 lm
Φ Luminaria	13340 lm
η	100.00 %
Rendimiento lumínico	134.3 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

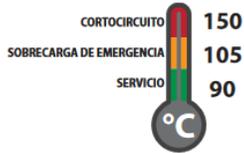
Fuente: DIALux Evo.

Anexo 18. Ficha técnica de las luminarias para el área de envase

Baja Tensión - Cables para la construcción

THHN-FLEX

Monoconductor de cobre blando extraflexible, aislación de PVC y cubierta de nylon. 600 V



LIBRE DE PLOMO



CONDUCTOR FLEXIBLE



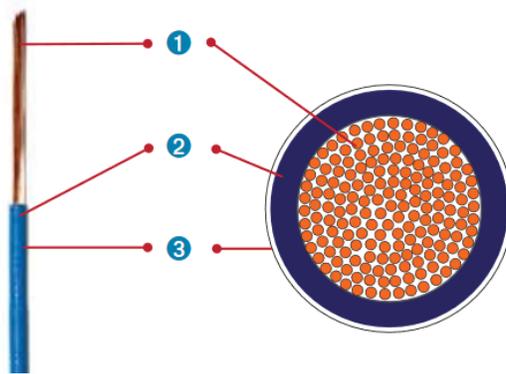
RESISTENCIA AL ACEITE



RETARDANTE A LA LLAMA



REDUCIDO RADIO DE CURVATURA



- 1 CONDUCTOR: cobre blando extraflexible.
- 2 AISLACIÓN: compuesto termoplástico de PVC.
De acuerdo a la norma NCh 4/2003, los colores son:
 - Azul, negro y rojo: conductores de fase.
 - Blanco: conductor neutro y tierra de servicio.
 - Verde: conductor para tierra de protección. Del 3 AWG al 750 kcmil son únicamente de color negro.
- 3 CUBIERTA: compuesto de nylon transparente.

LEYENDA SOBRE LA CUBIERTA: GENERAL CABLE THHN-FLEX [calibre] AWG (calibre equivalente en mm²) CU 600V GR II PVC+NYLON 90C SECO (N° de Certificado) HECHO EN CHILE

Fuente: General Cable.

Anexo 19. Características del cable con aislamiento THHN.



CABLE XHHW-2

SERIE 8000

Descripción

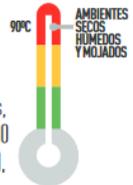
- Conductores de cableado compacto compuestos por un hilo central rodeado de una o más capas de alambre de aleación de aluminio serie 8000 (8176) y recubiertos con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).

Especificaciones Estándar

- Los cables XHHW-2 Serie 8000 están fabricados según normas:
 - ASTM B 800 (Alambres de aleación de aluminio serie 8000 para propósitos eléctricos).
 - ASTM B 801 (Cables de aleación de aluminio serie 8000 cableados concéntricamente para ser posteriormente aislados).
 - UL 44 (Cables y alambres termofijos aislados).

Características

- Los cables XHHW-2 Serie 8000 están diseñados para ser usados en ambientes secos o mojados, a temperaturas que no excedan los 90°C, aislados con XLPE. Operan a un voltaje máximo de 600 V. Pueden ser instalados al aire, en una canalización (conduit, tubería eléctrica, ducto o similar), al aire en bandejas (canastas o charolas), o soportados con mensajero. También pueden ser marcados de acuerdo a su tipo de instalación o uso:



LEYENDAS DISPONIBLES

CT - Cable Tray (1/0 AWG a 500 kcmil*)

SR - Sunlight Resistant

-40°C - Temp -40°C

PR I o PR II - Oil Resistance

GR I o GR II - Oil and Gasoline Resistance

* Consultar con su asesor de ventas

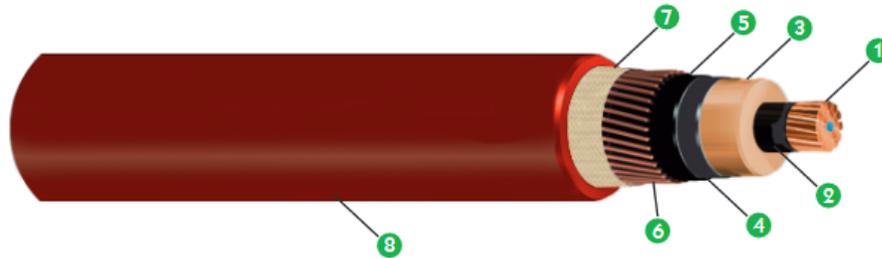
Aplicaciones

- Los conductores de aluminio XHHW-2 Serie 8000 se utilizan principalmente en acometidas eléctricas, alimentadores y circuitos ramales, de acuerdo con lo especificado en la NFPA 70 NEC.

Fuente: Phelps Dodge.

Anexo 20. Características del cable con aislamiento XHHW-2.

Cable de Media Tensión
EPR Cu 35 kV 100% y 133% NA /Cubierta PVC
Uso húmedo
Ficha técnica



Descripción del producto.

Cable monoconductor formado por conductor de cobre suave compacto bloqueado clase B con hilos bloqueadores de agua, con pantalla semiconductor de compuesto termoestable sobre el conductor y aislamiento de etileno- propileno (EPR), pantalla de compuesto termoestable sobre el aislamiento extruida, cinta semiconductor selladora de agua, pantalla metálica a base de alambres de cobre, cinta selladora de agua y cubierta de PVC rojo.

1. **Conductor:** Conductor de cobre suave compacto clase B, bloqueado al paso longitudinal de agua mediante hilos bloqueadores.
2. **Pantalla semiconductor sobre el conductor:** Compuesto semiconductor extruido termoestable.
3. **Aislamiento:** Etileno- propileno (EPR) extruido en un proceso de triple extrusión verdadera. Nivel de aislamiento 100% y 133%.
4. **Pantalla semiconductor sobre el aislamiento:** Compuesto semiconductor extruido termoestable, con adecuada adhesión al aislamiento, lo cual facilita retirar la pantalla.
5. **Cinta W/B semiconductor:** Aplicada helicoidalmente bajo la pantalla electrostática, evitando la penetración transversal de humedad.
6. **Pantalla metálica:** Alambres de cobre desnudos suaves aplicados helicoidalmente. La sección total asignada para cada calibre cumple con lo indicado en la norma NMX-J-142/1.
7. **Cinta W/B no conductora:** Aplicada helicoidalmente sobre la pantalla electrostática, evitando la penetración transversal de humedad.
8. **Cubierta exterior:** Cubierta de PVC rojo, con excelentes propiedades mecánicas y químicas.

Especificaciones técnicas.

- NMX-J-142-1-ANCE Productos eléctricos- Conductores- Cables de energía con pantalla metálica, aislados con polietileno de cadena cruzada o a base de etileno-propileno para tensiones de 5 kV a 35 kV - Especificaciones y método de prueba.
- NMX-J-012 Conductores- Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos- Especificaciones
- NMX-J-059 Conductores- Cable de cobre con cableado concéntrico compacto, para usos eléctricos- Especificaciones
- NMX-J-036 Conductores- Alambre de cobre suave para usos eléctricos- Especificaciones
- Tensión máxima de operación: 35 kV
- Temperatura máxima de operación: 105°C.
- Temperatura máxima de operación en emergencia: 140°C
- Temperatura de cortocircuito: 250°C

Aplicaciones.

Estos cables son para uso en ambientes principalmente húmedos y son utilizados preferentemente en redes de distribución de energía urbanas. Son adecuados para ser instalados directamente enterrados, en zanjas, en ductos, escalerillas o tuberías eléctricas.

Embalaje.

En carretes de madera no retornables. Tolerancia en la longitud de $\pm 5\%$.

Fuente: General Cable.

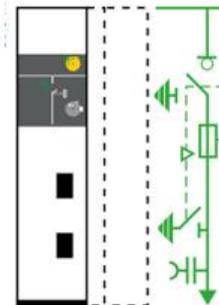
Anexo 21. Características del cable con aislamiento EPR.

9.3. Imágenes demostrativas.



Fuente: (Schneider Electric., 2012)

Anexo 22. Switchboard QED2.



QM
Fuse-switch combination unit
SM6-24: 375 or 500 mm
SM6-36: 750 mm

Fuente: (Schneider Electric, 2020)

Anexo 23. Porta fusibles SM6 QM.



Fuente: Schneider Electric, 2020.

Anexo 24. Transformador TRIHAL.

10. Apéndices.



Fuente: propia.

Apéndice 1. Celda de media tensión DVCAS de Schneider Electric.



Fuente: propia.

Apéndice 2. Transformador Howard Industries de 1500 kVA.



Fuente: propia.

Apéndice 3. Disyuntor principal del tablero de destilería.



Fuente: propia.

Apéndice 4. Generadores eléctricos Electra Molins.



Fuente: propia.

Apéndice 5. Banco de transformadores 75kVA, para tonelería.



Fuente: propia.

Apéndice 6. Transformador de 167kVA, parte del banco envase.



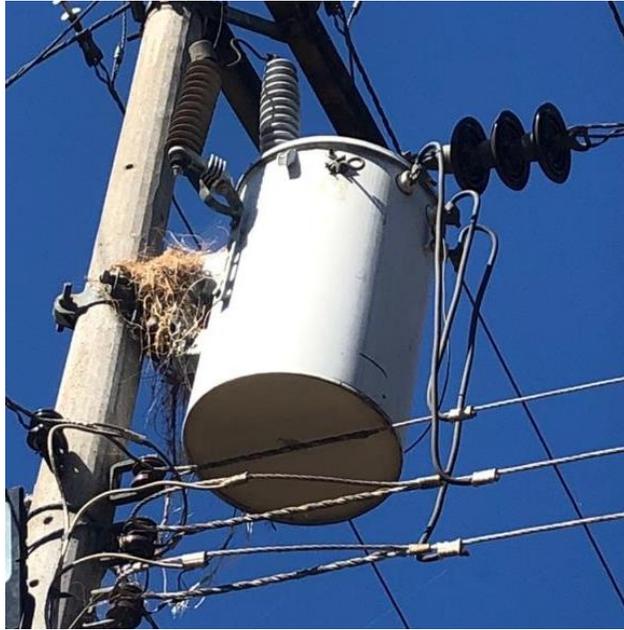
Fuente: propia.

Apéndice 7. Tablero CCM envase.



Fuente: propia.

Apéndice 8. Transformador de 75kVA, parte del banco de confección de licores.



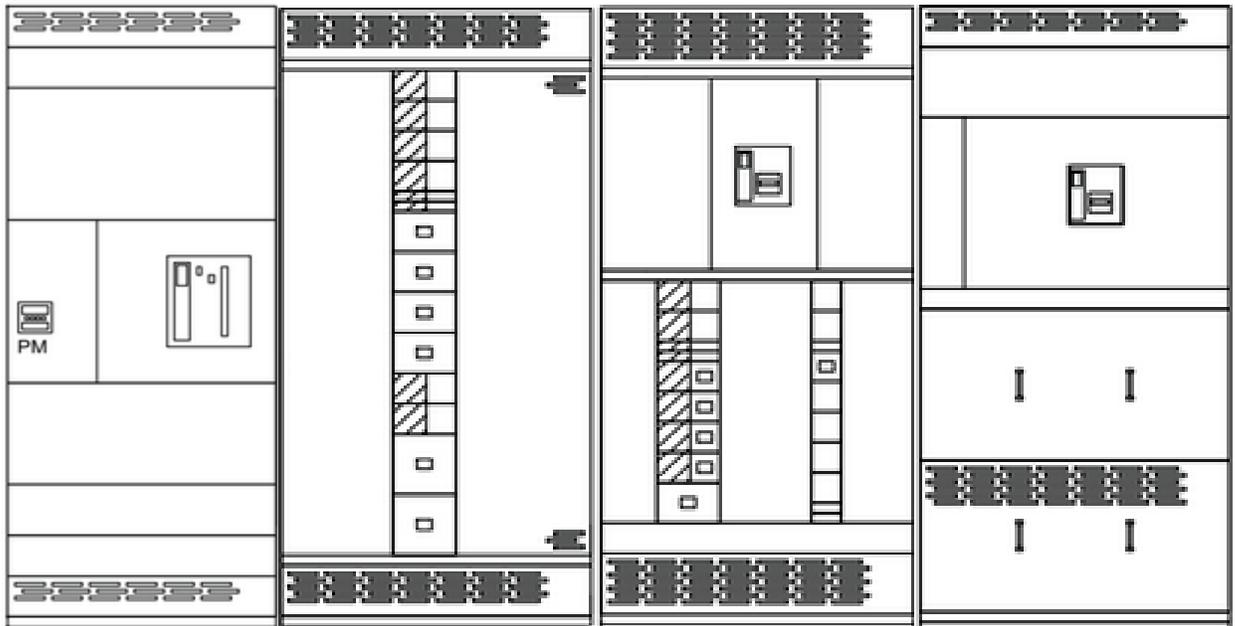
Fuente: propia.

Apéndice 9. Transformador de 50kVA, para mercadeo.



Fuente: propia.

Apéndice 10. Transformador de 50kVA, para iluminación exterior.



FNL-CED-NDPP-01

FNL-CED-NSBP-01

FNL-CED-NSBP-02

FNL-CED-ETAP-01

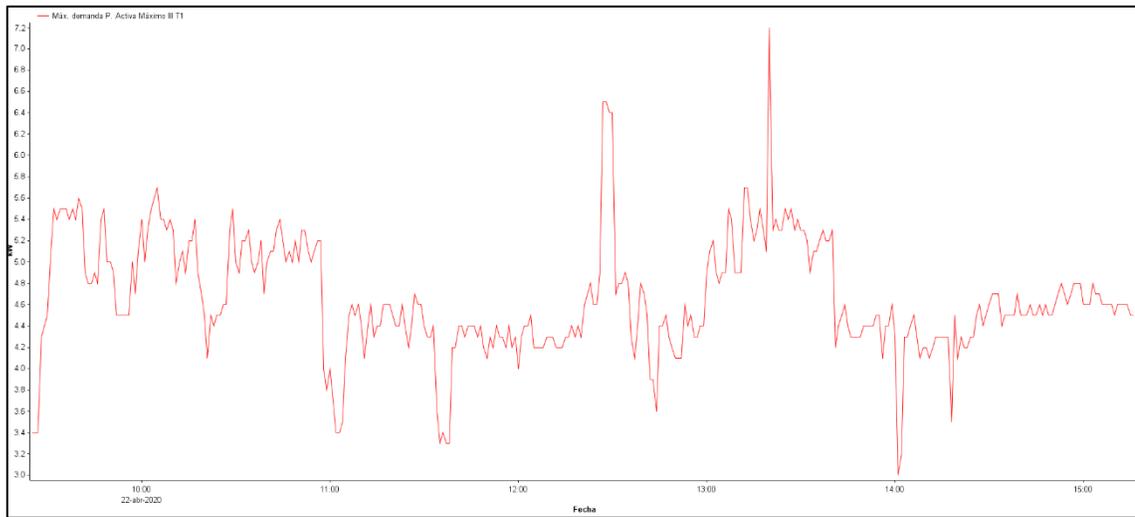
Figuras obtenidas de (Schneider Electric., 2012)

Apéndice 11. Tableros QED2 del cuarto eléctrico destilería.



Fuente: propia.

Apéndice 12. Banco de transformadores del pozo #4.



Fuente: propia.

Apéndice 13. Gráfico de consumo de tablero de tonelería, alimentado por un banco de transformadores de 75 kVA.

Nota: los planos y otros documentos relacionados a este trabajo se encuentran en el siguiente [enlace](#).