

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

*Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Eléctrico*

**PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:  
“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEJORAS PARA LAS  
INSTALACIONES EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE LA  
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE  
ITALPISOS S.A.”**

**AUTORES:**

BYRON ANDRÉS JIMBO CALLE  
WILSON GUILLERMO TANDAZO LUDIZACA

**TUTOR:**

ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE

CUENCA - ECUADOR

2021

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

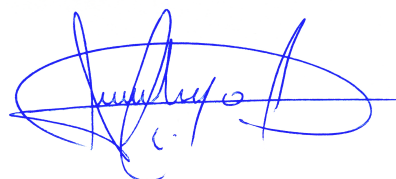
Nosotros, Byron Andrés Jimbo Calle con documento de identificación N° 0106551997 y Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca con documento de identificación N° 0302617279, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEJORAS PARA LAS INSTALACIONES EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ITALPISOS S.A.”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2021.



Byron Andrés Jimbo Calle  
C.I. 0106551997



Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca  
C.I. 0302617279

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEJORAS PARA LAS INSTALACIONES EN MEDIA Y BAJA TENSION DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ITALPISOS S.A.”**, realizado por Byron Andrés Jimbo Calle y Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque', written over a faint grid background.

Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque.

C.I. 0102257482

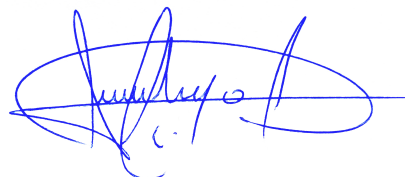
## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Byron Andrés Jimbo Calle con documento de identificación N° 0106551997 y Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca con documento de identificación N° 0302617279, autores del trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEJORAS PARA LAS INSTALACIONES EN MEDIA Y BAJA TENSION DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ITALPISOS S.A.”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2021.



Byron Andrés Jimbo Calle  
C.I. 0106551997



Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca  
C.I. 0302617279



## **Dedicatoria 1**

*A MIS PADRES, HERMANOS, SOBRINO, FAMILIARES Y AMIGOS.*

Byron Andrés Jimbo Calle

## **Dedicatoria 2**

*Dedico este trabajo en primera instancia a Dios, por haberme permitido culminar una etapa más en mi vida.*

*A mis padres Jaime Tandazo y María Ludizaca, a mis hermanas, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, y en memoria de mi hermano Francisco Tandazo (+) y mi querido amigo Juan Vintimilla (+).*

Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca

## **Agradecimiento 1**

*A Dios por darme la sabiduría y fortaleza para hacer de este sueño tan anhelado una realidad y a todas las personas que me apoyaron de manera desinteresada en toda mi etapa de formación. Un sincero agradecimiento a mi tutor del proyecto al Ing. Falvio Quizhpi por estar presto desde un inicio con su sabiduría, conocimientos y profesionalismo para que finalmente este sueño se llegue a cumplir. Además, quiero expresar mi gratitud y profundo agradecimiento para la empresa Italpisos S.A., en especial al Ing. Gustavo Sánchez por brindarme su apoyo incondicional, amistad y sobre todo por guiarme en todo el proceso de aprendizaje y su vez en la ejecución de mis conocimientos.*

Byron Andrés Jimbo Calle

## **Agradecimiento 2**

*Primeramente, agradezco a Dios por darme la salud y vida para poder culminar mis estudios, a mis padres por la formación que me han dado tanto personal como profesional, a su vez un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis el Ing. Flavio Quizhpi, por su dedicación y ser nuestro guía durante la elaboración del presente trabajo, de igual manera el agradecimiento al personal de la planta de producción Italpisos S.A., en especial al Ing. Gustavo Sánchez que de una u otra manera contribuyeron con sus conocimientos para la culminación del proyecto.*

Wilson Guillermo Tandazo Ludizaca

## RESUMEN

La presente investigación tiene como fin la realización de un proyecto de mejoras para las 5 líneas de producción de la planta Italtipos S.A., donde se lleva a cabo el diseño de la instalación eléctrica en baja tensión (440 V) considerando a partir de la etapa de levantamiento de cargas eléctricas hasta la última etapa del diseño que consiste en la diagramación de los nuevos circuitos a diseñar. Por medio del levantamiento de las cargas eléctricas posibilita evaluar el estado actual de las instalaciones de las líneas de producción, en este punto se obtiene información acerca de los transformadores, tableros de distribución, y del sistema de iluminación. Con dicha información se procede a realizar el nuevo diseño de las instalaciones, es decir, se lleva a cabo los cálculos eléctricos paso a paso en las diferentes partes del diseño (secciones de los conductores, caídas de tensión, cortocircuitos, dispositivos de protección etc.), basándose en las diferentes normas internacionales como nacionales y de esta manera asegurar que la instalación esté bien dimensionada. Una vez que se haya establecido todos los cálculos eléctricos de la instalación se realizó la coordinación de protecciones, con la finalidad de obtener un correcto funcionamiento del sistema eléctrico y una buena operación de los dispositivos de protección. Mediante el uso de una de las herramientas del paquete informático Siemens Planning Tools: Siemens SIMARIS curves, dicho software se encarga de presentar las curvas características de los dispositivos de protección y de esta manera analizar la coordinación de protecciones entre los circuitos de un tablero de distribución.

Para proporcionar un adecuado nivel iluminación en las 5 líneas de producción, se efectuó un estudio de iluminación y de esta manera asegurar los niveles lumínicos para cada estación de trabajo. Finalmente, se muestra un presupuesto para la instalación eléctrica a diseñar, donde se agrupa todos los precios de los componentes por cada línea de producción.

**Palabras clave:** sobrecarga, cortocircuito, sobreintensidad, selectividad parcial, selectividad total, luminarias, electrodos, interruptor automático, termomagnético.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes . . . . .	1
1.1.1	Historia y epistemología empresarial de la planta Itaipos. . .	1
1.1.2	Misión y visión de La empresa Itaipos S.A. . . . .	1
1.2	Planteamiento del problema . . . . .	2
1.3	Justificación . . . . .	2
1.4	Objetivos de la Investigación . . . . .	3
1.4.1	Objetivo General . . . . .	3
1.4.2	Objetivos Específicos . . . . .	3
1.5	Descripción general de la investigación . . . . .	4
1.5.1	Proceso para realizar un levantamiento eléctrico . . . . .	4
1.5.2	Proceso productivo para la fabricación de cerámica y porcelanato. . . . .	5
1.5.3	Descripción del proceso productivo de una línea de producción	5
1.5.4	Estructura de las líneas de producción de la planta Itaipos S.A. . . . .	8
1.6	Proceso para el diseño de la instalación . . . . .	10
<b>2</b>	<b>LEVANTAMIENTO DE CARGAS ELÉCTRICAS</b>	<b>12</b>
2.1	Introducción . . . . .	12
2.2	Instalaciones actuales . . . . .	12
2.2.1	Transformadores . . . . .	12
2.3	Tableros de distribución de las líneas de producción . . . . .	15
2.4	Iluminación de las líneas de producción . . . . .	19
2.4.1	Descripción General . . . . .	19
2.4.2	Transformador para circuitos de iluminación . . . . .	19
2.4.3	Configuración del sistema de protección . . . . .	20
2.4.4	Centros de carga . . . . .	21
2.4.5	Nivel de iluminación . . . . .	22
2.4.5.1	Nave industrial 1 . . . . .	23
2.4.5.2	Nave industrial 2 . . . . .	23
2.4.5.3	Nave industrial 3 . . . . .	24

2.5	Levantamiento de parámetros eléctricos de las líneas de producción . . . . .	25
2.5.1	Cargas eléctricas de las líneas de producción . . . . .	26
2.5.2	Protecciones de motores (Línea de Esmalte) . . . . .	31
<b>3</b>	<b>DISEÑO Y CÁLCULOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>	<b>32</b>
3.1	Introducción . . . . .	32
3.2	Diseño y cálculo para las líneas de producción . . . . .	32
3.2.1	Estimación de la demanda para las líneas de producción. . . . .	32
3.2.2	Dimensionamiento de los conductores eléctricos . . . . .	35
3.2.2.1	Factores de ajuste y de corrección para los conductores eléctricos. . . . .	35
3.2.2.2	Factor de ajuste (Agrupamiento – FA). . . . .	36
3.2.2.3	Factor de corrección (Temperatura – FT). . . . .	36
3.2.3	Diagrama unifilar línea 5 (Prensa 3020 – Auxiliar Horno) . . . . .	37
3.2.4	Cálculo de los conductores eléctricos. . . . .	38
3.2.4.1	Corriente nominal de las líneas de alimentación. . . . .	38
3.2.5	Corriente de Diseño de las líneas de Alimentación. . . . .	40
3.2.5.1	Para un solo motor . . . . .	40
3.2.5.2	Para un grupo de motores . . . . .	40
3.2.6	Dimensionamiento de los conductores de las líneas de alimentación. . . . .	41
3.2.7	Caída de Tensión. . . . .	44
3.2.8	Conductor neutro y de protección. . . . .	47
3.2.9	Canalizaciones . . . . .	49
3.2.9.1	Para conductores mayores a 250 MCM . . . . .	49
3.2.9.2	Para conductores menores a 4/0 AWG . . . . .	50
3.2.10	Sistema de Puesta a Tierra. . . . .	51
3.2.10.1	Introducción . . . . .	51
3.2.10.2	Cálculo de la malla puesta a tierra . . . . .	51
3.2.10.3	Área de estudio . . . . .	52
3.2.10.4	Medición de la resistividad del terreno . . . . .	53
3.2.10.5	Calibre del conductor . . . . .	54
3.2.10.6	Diseño básico . . . . .	56
3.2.10.7	Resistencia de la malla. . . . .	57
3.2.11	Cálculo de las protecciones eléctricas. . . . .	59
3.2.11.1	Cálculo de la corriente de cortocircuito . . . . .	59
3.2.11.2	Principio de protección contra sobreintensidad y cortocircuitos. . . . .	68
3.2.11.2.1	Sobrecargas: . . . . .	69

3.2.11.2.2	Cortocircuitos: . . . . .	70
3.2.11.2.3	Dispositivos a utilizar: . . . . .	72
3.2.12	Coordinación de protecciones. . . . .	75
3.2.12.1	Introducción. . . . .	75
3.2.12.2	Concepto de selectividad . . . . .	75
3.2.12.2.1	Técnicas para la comprobación del nivel de selectividad: . . . . .	76
3.2.12.3	Coordinación de protecciones Interruptor Automático principal - Automático secundario. . . .	77
3.2.13	Ejemplo de cálculo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente y sobrecarga para circuitos derivados de motores. . . . .	86
<b>4</b>	<b>CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>	<b>92</b>
4.1	Introducción . . . . .	92
4.2	Cálculo de luminarias . . . . .	93
4.2.1	Cálculo del número de luminarias para la nave industrial 1 y 2	99
4.2.2	Diseño a proponer . . . . .	100
4.2.3	Circuitos para el sistema de iluminación . . . . .	102
4.2.3.1	Cálculo seccion de los conductores . . . . .	104
<b>5</b>	<b>PRESUPUESTO</b>	<b>110</b>
5.1	Introducción . . . . .	110
<b>6</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>117</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>120</b>
7.1	Distribución de las cargas eléctricas de la línea 5 . . . . .	120
7.2	Documentación técnica . . . . .	123
7.3	Coordinación de protecciones . . . . .	131
7.4	Planos y Diagramas . . . . .	161
7.4.1	Diagramas unifilares de baja tensión de cada tablero de distribución . . . . .	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Proceso productivo para la fabricación de cerámica y porcelanato. . .	5
1.2	Proceso de fabricación de cerámica . . . . .	7
1.3	Proceso de producción de la línea 1 y línea 3. . . . .	8
1.4	Proceso de producción de la línea 4. . . . .	9
1.5	Proceso de producción de la línea 5. . . . .	9
2.1	Esquema unifilar de la distribución de los transformadores actuales. .	13
2.2	Layout de la planta de producción Italpisos S.A. . . . .	14
2.3	Tableros de distribución de las líneas de producción. . . . .	15
2.4	Distribución de los tableros dentro de las líneas de producción. . . .	16
2.5	Transformador de 440/220-127 V . . . . .	20
2.6	Diagrama unifilar del sistema de iluminación actual. . . . .	21
2.7	Iluminación de la línea 5. . . . .	23
2.8	Iluminación del horno 2-3. . . . .	24
2.9	Iluminación de la nave industrial 3. . . . .	25
2.10	Futuros tableros de distribución para las 5 líneas de producción. . .	31
3.1	Distribución de la potencia total de la línea 5. . . . .	33
3.2	Reubicación del transformador (T2). . . . .	35
3.3	Factor de ajuste para bandejas perforadas [1]. . . . .	36
3.4	Diagrama unifilar para la línea 5. . . . .	38
3.5	Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C [2]. . . .	42
3.6	Caída de tensión en el sistema eléctrico. . . . .	45
3.7	Valores de la reactancia para los conductores [3]. . . . .	46
3.8	Sistema TN-S [4]. . . . .	48
3.9	Formación para conductores de 250 MCM o de mayor sección [5]. . .	49
3.10	Formación para conductores menores a 4/0 AWG [5]. . . . .	50
3.11	Ubicación de las mallas puesta a tierra. . . . .	52
3.12	Método de Wenner [6]. . . . .	53
3.13	Diseño inicial de la malla rectangular. . . . .	56

3.14	Red simplificada para el cálculo de la $I_{cc}$ . . . . .	60
3.15	Defecto Trifásico [3]. . . . .	63
3.16	Defecto Bifásico [3]. . . . .	64
3.17	Defecto Monofásico [3]. . . . .	64
3.18	Defecto a Tierra [3]. . . . .	65
3.19	Corriente y tensión de defecto en el esquema TN [7]. . . . .	66
3.20	Corrientes máximas de cortocircuito. . . . .	67
3.21	Niveles de corriente para determinar las características del interruptor automático [1]. . . . .	69
3.22	Protección del circuito mediante interruptor automático [1]. . . . .	70
3.23	Características eléctricas de un interruptor automático con disparo electrónico [1]. . . . .	72
3.24	Interruptor automático 3VA2. . . . .	73
3.25	Unidades de disparo interruptor automático. . . . .	73
3.26	Gama de interruptores automáticos 3VA2 [8]. . . . .	73
3.27	Curva de energía. . . . .	74
3.28	Tipos de selectividad. . . . .	76
3.29	Selectividad amperimétrica [9]. . . . .	76
3.30	Selectividad cronométrica [9]. . . . .	77
3.31	Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R1. . . . .	78
3.32	Coordinación de protecciones Transformador y (TD-L5). . . . .	80
3.33	Sistema de protecciones para motores. . . . .	86
3.34	Interruptor Termomagnético + Relé térmico. . . . .	88
3.35	Fusible + Relé térmico. . . . .	90
4.1	Especificaciones del plano de trabajo de la nave industrial. . . . .	94
4.2	Características técnicas de la lámpara. . . . .	97
4.3	Resultado simulación nave industrial 3 (DIALux). . . . .	99
4.4	Resultado simulación nave industrial 1 (DIALux). . . . .	100
4.5	Resultado simulación nave industrial 2 (DIALux). . . . .	100
4.6	Nuevo sistema de iluminación. . . . .	101
4.7	Distribución de los centros de carga en las líneas de producción. . . . .	104
4.8	Resistencia y Reactancia para conductores [2]. . . . .	109
4.9	Parámetros para la selección del conductor [10]. . . . .	109
7.1	Configuración de la pantalla principal. . . . .	131
7.2	Pantalla para seleccionar el dispositivo de protección. . . . .	132
7.3	Catalogo de productos. . . . .	132
7.4	Interruptor automático 3VA. . . . .	133
7.5	Curva característica 3VA20105HL360AA0. . . . .	133



7.6	Configuración de la corriente de falla $I_p[a]$ . . . . .	134
7.7	Simulación de la corriente de falla . . . . .	134
7.8	Curva de energía de paso. . . . .	135
7.9	Pantalla de la documentación del proyecto. . . . .	135

# Índice de tablas

2.1	Parámetros de los transformadores actuales . . . . .	13
2.2	Tableros de distribución por cada nave industrial . . . . .	16
2.3	Características del tablero de distribución del horno 5 (TD-H5). . . . .	17
2.4	Características del tablero de distribución de la línea 5 (TD-L5). . . . .	17
2.5	Características del tablero de distribución de la línea 1 (TD-L1). . . . .	17
2.6	Características del tablero de distribución del horno 1 (TD-H1). . . . .	18
2.7	Características del tablero de distribución línea 4 (TD-L4). . . . .	18
2.8	Características del tablero de distribución del horno 4 (TD-H4). . . . .	18
2.9	Características del tablero de distribución prensa 2800 (TD-P2800). . . . .	18
2.10	Características del tablero de distribución para el Horno 2 y 3 (TD-H2-3). . . . .	18
2.11	Circuitos de iluminación de la nave industrial 1. . . . .	22
2.12	Circuitos de iluminación de la nave industrial 2. . . . .	22
2.13	Circuitos de iluminación de la nave industrial 3. . . . .	22
2.14	Nivel de iluminación medida: líneas 1 y 5. . . . .	23
2.15	Nivel de iluminación medida: líneas 2,3 y 4. . . . .	24
2.16	Nivel de iluminación medida: horno 4. . . . .	24
2.17	Maquinaria instalada - línea de producción 1. . . . .	27
2.18	Maquinaria instalada - línea de producción 3. . . . .	28
2.19	Maquinaria instalada - línea de producción 4. . . . .	29
2.20	Maquinaria instalada - línea de producción 5. . . . .	30
3.1	Valores normalizados para los transformadores . . . . .	34
3.2	Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable [2]. . . . .	36
3.3	Factor de corrección [2]. . . . .	37
3.4	Corrientes nominales. . . . .	39
3.5	Dimensionamiento de las líneas. . . . .	43
3.6	Secciones nomalizadas de los conductores. . . . .	44
3.7	Caída de tensión. . . . .	47
3.8	Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase [11]. . . . .	48

3.9	Dimensionamiento de los conductores. . . . .	49
3.10	Área de llenado permisible [5]. . . . .	50
3.11	Parámetros para dimensionar la bandeja portacables. . . . .	50
3.12	Tamaño de la bandeja portacables. . . . .	51
3.13	Valores de resistencia de puesta a tierra [12]. . . . .	51
3.14	Dimensiones para la malla del transformador (T2). . . . .	53
3.15	Datos obtenidos del terreno para la resistividad. . . . .	53
3.16	Valores típicos de $D_f$ [6]. . . . .	54
3.17	Constante de materiales [6]. . . . .	55
3.18	Sección de los conductores [6]. . . . .	56
3.19	Parámetros de la malla. . . . .	57
3.20	Valores Calculados. . . . .	58
3.21	Corrientes máximas de cortocircuito. . . . .	66
3.22	Corrientes de cortocircuito mínimas y máximas. . . . .	68
3.23	Valores de K . . . . .	71
3.24	Condiciones de sobrecarga y cortocircuito. . . . .	74
3.25	Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM general - ITM-R1. . . . .	78
3.26	Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM-T1 - ITM-AL5. . . . .	80
3.27	Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM - relé térmico. . . . .	88
3.28	Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del Fusible - relé térmico. . . . .	89
3.29	Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna [2]. . . . .	91
3.30	Capacidad nominal máxima o ajuste de disparo de los dispositivos de protección para circuitos ramales de motores contra cortocircuito y falla a tierra [2]. . . . .	91
4.1	Niveles de iluminación recomendados [12]. . . . .	92
4.2	Coeficientes de reflexión. . . . .	95
4.3	Factor de utilización. Fuente: Catálogo de Luminarias Philips. . . . .	96
4.4	Coeficiente de mantenimiento . . . . .	96
4.5	Distribución de luminarias nave industrial 3 . . . . .	98
4.6	Número de luminarias - nave industrial 1-2 . . . . .	99
4.7	Distribución de luminarias - nave industrial 1. . . . .	99
4.8	Distribución de luminarias - nave industrial 2. . . . .	100
4.9	Circuitos del tablero de distribución TDI-1. . . . .	102
4.10	Circuitos del tablero de distribución TDI-2. . . . .	103

4.11	Parámetros del alimentador principal. . . . .	107
4.12	Parámetros de los alimentadores principales. . . . .	107
4.13	Parámetros de los centros de carga del tablero TDI-1. . . . .	108
4.14	Valores calculados con la nueva sección. . . . .	108
4.15	Parámetros de los centros de carga del tablero TDI-2. . . . .	109
5.1	Presupuesto para la línea 1. . . . .	111
5.2	Presupuesto para la línea 2. . . . .	112
5.3	Presupuesto para la línea 3. . . . .	113
5.4	Presupuesto para la línea 4. . . . .	114
5.5	Presupuesto para la línea 5. . . . .	115
5.6	Presupuesto para el centro de transformación. . . . .	116
5.7	Presupuesto total. . . . .	116
7.1	Distribución cargas eléctricas Prensa- Impresión Digital. . . . .	121
7.2	Distribución cargas eléctricas Impresión Digital-Línea de Clasificación. . . . .	122
7.3	Parámetros iniciales de diseño TD-L1 . . . . .	124
7.4	Comprobación caída de tensión TD-L1 . . . . .	124
7.5	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L1. . . . .	124
7.6	Parámetros iniciales de diseño TD-H1. . . . .	125
7.7	Comprobación caída de tensión TD-H1. . . . .	125
7.8	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H1. . . . .	125
7.9	Parámetros iniciales de diseño TD-L2. . . . .	125
7.10	Comprobación caída de tensión TD-L2. . . . .	126
7.11	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L2. . . . .	126
7.12	Parámetros iniciales de diseño TD-H2. . . . .	126
7.13	Comprobación caída de tensión TD-H2. . . . .	126
7.14	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H2. . . . .	127
7.15	Parámetros iniciales de diseño TD-L3. . . . .	127
7.16	Comprobación caída de tensión TD-L3. . . . .	127
7.17	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L3. . . . .	127
7.18	Parámetros iniciales de diseño TD-H3. . . . .	128
7.19	Comprobación caída de tensión TD-H3. . . . .	128
7.20	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H3. . . . .	128
7.21	Parámetros iniciales de diseño TD-L4. . . . .	128
7.22	Comprobación caída de tensión TD-L4. . . . .	129
7.23	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L4. . . . .	129
7.24	Parámetros iniciales de diseño TD-H4. . . . .	129
7.25	Comprobación caída de tensión TD-H4. . . . .	129
7.26	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H4. . . . .	130

7.27	Parámetros iniciales de diseño TD-H5. . . . .	130
7.28	Comprobación caída de tensión TD-H5. . . . .	130
7.29	Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H5. .	130

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 Antecedentes

#### 1.1.1 Historia y epistemología empresarial de la planta Italpisos.

La empresa Italpisos S.A., fue fundada en el año de 1982. Tanto la planta como la administración se encuentran ubicadas en la ciudad de Cuenca – Ecuador, sector San Joaquín. La empresa Italpisos S.A., junto con la empresa Ecuacerámica S.A., y Cerámica Rialto S.A., forman parte del grupo cerámico de complementos y acabados para construcción más importante del Ecuador.

Italpisos S.A. se dedica a la producción y comercialización de cerámica y porcelanato, con una variedad de productos en diferentes formatos tanto para pisos y pared, para lo cual cuenta con cinco líneas de producción de las cuales las líneas 1, 2, 3 y 5 son para la producción de cerámica, mientras que la línea 4 está destinada para la producción tanto de cerámica como de porcelanato.

#### 1.1.2 Misión y visión de La empresa Italpisos S.A.

##### **Misión.**

“Producir con eficiencia y eficacia generando un costo de producción cada vez menor y una calidad mayor, cumpliendo con las expectativas de los clientes internos y externos, brindando precios competitivos al mercado y generando ganancias para los accionistas de la empresa y todos sus colaboradores” [13].

## **Visión.**

“Ser líder en el mercado de la cerámica plana a nivel nacional captando la mayoría del mercado en todas las regiones del país; a nivel internacional se busca atraer la parte sur del continente en primera instancia e irse proyectando al resto del mundo una vez acaparado el mercado del sur” [13].

## **1.2 Planteamiento del problema**

Durante los últimos años la planta de Italtipos S.A., ha incrementado nuevas líneas de producción para la fabricación de materias primas (cerámica, porcelanato), lo cual ha provocado modificaciones en las celdas de baja tensión que se encuentran a una ubicación no óptima para la distribución de las cargas.

Cabe mencionar que las líneas de producción de la planta de Italtipos S.A., no cuentan con un registro técnico que contenga información de las instalaciones eléctricas, lo que provoca complicaciones actuales como futuras al momento realizar una inspección o reparación ante un problema presentado. El estado actual en que se encuentran las líneas de producción, ha ocasionado paros inesperados en su flujo de producción, debido a que los componentes eléctricos sufren problemas de contaminación y de mal dimensionamiento.

Por tal motivo, se ha visto la necesidad de realizar el diseño y cálculo de las diferentes instalaciones para la línea de producción de la planta de Italtipos S.A., realizando un estudio por separado entre cada línea, pero siempre considerando el efecto que una línea de producción puede causar en las otras, con el fin de conseguir un primer acercamiento al diseño de todas las instalaciones necesarias de una planta industrial que responde a las necesidades de sus empleados.

## **1.3 Justificación**

Para contar con una producción de materia prima con estándares de calidad, es necesario implementar instalaciones seguras y eficientes que puedan contribuir al desempeño continuo de los procesos. Esto se puede lograr al suministrar la energía adecuada a la planta de producción, contando con un diseño de las instalaciones

requeridas que permitan al gerente alcanzar con los objetivos establecidos. En consecuencia, la planta industrial es diseñada con el objetivo de lograr la máxima eficiencia en el proceso de transformación de la materia prima del producto deseado. El objetivo del proyecto va con tal propósito, proporcionando todos los criterios técnicos para alcanzar el producto terminado con éxito sin que sufra paros en las líneas de producción ocasionados por fallas eléctricas. Para todo lo antes mencionado, se deben seguir algunas normativas para cumplir con el mínimo de requisitos, tanto de materiales como de equipos, es por ello que se hará uso de las normas vigentes en el Ecuador.

En resumen, se realizará una aproximación al diseño y cálculo de instalaciones industriales con el fin de cumplir con todos los requisitos para la fabricación de cerámica como de porcelanato y dotar a la planta del equipamiento necesario para facilitar el correcto funcionamiento de la misma.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Proponer un sistema de mejoras para las instalaciones en media y baja tensión de la línea de producción de la planta de Itaipisos S.A.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Levantar la información del sistema eléctrico de la línea de producción de la planta de Itaipisos S.A.
- Diseñar y calcular los futuros sistemas de la línea de producción (Transformador de potencia, alimentadores y circuitos ramales, sistema de fuerza, sistema de iluminación, sistema de puesta a tierra).
- Coordinar las protecciones del sistema a implementar.
- Realizar planos, diagramas y detalles que representen las instalaciones eléctricas propuestas.
- Elaborar el estudio de costo de las instalaciones eléctricas para las redes de media y baja tensión.



## 1.5 Descripción general de la investigación

Para conocer el estado actual en el que se encuentran las líneas de producción, se detallarán los equipamientos que existen en cada línea de producción, para contar con información que permita realizar los respectivos cálculos al momento de realizar el diseño, además se presentará planos eléctricos para facilitar la comprensión respecto a la implementación de las instalaciones industriales.

El proyecto no cubrirá ninguna etapa constructiva de las instalaciones por motivos de operación de la planta, de modo que, en el proyecto de investigación se especificará qué materiales y equipos deben seleccionarse en términos de calidad y confiabilidad para evitar que la empresa realice inversiones innecesarias a largo plazo por un mal dimensionamiento tanto de materiales como de equipos.

### 1.5.1 Proceso para realizar un levantamiento eléctrico

Un levantamiento eléctrico permite conocer el estado actual en que se encuentran las instalaciones y equipos eléctricos, cuya finalidad es obtener información necesaria que permita evaluar el sistema eléctrico existente.

A continuación, se detalla el proceso para realizar un levantamiento eléctrico dentro de una industria [14]:

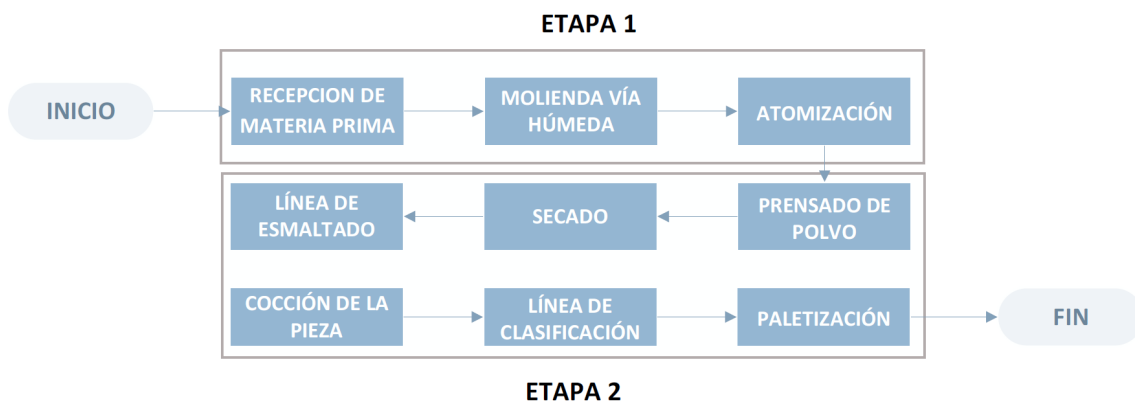
- **Recopilación de información:** Se realiza tomando datos de los tableros como: calibre de los conductores y el tipo de protecciones.
- **Análisis de la recopilación de información:** La información recopilada anteriormente se filtrará, para posteriormente clasificarla de acuerdo a lo requerido.
- **Levantamiento de cargas:** Se recopilarán datos de placa de los equipos eléctricos.
- **Agrupación de información:** La información se organizará mediante tablas con el fin de determinar la potencia total instalada, con la ayuda de un estudio de carga y demanda se determinará si la potencia que suministra el transformador es la adecuada.

- **Estandarización:** La información obtenida anteriormente se plasma en planos eléctricos con formatos estandarizados y normas adecuadas de presentación.

### 1.5.2 Proceso productivo para la fabricación de cerámica y porcelanato.

Para la fabricación de estos dos productos, la planta de producción de Italpisos S.A., se divide en dos etapas. La etapa 1 está enfocada netamente en preparar la materia prima para ser utilizada en la etapa 2. La presente investigación se basará en la segunda etapa, ya que esta conforma la llamada línea de producción.

A continuación, se presenta un flujograma para el proceso de cerámica en el que Italpisos S.A., se rige.



**Figura 1.1:** Proceso productivo para la fabricación de cerámica y porcelanato.

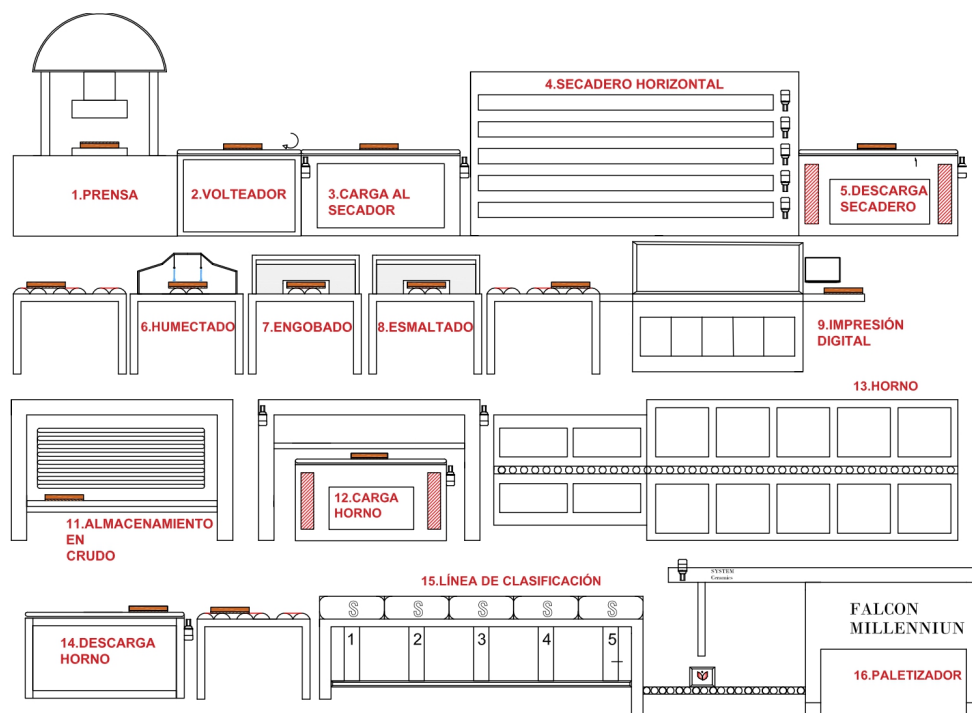
### 1.5.3 Descripción del proceso productivo de una línea de producción

1. **Prensado.-** Para esta etapa se utilizan prensas hidráulicas que, al prensar el polvo atomizado procedente de la barbotina, se obtiene la forma o molde de la cerámica plana, cabe mencionar que en esta etapa se especifica el tamaño de la cerámica a producir.
2. **Volteador.-** Una pieza cerámica está compuesta por dos superficies, las dos superficies son: la parte superior de la cerámica (llamada superficie lisa) y la parte inferior (llamada superficie de la pared), esta última es la base de la cerámica. Al salir del prensado, la superficie lisa está en la parte inferior, por

lo que es necesario utilizar una máquina volteadora de piezas para transferir la superficie lisa hacia la parte superior.

3. **Carga secador.-** Se trata de un mecanismo mediante el cual se pueden alinear y agrupar las piezas de cerámica para ser introducidas al secador.
4. **Secadero vertical/horizontal.-** Después de introducir las piezas de cerámica en el secadero, se someterá a un proceso de secado, que incluye eliminar la humedad de la parte prensada. En esta etapa de operación se utilizan secadores tanto horizontales como verticales.
5. **Descarga secadero.-** Realiza el proceso de descarga y alineado del grupo de piezas que sale del secadero, para ser luego enviadas individualmente hacia la etapa de humectación.
6. **Humectación.-** Posterior a la etapa de secado, cada una de las piezas de la cerámica pasan por el proceso de humectación, con la finalidad de que la pieza no contenga impurezas que afecte a la aplicación del engobe.
7. **Engobado.-** El proceso de engobe permite colocar una capa de protección y dureza en la cerámica de color mate, la cual proviene de la arcilla.
8. **Esmaltado.-** Las piezas cerámicas se someten a un proceso de esmaltado para aplicar una capa de brillo que cubre toda la superficie de la pieza. A través de este tratamiento se determina la estética y firmeza de la pieza. Se debe tener presente que para la producción del porcelanato las etapas de engobe y esmalte no se realizan.
9. **Impresión digital.-** En esta etapa las piezas esmaltadas pasan por una máquina de impresión digital denominada KERAjet, con la finalidad de plasmar un diseño predeterminado, es decir, en esta etapa se debe colocar sobre la cerámica la textura, tratamiento superficial, color, etc.
10. **Almacenamiento en crudo.-** Luego, las piezas decoradas se envían a través de bandas transportadoras hasta que llegan a un mecanismo designado como pulmón para almacenar piezas. El motivo de esto, es que en caso de producirse alguna avería en los procesos anteriores, exista una cantidad de piezas almacenadas que mantengan al horno en funcionamiento hasta que se solucione el problema.
11. **Carga horno.-** Permite agrupar y alinear las piezas antes de ser ingresadas a la etapa de cocción.

12. **Horno.-** Cuando el producto ingresa al horno está propenso a diferentes temperaturas, es decir las piezas de la cerámica pasan por tres etapas, que se denominan: precalentamiento, la quema que trabaja a su temperatura máxima y por último el enfriamiento, con este proceso se pretende conseguir resistencia a la rotura, resistencia a absorción de agua y a los productos químicos. Desde que ingresa al horno hasta la etapa final de salida, el tiempo aproximado de cocción de la pieza es de 45 min a 50 min.
13. **Descarga horno.-** Al final de la fase de cocción, las piezas que salen del horno deben alinearse y agruparse nuevamente, y luego enviarse a la línea de clasificación a través un sistema de bandas transportadoras.
14. **Línea de clasificación.-** Permite realizar una selección de los productos que son de primera categoría, es decir que no posean defecto alguno como: mala impresión de diseño, problemas de cortes en las esquinas, etc., y productos de segunda categoría.
15. **Paletizador.-** Finalmente, se obtiene el producto terminado, en donde un paletizador realizará el trabajo de empacado según las categorías antes mencionadas, para posteriormente ser almacenado en las diferentes bodegas de la empresa.



**Figura 1.2:** Proceso de fabricación de cerámica

### 1.5.4 Estructura de las líneas de producción de la planta Italtipos S.A.

Para comprender la estructura de las cinco líneas de producción, es decir, las estaciones de trabajo con las respectivas maquinarias de procesamiento cerámico, se presenta el diagrama de flujo en el que se basa cada línea de producción. Cabe mencionar que en cada línea de producción la maquinaria es diferente, resultando que existen líneas de producción completamente automáticas, mientras que las otras líneas de producción requieren personal para continuar con este proceso.

#### Línea 1 y Línea 3.

- Son las dos únicas líneas de producción que utilizan secaderos verticales.
- Para la Línea 1 y la Línea 3, se requiere de un proceso intermedio entre la estación de almacenamiento en crudo y descarga del producto en proceso, denominado trayectoria del producto en proceso, que consiste en que el personal movilice el box de carga (estructura destinado para el almacenamiento de piezas de cerámica en crudo) de forma manual para completar el proceso de carga.

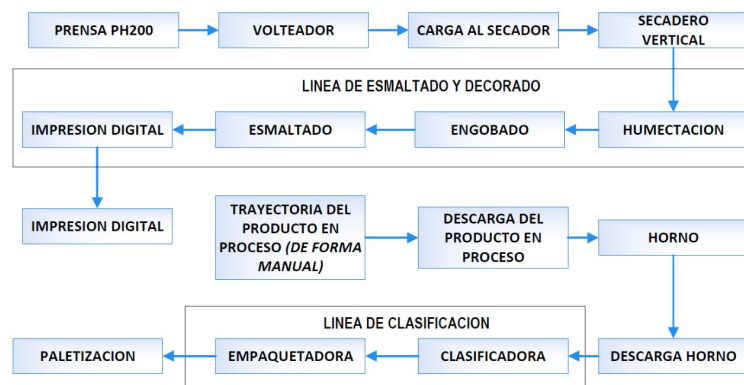


Figura 1.3: Proceso de producción de la línea 1 y línea 3.

#### Línea 2.

Para esta línea de producción no se realizó el flujo de proceso a causa de que en la actualidad no está en condiciones operativas. Sin embargo, en vista de que para el futuro está planificado su funcionamiento se tomará como referencia a la primera línea de producción, de manera que las estaciones de trabajo como las cargas eléctricas son similares.

#### Línea 4.

- Esta línea de producción contiene maquinaria con mejores prestaciones tecnológicas, lo que permite automatizar completamente su línea de producción reduciendo la cantidad de personal.

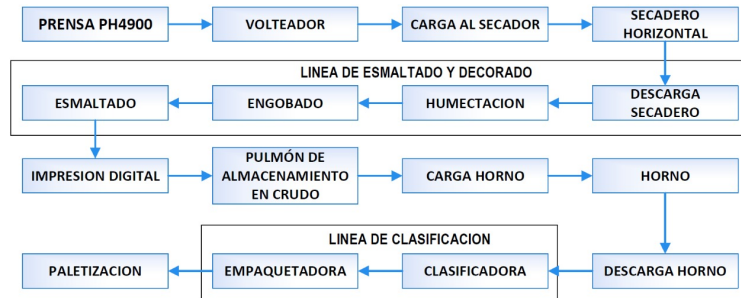


Figura 1.4: Proceso de producción de la línea 4.

#### Línea 5.

- La línea 5 es considerada como la más actual de la planta, de igual forma que la línea 4 está automatizada en toda su línea de producción, la única diferencia que existe es una estación adicional de trabajo denominado calibradora. Esta permite calibrar las placas de cerámica para que tengan el formato exacto.

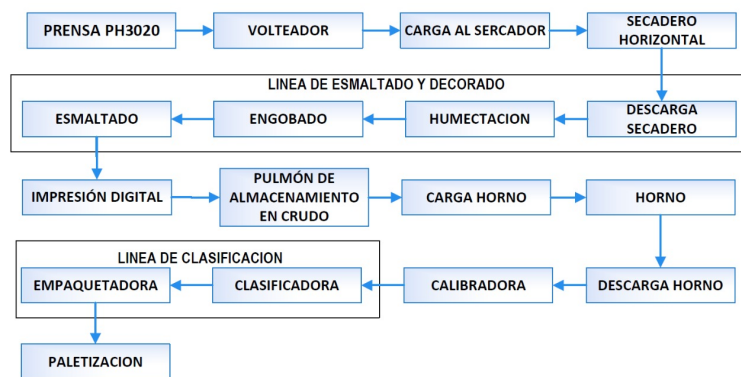


Figura 1.5: Proceso de producción de la línea 5.

## 1.6 Proceso para el diseño de la instalación

1. Levantamiento de cargas eléctricas.
  - Realizar la recopilación de información de las cargas eléctricas de las líneas de producción de la planta Itaipos S.A., para establecer cuánto es la demanda total de las líneas de producción. Basándose en la cantidad de puntos de alumbrado y maquinaria eléctrica que se tiene en cada estación de trabajo.
2. Diagrama unifilar
  - Determinar el número de circuitos de alimentación, circuitos derivados para los tableros de distribución.
3. Basándose en el estudio de las cargas realizadas se dimensionarán los componentes eléctricos tales como:
  - Dimensionamiento de transformadores.
  - Dimensionamiento de conductores.
  - Sistema de puesta a tierra.
  - Selección de disyuntores, termomagnéticos, interruptores, etc.
4. Análisis de teorías y conceptos
  - Se verificarán los límites de caída de tensión en la carga final.
  - Se verificarán las protecciones de los conductores (contra sobrecarga, contra cortocircuito).
  - Por último, se realizará la comprobación de la coordinación de protecciones, para este punto se hará uso del programa SIMARIS CURVES.
5. Diseño a proponer
  - Producir la documentación necesaria para el diseño eléctrico mediante el software AutoCAD, que permita a la empresa tener una idea más clara de las instalaciones eléctricas, basándose en normas admitidas a nivel del país como internacionalmente.

## 6. Presupuesto

- Análisis del presupuesto total que se necesitará para ejecutar las instalaciones eléctricas de las líneas de producción de la planta de Itaipos S.A., considerando todos los equipos y/o materiales propuestos en el diseño.



## **CAPÍTULO 2**

### **LEVANTAMIENTO DE CARGAS ELÉCTRICAS**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se realiza una descripción general de las instalaciones eléctricas de la planta de producción Italpisos S.A., ya que permitirá obtener información acerca de cada componente eléctrico dentro de una línea de producción, se debe realizar esto, ya que no se dispone de otra fuente de información, sino únicamente de los recursos en el lugar de trabajo. A partir de este punto se inicia con el desarrollo de la investigación, cabe mencionar que actualmente la empresa no cuenta con un registro completo de la maquinaria que compromete una línea de producción.

Es por ello que surge la necesidad de realizar un levantamiento eléctrico dentro de las líneas de producción y de esta manera dotar de un registro que sirva de apoyo a la empresa para la realización de mantenimientos o para una viable ampliación.

A través de un levantamiento eléctrico se tiene previsto evaluar las problemáticas que se tenga dentro del sistema eléctrico, estas problemáticas estarán enfocadas con respecto a los centros de transformación, tableros de distribución y finalmente los centros de carga para el sistema de iluminación.

#### **2.2 Instalaciones actuales**

##### **2.2.1 Transformadores**

Para comprender cómo se distribuye la energía desde los centros de transformación hacia las cargas que permanecen instaladas en las líneas de producción, se

detallará las características de los transformadores que se encuentran en la planta de producción.

La planta de Italtipos S.A., se alimenta a través de una línea trifásica de media tensión de 22 kV proveniente de la red de energía de la Empresa Eléctrica Regional, CENTRO SUR. Evidentemente la planta requiere un nivel de tensión para uso industrial que este por debajo de los 600 voltios, de modo que se dispone de transformadores de baja tensión.

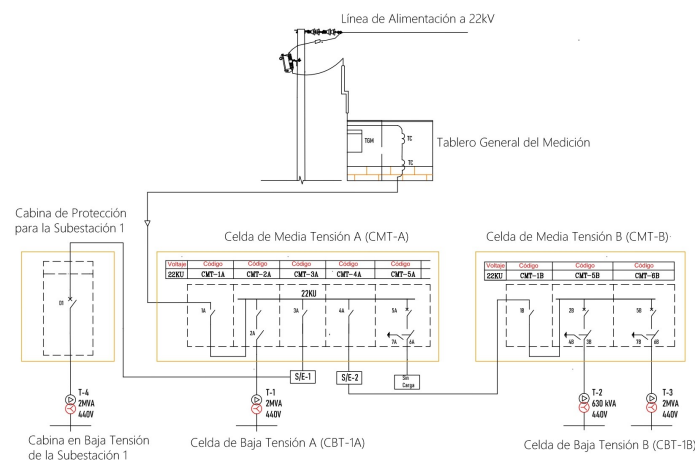
En la actualidad la empresa cuenta con 4 transformadores que son derivados por medio de celdas de media tensión, con las siguientes características:

**Tabla 2.1:** Parámetros de los transformadores actuales

3-Transformador #1	1-Transformador #2
<b>Capacidad:</b> 2 MVA	<b>Capacidad:</b> 630 kVA
<b>Conexión:</b> Delta - Estrella ( $\Delta - Y$ )	<b>Conexión:</b> Delta - Estrella ( $\Delta - Y$ )
<b>Tensión Primaria:</b> 22 kV	<b>Tensión Primaria:</b> 22 kV
<b>Tensión Secundaria:</b> 440 V	<b>Tensión Secundaria:</b> 440 V

Este conjunto de transformadores abastece la capacidad instalada de toda la planta de producción, lo que conlleva que actualmente se desconozca la potencia individual por cada línea de producción, ya que estos transformadores energizan tanto a las líneas de producción como la de otros procesos (área de molienda, área de atomizadores, área de fritas, etc.), que existen dentro de la planta de producción.

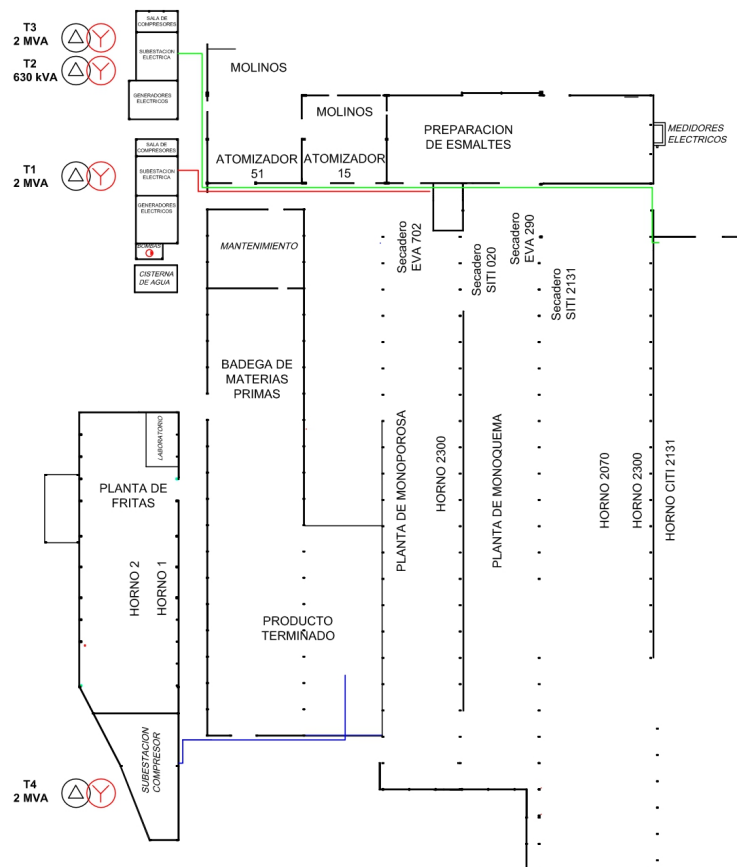
Por otra parte, la empresa no cuenta con un esquema que permita identificar la distribución de los centros de transformación en la planta de producción, para esta afinidad se desarrollará el diagrama unifilar a partir del punto de suministro.



**Figura 2.1:** Esquema unifilar de la distribución de los transformadores actuales.

Mediante una inspección realizada a la planta de producción de Italpisos S.A., se identifica un problema referente a la ubicación de los transformadores, en particular los transformadores (T2-T3) que alimentan a las cargas eléctricas de las líneas 2,3 y 4 dado que estas líneas de producción están ubicadas a una distancia superior a los 100 metros, aspecto que se observa en la figura 2.2 lo que implica caídas de tensión por encima de lo establecido en la norma CPE INEN 19:2001, en particular para las cargas más alejadas del centro de transformación en vista de que se requiere grandes longitudes de conductor eléctrico.

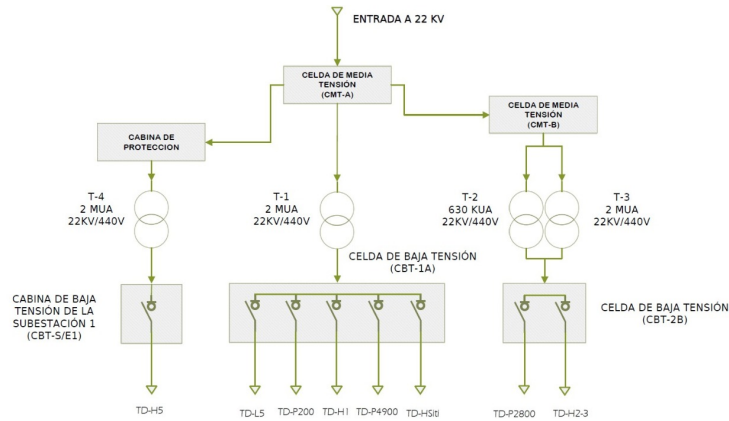
Razón por la cual se identifica un nuevo punto de ubicación para el centro de transformación que abastecerá a las líneas 2,3 y 4, a fin de reducir la cantidad de conductor eléctrico y consecuentemente disminuir la caída de tensión y el costo de la instalación. Seguidamente se determinará la potencia de los nuevos transformadores que permitan abastecer únicamente a las 5 líneas de producción, por lo tanto, para los diseños a proponer no se utilizarán los transformadores con los que actualmente cuenta la empresa.



**Figura 2.2:** Layout de la planta de producción Italpisos S.A.

## 2.3 Tableros de distribución de las líneas de producción

Los tableros de distribución se derivan a través de celdas de baja tensión por medio de bandejas perforadas al aire libre, aspecto que se verifica en la figura 2.3. En total se dispone de 8 tableros de distribución cada uno con los dispositivos principales de protección.



**Figura 2.3:** Tableros de distribución de las líneas de producción.

La ubicación de los tableros se da por medio de 3 naves industriales donde se albergan las 5 líneas de producción:

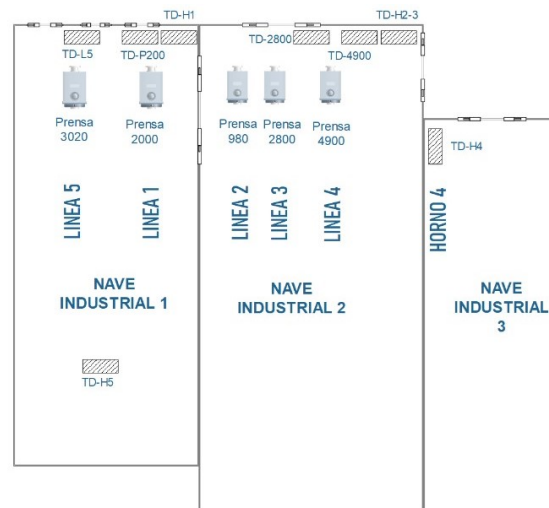
- La nave industrial 1 incluye la Línea 1 y la Línea 5, con un tamaño de 37x127 m.
- El tamaño de la nave industrial 2 es de 43x157 m, que comprende las líneas de producción 2, 3 y 4.
- Finalmente, la nave Industrial 3 incluye una parte de la Línea 4, con un tamaño de 21x145 m. La altura para las 3 naves es de 12 metros.

Cada nave Industrial abarca los siguientes tableros:

**Tabla 2.2:** Tableros de distribución por cada nave industrial

Nave Industrial	Tablero	Distancia
Nave Industrial 1	TD-L5	37
	TD-H5	80
	TD-P2000	56
	TD-H1	56
Nave Industrial 2	TD-4900	90
	TD-2800	110
	TD-H23	115
Nave industrial 3	TD-H4	125

En la figura 2.4, se observa cómo se distribuye los tableros de distribución en las 3 naves industriales.



**Figura 2.4:** Distribución de los tableros dentro de las líneas de producción.

De este modo, se lleva a cabo un levantamiento de información acerca de las protecciones eléctricas como de los conductores, de manera de verificar si cumplen con las condiciones técnicas para cada carga eléctrica. Estos criterios se presenta a partir de la tabla 2.3.

Los tableros de distribución utilizan interruptores automáticos industriales, que se clasifican según su forma constructiva:

- Interruptores de bastidor abierto (ACB): Se utilizan como interruptores generales para grandes instalaciones dentro de los tableros generales.
- Interruptores de caja moldeada (MCCB): Se aplica en sistemas de distribución en general o como interruptores generales.

- Interruptores de carril DIN (MCB): Se emplea en circuitos terminales y de distribución secundaria.

### Cabina de baja tensión para la subestación 1 (S/E-1).

**Tabla 2.3:** Características del tablero de distribución del horno 5 (TD-H5).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-H5	Disyuntor principal Horno 5	3P-1600A ABC	3(3x500 kcmils)+ 500 kcmils
D1-H3020	Disyuntor para el horno 3020	3P-1250A ABC	3(3x1/0 AWG) +1 AWG
D2-CB	Disyuntor para calibradoras	3P-400A MCC	3x2/0 AWG + 1/0 AWG
D3-HS	Disyuntor para horno secado	3P-30A MCC	3x14 AWG + 14 AWG
D4-SH	Disyuntor salida horno	3P- 30A MCC	3x14 AWG + 14 AWG
D5-E	Disyuntor Empaquetadora	3P-30A MCC	3x10 AWG + 10 AWG
D6-PL	Disyuntor línea de prolongación	3P-30A MCC	3x12 AWG + 12 AWG

### Primera celda de distribución en baja tensión (CBT-1A)

**Tabla 2.4:** Características del tablero de distribución de la línea 5 (TD-L5).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-3020	Disyuntor principal línea 5	- ABC	3(3x350 kcmils)
D1-P3020	Disyuntor para la prensa 3020	3P-320A MCC	3x2/0 AWG +1/0 AWG
D2-Sc3020	Disyuntor secadero 3020	3P-250A MCC	3x1/0 AWG + 4 AWG
D3-LE	Disyuntor para línea de esmalte	3P-100A MCC	3x2 AWG + 4 AWG
D4-EH3020	Disyuntor entrada horno	3P- 50A MCC	3x10 AWG + 12 AWG
D5-BaT3020	Disyuntor banda de tierra	3P-60A MCC	3x2 AWG + 4 AWG
D6-Mr	Disyuntor mesa de rodillos	3P-30A MCC	3x12 AWG + 14 AWG

**Tabla 2.5:** Características del tablero de distribución de la línea 1 (TD-L1).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-P200	Disyuntor principal del tablero	3P-700A MCC	3(2x550 kcmils)+550 kcmils
D1	Disyuntor salida transfer	3P-20A MCC	3x8 AWG + 6 AWG
D2	Disyuntor bomba de aceite	3P-20A MCC	3x8 AWG + 6 AWG
D3	Disyuntor para línea 1	3P-100A MCC	3x2 AWG + 4 AWG
D4	Disyuntor para agitadores	3P- 100A MCC	3x2 AWG + 4 AWG
D5	Disyuntor para el secadero	3P-250A MCC	3x550 kcmils + 400 kcmils
D6	Disyuntor para la prensa	3P-300A MCC	3x300 kcmils + 300 kcmils
D7	Disyuntor entrada transfer	3P-15A MCC	3x8 AWG + 10 AWG

**Tabla 2.6:** Características del tablero de distribución del horno 1 (TD-H1).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-H1	Disyuntor principal del tablero	3P-300A MCC	3(2x3500 kcmils)
D1-EM	Disyuntor empaquetadora	3P-63A MCC	3x4 AWG + 6 AWG
D2-EH1	Disyuntor entrada horno	3P-15A MCC	3x8 AWG + 10 AWG
D3-SH1	Disyuntor salida horno	3P-15A MCC	3x8 AWG + 10 AWG
D4-H1	Disyuntor horno 1	3P- 250A MCC	3x350 kcmils + 300 kcmils

**Tabla 2.7:** Características del tablero de distribución línea 4 (TD-L4).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-P4900	Disyuntor prensa 4900	3P-500A MCC	3x750 kcmils +1/0 AWG
D2-Sc4900	Disyuntor secadero 4900	3P-175A MCC	3x1/0 AWG + 1 AWG
D2-L4	Disyuntor línea 4	3P-100A MCC	3x6 AWG + 1 AWG

**Tabla 2.8:** Características del tablero de distribución del horno 4 (TD-H4).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-H4	Disyuntor principal del tablero	3P-630A MCC	3x350 kcmils +2 AWG
D1-Horno	Disyuntor entrada horno	3P-630A MCC	3x350 kcmils + 2 AWG
D2-Lc	Disyuntor línea de clasificación	3P-50A MCC	3x10 AWG + 10 AWG
D3-SH	Disyuntor salida horno	3x32A MCC	3x12 AWG + 12 AWG

### Segunda celda de distribución en baja tensión (CBT-1B)

**Tabla 2.9:** Características del tablero de distribución prensa 2800 (TD-P2800).

Código	Descripción	Protección	Conductor
DP-P2800	Disyuntor principal del tablero	3P-350A MCC	3x2/0 AWG + 1 AWG
F1-P2800	Fusible del tablero de la P.2800	3P-250A MCC	3x2/0 AWG + 1 AWG

**Tabla 2.10:** Características del tablero de distribución para el Horno 2 y 3 (TD-H2-3).

Código	Descripción	Interruptor	Conductor
DP-H23	Disyuntor principal del tablero	3P-1200A MCC	3x2/0 AWG+1/0 AWG
D1-TBH2	Disyuntor horno 2	3P-150A MCC	3x1/0 AWG + 4 AWG
D2-TBH3	Disyuntor horno 3	3P-150A MCC	3x1/0 AWG + 4 AWG

### Problemáticas con respecto a los tableros de distribución

- > Se identificó un problema relacionado con los tableros de distribución en particular a los que alimentan a dos líneas de producción, ya que existe la posibilidad de que el dispositivo de protección principal abra los contactos ante la ocurrencia de una falla severa en uno de los circuitos principales, provocando el corte de suministro eléctrico en las dos líneas de producción.
- > Los circuitos de los tableros de distribución no se encuentran identificados en su totalidad, lo que dificulta verificar si los dispositivos de protección y la sección del conductor están correctamente dimensionados para una carga específica.

- > Dentro de los tableros existe una deficiencia en el análisis de las protecciones eléctricas y de los conductores, la capacidad de corriente del conductor es menor que el valor del dispositivo de protección, lo que significa, que en caso de suscitarse una falla debido a una sobrecorriente el conductor será el primero en resultar afectado y no el dispositivo de protección.

## 2.4 Iluminación de las líneas de producción

### 2.4.1 Descripción General

La iluminación dentro de las líneas de producción carece de un óptimo grado lumínico, puesto que la mayoría de las lámparas permanecen quemadas, lo que dificulta determinar con exactitud el número de luminarias que existen por cada circuito derivado de los centros de carga.

El sistema de iluminación presenta las siguientes características:

- El modelo de la luminaria es en forma de campana para uso industrial con una potencia de 400 W, con una alimentación a 220 V.
- Lámparas de descarga de alta presión (METALHALIDE).
- Lámparas tubo fluorescente 28 W, para la línea de esmalte con una alimentación de 127 V.

### 2.4.2 Transformador para circuitos de iluminación

La alimentación de los centros de carga se da a través de un tablero trifásico principal (formado únicamente por fusibles) y de un centro de carga trifásico en baja tensión (220 V), tanto el tablero como el centro de carga son energizados mediante un transformador que tiene las siguientes características:

- **Potencia:** Desconocida
- **Tensión primaria:** 440 V



- **Tensión secundaria:** 220/127 V
- **Conexión primaria:** Triángulo
- **Conexión secundaria:** Estrella con neutro

Este transformador además de servir como fuente de alimentación de los circuitos de iluminación de las líneas de producción, también suministra energía a todos los circuitos de iluminación y de fuerza en toda la planta de producción tales como oficinas, laboratorios, área de mantenimiento etc. Al disponer de un solo transformador designado para abastecer todas las cargas de 220 V y 127 V en la planta de producción representa un peligro para la continuidad de servicio en cada una de las zonas donde el transformador se encuentre energizando. Este aspecto se considera, ya que en caso de suscitarse una falla aleatoria en un punto de la instalación, se verán afectados los circuitos de toda la planta de producción.



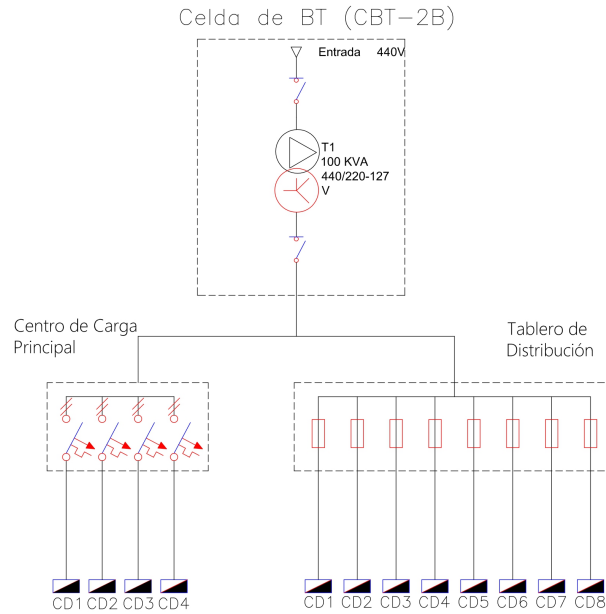
**Figura 2.5:** Transformador de 440/220-127 V

### 2.4.3 Configuración del sistema de protección

Se verifica el sistema de protección a través de un levantamiento eléctrico, con la finalidad de plasmar en un diagrama unifilar y de esta manera interpretar como se comportaría el sistema ante una falla.

El sistema de iluminación consta de un solo dispositivo de protección principal que se encuentra en la celda de baja tensión (CBT-2B), en la figura 2.6 se puede

constatar que el sistema de protecciones para los circuitos de iluminación de las líneas de producción no es el ideal, ya que ningún tablero cuenta con una protección principal, y en caso de fallar algún circuito, es probable que el dispositivo de protección principal se desconecte, lo que afectaría a toda la planta de producción.



**Figura 2.6:** Diagrama unifilar del sistema de iluminación actual.

#### 2.4.4 Centros de carga

Los centros de carga se utilizan para distribuir los circuitos de iluminación para las 3 naves industriales, cada circuito presenta un determinado número de luminarias. La empresa al no contar con un registro técnico con dicha información se estima el número luminarias que presenta cada circuito, en base de un análisis técnico ejecutado en la planta de producción.

## Centro de carga principal

**Tabla 2.11:** Circuitos de iluminación de la nave industrial 1.

		P. Lámparas	Cantidad	Operativas	Protección
CD1	C1	400 W	7	0	16 A
	C2	400 W	3	3/3	20 A
CD2	C1	400 W	11	7/11	-
	C2	400 W	11	4/11	20 A
	C3	400 W	1	1/1	20 A
CD3	C1	400 W	16	8/16	20 A
CD4	C1	400 W	10	9/10	20 A

## Tablero de distribución

**Tabla 2.12:** Circuitos de iluminación de la nave industrial 2.

		P. Lámparas	Cantidad	Operativas	Protección
CD1	C1	400 W	3	2/3	20 A
	C2	400 W	5	2/5	20 A
CD2	C1	400 W	5	5/5	16 A
CD3	C1	400 W	9	0	20 A
	C2	400 W	6	1/6	16 A
CD4	C1	400 W	10	1/0	20 A
	C2	400 W	6	2/6	16 A
	C3	400 W	4	1/4	20 A
CD5	C1	400 W	2	2/2	16 A
CD6	C1	400 W	2	2/2	20 A
	C2	400 W	12	3/12	20A

**Tabla 2.13:** Circuitos de iluminación de la nave industrial 3.

		P. Lámparas	Cantidad	Operativas	Protección
CD7	C1	400 W	5	0	20 A
	C2	400 W	8	4/8	20 A
CD8	C1	400 W	2	1/2	20 A
	C2	400 W	4	2/4	20 A
	C3	400 W	5	2/5	20 A

### 2.4.5 Nivel de iluminación

Se verifica en los centros de carga que existe una gran cantidad de luminarias que no están en funcionamiento, lo que provoca una iluminación escasa e insuficiente, perjudicando al personal del turno de la noche para realizar las respectivas tareas.

El nivel mínimo de iluminación que se recomienda en áreas de trabajo en un local industrial es de 300 luxes.

Mediante el equipo de medida luxómetro se valora el nivel de iluminación de las 3 naves industriales, la metodología de medición se desarrolla mediante 3 mediciones que se toma a partir de un triángulo que se forma en las estaciones principales de trabajo, este proceso se ejecuta al inicio, a la mitad y al final de cada nave industrial.

#### 2.4.5.1 Nave industrial 1

Como se puede constatar en la tabla 2.14 el grado de iluminación varía entre estaciones de trabajo, dado que en ciertas estaciones se encuentra una mayor proporción de lámparas funcionando en comparación con las otras.

**Tabla 2.14:** Nivel de iluminación medida: líneas 1 y 5.

Mediciones	Línea 1	Línea 5
Inicio	31	60,66
Mitad	19,3	107,43
Final	207,76	72,6
Promedio	86,033	80,233
<b><i>Promedio Total Nave Industrial 1</i></b>	81,13	Luxes



**Figura 2.7:** Iluminación de la línea 5.

#### 2.4.5.2 Nave industrial 2

Esta nave industrial muestra la mayor cantidad de luminarias dañadas, el área más afectada es la del horno 2, horno 3 y parte de la línea 4.

**Tabla 2.15:** Nivel de iluminación medida: líneas 2,3 y 4.

Mediciones	Horno 2-3	Línea 2-3	Línea 4
Inicio	4,5	-	19,03
Mitad	0,25	53,93	6,52
Final	-	129,33	3,45
Promedio	2,375	91,33	9,668
<i>Promedio Total Nave Industrial 2</i>	34,55	Luxes	



**Figura 2.8:** Iluminación del horno 2-3.

### 2.4.5.3 Nave industrial 3

El mayor grado de iluminación se da en la mitad de la nave industrial, en vista de que la mayor cantidad de luminarias en funcionamiento se encuentra en esa área.

**Tabla 2.16:** Nivel de iluminación medida: horno 4.

Mediciones	Horno 4
Inicio	14,26
Mitad	81,66
Final	23,16
<i>Promedio Total Nave Industrial 3</i>	52,42 Luxes



**Figura 2.9:** Iluminación de la nave industrial 3.

### **Problemática con respecto al nivel de iluminación**

- > Por medio de los datos obtenidos se afirma que el nivel de iluminación de cada nave industrial está por debajo de lo recomendable, es por ello que se plantea en el siguiente capítulo un análisis lumínico para determinar la cantidad de luminarias requeridas por cada nave industrial a fin de garantizar un grado de iluminación de 300 luxes.

## **2.5 Levantamiento de parámetros eléctricos de las líneas de producción**

Considerando que actualmente en la planta de producción Italpisos S.A., las únicas líneas que permanecen en funcionamiento son: La línea 1, 4 y 5, siendo esta última una línea de producción interrumpida. Una vez establecidos los diferentes formatos a producir, se prepara a cada línea de producción para su funcionamiento, en el mejor de los casos entra a funcionar las tres líneas de producción al mismo tiempo. Finalmente, las líneas de producción 2 y 3 se encuentran en mal estado y, por lo tanto, no funciona ninguna estación de trabajo.

Por otra parte, se determinará la potencia total por cada línea de producción, para lo cual se llevó a cabo un inventario y la toma de datos de las placas características de las máquinas instaladas en la planta de producción a partir de la etapa de prensado hasta la etapa de paletizado. Adicionalmente para la toma de datos de la maquinaria más grande (prensas, hornos, secaderos, paletizador, etc.), se evidencia por medio de catálogos proporcionados por el área de mantenimiento.

De igual manera se debe tener en cuenta que ciertos motores no trabajan a su potencia nominal, otros son de reserva, sin embargo, se realizará un análisis de todo elemento eléctrico que esté instalado en las 5 líneas de producción, este criterio se basa fundamentalmente que en un futuro las líneas de producción que permanecen inactivas entren en funcionamiento, aspecto que se ve reflejado al momento del dimensionamiento del transformador.

### **2.5.1 Cargas eléctricas de las líneas de producción**

Se destaca principalmente 2 diferencias de las cargas eléctricas para las líneas de producción que son:

1. Los modelos de los equipos eléctricos tales como: prensas, hornos, pulmón de almacenamiento en crudo, etc., son diferentes por su tamaño.
2. En algunas líneas de producción existe más estaciones de trabajo, lo que significa que la potencia entre líneas de producción va a ser diferente.

Para una mejor comprensión de cómo se encuentra distribuido las cargas eléctricas dentro de una línea de producción se detalla en el Anexo 7.1. En las siguientes tablas se muestran los requerimientos básicos de la maquinaria eléctrica en las distintas partes del proceso para la obtención de la cerámica.

## Cargas eléctricas de la línea 1=2

**Tabla 2.17:** Maquinaria instalada - línea de producción 1.

			Potencia (kW)	Tension (V)	F.P	Potencia (kVA)
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Línea 1</b>			
Prensa 2000	R1	-	140	434	0,8	175
Aux. Secadero	R1	Volteador	3,13	436	0,8	3,91
	R2	Carga Secadero	4,54	436	0,8	5,67
Secadero V.	R3		55	4.36	0,8	68,75
Línea de esmalte	R4.1	M1.BT(2x0,65 kW)	1,3	429	0,72	1,81
	R4.2	M2.BT(24x0,75 kW)	18	429	0,76	23,68
	R4.3	M3.BT(2x1,5 kW)	3	429	0,79	3,80
	R4.4	M4.BAH(2x0,41 kW)	0,82	429	0,79	1,04
	R4.5	M5.MR(12x0,37 kW)	4,44	429	0,75	5,92
	R4.6	M6.MD(4x0,45 kW)	1,8	429	0,76	2,37
	R4.7	M7.VT(10x0,55 kW)	5,5	429	0,77	7,14
	R4.8	M8.BG(1x2,6 kW)	2,6	429	0,8	3,25
	R4.9	M9.MR(1x0,6 kW)	0,6	429	0,72	0,83
Impresión Digital	R5	Kerajet	10	428	0,8	12,50
Aux. Entrada Horno	R6.1	Pulmón A. Crudo	5,58	428	0,8	7
	R6.2	Entrada Horno	3,1	428	0,8	4
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Horno 1</b>			
Horno 1	R1	-	110	427	0,8	137,50
Salida Horno	R2	-	4,2	427	0,8	5,25
Empaquetadora	R3	-	5	427	0,8	6,25
Paletizador	R4	-	5,94	427	0,8	7,43
<b>Potencia Total de la línea 1</b>		<b>0,483 MVA</b>				



### Cargas eléctricas de la línea 3

**Tabla 2.18:** Maquinaria instalada - línea de producción 3.

			Potencia (kW)	F.P	Potencia (kVA)
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Línea 3</b>		
Prensa 2800-2	R1	-	140	0,8	175
Aux. Secadero	R1	Volteador	3,13	0,8	3,91
	R2	Carga Secadero	6,05	0,8	7,56
Secadero V.	R3		56	0,8	70
	R4.1	M1.BT(22x0,75 kW)	16,5	0,76	21,71
Línea de esmalte	R4.2	M2.BAH(1x0,41 kW)	0,41	0,79	0,52
	R4.3	M3.MR(9x0,37 kW)	3,33	0,75	4,44
	R4.4	M4.MD(1x0,45 kW)	0,45	0,76	0,59
	R4.5	M5.VT(6x0,55 kW)	3,3	0,77	4,29
	R4.6	M6.MD(2x0,9 kW)	1,8	0,74	2,43
	R4.7	M7.VT(2x0,65 kW)	1,3	0,72	1,81
	R4.8	M8.BG(1x0,6 kW)	2,6	0,72	0,83
Impresión Digital	R5	Kerajet	10	0,8	12,50
Aux.Entrada Horno	R6.1	Pulmón A. Crudo	5,58	0,8	7
	R6.2	Entrada Horno	3,5	0,8	4,38
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Horno 3</b>		
Horno 1	R1	-	110	0,8	137,50
Salida Horno	R2	-	3,5	0,8	4,38
Empaquetadora	R3	-	10	0,8	12,50
Paletizador	R4	-	5,94	0,8	7,43
<b>Potencia Total de la línea 3</b>			<b>0,479 MVA</b>		

## Cargas eléctricas de la línea 4

**Tabla 2.19:** Maquinaria instalada - línea de producción 4.

			Potencia (kW)	Tension (V)	F.P	Potencia (kVA)
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Línea 4</b>			
Prensa 4900	R1	-	132	434	0,8	165
Aux. Secadero	R2.1	Volteador	4	434	0,8	5
	R2.2	Carga Secadero	5,23	434	0,8	6,62
	R2.3	Descarga Secadero	7,23	434	0,8	9,09
Secadero H.	R3		80,5	429	0,8	103,6
	R4.1	M1.BT(2x0,65 kW)	1,3	428	0,72	1,81
Línea de esmalte	R4.2	M2.AH(30x0,75 kW)	22,5	428	0,76	29,61
	R4.3	M3.MR(2x1,5 kW)	3	428	0,79	3,80
	R4.4	M4.MD(2x0,41 kW)	0,82	428	0,79	1,04
	R4.5	M5.VT(6x0,37 kW)	2,22	428	0,75	2,96
	R4.6	M6.MD(1x2,6 kW)	2,6	428	0,8	3,25
	R4.7	M7.VT(9x0,55 kW)	4,95	428	0,77	6,43
	R4.8	M8.BG(1x0,45 kW)	0,45	428	0,76	0,59
	R4.9	M9.MR (1x0,6 kW)	0,6	428	0,72	0,83
Impresión Digital	R5	Kerajet	10	428	0,8	12,5
Aux. Entrada Horno	R6.1	Pulmón A. Crudo	6,83	428	0,8	8,54
	R6.2	Entrada Horno	10,83	428	0,8	13,54
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Horno 4</b>			
Horno 4	R1	-	300	427	0,8	273,7
Salida Horno	R2	-	12,87	427	0,8	16,09
Empaquetadora	R3	-	10	427	0,8	12,50
Paletizador	R4	-	10	427	0,8	12,50
<b>Potencia Total de la línea 4</b>		<b>0,686 MVA</b>				

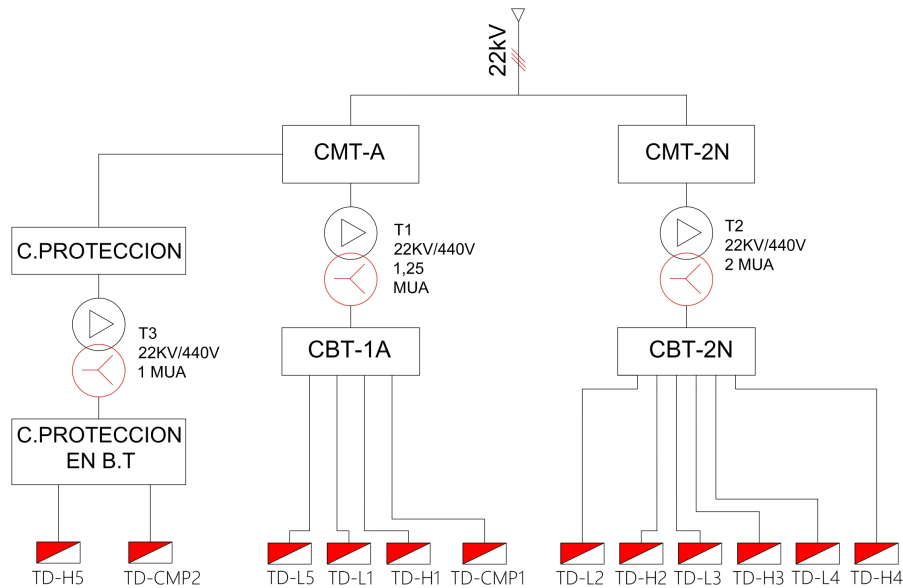
## Cargas eléctricas de la línea 5

**Tabla 2.20:** Maquinaria instalada - línea de producción 5.

			Potencia (kW)	Tension (V)	F.P	Potencia (kVA)
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Línea 5</b>			
Prensa 3020	R1	-	117,76	440	0,8	147,20
Aux. Secadero	R2.1	Volteador	3,13	440	0,8	3,91
	R2.2	Carga Secadero	10,50	440	0,8	13,13
	R2.3	Descarga Secadero	6,525	440	0,8	8,16
Secadero H.	R3		98	440	0,8	123,75
Línea de esmalte	R4.1	M1.MA(7x0,65 kW)	4,55	432	0,72	6,32
	R4.2	M2.BT(25x0,75 kW)	18,75	432	0,76	24,67
	R4.3	M3.BE(3x1,5 kW)	4,5	432	0,79	5,70
	R4.4	M4.BAH(1x0,41 kW)	0,41	432	0,79	0,52
	R4.5	M5.MG(9x0,37 kW)	3,33	432	0,75	4,44
	R4.6	M6.MD(2x0,25 kW)	0,5	432	0,79	0,63
	R4.7	M7.VT(5x0,55 kW)	2,75	432	0,77	3,57
	R4.8	M8.MG(1x1,32 kW)	1,32	430	0,8	1,65
	R4.9	M9.ComP(3x0,6 kW)	1,8	430	0,72	2,50
Impresión Digital	R5	Kerajet	10	430	0,8	12,50
Aux. Entrada Horno	R6.1	Pulmón A. Crudo	6,82	428	0,8	9
	R6.2	Entrada Horno	11,25	428	0,8	14
Compresor 1	R7	-	90	440	0,82	110
<b>Cargas eléctricas</b>			<b>Horno 5</b>			
Horno 3020	R1	-	535	438	0,8	501,56
Calibradoras	R2.1	Calibradora 1	56,46	438	0,88	64,13
	R2.2	Calibradora 2	58,83	438	0,88	66,85
Descarga Horno	R3		26	438	0,8	24,38
Línea Prolongación	R4.1	M1.BT(7x0,65 kW)	4,55	435	0,72	6,32
	R4.2	M2.BT(7x0,75 kW)	5,25	435	0,76	6,91
	R4.3	M3.BT(3x1,5 kW)	4,5	435	0,79	5,70
Líneas Clasificación	R5	-	10	435	0,8	12,50
Paletizador	R6	-	10	435	0,8	12,50
Compresor 2	R7	-	90	440	0,8	110
<b>Potencia Total de la línea 5</b>		<b>1,30 MVA</b>				

El futuro diseño a proponer para los tableros de distribución será: 2 tableros eléctricos por cada línea de producción, es decir, un tablero estará designado para la alimentación de las cargas que conforman a partir de la Prensa hasta la Entrada Auxiliar del Horno y el otro tablero a partir del Horno hasta el Paletizador, para la situación de los compresores se destina un tablero de distribución independiente.

En conclusión, se requieren 12 tableros de distribución, cada tablero contendrá los dispositivos principales de protección. En la figura 2.10 se observa la asignación de los tableros de distribución hacia las celdas de baja tensión.



**Figura 2.10:** Futuros tableros de distribución para las 5 líneas de producción.

### 2.5.2 Protecciones de motores (Línea de Esmalte)

En la línea de esmalte existe diversos motores de bajo consumo que son usados como parte de este proceso. Estos motores son destinados para bandas transportadoras, mesas de rodillos, bombas de aguas, mezcladoras etc. Cada motor consta de un dispositivo de protección, por ejemplo, relés térmicos, termomagnéticos y en ciertos procesos se requiere la utilización de variadores de frecuencia.

Las curvas de disparo de los termomagnéticos utilizados son:

- **Curva C:** Para sobrecorrientes medias, el disparo magnético se produce entre 7 y 10 veces la corriente nominal.
- **Curva D:** Para altas sobrecorrientes, el disparo magnético se produce entre 10 y 14 veces la corriente nominal, por ejemplo, para proteger transformadores, motores, etc., con fuertes picos de arranque.

## CAPÍTULO 3

# DISEÑO Y CÁLCULOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### 3.1 Introducción

El propósito de este capítulo es detallar un ejemplo del cálculo eléctrico para una instalación eléctrica tipo industrial de baja tensión (440 V), a partir de las distintas etapas del diseño. Los cálculos realizados se fundamentan en una base teórica en las que se sostienen estos cálculos, todo respaldado por normas internacionales como de normas nacionales. Además, se presentará los parámetros que influye para disponer de un sistema de protecciones, cumpliendo la protección frente a sobreintensidades.

### 3.2 Diseño y cálculo para las líneas de producción

#### 3.2.1 Estimación de la demanda para las líneas de producción.

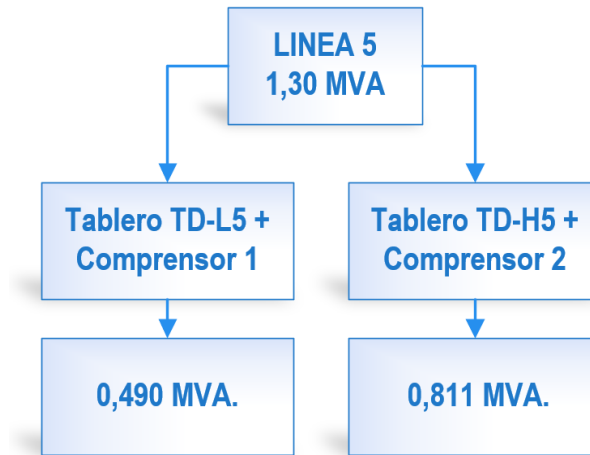
Como se menciona anteriormente, se desconoce la potencia total de las cinco líneas de producción. Motivo por el cual para determinar la potencia aparente total consumida se suma las potencias aparentes (kVA) individuales de cada componente eléctrica, como se muestra en las tablas presentadas en el apartado 2.5.1.

Para determinar el número de transformadores para las 5 líneas de producción, se considera los siguientes aspectos.

- **Transformador 1 (T1)**

Este transformador contiene la potencia aparente de la línea 5 y de la línea 1.

La potencia total de la línea 5 (1,30 MVA) se divide en dos potencias como se muestra en la Figura 3.1, esta división se realiza a causa de que el tablero de distribución TD-H5 se encuentra al final de la línea de producción, por lo que es preciso contar con una estación de transformación más cercana hacia dicho tablero.



**Figura 3.1:** Distribución de la potencia total de la línea 5.

Transformador 1	
Línea 1	0,483 MVA
Línea 5	0,490 MVA
Total	0,973 MVA

- **Transformador 2 (T2)**

Contiene la potencia aparente de las líneas 2,3 y 4, siendo la línea 4 la única operativa. La potencia de la línea 2 es igual al valor de la potencia de la línea 1.

Transformador 2	
Línea 2	0,483 MVA
Línea 3	0,479 MVA
Línea 4	0,686 MVA
Total	1,648 MVA

- **Transformador 3 (T3)**

Este transformador es destinado para el servicio del tablero de distribución del horno 5 (TD-H5), mencionado anteriormente.

Transformador 3	
Línea 5	0,811 MVA
Total	0,811 MVA

En la Tabla 3.1 se presenta los valores normalizados para los transformadores.

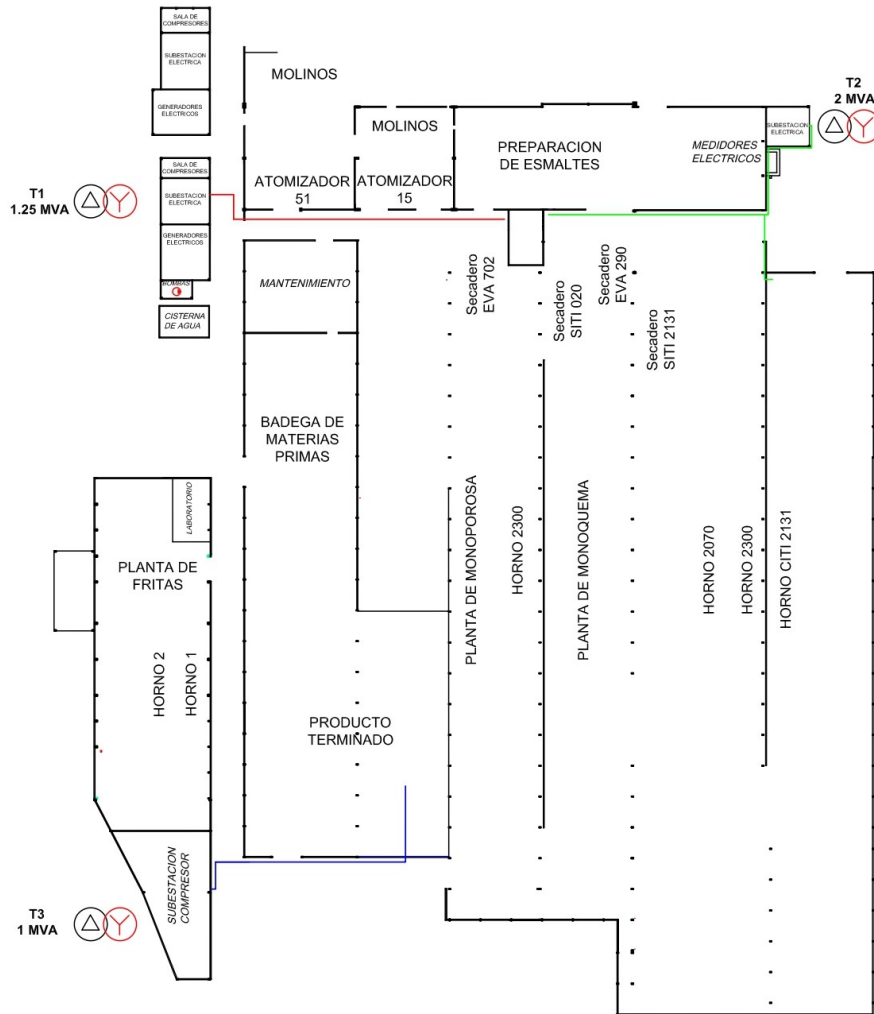
**Tabla 3.1:** Valores normalizados para los transformadores

<b>Transformador</b>	<b>Potencia Calculada</b>	<b>Potencia Normalizada</b>
<i>Transformador 1</i>	0,973 MVA	1,25 MVA
<i>Transformador 2</i>	1,648 MVA	2 MVA
<i>Transformador 3</i>	0,811 MVA	1 MVA

En conclusión, el número de transformadores requeridos para el suministro de energía para las 5 líneas de producción son 3. Los transformadores T1-T3 tendrán la misma ubicación en la que actualmente se encuentran ubicados en la planta de producción, la única variante será el transformador T2, considerando que es posible colocar en una posición más ideal a fin de reducir tanto la caída de tensión, como los costos de instalación.

En la Figura 3.2 se muestra el layout de la planta de producción de Itaipos S.A., con la nueva ubicación del transformador T2, a fin de minimizar la distancia para energizar las cargas eléctricas de las líneas 2, 3 y 4, por lo que es necesario realizar el estudio de cálculos eléctricos que intervienen en la misma, por ejemplo: dimensionamiento de conductores, verificación de la caída tensión, cálculo de protecciones y a su vez la coordinación entre las mismas.

Este procedimiento se realizará en las 5 líneas de producción, con el objetivo de obtener un respaldo de cálculos eléctricos que permita seleccionar cada componente eléctrico de acuerdo a las características de la instalación.



**Figura 3.2:** Reubicación del transformador (T2).

### 3.2.2 Dimensionamiento de los conductores eléctricos

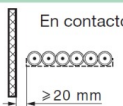
#### 3.2.2.1 Factores de ajuste y de corrección para los conductores eléctricos.

Para realizar un adecuado dimensionamiento de los conductores eléctricos, es fundamental tener en cuenta los componentes que intervienen de manera directa al valor de la ampacidad, hay dos factores que son: el de agrupamiento y el de temperatura. El primer factor hace referencia al número de conductores en una misma canalización y el segundo factor a la temperatura ambiente donde se encuentra el conductor. Es por ello la importancia de los dos factores de ajuste para que en todo momento se trabaje en condiciones nominales.



### 3.2.2.2 Factor de ajuste (Agrupamiento – FA).

Cuando se tiene más de tres conductores en una misma canalización, la ampacidad tiende a reducir su valor nominal a un valor más bajo, debido a que no se cuenta con suficiente área para disipar el calor generado por los conductores, el tipo de canalizaciones a utilizar serán bandejas perforadas y tubos Conduit, la normativa a utilizar son la IEC 20460-5-523:2004 y la INEN 19:2001 respectivamente.

Método de instalación		Número de bandeja	Número de circuitos trifásicos			Utilizar como multiplicador para calibración de	
			1	2	3		
Bandejas perforadas	31	En contacto	1	0,98	0,91	0,87	Tres cables colocados horizontalmente
			2	0,96	0,87	0,81	
		≥ 20 mm	3	0,95	0,85	0,78	

**Figura 3.3:** Factor de ajuste para bandejas perforadas [1].

**Tabla 3.2:** Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable [2].

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje del valor de las tablas ajustadas para temperatura ambiente si es necesario.
de 4 a 6	80
de 7 a 9	70
de 10 a 20	50
de 21 a 30	45
de 31 a 40	40
de 41 y más	35

### 3.2.2.3 Factor de corrección (Temperatura – FT).

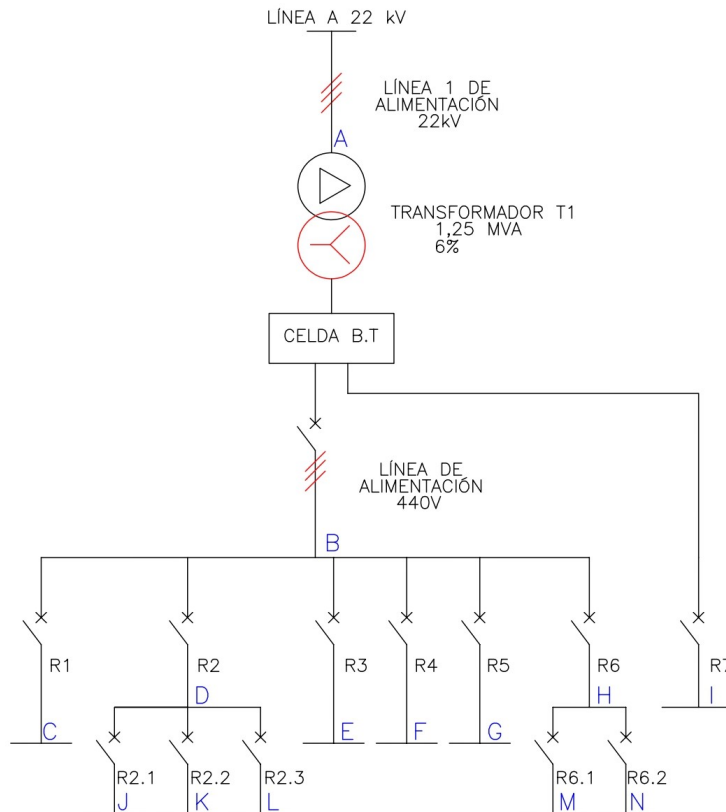
La temperatura ambiente influye directamente en el dimensionamiento de los conductores, cuando la temperatura ambiente es superior a 30°C para una instalación al aire libre se utiliza este factor, ya que la capacidad de transporte de corriente disminuirá por el aumento de la resistencia.

**Tabla 3.3:** Factor de corrección [2].

FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temperatura Ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C,					Temperatura Ambiente en °C	
	multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						
21 - 25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21 - 25
26 - 30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26 - 30
31 - 35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31 - 35
36 - 40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36 - 40
41 - 45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41 - 45
46 - 50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46 - 50
51 - 55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51 - 55
56 - 60	...	0,58	0,71	...	0,58	0,71	56 - 60
61 - 70	...	0,33	0,58	...	0,33	0,58	61 - 70
71 - 80	...	...	0,41	...	...	0,41	71 - 80

### 3.2.3 Diagrama unifilar línea 5 (Prensa 3020 – Auxiliar Horno)

Mediante el diagrama unifilar se tiene una idea simplificada de cómo está distribuido el sistema eléctrico de una línea de producción, y de esta manera determinar el número de circuitos principales como de las derivaciones, considerando los principales componentes, como transformadores, interruptores automáticos (Magnetotérmicos), etc.



**Figura 3.4:** Diagrama unifilar para la línea 5.

### 3.2.4 Cálculo de los conductores eléctricos.

#### 3.2.4.1 Corriente nominal de las líneas de alimentación.

Para determinar el tamaño mínimo del conductor que alimenta a cada una de las cargas eléctricas de la línea de producción de la planta Itaipos S.A., se realizará bajo la condición de la capacidad de corriente, es decir, el tamaño del conductor se selecciona de acuerdo con la corriente obtenida, con las siguientes ecuaciones se puede obtener la corriente de fase ya sea para un circuito monofásico, bifásico o trifásico. Como ejemplo se realizará los cálculos detallados del Tablero de distribución No. 7, el cual alimenta las cargas eléctricas de la línea 5 (TD-L5), incluyendo el compresor número 1, para el desarrollo de los cálculos de los demás tableros tendrán la misma metodología.

- **Circuitos Monofásicos, Bifásicos:**

$$I_n = \frac{S(kVA)}{V_{f-n}} \quad (3.1)$$

• **Circuitos Trifásicos:**

$$I_n = \frac{S(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_{f-f}} \quad (3.2)$$

Donde:

$I_n$  = Corriente nominal en (A).

$$S = \frac{\text{Potencia Eléctrica (kW)}}{\text{factor de potencia}}$$

Con los datos obtenidos de la Tabla 2.20, se procede a calcular las corrientes nominales para cada carga eléctrica, como se muestra en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4:** Corrientes nominales.

			Corriente Nominal [A]
Prensa 3020	R.1		193,15
Aux. Secadero	R2.1	Volteador	5,13
	R2.2	Carga Secadero	17,22
	R2.3	Descarga Secadero	10,70
Secadero Horizontal	R3		160,74
Línea de Esmalte	R4.1	M1.BT (7X0,65)	8,29
	R4.2	M2.BT (25X0,75)	32,37
	R4.3	M3.BT (3X1,5)	7,47
	R4.4	M4.BAH (1X0,41)	0,68
	R4.5	M5.MR (9X0,37)	5,83
	R4.6	M6.MD (2X0,25)	0,83
	R4.7	M7.VT (5x0,55)	4,69
	R4.8	M8.BG (1X1,32)	2,17
	R4.9	M9.MR (3X0,6)	3,28
Impresión Digital	R5	Kerajet	16,40
Aux. Entrada al horno	R6.1	Pulmon A. Crudo	11,19
	R6.2	Carga Horno	18,45
Compresor 2	R7		144,02

### 3.2.5 Corriente de Diseño de las líneas de Alimentación.

Es importante destacar que todas las cargas eléctricas funcionan con motores eléctricos, el Código de la Práctica Ecuatoriana CPE INEN 19: 2001, menciona las secciones mínimas que deben tener los conductores de conexión de los motores, con la finalidad de evitar un sobrecalentamiento [2].

#### 3.2.5.1 Para un solo motor

Establece que la capacidad de corriente del conductor alimentador debe ser del 125% sobre la corriente del motor a plena carga.

$$I_d = 1,25 \cdot I_n \quad (3.3)$$

Donde:

$I_d$  = Corriente para seleccionar el conductor de fase.

$I_n$  = Corriente nominal del motor.

#### 3.2.5.2 Para un grupo de motores

En este caso, se debe considerar lo dispuesto en el artículo 430-24 (varios motores) del Código de la Práctica Ecuatoriana CPE INEN 19: 2001, en donde hace mención que debe ser igual a la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores, más el 25% del motor de mayor potencia.

$$I_d = 1,25 \cdot I_{m\acute{a}x} \cdot \sum I_{PC} \quad (3.4)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$  = Corriente a plena carga del motor mayor.

$\sum I_{PC}$  = Suma intensidades resto receptores (a plena carga).

### 3.2.6 Dimensionamiento de los conductores de las líneas de alimentación.

Los conductores empleados en las instalaciones serán de cobre con un aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) por tener mejores propiedades eléctricas y térmicas en comparación con él (PVC). Para los alimentadores principales estarán instalados por medio de cables de cobre unipolares, mientras que para las derivaciones será cables multiconductores de cobre.

En la Figura 3.5 se muestra la capacidad de corriente para las secciones de los conductores, a diferentes temperaturas, la columna a utilizar será la de  $90^{\circ}C$  siempre y cuando se tenga como dato el factor de agrupamiento y el de temperatura, tal como menciona en la CPE INEN 19: 2001.

La corriente de diseño corregida ( $I_B$ ) se calculará a partir de los factores que afectan al dimensionamiento de los conductores.

$$I_B = \frac{I_d}{FA \cdot FT} \quad (3.5)$$

Para comprobar si el conductor está dimensionado correctamente, se efectúa por medio de la capacidad de carga, y se expresa de la siguiente forma.

$$I'_d < I_z \quad (3.6)$$

Donde:

$$I'_d = \frac{I_d}{\text{número de conductores por fase.}}$$

$$I_z = I_n \cdot FA \cdot FT$$

$I_n$ =Corriente nominal del conductor.

Sección transversal	Temperatura nominal del conductor (Ver Tabla 310-13)						Calibre
	60° C	75° C	90° C	60° C	75° C	90° C	
	Tipo S, TW*, UF*	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, 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	
mm <sup>2</sup>	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	70
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1 000
633,38	495	590	665	405	485	545	1 250
760,05	520	625	705	435	520	585	1 500
886,73	545	650	735	455	545	615	1 750
1 013,40	560	665	750	470	560	630	2 000

**Figura 3.5:** Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C [2].

En la Tabla 3.5 se presenta cada aspecto que se requiere para determinar la corriente de diseño ( $I_B$ ).

- $I_{m\acute{a}x}$ : representa la corriente nominal máxima entre las corrientes nominales de cada motor incluido en el circuito.
- $I_d(A)$ : Corriente de diseño de las líneas de alimentación.
- $I'_d(A)$ : Corriente de diseño de las líneas de alimentación por fase.
- **C.Fase**: Número de conductores por fase.

- **B / T.C:** Indica si los conductores van a ir por bandeja porta cable (B) o por tubo conduit (T.C). En el caso que se presente el mismo nombre de la bandeja en diferentes ramales, indica que por dicha bandeja irán los conductores de los ramales relacionados.
- **N.C Trifásicos:** Número de conductores trifásicos que estarán en cada bandeja porta cable o por tubo conduit.
- $I_B(A)$ : Corriente de diseño corregida.

Para una mejor comprensión de lo antes mencionado, se realizará el cálculo con detalle del alimentador de la línea 5 (AL5), para ello de la Tabla 3.4 se tiene que la corriente máxima entre cada una de las cargas es de 193,15 A, que corresponde al valor de la Prensa 3020.

Para determinar la corriente  $I_d$  se realiza la siguiente operación,  $I_d = 1,25 \cdot (193,15) + (305,45) = 546,89A$ , al ser una corriente muy elevada se ha optado por usar 3 conductores por fase, obteniendo así la corriente  $I'_d = 182,30A$ , por lo tanto, se usará una bandeja portacable perforada para transportar a los 9 conductores que se requieren, estos 9 conductores conforman 3 circuitos trifásicos que tendrán un factor de agrupamiento de 0,87 que se comprueba en la Figura 3.3, para todos los casos el factor de temperatura será de 1, con estos parámetros se obtiene la corriente de diseño  $I_B = \frac{182,30}{0,87 \cdot 1} = 209,54 A$ .

**Tabla 3.5:** Dimensionamiento de las líneas.

	<b>Imáx</b> [A]	$I_d$ [A]	<b>C.</b> <b>Fase</b>	$I'_d$ [A]	<b>B/T.C</b>	<b>N.C</b> <b>Trifásicos</b>	<b>FA</b>	<b>FT</b>	$I_B$ [A]
AL5	193,15	546,89	3	182,30	B.AL5	3	0,87	1	209,54
R1	193,15	241,44	1	241,44	B.1	1	0,98	1	246,36
R2	17,22	37,36	1	37,36	B.2	2	0,91	1	41,06
R3	160,74	200,92	1	200,92	B.2	2	0,91	1	220,80
R4	32,37	73,70	1	73,70	B.3	2	0,91	1	80,99
R5	16,40	20,50	1	20,50	B.3	2	0,91	1	22,53
R6	18,45	34,26	1	34,26	B.3	2	0,91	1	37,65
R7	144,02	180,02	1	180,02	B.CM2	1	0,98	1	183,70
<b>Derivaciones</b>									
R2.1	5,13	6,42	1	6,42	T.C	1	1	1	6,42
R2.2	17,22	21,53	1	21,53	T.C	1	1	1	21,53
R2.3	10,70	13,38	1	13,38	T.C	1	1	1	13,38
R6.1	11,19	13,99	1	13,99	T.C	1	1	1	13,99
R6.2	18,45	23,07	1	23,07	T.C	1	1	1	23,07

Una vez calculada la corriente  $I_B$ , de la Figura 3.5 se obtiene las secciones normalizadas para los conductores, además de realizar la comprobación por



capacidad de carga, como se demuestra en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6:** Secciones nomalizadas de los conductores.

	Sección [mm <sup>2</sup> ]	AWG/ kcmils	In [A]	$I'_d < Iz - -Iz = I_n \cdot FA \cdot FC$	
				$I'_d$	Condición
AL5	85,02	3/0	225	182,30	Cumple
R1	107,21	4/0	260	241,44	Cumple
R2	8,36	8	55	37,36	Cumple
R3	85,02	3/0	225	200,92	Cumple
R4	21,14	4	95	73,70	Cumple
R5	5,25	10	40	20,50	Cumple
R6	5,25	10	40	34,26	Cumple
R7	85,02	3/0	225	180,02	Cumple
<b>Derivaciones</b>					
R2.1	3,31	12	24	6,42	Cumple
R2.2	3,31	12	24	21,53	Cumple
R2.3	3,31	12	24	13,38	Cumple
R6.1	3,31	12	24	13,99	Cumple
R6.2	3,31	12	24	23,07	Cumple

### 3.2.7 Caída de Tensión.

Es importante considerar que se producirán caídas de tensión en todo el sistema eléctrico. Sin embargo, es necesario asegurar que estas caídas de tensión permanezcan dentro del rango permitido, puesto que operar equipos eléctricos por debajo de su voltaje nominal puede ser peligroso, reduciendo la vida útil del mismo.

En consecuencia, para calcular la caída de tensión total en cada línea se verifica que la caída de tensión máxima desde el transformador hasta el punto más alejado sea menor al 5%, considerando que no supere una caída de tensión mayor al 3% a partir del tablero de distribución hasta el punto más alejado para cargas de fuerza, como se menciona en [15].



**Figura 3.6:** Caída de tensión en el sistema eléctrico.

Para el cálculo de la caída de tensión se hará uso de la siguiente expresión.

$$\Delta V\% = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I'_d \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)}{V_{f-f}} \quad (3.7)$$

Donde:

$I'_d$  = Corriente de la carga

$R$  = Resistencia del conductor

$X$  = Reactancia del conductor

$V_{f-f}$  = Voltaje fase-fase

Para determinar el valor de la resistencia de la línea, se realiza de la siguiente manera.

$$R = \rho_{90^\circ C} \left( mm^2 \cdot \frac{\Omega}{m} \right) \cdot \frac{L(m)}{n \cdot S(mm^2)} [m\Omega] \quad (3.8)$$






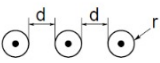
Donde, ( $L$ ) es la longitud de la línea, ( $n$ ) es el número de conductores por fase, ( $S$ ) es la sección del conductor, y ( $\rho_{90^\circ C}$ ) es la resistividad del cobre a  $90^\circ C$ , el objetivo de elegir la resistividad a esta temperatura es para evaluar el caso más adverso, que corresponde a la máxima temperatura del conductor, para los conductores termoestables (XLPE) admite una temperatura máxima de 90 grados.

$$\rho_{90^\circ C} = 0,02198 \left( mm^2 \cdot \frac{\Omega}{m} \right)$$

El valor de reactancia de las líneas ( $m\Omega$ ) está dado por la expresión:

$$X = x' \cdot \frac{L}{n} \quad (3.9)$$

El valor de  $x'$  se presenta en la Figura 3.7, dependiendo para el tipo de instalación.

Tipo de instalación	Juego de barras	Cable trifásico	Cables unipolares separados	Cables unipolares colocados en triángulo	3 cables en línea juntos	3 cables en línea separados «d»: $d = 2r$ $d = 4r$
Esquema						
Reactancia unitaria valores extremos en $m\Omega/m$	0,15	0,08	0,15	0,085	0,095	0,145   0,19
Reactancia unitaria valores extremos en $m\Omega/m$	0,12-0,18	0,06-01	0,1-0,2	0,08-0,09	0,09-01	0,14-0,15   0,18-0,20

**Figura 3.7:** Valores de la reactancia para los conductores [3].

Consideraciones para la reactancia:

- **Reactancia de 0,095:** Este valor se utilizará para conductores unipolares, a partir del alimentador (AL5) hasta el ramal (R7).
- **Reactancia de 0,08:** Para cables trifásicos destinado para las derivaciones.

En la Tabla 3.7, en la columna sumatoria de caída de voltaje (SCV) se confirma que ningún ramal excede la caída de tensión máxima al 5%, se comprueba que los conductores de las cargas eléctricas están correctamente dimensionados.

**Tabla 3.7:** Caída de tensión.

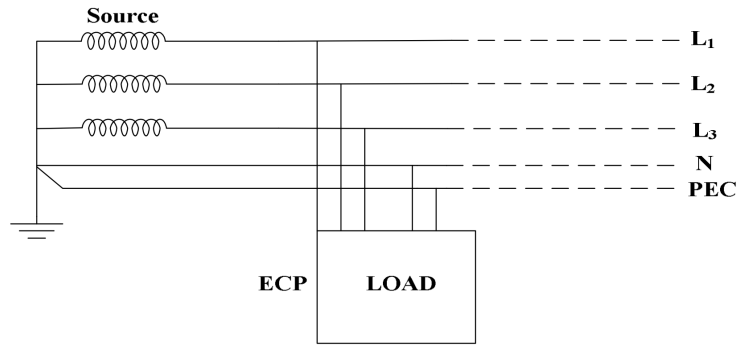
	<b>S</b> [mm <sup>2</sup> ]	<b>L</b> [m]	<i>Cosφ</i>	<i>Sinφ</i>	<b>C.</b> Fase	<b>R</b> [mΩ] 90°C	<b>X</b> [mΩ]	<i>I'<sub>d</sub></i> [A]	<b>CV</b> [%]	<b>SCV</b> [%]	<b>TCR</b> [V]
AL5	85,02	37	0,78	0,63	3	3,19	1,17	182,30	0,23	0,23	438,98
R1	107,21	35	0,8	0,60	1	7,18	3,33	241,44	0,74	0,97	435,75
R2	8,36	35	0,8	0,60	1	92,02	3,33	37,36	1,11	1,34	434,09
R3	85,02	50	0,8	0,60	1	12,93	4,75	200,92	1,04	1,27	434,39
R4	21,14	70	0,77	0,64	1	72,78	6,65	73,70	1,75	1,98	431,29
R5	5,25	70	0,8	0,60	1	293,07	6,65	20,50	1,92	2,16	430,52
R6	5,25	20	0,8	0,60	1	83,73	1,90	34,26	0,92	1,15	434,94
R7	85,02	25	0,82	0,57	1	6,46	2,38	180,02	0,47	0,70	436,91
<b>Derivaciones</b>											
R2.1	3,31	5	0,8	0,60	1	33,20	0,40	6,42	0,06	1,41	433,79
R2.2	3,31	7	0,8	0,60	1	46,48	0,56	21,53	0,31	1,66	432,69
R2.3	3,31	25	0,8	0,60	1	166,01	2,00	13,38	0,71	2,05	430,98
R6.1	3,31	10	0,8	0,60	1	66,40	0,80	13,99	0,30	1,45	433,64
R6.2	3,31	10	0,8	0,60	1	66,40	0,80	23,07	0,49	1,64	432,80

### 3.2.8 Conductor neutro y de protección.

Para determinar el sistema de puesta a tierra se tomará como referencia una de las categorizaciones de puesta a tierra TN específicamente la TN-S, este sistema es utilizado en varios países del mundo, incluidos EE. UU., Reino Unido, China, Australia, Canadá, Suecia, etc. [4].

Básicamente, para obtener un sistema TN-S se parte del centro de transformación en baja tensión, con conexión delta en el lado primario y conexión en estrella en el lado secundario, de este último se obtiene un punto de alimentación en común generalmente el punto neutro del transformador para luego ser conectado sólidamente a tierra [16]. Las masas de la instalación se conectan a este mismo punto por medio de un conductor de protección, existen tres tipos de sistemas TN que son:

- **TN-C:** Cuando el conductor neutro se utiliza como conductor neutro y de protección.
- **TN-S:** Se da cuando los dos conductores están separados, es decir, el primero se usa como neutro y el segundo se usa como conductor de protección.
- **TN-C-S:** Esta configuración se da cuando las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en parte de la instalación (en los primeros niveles de distribución) y separadas en dos conductores en el último escalón de la distribución



**Figura 3.8:** Sistema TN-S [4].

El sistema de puesta a tierra TN-S presenta las siguientes ventajas.

- Presenta una mejor relación con la compatibilidad electromagnética.
- Separa estrictamente el neutro (N) con la línea de protección (PE) de la línea de alimentación.
- En caso de que el personal este sometido a tensiones de contacto peligrosas, el sistema de puesta a tierra (TN-S) permite que la descarga eléctrica circule por el conductor de protección (PE) y de esta manera garantizar la seguridad del personal, además de ser utilizado en sistemas de distribución de baja tensión.

**Conductor de protección:** Son conductores de cobre que sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación con el objetivo de asegurar la protección contra contactos indirectos, la sección del conductor de protección está en función de la sección de los conductores de fase, como se muestra en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8:** Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase [11].

Sección de los conductores de fase de la instalación $S$ [mm <sup>2</sup> ]	Sección mínima de los conductores de protección $S_p$ [mm <sup>2</sup> ]
$S \leq 16$	$S_p = S(*)$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

**Tabla 3.9:** Dimensionamiento de los conductores.

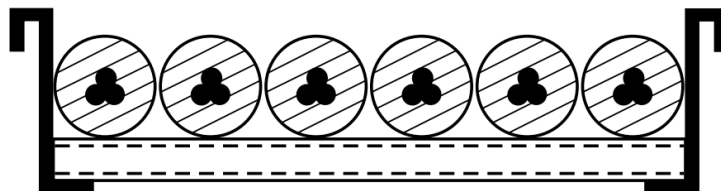
	Sección	Solución Final	
	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[AWG]
AL5	42,20	3x(3x+85,02+42,2)	3x(3x3/0+1)
R1	53,50	3x107,21+53,5	3x4/0+ 1/0
R2	8,36	3x8,36+8,36	3x8+ 8
R3	42,20	3x85,02+42,20	3x+3/0+ 1
R4	13,30	3x21,14+13,10	3x4+ 6
R5	5,25	3x5,25+5,25	3x10+ 10
R6	5,25	3x5,25+5,25	3x10+ 10
R7	42,20	3x85,02+42,20	3x3/0+ 1
<b>Derivaciones</b>			
R2.1	3,31	3x3,31+3,31	3x12+ 12
R2.2	3,31	3x3,31+3,31	3x12+ 12
R2.3	3,31	3x3,31+3,31	3x12+ 12
R6.1	3,31	3x3,31+3,31	3x12+ 12
R6.2	3,31	3x3,31+3,31	3x12+ 12

### 3.2.9 Canalizaciones

Desde el punto de vista de seguridad y de duración de las instalaciones, las canalizaciones dependen del uso adecuado para el transporte de los conductores. Las bandejas portacables soportan todo el peso de los cables, por consiguiente, para dimensionar el tamaño de las canalizaciones se toma en consideración el calibre de los conductores, teniendo en cuenta dos casos en particular.

#### 3.2.9.1 Para conductores mayores a 250 MCM

Para determinar el ancho de la bandeja portacable, se suma todos los diámetros de todos los conductores sin que supere el ancho de la bandeja, para este caso los conductores se instalarán en una sola capa como se observa en la Figura 3.9.



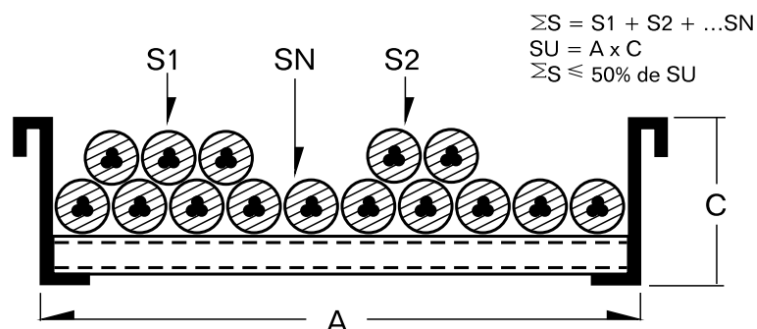
**Figura 3.9:** Formación para conductores de 250 MCM o de mayor sección [5].

### 3.2.9.2 Para conductores menores a 4/0 AWG

La suma de las secciones transversales de todos los conductores no debe superar el área máxima permisible indicada en la columna 1 de la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10:** Área de llenado permisible [5].

Ancho de la bandeja [cm]	Área de llenado permisible [cm]
10	30
20	60
30	90
40	120
50	150
60	180



**Figura 3.10:** Formación para conductores menores a 4/0 AWG [5].

De la Tabla 3.9 se examina que los conductores de los alimentadores como de las derivaciones están por debajo del calibre número 4/0 AWG, de tal forma que el cálculo para el ancho de la bandeja se ejecuta para la segunda condición.

**Tabla 3.11:** Parámetros para dimensionar la bandeja portacables.

	Calibre del conductor [AWG]	Canalización	Área de la sección transversal (A) [cm <sup>2</sup> ]/ Diámetro externo [cm]	Número de conductores por fase [S]	Número de conductores [N]	Multiplicar (A) · (N) [cm <sup>2</sup> ]
AL5	3/0	B.AL5	0,85 cm <sup>2</sup>	3	9	7,65 cm <sup>2</sup>
R1	4/0	B.1	1,58 cm	1	3	4,73 cm
R2	8	B.2	0,08 cm <sup>2</sup>	1	3	0,25 cm <sup>2</sup>
R3	3/0	B.2	0,85 cm <sup>2</sup>	1	3	2,55 cm <sup>2</sup>
R4	4	B.3	0,21 cm <sup>2</sup>	1	3	0,63 cm <sup>2</sup>
R5	10	B.3	0,05 cm <sup>2</sup>	1	3	0,16 cm <sup>2</sup>
R6	10	B.3	0,05 cm <sup>2</sup>	1	3	0,16 cm <sup>2</sup>
R7	3/0	B.CM2	0,85 cm <sup>2</sup>	1	3	2,55 cm <sup>2</sup>

Como se puede observar en la Tabla 3.11, para establecer el ancho de la bandeja se usa los datos presentados en la Tabla 3.10, ejemplificando, para al (AL5) se tiene un área de 7,65 cm<sup>2</sup> lo cual indica que el área de llenado se aproximaría a 30 cm<sup>2</sup>,

resultando una bandeja de 10 cm, este proceso se hace para todos los ramales. La normalización del ancho de la bandeja se basó a través de la Norma Técnica Ecuatoriana -NTE INEN 2 486:2009

**Tabla 3.12:** Tamaño de la bandeja portacables.

Ramal	Canalización	$\sum$ secciones transversales	Ancho de la Bandeja
AL5	B.AL5	7,65	Bandeja de 10cm/100mm
R1	B.1	3,22	Bandeja de 10cm/100mm
R2-R3	B.2	2,80	Bandeja de 10cm/100mm
R4-R5-R6	B.3	0,95	Bandeja de 10cm/100mm
R7	B.CM2	2,55	Bandeja de 10cm/100mm

### 3.2.10 Sistema de Puesta a Tierra.

#### 3.2.10.1 Introducción

Los sistemas de puesta a tierra dentro en una instalación eléctrica cobran importancia en el instante que se presente una falla a tierra, puesto que otorga un camino seguro para la corriente de falla y de esta manera se cumple con el objetivo primordial que es la seguridad del personal responsable de la operación y mantenimiento de la instalación, como de las personas ajenas que podrían estar en contacto con las instalaciones.

Los sistemas de puesta a tierra según la aplicación que se esté llevando a cabo deben cumplir con los valores establecidos por la norma Ecuatoriana de construcción (NEC-2013). En este caso, al tratarse de una subestación de media tensión la resistencia del diseño de la malla de puesta a tierra no tiene que superar 10 ohmios.

**Tabla 3.13:** Valores de resistencia de puesta a tierra [12].

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA PUESTA A TIERRA
Estructuras de Líneas de Transmisión	20 OHMS
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 OHMS
Subestaciones de media tensión	10 OHMS
Protecciones contra rayos	10 OHMS
Neutro de acometida en baja tensión	10 OHMS

#### 3.2.10.2 Cálculo de la malla puesta a tierra

Los principales pasos a desarrollar dentro de un diseño de tierra son:



### 3.2.10.3 Área de estudio

Actualmente la planta de producción Italtipos S.A., existe el diseño de dos sistemas de puesta a tierra (SPT), tanto para los transformadores (T1) y (T3), pero como resultado de la reubicación del transformador (T2) se elabora el diseño y cálculo del sistema puesta a tierra para dicho transformador.

A lo largo de la inspección de la planta de producción Italtipos S.A., se concluye una zona idónea basándose en el tamaño de terreno, es decir, que no dificulte tanto la entrada para la futura construcción como para la toma de las mediciones de la resistividad.

En la Figura 3.11 se observa el layout de la ubicación de las mallas puesta a tierra.

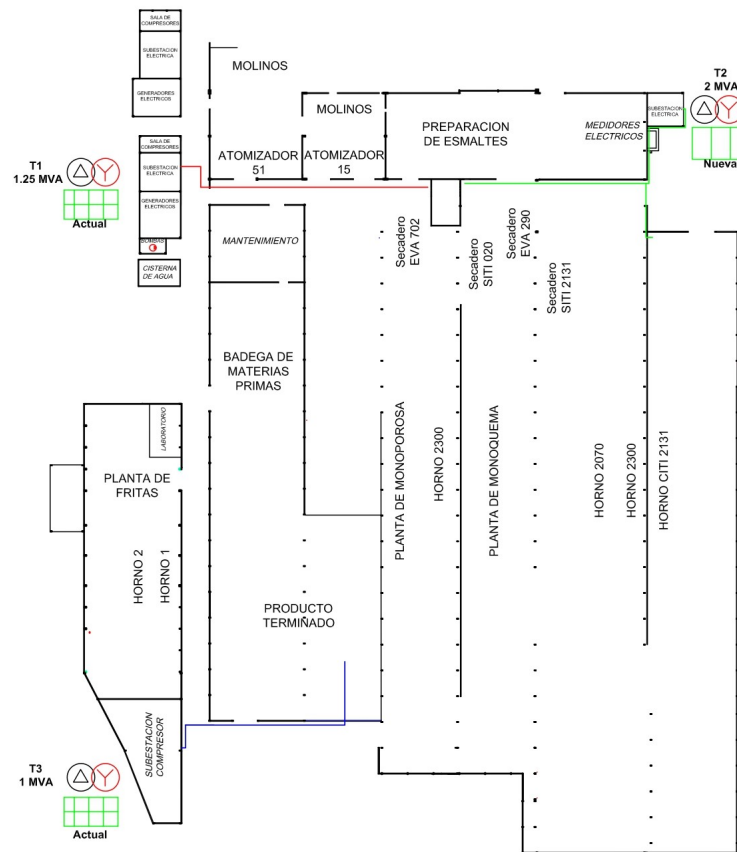


Figura 3.11: Ubicación de las mallas puesta a tierra.

Las dimensiones para la nueva malla puesta a tierra son de 6m de largo por 3m de ancho.

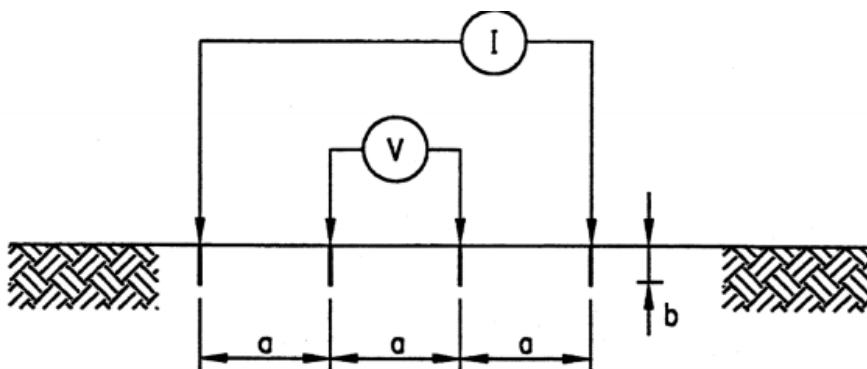
**Tabla 3.14:** Dimensiones para la malla del transformador (T2).

$L_x$	6	m
$L_y$	3	m
Área	18	$m^2$

### 3.2.10.4 Medición de la resistividad del terreno

Para la medición de la resistividad del terreno se utilizará el método de Wenner. Este método establece que para calcular la resistividad del terreno se sitúa cuatro electrodos en línea recta, a una misma distancia “a” y enterrados a una profundidad “b”.

En la Figura 3.12 se presenta el esquema de la metodología realizada para la medición de la resistividad del terreno.



**Figura 3.12:** Método de Wenner [6].

#### Procedimiento

Se realiza la toma de tres datos de acuerdo al método de Wenner, con distancias de 1m, 2m y 3m respectivamente, en la Tabla 3.15 se muestra los valores medidos en el área propuesta para la nueva malla puesta a tierra.

**Tabla 3.15:** Datos obtenidos del terreno para la resistividad.

Distancias	Resistividad $[\Omega - m]$
1 m	59,5
2 m	53,2
3 m	48,6

Mediante el modelo de suelo uniforme se obtiene el valor de la resistividad aproximada, a partir del promedio aritmético de las resistividades aparentes medidas.

$$\rho_{prom} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \dots + \rho_n}{n} [\Omega - m] \quad (3.10)$$

Donde:

$\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \dots + \rho_n \rightarrow$  Resistividades aparentes medidas a diferentes distancias, cumpliendo con el método de Wenner.

$n \rightarrow$  número total de medidas.

Por lo tanto, de acuerdo al número de mediciones se obtiene el valor de la resistividad.

$$\rho_{prom} = \frac{59,5 + 53,2 + 48,6}{3} = 53,766 \Omega - m$$

### 3.2.10.5 Calibre del conductor

Se determinará el calibre del conductor en función del valor de la corriente máxima de falla, este valor corresponde a la corriente de cortocircuito trifásica en los bornes del transformador (T2) que es igual a  $I_f=40,01$  kA como se muestra en la Tabla 7.11. La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$I_F = D_F \cdot I_f \quad (3.11)$$

Donde:

$D_f \rightarrow$  Factor de decremento que depende de la relación X/R en el punto de falla. De acuerdo a lo especificado en el capítulo 15 de la norma IEEE Std 80 – 2013.

**Tabla 3.16:** Valores típicos de  $D_f$  [6].

Fault duration, $t_f$		Decrement factor, $D_f$			
Seconds	Cycles at 60 Hz	$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0,008 33	0,5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

Para el diseño se establece una duración de falla de 30 ciclos = 0,5 seg, en base de la Tabla 3.16 y para una relación X/R = 10 el factor de decremento es igual a 1,026, por lo tanto, la corriente de cortocircuito asimétrica equivale a:

$$I_F = 1,026 \cdot 40,01 \text{ kA}$$

$$I_F = 41,024 \text{ kA}$$

La sección transversal del conductor se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$A_{mm^2} = \frac{I_F}{\sqrt{\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_f \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \cdot \ln \left( \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}} \quad (3.12)$$

Donde:

$I_F$  = Es la máxima corriente de falla asimétrica [kA].

$A_{mm^2}$  = Sección transversal del conductor [ $mm^2$ ].

$K_0$  = Es  $1/\alpha_0$  a  $0$  ( $1/\alpha_r$ ) -  $T_r$  [ $^{\circ}C$ ].

$T_m$  = Temperatura máxima permisible de fusión [ $^{\circ}C$ ].

$T_a$  = Temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ].

$T_r$  = Temperatura de referencia de constantes de materiales [ $^{\circ}C$ ].

$\alpha_0$  = Coeficiente térmico de resistividad a  $0^{\circ}C$  [ $1/^{\circ}C$ ].

$\alpha_r$  = Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia  $T_r$  [ $1/^{\circ}C$ ].

$\rho_r$  = Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia  $T_r$  [ $\mu\Omega \cdot cm$ ]

$t_f$  = Tiempo de duración de la corriente de falla [s].

TCAP = Factor de capacidad térmica por unidad de volumen obtenido de la Tabla 3.17

Los valores de las constantes de  $K_0$ ,  $T_m$ ,  $\rho_r$ ,  $\alpha_r$  y TCAP descritas en la ecuación anterior son tomados de la Tabla 1 del capítulo 11 de la norma IEEE Std 80 – 2013.

**Tabla 3.17:** Constante de materiales [6].

Descripción	Conductividad del material (%)	Factor $\alpha_r$ a $20^{\circ}C$ ( $1/^{\circ}C$ )	$K_0$ a $0^{\circ}C$ ( $^{\circ}C$ )	Temperatura de fusión $T_m$ ( $^{\circ}C$ )	$\rho_r$ a $20^{\circ}C$ ( $\mu\Omega \cdot cm$ )	Capacidad térmica TCAP [ $J/(cm^3 \cdot ^{\circ}C)$ ]
Cobre destemplado trenzado suave	100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.4
Cobre comercial trenzado duro	97.0	0.00381	242	1084	1.78	3.4
Alambre de acero con revestimiento de cobre	40.0	0.00378	245	1084	4.40	3.8
Alambre de acero con revestimiento de cobre	30.0	0.00378	245	1084	5.86	3.8
Varilla de acero con revestimiento de cobre	17.0	0.00378	245	1084	10.1	3.8
Alambre de acero con revestimiento de aluminio	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.561
Acero 1020	10.8	0.00377	245	1510	15.90	3.8
Varilla de acero con revestimiento inoxidable.	9.8	0.00377	245	1400	17.50	4.4
Varilla de acero con capa de zinc.	8.6	0.00320	293	419	20.10	3.9
Acero inoxidable 304	2.4	0.00130	749	1400	72.00	4.0

### Determinación de la sección del conductor:

De la Tabla 3.17, para un conductor de Cobre Trenzado Duro con una conductividad del 97%, se adquiere los siguientes parámetros:  $K_0=242$ ,  $T_m=1084$ ,  $\rho_r=1,78$ ,  $\alpha_r=0,00381$  y  $TCAP=3,42$ .

$$A_{mm^2} = \frac{41,04 \text{ kA}}{\sqrt{\frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 0,00381 \cdot 1,78} \cdot \ln\left(\frac{242+1084}{242+30}\right)}}$$

$$A_{mm^2} = 102,67 \text{ mm}^2$$

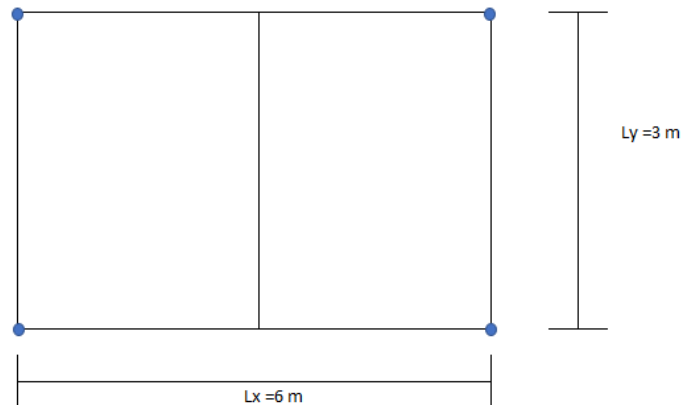
Para una sección de  $102,67 \text{ mm}^2$ , se utiliza un alambre de cobre trenzado duro 4/0 el cual posee una sección mayor a la obtenida, como se muestra en la Tabla 3.18.

**Tabla 3.18:** Sección de los conductores [6].

Tamaño del cable, AWG	Sección transversal nominal, mm <sup>2</sup>	6 ciclos (100 ms)	15 ciclos (250 ms)	30 ciclos (500 ms)	45 ciclos (750 ms)	60 ciclos (1 s)	180 ciclos (3 s)
No. 2	33.63	22	16	12	10	9	5
No. 1	42.41	28	21	16	13	11	7
1/0	53.48	36	26	20	17	14	8
2/0	67.42	45	33	25	21	18	11
3/0	85.03	57	42	32	27	23	14
4/0	107.20	72	53	40	34	30	17
250 kcmil	126.65	85	62	47	40	35	21
350 kcmil	177.36	119	87	67	56	49	29

#### 3.2.10.6 Diseño básico

La Norma IEEE Std. 80-2013 establece los rangos de profundidad de enterramiento de la malla que van de 0,5 m a 1,5 m, y un rango de espaciamiento entre conductores de 3 m a 15 m. En la Figura 3.13 se observa el diseño propuesto donde se detalla las longitudes y el espaciamiento típico entre conductores de la malla en metros, incluidas 4 varillas de tierra, a una profundidad de  $h = 0,6 \text{ m}$ .



**Figura 3.13:** Diseño inicial de la malla rectangular.

Como siguiente paso, se calcula la longitud total del conductor

$$L_T = L_C + L_r \quad (3.13)$$

Donde:

$L_c \rightarrow$  Longitud total del conductor horizontal enterrado.

$L_r \rightarrow$  Longitud de todas las varillas de tierra.

Por lo tanto:

$$L_c = n \cdot L_x + m \cdot L_y \quad (3.14)$$

$$L_c = (2) \cdot (6) + (3) \cdot (3)$$

$$L_c = 21 \text{ m}$$

y,

$$L_r = (1,8) \cdot (4)$$

$$L_r = 7,2 \text{ m}$$

$$L_T = 21 + 7,2$$

$$L_T = 28,2 \text{ m}$$

### Parámetros finales para el diseño de la malla:

**Tabla 3.19:** Parámetros de la malla.

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud de la malla Lx	6	m
Ancho de la malla Ly	3	m
# de conductores en paralelo a Lx	2	
# de conductores en paralelo a Ly	3	
Espaciamiento entre conductores (D)	3	m

#### 3.2.10.7 Resistencia de la malla.

##### Diseño de la malla:

Para obtener el valor de la resistencia de la malla puesta a tierra se hace uso de la ecuación 3.15, que fue desarrollada por Sverak.

$$R_g = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (3.15)$$

En la Tabla 3.20, se observa los valores para calcular la resistencia de la malla. Reemplazando estos valores en la ecuación 3.15, se obtiene el valor de la resistencia.

**Tabla 3.20:** Valores Calculados.

Parámetros	Valor	Unidad
Resistividad del terreno, $\rho$	53,766	$[\Omega - m]$
Profundidad de enterramiento de la grilla, h	0,6	$[m]$
Área total de la malla, A	18	$[m^2]$
Longitud total del conductor, L	28,2	$[m]$

$$R_g = 53,766 \cdot \left[ \frac{1}{28,2} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 18}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{20}{18}}} \right) \right]$$

$$R_g = 6,476 \Omega$$

El valor de la resistencia es menor a  $10 \Omega$  por tanto la puesta a tierra de esta instalación cumple con las condiciones que se establece en el NEC – 2013, con ello se garantiza la seguridad de las personas, que es la principal finalidad de esta instalación.

En [17] establece que el valor de la resistencia calculado puede variar con respecto al valor de la resistencia medida, por las siguientes razones:

1. La insuficiencia del método analítico utilizado para calcular la resistencia.
2. La resistividad del terreno al momento de la medición de la resistencia, varía con respecto al valor obtenido para realizar los cálculos.
3. La falta de precisión en las mediciones de campo de la resistividad. Debido a la falta del número de pruebas, variación en el espaciamiento de las picas, o debido a algún daño en el dispositivo.
4. Objetos enterrados cerca de las mediciones como tuberías metálicas, pueden influir en los resultados obtenidos.

Estos tipos de factores son los que influyen al momento de obtener las medidas de la resistividad del terreno, motivo por el cual se recomienda realizar las mediciones durante condiciones climáticas adversas, como en la temporada de verano.

### 3.2.11 Cálculo de las protecciones eléctricas.

#### 3.2.11.1 Cálculo de la corriente de cortocircuito

##### Introducción.

Como paso previo para obtener las corrientes de cortocircuito en múltiples puntos de la instalación, se determinará la resistencia y reactancia de cada uno de los conductores, y de esta manera se calculará la impedancia equivalente a partir del punto inicial de la instalación hasta el punto final de estudio.

Para considerar la situación más desfavorable, el cálculo de la corriente de cortocircuito se realizará con base a un nuevo cálculo que estima la resistencia de los conductores con una resistividad de  $20^{\circ}C$ , ya que el valor de la resistencia será menor lo que genera una corriente de cortocircuito mayor, que cuando se usa una resistencia de  $90^{\circ}C$ .

Para encontrar la impedancia equivalente se efectuará un estudio preliminar en media y en baja tensión, y de esta forma obtener las corrientes de cortocircuito máxima y mínima de la instalación, basándose en la Norma IEC 60909, bajo el título general Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna [18].

La norma IEC 60909 establece una fuente de tensión equivalente como la única tensión efectiva en el punto de cortocircuito. Todo el circuito de alimentación, los motores sincrónicos y asíncrónicos son reemplazados por su impedancia interna, para el caso de la red de suministro que está representada por su impedancia interna ( $Z_{RE}$ ) se transfiere al lado de bajo voltaje del transformador mediante la relación de tensiones, en conclusión, en todos los casos es posible determinar la corriente de cortocircuito por medio de una fuente de tensión en el punto de falla F (ver Figura 3.14) [19].

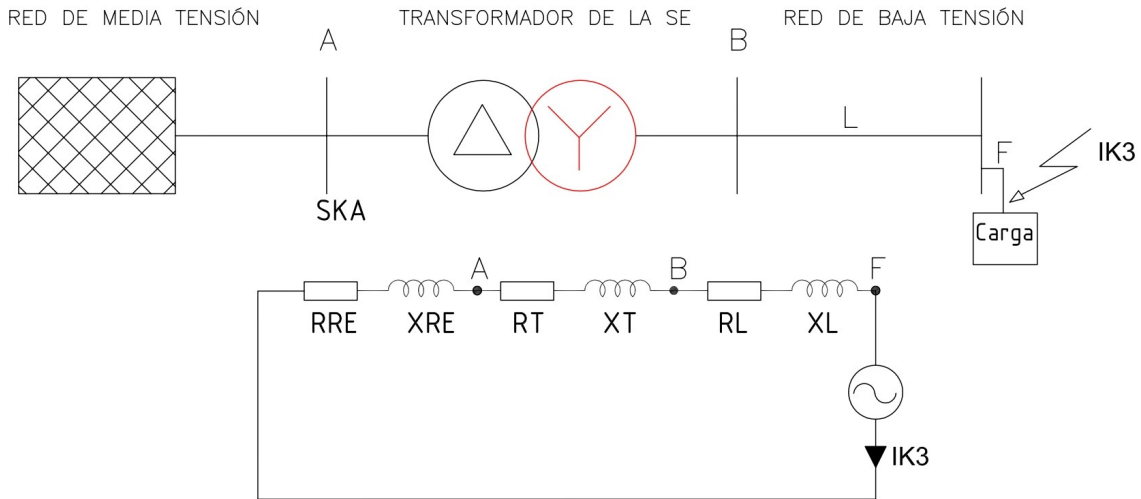
Hipótesis para el cálculo de corriente de cortocircuito en baja tensión:

- **Corriente de cortocircuito máxima:** Este valor de corriente permite determinar el poder de corte (Pdc) de los interruptores automáticos.
- **Corriente de cortocircuito mínima:** Está relacionado con el ajuste de la parte magnética de los interruptores automáticos.
- **Considerar una red radial.**
- **Cortocircuito trifásico simultáneo.**
- **Todas las impedancias se calcularán en el lado de baja tensión.**



### Red simplificada:

La red simplificada tiene como fin dar a conocer las impedancias que están inmersas en la instalación y de esta manera calcular las corrientes de cortocircuito con mayor precisión, por lo tanto, se determinará la impedancia desde la red de media tensión hasta el punto de análisis.



**Figura 3.14:** Red simplificada para el cálculo de la  $I_{cc}$ .

### Pasos a seguir para el estudio de corrientes de cortocircuito.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se tomará como referencia al diagrama unifilar de la Figura 3.4.

#### 1. Impedancia de la red eléctrica.

Datos de la red eléctrica:

$$V = 22 \text{ kV}$$

$$I_{cc} = 12 \text{ kA}$$

- La impedancia equivalente a la red aguas arriba es:

$$Z_{RE} = \frac{V^2 \text{ (Tensión de la red)}}{S_{CC} \text{ (Potencia de Cortocircuito)}} \quad (3.16)$$

$$S_{CC} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{CC} \quad (3.17)$$

$$S_{CC} = \sqrt{3} \cdot 22kV \cdot 12kA$$

$$S_{CC} = 457,26 \text{ MVA}$$

$$Z_{RE} = \frac{(22kV)^2}{457,26MVA} = 1,0585 \Omega$$

- La resistencia y la reactancia del circuito aguas arriba se calcula como:

$$X_{RE} \approx 0,98 \cdot Z_a \quad (3.18)$$

$$X_{RE} \approx 0,98 \cdot 1,0585 \Omega$$

$$X_{RE} \approx 1,0373 \Omega$$

$$R_{RE} = \sqrt{Z_a^2 - X_a^2} \quad (3.19)$$

$$R_{RE} = \sqrt{(1,0585)^2 - (1,0373)^2} = 0,2107 \Omega$$

## 2. Impedancia de la línea 1 en media tensión.

Línea de alimentación de 22 kV:

- 3 cables, 53,49 mm<sup>2</sup> - 1/0 cobre, longitud = 130 m

Para determinar el valor de la resistencia de la línea se realiza de la siguiente manera.

$$R_{L1} = \rho_{20^\circ C} \cdot \left( mm^2 \cdot \frac{\Omega}{m} \right) \cdot \frac{L (m)}{n \cdot S (mm^2)} [m\Omega] \quad (3.20)$$

Valor medio utilizado para la reactancia.

$$X_{L1} = 0,4 \frac{\Omega}{Km}$$

$$R_{L1} = 0,1724 \cdot \left( \frac{130}{1 \cdot 53,49} \right) = 41,899 m\Omega$$

$$X_{L1} = 0,4 \frac{\Omega}{Km} \cdot 0,13 Km = 52 m\Omega$$

## 3. Impedancia en el punto A.

La impedancia en el punto A, se determina a través de una sumatoria de la impedancia de la red eléctrica y de la línea de media tensión.

$$Z_A = \sqrt{\sum (R_{RE} + R_{L1})^2 + (X_{RE} + X_{L1})^2} [m\Omega] \quad (3.21)$$

$$Z_A = \sqrt{(0,2525)^2 + (1,0983)^2} m\Omega$$

$$Z_A = 1,12 m\Omega$$

## 4. Impedancia del transformador.

Transformador T3:

- 1,25 MVA
- Primario 22 kV/Secundario 440 V

- $V_{CC} = 6\%$

Esta impedancia se calcula a partir de la tensión de cortocircuito  $V_{CC}$  expresada en %:

$$Z_T = V_{CC\%} \cdot \frac{V^2}{S_n} \quad (3.22)$$

En general  $R_T \ll X_T$ , este valor de resistencia se puede aproximar a  $0,2X_T$  y la  $X_T$  se puede asemejar a la impedancia interna del transformador.

$$\begin{aligned} X_T &\approx Z_T \\ R_T &= 0,2 \cdot X_T \text{ [m}\Omega\text{]} \\ Z_T &= 6\% \cdot \frac{(440)^2}{1,25 \text{ MVA}} = 9,2928 \text{ m}\Omega \\ X_T &\approx 9,2928 \text{ m}\Omega \\ R_T &= 0,2 \cdot 9,2928 = 1,8586 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (3.23)$$

## 5. Impedancia en bornes del transformador.

Los valores determinados referentes a las resistencias (R) y reactancias (X) en media tensión (MT), no se utilizan directamente en la red de baja tensión (BT), es por ello que estas impedancias se multiplican por la razón de tensiones, como se muestra a continuación.

$$F_{RT} = \left( \frac{V_{N\text{Secundario}}}{V_{N\text{Primario}}} \right)^2 \quad (3.24)$$

$$F_{RT} = \left( \frac{440V}{22 \text{ kV}} \right)^2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{BT} = [(R_A \cdot F_T) + R_T] \text{ [m}\Omega\text{]} \quad (3.25)$$

$$X_{BT} = [(X_A \cdot F_T) + X_T] \text{ [m}\Omega\text{]} \quad (3.26)$$

$$R_{BT} = [(0,2525 \cdot 0,4) + 1,8586] \cdot 10^{-3} = 1,9596 \text{ m}\Omega$$

$$X_{BT} = [(1,0983 \cdot 0,4) + 9,2928] \cdot 10^{-3} = 9,7285 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{BT} = \sqrt{R_{BT}^2 + X_{BT}^2} \text{ [m}\Omega\text{]} \quad (3.27)$$

$$Z_{BT} = \sqrt{(1,9596)^2 + (9,7285)^2} = 9,9238 \text{ m}\Omega$$

## 6. Impedancia de la línea de alimentación a 440 V.

Línea de alimentación 440 V:

- $3(3 \times 85,02 \text{ mm}^2)$ , cobre, longitud = 37 m

El alimentador de la línea 5 (AL5), estará distribuido desde el transformador

(T1) hacia el tablero de distribución (TD-L5), teniendo en cuenta que para las corrientes de cortocircuito todas las resistencias se calculan a una temperatura de  $20^{\circ}C$  para considerar el caso más desfavorable, este proceso se realiza para todos los ramales de la instalación.

$$R_{AL5} = \rho_{20^{\circ}C} \cdot \frac{L}{n \cdot S} \quad (3.28)$$

$$R_{AL5} = 0,01724 \cdot \frac{37}{3 \cdot 85,02} = 2,50 \text{ m}\Omega$$

$$X_{AL5} = 0,095 \cdot \frac{37}{3} = 1,17 \text{ m}\Omega$$

## 7. Cálculo de la corriente de cortocircuito.

En las instalaciones eléctricas pueden producirse diferentes tipos de cortocircuitos, dependiendo del tipo de defecto pueden ser, simétricos o asimétricos.

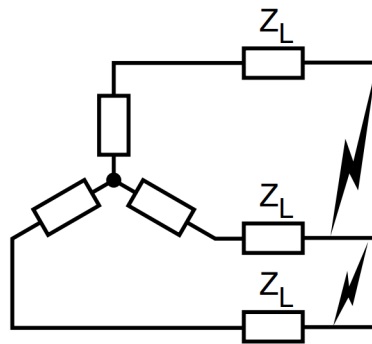
- **Cortocircuito Trifásico (Simétrico)**

$$I_{K3} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot Z_L} \quad (3.29)$$

Donde  $Z_L$  es igual a:

$$Z_L = \sqrt{\sum R_L^2 + \sum X_L^2} \quad (3.30)$$

Y los valores de  $\sum R_L^2 + \sum X_L^2$  se determina desde el punto de la instalación hasta el punto que se esté considerando.



**Figura 3.15:** Defecto Trifásico [3].

- **Cortocircuito Bifásico (Asimétrico)**

$$I_{K2} = \frac{V - \Delta V\%}{2 \cdot Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{KL} \quad (3.31)$$

$$I_{K2} = 0,87 \cdot I_{KL} \quad (3.32)$$

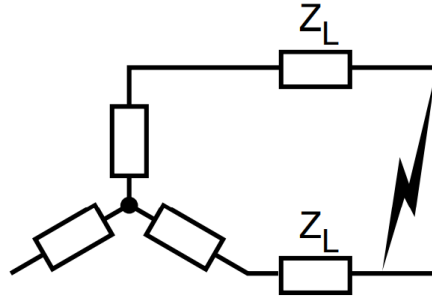


Figura 3.16: Defecto Bifásico [3].

- **Cortocircuito Fase-Neutro (Asimétrico)**

**Condición 1:** Sección del conductor neutro igual al de la fase  $Z_{LN} = Z_L$

$$I_{K-LN} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (Z_L + Z_{LN})} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot Z_L)} \quad (3.33)$$

$$I_{K2} \approx 0,5 \cdot I_{K3} \quad (3.34)$$

**Condición 2:** Sección del conductor neutro mitad al de la fase  $Z_{LN} = 2 \cdot Z_L$

$$I_{K-LN} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (Z_L + Z_{LN})} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (3 \cdot Z_L)} \quad (3.35)$$

$$I_{K2} \approx 0,33 \cdot I_{K3} \quad (3.36)$$

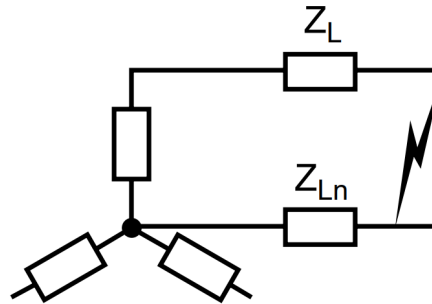


Figura 3.17: Defecto Monofásico [3].

- **Cortocircuito Fase-Tierra (Asimétrico)**

**Condición 1:** Sección del conductor de protección igual al de la fase  $Z_h = Z_L$

$$I_{K-LN} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (Z_L + Z_h)} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot Z_L)} \quad (3.37)$$

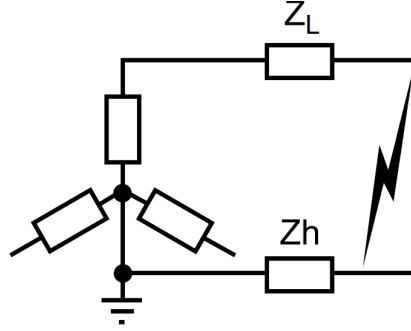
$$I_{K2} \approx 0,5 \cdot I_{K3} \quad (3.38)$$

**Condición 2:** Sección del conductor de protección mitad al de la fase

$$Z_h = 2 \cdot Z_L$$

$$I_{K-LN} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (Z_L + Z_h)} = \frac{V - \Delta V\%}{\sqrt{3} \cdot (3 \cdot Z_L)} \quad (3.39)$$

$$I_{K2} \approx 0,33 \cdot I_{K3} \quad (3.40)$$



**Figura 3.18:** Defecto a Tierra [3].

Corriente de cortocircuito en bornes del transformador:

$$I_K = \frac{440}{\sqrt{3} \cdot Z_{BT}} \quad (3.41)$$

$$I_K = \frac{440}{\sqrt{3} \cdot 9,923 \text{ m}\Omega} = 25,60 \text{ kA}$$

Corriente de cortocircuito en el punto B:

$$Z_T = \sqrt{\sum (R_{BT} + R_{AL5})^2 + \sum (X_{BT} + X_{AL5})^2} \text{ [m}\Omega\text{]} \quad (3.42)$$

$$Z_T = \sqrt{(1,9596 + 2,50)^2 + (9,7285 + 1,17)^2} = 11,78 \text{ m}\Omega$$

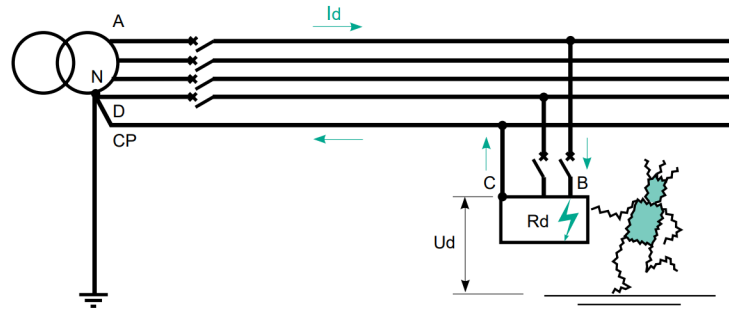
$$I_K = \frac{438,95}{\sqrt{3} \cdot Z_T} = \frac{438,95}{\sqrt{3} \cdot 11,78 \text{ m}\Omega} = 21,53 \text{ kA}$$

## 8. Cálculo de la corriente de cortocircuito mínima.

Para calcular  $I_{cc,min}$ , se centrará en el defecto causado por el bajo aislamiento en un sistema (TN-S), es decir una corriente de cortocircuito Fase-Tierra. Una baja aislación se puede dar por múltiples situaciones, tal es el caso cuando una de las fases hace contacto con la masa que está conectado el conductor de protección (ver Figura 3.19), lo que provoca una baja resistencia de aislamiento en el sistema y por ende una corriente de defecto elevada (kA).

El valor de  $I_{cc,min}$  nos permitirá ajustar el valor del disparo de la parte magnética del interruptor automático, con el fin de salvaguardar al personal ante contactos indirectos. Para el valor mínimo de cortocircuito se estimará a partir de la corriente de cortocircuito trifásica ( $I_{K3}$ ) que se multiplicará por

un cierto coeficiente en función de la distribución del conductor de protección (PE) como se verificó en el punto anterior. La  $I_{cc,min}$  corresponde al final de la línea que se está considerando.



**Figura 3.19:** Corriente y tensión de defecto en el esquema TN [7].

Circuitos con conductor de protección (PE):

$$I_{cc,min} = 0,5 \cdot I_{K3} \rightarrow S_{protección} = S_{fase} \quad (3.43)$$

$$I_{cc,min} = 0,333 \cdot I_{K3} \rightarrow S_{protección} = \frac{S_{fase}}{2} \quad (3.44)$$

### 9. Cálculo de las corrientes de cortocircuito en múltiples puntos.

Para determinar la corriente de cortocircuito en múltiples puntos, se calcula la impedancia equivalente tomando en cuenta lo explicado en el punto 7, considerando que la metodología a seguir para el resto de puntos es similar.

**Tabla 3.21:** Corrientes máximas de cortocircuito.

	$R_{20^{\circ}C}$ [mΩ]	<b>X</b> [mΩ]	$\sum R$ [mΩ]	$\sum X$ [mΩ]	$Z_T$ [mΩ]	$I_K$ [kA]
<b>Bornes T</b>	1,86	9,29	1,96	9,73	9,92	25,60
<b>B</b>	2,50	1,17	4,46	10,90	11,78	21,53
<b>C</b>	5,63	3,33	10,09	14,23	17,44	14,45
<b>D</b>	72,18	3,33	76,64	14,23	77,95	3,22
<b>E</b>	10,14	4,75	14,60	15,65	21,40	11,74
<b>F</b>	57,09	6,65	61,55	17,55	64,00	3,91
<b>G</b>	229,87	6,65	234,33	17,55	234,98	1,06
<b>H</b>	65,68	1,90	70,14	12,80	71,30	3,53
<b>I</b>	5,07	2,38	7,03	12,10	14,00	18,04
<b>J</b>	26,04	0,40	102,68	14,63	103,72	2,42
<b>K</b>	36,46	0,56	113,10	14,79	114,06	2,20
<b>L</b>	130,21	2,00	206,85	16,23	207,48	1,20
<b>M</b>	52,08	0,80	122,22	13,60	122,98	2,04
<b>N</b>	52,08	0,80	122,22	13,60	122,98	2,04

A modo de ejemplo se calculará la corriente de cortocircuito mínima en dos puntos.

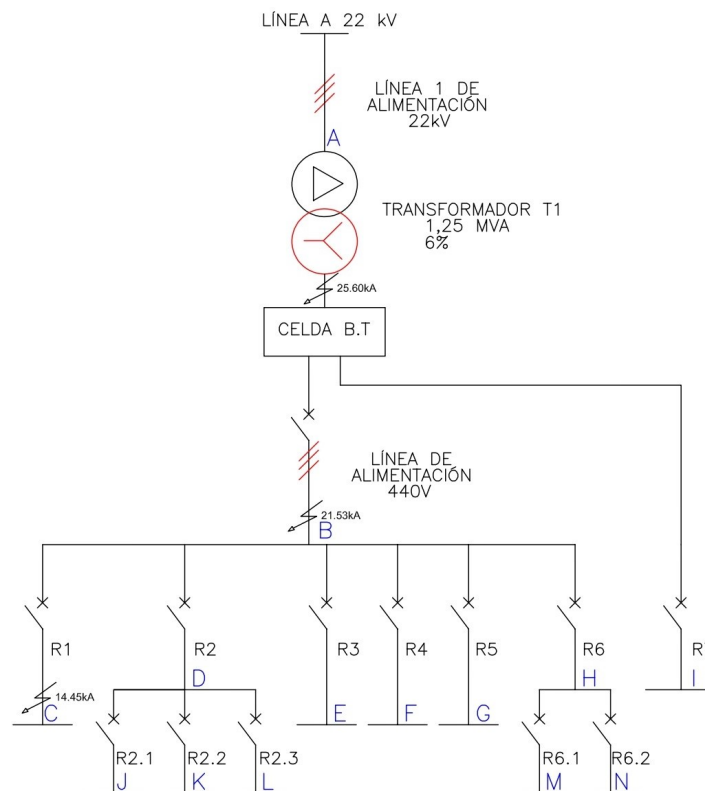
- **Cortocircuito mínimo en el alimentador de la línea 5 (AL5)**

La corriente máxima de cortocircuito del alimentador de la línea 5 (AL5) se da en los bornes del transformador con una corriente de cortocircuito (25,60 kA), pero para la corriente mínima de cortocircuito, se da en el punto (B) al final del alimentador (21,53 kA) a este valor se multiplica por el factor 0,333 lo que da  $I_{kmin,B} = 7,17$  kA.

- **Cortocircuito mínimo en el ramal 1 (R1)**

Para este caso, el máximo cortocircuito ocurre en el punto B(21,53 kA), y la mínima corriente de cortocircuito ocurre en el punto C(14,45 kA), de igual manera se multiplica por el factor 0,333 para obtener la  $I_{kmin,C} = 4,81$  kA.

En la Figura 3.20 se muestra lo explicado anteriormente.



**Figura 3.20:** Corrientes máximas de cortocircuito.



**Tabla 3.22:** Corrientes de cortocircuito mínimas y máximas.

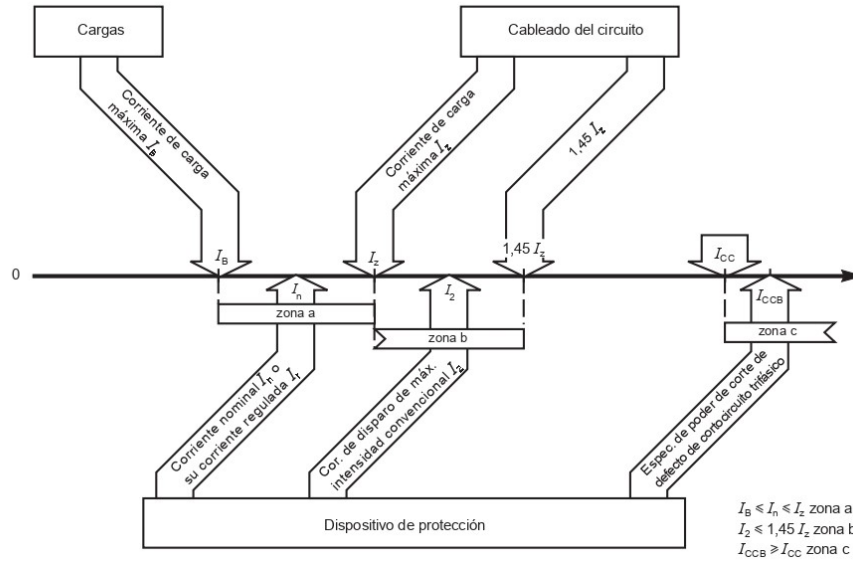
	$I_{Kmax}$ [kA]	$I_{Kmin}$ [kA]
AL5	25,60	7,17
R1	21,53	4,81
R2	21,53	1,61
R3	21,53	3,91
R4	21,53	1,95
R5	21,53	0,53
R6	21,53	1,77
R7	25,60	6,01
<b>Derivaciones</b>		
R2.1	3,22	1,21
R2.2	3,22	1,10
R2.3	3,22	0,60
R6.1	3,53	1,02
R6.2	3,53	1,02

### 3.2.11.2 Principio de protección contra sobreintensidad y cortocircuitos.

Una vez que se ha estudiado las influencias externas de la instalación, como la canalización, el tipo de conductor y la sección transversal del conductor, se procede a verificar las condiciones para la protección eléctrica contra sobreintensidades. La norma IEC 60364-4-43 (protección de sobreintensidad), establece varios parámetros que tienen que cumplirse para garantizar la fiabilidad de la instalación.

En las protecciones contra sobrecorrientes se diferencia 2 tipos: ante sobrecargas y cortocircuitos, cada una tiene una secuencia de condiciones con el objetivo de asegurar la instalación.

En la Figura 3.21, se muestra los niveles de corriente para elegir las propiedades de interruptor automático, para las líneas de producción se va a utilizar interruptor automático de caja moldeada, en determinados circuitos se utilizará de bastidor abierto por el grado de corriente que se maneja.



**Figura 3.21:** Niveles de corriente para determinar las características del interruptor automático [1].

**3.2.11.2.1 Sobrecargas:** Para verificar que la protección actúe contra sobrecargas aguas abajo del punto en el que se instala, se detalla dos condiciones: Los parámetros que se influyen para el dispositivo de protección contra sobrecargas son:

- $I_B$ : Corriente de diseño del circuito.
- $I_n$  o  $I_r$ : Corriente nominal del dispositivo de protección, en el caso de que el dispositivo sea con relé electrónico debe ser la corriente de ajuste  $I_r$ .
- $I_z$ : Corriente máxima que puede circular por el conductor.
- $I_2$ : Corriente que asegura el funcionamiento del dispositivo de protección.

**Condición 1:**

La corriente de diseño  $I_B$  no debe sobrepasar la corriente nominal ( $I_n$ ) o la de ajuste ( $I_r$ ) del dispositivo de protección cuyo valor, a su vez, no tiene que superar a la corriente admisible para el conductor ( $I_z$ ). Por lo tanto, se tiene que cumplir la siguiente igualdad:

$$I_B \leq I_n \text{ o } I_r \leq I_z$$

**Condición 2:**

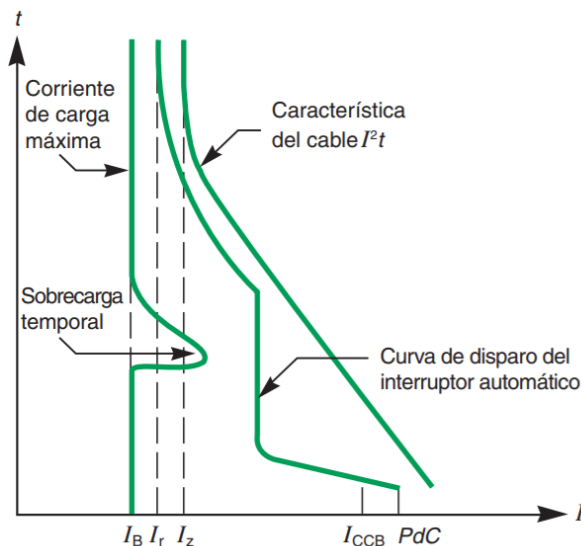
Para el caso de los interruptores automáticos de uso industrial (IEC 60947-2), ( $I_2$ ) está dado por:

$$I_2 = 1,30 \cdot (I_n \text{ o } I_r) \tag{3.45}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \tag{3.46}$$

La Figura 3.22 permite tener una idea más visual de las curvas características que intervienen en un circuito y de esta manera interpretar como actuaría el dispositivo de protección, ante una falla por sobrecorriente sin que se llegue a dañar el conductor eléctrico, de esta figura se destaca 2 características esenciales.

- La curva de disparo del interruptor automático permite el paso de la corriente de carga  $I_B$  permanentemente.
- La curva característica del cable permanece por arriba del dispositivo de protección, dado que, si se presenta una sobrecarga, el dispositivo de protección cortará la corriente en un tiempo menor al obtenido por la curva característica  $(I^2 \cdot t)$  del cableado del circuito.



**Figura 3.22:** Protección del circuito mediante interruptor automático [1].

**3.2.11.2.2 Cortocircuitos:** Una vez calculadas las corrientes de cortocircuito de la instalación, se procede a determinar los parámetros para la selección de un dispositivo en concreto para la protección de una línea determinada contra cortocircuitos.

Las condiciones que se establece al interruptor automático, contra cortocircuitos son:

$P_C$ : Poder de corte del dispositivo, corresponde a la corriente máxima que es capaz de despejar.

$I_{CC,máx}$ : La corriente de cortocircuito máxima en el punto de instalación del dispositivo, que generalmente corresponde a la corriente de cortocircuito trifásica

en los terminales de salida del dispositivo de protección.

$I_{CC,mín}$ : Mínima corriente de cortocircuito.

$I_a$ : Corriente a partir de la cual el dispositivo de protección actúa de manera inmediata, es decir la intensidad a partir la cual se da el disparo magnético.

$I^2 \cdot t$ : Indica la máxima energía que permite pasar el dispositivo de protección antes de cortar la alimentación.

$K^2 S^2$ : Indica la energía máxima que el conductor soporta sin dañarse al paso de una corriente de cortocircuito, donde (S) es la sección del conductor ( $mm^2$ ) y (K) es una constante que depende del material del conductor y de su aislamiento.

**Tabla 3.23:** Valores de K

Material Conductor	K · $\left(\frac{As^{1/2}}{mm^2}\right)$	
	PVC	XLPE
Cobre	115	143
Aluminio	76	94

### 1. Condición 1:

El poder o capacidad de corte (PDC) de un interruptor automático, debe ser mayor o igual a la corriente máxima de cortocircuito ( $I_{cc,máx}$ ) que se produce en el punto de instalación del dispositivo de protección.

$$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$$

### 2. Condición 2:

La corriente mínima de cortocircuito en el extremo del circuito tiene que ser mayor a la corriente la regulación magnética del interruptor automático ( $I_a$ ).

$$I_{cc,mín} > I_a$$

### 3. Condición 3:

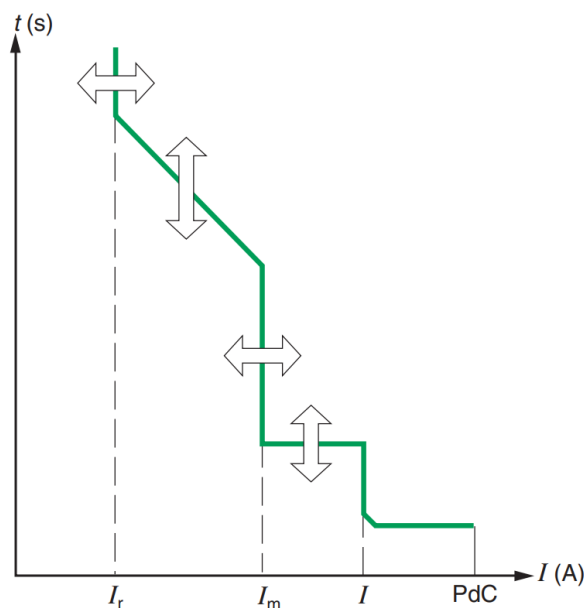
La energía que deja pasar el interruptor automático no debe ser superior a la energía que el cable puede efectivamente soportar.

$$(I^2 \cdot t)_{dispositivo} \leq K^2 S^2 \cdot (A^2 \cdot s)$$

El valor  $(I^2 \cdot t)_{dispositivo}$  se obtiene de la curva del dispositivo de protección mediante la aplicación SIMARIS Curves, la cual da información referente a las propiedades de los dispositivos, además con esta aplicación se realizará la coordinación de protecciones.

### 3.2.11.2.3 Dispositivos a utilizar: Protección para alimentadores (Unidad de protección LSI)

La protección principal para los tableros de distribución (para las cargas que conforma desde la Prensa hasta el Auxiliar Entrada del Horno) se hace mediante un interruptor automático de caja abierta de la gama 3WT(Siemens). Esta unidad posibilita ajustes adicionales en la regulación de la corriente y del tiempo en la zona de largo retardo como de la zona de corto retardo además de contar con disparo instantáneo.



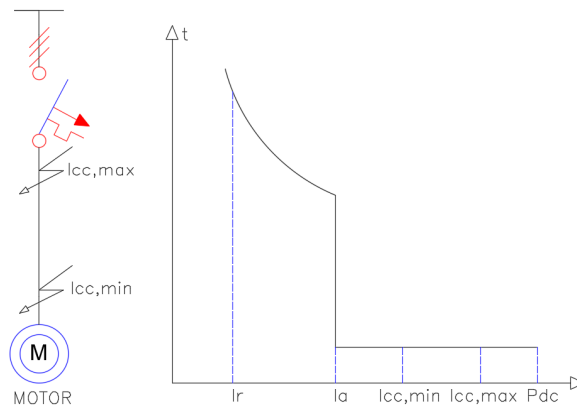
**Figura 3.23:** Características eléctricas de un interruptor automático con disparo electrónico [1].

### Protecciones para ramales (Unidad de protección LI)

El modelo del interruptor automático para la protección de los ramales será mediante un interruptor automático de caja moldeada de la gama 3VA20 (Siemens). Esta unidad cuenta con la característica de un disparo electrónico, es decir, se ajusta la unidad de disparo térmica ( $I_n$  o  $I_r$ ) y además está compuesta por un dispositivo electromagnético, que cuenta con un disparo instantáneo ( $I_a$ ) para la protección de cortocircuitos, dichas características se pueden observar en la Figura 3.25.



**Figura 3.24:** Interruptor automático 3VA2.



**Figura 3.25:** Unidades de disparo interruptor automático.

En la Figura 3.26, se muestra la gama de interruptores automáticos 3VA2 que se utilizará como dispositivos de protección, en la cual se puede percibir los rangos de regulación de cada dispositivo como para la parte térmica como de la parte magnética.

Tipo	Regulación (A)		Capacidad de ruptura simétrica (kA)		
	Térmica	Cortocircuito	240V	440V	500V
<b>Interruptores 3 polos con disparador electrónico ETU320 Protección LI</b>					
3VA2025-5HL32-0AA0	10...25	38...300	85	55	36
3VA2040-5HL32-0AA0	16...40	60...480	85	55	36
3VA2063-5HL32-0AA0	25...63	95...756	85	55	36
3VA2010-5HL32-0AA0	40...100	150...1200	85	55	36
3VA2116-5HL32-0AA0	63...160	240...1600	85	55	36
3VA2225-5HL32-0AA0	100...250	375...2500	85	55	36
3VA2340-5HL32-0AA0	160...400	600...4000	85	55	36
3VA2463-5HL32-0AA0	250...630	945...5670	85	55	36

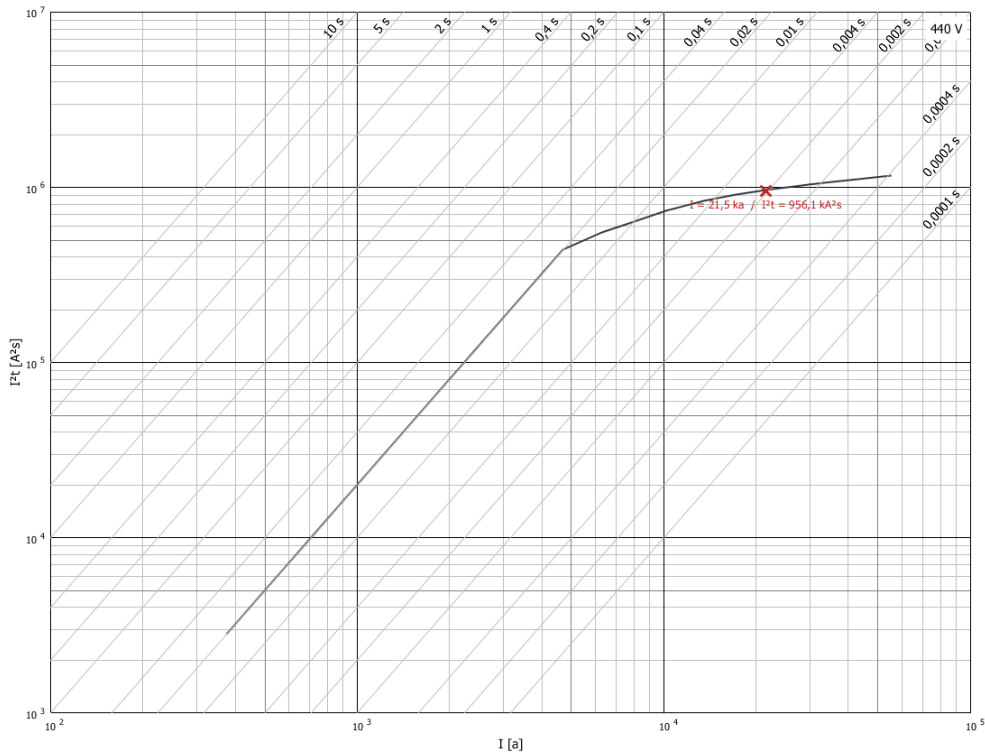
**Figura 3.26:** Gama de interruptores automáticos 3VA2 [8].

A continuación, en la Tabla 3.24, se muestra la comprobación de cada una de las condiciones para la selección del equipo de protección.

**Tabla 3.24:** Condiciones de sobrecarga y cortocircuito.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito						
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$		$I_{cc,m\acute{a}x} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$	
AL5	3WT80805AA000AA2	546,89	600	675	780	978,75	55	25,60	7,17	5,76	3,25E+06	1,48E+08	
R1	3VA22255HL320AA0	241,44	250	260	325	377	55	21,53	4,81	2,5	9,56E+05	2,35E+08	
R2	3VA20635HL320AA0	37,36	40	55	52	79,75	55	21,53	1,61	0,756	4,84E+05	1,43E+06	
R3	3VA22255HL320AA0	200,92	220	225	286	326,25	55	21,53	3,91	2,5	9,56E+05	1,48E+08	
R4	3VA20105HL320AA0	73,70	90	95	117	137,75	55	21,53	1,95	0,6	4,84E+05	9,14E+06	
R5	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	21,53	0,53	0,48	4,84E+05	5,64E+05	
R6	3VA20635HL320AA0	34,26	40	40	52	58	55	21,53	1,77	0,746	4,84E+05	5,64E+05	
R7	3VA22255HL320AA0	180,02	200	225	260	326,25	55	25,60	6,01	2,5	9,97E+05	1,48E+08	
DERIVACIONES													
R2.1	3VA20405HL320AA0	6,42	16	24	20,8	34,8	55	3,22	1,21	0,24	1,89E+05	2,24E+05	
R2.2	3VA20405HL320AA0	21,53	24	24	31,2	34,8	55	3,22	1,10	0,24	1,89E+05	2,24E+05	
R2.3	3VA20255HL320AA0	13,38	16	24	20,8	34,8	55	3,22	0,60	0,3	1,89E+05	2,24E+05	
R6.1	3VA20405HL320AA0	13,99	16	24	20,8	34,8	55	3,53	1,02	0,24	2,04E+05	2,24E+05	
R6.2	3VA20405HL320AA0	23,07	24	24	31,2	34,8	55	3,53	1,02	0,24	2,04E+05	2,24E+05	

Para determinar el valor de  $(I^2 \cdot t)$  se consulta en la curva de energía de paso del dispositivo (ver Figura 3.27), a partir de la corriente de cortocircuito máxima ( $I_{cc,max}$ ), para el caso del ramal (R1) se obtiene un valor de  $(956,1 \text{ kA}^2 \text{ s})$  con una corriente de cortocircuito máxima de 21,53 kA. Por lo tanto, la energía que deja pasar el dispositivo de protección durante el cortocircuito  $(956,1 \text{ kA}^2 \cdot \text{s})$  es menor a la que soporta el cable en toda su extensión  $(2,35\text{E}+08 \text{ A}^2 \text{ s})$ .



**Figura 3.27:** Curva de energía.

### 3.2.12 Coordinación de protecciones.

#### 3.2.12.1 Introducción.

La coordinación de protecciones es la aplicación de dispositivos de protección conectados en serie en un sistema eléctrico. Para asegurar que el sistema de eléctrico funcione correctamente ante una falla por sobreintensidad (sobrecarga o cortocircuito) es preciso determinar las características principales del dispositivo de protección.

La ubicación y la coordinación entre los dispositivos permite eliminar una falla por sobrecarga o cortocircuito en el menor tiempo posible, actuando únicamente el dispositivo de protección más cercano a la falla de tal forma de disminuir el daño al equipo eléctrico, electrónico y sobre todo reducir los costos por salidas de servicio de la carga vinculada [20].

#### 3.2.12.2 Concepto de selectividad

Selectividad es la coordinación de los dispositivos automáticos una vez que se produzca un defecto en cualquier punto de la instalación, lo que permite desconectar dispositivo de protección más cercano afectado por dicho defecto.

- **Selectividad total:** Un sistema es totalmente selectivo si para cualquier valor de la corriente de defecto  $D_2$  se abre y  $D_1$  permanece cerrado, en otras palabras, una selectividad es total cuando las curvas de operación de los dispositivos no se cruzan.
- **Selectividad parcial:** La selectividad es parcial cuando las curvas de operación se interceptan en un cierto punto, a este valor se conoce como límite de selectividad.



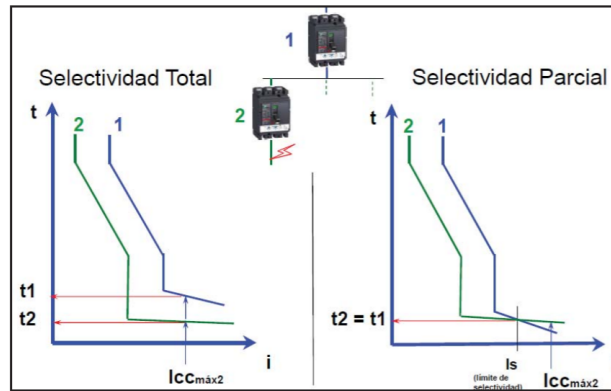


Figura 3.28: Tipos de selectividad.

**3.2.12.2.1 Técnicas para la comprobación del nivel de selectividad:** A continuación, se presentan dos técnicas que se utiliza para una selectividad parcial o completa para las líneas de producción.

- **Amperimétrica.**

Se basa en la diferencia de intensidad de las curvas de funcionamiento de los interruptores automáticos aguas arriba y aguas abajo, esta técnica se verifica con el fin de que no se superpongan entre sí. Este nivel de selectividad se refiere a la protección contra sobrecargas.

La selectividad amperimétrica se obtiene de la siguiente manera:

- Para obtener la selectividad en la zona de sobrecarga, la relación entre las intensidades reguladas ( $I_R$ ) debe ser al menos de 1,6.
- Para obtener la selectividad en la zona de cortocircuito, normalmente la relación entre las intensidades de ajuste magnético ( $I_a$  o  $I_m$ ) debe ser como mínimo de 1,5.

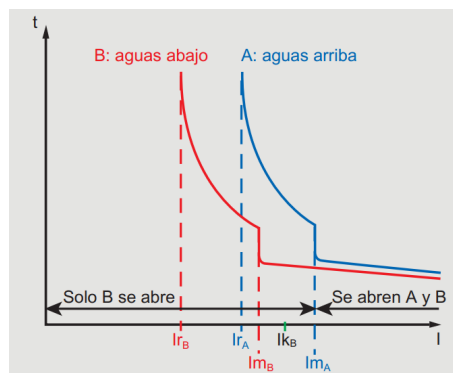
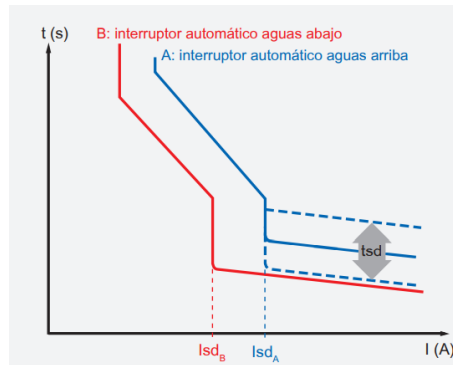


Figura 3.29: Selectividad amperimétrica [9].

- **Cronométrica.**

Esta técnica se fundamenta en la diferencia de tiempo ( $t_{sd}$ ) de las curvas de disparo de los interruptores en serie y se usa para la selectividad en la zona de cortocircuito.



**Figura 3.30:** Selectividad cronométrica [9].

### 3.2.12.3 Coordinación de protecciones Interruptor Automático principal - Automático secundario.

Para el análisis de la coordinación de protecciones en las líneas de producción se realizará entre interruptores automáticos, o llamados magnetotérmicos (ITM). Este proceso consiste en realizar la coordinación del (ITM) principal del tablero de distribución con los (ITM) de cada ramal, a continuación, se muestra las curvas que se obtienen mediante el programa SIMARIS curves.

Es importante que se mencione, en todos los casos, para la protección de la línea 5 se va a realizar a través de una selectividad parcial, puesto que, si se requiere una selectividad total, es necesario contar con características de dispositivos electrónicos más avanzadas. Con una selectividad parcial y con una adecuada configuración de las variables en él (ITM) se asegura una continuidad de servicio y si en caso de presentarse una falla solo actúe el dispositivo más cercano a la falla.

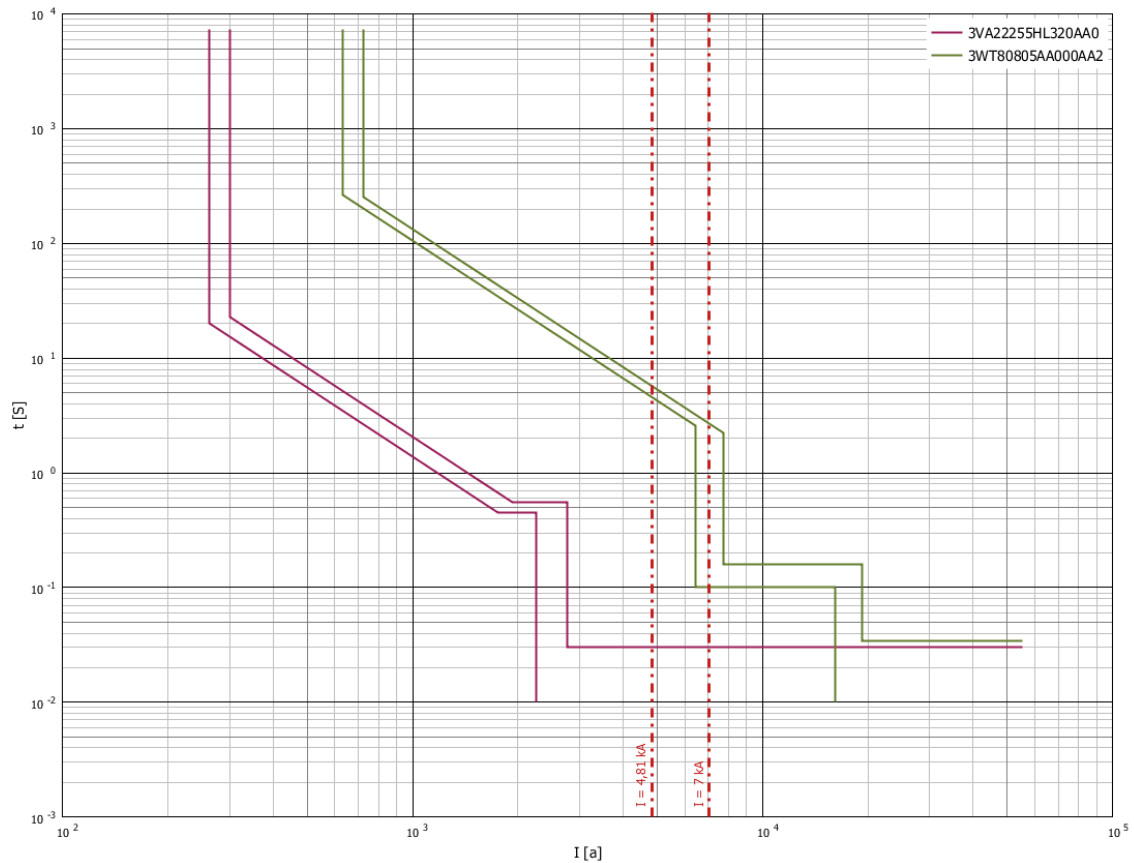
- **Coordinación ITM general – ITM ramal 1**

Para que exista una coordinación de protecciones entre dos interruptores termomagnéticos se debe cumplir con las siguientes condiciones.

1. Las curvas de los termomagnéticos no deben solaparse, tanto en la zona de sobrecarga como en la zona de cortocircuito.
2. Se debe cumplir la siguiente igualdad [9] [21].

$$\frac{I_{r1}}{I_{r2}} \geq 1,6$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} \geq 1,5$$



**Figura 3.31:** Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R1.

**Tabla 3.25:** Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM general - ITM-R1.

Designación	L			S		I
	$I_n$ (A)	$I_r$ (A)	$t_r$ (s)	$I_{sd}$ (A)	$t_{sd}$ (s)	$I_a$ (A)
3WT80805AA000AA2 (AL5)	800	600	10	6400	0,1	16000
3VA22255HL320AA0 (R1)	250	250	0,75	-	-	2500

#### Análisis:

- En este caso existe una selectividad parcial, en vista de que el límite de selectividad se da en la zona de cortocircuito a una corriente de 16 kA.
- Comprobación de igualdades:

$$\frac{I_{r1}}{I_{r2}} \geq 1,6 \rightarrow \frac{600}{250} \geq 1,6 \rightarrow 2,4 \geq 1,6 \rightarrow \text{Cumple}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} \geq 1,5 \rightarrow \frac{16000}{2500} \geq 1,5 \rightarrow 6,4 \geq 1,5 \rightarrow \text{Cumple}$$

### Interpretación de los valores de la gráfica tiempo-corriente:

- $I_r$  (A): **Valor de ajuste para el relé de sobrecarga (L)**, es la intensidad regulable que se puede variar de acuerdo a la corriente de carga  $I_b$ .
- $t_r$  (s): **Valor de tiempo del relé (L)**, es la temporización del disparo por sobrecarga, este valor puede ser modificado con la finalidad de que las curvas no se solapen en la zona de sobrecarga.
- $I_{sd}$  (A): **Valor de ajuste del relé de cortocircuito retardado de breve duración (S)**, indica que el (ITM) del (AL5) abrirá el circuito instantáneamente cuando se produzcan corrientes mayores a 6,4 kA.
- $t_{sd}$  (s): **Valor de tiempo del relé (S)**, indica que cuando se produzcan corrientes mayores a 6,4 kA este abrirá el circuito de manera instantánea en un tiempo de  $t_{sd}= 0,1$  s.
- $I_a$  (A): **Valor de ajuste del relé de cortocircuito instantáneo ( $I_a$ )**, este valor indica que el (ITM) principal abrirá el circuito instantáneamente cuando se produzcan corrientes mayores a 16 kA, mientras que para el (ITM) del ramal 1 (R1) abrirá el circuito cuando se produzcan corrientes mayores a 2.500 A.
- El software SIMARIS Curves, no permite que se introduzca la curva térmica característica del conductor y la curva de daño del transformador o también conocida como curva (Z), lo que genera que no se aprecie visualmente una coordinación de protecciones entre todos los elementos compuestos por la instalación. No obstante, anteriormente en la tabla 3.24 se observa que se cumplen todas las condiciones para la selección del dispositivo de protección, y por ende se asegura que el conductor está protegido ante una falla por sobrecorriente, lo que visualmente no se verifica.
- A continuación, se introduce la coordinación de protecciones entre el dispositivo de protección del transformador y el dispositivo de protección principal del tablero de distribución de la línea 5 (TD-L5), para ello se realizará un cálculo previo.

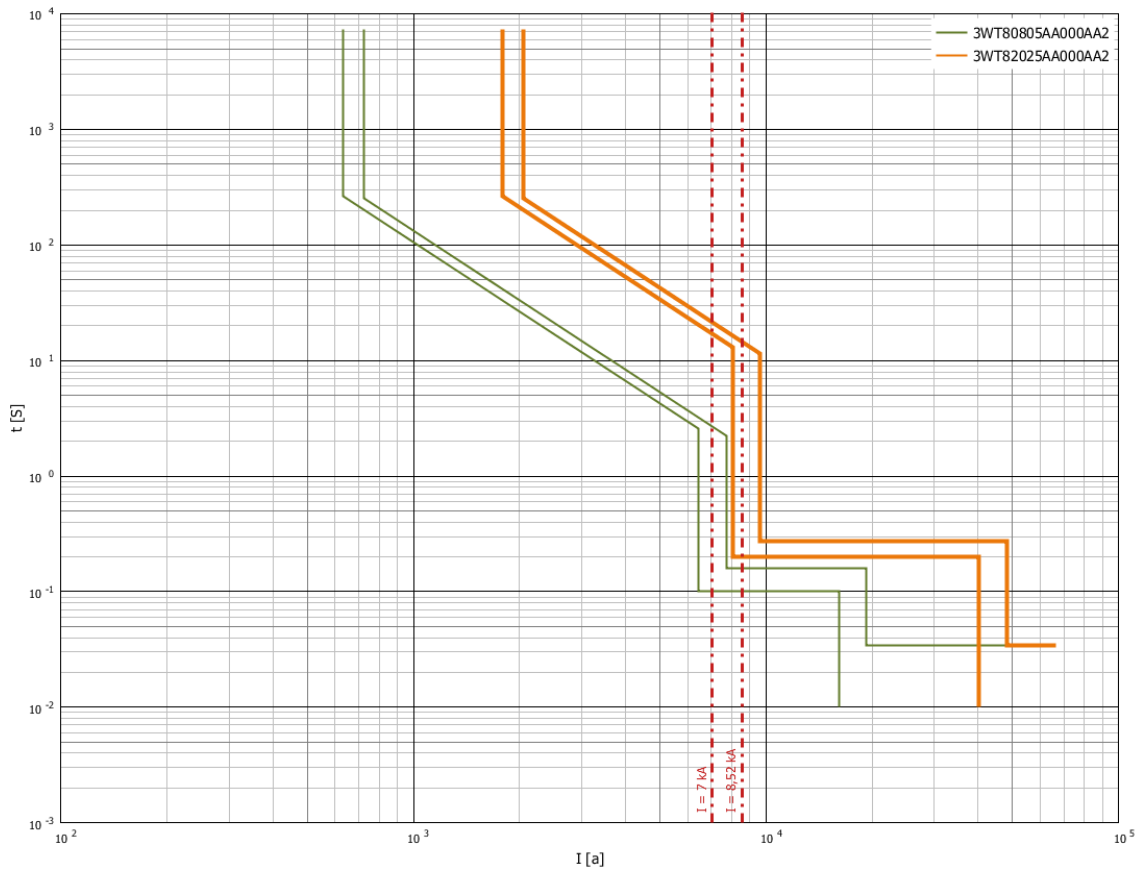
### Corriente nominal del transformador:

$$I_{ntrafo} = \frac{1,25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot (440 \text{ V})} = 1640,19 \text{ A}$$

Con el valor de la corriente nominal se selecciona el dispositivo de protección, el modelo 3WT82025AA000AA2 de la gama 3WT (Siemens) Interruptores Automáticos de Potencia de Caja Abierta, permite ajustar el valor de la corriente nominal a un valor de 1700 A.

Para ajustar la parte magnética del dispositivo de protección ( $I_a$ ), se analiza con la corriente de cortocircuito Fase-Neutro, que representa la corriente de cortocircuito mínima. Para la sección del conductor de neutro se considera la mitad al de la fase, además en la Tabla 3.21 se visualiza la corriente de cortocircuito trifásica en los bornes del transformador (25,60 kA), para lo cual la  $I_{ccmín}$  es igual a  $25,60 \text{ kA} \cdot 0,333 = 8,52 \text{ kA}$ .

En la Figura 3.32, se aprecia que existe la coordinación entre el dispositivo de protección del transformador (ITM-T1) con el dispositivo de protección principal del tablero de distribución de la línea 5 (ITM-AL5).



**Figura 3.32:** Coordinación de protecciones Transformador y (TD-L5).

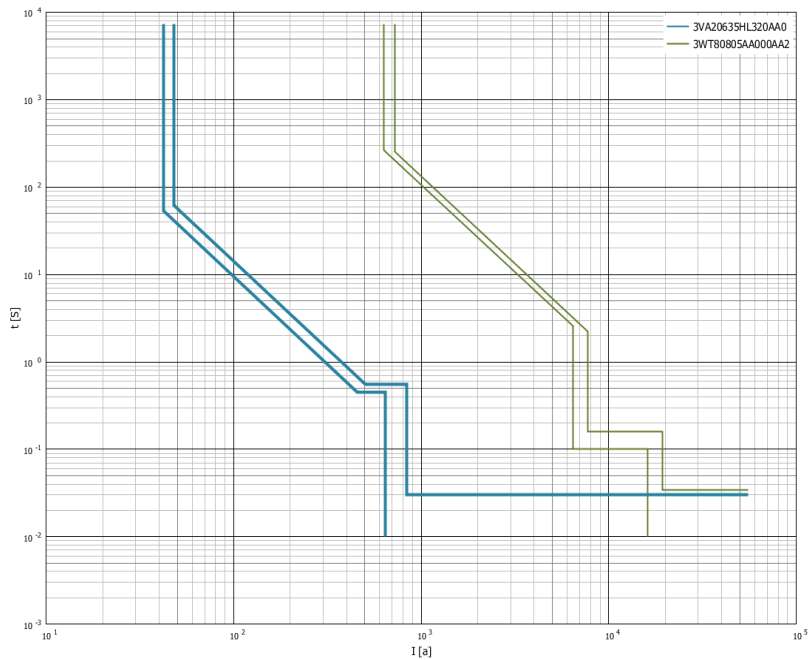
**Tabla 3.26:** Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM-T1 - ITM-AL5.

Designación	L			S		I
	$I_n$ (A)	$I_r$ (A)	$t_r$ (s)	$I_{sd}$ (A)	$t_{sd}$ (s)	$I_a$ (A)
3WT80805AA000AA2 (ITM-AL5)	800	600	10	6400	0,1	16000
3WT80805AA000AA2 (ITM-T1)	2000	1700	10	8000	0,2	40000

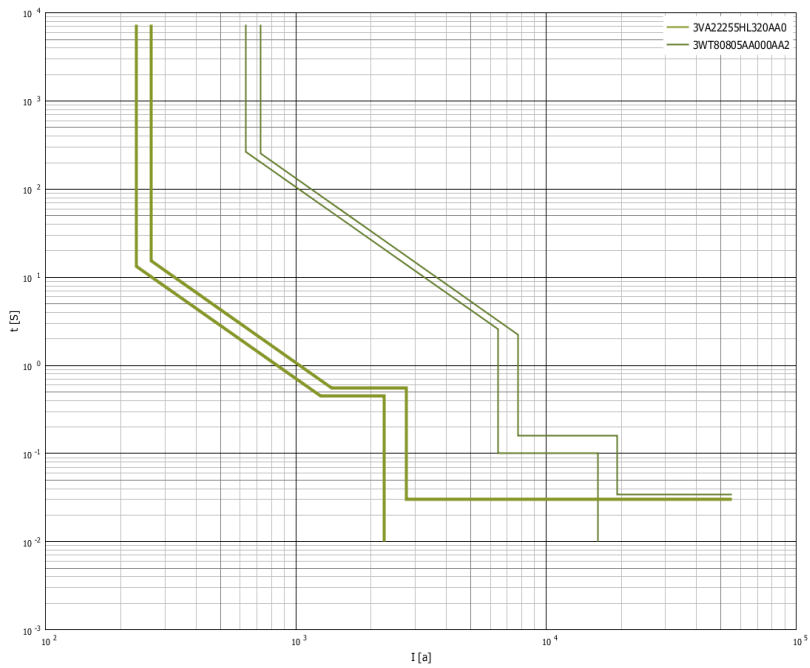
### **Análisis de la coordinación de protecciones entre ITM-T1 y ITM-AL5:**

- Existe una selectividad parcial, puesto que el límite de selectividad se da a una corriente de 40 kA, lo que significa que para corrientes de cortocircuito menores a 40 kA en el tablero de distribución (TD-L5), abrirá él (ITM-AL5) y para corrientes mayores a 40 kA abrirá tanto él (ITM-AL5) como él (ITM-T1).
- La corriente de cortocircuito mínima en los bornes del transformador es de 8,52 kA, lo que provoca que se ajuste el valor  $I_{sd}$  a 8 kA, en otras palabras, el dispositivo abrirá el circuito instantáneamente cuando se produzcan corrientes mayores a 8 kA en los bornes del transformador. En la Figura 3.32 se comprueba lo mencionado.

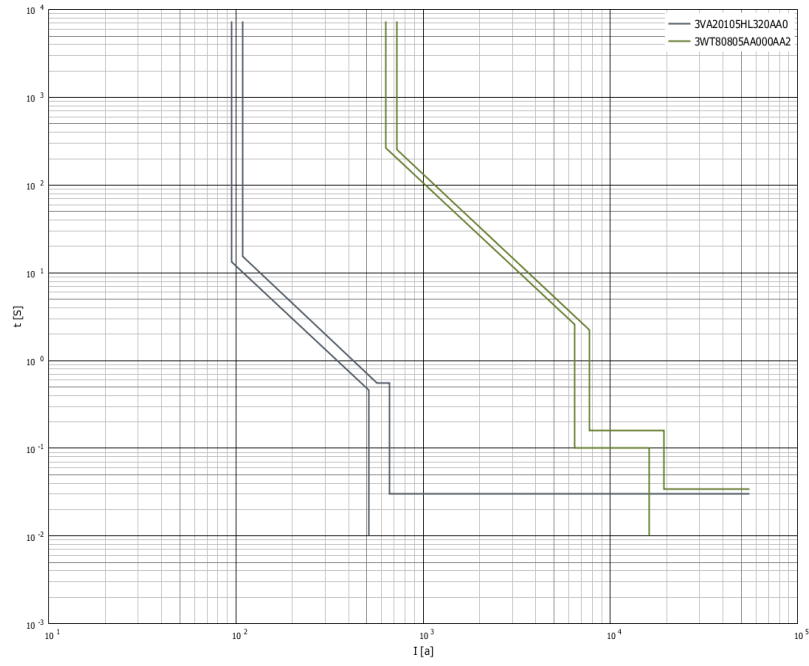
## Coordinación entre Interruptor Automático Principal – Interruptor automático de los ramales principales



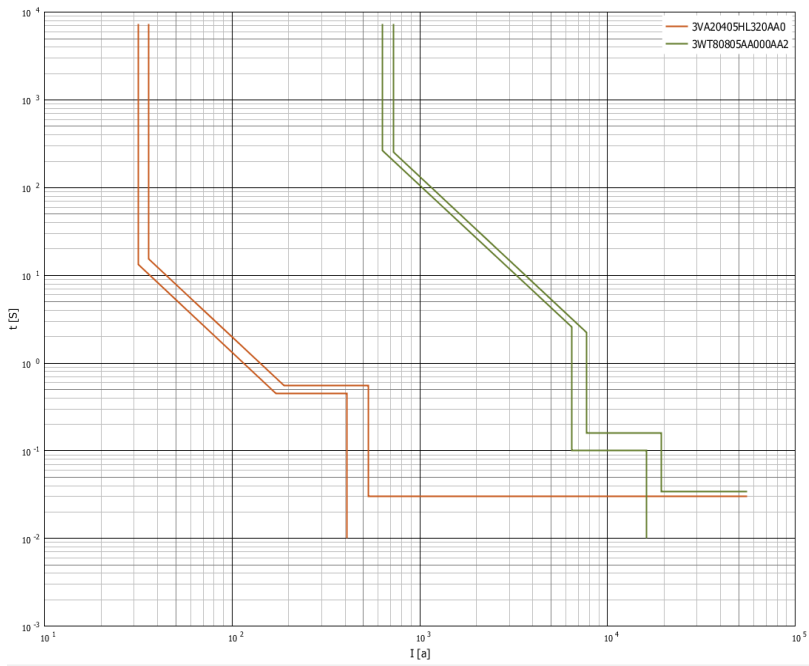
Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R2



Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R3

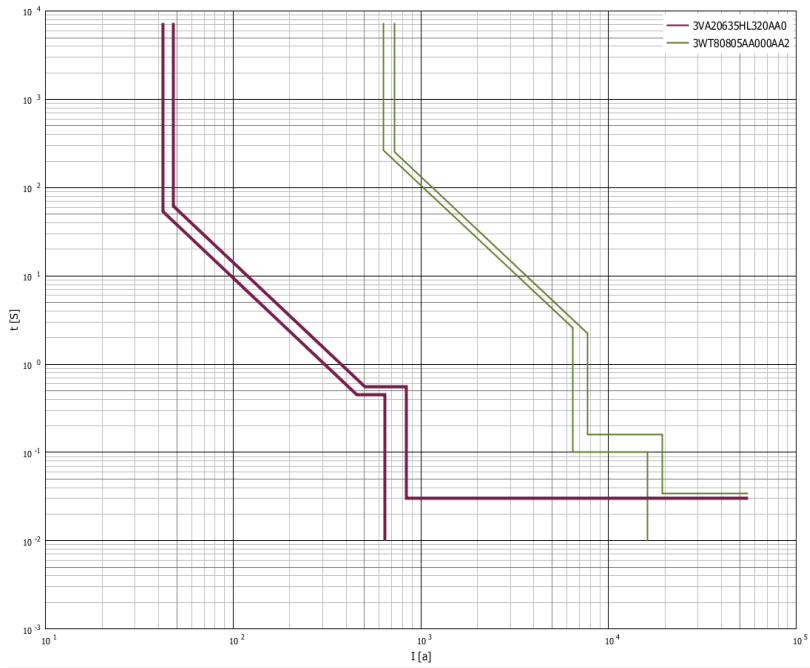


*Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R4*

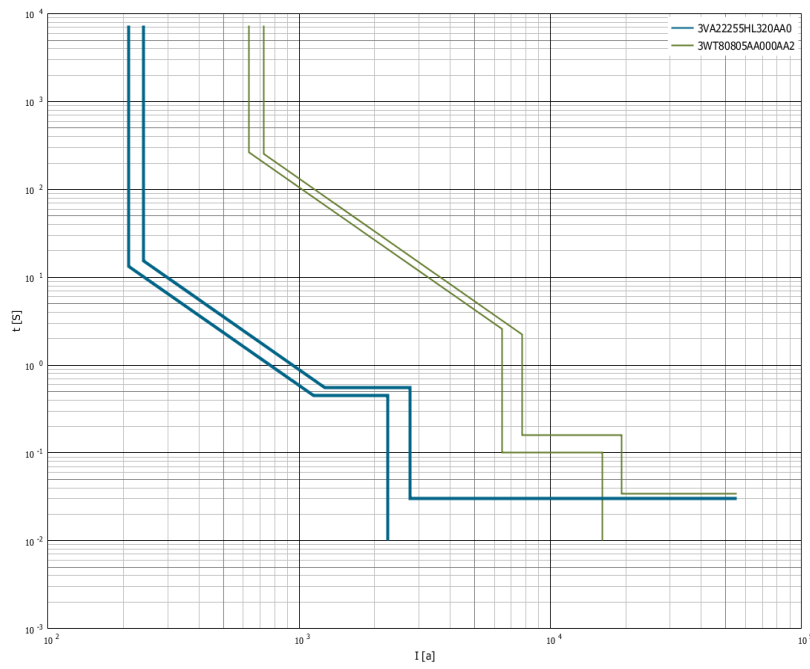


*Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R5*



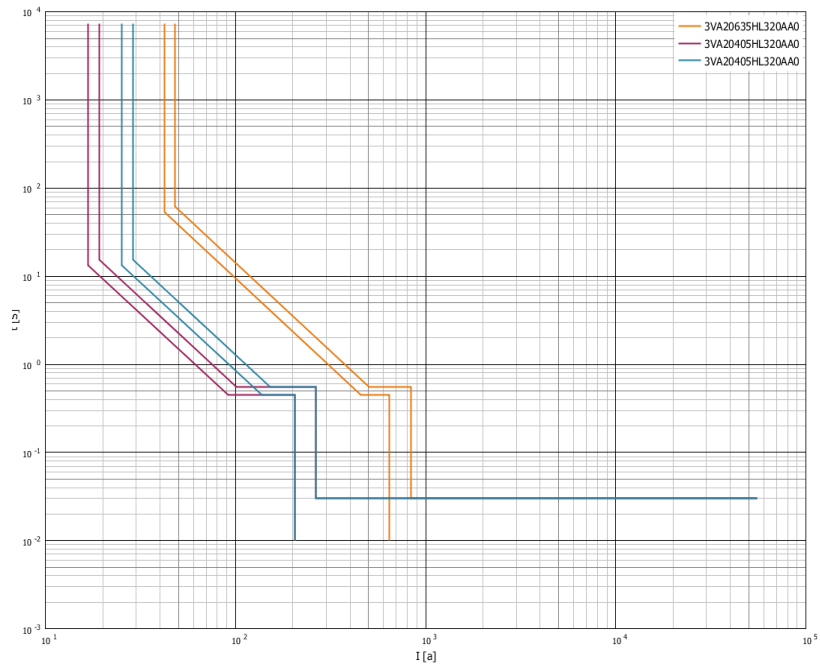


*Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R6*

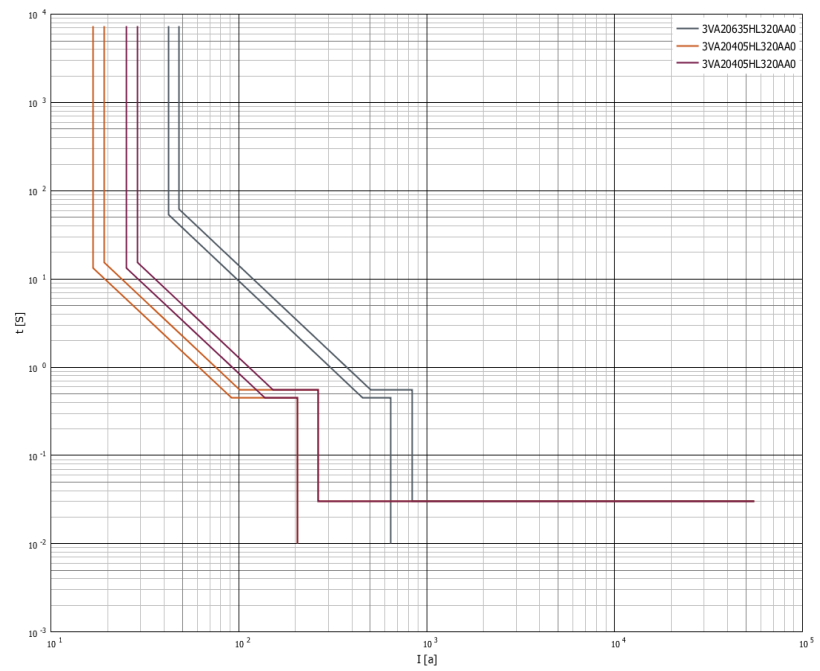


*Coordinación de protecciones ITM principal - ITM R7*

## Coordinación entre Interruptor Automático Principal – Interruptor automático Derivaciones



Coordinación de protecciones ITM R21 - ITM R2.1-R2.2



Coordinación de protecciones ITM R6- ITM R6.1-R6.2

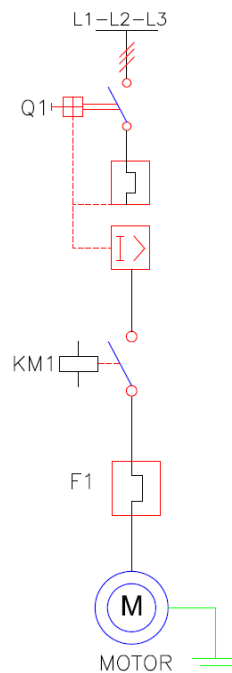
### 3.2.13 Ejemplo de cálculo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente y sobrecarga para circuitos derivados de motores.

En la línea de esmalte existen diversos motores que permite el control de cada estación de trabajo, para contar con una alta confiabilidad y seguridad para la continuidad y estabilidad de la producción, implica que se cuente con un sistema de protección para cada motor, que ante la ocurrencia de una sobrecorriente en el motor el dispositivo de protección dé apertura al circuito perjudicado, de manera que la protección principal de la línea de esmalte no se vea afectada.

La coordinación de protecciones para los motores eléctricos se puede dar entre los siguientes dispositivos:

1. Fusible + Relé térmico,
2. Termomagnético + Relé térmico,
3. Guardamotor.

Para este ejemplo se realizará el cálculo de los dispositivos para las dos primeras configuraciones, como guía se toma el Código de Práctica Ecuatoriana CPE INEN 19:2001 “Código Eléctrico Nacional”.



**Figura 3.33:** Sistema de protecciones para motores.

### 1. Cálculo de la protección contra sobrecorriente (Q1).

Para calcular el dispositivo de sobrecorriente, se hace uso de la Tabla 3.30 donde se especifica la capacidad nominal máxima o ajuste de disparo de los dispositivos de protección para circuitos ramales de motores contra cortocircuito y falla a tierra. El tipo de disparo del interruptor automático es de tiempo inverso.

### 2. Cálculo de la protección contra sobrecarga (F1).

Finalmente, para el cálculo de la protección contra sobrecarga se tiene en cuenta el siguiente criterio.

- En el artículo 430-32.(Motores de servicio continuo), se menciona que el dispositivo a elegir para que opere deberá tener una capacidad nominal no menor al siguiente porcentaje de la corriente nominal de placa característica del motor.
  - Motores con un factor de servicio rotulado no menor a 1,15: 125%
  - Motores con un aumento de temperatura rotulado de más de 40°C: 125%
  - Todos los demás motores: 125%

1. **Ejemplo práctico 1:** Realizar la coordinación de protecciones entre el interruptor termomagnético y un relé térmico, se tiene los siguientes datos:

$$\begin{aligned}V_n &= 440 \text{ V} \\P &= 0,75 \text{ kW} - 1 \text{ HP} \\I_n &= 1,5 \text{ A} \\ \varphi &= 0,72 \\FS &= 1,15\end{aligned}$$

**Interruptor termomagnético (Q1) de riel DIN (Curva Tipo C).**

$$I_{TM} = I_{PC} \cdot K_1 \quad (3.47)$$

Donde:

$I_{PC}$ : Corriente a plena carga del motor.

$K_1$ : Capacidad nominal de ajuste de disparo de protección del motor.

$$\begin{aligned}I_{TM} &= 2,1 \cdot 2,5 \\I_{TM} &= 5,25 \rightarrow 6 \text{ A (Valor Comercial)}\end{aligned}$$

### Relé termomagnético (F1).

$$I_{RT} = I_n \cdot K_2 \quad (3.48)$$

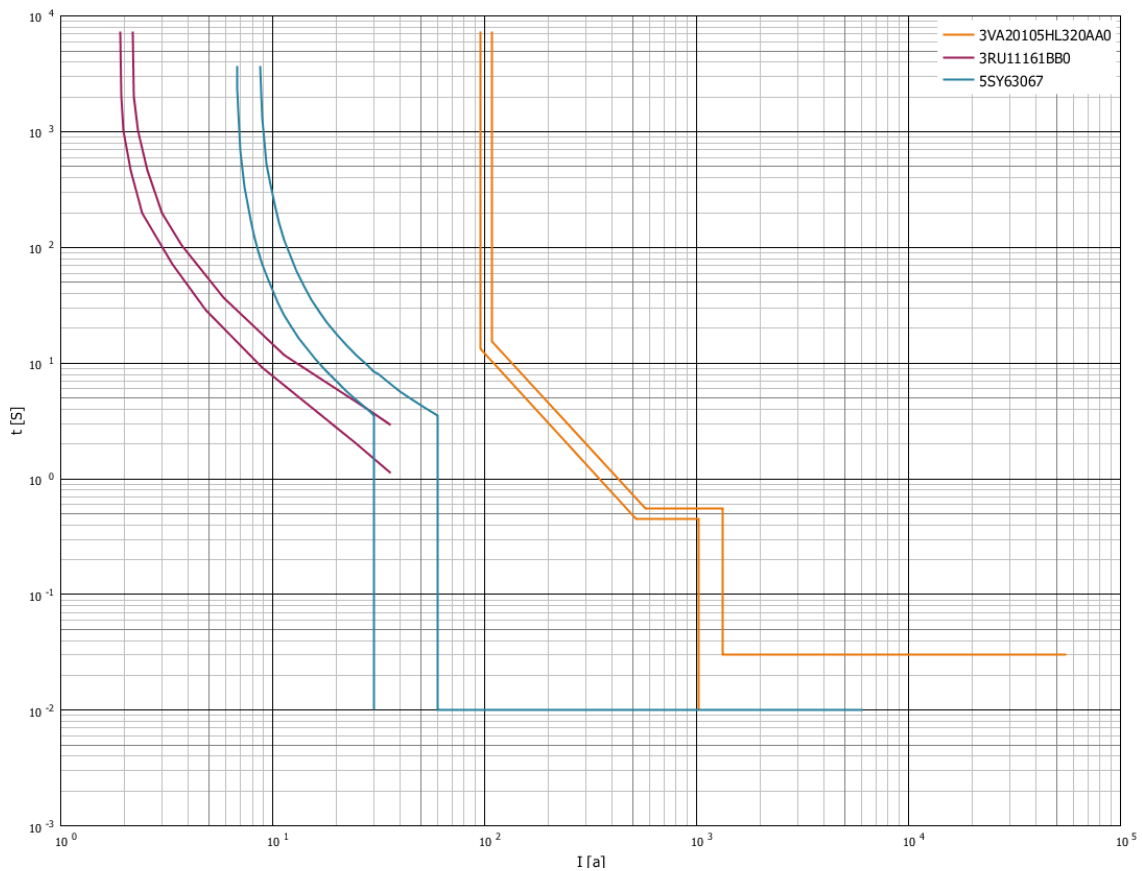
Donde:

$I_n$ : Corriente nominal del motor (Dato de placa).

$K_1$ : Factor de servicio del motor.

$$I_{RT} = 1,5 \cdot 1,15$$

$$I_{RT} = 1,73 \rightarrow 2 \text{ A (Valor Comercial)}$$



**Figura 3.34:** Interruptor Termomagnético + Relé térmico.

**Tabla 3.27:** Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del ITM - relé térmico.

Designación	L			I
	$I_n$ [A]	$I_r$ [A]	$t_r$ [s]	$I_a$ [A]
3VA20105HL320AA0 - Línea de esmalte (R4)	100	90	0,5	1200
3RU11161BB0 - (Relé térmico M1)	2	1,8	10	-
5SY63067 - (Termomagnético M1)	6	6	-	30

Como se muestra en la Figura 3.34, existen intersecciones entre las curvas, esto se debe a que el relé térmico está diseñado para proteger al motor de una sobrecarga prolongada, mientras que la característica magnética del termomagnético protege ante una falla por cortocircuito.

El valor de la corriente de disparo magnético debe estar por encima de las corrientes provocadas por un motor durante el arranque, ese criterio se comprueba a partir de los umbrales fijados ( $5I_n$ - $10I_n$  para una curva tipo “C”) del disparo magnético de un interruptor automático. Del ejemplo anterior se tiene que corriente provocada durante el arranque puede llegar a ser de 15A lo cual es por debajo del disparo magnético que es de 30A, lo cual se asegura que no va a existir un disparo magnético al momento del arranque de dicho motor.

2. **Ejemplo práctico 2:** Con los datos tomados del ejemplo 1, realizar la coordinación de protecciones entre un fusible y un relé térmico.

**Fusible.**

$$I_F = I_{PC} \cdot K_1 \quad (3.49)$$

Donde:

$I_{PC}$ : Corriente a plena carga del motor.

$K_1$ : Capacidad nominal de ajuste de disparo de protección del motor.

$$I_{TM} = 2,1 \cdot 1,75$$

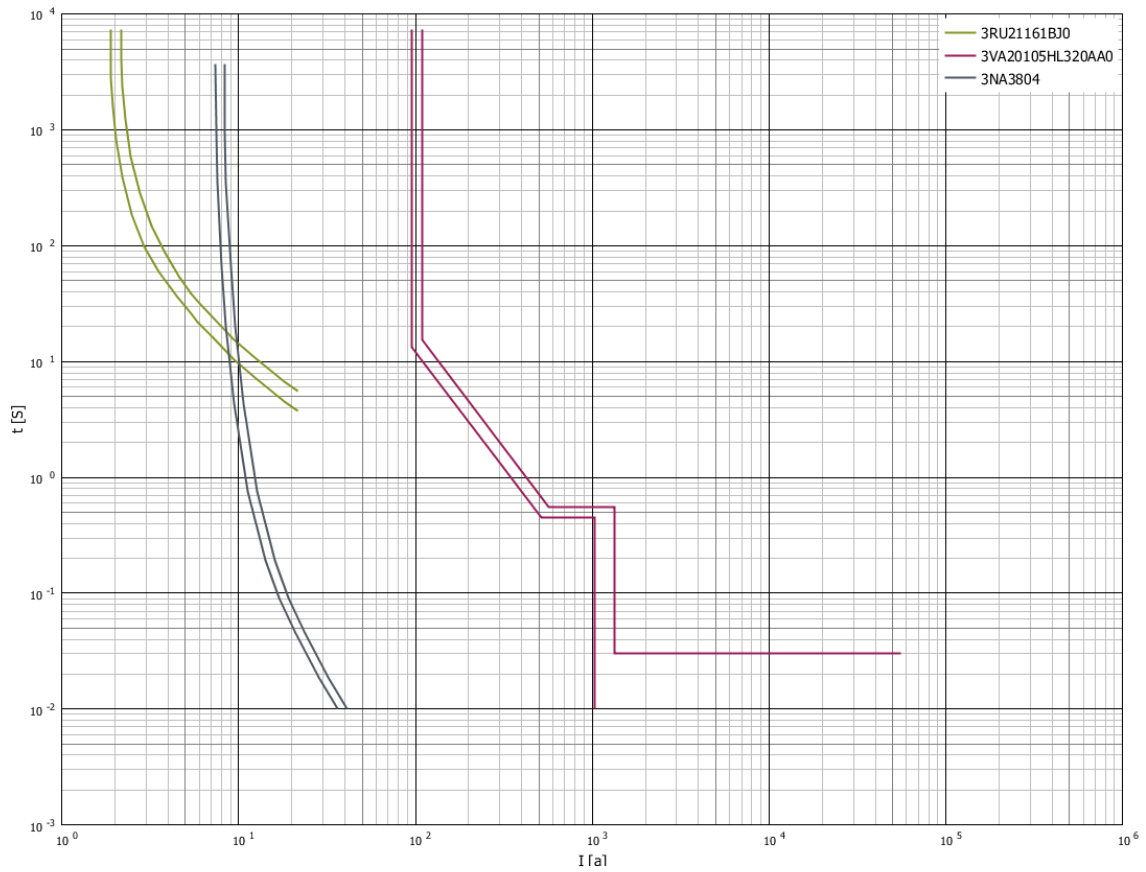
$$I_{TM} = 3,675 \rightarrow 4 \text{ A (Valor Comercial)}$$

**Relé termomagnético (F1).**

$$I_{RT} = 1,73 \rightarrow 2 \text{ A (Valor Comercial)}$$

**Tabla 3.28:** Parámetros de ajuste entre los dispositivos de protección del Fusible - relé térmico.

Designación	L			I
	$I_n$ [A]	$I_r$ [A]	$t_r$ [s]	$I_a$ [A]
3VA20105HL320AA0 -Línea de esmalte (R4)	100	90	0,5	1200
3RU21161BJ0 - (Relé térmico M1)	2	1,8	10	-
3NA3804 - (Fusible M1)	4	-	-	-



**Figura 3.35:** Fusible + Relé térmico.

De la misma forma, para proteger al motor contra sobrecargas, se utiliza un relé térmico, y para la zona de cortocircuito se requiere de un fusible tipo "aR". Por motivos de simulación se utiliza un fusible tipo "NH".

**Tabla 3.29:** Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna [2].

		Motores de inducción de jaula de ardilla y rotor devanado. (A)							Motores sincrónicos con factor de potencia unitaria *. (A)			
kW	HP	115 V	200 V	208 V	230 V	460 V	575 V	2 300 V	230 V	460 V	575 V	2 300 V
0,373	1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9					
0,560	3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3					
0,746	1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7					
1,119	1 1/2		6,9	6,6	6,0	3,0	2,4					
1,492	2	12,0	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7					
2,238	3	13,6	11,0	10,6	9,6	4,8	3,9					
3,730	5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1					
5,595	7 1/2		25,3	24,2	22	11	9					
7,460	10		32,2	30,8	28	14	11					
11,19	15		48,3	56,2	42	21	17					
14,92	20		62,1	59,4	54	27	22		53	26	21	
18,65	25		78,2	74,8	68	34	27					
22,38	30		92	88	80	40	32		63	32	26	
29,84	40		120	114	104	52	41		83	41	33	
37,20	50		150	143	130	65	52		104	52	42	

**Tabla 3.30:** Capacidad nominal máxima o ajuste de disparo de los dispositivos de protección para circuitos ramales de motores contra cortocircuito y falla a tierra [2].

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo **	Fusible con retardo de tiempo ** (elemento dual)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de disparo inverso
Monofásicos				
Polifásicos de c.a. distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla:				
Todos menos los de diseño E	300	175	800	250
Los de diseño E	300	175	1100	250
Sincrónicos ***	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De c.c. (voltaje constante)	150	150	250	150



## CAPÍTULO 4

# CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

### 4.1 Introducción

En este capítulo se presenta una nueva propuesta para el sistema de iluminación de las 3 naves industriales que cubren las 5 líneas de producción, con el objetivo de asegurar que cada nave industrial cuente con un óptimo grado de iluminación para asegurar la estabilidad del personal y la tranquilidad al instante de realizar las actividades designadas. Anteriormente se comprobó que las instalaciones de iluminación permanecen en mal estado, producto de un mal diseño de las mismas, lo que provoca que los niveles de iluminación no cumplan con los luxes requeridos para cada estación de trabajo.

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) Capítulo 15 Instalación Electromecánica, sugiere los niveles mínimos de iluminación en las diferentes superficies para un local industrial, como se muestra en la Tabla 4.1, y de esta manera garantizar un índice adecuado de iluminación en especial para las áreas de trabajo [12].

**Tabla 4.1:** Niveles de iluminación recomendados [12].

Tipo de local	Nivel mínimo de iluminación recomendada.
Áreas de trabajo	300 luxes
Áreas de circulación (pasillos, corredores, etc.)	50 luxes
Escaleras, escaleras mecánicas	100 luxes
Áreas de parqueadores cubiertos	30 luxes

## 4.2 Cálculo de luminarias

Para el cálculo de luminarias se considera las fichas técnicas de los fabricantes (factor de utilización, potencia de luminaria y lúmenes de la luminaria). Además de esto las características físicas del área que va a ser iluminada, ya que cada nave industrial consta de diferentes medidas lo cual crea una variación en el número de luminarias por cada nave industrial. Como modo de ejemplo para determinar el número de luminarias que garantice un mínimo de 300 luxes se toma como referencia a la nave industrial 3.

En [22] se establece los pasos previos para realizar el cálculo de las luminarias.

- **Análisis del proyecto a realizar:** Consiste en definir que tipo de actividad se lleva a cabo en el local.
- **Definir parámetros del local:** En este punto se establece las dimensiones del local considerando su forma geométrica y además de verificar los coeficientes de reflexión de las superficies (techo, pared y suelo).
- **Seleccionar el nivel de iluminación:** Escoger el nivel mínimo de iluminación recomendado de acuerdo con el área de trabajo.
- **Seleccionar lámpara:** En este último aspecto se selecciona el modelo y la tecnología de la lámpara a implementar, con la finalidad de obtener las características principales, tales como flujos luminosos (lm), potencia (W), coeficiente de utilización, etc.

A continuación, se presenta una metodología empleada en el diseño de un sistema de iluminación, como lo menciona en [23].

### Cálculo de la cantidad de luminarias por el método de lúmenes

#### 1. Especificaciones del plano de trabajo

Para determinar la altura de suspensión ( $h$ ) de la luminaria a colocar, depende directamente de la altura del local ( $H$ ) y la altura del plano de trabajo al suelo ( $h'$ ), como se muestra en la ecuación (4.1), esta ecuación es válida para locales con iluminación directa, semidirecta y difusa.

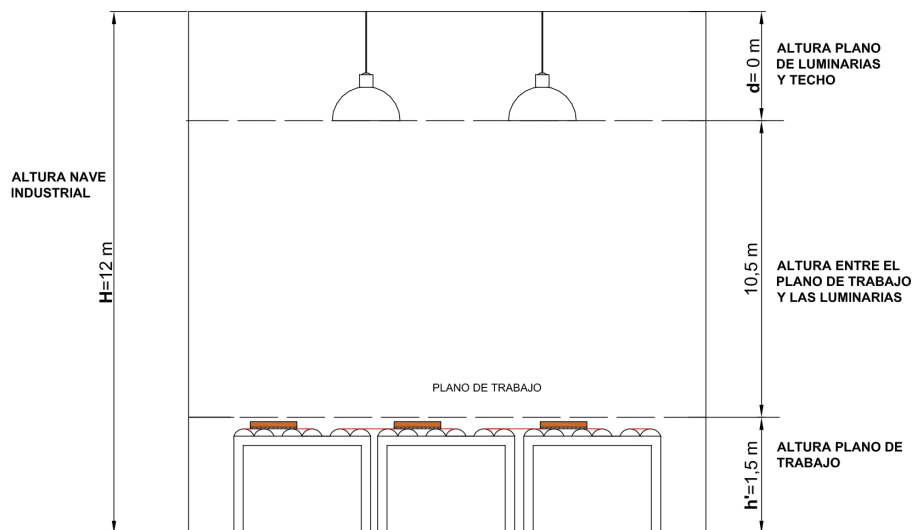
Por otra parte, el personal encargado de las líneas de producción están pendientes de la trayectoria de la cerámica por las bandas transportadoras con el fin de verificar que no se solapen entre sí, de modo que el valor de  $h'$  se estable en función de la altura de las bandas transportadoras. En la Figura 4.1 se muestra cada altura que interviene en el plano de trabajo útil.

$$h = \frac{4}{5}(H - h') \quad (4.1)$$

Donde:

<b>H</b>	Altura del local	12 m
<b>h'</b>	Plano de trabajo al suelo	1,5 m
<b>a</b>	Ancho del local	21 m
<b>b</b>	Largo del local	145 m

$$h = \frac{4}{5}(12 - 1,5) = 8,4 \text{ m}$$



**Figura 4.1:** Especificaciones del plano de trabajo de la nave industrial.

## 2. Cálculo del coeficiente de utilización $C_u$

Este coeficiente representa el flujo luminoso real utilizado en el plano de trabajo, el fabricante del equipo de iluminación proporciona las respectivas tablas para cada modelo denominadas tablas de coeficientes de utilización. Si el valor no se puede obtener de manera directa en la tabla, se desarrolla análisis numérico adicional por medio de una interpolación lineal.

Para determinar el coeficiente de utilización ( $C_u$ ) se evalúa dos parámetros iniciales:

- (a) Índice del local K: Se calcula a partir de la geometría del local, con la característica que el local presenta un sistema de iluminación directa, semidirecta y difusa se aplica la siguiente ecuación:

$$K = \frac{a \cdot b}{h' \cdot (a + b)} \quad (4.2)$$

$$K = \frac{21 \cdot 145}{8,4 \cdot (21 + 145)} = 2,184$$

- (b) Coeficiente de reflexión de las superficies: Para establecer este coeficiente se hace uso de los valores establecidos en la Tabla 4.2, en función de los diferentes materiales, superficies y acabados del techo, paredes y suelo.

**Tabla 4.2:** Coeficientes de reflexión.

	<b>Color</b>	<b>Factor de reflexión</b>
<b>Techo</b>	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
<b>Paredes</b>	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
<b>Suelo</b>	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

Para este ejemplo se toma por defecto los siguientes valores:

- Techo: 0,7
- Pared: 0,5
- Suelo: 0,3

La Tabla 4.3 indica los factores de utilización de una lámpara Metal Halide HPI-BU de 400 W, cuyo uso es para seleccionar el coeficiente de utilización (Cu) que es dependiente de los parámetros calculados previamente, uno de ellos es el índice del local (K) con un valor igual a 2,184, en vista que la tabla no posee dicho valor no se podrá hacer uso de forma directa, de manera que se ha llevado a cabo una interpolación lineal para obtener un valor más preciso.

**Tabla 4.3:** Factor de utilización.  
Fuente: Catálogo de Luminarias Philips.

<b>Factor de Área</b>	,80	,80	,70	,70	,70	,70
<b>K</b>	,50	,50	,50	,50	,50	,30
<b>,60</b>	,30	,10	,30	,20	,10	,10
<b>,80</b>	,45	,43	,45	,44	,43	,39
<b>1</b>	,52	,49	,51	,50	,48	,45
<b>1,25</b>	,57	,49	,56	,55	,53	,50
<b>1,50</b>	,62	,57	,61	,59	,57	,54
<b>2</b>	,66	,60	,64	,62	,59	,57
<b>2,50</b>	,71	,63	,69	,66	,63	,61
<b>3</b>	,74	,66	,73	,69	,65	,63
<b>4</b>	,77	,67	,75	,70	,67	,65
<b>5</b>	,79	,69	,77	,72	,68	,67
	,81	,70	,79	,73	,69	,68

Para la aproximación lineal se tiene:

$$y = Cu = \frac{y1 - y0}{x1 - x0} \cdot (x - x0) + y0 \quad (4.3)$$

Donde:

- x0: 2
- x1: 2,50
- y0: 0,69
- y1: 0,73

$$y = Cu = \frac{0,73 - 0,69}{2,50 - 2} \cdot (2,184 - 2) + 0,69$$

$$Cu = 0,70$$

### 3. Determinación del coeficiente de mantenimiento Cm.

Este coeficiente se refiere a las pérdidas iniciales de iluminación, a consecuencia del polvo y la suciedad.

**Tabla 4.4:** Coeficiente de mantenimiento

Ambiente	Cm
Limpio	0,8
Sucio	0,6

#### 4. Cálculo de flujo luminoso total.

Este valor indica el flujo luminoso total requerido para producir una iluminancia media de 300 luxes, el flujo total viene dado por la siguiente expresión:

$$\phi T = \frac{Em \cdot S}{Cu \cdot Cm} \quad (4.4)$$

Donde:

Em	Nivel medio de iluminación sobre el plano de trabajo (300 luxes)
Cm	Coefficiente de mantenimiento (0,8)
Cu	Coefficiente de mantenimiento (0,70)
S=(axb)	3054 m

$$\phi T = 1620373,1 \text{ Lúmenes} \quad (4.5)$$

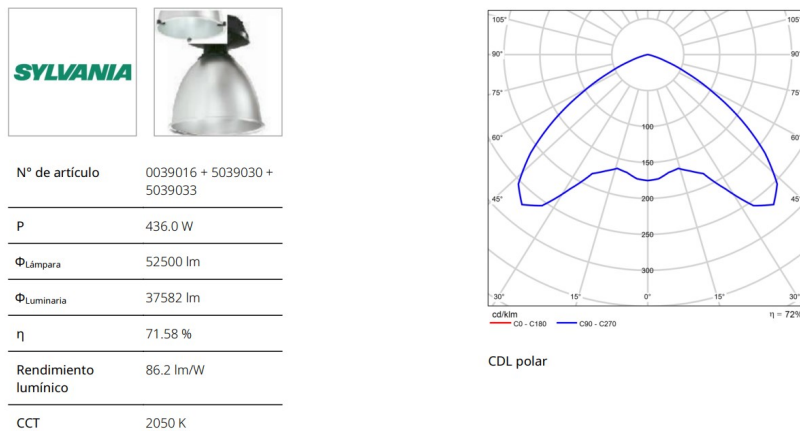
#### 5. Cálculo del número de luminarias.

El número de luminarias, se calculará según la ecuación (4.6):

$$N = \frac{\phi T}{\phi L} \quad (4.6)$$

En la figura 4.2 se obtiene el valor del flujo luminoso de la lámpara igual a 52500 lúmenes.

SYLVANIA ALIOTH SHP-S 400W IP 65 + Reflector de aluminio + cristal protector



**Figura 4.2:** Características técnicas de la lámpara.

$$N_{Total} = \frac{1620373,1}{52500}$$

$$N_{Total} = 30,86 \approx 31.$$

Como una primera estimación para iluminar a la nave industrial 3, se requiere de un total de 31 luminarias.

## 6. Distribución de las luminarias en la nave industrial.

Una vez obtenido el número mínimo de luminarias que requiere la nave industrial 3, se determina la distribución de las luminarias sobre el local, para ello se aplica las siguientes fórmulas.

(a) Número de filas de luminarias a lo ancho del local.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{b} \cdot a} \quad (4.7)$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{31}{145} \cdot 21} = 2,12 \approx 2$$

(b) Número de filas de luminarias a lo largo del local.

$$N_{largo} = (N_{ancho}) \cdot \frac{b}{a} \quad (4.8)$$

$$N_{largo} = 2,15 \cdot \left(\frac{145}{21}\right) = 14,64 \approx 15$$

Se recomienda para el valor total de luminarias como de la distribución de luminarias redondear a un valor par, en consecuencia para el diseño se considera una distribución dentro de la nave industrial, de la siguiente manera Ancho=2 y Largo=16, que da como resultado 32 lámparas.

En la tabla 4.5, se detalla la distribución de las 32 luminarias en la nave industrial 3.

**Tabla 4.5:** Distribución de luminarias nave industrial 3

<b>Distribución de las luminarias</b>		
<b>ANCHO</b>	Nro. Luminarias	2
	Separación entre luminarias	10,5 m
	Separación entre la luminaria y la pared	5,25 m
<b>LARGO</b>	Nro. Luminarias	16
	Separación entre luminarias	9,06 m
	Separación entre la luminaria y la pared	4,53 m
<b>Número total de luminarias</b>		<b>32</b>

## 7. Comprobación mediante el software DIALux.

Una vez obtenido el número de luminarias mediante el cálculo matemático, se procede a utilizar el software DIALux con la finalidad de comprobar si la nave industrial 3 cuenta con el nivel de luxes requerido realmente.

Finalmente, para un total de 32 luminarias se obtiene una luminancia de 298 luxes la cual está muy próximo para el valor recomendado por la norma NEC.

### Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{min}$	$E_{máx}$	$g_1$	$g_2$	Índice
Plano útil (Local 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	298 lx ( $\geq 300$ lx)	150 lx	374 lx	0.50	0.40	52

**Figura 4.3:** Resultado simulación nave industrial 3 (DIALux).

#### 4.2.1 Cálculo del número de luminarias para la nave industrial 1 y 2

En la tabla 4.6 se presenta los cálculos resumidos del número de luminarias que se requiere para la nave industrial 1 y 2.

**Tabla 4.6:** Número de luminarias - nave industrial 1-2

	H	h'	a	b	Lux	K	Cu	Cm	FT	FI	N	Na	NL
NV1	12	8,4	37	127	300	3,41	0,758	0,8	2324703	52500	46	5	10
NV2	12	8,4	43	157	300	4	0,770	0,6	4383766	52500	84	5	14

- **Consideraciones de la nave industrial 1.**

Para el diseño propuesto se considera un total 50 luminarias debido a que presenta una mejor distribución dentro del local, por tal motivo se establece 5 luminarias de ancho y 10 luminarias de largo que da como resultado 50 luminarias para la nave industrial 1.

**Tabla 4.7:** Distribución de luminarias - nave industrial 1.

Distribución de las luminarias		
ANCHO	Nro. Luminarias	5
	Separación entre luminarias	7,2 m
	Separación entre la luminaria y la pared	3,70 m
LARGO	Nro. Luminarias	10
	Separación entre luminarias	12,70 m
	Separación entre la luminaria y la pared	6,4 m
Número total de luminarias		50



## Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$g_1$	$g_2$	Índice
Plano útil (Local 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	356 lx ( $\geq 300$ lx)	64.2 lx	425 lx	0.18	0.15	52

**Figura 4.4:** Resultado simulación nave industrial 1 (DIALux).

### • Consideraciones de la nave industrial 2:

Al igual que en la situación anterior por motivos de diseño y para una mejor distribución, se plantea colocar 5 luminarias de ancho y 14 luminarias de largo, resultado un total de 70 luminarias. Para esta nave se opta por eliminar 4 luminarias al final de la nave industrial por aspectos arquitectónicos que se comprueba mediante el diagrama unifilar.

**Tabla 4.8:** Distribución de luminarias - nave industrial 2.

Distribución de las luminarias		
<b>ANCHO</b>	Nro. Luminarias	5
	Separación entre luminarias	8,60 m
	Separación entre la luminaria y la pared	4,30 m
<b>LARGO</b>	Nro. Luminarias	14
	Separación entre luminarias	11,2
	Separación entre la luminaria y la pared	5,4
<b>Número total de luminarias</b>		<b>70</b>

## Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$g_1$	$g_2$	Índice
Plano útil (Local 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	305 lx ( $\geq 300$ lx)	16.0 lx	386 lx	0.052	0.041	52

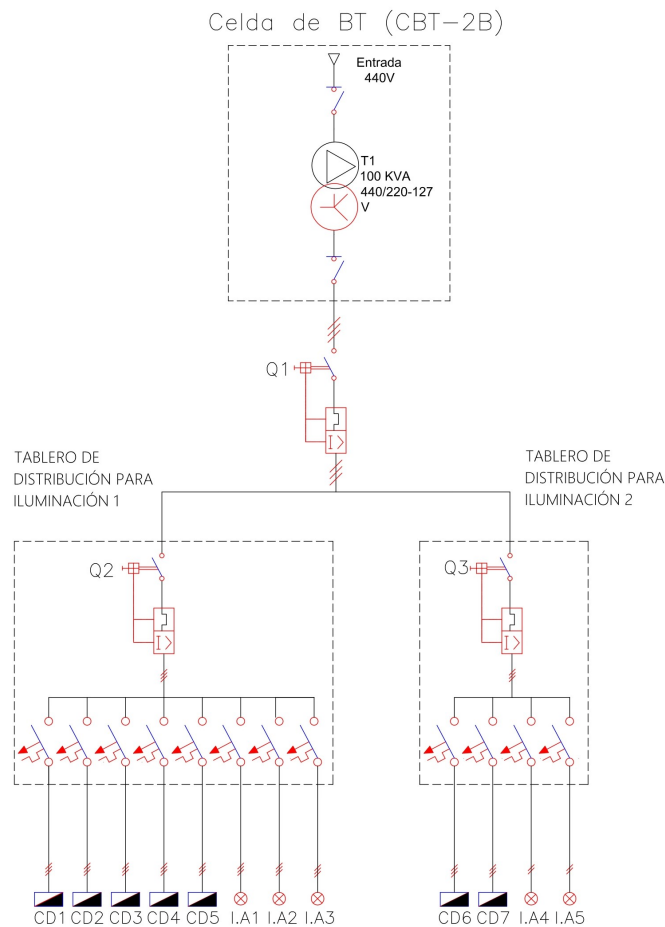
**Figura 4.5:** Resultado simulación nave industrial 2 (DIALux).

### 4.2.2 Diseño a proponer

Para el nuevo sistema de iluminación se plantea que sea un sistema más redundante, es decir, que cuente con una protección principal para cada tablero de distribución y a su vez una protección general para todo el sistema de iluminación.

Consideraciones para el diseño del sistema de iluminación:

- Para los circuitos de iluminación está formado por lámparas de descarga o fluorescentes se considera 1,8 veces la potencia en vatios, por lo que existe una elevada corriente de arranque al momento de energizar el circuito.
- El conductor de protección (PE) se selecciona en función de lo que se especifica en la Tabla 3.8.
- Los interruptores magnetotérmicos se utilizarán como dispositivos de protección para los cuadros de carga, el modelo de los interruptores termomagnéticos son de gama Multi9 (Schneider Electric).
- Para los dispositivos de protección principal de los tableros (Q2-Q3) como de la protección general (Q1), es por medio de un interruptor magnetotérmico de la gama EasyPact CVS100/160/250B y (Schneider Electric).



**Figura 4.6:** Nuevo sistema de iluminación.

### 4.2.3 Circuitos para el sistema de iluminación

Finalmente, cada nave industrial requiere de un determinado número de luminarias, y estas a su vez estarán distribuidas por diferentes circuitos. Para establecer el número de luminarias por cada circuito se realiza a base de las necesidades de la operación de las líneas de producción, considerando un equilibrio entre cargas.

En la tabla 4.9 y 4.10 se muestra cada circuito de iluminación para las 3 naves industriales, además se establece una iluminación auxiliar la cual está destinada para cada línea de esmalte, considerando una reserva de un 10% por cada tablero de distribución.

#### 1. Tablero de distribución para la iluminación 1 (TDI-1)

**Tabla 4.9:** Circuitos del tablero de distribución TDI-1.

		<b>P(c/u)</b> [W]	<b>Cantidad</b>	$P_{total}$ [W]	$P_{corregida}$ $1,8 \cdot P_{total}$ [W]
<b>NAVE INDUSTRIAL 3</b>					
CD1	C1	400	8	3200	5760
	C2	400	8	3200	5760
	C3	400	8	3200	5760
CD2	C1	400	4	1600	2880
	C2	400	4	1600	2880
<b>NAVE INDUSTRIAL 2</b>					
CD3	C1	400	9	3600	6480
	C2	400	9	3600	6480
	C3	400	9	3600	6480
CD4	C1	400	9	3600	4320
	C2	400	6	2400	5760
CD5	C1	400	8	3200	5760
	C2	400	8	3200	5760
	C3	400	8	3200	5760
I.A1	-	28	15	420	756
I.A2	-	28	15	420	756
I.A3	-	28	15	420	756
<b>Subtotal</b>					72828
<b>Reserva 10%</b>					7282,8
<b>Total</b>					<b>80,11 kW</b>

## 2. Tablero de distribución para la iluminación 2 (TDI-2)

**Tabla 4.10:** Circuitos del tablero de distribución TDI-2.

		<b>P(c/u)</b> [W]	<b>Cantidad</b>	$P_{total}$ [W]	$P_{corregida}$ $1,8 \cdot P_{total}$ [W]
NAVE INDUSTRIAL 1					
CD6	C1	400	7	2800	5040
	C2	400	9	3600	6480
	C3	400	9	3600	6480
	C4	400	6	2400	4320
CD7	C1	400	9	3600	6480
	C2	400	9	3600	6480
I.A4	-	28	15	420	756
I.A5	-	28	15	420	756
<b>Subtotal</b>					36792
<b>Reserva 10%</b>					3679,2
<b>Total</b>					<b>40,47 kW</b>

Para determinar la potencia del transformador para el sistema de iluminación, se debe considerar dos factores que influyen en la potencia total aparente del transformador.

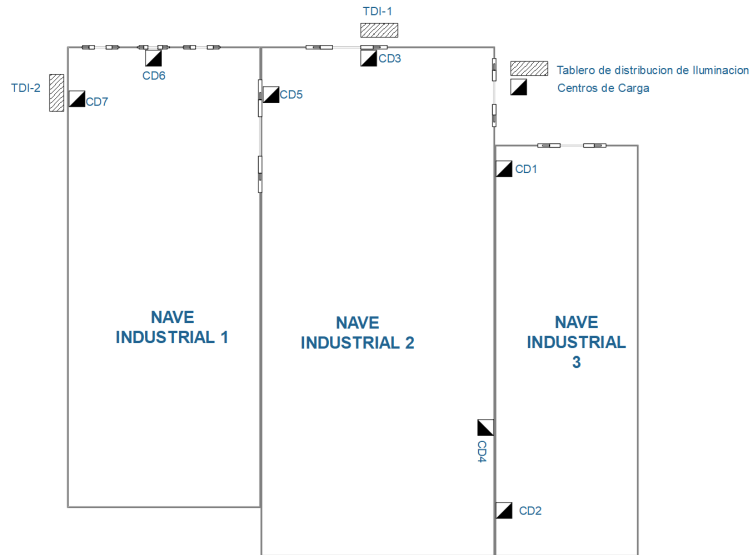
1. **Factor de utilización (ku):** Una carga en condiciones normales de operación el consumo de la potencia es menor que su potencia nominal, para circuitos de iluminación el factor Ku es igual a 1.
2. **Factor de simultaneidad (ks):** Este factor determina el diseñador del sistema, ya que se requiere de un conocimiento detallado de la instalación, el factor ks se aplica a un grupo de cargas que conforma un tablero de distribución, para este caso se establece un factor de ks=0,8.

El sistema de iluminación al estar conformado por luminarias en forma de campana, que en su interior contienen un condensador que permite mejorar la estabilidad frente a las variaciones de la línea, se estima un factor de potencia de 0,9.

$$P_{Transformador} = \frac{PT}{F.P} \cdot ku \cdot ks \quad (4.9)$$

$$P_{Transformador} = \frac{133,98}{0,9} \cdot 1 \cdot 0,8 = 119 \text{ kVA}$$

De manera que, se requiere un transformador de 125 kVA para el sistema de iluminación.



**Figura 4.7:** Distribución de los centros de carga en las líneas de producción.

#### 4.2.3.1 Cálculo sección de los conductores

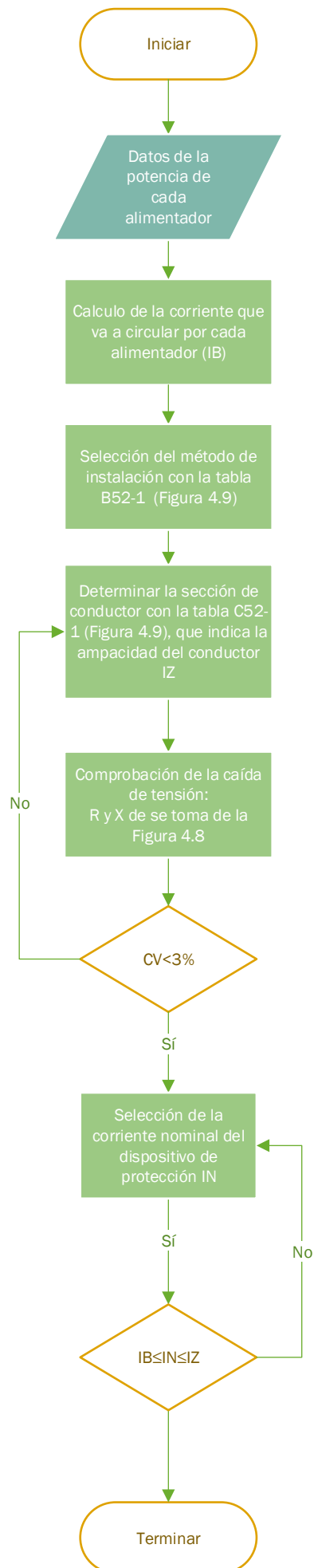
La norma IEC 60364-5-52: “Instalación eléctrica de edificios - Parte 5-52: Elección e instalación de materiales eléctricos - Sistema de cableado”. Se tomará como referencia para el cálculo de la sección mínima para los conductores de los circuitos de iluminación.

Para la selección e instalación de las canalizaciones la norma IEC 60364-5-52 presenta dos tablas (ver figura 4.9), la primera tabla B52-1 que detalla los diferentes sistemas de cableado y métodos de instalación, y la segunda tabla C52-1 se trata de las intensidades máximas admisibles para los diferentes métodos de instalación.

Para el cálculo de los circuitos de iluminación se tiene en consideración lo siguiente:

- El tipo de instalación será mediante una instalación tipo B1, conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera o de mampostería.
- Los conductores tendrán un aislamiento de PVC.
- Número de conductores 3, uno por fase.

A continuación, se presenta el flujograma para un correcto dimensionamiento de los conductores para los circuitos de iluminación.



Los cálculos están fundamentados con las siguientes fórmulas:

- Intensidad de diseño para un circuito trifásico:

$$I_B = \frac{P_{\text{corregida}}(W)}{\sqrt{3} \cdot V_{f-f}} \quad (4.10)$$

- Intensidad de diseño para un circuito monofásico:

$$I_B = \frac{P_{\text{corregida}}(W)}{V_{f-n}} \quad (4.11)$$

- Caída de tensión para un circuito trifásico (%):

$$\Delta V\% = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_B \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{V_{f-f}} \quad (4.12)$$

- Caída de tensión para un circuito monofásico (%):

$$\Delta V\% = \frac{100 \cdot 2 \cdot I_B \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{V_{f-n} \cdot 1000} \quad (4.13)$$

Donde:

$$V_{f-f} = 220 \text{ V.}$$

$$V_{f-n} = 127 \text{ V.}$$

El valor de la caída de tensión (CV) está en función de la resistencia y reactancia, para los cálculos no se considera la reactancia, ya que el factor de potencia es igual a 1 por ende el valor de  $\sin\varphi$  es igual 0, en consecuencia, se tomará solamente el valor de la resistencia que se especifica en la figura 4.8.

### 1. Alimentador principal.

La corriente del alimentador principal es de 328 A lo que representa un valor elevado de corriente, con la finalidad de no usar una sección de fase muy grande se divide dicha corriente para 3, y de esta forma disminuir la sección del conductor de fase.

$$I'_B = \frac{I_B}{3} = 109,3 \text{ A}$$

El conductor que soporta una corriente mayor de 109,3 A, es la de una sección de 33,62 mm<sup>2</sup> (2AWG) con una corriente de 115 A.

**Tabla 4.11:** Parámetros del alimentador principal.

Circuito	Tensión [V]	Potencia [kVA]	$I_B$ [A]	$I_n$ [A]	$I_z$ [A]	Conductor [mm <sup>2</sup> ]
AP	220	125	328	330	3x115	3(3x33,62)+16

## 2. Alimentadores para los tableros de distribución.

### Consideraciones:

#### Alimentador de la línea 1 (AL1)

- Se divide la corriente de fase para 2, para contar con dos conductores por fase.
- En la figura 4.8 se menciona que para hacer uso del valor de la resistencia como de la reactancia deben tener una configuración de 3 conductores sencillos en tubo conduit, en este caso al contar con 6 conductores la resistencia se calculó de la siguiente manera.

$$R_{AL1} = 0,1724 \cdot \left( \frac{75}{2 \cdot 50} \right) = 12,93 \text{ m}\Omega$$

**Tabla 4.12:** Parámetros de los alimentadores principales.

Circuito	Tensión [V]	Potencia [kW]	$I_B$ [A]	$I_n$ [A]	$I_z$ [A]	Conductor [mm <sup>2</sup> ]	R [Ω/Km]	L [m]	CV [%]
AL1	220	80,11	210,24	220	2x116	3(2x50)+25	12,93	75	1,1
AL2	220	40,47	106,21	125	116	3x50+26	0,328	50	1,37

## 3. Tablero de distribución Iluminación (TDI-1).

### Consideraciones

- Se observa en la tabla 4.13 que los alimentadores CD2 y CD4 exceden la caída de tensión permitida en un 3%. Esto se debe al hecho de que al ser corrientes pequeñas y longitudes largas producen caídas de tensión excesivas, para evitar este problema se determina una nueva sección para el alimentador.

$$S = \frac{L \cdot P}{\Delta V \cdot V \cdot C} \quad (4.14)$$

Donde:

- **L:** Longitud de la línea, en metros.
- **P:** Potencia activa transportada por la línea (W).
- **V:** Tensión de la línea, 220 V.
- **C:** Conductividad del cobre, 48, 47°C



$$S = \frac{140 \cdot 5760}{3\left(\frac{220}{100}\right) \cdot 220 \cdot 48,47} = 11,46 \text{ mm}^2$$

$$S_{CD2} = 11,46 \text{ mm}^2 \approx 16 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{130 \cdot 10800}{3\left(\frac{220}{100}\right) \cdot 220 \cdot 48,47} = 19,9 \text{ mm}^2$$

$$S_{CD2} = 19,9 \text{ mm}^2 \approx 25 \text{ mm}^2$$

Como resultado se requiere una sección de  $16 \text{ mm}^2$  para CD2 y para CD4 una sección de  $25 \text{ mm}^2$ .

**Tabla 4.13:** Parámetros de los centros de carga del tablero TDI-1.

Circuito	Tensión [V]	Potencia [W]	$I_B$ [A]	$I_n$ [A]	$I_z$ [A]	Conductor [mm <sup>2</sup> ]	R [Ω/Km]	L [m]	CV [%]	SCV [%]
CD1	220	17280	45	50	59	3x16+16	1,61	45	2,59	3,66
CD2	220	5760	15	16	18	3x2,5+2,5	6,56	140	<b>10,93</b>	12
CD3	220	19440	51	63	77	3x25+16	1,02	10	0,41	1,48
CD4	220	10800	28	32	43	3x10+10	2,56	130	<b>7,43</b>	8,50
CD5	220	17280	45	50	59	3x16+16	1,61	25	1,44	2,51
I.A1	127	756	6	10	18	3x2,5+2,5	6,56	15	0,92	1,99
I.A2	127	756	6	10	18	3x2,5+2,5	6,56	15	0,92	1,99
I.A3	127	756	6	10	18	3x2,5+2,5	6,56	15	0,92	1,99

En la tabla 4.14, se muestra la comprobación de la caída de tensión considerando las nuevas secciones calculadas.

**Tabla 4.14:** Valores calculados con la nueva sección.

Circuito	Tensión [V]	Potencia [W]	$I_B$ [A]	$I_n$ [A]	$I_z$ [A]	Conductor [mm <sup>2</sup> ]	R [Ω/Km]	L [m]	CV [%]	SCV [%]
CD1	220	17280	45	50	59	3x16+16	1,61	45	2,59	3,66
CD2	220	5760	15	16	18	3x16+16	1,61	140	<b>2,68</b>	3,75
CD3	220	19440	51	63	77	3x25+16	1,02	10	0,41	1,48
CD4	220	10800	28	32	43	3x25+16	1,02	130	<b>2,96</b>	4,03

#### 4. Tablero de distribución Iluminación (TDI-2).

Finalmente, para el tablero de distribución de iluminación 2, se verifica que no excede la caída de tensión permitida, lo que da como resultado que la selección del conductor es correcta.



## CAPÍTULO 5

### PRESUPUESTO

#### 5.1 Introducción

Este capítulo tiene como finalidad indicar un procedimiento general para la elaboración de una memoria descriptiva, donde se especifica la lista de materiales con su respectivo costo, cabe recalcar que cada ingeniero tendrá su propio procedimiento para la elaboración de la misma.

El presupuesto que se presenta a continuación está enfocado para los nuevos circuitos que se calculó previamente para las 5 líneas de producción, ya que la instalación actual tiene deficiencias en su ejecución las cuales fueron explicadas anteriormente. Razón por la cual se efectuó el presupuesto del proyecto por cada línea de producción, mediante la elaboración de una base de datos de los diferentes precios de los elementos utilizados en los circuitos de la instalación. Los valores establecidos presentan una aproximación del costo de instalación, ya que el costo puede variar según el proveedor.

Inicialmente el costo de la instalación será elevado, debido a que los nuevos elementos de la instalación tienen nuevas especificaciones técnicas, como las canalizaciones, conductores, interruptores automáticos, centro de transformación etc., lo que implica que el costo de la instalación sea superior en un inicio. Pero estos costos se lograría disminuir al hacer usos de los recursos que la instalación actualmente contiene, por ejemplo, para el caso del transformador (T2 -2MVA) del nuevo centro de transformación se podrá hacer uso del mismo que cuenta la empresa y de esta manera no hacer gastos incensarios, de igual forma pasa con los interruptores automáticos verificar que protección puede acoplarse a la característica de los nuevos circuitos.

**Tabla 5.1:** Presupuesto para la línea 1.

Presupuesto - Línea 1					
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Canalizaciones</b>					
<b>Capítulo 1.1 : Canalizaciones de distribución para el Horno 1</b>					
1.1.1	Bandeja Portacables de 100mm	306	m	\$14,22	<b>\$4.351,32</b>
<b>Capítulo 1.2 : Canalizaciones de distribución para la Línea 1</b>					
1.2.1	Bandeja Portacables de 150mm	56	m	\$18,42	\$1.031,52
1.2.2	Bandeja Portacables de 100mm	172	m	\$14,22	\$2.445,84
1.2.3	TOTAL				<b>\$3.477,36</b>
<b>Capítulo 2: Líneas de Distribución</b>					
<b>Capítulo 2.1: Líneas de Distribución para el Horno 1</b>					
2.1.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.50mm <sup>2</sup> )	336	m	\$6,87	\$2.308,32
2.1.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm <sup>2</sup>	56	m	\$4,70	\$263,20
2.1.3	Cable XLPE - 06/1kV 3x107.21mm <sup>2</sup>	300	m	\$14,42	\$4.326,00
2.1.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm <sup>2</sup>	100	m	\$10,94	\$1.094,00
2.1.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	1140	m	\$0,70	\$798,00
2.1.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	380	m	\$0,70	\$266,00
2.1.7	TOTAL				<b>\$9.055,52</b>
<b>Capítulo 2.2: Líneas de Distribución para la Línea 1</b>					
2.2.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x126.6mm <sup>2</sup> )	336	m	\$16,54	\$5.557,44
2.2.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm <sup>2</sup>	56	m	\$10,94	\$612,64
2.2.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.5mm <sup>2</sup> )	72	m	\$6,87	\$494,64
2.2.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm <sup>2</sup>	12	m	\$4,70	\$56,40
2.2.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	420	m	\$0,70	\$294,00
2.2.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	140	m	\$0,70	\$98,00
2.2.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x3.30mm <sup>2</sup>	423	m	\$0,65	\$274,95
2.2.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x3.30mm <sup>2</sup>	141	m	\$0,65	\$91,65
2.2.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x33.62mm <sup>2</sup>	90	m	\$4,70	\$423,00
2.2.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x21.14mm <sup>2</sup>	30	m	\$3,53	\$105,90
2.2.11	Cable XLPE - 06/1kV 3x21.14mm <sup>2</sup>	240	m	\$3,53	\$847,20
2.2.12	Cable XLPE - 06/1kV 1x13.29mm <sup>2</sup>	80	m	\$1,84	\$147,20
2.2.13	TOTAL				<b>\$9.003,02</b>
<b>Capítulo 3: Dispositivos de Protección</b>					
<b>Capítulo 3.1: Dispositivos de Protección para el Horno 1</b>					
3.1.1	3VA24635HL320AA0	1	U	\$1.250,00	\$1.250,00
3.1.2	3VA22255HL320AA0	1	U	\$650,00	\$650,00
3.1.3	3VA20255HL320AA0	3	U	\$300,00	\$900,00
3.1.4	TOTAL				<b>\$2.800,00</b>
<b>Capítulo 3.2: Dispositivos de Protección para la Línea 1</b>					
3.2.1	3WT80805AA000AA2	1	U	\$2.050,00	\$2.050,00
3.2.2	3VA23405HL320AA0	1	U	\$809,50	\$809,50
3.2.3	3VA20635HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.2.4	3VA21165HL320AA0	1	U	\$490,00	\$490,00
3.2.5	3VA20105HL320AA0	2	U	\$340,00	\$680,00
3.2.6	3VA20255HL320AA0	4	U	\$300,00	\$1.200,00
3.2.7	TOTAL				<b>\$5.829,50</b>

<b>Total presupuesto línea 1</b>	<b>\$34.516,72</b>
----------------------------------	--------------------

**Tabla 5.2:** Presupuesto para la línea 2.

Presupuesto - Línea 2					
Item	Descripcion	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Canalizaciones</b>					
<b>Capítulo 1.1 : Canalizaciones de distribución para el Horno 2</b>					
1.1.1	Bandeja Portacables de 100mm	180	m	\$14,22	<b>\$2.559,60</b>
<b>Capítulo 1.2 : Canalizaciones de distribución para la Línea 2</b>					
1.2.1	Bandeja Portacables de 150mm	60	m	\$18,42	\$1.105,20
1.2.2	Bandeja Portacables de 100mm	160	m	\$14,22	\$2.275,20
1.2.3	TOTAL				<b>\$3.380,40</b>
<b>Capítulo 2: Líneas de Distribución</b>					
<b>Capítulo 2.1: Líneas de Distribución para el Horno 2</b>					
2.1.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.50mm2)	180	m	\$6,87	\$1.236,60
2.1.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm2	30	m	\$4,70	\$141,00
2.1.3	Cable XLPE - 06/1kV 3x107.21mm2	60	m	\$14,42	\$865,20
2.1.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm2	20	m	\$10,94	\$218,80
2.1.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm2	1080	m	\$0,70	\$756,00
2.1.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm2	360	m	\$0,70	\$252,00
2.1.7	TOTAL				<b>\$3.469,60</b>
<b>Capítulo 2.2: Líneas de Distribución para la Línea 2</b>					
2.2.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x126.6mm2)	360	m	\$16,54	\$5.954,40
2.2.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm2	60	m	\$10,94	\$656,40
2.2.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.5mm2)	60	m	\$6,87	\$412,20
2.2.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm2	10	m	\$4,70	\$47,00
2.2.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm2	360	m	\$0,70	\$252,00
2.2.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm2	120	m	\$0,70	\$84,00
2.2.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x3.30mm2	474	m	\$0,65	\$308,10
2.2.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x3.30mm2	158	m	\$0,65	\$102,70
2.2.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x33.62mm2	90	m	\$4,70	\$423,00
2.2.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x21.14mm2	30	m	\$3,53	\$105,90
2.2.11	Cable XLPE - 06/1kV 3x21.14mm2	300	m	\$3,53	\$1.059,00
2.2.12	Cable XLPE - 06/1kV 1x13.29mm2	100	m	\$1,84	\$184,00
2.2.13	TOTAL				<b>\$9.588,70</b>
<b>Capítulo 3: Dispositivos de Protección</b>					
<b>Capítulo 3.1: Dispositivos de Protección para el Horno 2</b>					
3.1.1	3VA24635HL320AA0	1	U	\$1.250,00	\$1.250,00
3.1.2	3VA22255HL320AA0	1	U	\$650,00	\$650,00
3.1.3	3VA20255HL320AA0	3	U	\$300,00	\$900,00
3.1.4	TOTAL				<b>\$2.800,00</b>
<b>Capítulo 3.2: Dispositivos de Protección para la Línea 2</b>					
3.2.1	3WT80805AA000AA2	1	U	\$2.050,00	\$2.050,00
3.2.2	3VA23405HL320AA0	1	U	\$809,50	\$809,50
3.2.3	3VA20635HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.2.4	3VA21165HL320AA0	1	U	\$490,00	\$490,00
3.2.5	3VA20105HL320AA0	1	U	\$340,00	\$340,00
3.2.6	3VA20405HL320AA0	5	U	\$300,00	\$1.500,00
3.2.7	TOTAL				<b>\$5.789,50</b>

<b>Total presupuesto línea 2</b>	<b>\$27.587,80</b>
----------------------------------	--------------------

**Tabla 5.3:** Presupuesto para la línea 3.

Presupuesto - Línea 3					
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Canalizaciones</b>					
<b>Capítulo 1.1 : Canalizaciones de distribución para el Horno 3</b>					
1.1.3	Bandeja Portacables de 100mm	175	m	\$14,22	<b>\$2.488,50</b>
<b>Capítulo 1.2 : Canalizaciones de distribución para la Línea 3</b>					
1.2.1	Bandeja Portacables de 100mm	200	m	\$14,22	<b>\$2.844,00</b>
<b>Capítulo 2: Líneas de Distribución</b>					
<b>Capítulo 2.1: Líneas de Distribución para el Horno 3</b>					
2.1.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.50mm <sup>2</sup> )	150	m	\$6,87	\$1.030,50
2.1.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm <sup>2</sup>	25	m	\$4,70	\$117,50
2.1.3	Cable XLPE - 06/1kV 3x107.2mm <sup>2</sup>	60	m	\$14,42	\$865,20
2.1.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm <sup>2</sup>	20	m	\$10,94	\$218,80
2.1.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	720	m	\$0,70	\$504,00
2.1.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	240	m	\$0,70	\$168,00
2.1.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x8.36mm <sup>2</sup>	375	m	\$1,19	\$446,25
2.1.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x8.36mm <sup>2</sup>	125	m	\$1,19	\$148,75
2.1.9	TOTAL				<b>\$3.499,00</b>
<b>Capítulo 2.2: Líneas de Distribución para la Línea 3</b>					
2.2.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x107.21mm <sup>2</sup> )	360	m	\$14,42	\$5.191,20
2.2.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm <sup>2</sup>	60	m	\$10,94	\$656,40
2.2.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x53.50mm <sup>2</sup> )	60	m	\$6,87	\$412,20
2.2.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x33.62mm <sup>2</sup>	10	m	\$4,70	\$47,00
2.2.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	402	m	\$0,70	\$281,40
2.2.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	134	m	\$0,70	\$93,80
2.2.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x3.30mm <sup>2</sup>	480	m	\$0,65	\$312,00
2.2.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x3.30mm <sup>2</sup>	160	m	\$0,65	\$104,00
2.2.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x33.62mm <sup>2</sup>	60	m	\$4,70	\$282,00
2.2.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x21.14mm <sup>2</sup>	20	m	\$3,53	\$70,60
2.2.11	Cable XLPE - 06/1kV 3x21.14mm <sup>2</sup>	330	m	\$3,53	\$1.164,90
2.2.12	Cable XLPE - 06/1kV 1x13.29mm <sup>2</sup>	110	m	\$1,84	\$202,40
2.2.13	TOTAL				<b>\$8.817,90</b>
<b>Capítulo 3: Dispositivos de Protección</b>					
<b>Capítulo 3.1: Dispositivos de Protección para el Horno 3</b>					
3.1.1	3VA24635HL320AA0	1	U	\$1.250,00	\$1.250,00
3.1.2	3VA22255HL320AA0	1	U	\$650,00	\$650,00
3.1.3	3VA20405HL320AA0	3	U	\$300,00	\$900,00
3.1.4	TOTAL				<b>\$2.800,00</b>
<b>Capítulo 3.2: Dispositivos de Protección para la Línea 3</b>					
3.2.1	3WT80805AA000AA2	1	U	\$2.050,00	\$2.050,00
3.2.2	3VA23405HL320AA0	1	U	\$809,50	\$809,50
3.2.3	3VA20635HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.2.4	3VA21165HL320AA0	1	U	\$490,00	\$490,00
3.2.5	3VA20105HL320AA0	1	U	\$340,00	\$340,00
3.2.6	3VA20405HL320AA0	3	U	\$300,00	\$900,00
3.2.7	3VA20255HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.2.8	TOTAL				<b>\$5.789,50</b>

<b>Total presupuesto línea 3</b>	<b>\$26.238,90</b>
----------------------------------	--------------------

**Tabla 5.4:** Presupuesto para la línea 4.

Presupuesto - Línea 4					
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Canalizaciones</b>					
<b>Capítulo 1.1 : Canalizaciones de distribución para el Horno 4</b>					
1.1.1	Bandeja Portacables de 100mm	160	m	\$14,22	<b>\$2.275,20</b>
<b>Capítulo 1.2 : Canalizaciones de distribución para la Línea 4</b>					
1.2.1	Bandeja Portacables de 100mm	245	m	\$14,22	<b>\$3.483,90</b>
<b>Capítulo 2: Líneas de Distribución</b>					
<b>Capítulo 2.1: Líneas de Distribución para el Horno 4</b>					
2.1.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(3x67.44mm <sup>2</sup> )	315	m	\$10,94	\$3.446,10
2.1.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x42.20mm <sup>2</sup>	35	m	\$5,80	\$203,00
2.1.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x107.21mm <sup>2</sup> )	150	m	\$14,42	\$2.163,00
2.1.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm <sup>2</sup>	25	m	\$10,94	\$273,50
2.1.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x8.36mm <sup>2</sup>	75	m	\$1,19	\$89,25
2.1.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x8.36mm <sup>2</sup>	25	m	\$1,19	\$29,75
2.1.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	600	m	\$0,70	\$420,00
2.1.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	200	m	\$0,70	\$140,00
2.1.9	TOTAL				<b>\$6.764,60</b>
<b>Capítulo 2.2: Líneas de Distribución para la Línea 4</b>					
2.2.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(3x85.02mm <sup>2</sup> )	315	m	\$11,07	\$3.487,05
2.2.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x53.50mm <sup>2</sup>	35	m	\$6,87	\$240,45
2.2.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(2x42.2mm <sup>2</sup> )	60	m	\$5,80	\$348,00
2.2.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x21.14mm <sup>2</sup>	10	m	\$3,53	\$35,30
2.2.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x8.36mm <sup>2</sup>	75	m	\$1,19	\$89,25
2.2.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x8.36mm <sup>2</sup>	25	m	\$1,19	\$29,75
2.2.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x3.30mm <sup>2</sup>	162	m	\$0,65	\$105,30
2.2.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x3.30mm <sup>2</sup>	54	m	\$0,65	\$35,10
2.2.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x67.44mm <sup>2</sup>	90	m	\$10,94	\$984,60
2.2.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x42.20mm <sup>2</sup>	30	m	\$5,80	\$174,00
2.2.11	Cable XLPE - 06/1kV 3x26.66mm <sup>2</sup>	450	m	\$2,72	\$1.224,00
2.2.12	Cable XLPE - 06/1kV 1x21.14mm <sup>2</sup>	150	m	\$3,53	\$529,50
2.2.13	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm <sup>2</sup>	300	m	\$0,70	\$210,00
2.2.14	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm <sup>2</sup>	100	m	\$0,70	\$70,00
2.2.15	Cable XLPE - 06/1kV 3x13.29mm <sup>2</sup>	510	m	\$1,84	\$938,40
2.2.16	Cable XLPE - 06/1kV 1x13.29mm <sup>2</sup>	170	m	\$1,84	\$312,80
2.2.17	TOTAL				<b>\$8.813,50</b>
<b>Capítulo 3: Dispositivos de Protección</b>					
<b>Capítulo 3.1: Dispositivos de Protección para el Horno 4</b>					
3.1.1	3VA24635HL320AA0	3	U	\$1.250,00	\$3.750,00
3.1.2	3VA20405HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.1.3	TOTAL				<b>\$4.350,00</b>
<b>Capítulo 3.2: Dispositivos de Protección para la Línea 4</b>					
3.2.1	3WT80805AA000AA2	1	U	\$2.050,00	\$2.050,00
3.2.2	3VA23405HL320AA0	1	U	\$809,50	\$809,50
3.2.3	3VA20635HL320AA0	1	U	\$300,00	\$300,00
3.2.4	3VA22255HL320AA0	1	U	\$650,00	\$650,00
3.2.5	3VA20105HL320AA0	1	U	\$340,00	\$340,00
3.2.6	3VA20405HL320AA0	6	U	\$300,00	\$1.800,00
3.2.7	3VA20255HL320AA0	1	U	\$300,00	\$300,00
3.2.8	TOTAL				<b>\$6.249,50</b>

**Total presupuesto línea 4 | \$31.936,70**



**Tabla 5.5:** Presupuesto para la línea 5.

Presupuesto - Línea 5					
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Canalizaciones</b>					
<b>Capítulo 1.1 : Canalizaciones de distribución para el Horno 5</b>					
1.1.1	Bandeja Portacables de 300mm	80	U	\$27,44	\$2.195,20
1.1.2	Bandeja Portacables de 200mm	35	U	\$21,60	\$756,00
1.1.3	Bandeja Portacables de 100mm	105	U	\$14,22	\$1.493,10
1.1.4	TOTAL				<b>\$4.444,30</b>
<b>Capítulo 1.2 : Canalizaciones de distribución para la Línea 5</b>					
1.2.1	Bandeja Portacables de 100mm	217	U	\$14,22	<b>\$3.085,74</b>
<b>Capítulo 2: Líneas de Distribución</b>					
<b>Capítulo 2.1: Líneas de Distribución para el Horno 5</b>					
2.1.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(3x253.35mm2)	720	m	\$30,88	\$22.233,60
2.1.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x126.67mm2	80	m	\$16,54	\$1.323,20
2.1.3	Cable XLPE - 06/1kV 3(3x152.01mm2)	315	m	\$19,84	\$6.249,60
2.1.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x85.02mm2	35	m	\$11,07	\$387,45
2.1.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x8.36mm2	105	m	\$1,19	\$124,95
2.1.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x8.36mm2	35	m	\$1,19	\$41,65
2.1.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x85.02mm2	66	m	\$11,07	\$730,62
2.1.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x53.50mm2	22	m	\$6,87	\$151,14
2.1.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm2	210	m	\$0,70	\$147,00
2.1.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm2	70	m	\$0,70	\$49,00
2.1.11	TOTAL				<b>\$31.438,21</b>
<b>Capítulo 2.2: Líneas de Distribución para la Línea 5</b>					
2.2.1	Cable XLPE - 06/1kV 3(3x85.02mm2)	333	m	\$11,07	\$3.686,31
2.2.2	Cable XLPE - 06/1kV 1x53.50mm2	37	m	\$6,87	\$254,19
2.2.3	Cable XLPE - 06/1kV 3x107.2mm2	105	m	14,42	\$1.514,10
2.2.4	Cable XLPE - 06/1kV 1x67.44mm2	35	m	10,94	\$382,90
2.2.5	Cable XLPE - 06/1kV 3x8.36mm2	105	m	\$1,19	\$124,95
2.2.6	Cable XLPE - 06/1kV 1x8.36mm2	35	m	\$1,19	\$41,65
2.2.7	Cable XLPE - 06/1kV 3x3.30mm2	171	m	\$0,65	\$111,15
2.2.8	Cable XLPE - 06/1kV 1x3.30mm2	57	m	\$0,65	\$37,05
2.2.9	Cable XLPE - 06/1kV 3x85.02mm2	225	m	\$11,07	\$2.490,75
2.2.10	Cable XLPE - 06/1kV 1x53.50mm2	75	m	\$6,87	\$515,25
2.2.11	Cable XLPE - 06/1kV 3x21.14mm2	210	m	\$3,53	\$741,30
2.2.12	Cable XLPE - 06/1kV 1x13.29mm2	70	m	\$1,84	\$128,80
2.2.13	Cable XLPE - 06/1kV 3x5.25mm2	270	m	\$0,70	\$189,00
2.2.14	Cable XLPE - 06/1kV 1x5.25mm2	90	m	\$0,70	\$63,00
2.2.15	TOTAL				<b>\$10.280,40</b>
<b>Capítulo 3: Dispositivos de Protección</b>					
<b>Capítulo 3.1: Dispositivos de Protección para el Horno 5</b>					
3.1.1	3WT81205AA000AA2	1	U	\$2.400,00	\$2.400,00
3.1.2	3WT81005AA000AA2	1	U	\$2.200,00	\$2.200,00
3.1.3	3VA20635HL320AA0	4	U	\$300,00	\$1.200,00
3.1.4	3VA22255HL320AA0	2	U	\$650,00	\$1.300,00
3.1.5	TOTAL				<b>\$7.100,00</b>
<b>Capítulo 3.2: Dispositivos de Protección para la Línea 5</b>					
3.2.1	3WT80805AA000AA2	1	U	\$2.050,00	\$2.050,00
3.2.2	3VA22255HL320AA0	3	U	\$650,00	\$1.950,00
3.2.3	3VA20635HL320AA0	2	U	\$300,00	\$600,00
3.2.4	3VA20105HL320AA0	1	U	\$340,00	\$340,00
3.2.5	3VA20405HL320AA0	5	U	\$300,00	\$1.500,00
3.2.6	3VA20255HL320AA0	1	U	\$300,00	\$300,00
3.2.7	TOTAL				<b>\$6.740,00</b>

<b>Total presupuesto línea 5</b>	<b>\$63.088,65</b>
----------------------------------	--------------------



**Tabla 5.6:** Presupuesto para el centro de transformación.

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unidad	Costo Total
<b>Capítulo 1: Centro de Transformación.</b>					
<b>Capítulo 1.1: Celda de Media tensión.</b>					
CMT-A	Celda de Media Tensión	1	U	\$9.429,00	<b>\$9.429,00</b>
<b>Capítulo 1.2: Sistema Puesta a Tierra.</b>					
1.2.1	Malla de puesta a tierra del sistema de potencia.	1	U	\$1.650,00	<b>\$1.650,00</b>
<b>Capítulo 1.3: Baja Tensión.</b>					
1.3.1	Cuadros general de Baja Tensión.	1	U	\$7.695,00	\$7.695,00
1.3.2	Cuadros secundarios.	3	U	\$400,00	\$1.200,00
1.3.3	TOTAL				<b>\$8.895,00</b>
<b>Capítulo 1.4: Obra Civil</b>					
1.4.1	Construcción del centro de transformación, según las dimensiones indicadas (3x6m, altura 2m).	1	U	\$5.226,00	\$5.226,00
1.4.2	Base de hormigón para la ubicación del transformador.	1	U	\$551,00	\$551,00
1.4.3	TOTAL				<b>\$5.777,00</b>

**Tabla 5.7:** Presupuesto total.

<b>Presupuesto Total</b>		
Item	Descripción	Presupuesto Total
1.1	Presupuesto Línea 1.	\$34.516,72
1.2	Presupuesto Línea 2.	\$27.587,80
1.3	Presupuesto Línea 3.	\$26.238,90
1.4	Presupuesto Línea 4.	\$31.936,70
1.5	Presupuesto Línea 5.	\$63.088,65
1.6	Centro de Transformación	\$26.951,00
1.7	<b>TOTAL</b>	<b>\$210.319,77</b>

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros

#### Conclusiones

- La empresa actualmente no cuenta con un registro técnico de las instalaciones eléctricas de las líneas de producción, es evidente que inicialmente no es viable evaluar los criterios de diseño de las mismas. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio técnico de cada circuito que interviene en la instalación y de esta manera interpretar como está conformado la instalación. A través de este estudio se encuentra que algunos circuitos no cumplen con los estándares y regulaciones de diseño, en especial para el dimensionamiento de los conductores, debido a que la sección de los conductores no está en función de la potencia que consume la instalación, además, esto conlleva que el dispositivo de protección esté configurado de una forma errónea. Con todo lo mencionado da como resultado que el dispositivo de protección actúe en un tiempo superior en caso de que se presenta una falla por sobreintensidad, lo que provocaría que el conductor se sobrecaliente y cause desgaste del aislamiento.
- Para realizar el dimensionamiento de los conductores se debe tener presente los factores de agrupamiento y de temperatura por lo que estos afectan de manera directa al valor de la ampacidad del conductor. Ya que una sección incorrecta puede afectar negativamente al sistema, provocando que la instalación no opere en las condiciones nominales de diseño, así como los costos elevados para reemplazar el conductor eléctrico mal ejecutado.
- Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito (máxima y mínima) la norma IEC 60909 establece un factor de voltaje “c” que permite simular el efecto de fenómenos de red como variaciones de voltaje, en este estudio no se consideró dicho factor debido a que no afecta en gran medida. Para el nivel de tensión que se está ejecutando en la instalación (440V) la norma establece aumentar un 5%

al nivel de la tensión nominal, en vez de ello se realizó el cálculo de corriente de cortocircuito más ideal a partir de una tensión calculada, es decir, considerando la caída de tensión con el fin de no sobredimensionar las protecciones eléctricas.

- Para la coordinación de protecciones se establece una selectividad parcial entre los circuitos, ya que una selectividad total presenta un mayor costo económico debido a las características tecnológicas del dispositivo de protección, pero esto no quiere decir que los dispositivos seleccionados en el capítulo 3 están mal dimensionados, a su vez con una selectividad parcial y con un correcto ajuste de los parámetros del dispositivo se asegura que la instalación funcione correctamente en caso de presentarse una falla.
- Todo el diseño eléctrico se consideró en condiciones iniciales de operación, lo que da como resultado un bajo factor de potencia (0,8) por cada línea de producción, ya que la mayor parte de las cargas eléctricas son motores eléctricos. Para solucionar este inconveniente se requiere realizar un estudio adicional de manera que se coloque banco de condensadores en puntos óptimos dentro de la instalación, y de esta manera mejorar el factor de potencia total de las líneas de producción. Al aumentar el factor de potencia de 0,8 a 0,9 como mínimo, permitirá reducir el consumo eléctrico y sobre todo para que no exista una penalización por parte de la empresa distribuidora por un bajo factor de potencia.
- El software SIMARIS curves es factible cuando se dispone de un tablero de distribución formado por dispositivos del mismo fabricante, ya que el software únicamente permite ingresar las curvas de operación de la gama de productos de Siemens y a su vez realizar el ajuste de los parámetros ( $I_r, I_a, t_r$ , etc) de los dispositivos de protección, y de esta manera llevar a cabo la coordinación de protecciones. Un inconveniente que presenta este software es que no permite introducir la curva térmica del conductor, lo que genera que no se aprecia visualmente la coordinación de todos los elementos que involucra la instalación.

## **Recomendaciones**

- Con todo el análisis presentado se sugiere a la empresa Itaipos S.A., hacer uso de este trabajo de titulación como una guía para la implementación futura de las instalaciones industriales de las líneas de producción, ya que se considera en gran parte los criterios técnicos de diseño para un correcto funcionamiento de las instalaciones. Además la empresa como una medida de seguridad debe capacitar al personal encargado de la manipulación de los dispositivos de

protección como de las instalaciones eléctricas, con el fin de no presentar inconvenientes cuando se lleve a cabo un trabajo de mantenimiento.

- Para incentivar la importancia de las instalaciones industriales, se debe dar a conocer los diferentes métodos para el cálculo de corriente de cortocircuito en baja tensión, como es el caso de la norma IEC 60909. A más de ello es de suma importancia analizar las curvas de operación de un dispositivo de protección (interruptor automático) con disparo electrónico para las diferentes tecnologías (LI, LSI, LSIG), y de esta manera contar con los criterios para ajustar correctamente el valor nominal de la parte térmica ( $I_n$ ) como de la parte magnética ( $I_a$ ), y finalmente para verificar dichas curvas de operación utilizar algún software para la simulación de las curvas, como es el caso de SIMARIS curves.
- En caso de que la empresa disponga de tableros de distribución formados por dispositivos de protección de la marca Schneider Electric, se recomienda utilizar el software en línea “Electrical Calculation Tools”, ya que permite visualizar las curvas de operación y de esta manera comprobar si existe una selectividad parcial o total.

## **Trabajos Futuros**

- Realizar un estudio completo de toda la planta de producción (etapa 1- etapa 2) para la ubicación óptima de bancos de condensadores con el fin de reducir las pérdidas reactivas, mejorar el control de las caídas de tensión y su vez reducir la sección de los conductores.
- Realizar un estudio de factibilidad para implementación de luminarias led dentro de las líneas de producción.
- Diseñar un sistema Scada para una etapa (Prensado, línea de esmalte, etc.) de una línea de producción de la planta de Itaipos S.A.
- Ejecutar un plan de mantenimiento preventivo para la planta de producción de Itaipos S.A.
- Desarrollar un estudio completo para el nuevo centro de transformación, como consecuencia de la reubicación del transformador que alimenta a las cargas de la línea 2, 3 y 4.

## **CAPÍTULO 7**

### **ANEXOS**

#### **7.1 Distribución de las cargas eléctricas de la línea 5**

**Tabla 7.1:** Distribución cargas eléctricas Prensa- Impresión Digital.

<b>Descripción del Proceso Línea 5</b>	<b>Cantidad [U]</b>	<b>Potencia [kW]</b>
<b>Prensa 3020</b>	1	117,76
<b>Volteador</b>	1	3,13
<b>Carga al Secador</b>	1	10,5
<b>Secadero Horizontal</b>	1	98
<b>Descarga Secadero</b>	1	6,525
<b>Descarga Secadero - Humectación</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	3	0,75
Bomba de Agua para Humectación (BAH)	1	0,41
Motor de Cepilladora (MC)	1	0,75
Motor de Mesa de Rodillos (MR)	1	0,37
Motores Desvarbadores (MD)	2	0,25
<b>Humectación - Engobado</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	1	0,75
Bomba para Engobado (BE)	1	1,5
Ventiladores (VT)	1	0,55
<b>Engobado - Esmaltado</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	2	0,75
Bomba para Esmaltado (BE)	1	1,5
<b>Esmaltado - Aerógrafo de Goma</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	3	0,75
Bombas para Goma (MG)	1	0,37
Bombas para Goma (MG)	1	1,32
Motor para Goma (MG)	2	0,37
Motor de Malla Rotativa (Ma. Ro)	1	0,6
<b>Aerógrafo de Goma - Impresión Digital</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	6	0,75
Compensador (ComP)	1	0,6
Ventiladores (VT)	4	0,55
<b>Impresión Digital</b>		
Potencia de la Impresión Digital	1	10

**Tabla 7.2:** Distribución cargas eléctricas Impresión Digital-Línea de Clasificación.

Descripción del Proceso Línea 5	Cantidad [U]	Potencia [kW]
<b>Impresión Digital - Granilladora</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	1	0,75
Motores de Granilladora (MG)	1	0,37
Motores de Granilladora (MG)	1	1,5
Motor de Malla Rotativa (Ma. Ro)	1	0,6
<b>Granilladora - Pulmón de almacenamiento en crudo</b>		
Bandas Transportadoras (BT)	8	0,75
Motor de Mesa de Rodillos (MR)	2	0,37
Motores Desvarbadores (MD)	2	0,37
Motores de Agrupamiento (MA)	7	0,65
<b>Pulmón de almacenamiento en crudo</b>		
Motores del Pulmón de almacenamiento en crudo	14	6,825
Carga Horno	1	11,25
Horno	1	401,25
Descarga Horno	1	26
<b>Descarga Horno - Calibradora 1</b>		
Bandas Transportadoras	5	0,65
Bandas Transportadoras	1	0,75
Bandas Transportadoras	1	1,5
Calibradora 1	1	56,43
<b>Calibradora 1 - Calibradora 2</b>		
Bandas Transportadoras	2	0,75
Bandas Transportadoras	2	1,5
Calibradora 2	1	58,83
<b>Calibradora - Línea de Clasificación.</b>		
Bandas Transportadoras	4	0,75
Motor de Mesa de Rodillos	2	0,65
Línea de Clasificación.	1	10
Paletizador	1	10

## 7.2 Documentación técnica

En este apartado se presenta la documentación técnica de los circuitos eléctricos, que involucra a cada tablero de distribución que se requiere para las 5 líneas de producción. En la documentación se detalla lo siguiente:

- Parámetros iniciales de diseño.
- Comprobación caída de tensión.
- Parámetros del dispositivo de protección contra sobrecarga y cortocircuito.
- Para determinar la corriente de cortocircuito existe diversas maneras (Superposición, sistema por unidad (pu), sistema  $\%/MVA$ ), para este estudio se utilizará el de impedancias, este método usa distintas impedancias para modelar el circuito. Es el mejor para calcular cortocircuitos máximos y mínimos



## Tablero de distribución línea 1 (TD-L1)

**Tabla 7.3:** Parámetros iniciales de diseño TD-L1

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador L1	<b>AL1</b>	229,63	486,30	2	243,15	B.AL1	2	0,91	1	267,2
Prensa 2000	<b>R1</b>	229,63	287,03	2	143,52	B.1	2	0,91	1	157,7
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	7,44	14,44	1	14,44	B.2	2	0,91	1	15,9
Secadero Vertical	<b>R3</b>	90,21	112,76	1	112,76	B.2	2	0,91	1	123,9
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	31,08	73,17	1	73,17	B.3	2	0,91	1	80,4
Impresión Digital	<b>R5</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.3	2	0,91	1	22,5
Entrada Auxiliar Horno	<b>R6</b>	9,60	17,08	1	17,08	B.4	1	0,91	1	18,8
DERIVACIONES										
Volteador	<b>R2.1</b>	5,13	6,42	1	6,42	T.C	1	1	1	6,42
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	7,44	9,30	1	9,30	T.C	1	1	1	9,30
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	9,60	11,99	1	11,99	T.C	1	1	1	11,99
Carga Horno	<b>R6.2</b>	5,08	6,36	1	6,36	T.C	1	1	1	6,36

**Tabla 7.4:** Comprobación caída de tensión TD-L1

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador L1	<b>AL1</b>	126,67	56	0,78	0,63	2	4,86	2,66	243,15	0,52	0,52	437,70
Prensa 2000	<b>R1</b>	53,5	12	0,80	0,60	2	2,47	0,57	143,52	0,13	0,65	437,13
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	5,25	30	0,80	0,60	1	125,60	2,85	14,44	0,58	1,10	435,15
Secadero Vertical	<b>R3</b>	33,62	30	0,80	0,60	1	19,61	2,85	112,76	0,77	1,29	434,31
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	21,14	80	0,76	0,65	1	83,18	7,60	73,17	1,97	2,49	429,05
Impresión digital	<b>R5</b>	5,25	60	0,80	0,60	1	251,20	5,70	20,50	1,65	2,17	430,45
Entrada Auxiliar horno	<b>R6</b>	5,25	50	0,80	0,60	1	209,33	4,75	17,08	1,15	1,80	432,09
DERIVACIONES												
Volteador	<b>R2.1</b>	3,31	20	0,8	0,60	1	132,81	1,60	6,42	0,27	1,37	433,96
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	3,31	15	0,8	0,60	1	99,61	1,20	9,30	0,29	1,40	433,85
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	3,31	86	0,8	0,60	1	571,08	6,88	11,99	2,18	2,70	428,13
Carga Horno	<b>R6.2</b>	3,31	20	0,8	0,60	1	132,81	1,60	6,36	0,27	0,79	436,52

**Tabla 7.5:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L1.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito									
		$I_B \leq I_n \leq I_z$	$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$	$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,min} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$	$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
<b>AL1</b>	3WT80805AA000AA2	486,30	520	580	676	841	55	25,60	6,16	4,8	-	-	-	-	-	-
<b>R1</b>	3VA23405HL320AA0	287,03	320	340	416	493	55	18,49	5,57	3,2	1,63E+06	5,85E+07				
<b>R2</b>	3VA20635HL320AA0	14,44	30	40	39	58	55	18,49	1,19	0,756	4,68E+05	5,64E+05				
<b>R3</b>	3VA21165HL320AA0	112,76	125	130	162,5	188,5	55	18,49	3,20	1,6	6,40E+05	2,31E+07				
<b>R4</b>	3VA20105HL320AA0	73,17	90	95	117	137,75	55	18,49	1,12	0,3	4,68E+05	9,14E+06				
<b>R5</b>	3VA20105HL320AA0	20,50	25	40	32,5	58	55	18,49	0,61	0,3	4,68E+05	5,64E+05				
<b>R6</b>	3VA20635HL320AA0	17,08	30	40	39	58	55	18,49	1,46	0,756	4,68E+05	5,64E+05				
DERIVACIONES																
<b>R2.1</b>	3VA20255HL320AA0	6,42	16	24	20,8	34,8	55	2,38	0,60	0,3	1,13E+05	2,24E+05				
<b>R2.2</b>	3VA20255HL320AA0	9,30	16	24	20,8	34,8	55	2,38	0,68	0,3	1,13E+05	2,24E+05				
<b>R.6.1</b>	3VA20255HL320AA0	11,99	16	24	20,8	34,8	55	1,46	0,20	0,15	4,25E+04	2,24E+05				
<b>R6.2</b>	3VA20255HL320AA0	6,36	16	24	20,8	34,8	55	1,46	0,46	0,3	4,25E+04	2,24E+05				

## Tablero de distribución horno 1 (TD-H1)

**Tabla 7.6:** Parámetros iniciales de diseño TD-H1.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador H1	<b>AH1</b>	180,42	250,36	2	125,18	B.AH1	2	0,91	1	137,56
Horno H1	<b>R1</b>	180,42	225,53	1	225,53	B.1	2	0,91	1	247,83
Salida del Horno	<b>R2</b>	6,89	8,61	1	8,61	B.1	2	0,91	1	9,46
Empaquetadora	<b>R3</b>	8,20	10,25	1	10,25	B.2	2	0,91	1	11,27
Paletizador	<b>R4</b>	9,74	12,18	1	12,18	B.2	2	0,91	1	13,38

**Tabla 7.7:** Comprobación caída de tensión TD-H1.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$Sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador H1	<b>AH1</b>	53,5	56	0,8	0,60	2	11,504	2,660	125,18	0,532	0,53	437,66
Horno H1	<b>R1</b>	107,21	100	0,8	0,60	1	20,502	9,500	225,53	1,96	2,49	429,03
Salida del Horno	<b>R2</b>	5,25	105	0,8	0,60	1	439,600	9,975	8,61	1,21	1,74	432,32
Empaquetadora	<b>R3</b>	5,25	130	0,8	0,60	1	544,267	12,350	10,25	1,79	2,32	429,80
Paletizador	<b>R4</b>	5,25	145	0,8	0,60	1	607,067	13,775	12,18	2,37	2,90	427,24

**Tabla 7.8:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H1.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito								
		$I_B \leq I_n \leq I_z$	$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$	$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,min} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$	$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$
<b>AH1</b>	3VA24635HL320AA0	250,36	320	340	409,5	493	55	25,60	5,08	4	3,25E+06	5,85E+07			
<b>R1</b>	3VA22255HL320AA0	225,53	230	300	299	435	55	15,26	2,37	2	8,86E+05	2,35E+08			
<b>R2</b>	3VA20255HL320AA0	8,61	16	40	20,8	58	55	15,26	0,35	0,30	4,47E+05	5,64E+05			
<b>R3</b>	3VA20255HL320AA0	10,25	16	40	20,8	58	55	15,26	0,28	0,20	4,47E+05	5,64E+05			
<b>R4</b>	3VA20255HL320AA0	12,18	16	40	20,8	58	55	15,26	0,25	0,20	4,47E+05	5,64E+05			

## Tablero de distribución línea 2 (TD-L2)

**Tabla 7.9:** Parámetros iniciales de diseño TD-L2.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador L2	<b>AL2</b>	229,63	487,50	2	243,75	B.AL2	2	0,91	1	267,857
Prensa 980	<b>R1</b>	229,63	287,03	2	143,52	B.1	2	0,91	1	157,712
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	7,44	14,44	1	14,44	B.2	2	0,91	1	15,865
Secadero Vertical	<b>R3</b>	91,85	114,81	1	114,81	B.2	2	0,91	1	126,169
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	31,08	73,17	1	73,17	B.3	3	0,87	1	84,100
Impresión Digital	<b>R5</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.3	3	0,87	1	23,566
Entrada. Auxiliar Horno	<b>R6</b>	9,15	16,53	1	16,53	B.3	3	0,87	1	18,994
DERIVACIONES										
Volteador	<b>R2.1</b>	5,13	6,42	1	6,42	T.C	1	1	1	6,42
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	7,44	9,30	1	9,30	T.C	1	1	1	9,30
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	9,15	11,44	1	11,44	T.C	1	1	1	11,44
Carga Horno	<b>R6.2</b>	5,08	6,36	1	6,36	T.C	1	1	1	6,36

**Tabla 7.10:** Comprobación caída de tensión TD-L2.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$Sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador L2	<b>AL2</b>	126,67	60	0,78	0,63	2	5,21	2,85	243,75	0,56	0,56	437,53
Prensa 980	<b>R1</b>	53,5	10	0,80	0,60	2	2,05	0,48	143,52	0,11	0,67	437,06
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	5,25	15	0,80	0,60	1	62,80	1,43	14,44	0,29	0,85	436,26
Secadero Vertical	<b>R3</b>	33,62	30	0,80	0,60	1	19,61	2,85	114,81	0,79	1,35	434,07
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	21,14	100	0,76	0,65	1	103,97	9,50	73,17	2,46	3,02	426,71
Impresión Digital	<b>R5</b>	5,25	80	0,80	0,60	1	334,93	7,60	20,50	2,20	2,76	427,86
Entrada Auxiliar Horno	<b>R6</b>	5,25	15	0,80	0,60	1	62,80	1,43	16,53	0,33	1,00	435,59
DERIVACIONES												
Volteador	<b>R2.1</b>	3,31	8	0,8	0,60	1	53,12	0,64	6,42	0,11	0,96	435,78
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	3,31	5	0,8	0,60	1	33,20	0,40	9,30	0,10	0,95	435,83
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	3,31	110	0,8	0,60	1	730,45	8,80	11,44	2,66	3,22	425,85
Carga Horno	<b>R6.2</b>	3,31	35	0,8	0,60	1	232,42	2,80	6,36	0,47	1,03	435,47

**Tabla 7.11:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L2.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito										
		$I_B \leq I_n \leq I_z$	$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$	$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,min} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$	$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,min}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
<b>AL2</b>	3WT80805AA000AA2	487,50	520	580	676	841	55	40,01	7,99	6,4	-	-	-	-	-	-	-
<b>R1</b>	3VA23405HL320AA0	287,03	320	340	416	493	55	24,00	7,12	4	1,53E+06	5,85E+07					
<b>R2</b>	3VA20635HL320AA0	14,44	30	40	39	58	55	24,00	1,75	0,756	4,96E+05	5,64E+05					
<b>R3</b>	3VA21165HL320AA0	114,81	125	130	162,5	188,5	55	24,00	3,49	1,6	6,78E+05	2,31E+07					
<b>R4</b>	3VA20105HL320AA0	73,17	90	95	117	137,75	55	24,00	0,92	0,6	4,96E+05	9,14E+06					
<b>R5</b>	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	24,00	0,46	0,32	4,96E+05	5,64E+05					
<b>R6</b>	3VA20635HL320AA0	16,53	30	40	39	58	55	24,00	1,75	0,756	4,96E+05	5,64E+05					
DERIVACIONES																	
<b>R2.1</b>	3VA20405HL320AA0	6,42	16	24	20,8	34,8	55	3,50	1,11	0,48	2,03E+05	2,24E+05					
<b>R2.2</b>	3VA20405HL320AA0	9,30	16	24	20,8	34,8	55	3,50	1,29	0,48	2,03E+05	2,24E+05					
<b>R6.1</b>	3VA20405HL320AA0	11,44	16	24	20,8	34,8	55	3,50	0,19	0,12	2,03E+05	2,24E+05					
<b>R6.2</b>	3VA20405HL320AA0	6,36	16	24	20,8	34,8	55	3,50	0,50	0,4	2,03E+05	2,24E+05					

## Tablero de distribución horno 2 (TD-H2)

**Tabla 7.12:** Parámetros iniciales de diseño TD-H2.

		Imáx [A]	$I'_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador H2	<b>AH2</b>	180,42	250,36	2	125,18	B.H2	1	0,91	1	137,56
Horno H2	<b>R1</b>	180,42	225,53	1	225,53	B.1	1	0,98	1	230,13
Salida del Horno	<b>R2</b>	6,89	8,61	1	8,61	B.2	3	0,87	1	9,90
Empaquetadora	<b>R3</b>	8,20	10,25	1	10,25	B.2	3	0,87	1	11,78
Paletizador	<b>R4</b>	9,74	12,18	1	12,18	B.2	3	0,87	1	14,00

**Tabla 7.13:** Comprobación caída de tensión TD-H2.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$Sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador H2	<b>AH2</b>	53,5	30	0,8	0,60	2	6,163	1,425	125,18	0,3	0,3	438,75
Horno H2	<b>R1</b>	107,21	20	0,8	0,60	1	4,100	1,900	225,53	0,4	0,7	437,02
Salida del Horno	<b>R2</b>	5,25	110	0,8	0,60	1	460,533	10,450	8,61	1,3	1,6	433,16
Empaquetadora	<b>R3</b>	5,25	120	0,8	0,60	1	502,400	11,400	10,25	1,6	1,9	431,49
Paletizador	<b>R4</b>	5,25	130	0,8	0,60	1	544,267	12,350	12,18	2,1	2,4	429,40

**Tabla 7.14:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H2.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín} > I_a$		$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
<b>AH2</b>	3VA24635HL320AA0	250,36	315	340	409,5	493	55	40,01	8,63	5,670	3,61E+06	5,85E+07
<b>R1</b>	3VA22255HL320AA0	225,53	230	260	299	377	55	25,92	6,30	2,500	9,99E+05	2,35E+08
<b>R2</b>	3VA20255HL320AA0	8,61	16	40	20,8	58	55	25,92	0,34	0,250	5,05E+05	5,64E+05
<b>R3</b>	3VA20255HL320AA0	10,25	16	40	20,8	58	55	25,92	0,31	0,250	5,05E+05	5,64E+05
<b>R4</b>	3VA20255HL320AA0	12,18	16	40	20,8	58	55	25,92	0,29	0,20	5,05E+05	5,64E+05

### Tablero de distribución línea 3 (TD-L3)

**Tabla 7.15:** Parámetros iniciales de diseño TD-L3.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador L3	<b>AL3</b>	229,63	473,29	2	236,64	B.AL3	2	0,91	1	260,048
Prensa 2800	<b>R1</b>	229,63	287,03	2	143,52	B.1	2	0,91	1	157,712
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	9,92	17,54	1	17,54	B.2	2	0,91	1	19,272
Secadero Vertical	<b>R3</b>	91,85	114,81	1	114,81	B.2	2	0,91	1	126,169
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	28,49	55,17	1	55,17	B.3	3	0,87	1	63,415
Impresión Digital	<b>R5</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.3	3	0,87	1	23,566
Entrada. Auxiliar Horno	<b>R6</b>	9,15	17,18	1	17,18	B.3	3	0,87	1	19,748
DERIVACIONES										
Volteador	<b>R2.1</b>	5,13	6,42	1	6,42	T.C	1	1	1	6,42
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	9,92	12,40	1	12,40	T.C	1	1	1	12,40
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	9,15	11,44	1	11,44	T.C	1	1	1	11,44
Carga Horno	<b>R6.2</b>	5,74	7,18	1	7,18	T.C	1	1	1	7,18

**Tabla 7.16:** Comprobación caída de tensión TD-L3.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador L3	<b>AL3</b>	107,21	60	0,77	0,63	2	6,15	2,85	236,64	0,61	0,61	437,31
Prensa 980-2	<b>R1</b>	53,5	10	0,80	0,60	2	2,05	0,48	143,52	0,11	0,72	436,83
Auxiliar Secadero	<b>R2</b>	5,25	16	0,80	0,60	1	66,99	1,52	17,54	0,38	0,99	435,65
Secadero Vertical	<b>R3</b>	33,62	20	0,80	0,60	1	13,08	1,90	114,81	0,52	1,14	435,00
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	21,14	110	0,75	0,66	1	114,37	10,45	55,17	2,02	2,63	428,44
Impresión Digital	<b>R5</b>	5,25	100	0,80	0,60	1	418,67	9,50	20,50	2,75	3,36	425,21
Entrada Auxiliar Horno	<b>R6</b>	5,25	16	0,80	0,60	1	66,99	1,52	17,18	0,37	1,09	435,21
DERIVACIONES												
Volteador	<b>R2.1</b>	3,31	5	0,8	0,60	1	33,20	0,40	6,42	0,07	1,06	435,36
Carga Secadero	<b>R2.2</b>	3,31	5	0,8	0,60	1	33,20	0,40	12,40	0,13	1,12	435,08
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	3,31	110	0,8	0,60	1	730,45	8,80	11,44	2,66	3,74	423,52
Carga Horno	<b>R6.2</b>	3,31	40	0,8	0,60	1	265,62	3,20	7,18	0,61	1,69	432,54

**Tabla 7.17:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L3.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín} > I_a$		$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
<b>AL3</b>	3WTS80805AA000AA2	473,29	480	520	624	754	55	40,01	7,70	6,4	-	-
<b>R1</b>	3VA23405HL320AA0	287,03	300	340	390	493	55	23,12	6,85	4	1,74E+06	5,85E+07
<b>R2</b>	3VA20635HL320AA0	17,54	30	40	39	58	55	23,12	2,00	0,756	4,92E+05	5,64E+05
<b>R3</b>	3VA21165HL320AA0	114,81	125	130	163	188,5	55	23,12	4,25	1,6	6,72E+05	2,31E+07
<b>R4</b>	3VA20105HL320AA0	55,17	70	95	91	137,75	55	23,12	0,84	0,6	4,92E+05	9,14E+06
<b>R5</b>	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	23,12	0,37	0,24	4,92E+05	5,64E+05
<b>R6</b>	3VA20635HL320AA0	17,18	25	40	32,5	58	55	23,12	2,00	0,746	4,92E+05	5,64E+05
DERIVACIONES												
<b>R2.1</b>	3VA20405HL320AA0	6,42	16	24	20,8	34,8	55	4,00	1,42	0,24	2,24E+05	2,24E+05
<b>R2.2</b>	3VA20405HL320AA0	12,40	16	24	20,8	34,8	55	4,00	1,42	0,24	2,24E+05	2,24E+05
<b>R6.1</b>	3VA20255HL320AA0	11,44	16	24	20,8	34,8	55	4,00	0,21	0,125	2,24E+05	2,24E+05
<b>R6.2</b>	3VA20255HL320AA0	7,18	16	24	20,8	34,8	55	4,00	0,58	0,25	2,24E+05	2,24E+05

## Tablero de distribución horno 3 (TD-H3)

**Tabla 7.18:** Parámetros iniciales de diseño TD-H3.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador H3	<b>AH3</b>	180,42	257,41	2	128,71	B.AH3	2	0,91	1	141,44
Horno H3	<b>R1</b>	180,42	225,53	1	225,53	B.1	1	0,98	1	230,13
Salida del Horno	<b>R2</b>	5,74	7,18	1	7,18	B.2	3	0,87	1	8,25
Empaquetadora	<b>R3</b>	16,40	20,50	1	20,50	B2	3	0,87	1	23,57
Paletizador	<b>R4</b>	9,74	12,18	1	12,18	B2	3	0,87	1	14,00

**Tabla 7.19:** Comprobación caída de tensión TD-H3.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador H3	<b>AH3</b>	53,5	25	0,8	0,60	2	5,136	1,188	128,71	0,24	0,24	438,93
Horno H3	<b>R1</b>	107,21	20	0,8	0,60	1	4,100	1,900	225,53	0,39	0,64	437,20
Salida del Horno	<b>R2</b>	5,25	110	0,8	0,60	1	460,533	10,450	7,18	1,06	1,30	434,27
Empaquetadora	<b>R3</b>	8,36	125	0,8	0,60	1	328,648	11,875	20,50	2,18	2,42	429,34
Paletizador	<b>R4</b>	5,25	130	0,8	0,60	1	544,267	12,350	12,18	2,12	2,37	429,58

**Tabla 7.20:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H3.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$	$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,min} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$					
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
<b>AH3</b>	3VA24635HL320AA0	257,41	315	340	409,5	493	55	40,01	9,27	5,67	3,61E+06	5,85E+07
<b>R1</b>	3VA22255HL320AA0	225,53	240	260	312	377	55	27,85	6,67	2,5	1,02E+06	2,35E+08
<b>R2</b>	3VA20405HL320AA0	7,18	16	40	20,8	58	55	27,85	0,34	0,24	5,13E+05	5,64E+05
<b>R3</b>	3VA20405HL320AA0	20,50	30	55	39	79,75	55	27,85	0,47	0,4	5,13E+05	1,43E+06
<b>R4</b>	3VA20405HL320AA0	12,18	24	40	31,2	58	55	27,85	0,29	0,24	5,13E+05	5,64E+05

## Tablero de distribución línea 4 (TD-L4)

**Tabla 7.21:** Parámetros iniciales de diseño TD-L4.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador L4	<b>AL4</b>	216,51	541,22	3	180,41	B.AL4	3	0,87	1	207,365
Prensa 4900	<b>R1</b>	216,51	270,63	2	135,32	B.1	2	0,91	1	148,699
Aux. Secadero	<b>R2</b>	11,93	30,16	1	30,16	B.2	2	0,91	1	33,144
Secadero H.	<b>R3</b>	132,04	165,05	1	165,05	B.2	2	0,91	1	181,368
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	38,85	75,73	1	75,73	B.3	3	0,87	1	87,042
Impresión Digital	<b>R5</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.3	3	0,87	1	23,566
Entrada. Auxiliar Horno	<b>R6</b>	17,76	33,40	1	33,40	B.3	3	0,87	1	38,389
DERIVACIONES										
Volteador	<b>R2.1</b>	6,56	8,20	1	8,20	T.C	1	1	1	8,20
C. Secadero	<b>R2.2</b>	8,68	10,86	1	10,86	T.C	1	1	1	10,86
D. Secadero	<b>R2.3</b>	11,93	14,92	1	14,92	T.C	1	1	1	14,92
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	11,19	13,99	1	13,99	T.C	1	1	1	13,99
Carga Horno	<b>R6.2</b>	17,76	22,20	1	22,20	T.C	1	1	1	22,20

**Tabla 7.22:** Comprobación caída de tensión TD-L4.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$Sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador L4	<b>AL4</b>	85,02	35	0,78	0,63	3	3,02	1,11	541,22	0,6	0,6	437,14
Prensa 4900	<b>R1</b>	42,2	10	0,8	0,60	2	2,60	0,48	270,63	0,3	0,9	436,03
Aux. Secadero	<b>R2</b>	8,36	25	0,8	0,60	1	65,73	2,38	30,16	0,6	1,3	434,32
Secadero H.	<b>R3</b>	67,44	30	0,8	0,60	1	9,78	2,85	165,05	0,6	1,3	434,42
Línea de Esmalte	<b>R4</b>	26,66	150	0,76	0,65	1	123,67	14,25	75,73	3,1	3,7	423,57
Impresión Digital	<b>R5</b>	5,25	100	0,8	0,60	1	418,67	9,50	20,50	2,7	3,4	425,05
E. Auxiliar Horno	<b>R6</b>	13,29	170	0,8	0,60	1	281,16	16,15	33,40	3,1	3,7	423,57
DERIVACIONES												
Volteador	<b>R2.1</b>	3,31	6	0,8	0,60	1	39,84	0,48	8,20	0,1	1,4	433,87
C. Secadero	<b>R2.2</b>	3,31	5	0,8	0,60	1	33,20	0,40	10,86	0,1	1,4	433,82
D. Secadero	<b>R2.3</b>	3,31	23	0,8	0,60	1	152,73	1,84	14,92	0,7	2,0	431,14
Pulmón A. Crudo	<b>R6.1</b>	3,31	10	0,8	0,60	1	66,40	0,80	13,99	0,3	4,0	422,27
Carga Horno	<b>R6.2</b>	3,31	10	0,8	0,60	1	66,40	0,80	22,20	0,5	4,2	421,51

**Tabla 7.23:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-L4.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín} > I_a$	$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,máx}$	$I_{cc,mín}$	$I_a$		
<b>AL4</b>	3WT80805AA000AA2	541,22	560	675,00	728	978,75	55	40,01	9,893	6,4	-	-
<b>R1</b>	3VA23405HL320AA0	270,63	300	300,00	390	435	55	29,71	8,039	4	1,84E+06	3,64E+07
<b>R2</b>	3VA20635HL320AA0	30,16	40	55,00	52	79,75	55	29,71	1,761	0,756	5,20E+05	1,43E+06
<b>R3</b>	3VA22255HL320AA0	165,05	175	195,00	227,5	282,75	55	29,71	4,793	2,5	1,03E+06	9,30E+07
<b>R4</b>	3VA20105HL320AA0	75,73	90	110,00	117	159,5	55	29,71	0,623	0,5	5,20E+05	1,45E+07
<b>R5</b>	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40,00	39	58	55	29,71	0,288	0,24	5,20E+05	5,64E+05
<b>R6</b>	3VA20405HL320AA0	33,40	40	75,00	52	108,75	55	29,71	0,424	0,23	5,20E+05	3,61E+06
DERIVACIONES												
<b>R2.1</b>	3VA20405HL320AA0	6,56	16	24	20,8	34,8	55	3,52	1,127	0,48	2,04E+05	2,24E+05
<b>R2.2</b>	3VA20405HL320AA0	8,68	16	24	20,8	34,8	55	3,52	1,199	0,48	2,04E+05	2,24E+05
<b>R2.3</b>	3VA20255HL320AA0	11,93	16	24	20,8	34,8	55	3,52	0,554	0,3	2,04E+05	2,24E+05
<b>R6.1</b>	3VA20405HL320AA0	11,19	16	24	20,8	34,8	55	0,85	0,343	0,24	1,44E+04	2,24E+05
<b>R6.2</b>	3VA20405HL320AA0	17,76	20	24	26	34,8	55	0,85	0,342	0,24	1,44E+04	2,24E+05

## Tablero de distribución horno 4 (TD-H4)

**Tabla 7.24:** Parámetros iniciales de diseño TD-H4.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador H4	<b>AH4</b>	359,20	502,92	3	167,64	B.AH4	3	0,87	1	192,69
Horno H4	<b>R1</b>	359,20	449,00	2	224,50	B.1	2	0,91	1	246,71
Salida del Horno	<b>R2</b>	21,11	26,39	1	26,39	B.2	3	0,87	1	29,00
Línea de Clasificación	<b>R3</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.2	3	0,87	1	23,57
Paletizador	<b>R4</b>	16,40	20,50	1	20,50	B.2	3	0,87	1	23,57

**Tabla 7.25:** Comprobación caída de tensión TD-H4.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$Sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador H4	<b>AH4</b>	67,44	35	0,8	0,60	3	3,802	1,108	167,64	0,24	0,24	438,92
Horno H4	<b>R1</b>	107,21	25	0,8	0,60	2	2,563	1,188	224,50	0,24	0,49	437,85
Salida del Horno	<b>R2</b>	8,36	25	0,8	0,60	1	65,730	2,375	26,39	0,56	0,81	436,46
Línea de Clasificación	<b>R3</b>	5,25	100	0,8	0,60	1	418,667	9,500	20,50	2,75	2,99	426,83
Paletizador	<b>R4</b>	5,25	100	0,8	0,60	1	418,667	9,500	20,50	2,75	2,99	426,83

**Tabla 7.26:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H4.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,min} > I_a$		$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
AH4	3VA24635HL320AA0	502,92	575	585	747,5	848,25	55	40,01	9,967	5,67	3,61E+06	9,30E+07
R1	3VA24635HL320AA0	449,00	450	520	585	754	55	29,93	7,970	0,945	3,39E+06	2,35E+08
R2	3VA24635HL320AA0	26,39	35	55	45,5	79,75	55	29,93	2,225	0,756	5,20E+05	1,43E+06
R3	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	29,93	0,370	0,24	5,20E+05	5,64E+05
R4	3VA20405HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	29,93	0,370	0,24	5,20E+05	5,64E+05

## Tablero de distribución horno 5 (TD-H5)

**Tabla 7.27:** Parámetros iniciales de diseño TD-H5.

		Imáx [A]	$I_d$ [A]	C. Fase	$I'_d$ [A]	B/T.C	N.C Trifásicos	FA	FT	$I_B$ [A]
Alimentador AH5	AH5	658,13	1084,144	3	361,38	B.AH5	3	0,87	1	415,38
Horno 3020	R1	658,13	822,66	3	274,22	B.1	3	0,87	1	315,20
Descarga Horno	R2	31,98	39,98	1	39,98	B.2	1	0,98	1	40,80
Calibradoras	R3	87,72	193,79	1	193,79	B.3	2	0,91	1	212,96
Línea de prolongación	R4	27,10	33,87	1	33,87	B.3	2	0,91	1	37,22
Línea de Clasificación	R5	16,40	20,50	1	20,50	B.4	2	0,91	1	22,53
Paletizador	R6	16,40	20,50	1	20,50	B.4	2	0,91	1	22,53
Compresor 2	R.CMP2	144,02	180,02	1	180,02	B.5	1	0,98	1	183,70

**Tabla 7.28:** Comprobación caída de tensión TD-H5.

		Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	$Cos\varphi$	$sin\varphi$	C. Fase	R [mΩ] 90°C	X [mΩ]	$I'_d$ [A]	CDT [%]	SCV [%]	T. Calculada [V]
Alimentador AH5	AH5	253,35	80	0,8	0,60	3	2,314	2,533	361,38	0,48	0,48	437,89
Horno 3020	R1	152,01	35	0,8	0,60	3	1,687	1,108	274,22	0,22	0,70	436,93
Descarga Horno	R2	8,36	35	0,8	0,60	1	92,022	3,325	39,98	1,19	1,67	432,65
Calibradoras	R3	85,02	7	0,88	0,47	1	1,810	0,665	193,79	0,15	0,63	437,25
Línea de prolongación	R4	5,25	25	0,76	0,65	1	104,667	2,375	33,87	1,08	1,56	433,13
Línea de Clasificación	R5	5,25	30	0,8	0,60	1	125,600	2,850	20,50	0,82	1,30	434,26
Paletizador	R6	5,25	15	0,8	0,60	1	62,800	1,425	20,50	0,41	0,89	436,08
Compresor 2	R.CMP2	85,02	15	0,82	0,57	1	3,878	1,425	180,02	0,28	0,28	438,75

**Tabla 7.29:** Parámetros de protección contra sobrecarga y cortocircuito TD-H5.

RM	DISPOSITIVO	Condiciones para Sobrecarga					Condiciones para cortocircuito					
		$I_B \leq I_n \leq I_z$			$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$		$P_{DC} \geq I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,min} > I_a$		$(I^2 \cdot t) \leq (K^2 S^2)$		
		$I_B$	$I_n$	$I_z$	$I_2$	$1,45 \cdot I_z$	$P_{DC}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_{cc,m\acute{a}x}$	$I_a$	$(I^2 \cdot t) A^2 s$	$(K^2 S^2) A^2 s$
AH5	3WT81205AA000AA2	1084,14	1250	1290	1625	1870,5	55	20,62	5,54	5	-	-
R1	3WT81005AA000AA2	822,66	850	960	1105	1392	55	16,63	5,04	3	-	-
R2	3VA20635HL320AA0	39,98	50	55	65	79,75	55	16,63	1,60	0,756	4,57E+05	1,43E+06
R3	3VA22255HL320AA0	193,79	200	225	260	326,25	55	16,63	5,16	2,5	8,92E+05	1,48E+08
R4	3VA20635HL320AA0	33,87	35	40	45,5	58	55	16,63	1,42	0,378	4,57E+05	5,64E+05
R5	3VA20635HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	16,63	1,21	0,378	4,57E+05	5,64E+05
R6	3VA20635HL320AA0	20,50	30	40	39	58	55	16,63	2,26	0,756	4,57E+05	5,64E+05
CMP2	3VA22255HL320AA0	180,02	200	225	260	326,25	55	20,62	5,79	2,5	9,46E+05	1,48E+08

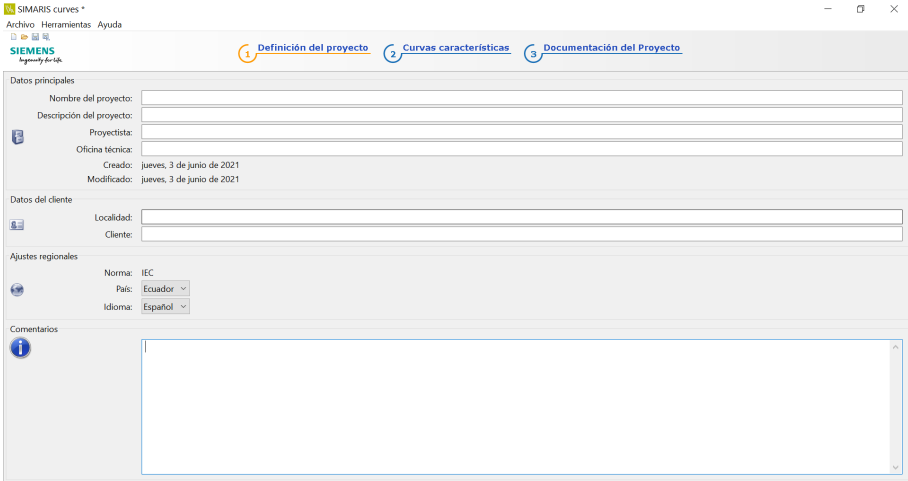
## 7.3 Coordinación de protecciones

Mediante el software SIMARS Curves una herramienta de Siemens, posibilita verificar las curvas de protección de los elementos destinados a la protección de la instalación, es decir, permite realizar la coordinación de protecciones o analizar la coordinación de dichas protecciones de un sistema de distribución de energía, de forma rápida y sencilla sin necesidad de diseñar un diagrama unifilar. Una de las ventajas de usar este software es editar el trabajo, ya que permite al diseñador adaptar las curvas según la necesidad del mismo. Además, Simaris curves ofrece la opción de exportación del proyecto, en formato .pdf, con gráficos y datos de los ajustes de los interruptores automáticos, etc.

A continuación, se presenta la documentación obtenida por Simaris curves de la coordinación de protecciones entre los circuitos de los tableros de distribución además se detalla los aspectos generares de la interfaz SIMARIS Curves.

### Interfaz principal de SIMARIS Curves

Al Abrir el Software de SIMARIS CURVES, en la opción 1 se opta por colocar los datos principales del proyecto.

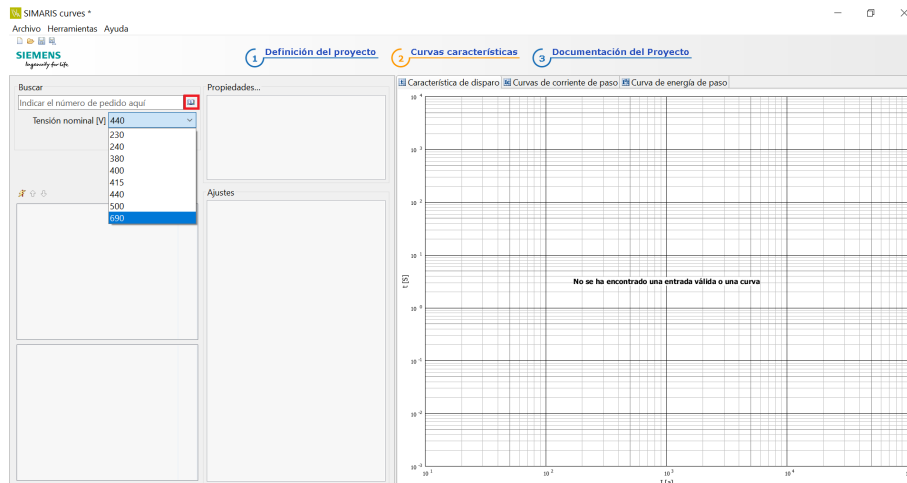


The screenshot displays the SIMARIS curves software interface. At the top, there is a menu bar with 'Archivo', 'Herramientas', and 'Ayuda'. Below the menu bar is a navigation bar with three tabs: '1 Definición del proyecto' (active), '2 Curvas características', and '3 Documentación del Proyecto'. The main area is divided into several sections: 'Datos principales' with fields for 'Nombre del proyecto', 'Descripción del proyecto', 'Proyectista', 'Oficina Técnica', 'Creado: jueves, 3 de junio de 2021', and 'Modificado: jueves, 3 de junio de 2021'; 'Datos del cliente' with fields for 'Localidad' and 'Cliente'; 'Ajustes regionales' with 'Norma: IEC', 'País: Ecuador', and 'Idioma: Español'; and 'Comentarios' with a large text area. The Siemens logo is visible in the top left corner.

**Figura 7.1:** Configuración de la pantalla principal.

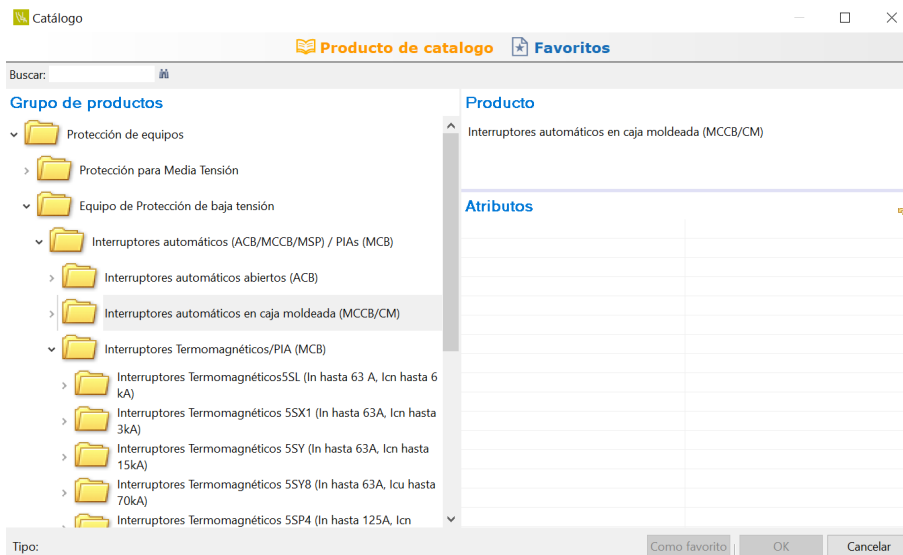


Una vez ingresado los datos del proyecto, se ingresa al apartado 2 (curvas características). Donde posibilita seleccionar los dispositivos de protección. Para buscar el dispositivo de protección se hace clic en el icono del libro indicado en el recuadro rojo.



**Figura 7.2:** Pantalla para seleccionar el dispositivo de protección.

Al hacer clic en el recuadro rojo se despliega una serie con los grupos de productos Siemens, para esta investigación se utiliza la carpeta equipos de protección en baja tensión, específicamente en la carpeta interruptor automático en caja moldeada (MCCB/CM).



**Figura 7.3:** Catalogo de productos.

A continuación, se selecciona el modelo del dispositivo de protección (interruptor automático de caja moldeada 3VA) y a su vez se llena los atributos basándose en las necesidades que se requiere para cada ejemplo, y finalmente se da clic en ok.

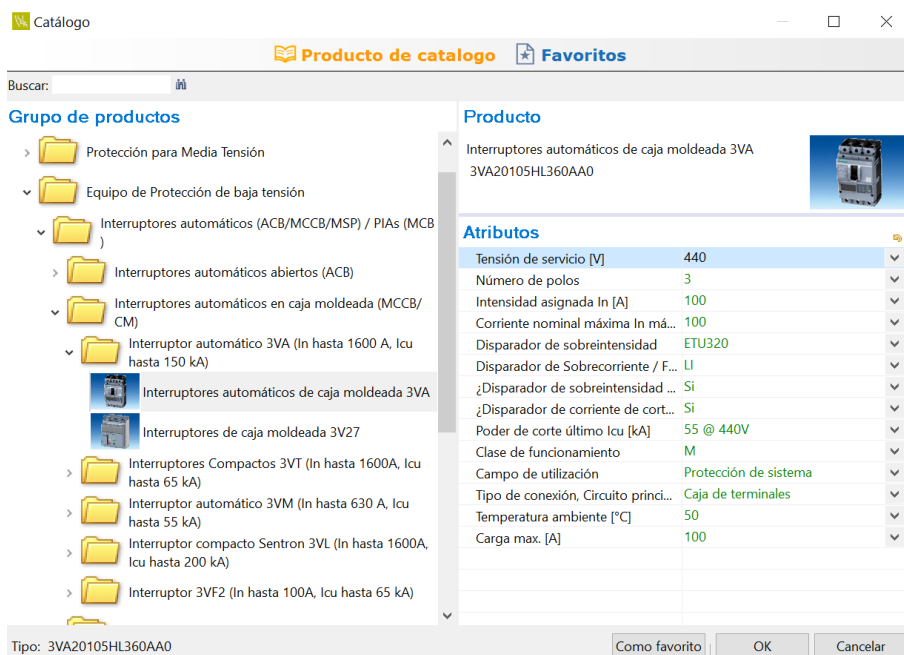


Figura 7.4: Interruptor automático 3VA.

Seguidamente se observa la curva característica de disparo para el Interruptor 3VA seleccionado anteriormente. Este software permite realizar un ajuste manual de los parámetros del dispositivo como por ejemplo el valor de regulación  $I_r$ [a] para la parte térmica y el ajuste  $I_i$ [a] para la instantánea del dispositivo de acuerdo con las necesidades de diseño que se realiza previamente.

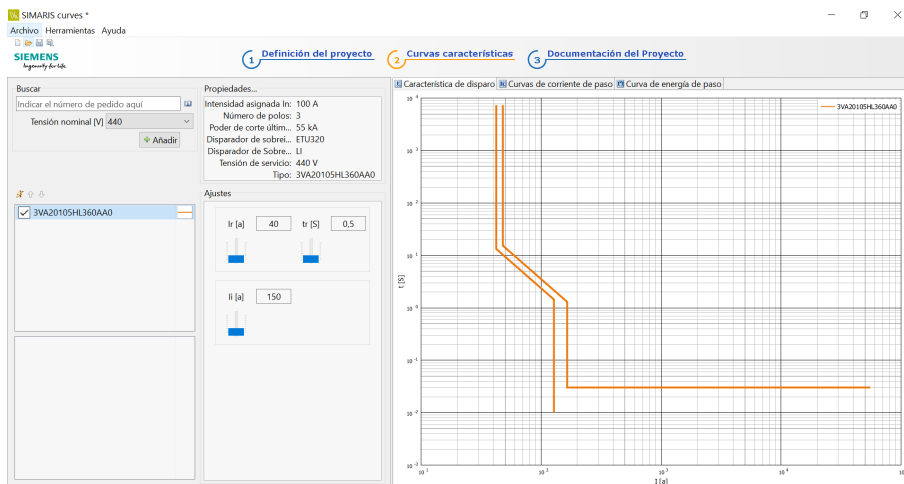
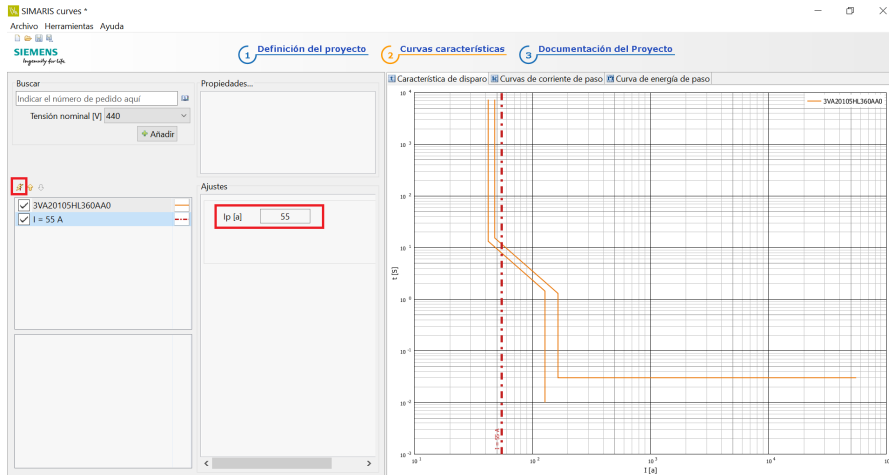


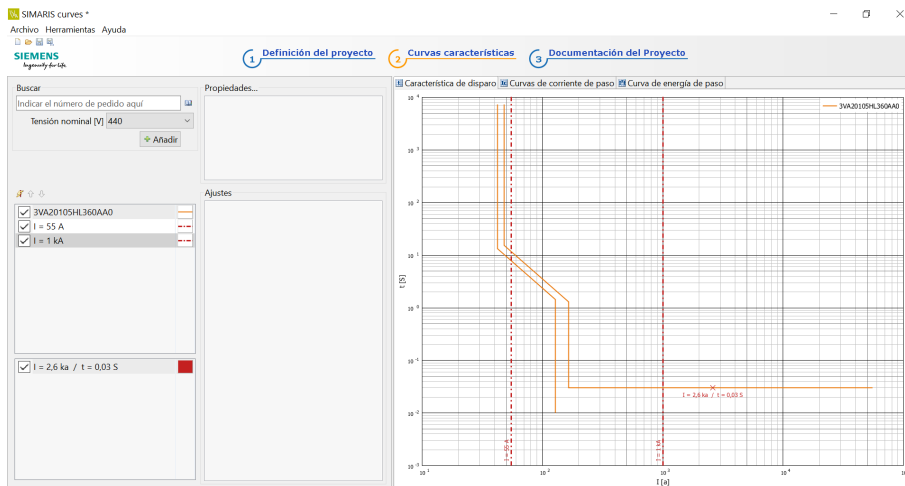
Figura 7.5: Curva característica 3VA20105HL360AA0.

Simaris Curves da la opción de colocar varias corrientes de falla, para ello se da clic en el icono del rayo, para el ejemplo utilizaremos un valor de corriente de falla de 55 Amperes la cual se inserta en la casilla de  $I_p$  [a]. Observamos que para este valor de falla de 55 A el interruptor operara en la zona de Sobrecarga y para un valor de 1000 A el interruptor opera en la zona de cortocircuito.



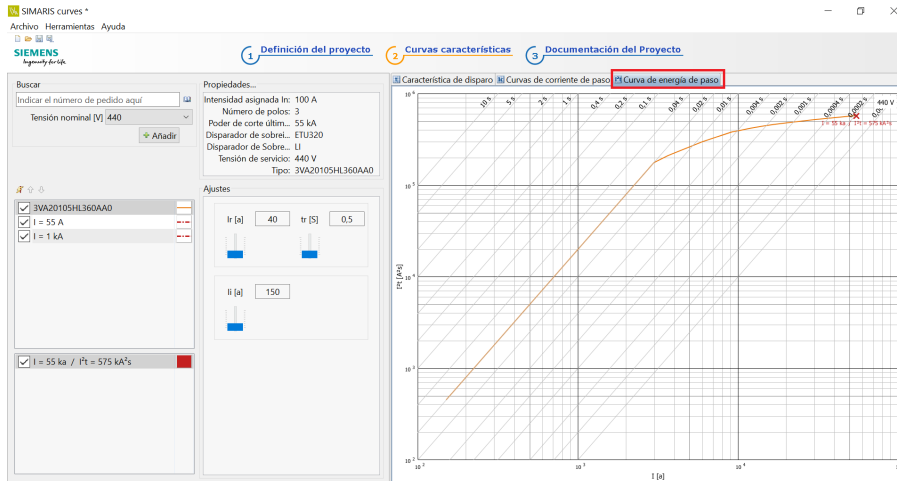
**Figura 7.6:** Configuración de la corriente de falla  $I_p[a]$ .

También se tiene la opción de fijar un valor dentro de la curva, reflejando la corriente y el tiempo de operación del interruptor, para nuestro caso de estudio se tiene una  $I=2,6$  kA con una operación en  $t=0,03$ .



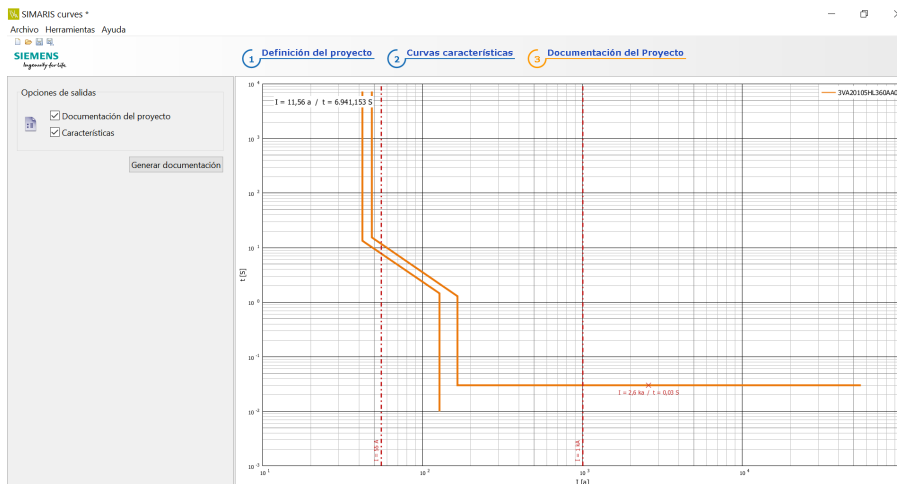
**Figura 7.7:** Simulación de la corriente de falla .

Para analizar la curva de energía de paso, se da clic en el recuadro rojo, en el ejemplo se fija el valor de cortocircuito en 55 kA que representa el poder de corte último, obteniendo un valor de  $I^2 \cdot t = 575$  k · A<sup>2</sup> · s



**Figura 7.8:** Curva de energía de paso.

Una vez verificado que todos los parámetros del dispositivo este correctamente ajustado se ingresa al apartado 3 (Documentación del proyecto), a fin de generar la documentación con los resultados que el software entrega por defecto.

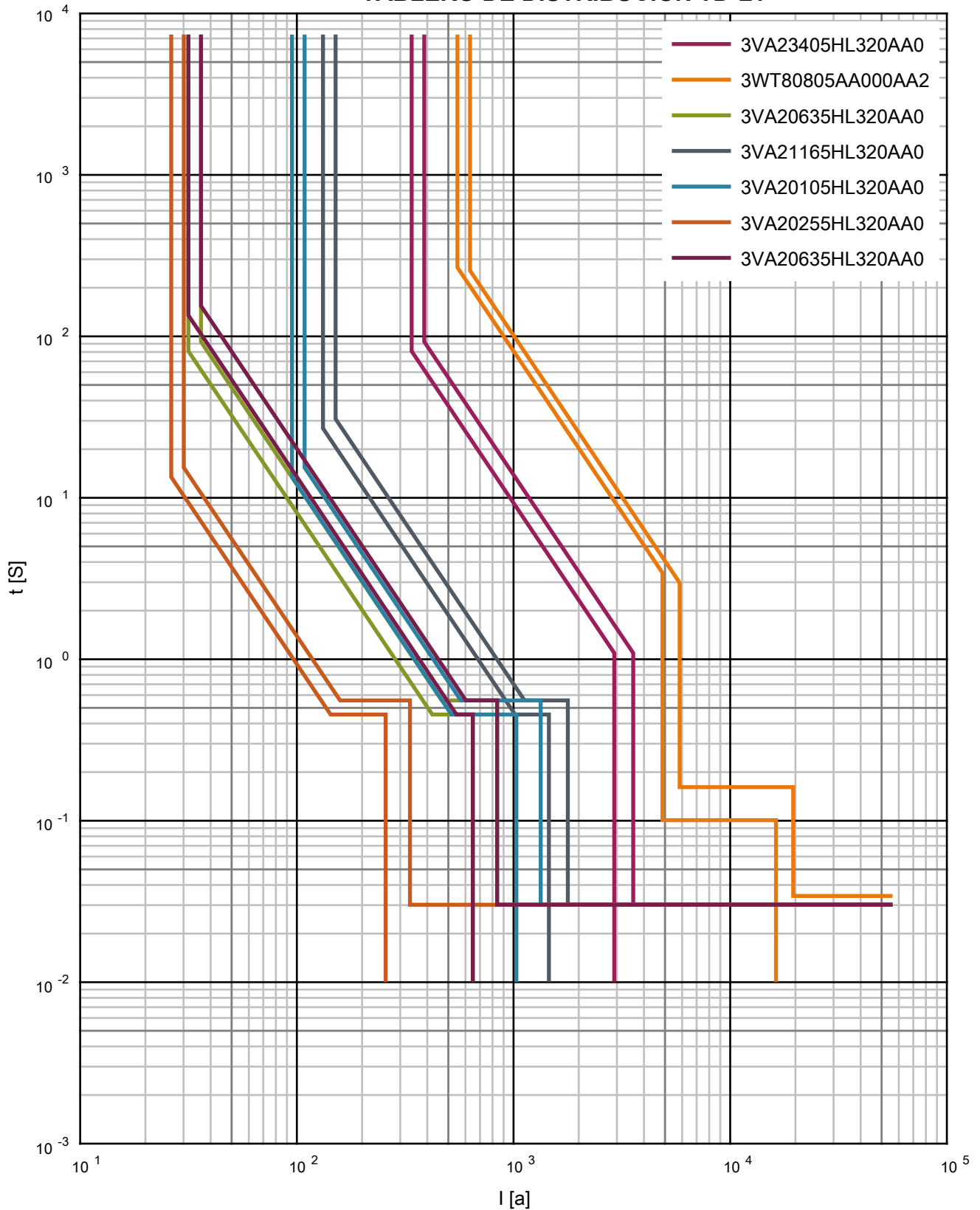


**Figura 7.9:** Pantalla de la documentación del proyecto.

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-L1**



**Exclusión de responsabilidad**

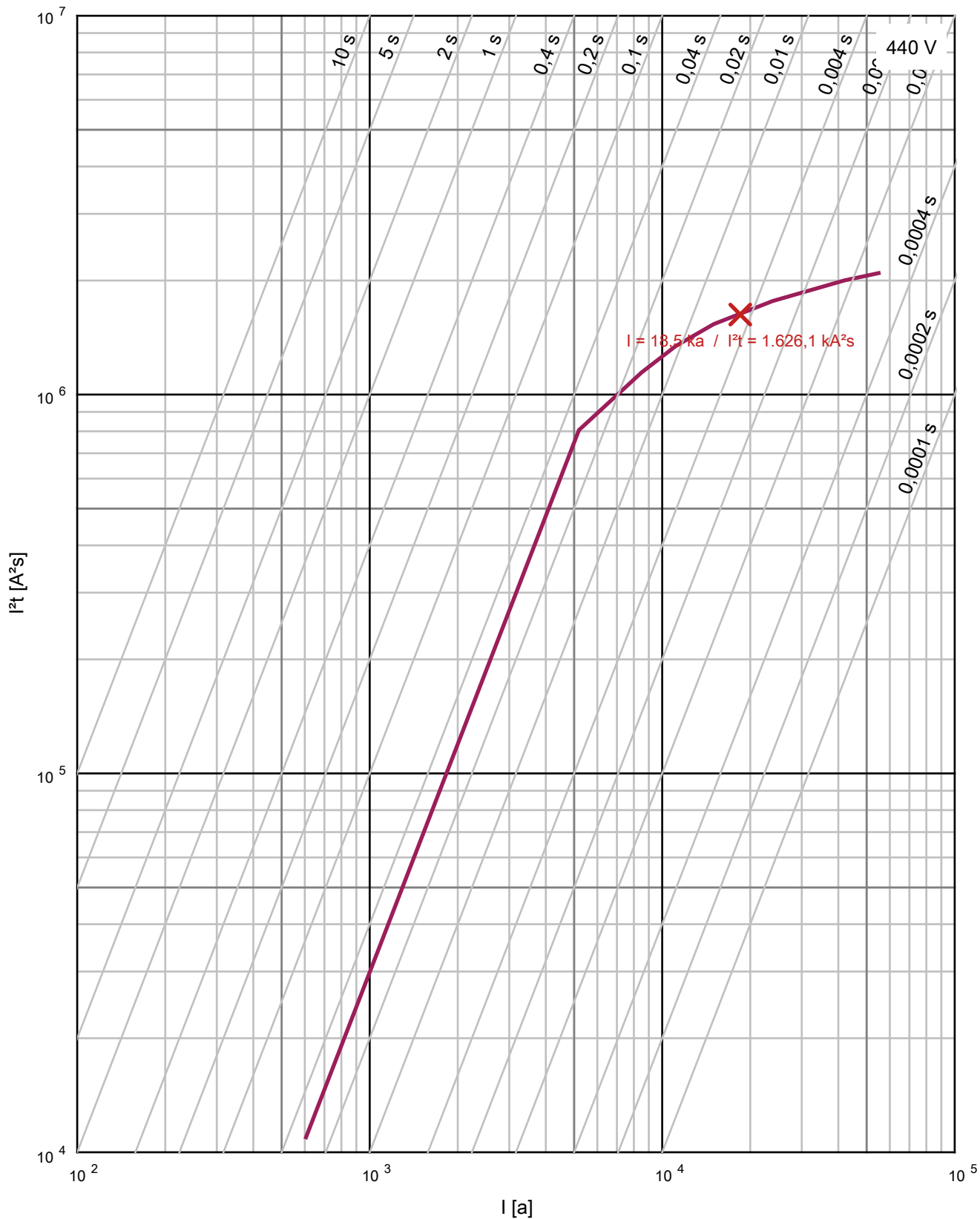
El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**Baja tensión**

Designación	L			S		I
	In [A]	I <sub>r</sub> [A]	tr [s]	I <sub>sd</sub> [A]	t <sub>sd</sub> [s]	I <sub>i</sub> [A]
3VA23405HL320AA0	400	320	3	-	-	3.200
3WT80805AA000AA2	800	520	10	4.800	0,1	16.000
3VA20635HL320AA0	63	30	3	-	-	756
3VA21165HL320AA0	160	125	1	-	-	1.600
3VA20105HL320AA0	100	90	0,5	-	-	1.200
3VA20255HL320AA0	25	25	0,5	-	-	300
3VA20635HL320AA0	63	30	5	-	-	756

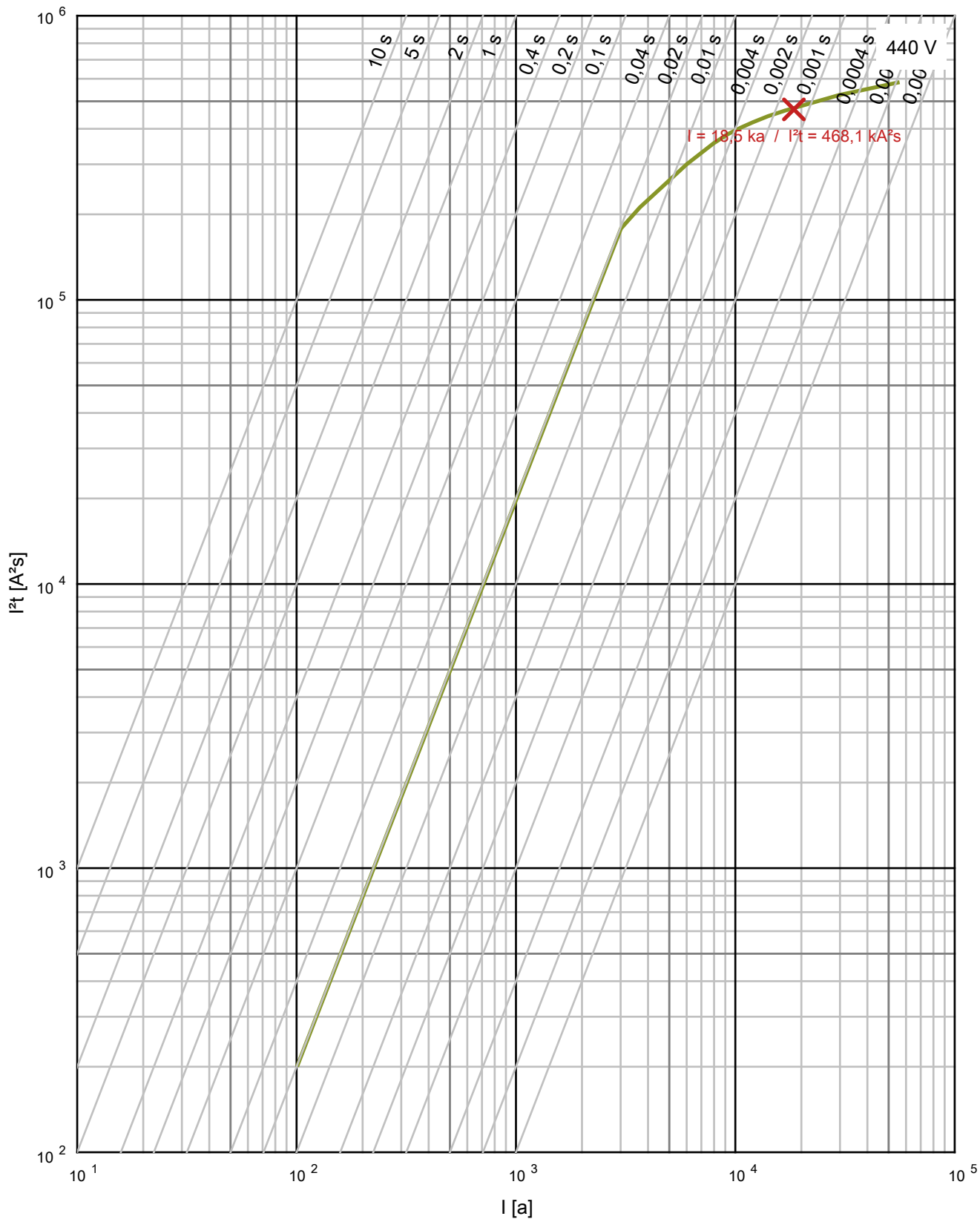
**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.



**Exclusión de responsabilidad**

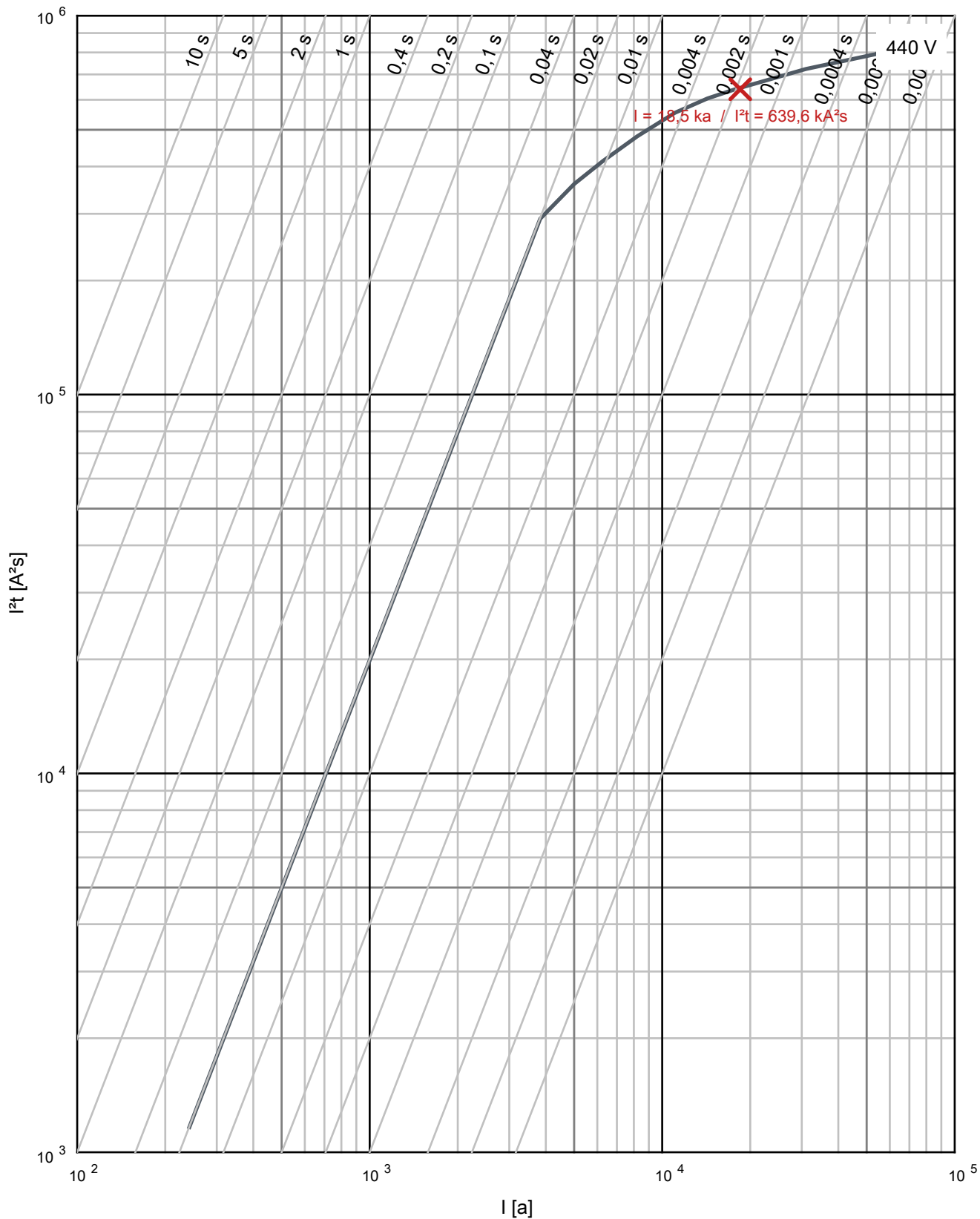
El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.





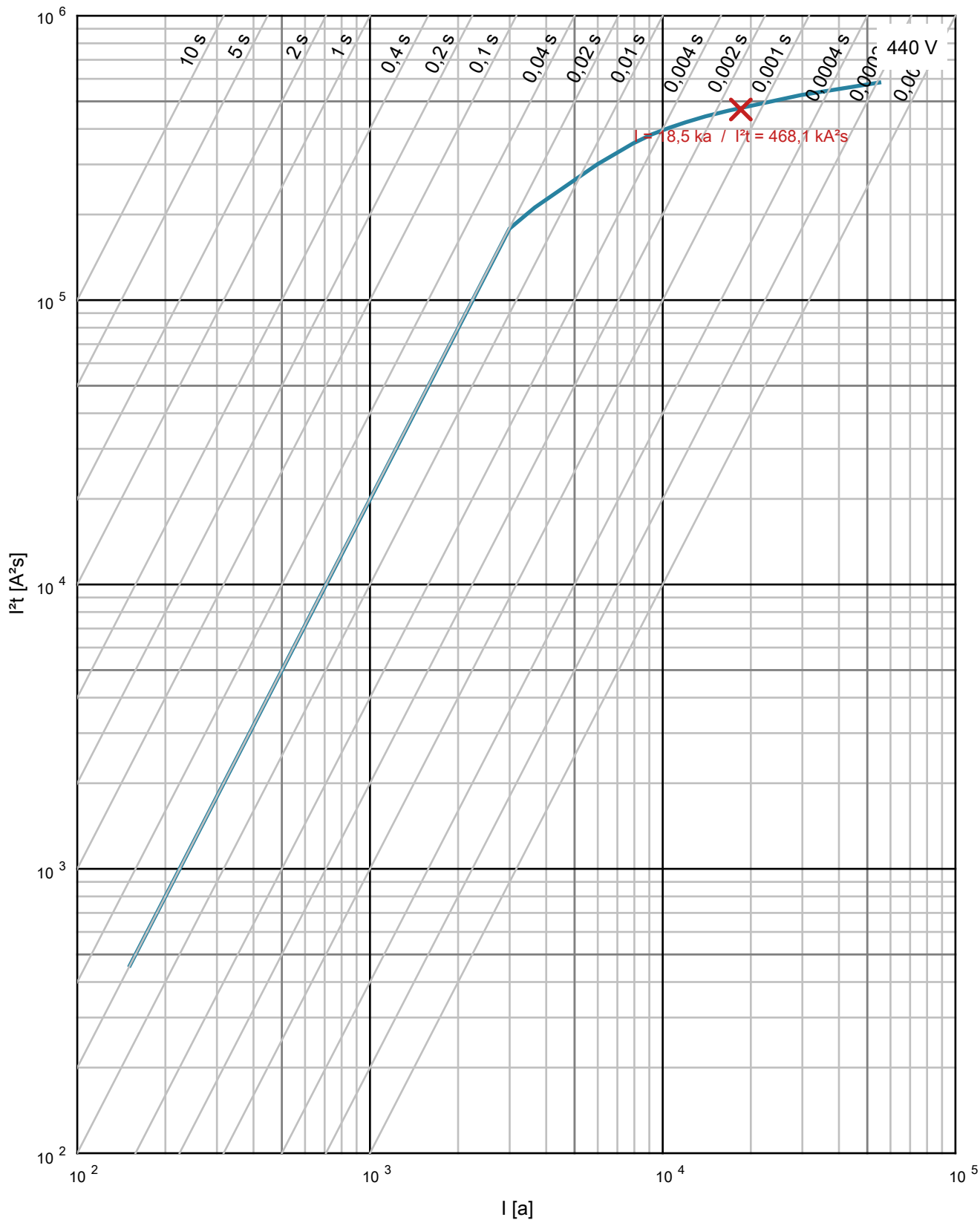
**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.



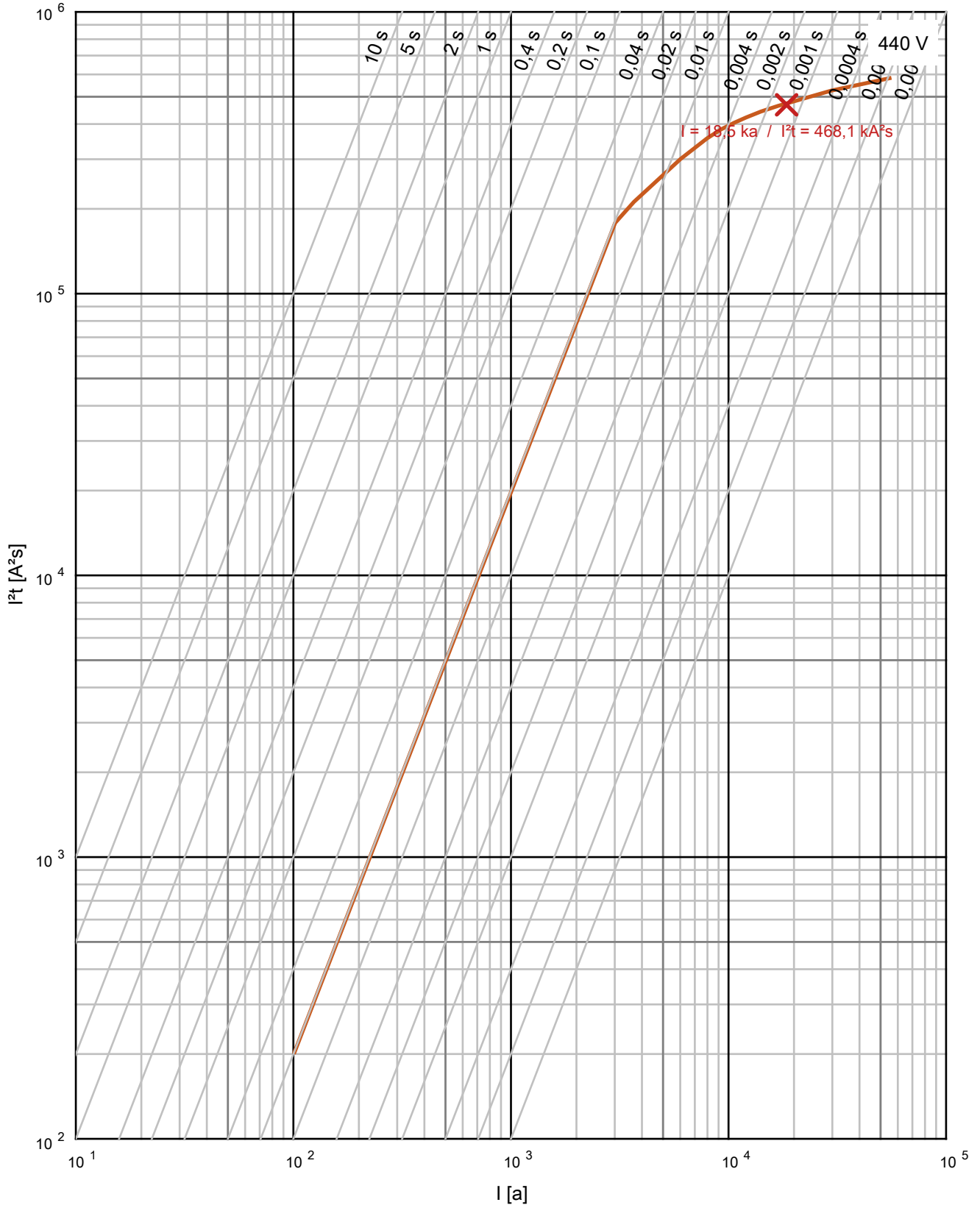
**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.



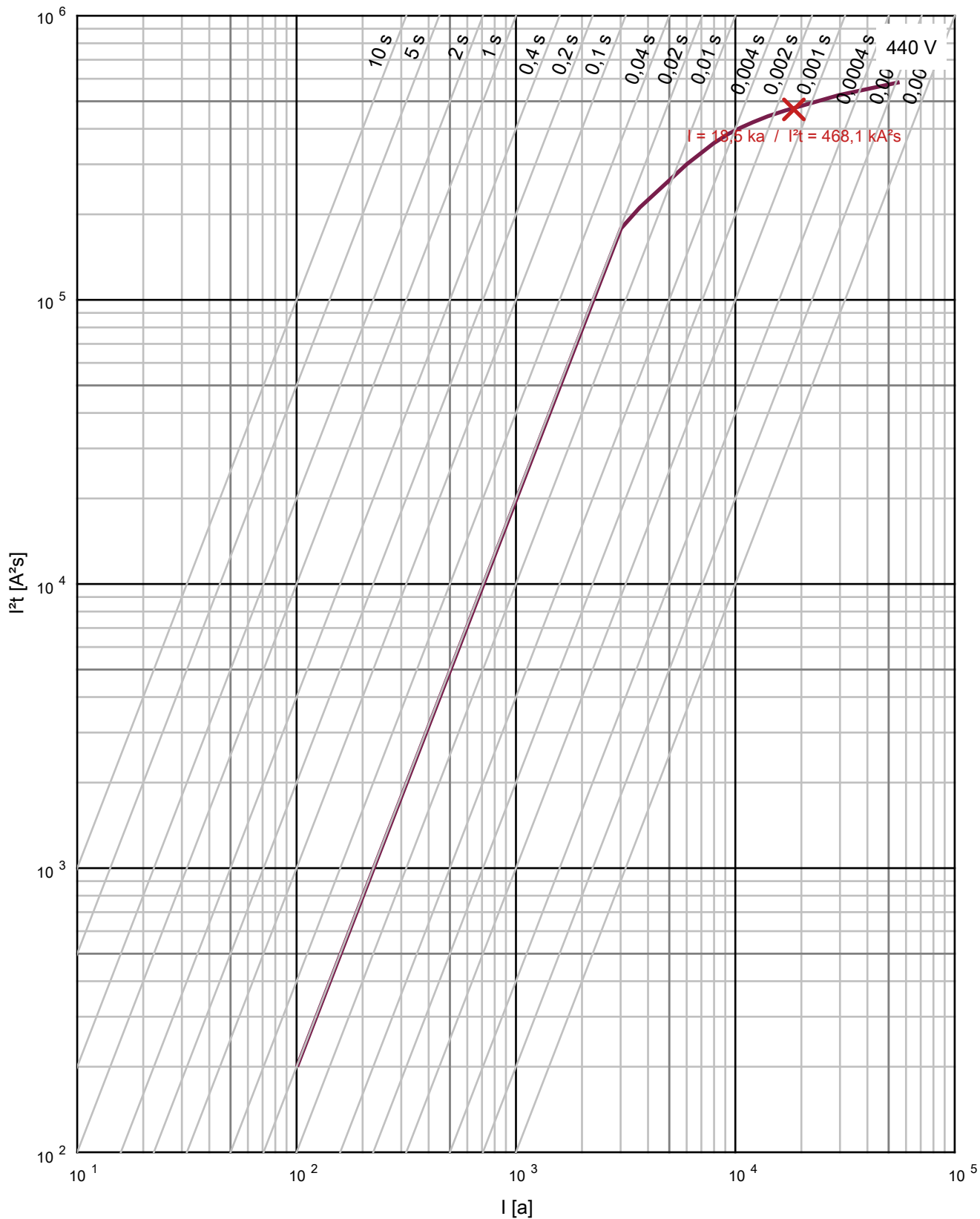
**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.



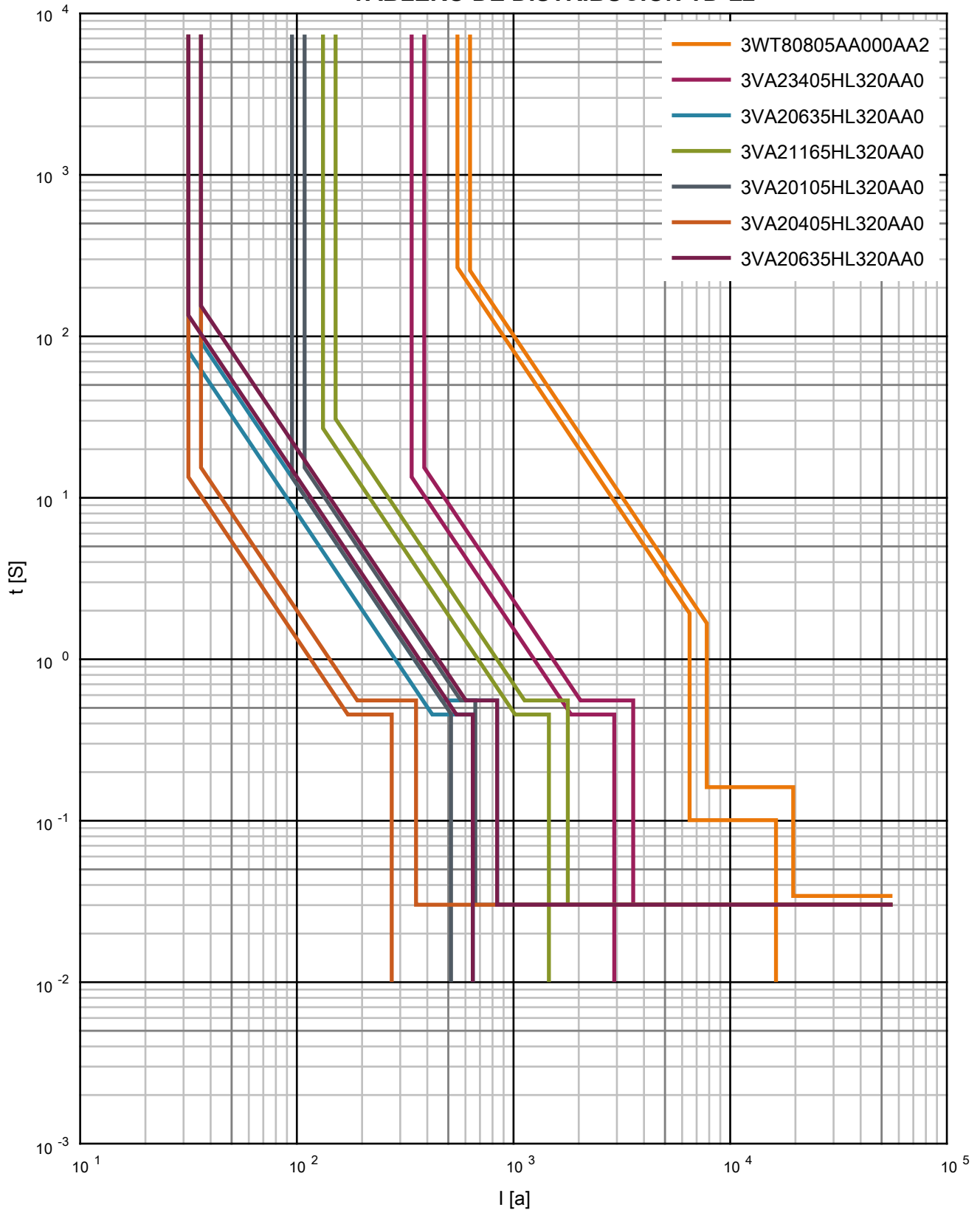
## Legenda de símbolos:

Símbolo [Unidad]	Descripción
Característica	Curvas características (curva estándar, I <sup>2</sup> t o I4t)
I [A]	Intensidad
I <sup>2</sup> t [A <sup>2</sup> s]	Curvas de paso de energía
I> [A] / I <sub>p</sub> [A]	Intensidad de energización de fase del módulo de sobrecorriente del relé DMT
I>> [A]	Intensidad de energización de fase del módulo de alta intensidad del relé DMT
I>>> [A]	Intensidad de energización de fase del ajuste superior del módulo de disparo instantáneo de del relé DMT
I <sub>c</sub> [A]	Curvas de paso de corriente
I <sub>e</sub> [A]	Intensidad de energización a tierra del relé DMT
I <sub>g</sub> [A]	Ajuste de valores del relé G para la detección de fallo a tierra
I <sub>i</sub> [A]	Valor de ajuste del relé de cortocircuito instantáneo (I)
I <sub>n</sub> [A]	Intensidad nominal/asignada
I <sub>r</sub> [A]	Valor de ajuste para el relé de sobrecarga (L)
I <sub>sd</sub> [A]	Valor de ajuste del relé de cortocircuito retardado de breve duración (S)
t [s]	Tiempo
t> [s] / t <sub>p</sub> [s]	Tiempo de retardo para el módulo de sobre intensidad del relé DMT
t>> [s]	Tiempo de retardo para el módulo de alta intensidad del relé DMT
t>>> [s]	Tiempo de retardo para el ajuste superior del módulo de disparo instantáneo el relé DMT
t <sub>e</sub> [s]	Tiempo de retardo para la intensidad de energización a tierra del relé DMT
t <sub>g</sub> [s]	Valor de tiempo del relé G (absoluto)
t <sub>r</sub> [s]	Valor de tiempo del relé L
t <sub>sd</sub> [s]	Valor de tiempo del relé S
t <sub>i</sub> [s]	Valor de tiempo del relé I
U <sub>prim</sub> [kV]	Medía tensión
U <sub>sec</sub> [V]	Baja tensión
Relación ct	Relación de transformación actual

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-L2**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

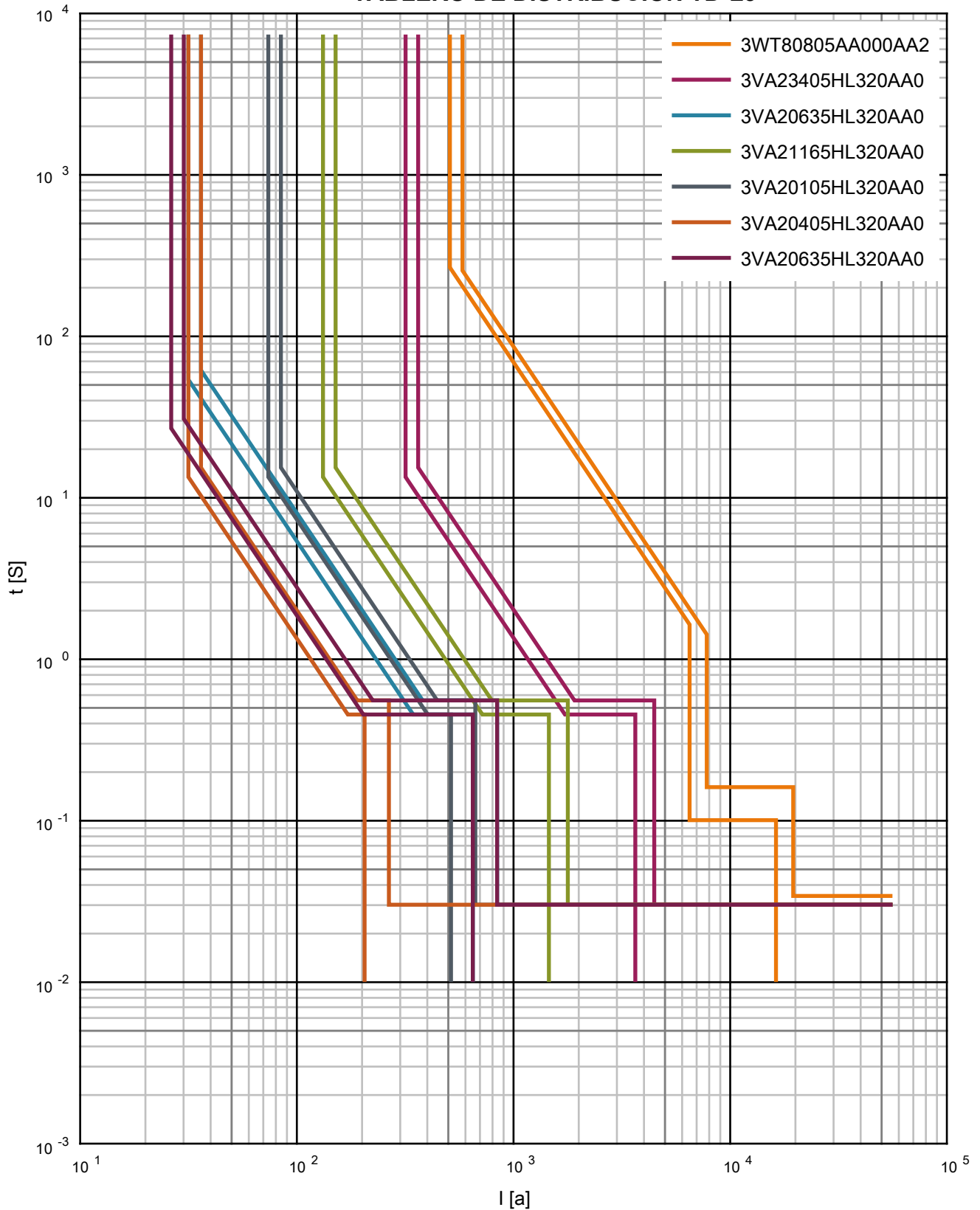
**Baja tensión**

Designación	L			S		I
	In [A]	I <sub>r</sub> [A]	tr [s]	I <sub>sd</sub> [A]	t <sub>sd</sub> [s]	I <sub>i</sub> [A]
3WT80805AA000AA2	800	520	10	6.400	0,1	16.000
3VA23405HL320AA0	400	320	0,5	-	-	3.200
3VA20635HL320AA0	63	30	3	-	-	756
3VA21165HL320AA0	160	125	1	-	-	1.600
3VA20105HL320AA0	100	90	0,5	-	-	600
3VA20405HL320AA0	40	30	0,5	-	-	320
3VA20635HL320AA0	63	30	5	-	-	756

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-L3**





**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

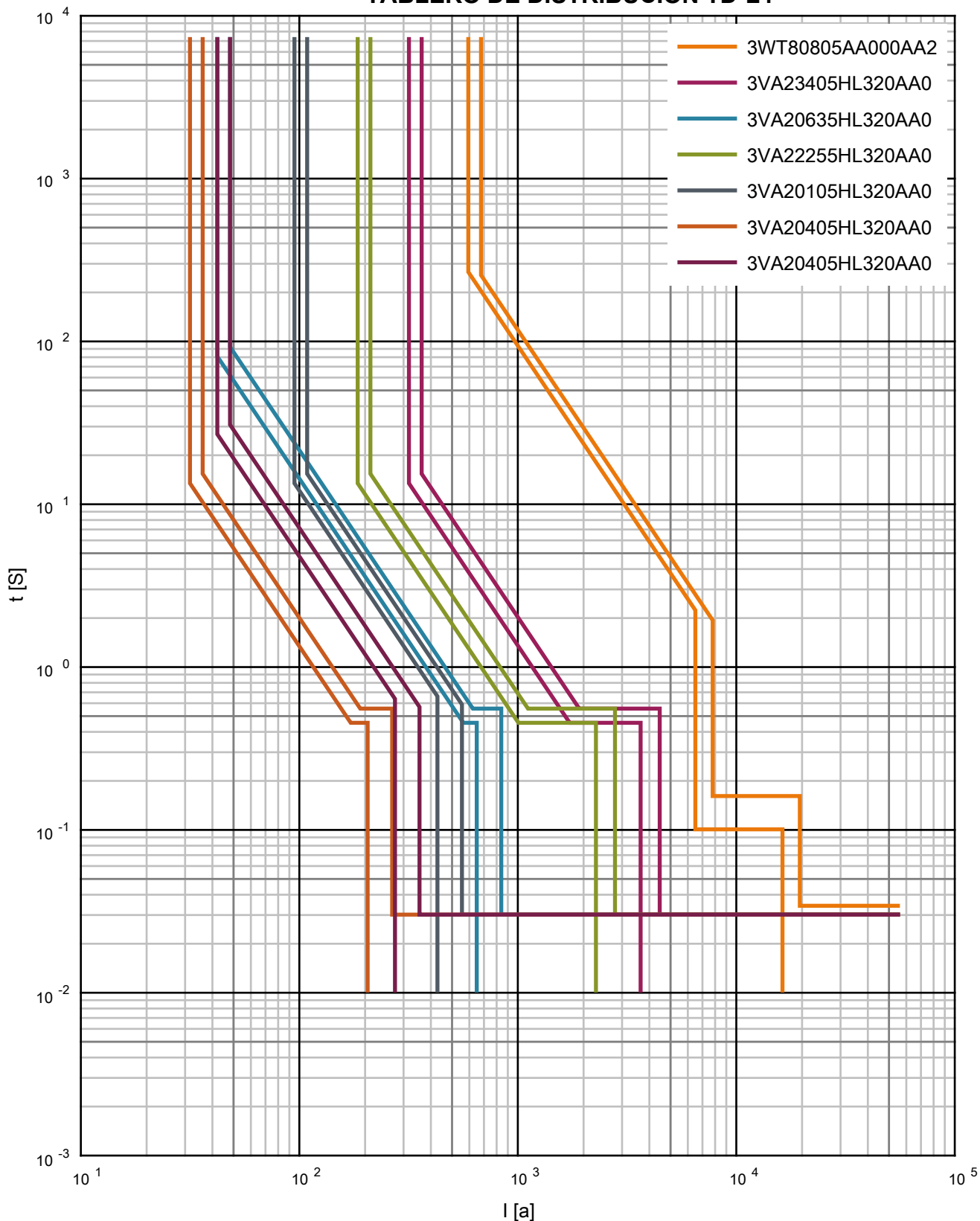
**Baja tensión**

Designación	L			S		I
	In [A]	I <sub>r</sub> [A]	tr [s]	I <sub>sd</sub> [A]	t <sub>sd</sub> [s]	I <sub>i</sub> [A]
3WT80805AA000AA2	800	480	10	6.400	0,1	16.000
3VA23405HL320AA0	400	300	0,5	-	-	4.000
3VA20635HL320AA0	63	30	2	-	-	756
3VA21165HL320AA0	160	125	0,5	-	-	1.600
3VA20105HL320AA0	100	70	0,5	-	-	600
3VA20405HL320AA0	40	30	0,5	-	-	240
3VA20635HL320AA0	63	25	1	-	-	756

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-L4**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

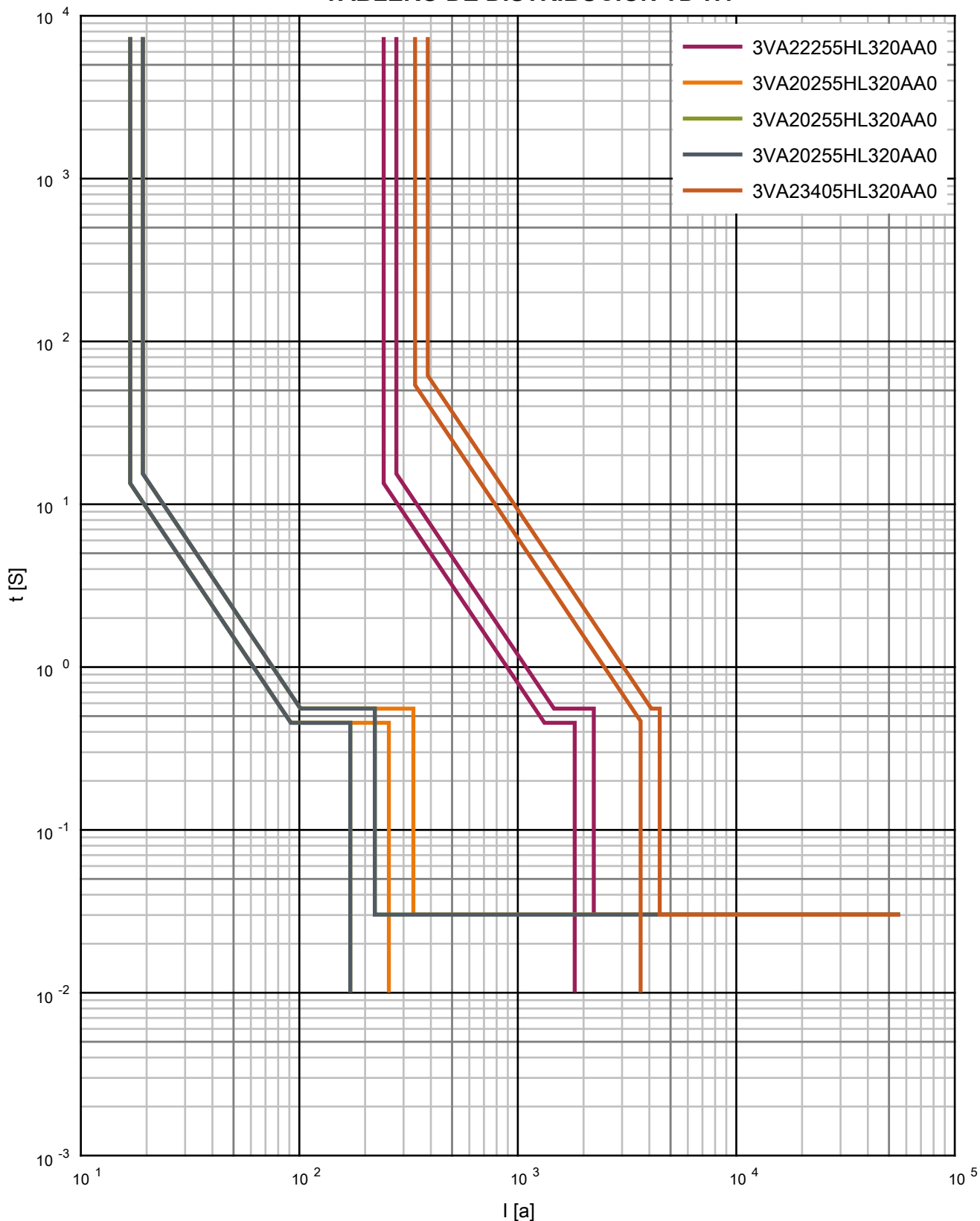
**Baja tensión**

Designación	L			S		I
	In [A]	I <sub>r</sub> [A]	tr [s]	I <sub>sd</sub> [A]	t <sub>sd</sub> [s]	I <sub>i</sub> [A]
3WT80805AA000AA2	800	560	10	6.400	0,1	16.000
3VA23405HL320AA0	400	300	0,5	-	-	4.000
3VA20635HL320AA0	63	40	3	-	-	756
3VA22255HL320AA0	250	175	0,5	-	-	2.500
3VA20105HL320AA0	100	90	0,5	-	-	500
3VA20405HL320AA0	40	30	0,5	-	-	240
3VA20405HL320AA0	40	40	1	-	-	320

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-H1**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

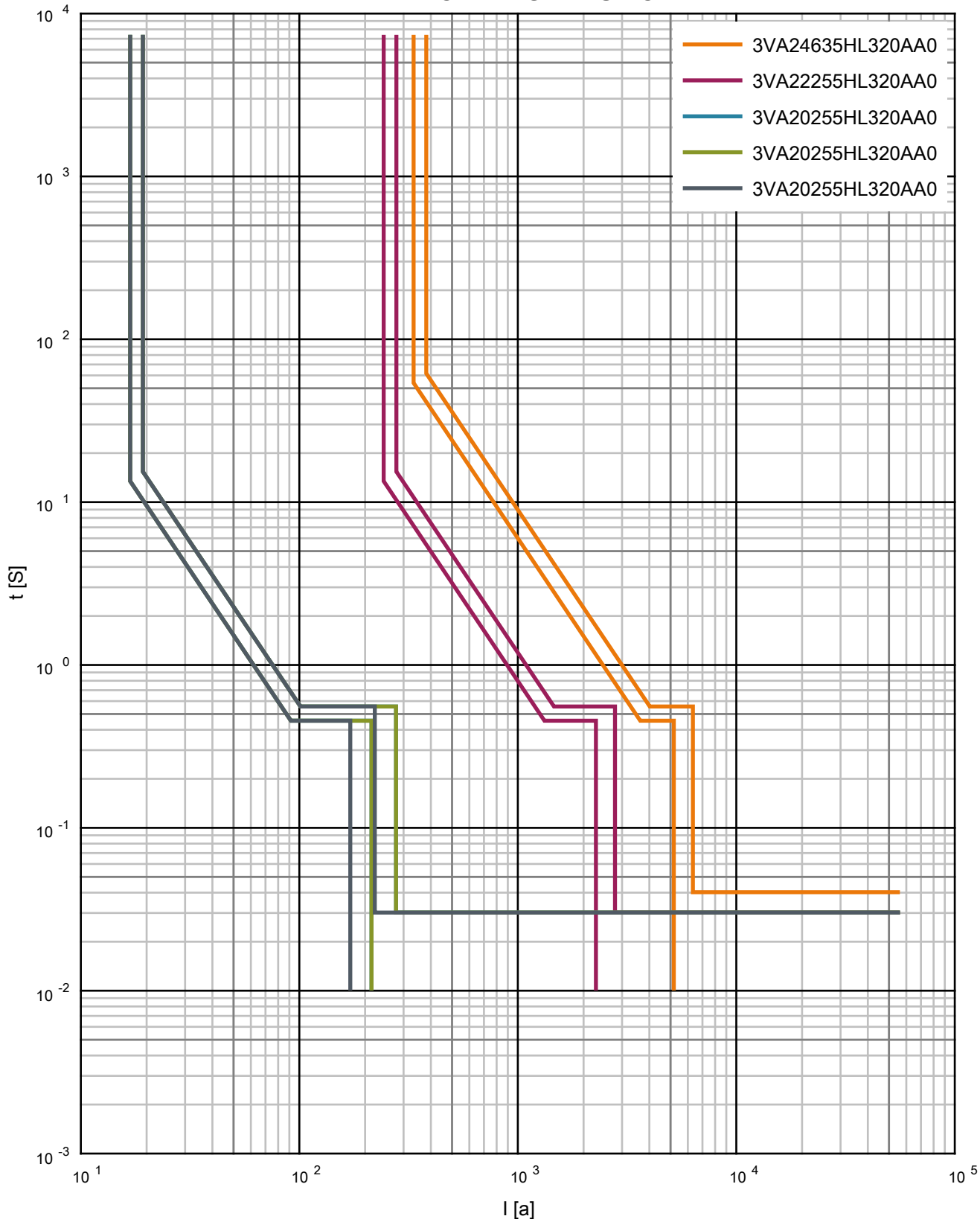
**Baja tensión**

Designación	L			I
	I <sub>n</sub> [A]	I <sub>r</sub> [A]	tr [s]	I <sub>i</sub> [A]
3VA22255HL320AA0	250	230	0,5	2.000
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	300
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	200
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	200
3VA23405HL320AA0	400	320	2	4.000

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-H2**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

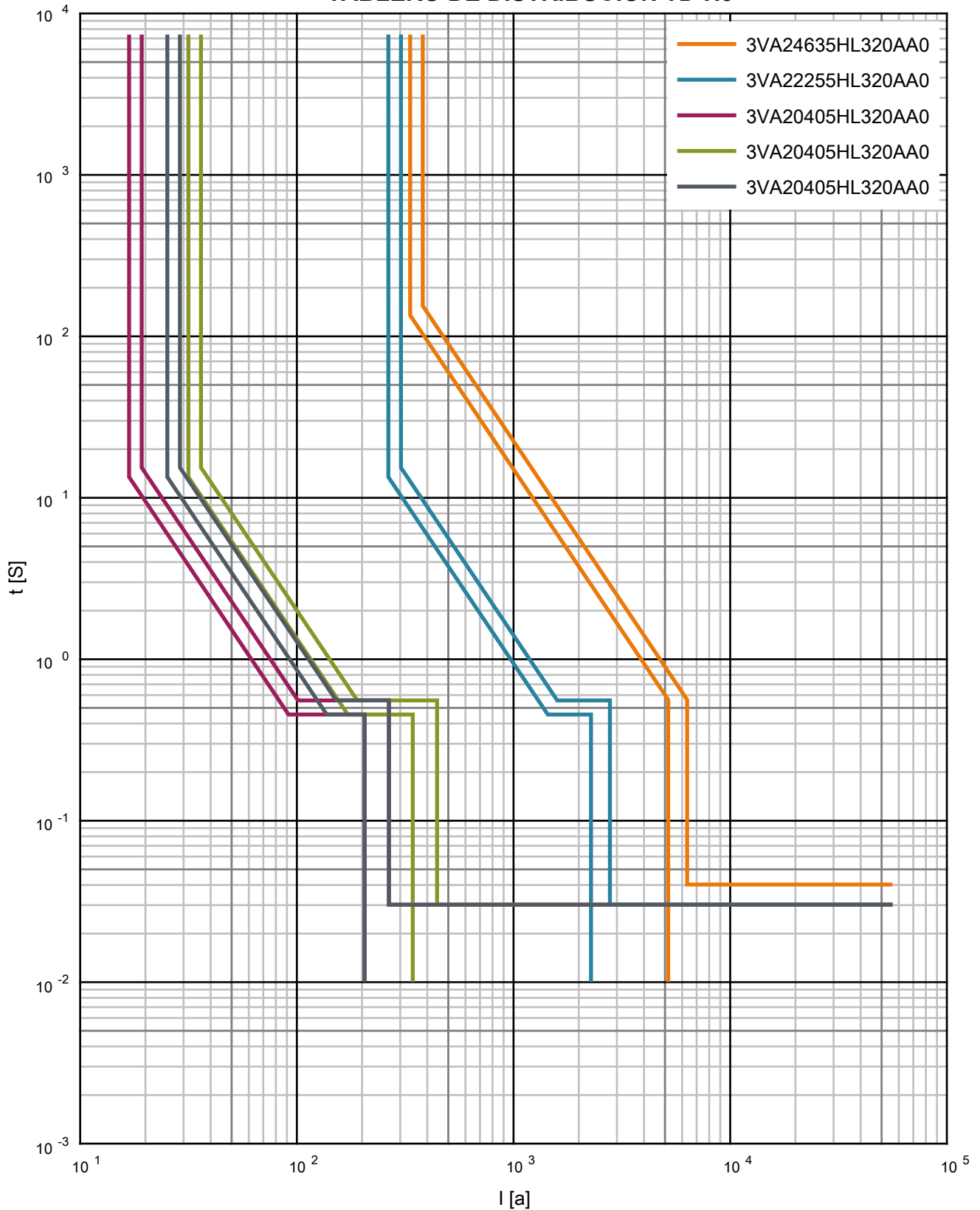
**Baja tensión**

Designación	L			I
	In [A]	Ir [A]	tr [s]	Ii [A]
3VA24635HL320AA0	630	315	2	5.670
3VA22255HL320AA0	250	230	0,5	2.500
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	250
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	250
3VA20255HL320AA0	25	16	0,5	200

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-H3**





**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

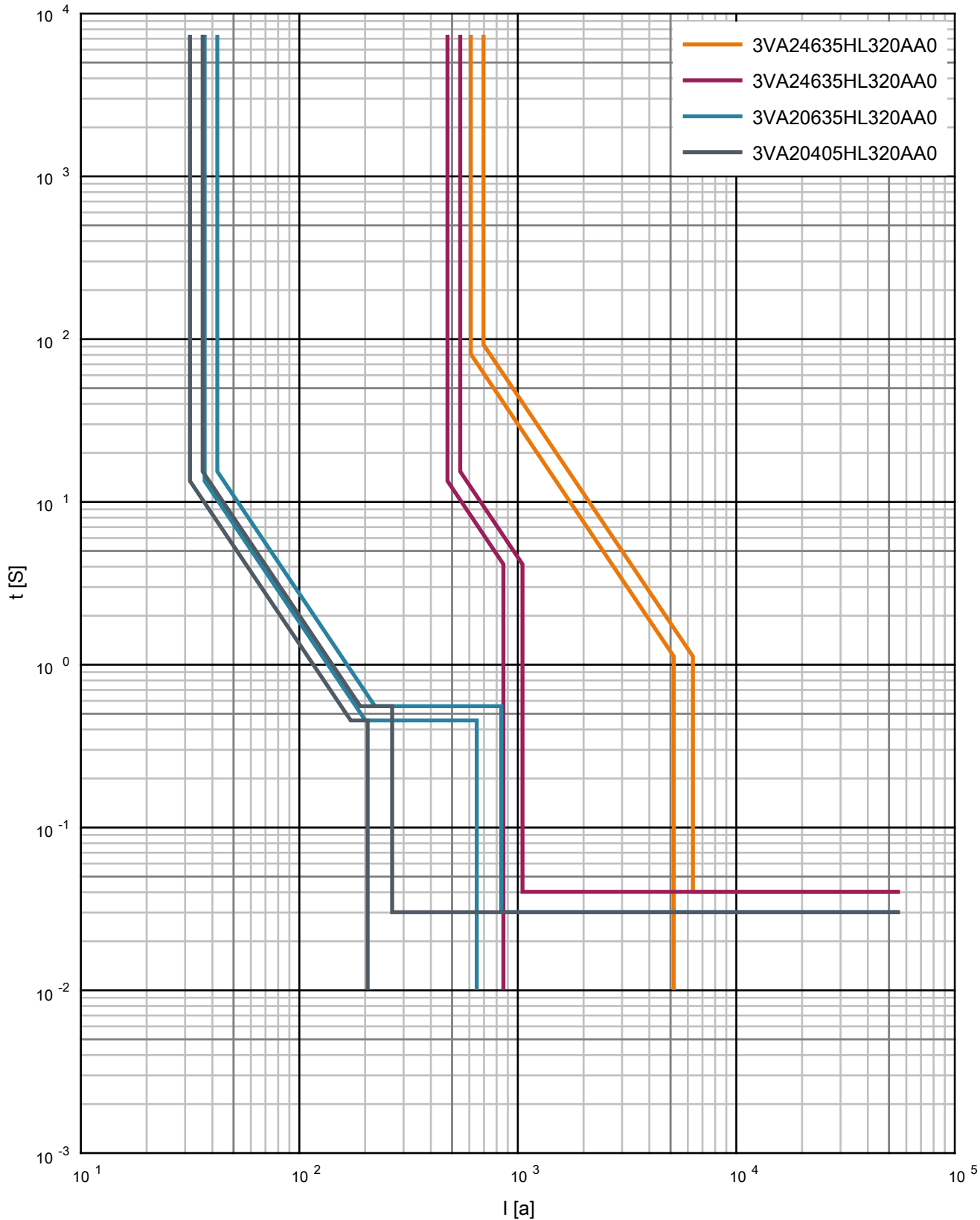
**Baja tensión**

Designación	L			I
	$I_n$ [A]	$I_r$ [A]	$t_r$ [s]	$I_i$ [A]
3VA24635HL320AA0	630	315	5	5.670
3VA22255HL320AA0	250	250	0,5	2.500
3VA20405HL320AA0	40	16	0,5	240
3VA20405HL320AA0	40	30	0,5	400
3VA20405HL320AA0	40	24	0,5	240

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-H4**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

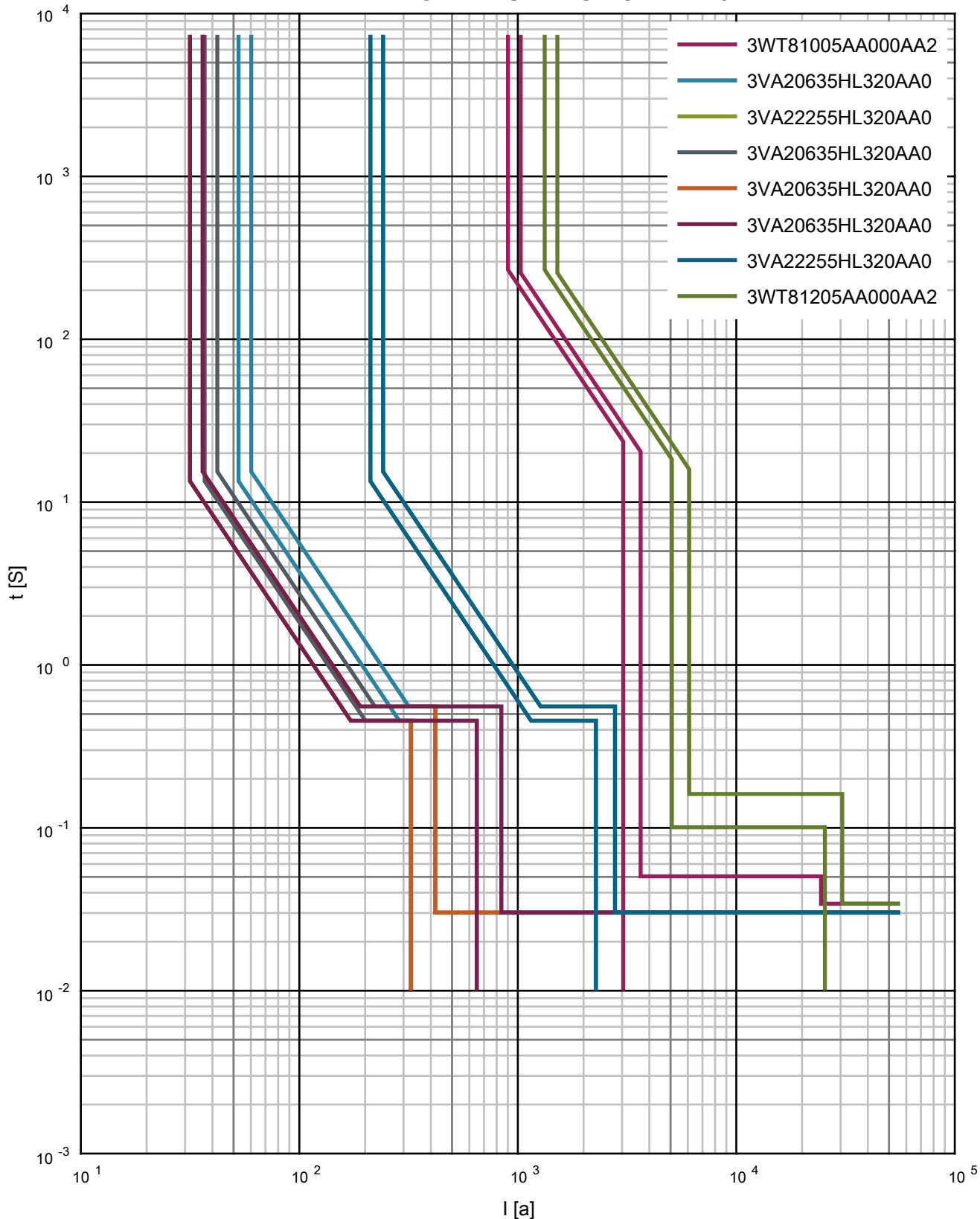
**Baja tensión**

Designación	L			I
	$I_n$ [A]	$I_r$ [A]	$t_r$ [s]	$I_i$ [A]
3VA24635HL320AA0	630	575	3	5.670
3VA24635HL320AA0	630	450	0,5	945
3VA20635HL320AA0	63	35	0,5	756
3VA20405HL320AA0	40	30	0,5	240

**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

**TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-H5**



**Exclusión de responsabilidad**

El contenido de este documento ha sido cuidadosamente revisado. Sin embargo, la exactitud o exhaustividad del documento no puede ser garantizada. Los cambios son posibles en cualquier momento.

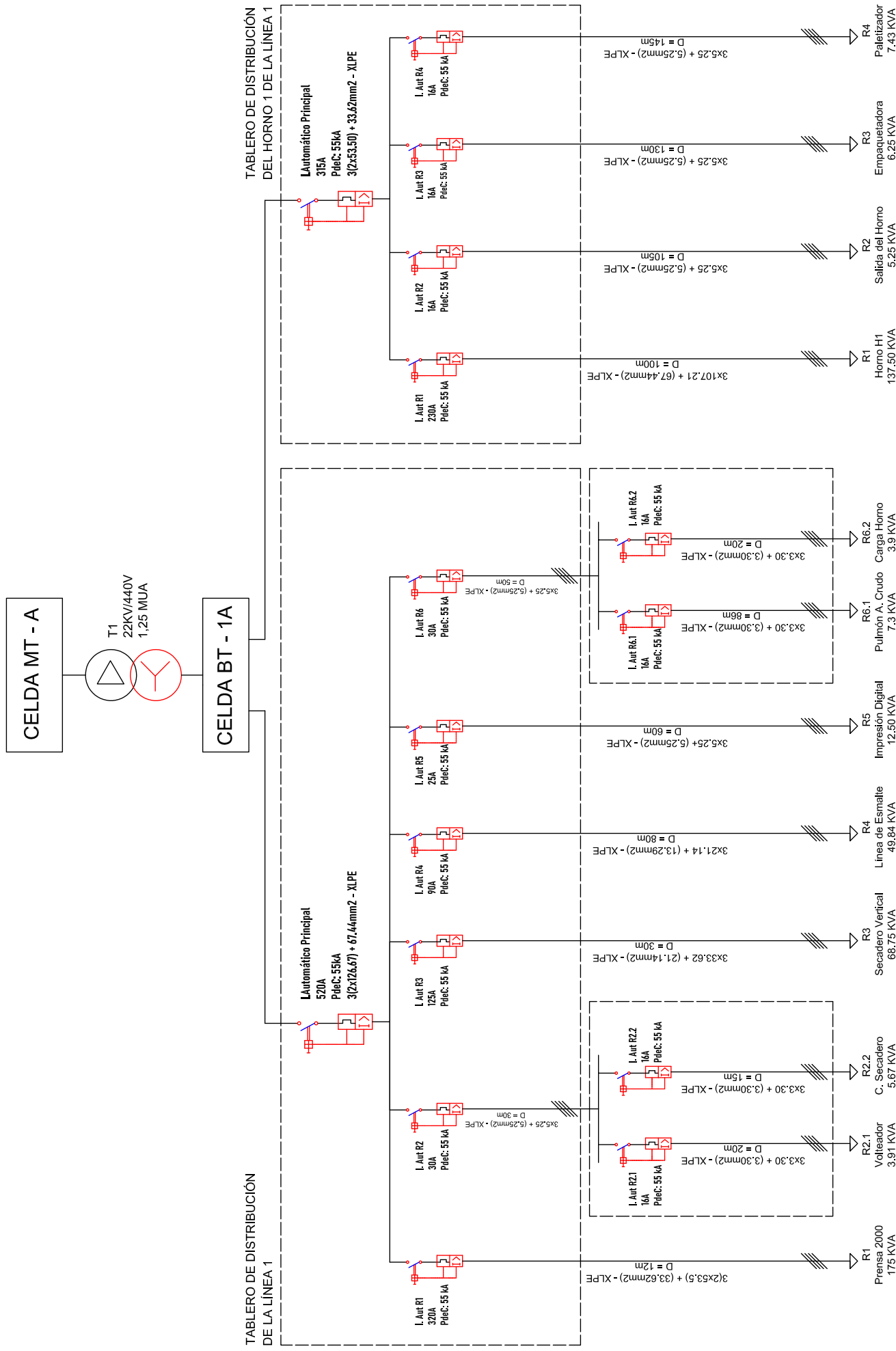
**Baja tensión**

Designación	L			S		I
	In [A]	Ir [A]	tr [s]	Isd [A]	tsd [s]	Ii [A]
3WT81005AA000AA2	1.000	850	10	3.000	0	20.000
3VA20635HL320AA0	63	50	0,5	-	-	756
3VA22255HL320AA0	250	200	0,5	-	-	2.500
3VA20635HL320AA0	63	35	0,5	-	-	378
3VA20635HL320AA0	63	30	0,5	-	-	378
3VA20635HL320AA0	63	30	0,5	-	-	756
3VA22255HL320AA0	250	200	0,5	-	-	2.500
3WT81205AA000AA2	1.250	1.250	10	5.000	0,1	25.000

## 7.4 Planos y Diagramas

### 7.4.1 Diagramas unifilares de baja tensión de cada tablero de distribución

# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 1

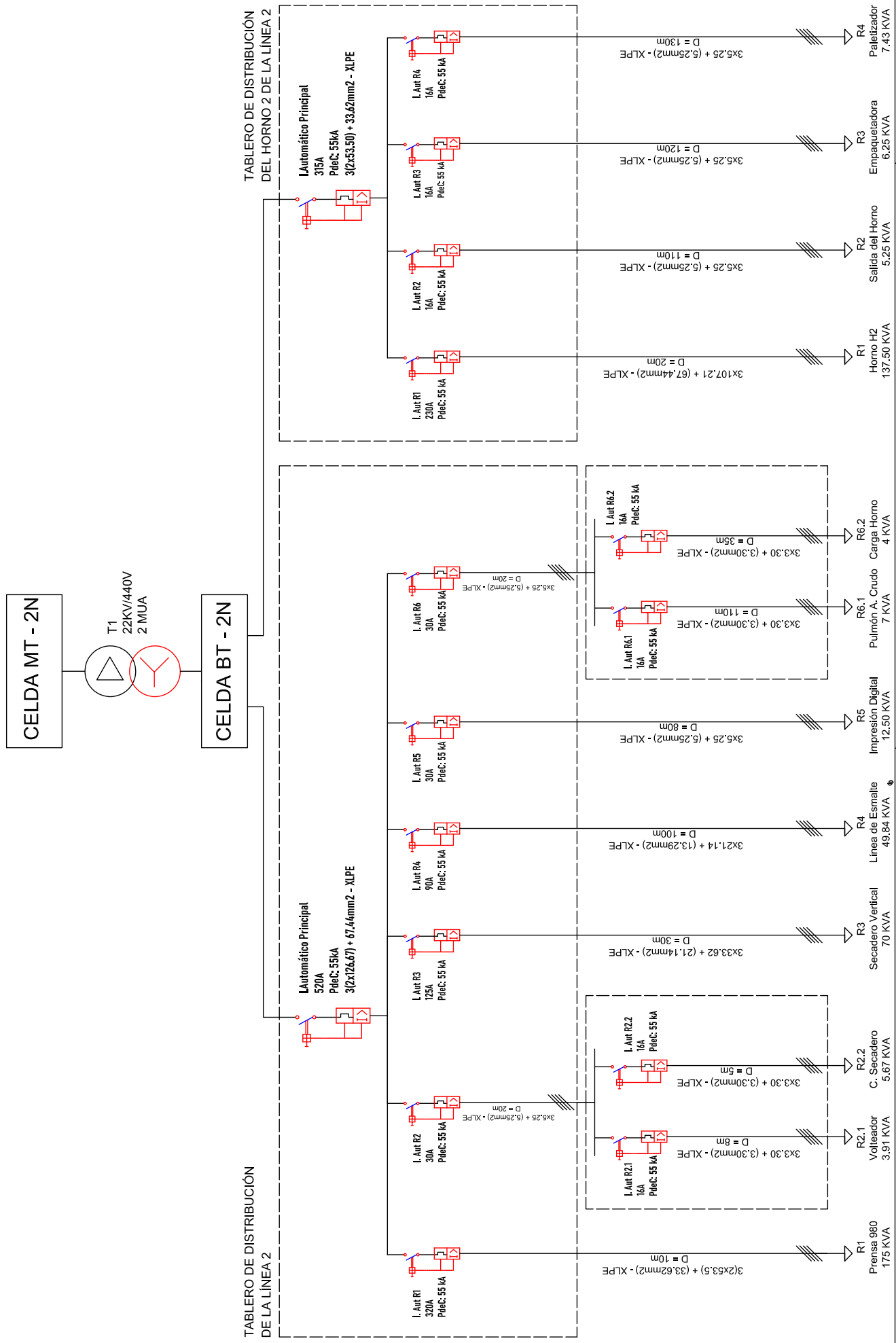


**PROYECTO:** Tablero de Distribución ITALPISOS S.A. **Plano:** Diagrama Unifilar para la Línea de Producción 1



**Autores:** Byron Jimbo - Wilson Tandazo

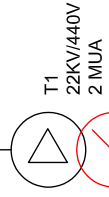
# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 2





# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 3

CELDA MT - 2N

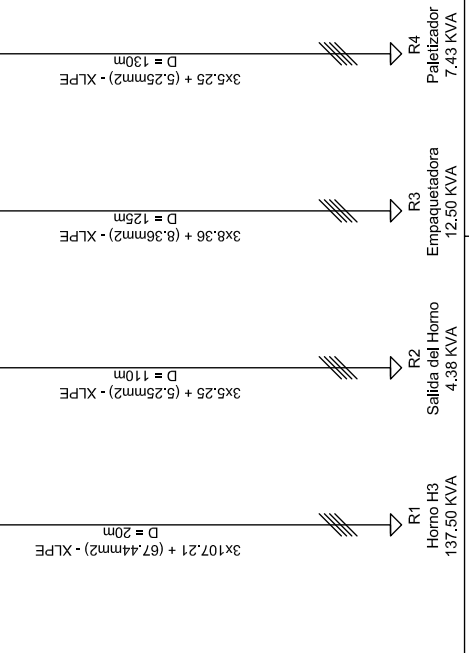
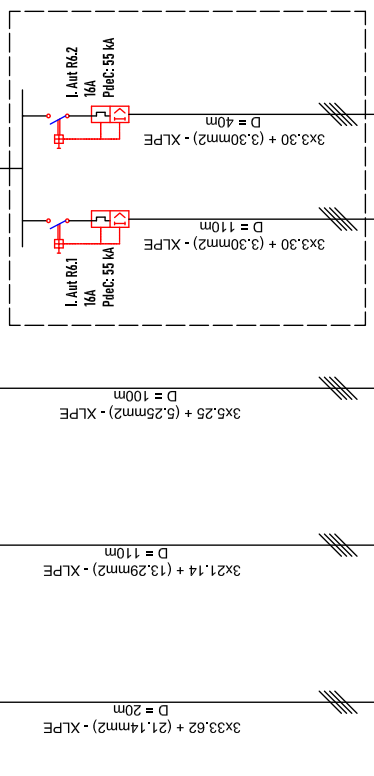
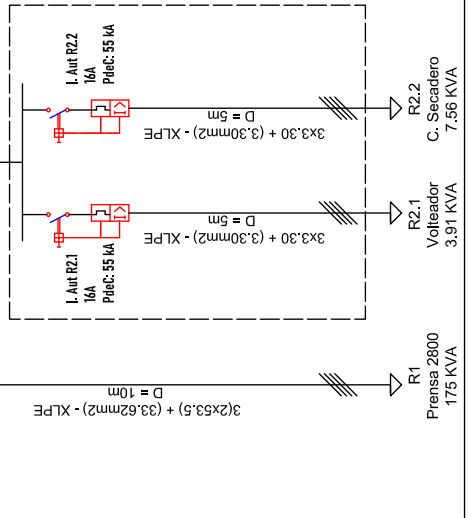
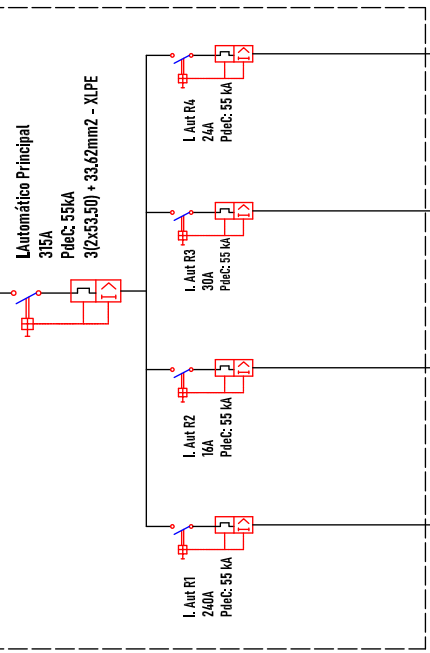


CELDA BT - 2N

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 3



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DEL HORNO 3 DE LA LÍNEA 3



R1	Prensa 2800	175 KVA	3(2x53,5) + (33,62mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 10m
R2.1	Volteador	3,91 KVA	3x3,30 + (3,30mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 5m
R2.2	C. Secadero	7,56 KVA	3x3,30 + (3,30mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 5m
R3	Secadero Vertical	70 KVA	3x33,62 + (21,14mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 20m
R4	Línea de Esmalte	36,62 KVA	3x21,14 + (13,29mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 110m
R5	Impresión Digital	12,50 KVA	3x5,25 + (5,25mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 100m
R6.1	Pulmón A. Crudo	7 KVA	3x3,30 + (3,30mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 110m
R6.2	Carga Horno	4,38 KVA	3x3,30 + (3,30mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 40m
R1	Horno H3	137,50 KVA	3x107,21 + (67,44mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 20m
R2	Salida del Horno	4,38 KVA	3x5,25 + (5,25mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 110m
R3	Empaquetadora	12,50 KVA	3x8,36 + (8,36mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 125m
R4	Paletizador	7,43 KVA	3x5,25 + (5,25mm <sup>2</sup> ) - XLPE	D = 130m

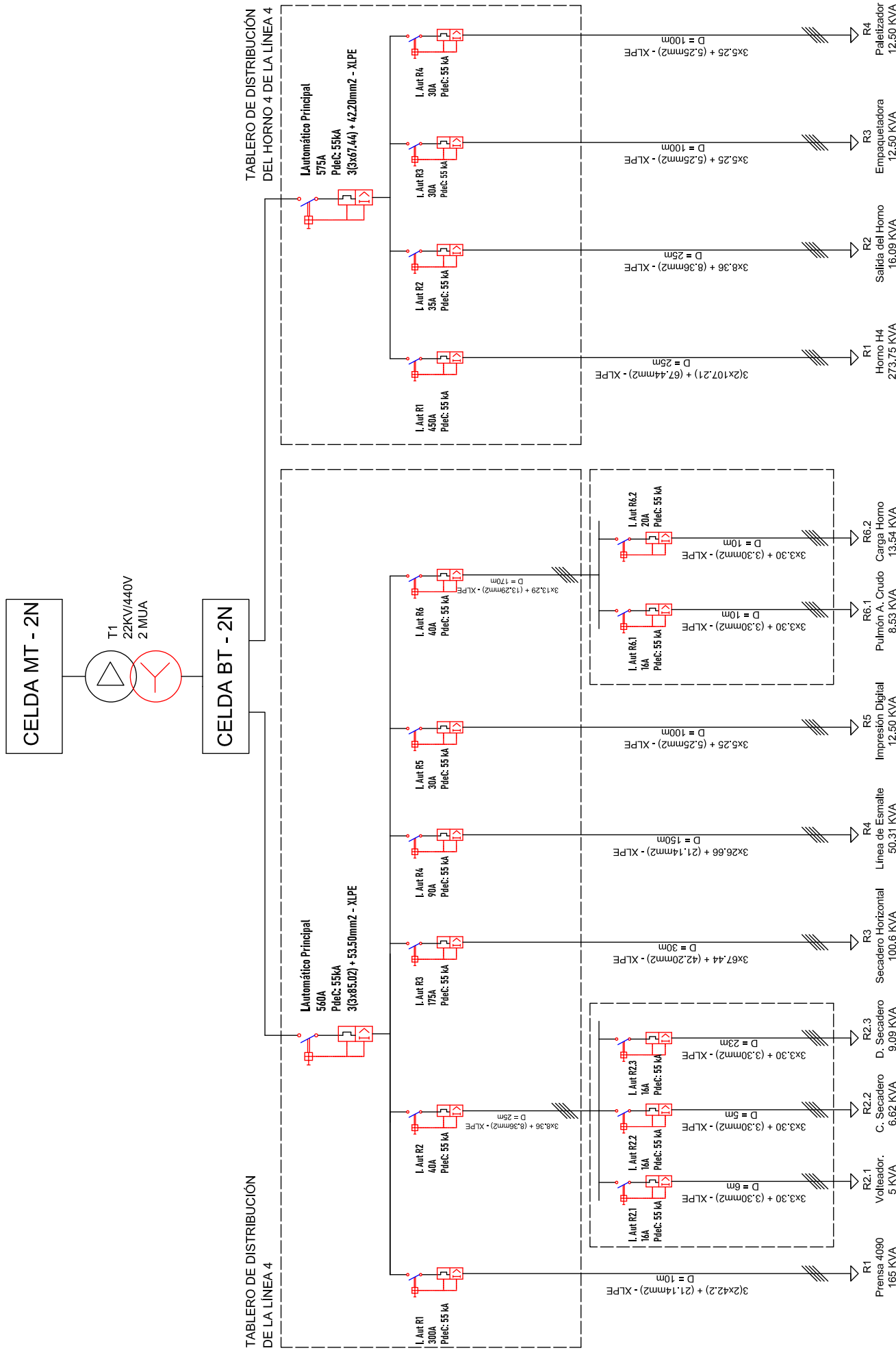


**PROYECTO:** Tablero de Distribución ITALPISOS S.A.

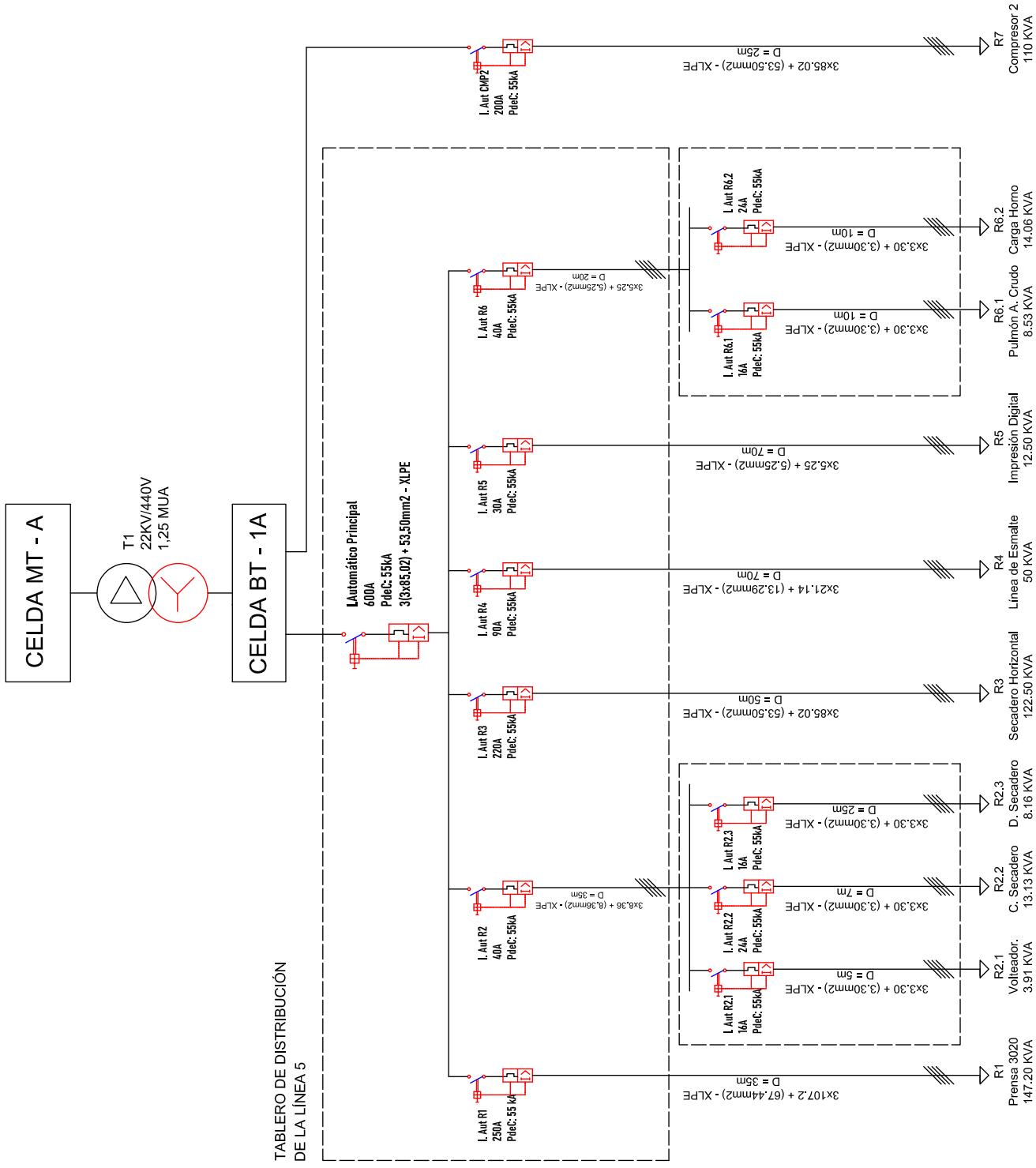
**Plano:** Diagrama Unifilar para la Línea de Producción 3

**Autores:** Byron Jimbo - Wilson Tandazo

# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 4



# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LA LÍNEA 5

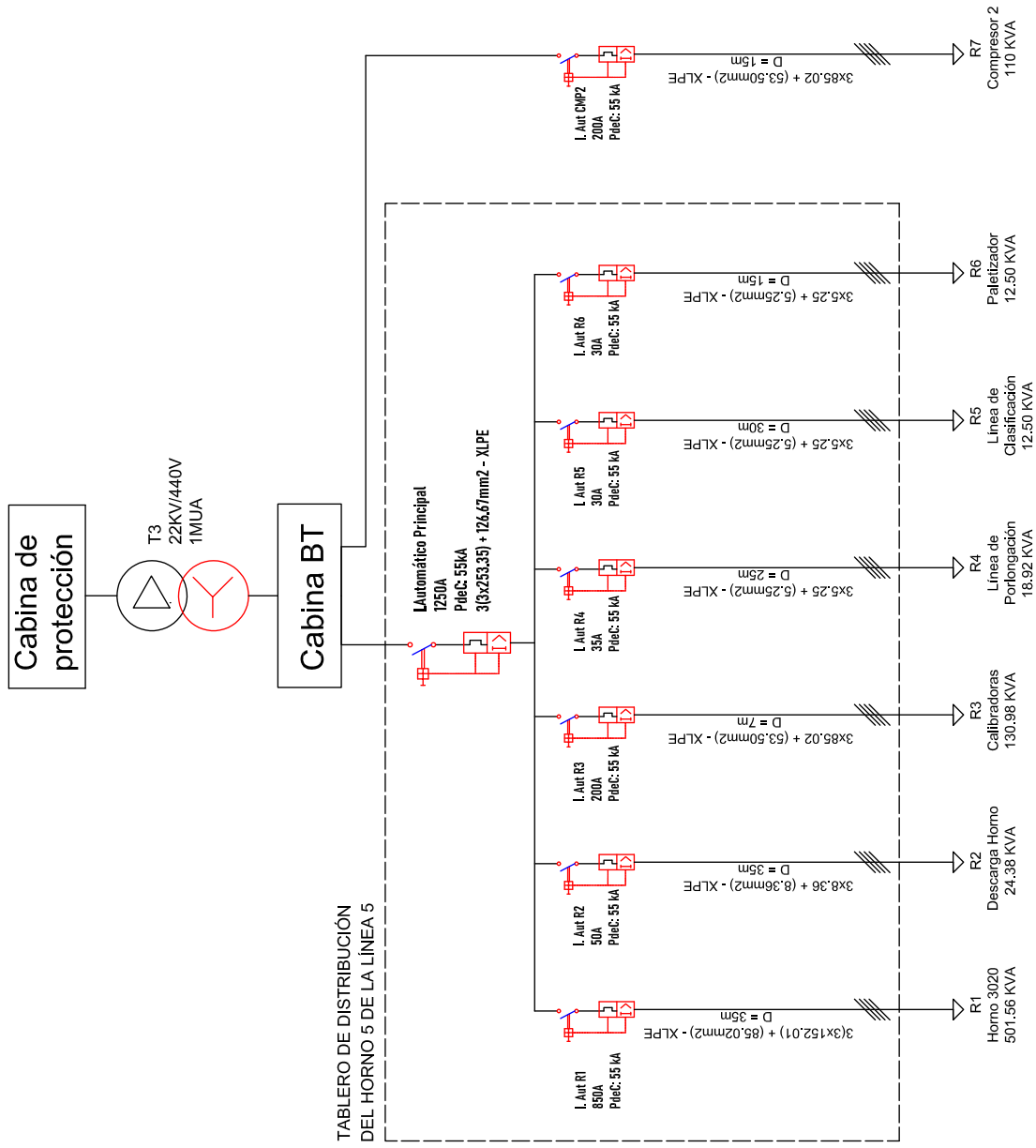


**PROYECTO:** Tablero de Distribución ITALPISOS S.A.

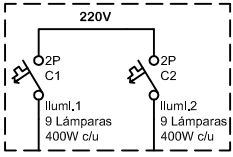


**Plano:** Diagrama Unifilar para la Línea de Producción 5  
**Autores:** Byron Jimbo - Wilson Tandazo

# TABLERO DE DISTRIBUCIÓN HORNO DE LA LÍNEA 5

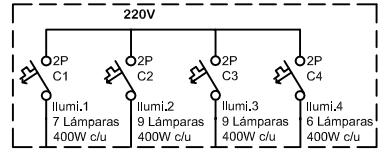


**CENTRO DE CARGA 7 (CD7)**

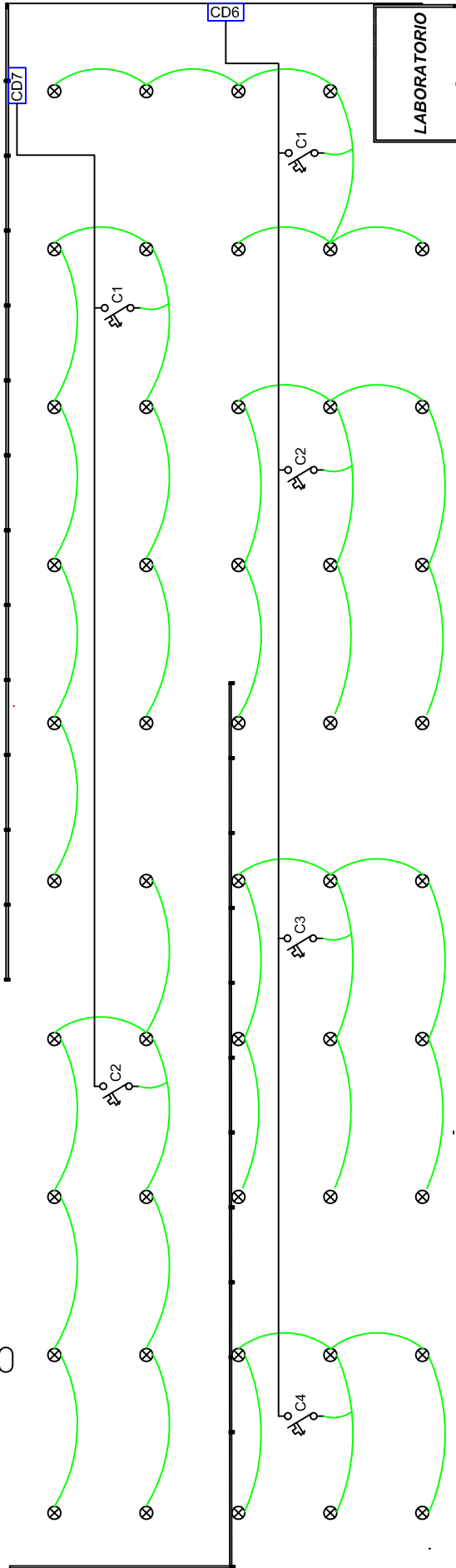


MANTENIMIENTO

**CENTRO DE CARGA 6 (CD6)**



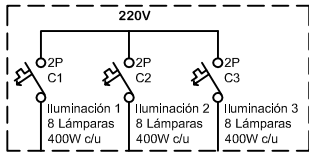
LABORATORIO



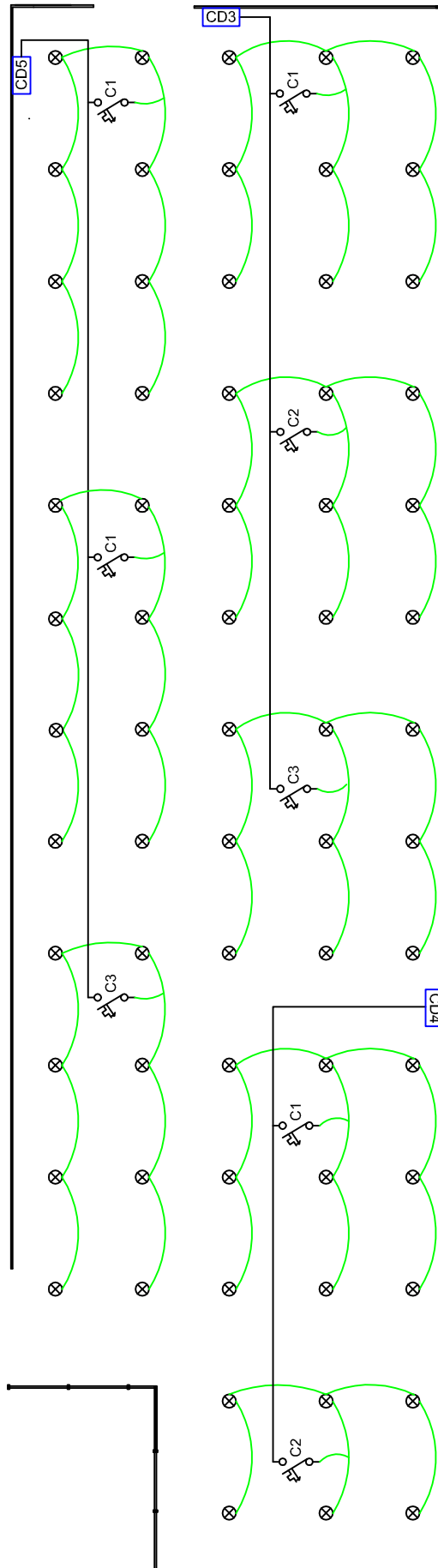
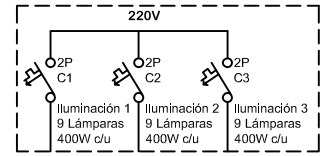
PRODUCTO TERMINADO



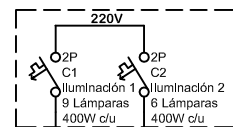
### CENTRO DE CARGA 5 (CD5)



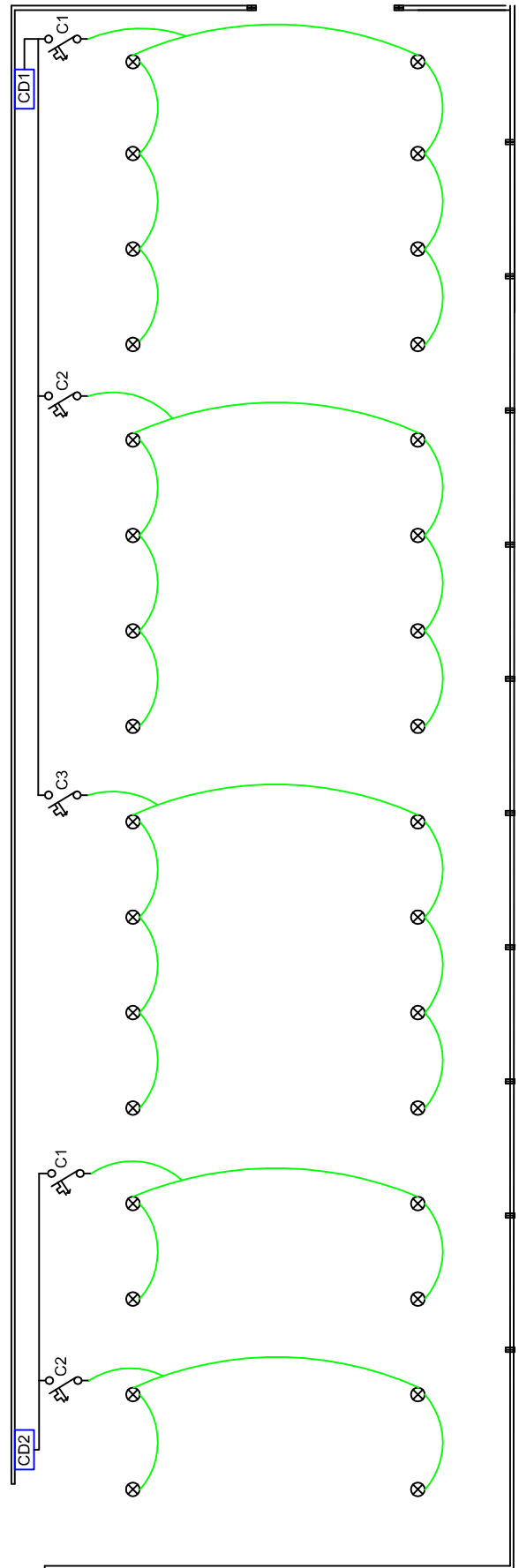
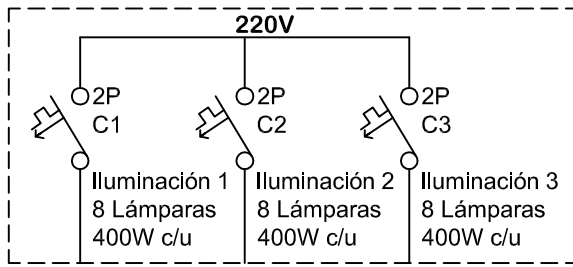
### CENTRO DE CARGA 3 (CD3)



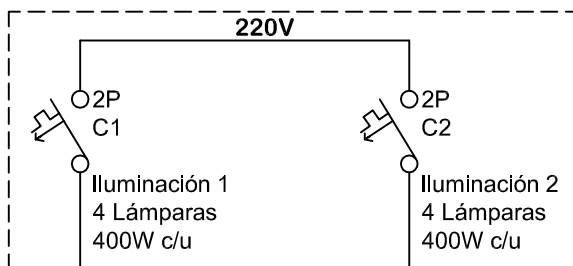
### CENTRO DE CARGA 4 (CD4)

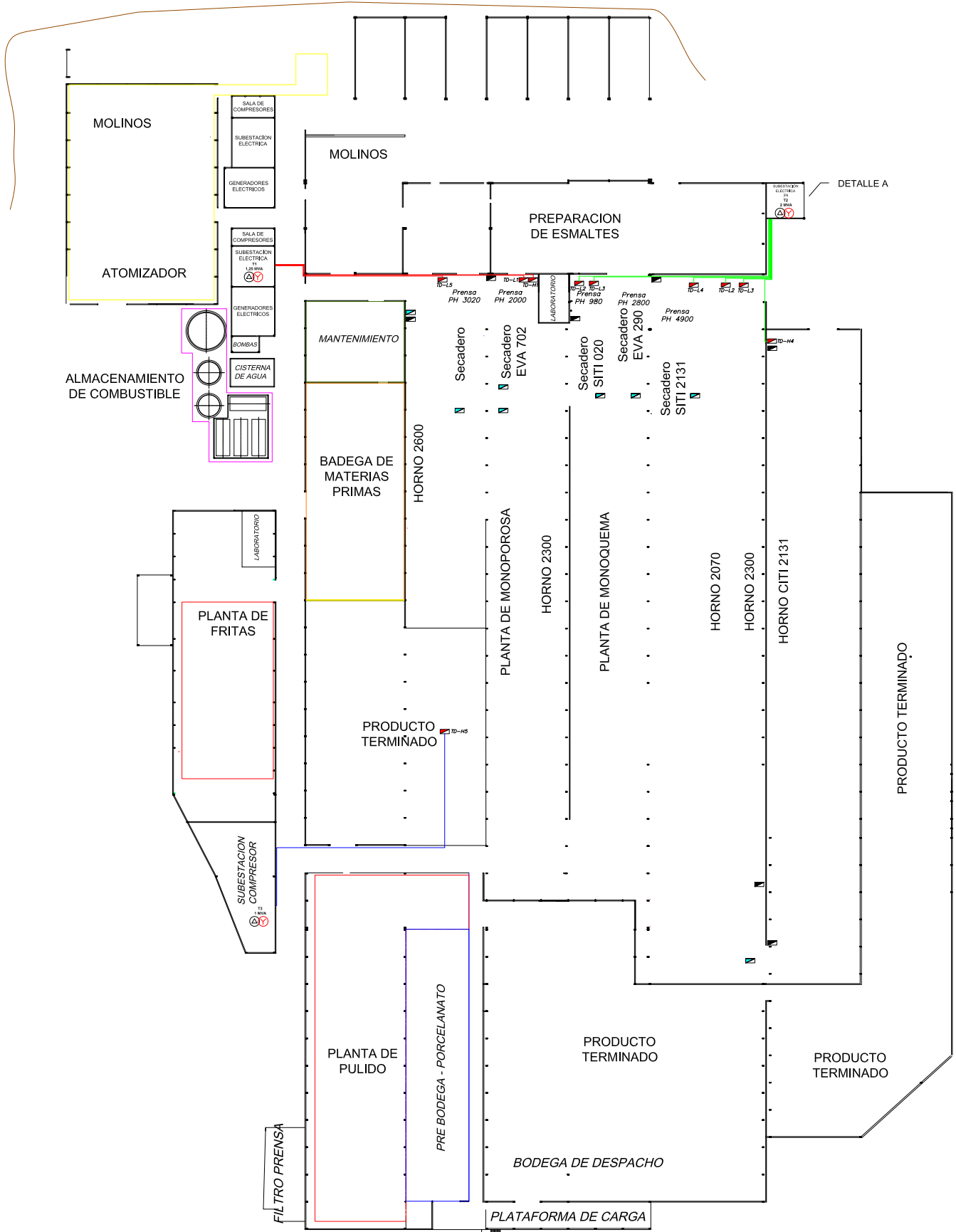


## CENTRO DE CARGA 1 (CD1)







## CENTRO DE CARGA 2 (CD2)





DETALLE A

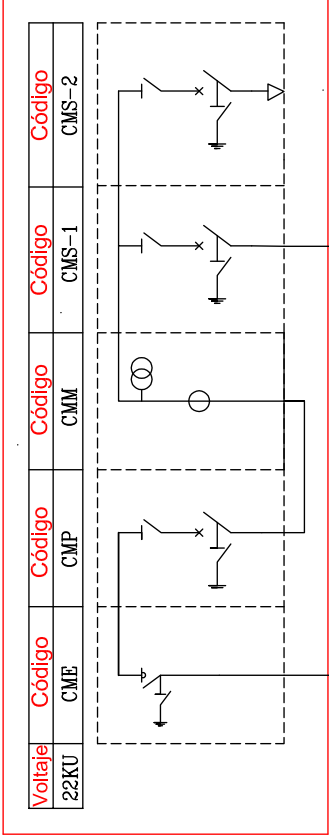
-  7xCentros de Carga para Iluminación
-  10xTablero de Distribución
-  8xTablero de Distribución Auxiliar
-  3xTransformador Reductor

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA INGENIERÍA ELÉCTRICA		REALIZADO POR: ÁREA DE MANTENIMIENTO DE ITAPISOS S.A BYRON ANDRÉS JIMBO CALLE WILSON GUILLERMO TANDAZO LUDZACA	
PROYECTO: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEJORAS PARA LAS INSTALACIONES EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ITAPISOS S.A.		FIRMA:	
PLANO: UBICACIÓN DE LOS TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN DENTRO DE LAS LINEAS DE PRODUCCIÓN		FECHA: 8/5/2021	N° PLANO: 1

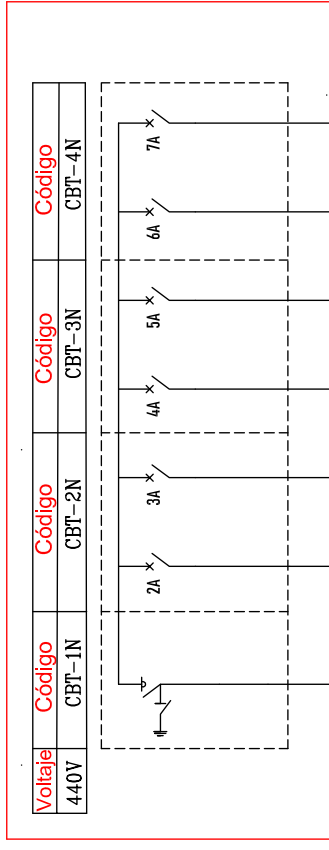


# DETALLE A

Celda de Media Tensión Nueva (CMT-2N)



Celda de Baja Tensión Nueva (CBT-2N)

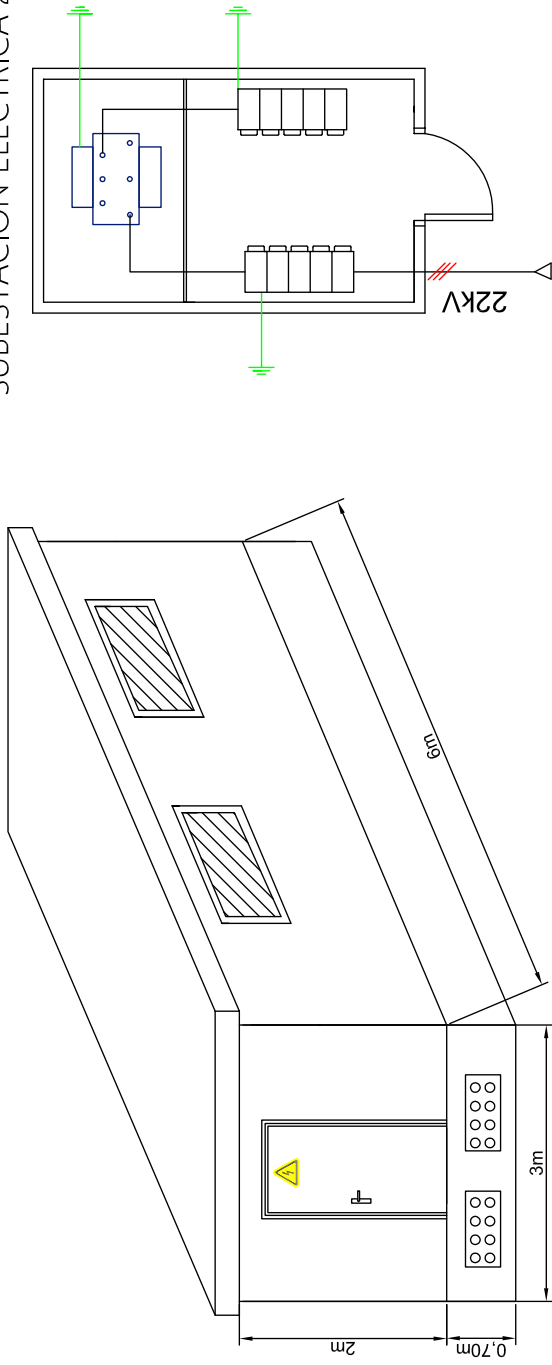


T-2 2MVA

- CME: CELDA MODULAR DE ENTRADA
- CMP: CELDA MODULAR DE PROTECCION
- CMM: CELDA MODULAR DE MEDICION
- CMS: CELDA MODULAR DE SALIDA

- Tablero de Distribución
- Transformador Reductor
- Seccionador
- Interruptor Automatico
- Seccionador de Puesta a Tierra
- Interruptor Seccionador
- Trafo de intensidad
- Trafo de tensión

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 2N



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Schneider Electric. Guía de diseño de instalaciones eléctricas según normas internacionales IEC.
- [2] I. E. (2001) INEN. Código de Práctica Ecuatoriana CPE INEN 19:2001. Código Eléctrico Nacional, Primera Edición.
- [3] B De Metz-Noblat, F Dumas, and Georges THOMASSET. Cálculo de corrientes de cortocircuito. *SCHNEIDER Electric, Cuaderno Técnico*, (158), 2000.
- [4] Análisis de seguridad del sistema de puesta a tierra tn-s y tn-cs. In *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering y 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I CPS Europe)*.
- [5] S.S. Mecano by Gonvarri. Sistemas portacables aspectos técnicos. En línea, 2015.
- [6] Ieee guide for safety in ac substation grounding. *IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015)*, pages 1–226, 2015.
- [7] Bernard Lacroix and Roland Calvas. *Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro)*. Schneider Electric España SA, 1996.
- [8] Siemens ingenio para la vida. Lista de precios productos industriales eléctricos. <https://new.siemens.com/ec/es/products/industriaecuador.html>, 2020.
- [9] Legrand. Coordinación entre dispositivos de protección. Guía técnica, 2020.
- [10] StuDocu. UNE-HD60364-5-52 2014 (tabla intensidades máximas admisibles). <https://www.studocu.com/es/document/universidade-de-vigo/fundamentos-de-teoria-de-circuitos>, 2019.

- [11] Julián Rodríguez Fernández. *Instalaciones eléctricas de baja tensión*. Paraninfo, 2012.
- [12] MIDUVI. Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 10. Instalaciones Electromecánicas capítulo 15.
- [13] Segundo Leandro Gárate Encalada. *PROPUESTA DE UN DISEÑO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN LA FÁBRICA “ITALPISOS SA”*. PhD thesis, UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013.
- [14] Diego Ramiro León Palacios. Levantamiento y rediseño adecuado de las instalaciones eléctricas del monasterio de la inmaculada concepción del cantón otavalo provincia de imbabura. B.S. thesis, Quito, 2014., 2014.
- [15] Luis Ivan Ruiz Flores. ¿caída de tensión?: Concepto, causas y efectos en un sistema eléctrico industrial. In *2015 IEEE Trigésima Quinta Convención de Centroamérica y Panamá (CONCAPAN XXXV)*.
- [16] Krishnav Bhatia, Pranav B. Darji, and Hitesh R. Jariwala. Analysis of touch voltage in tn-s earthing system. In *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I CPS Europe)*, pages 1–6, 2018.
- [17] Freddy Mauricio Sinchi Sinchi. Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo gem y electrodo químico. B.S. thesis, 2017.
- [18] Ieee recommended practice for conducting short-circuit studies and analysis of industrial and commercial power systems. *IEEE Std 3002.3-2018*, pages 1–184, 2019.
- [19] Orlando Alexander Álvarez Lastra. Simulación de cortocircuitos en sistemas eléctricos de potencia usando métodos tradicionales y normativas. B.S. thesis, 2020.
- [20] José Eduardo Ávila Ávila and Jessica Fernanda Ortega Pintado. Estudio y análisis de la coordinación de protecciones de los alimentadores 121 de la s/e 1 y 222 de la s/e 2 de la empresa eléctrica azogues ca. B.S. thesis, 2020.
- [21] Schneider Electric. Coordinación de las protecciones en BT. Guía técnica.
- [22] Juan Carlos Pugo León. Estudio de iluminación natural y artificial en la biblioteca de la universidad politécnica salesiana sede cuenca. B.S. thesis, 2019.

- [23] Nuria Castilla Cabanes, Vicente Blanca Giménez, Alicia Martínez Antón, and Rosa María Pastor Villa. *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*. 2011.