

Universidad Técnica Nacional
Sede Pacífico

Carrera de Ingeniería Eléctrica

“Propuesta de diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los
equipos productivos de la nave CVG Alunasa para el año 2021”

Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado
académico de Licenciatura en Control de Potencia

Roy Elizondo Murillo

Fabrizio Enríquez Rosales

Puntarenas, Costa Rica

2022

ACTA DE APROBACIÓN

En la ciudad de Puntarenas, a los 13 días del mes de enero del año 2023 al ser las 16 horas con 00 minutos, estando presentes en el Campus Juan Rafael Mora Porras de la Sede del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:


Profesor Tutor: Billy Quesada Solano
Profesor Lector Interno: José Alberto Vásquez Araya
Presidente del Tribunal Examinador: Carlos Ruiz Rodríguez

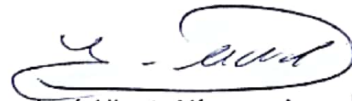
En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar el Proyecto de Graduación para optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Eléctrica**, de las personas estudiantes, **Roy Elizondo Murillo y Faubricio Henríquez Rosales**.

Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes procedieron a presentar y defender su Tesis de Graduación titulado "**Propuesta de diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa para el año 2021**".

Concluida la presentación y defensa de la Tesis de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que, de conformidad con la normativa en la materia, las personas estudiantes obtuvieron una calificación de 8.25, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación de la Tesis y le es conferido el grado de **Licenciados en Ingeniería Eléctrica**.

No () Si () mención honorífica

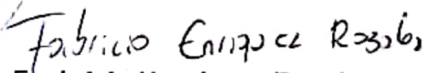

Billy Quesada Solano
Profesor Tutor


José Alberto Vásquez Araya
Lector interno


Carlos Ruiz Rodríguez
Presidente del Tribunal Examinador


Roy Elizondo Murillo




Faubricio Henríquez Rosales

CARTA DE APROBACIÓN DEL FILÓLOGO

San José, jueves 8 de diciembre de 2022

Señores
Sede Pacífico
Universidad Técnica Nacional

Estimados señores:

Por medio de la presente, yo, **Edin Mauricio Buzano Barrantes**, mayor, cédula #5-276-638 y número de adscripción al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes (COLYPRO) #024561, en mi calidad de profesional en Filología Española #94-629 graduado en la Universidad de Costa Rica, certifico que leí y corregí el Proyecto de Graduación denominado: **“PROPUESTA DE DISEÑO ELÉCTRICO EN EL ANILLO DE POTENCIA Y BUSES QUE ALIMENTAN LOS EQUIPOS PRODUCTIVOS DE LA NAVE CVG ALUNASA”**, el cual fue elaborado por los estudiantes **ROY ELIZONDO MURILLO** y **FABRICIO ENRÍQUEZ ROSALES** como requisito para optar por el grado académico de **Licenciatura en Control de Potencia**.

Se hizo la corrección del trabajo en aspectos tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, concordancia, coherencia, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, desde este punto de vista, considero que el presente documento está listo para ser presentado como Proyecto de Graduación, por cuanto cumple con los requisitos de calidad establecidos por la Universidad Técnica Nacional.

Dado lo anterior, certifico que este documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Suscribe de ustedes cordialmente,

**EDIN MAURICIO BUZANO
BARRANTES (FIRMA)**

Firmado digitalmente por EDIN
MAURICIO BUZANO BARRANTES
(FIRMA)

Fecha: 2022.12.08 16:25:01 -06'00'

Lic. Edin Mauricio Buzano Barrantes
No. de adscripción a COLYPRO 024561

Dedicatorias

A todas las personas que colaboraron en la elaboración de este trabajo.

Roy Elizondo Murillo

Fabricio Enríquez Rosales

Agradecimientos

Culminar esta etapa de nuestras vidas no fue fácil. Diferentes situaciones nos hicieron poner pausas en el camino, lo cual provocó que el camino se nos hiciera un poco más largo de lo esperado. Sin embargo, hoy nos alegramos de este momento, pues nunca es tarde cuando la dicha es buena. Estamos seguros de que es el tiempo perfecto para alcanzar una de nuestras más grandes metas.

Gracias, en primer lugar, a Dios, porque sin Él nada somos, y gracias a Él lo tenemos todo, por abrir nuestra mente al conocimiento y proveer siempre para costear nuestros estudios.

Al mismo tiempo, brindamos un cordial agradecimiento a la Universidad Técnica Nacional y a todos los profesores que aportaron en el proceso de nuestra formación y adquisición de conocimientos.

A nuestros familiares y amigos, quienes nos motivaron a seguir adelante y se alegraron por cada peldaño superado y cada cuatrimestre aprobado.

Roy Elizondo Murillo

Fabrizio Enríquez Rosales

Tabla de contenidos

RESUMEN	x
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 Introducción	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Planteamiento del problema	5
1.4. Justificación	6
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	8
1.6. Alcance.....	8
1.7. Limitaciones.....	9
1.8. Factibilidad.....	9
1.9. Cronograma.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Estudio de corriente de cortocircuito	16
2.1.1. Fallas simétrica y asimétrica.....	17
2.1.1.1. Falla simétrica.....	17
2.1.1.2. Falla asimétrica circuito resistivo.....	18
2.1.1.3. Corriente de falla simétrica en un circuito con resistencia y reactancia	19
2.1.1.4. Corriente de falla asimétrica en un circuito con resistencia y reactancia	20
2.1.2. Protecciones en sistemas eléctricos.....	22
2.2. Equipos y dispositivos de protección.....	24
2.2.1. Relé de sobrecorriente	24
2.2.2. Ajuste y coordinación de las protecciones	25
2.2.3. Funciones de las protecciones.....	25
2.2.4. Ajustes de las protecciones para motores y transformadores	26
2.2.5. Criterios para la selección de los ajustes y de la coordinación de los relés de sobrecorriente	26
2.2.5.1. Ajuste de la protección temporizada de fase	26
2.2.5.2. Ajuste de la unidad instantánea de fase	27

2.2.5.3. Coordinación de las protecciones de sobrecorriente de fase.....	29
2.3. Disyuntores de mediana tensión	31
2.3.1. Disyuntores de bajo voltaje.....	33
2.3.2. Disyuntores de potencia de bajo voltaje (LVPCB).....	35
2.4. Equipos activos que aportan en caso de falla	36
2.5. Método de kVA equivalentes.....	40
2.6. Transformadores.....	46
2.6.1 Tipos y construcción de transformadores	46
2.6.2 Carga demandada en un transformador	49
2.6.3. Mantenimiento de transformadores	51
2.7. Analizadores de energía y de la calidad eléctrica Fluke 435 serie II.....	53
2.8. EasyPower.....	54
CAPÍTULO III.....	55
MARCO METODOLÓGICO	55
3.1. Tipo de investigación	56
3.1.1. Cuantitativo	56
3.1.2. Cualitativo	57
3.2. Alcance de la investigación.....	58
3.2.1. Exploratorio	58
3.2.2. Descriptiva.....	58
3.2.3. Explicativa	59
3.4. Fuentes de información.....	59
3.4.1. Fuentes de información primaria	60
3.4.2. Fuentes de información secundaria.....	60
3.4.3 Variables de análisis	61
3.5. Sujeto de información	61
3.6. Resumen	62
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	64
4.1. Análisis y resultados	65
4.1.1. Levantamiento de carga eléctrica.....	67
Cabina B	70

Cabina C	71
4.1.2.1. Levantamiento de cargas y actualización por transformadores	73
4.2. Introducción a cálculo de corriente de cortocircuito	83
4.2.3. Subestación principal.....	85
4.3. Coordinación del sistema de potencia.....	85
CAPÍTULO V	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1. Conclusiones y recomendaciones.....	104
5.1.1. Conclusiones.....	104
5.1.2. Recomendaciones.....	105
BIBLIOGRAFÍA	107
Referencias bibliográficas	108
ANEXOS	111

Índice de figuras

Figura 1. <i>Ubicación de CVG ALUNASA</i>	3
Figura 2. <i>Onda de falla simétrica</i>	18
Figura 3. <i>Falla asimétrica circuito resistivo</i>	19
Figura 4. <i>Falla asimétrica circuito resistivo</i>	20
Figura 5. <i>Falla asimétrica circuito resistivo con reactancia</i>	21
Figura 6. <i>Factores multiplicadores</i>	24
Figura 7. <i>Coordinación de tiempo – corriente</i>	30
Figura 8. <i>Corriente de falla y tiempo de operación</i>	30
Figura 9. <i>Interruptor Schneider LS/SF</i>	32
Figura 10. <i>Relé inteligente</i>	33
Figura 11. <i>Interruptor de caja moldeada</i>	34
Figura 12. <i>Parámetros Disyuntores (MMCB, ICCB)</i>	35
Figura 13. <i>Motor síncrono dos polos</i>	37
Figura 14. <i>Diagrama fasorial</i>	38
Figura 15. <i>Transformador tipo núcleo</i>	47
Figura 16. <i>Transformador tipo acorazado</i>	47
Figura 17. <i>Cabina A de mediana tensión</i>	70
Figura 18. <i>Cabina B de mediana tensión</i>	71
Figura 19. <i>Cabina C de mediana tensión</i>	72
Figura 20. <i>Cabina D de mediana tensión</i>	73
Figura 21. <i>Datos de la entrada eléctrica</i>	84
Figura 22. <i>Diagrama nave</i>	87
Figura 23. <i>Identificación de curvas de disparo</i>	88
Figura 24. <i>Curva disparo protección TR-A1</i>	89
Figura 25. <i>Curva disparo protección TR-A2</i>	90
Figura 26. <i>Curva disparo protección TR-A3</i>	91
Figura 27. <i>Curva disparo protección TR-B1</i>	92
Figura 28. <i>Curva disparo protección TR-B2</i>	93
Figura 29. <i>Curva disparo protección TR-C1</i>	94
Figura 30. <i>Curva disparo protección TR-C2</i>	95
Figura 31. <i>Curva disparo protección TR-C3</i>	96
Figura 32. <i>Curva disparo protección TR-C4</i>	97

Figura 33. <i>Curva disparo protección TR-D1</i>	99
Figura 34. <i>Curva disparo protección TR-D2</i>	100
Figura 35. <i>Curva disparo protección TR-D3</i>	101

Tabla 1. Cronograma de ejecución.....	11
Tabla 2. Matriz metodológica.....	63
Tabla 3.Transformador TR-A1.....	74
Tabla 4. Transformador TR-A.....	75
Tabla 5. Transformador TR-A3.....	76
Tabla 6.Transformador TR-B1.....	77
Tabla 7. Transformador TR-B2.....	78
Tabla 8.Transformador TR-C1.....	78
Tabla 9.Transformador TR-C2.....	79
Tabla 10.Transformador TR-C3.....	79
Tabla 11.Transformador TR-C4.....	80
Tabla 12.Transformador TR-D1.....	81
Tabla 13.Transformador TR-D2.....	82
Tabla 14.Transformador TR-D3.....	83
Tabla 15. ICC por Buses.....	85

RESUMEN

La empresa Alunasa, ubicada en Juanilama de Esparza, cuenta con dos transformadores localizados en la subestación de Juanilama y alimentados por el Instituto Costarricense de Electricidad. Los transformadores se alimentan en el primario con 138 kV, lo cual le da a su salida en el secundario 13.8 kV. Ambos transformadores tienen una potencia de 12 MVA. Estos transformadores trabajan uno a la vez, alternando su uso para mantenerlos en condiciones operativas adecuadas.

Este sistema de potencia alimenta un anillo en el cual se tienen cuatro cabinas llamadas: Cabina A, Cabina B, Cabina C y Cabina D, en las que se reparten doce transformadores encargados de reducir el voltaje de 13.8 kV a 480 V.

Se realizará un levantamiento de cargas de los equipos operativos en la empresa, para realizar el cálculo de la corriente de corto circuito por medio del software EasyPower, con el propósito de realizar un modelado de la protección eléctrica seleccionada y ver su eficacia en la operación de despejar una falla eléctrica, realizando una propuesta con un modelo de protección eléctrica para salvaguardar el bus de potencia y los transformadores pertenecientes al sistema de distribución de la nave industrial.

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

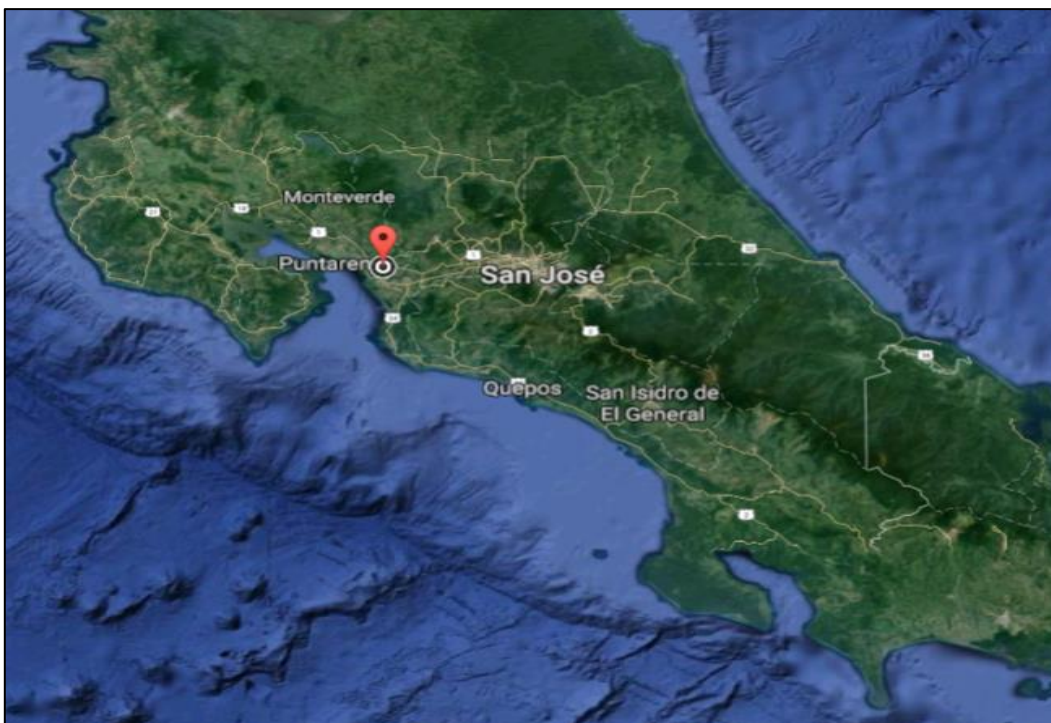
1.1 Introducción

Este trabajo de investigación tiene la finalidad elaborar un documento denominado: “Propuesta de diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa para el año 2021”, el cual se pretende llevar a cabo en la empresa Alunasa. El propósito principal es lograr el diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que mantienen los equipos de la nave industrial.

Actualmente, en la empresa Alunasa, debido a la longevidad de los equipos y la obsolescencia de éstos, se han producido tres eventos que evidencian la urgencia de actualizar el sistema de protección a nivel eléctrico. Al producirse dichas fallas, los equipos de protección no lograron despejarlas, dejando las máquinas eléctricas energizadas y prolongando el evento hasta ser despejado de manera manual desde el interruptor principal. Ello ocasionó la detención del proceso productivo al menos por cuatro horas por cada evento, lo cual se manifestó en pérdidas económicas considerables.

Con base en lo mencionado anteriormente, el Departamento de Mantenimiento inició el proyecto para una propuesta en la sustitución de las protecciones principales del anillo de potencia y las barras al lado de baja de los transformadores que alimentan los equipos productivos. Por otro lado, es necesario mencionar que la ubicación geográfica de CVG ALUNASA es en el cantón de Esparza, provincia de Puntarenas, Costa Rica, específicamente, a 90 km de San José, a 300 km de Puerto Limón y a 20 km de Puerto Caldera (ver figura 1).

Figura 1. Ubicación de CVG ALUNASA



Fuente: Google Maps, 2022

1.2. Antecedentes

La empresa Aluminios Nacionales S.A. (ALUNASA) inició sus operaciones en 1980 tras la firma del contrato para su construcción entre CODESA y Tecmo-Hunter Engineering en 1978. En este mismo año, CVG Aluminio del Caroní S.A. (CVG ALCASA), la cual es una empresa venezolana, se convirtió en el principal proveedor de materia prima de ALUNASA. Para 1988, CVG ALCASA se convierte en accionista del 40% de ALUNASA y, en 1994, obtiene el 100% de las acciones. Finalmente, en el 2000, CVG ALCASA transfiere sus acciones a la Corporación Venezolana de Guayana y, desde este momento, la empresa se denominó CVG ALUNASA y se encuentra ubicada en Juanilama, Esparza, Puntarenas.

La empresa se dedica a la elaboración de productos de aluminio. Algunos de ellos son: papel aluminio industrial (*foil*), discos, flejes y láminas rectangulares. Además, se fabrican bloques y cilindros de aluminio de diferentes medidas para la industria metalmeccánica.

La empresa ALUNASA, por medio de la coordinación de mantenimiento, enfatiza la necesidad de poseer equipos de protección adecuados para el sistema de potencia eléctrica en 13.8 kV, tomando en cuenta aspectos como la seguridad del personal y de los equipos para evitar futuras fallas y eliminar el riesgo de no despejar efectivamente una falla eléctrica en el anillo de potencia. Lo anterior puede generar daños materiales considerables o paros inoportunos en el proceso. En ese sentido, se tiene registro de eventos que pusieron en riesgo la integridad de las máquinas eléctricas, así como paros productivos que provocaron pérdidas e incumplimiento de pedidos por el no despacho de la materia prima final. Al respecto, se registraron tres eventos en los cuales se tuvo que interrumpir el fluido eléctrico de la nave industrial.

Debido a que, en febrero del 2018, se presentó una falla en el anillo de potencia de 13.8 kV, el interruptor principal del anillo de potencia realizó a apertura del sistema cuando no lo tenía que hacer. En este caso, debía abrir el interruptor principal de 13.8 kV de mediana tensión de la cabina D. Dicha falla se prolongó por seis horas, en las cuales se localizó la falla y se realizaron las operaciones correspondientes para solucionarla y reestablecer el fluido eléctrico.

Mientras tanto, en junio del 2020, se produjo una falla similar en el sistema de baja tensión, en este caso, en el lado de baja del transformador TRC-1 de la cabina C. En ese sentido, se produjo una falla de cortocircuito trifásica y el interruptor no realizó la apertura dando inicio a un conato de incendio. La falla se despejó de manera manual en el interruptor principal, ya que el interruptor principal de la cabina C no despejó la falla de manera

automática, ni de manera manual. Como consecuencia de dicha situación, se provocó un paro de la nave industrial por ocho horas.

De la misma forma, en agosto del 2020, falló el aislamiento del transformador que ocupaba la posición TRA-3, lo cual ocasionó un cortocircuito monofásico y la protección principal del transformador no realizó su apertura de manera eficiente. En este caso, la falla fue despejada por el interruptor principal y se generó un paro de cuatro horas. En relación con lo anterior, se encontró que la bobina de disparo estaba coordinada con el interruptor principal y, aun así, no respondió de manera adecuada. Por los eventos experimentados, se evidencia la necesidad de realizar un estudio de cortocircuito y, posteriormente, realizar una selección de equipos y una coordinación de protecciones para dar solución al problema presente en el sistema de potencia.

1.3. Planteamiento del problema

El Departamento de Mantenimiento, así como la Gerencia de Operaciones mantienen, como plan de contingencia, un pequeño procedimiento como protocolo ante una falla eléctrica, el cual consiste en que, en caso de que una falla eléctrica y ésta no sea despejada de manera automática, se debe proceder a despejar la falla de manera manual en el interruptor más cercano arriba de dicha falla. Si la maniobra es riesgosa, se debe proceder a la siguiente protección, siempre y cuando el personal no se exponga a riesgo de choque eléctrico. Además, si, por algún motivo, la maniobra se vuelve riesgosa, se debe llamar al Centro de Control del ICE en la subestación de Barranca para que se realice la apertura del interruptor principal de Alunasa de manera remota. Dicho interruptor está ubicado en la subestación de Juanilama, Esparza.

Es necesario aclarar que el personal de mantenimiento conoce los riesgos en que se puede incurrir ante una maniobra de tal magnitud. Por este motivo, se ha tomado la decisión de realizar la apertura del interruptor principal de la nave industrial. Consecuentemente, se planteó el siguiente problema de investigación: ¿Cuáles son los métodos de diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa?

1.4. Justificación

Uno de los objetivos principales de las organizaciones radica en su rentabilidad y en el funcionamiento eficiente de su producción, alcanzando resultados positivos que protegen los intereses de la empresa. Para ello, es necesario que los empresarios al frente de los negocios traten de evitar problemas, dado que los jefes al mando de Alunasa muestran preocupación sobre el tema de obsolescencia de las protecciones del sistema de potencia eléctrica y están comprometidos en solucionar el problema presentado, el cual provoca pérdidas económicas importantes, además de comprometer los equipos y las máquinas eléctricas en la industria con el consabido riesgo en la integridad del personal de mantenimiento.

Actualmente, con el avance de la globalización económica y la abundante competencia empresarial, se requiere de recursos con buenos niveles de eficiencia que contribuyan en la productividad de las empresas sin poner en riesgo la vida de los colaboradores. Considerando lo anterior, en los últimos años, la exposición a la electricidad es una de las primordiales causas más comunes en áreas de trabajo. A partir de ello, las empresas suelen instaurar protocolos de seguridad ocupacional como estrategia que permita minimizar el riesgo y el impacto de un accidente eléctrico en las áreas de trabajo.

Ante dicho escenario, se plantea la realización de un levantamiento de cargas para realizar un estudio de cortocircuito, además de realizar la coordinación de los equipos recomendados. De esta manera, las organizaciones reducen el riesgo al que se puede ver expuesto el personal de mantenimiento, así como eliminar los paros productivos, los cuales generan pérdidas económicas y comprometen la entrega de pedidos.

De esta forma, en el contexto teórico, la presente investigación pretende aumentar los conocimientos sobre las diferentes variables establecidas en el estudio. Ello permite establecer las necesarias bases teóricas, las cuales generan un punto de partida para posteriores estudios relacionados con este trascendental tema.

Mientras tanto, a nivel práctico, se desea resolver un tema de diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa, lo cual depende directamente de la implantación de un nuevo diseño en el sistema de mediana tensión. Considerando lo anterior, este trabajo permite que los resultados obtenidos muestren que esta propuesta representa una importante necesidad.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer el diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan las máquinas en la nave industrial CVG Alunasa, mediante estudios en ingeniería basados en la normativa eléctrica respectiva, con el fin de mejorar el sistema de protecciones y salvaguardar las máquinas eléctricas.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento de cargas pertenecientes al anillo de potencia, tomando datos de planos existentes y comprobación de campo, para actualizar la información necesaria para el proyecto.
2. Actualizar los datos de la distribución de cargas de transformadores verificando la demanda existente para garantizar el adecuado funcionamiento.
3. Actualizar el diagrama unifilar del bus de mediana tensión utilizando información actualizada mediante el software EasyPower.
4. Realizar un estudio de cortocircuito y coordinación de las protecciones propuestas, utilizando el software EasyPower, para realizar la simulación y coordinación correspondiente.

1.6. Alcance

Este proyecto tiene como alcance mostrar una propuesta de proyecto donde se recomienda la sustitución de los equipos de protección de mediana tensión del anillo de potencia correspondiente a los transformadores en las cabinas de distribución, así como la protección de los buses en el lado de baja tensión de éstos.

La propuesta consiste en mostrar un diseño adecuado y modelado en el *software EasyPower*, el cual evidenciará la coordinación de las protecciones ante una falla eléctrica. De esta manera, la empresa Alunasa contará con el material correspondiente para realizar la selección de los equipos y poseer un sistema eléctrico con protecciones coordinadas.

1.7. Limitaciones

Las limitaciones encontradas durante la realización del proyecto son las siguientes:

- El modelo de los disyuntores Magrini Galileo / tipo: 17MG350 no se encuentra en la biblioteca del *software EasyPower*, además de que la empresa fabricante ya está fuera del mercado.
- En la recolección de datos de los motores, se encuentra la dificultad de que la placa de datos no es legible, o bien, es inexistente. En este caso, se trabajó con los datos mostrados en los planos eléctricos de los equipos.
- Algunos de los planos eléctricos de los equipos no estaban actualizados, por tanto, se trabajó en dicha actualización.
- En noviembre del 2021, se da un cierre de operaciones de la empresa, lo cual provocó un atraso en la recopilación de información de campo y, por consiguiente, una demora en el avance del proyecto.

1.8. Factibilidad

El Departamento de Mantenimiento y la unidad de proyectos cuenta con los diagramas unifilares de la empresa, los cuales existen en planos físicos de papel cebolla “no actualizados”, así como los planos eléctricos de las máquinas. Asimismo, se cuenta con personal técnico para la realización de levantamiento de carga y revisiones técnicas con el objetivo de actualizar los planos y eliminar los equipos desincorporados en el diagrama unifilar de la nave industrial.

1.9. Cronograma

Seguidamente se muestra el cronograma de la realización del presente proyecto.

Tabla 1. Cronograma de ejecución

N°	Actividades	Duración	Comienzo	Fin	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56				
Recopilación de Información	Realizar el Proyecto	56 semanas	06-may-21	30-nov-22																																
	Propuesta diseño en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa																																			
	Toma de datos de equipos																																			
	Analizar las metodologías de cálculo mediante la normativa vigente.	6 semanas	21-jul-21	25-jun-21																																
	Tabulación y ordenamiento de datos	4 semanas	30-jun-21	22-jul-21																																
	Recolección y verificación de datos técnicos de la red eléctrica.	4 semanas	31-jul-21	20-ago-21																																
Levantamientos de planos	Adquirir y analizar las normas relacionadas al cálculo arco y choque eléctrico designadas	5 semanas	23-ago-21	14-sep-21																																
	Recolección y verificación de datos técnicos de la red eléctrica.	5 semanas	11-sep-21	15-ene-22																																

Simulación	Creación del diagrama unifilar en EASY POWER	6 semanas	Cerrado por pandemia	Cerrado por pandemia	
Simulación	Introducción de datos al diagrama unifilar	4 semanas	Cerrado por pandemia	Cerrado por pandemia	
Simulación	Cálculo de las curvas en Easy Power	4semanas	Cerrado por pandemia	Cerrado por pandemia	
	Cálculo de las curvas en Easy Power	2 semanas			
Comparación entre cálculo	Crear una base con	2 semanas	05-ago-22	13-ago-22	
Comparación entre Calculo	Actualizar y realizar modificaciones correspondientes en el diagrama unifilar de potencia	1 semana	13-ago-22	19-ago-22	
Comparación entre cálculo	Definir el esquema de potencia con todos los elementos de protección el <i>software</i> de Easy power	1 semana	20-ago-22	26-ago-22	

Coordinación de Protecciones	Generar los estudios de corto circuito, coordinación de protecciones	1 semanas	15-sep-22	22-sep-22	
	Realizar el estudio y la tabulación del cálculo de corto circuito en el <i>software</i> de Easy power	1 semanas	27-sep-21	30-sep-22	
	Generar el estudio, ajuste y coordinación de protecciones eléctricas en baja, mediana y media alta tensión.	1 semanas	03-oct-22	10-oct-22	

Trabajo Escrito y presentación	Analizar los datos proporcionados por el software de ingeniería mediante las TCC de las zonas de protección.	3 semanas	26-oct-21	15-nov-22	
	Redefinir el ajuste de las protecciones del sistema eléctrico en caso de requerirlo	1 semanas	09-nov-20	15-nov-22	
	Establecer condiciones seguras de trabajo mediante el estudio de arco	1 semanas	16-nov-20	11-nov-22	
	Generar las etiquetas de advertencia en el <i>software</i> de ingeniería para cada punto de distribución de energía eléctrica	1 semanas	16-nov-20	23-nov-22	
	Entregar el informe del proyecto	1 semanas	25-nov-22	30-nov-22	

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, 2022.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se dirige al entendimiento y comprensión del proyecto realizado con el objetivo de dejar claros el procedimiento y las técnicas utilizadas para el desarrollo del estudio de cortocircuito y la selección de las protecciones por utilizar en el sistema de mediana tensión en 13.8 kVA y al lado de baja tensión de los transformadores en 0.480 kVA.

En este proyecto, se realizará el modelado del sistema de potencia de la empresa Alunasa en el *software* EasyPower, con el propósito de analizar las corrientes de cortocircuito. A partir de este dato, se logran la coordinación de protecciones seleccionadas y el ajuste adecuado para garantizar y salvaguardar la integridad de las máquinas eléctricas que dependen de este sistema.

2.1. Estudio de corriente de cortocircuito

El estudio de cortocircuito tiene como propósito encontrar las corrientes de falla en cada bus que posea el diagrama unifilar analizado con el fin de dimensionar y ajustar los sistemas de protección de manera idónea y sean capaces de soportar eventos sin sufrir daños. Asimismo, se obtiene información sobre los conductores eléctricos con respecto a su calibre y longitud según el resultado brindado por el *software* utilizado para dicho fin. De esta manera, González y Luna (2010) definen este término del siguiente modo:

Una corriente de cortocircuito es aquella que circula en un circuito eléctrico cuando existe el contacto entre dos o más conductores sometidos a diferentes potenciales (circuito trifásico), o entre potencial y tierra (cortocircuito monofásico). Esto sucede al perderse el aislamiento entre ellos (p.25).

Según lo manifestado por los autores, el mayor porcentaje de fallas por cortocircuito está simbolizado por las fallas nombradas de línea a tierra.

En los sistemas de potencia, existen distintas causas que pueden provocar una falla eléctrica. Entre ellas, se encuentran: presencia de animales en el anillo de potencia, puntos calientes que provocan problemas de aislamiento en los conductores, transientes de tensión, contacto entre bornes por cuerpos metálicos, así como arcos eléctricos por partículas conductoras en el ambiente. Para detallar y entender las fallas eléctricas, se deben conocer los tipos de cortocircuito que se pueden dar en un sistema de potencia en mediana o baja tensión. Estas fallas son las siguientes:

- a) Fallas monofásicas a tierra: una fase hace contacto con la estructura o el conductor de puesta a tierra.
- b) Falla monofásica fase a neutro: una fase del sistema hace contacto con el neutro del sistema.
- c) Falla entre dos fases aisladas: dos fases del sistema hacen contacto entre sí.
- d) Falla trifásica equilibrada: en un sistema trifásico, sus tres fases portadoras de energía hacen contacto entre sí.

2.1.1. Fallas simétrica y asimétrica

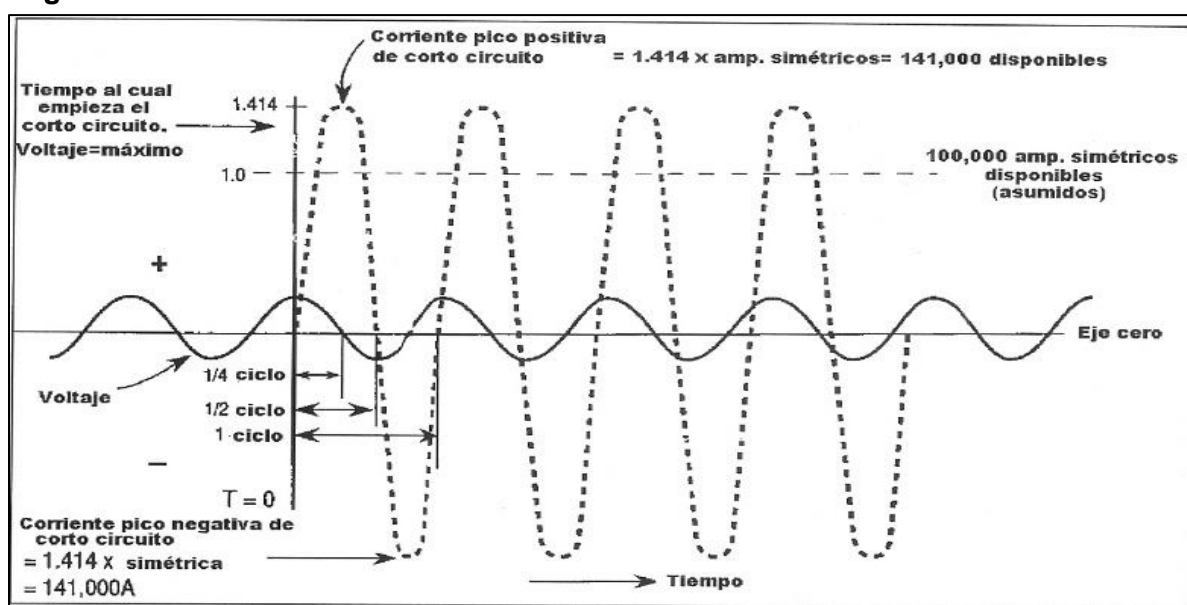
En este punto, se evidencia que las fallas simétrica y asimétrica se producen inicialmente en el terminal del generador, mientras la falla de circuito abierto y cortocircuito se produce en la línea de transmisión, por lo tanto, es necesario ahondar en estas dos fallas.

2.1.1.1. Falla simétrica

Al respecto, Paye, Candro y Vilcazan (2022) afirman que “la falla simétrica se subcategoriza en falla de línea a línea y falla de línea a tierra trifásica” (p.3). En ese sentido, una corriente de falla simétrica se producirá en un circuito resistivo con factor de potencia igual a uno. Consecuentemente, se producirá una forma de onda de manera simétrica, tanto en el

lado positivo de la onda sinusoidal, como en la parte negativa de la onda. Esta particular forma de onda nunca será lograda en los circuitos de potencia de bajo voltaje, ya que cada circuito práctico contiene reactancia y factor de potencia resultante más grande que cero. Es necesario evidenciar que el cortocircuito ocurre al instante cuando el voltaje generado alcanza su valor pico positivo. La forma de onda de corriente de falla resultante es simétrica al eje X (el pico positivo de corriente tiene el mismo valor que el pico negativo de corriente) (ver figura 2):

Figura 2. Onda de falla simétrica



Fuente: *Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II*

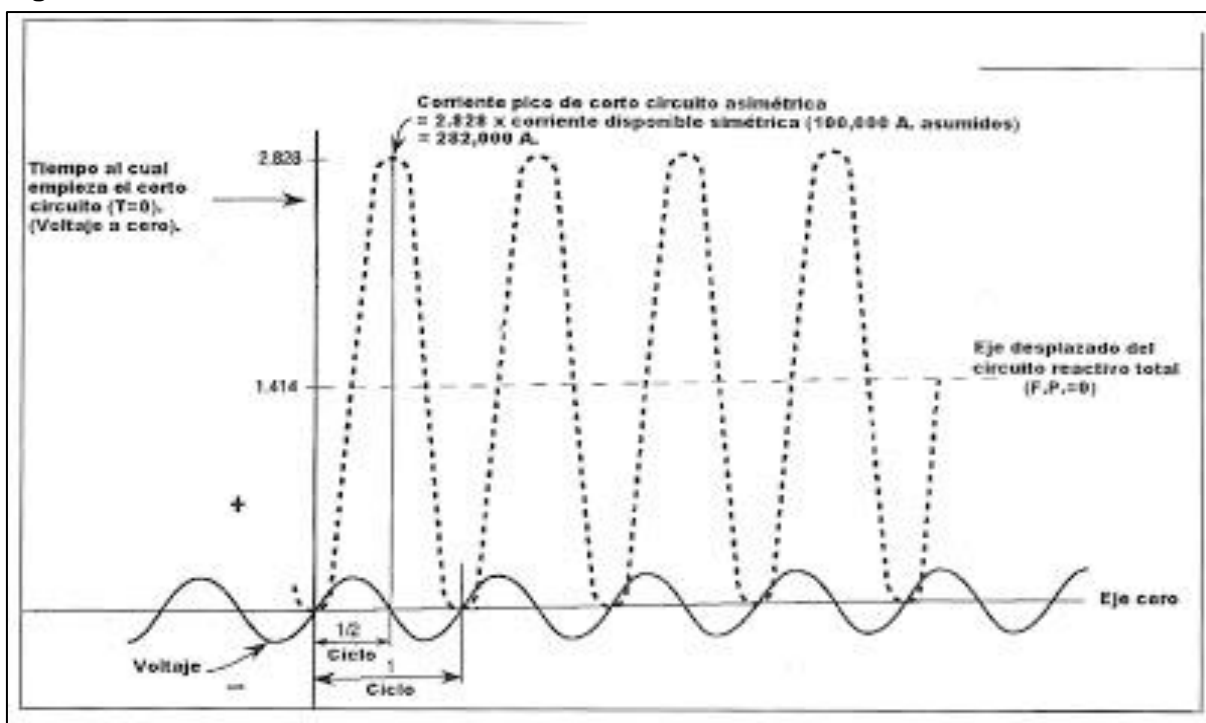
2.1.1.2. Falla asimétrica circuito resistivo

Al mismo tiempo, la falla asimétrica, según Glover y Sarma (2004) citados en Paye, etc al. (2022), ponen de manifiesto que “la falla asimétrica es el tipo más común de falla que ocurre en el sistema de energía” (p.3).

Por lo tanto, en un circuito conteniendo solamente resistencia, con un factor de potencia igual a cero, la corriente de cortocircuito resultante es asimétrica con respecto al eje X (el valor pico positivo de cualquier curva o número de curvas es más grande que la corriente simétrica).

La razón para la diferencia del resultado mostrado en la figura 2, es que el cortocircuito en la figura 3, ocurre al instante en que el voltaje generado pasa a través del eje cero en una dirección positiva. Asimismo, es necesario evidenciar que el tipo de onda de corriente de cortocircuito es todavía simétrico, pero a un eje desplazado.

Figura 3. Falla asimétrica circuito resistivo

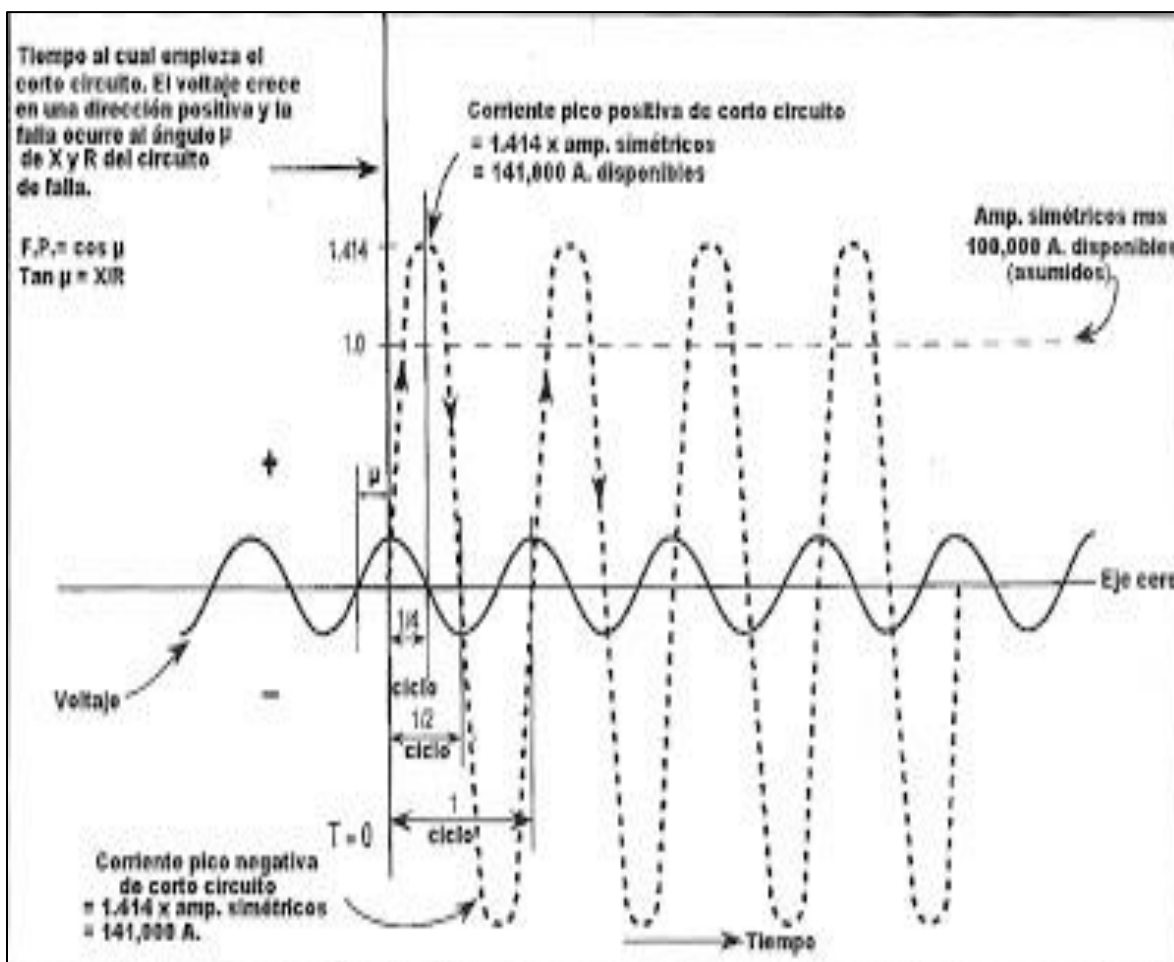


Fuente: *Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II*

2.1.1.3. Corriente de falla simétrica en un circuito con resistencia y reactancia

En este caso, el circuito contiene resistencia y reactancia con un factor de potencia superior a cero. El cortocircuito ocurre al ángulo μ , el cual es medido desde el punto donde la onda de voltaje pasa a través del eje cero en una dirección positiva. Comparando esta onda simétrica con la que se mostró en la figura 4, se aprecia que ambos tipos son similares a diferencia del punto donde inicia el cortocircuito.

Figura 4. Falla asimétrica circuito resistivo



Fuente: *Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II*

2.1.1.4. Corriente de falla asimétrica en un circuito con resistencia y reactancia

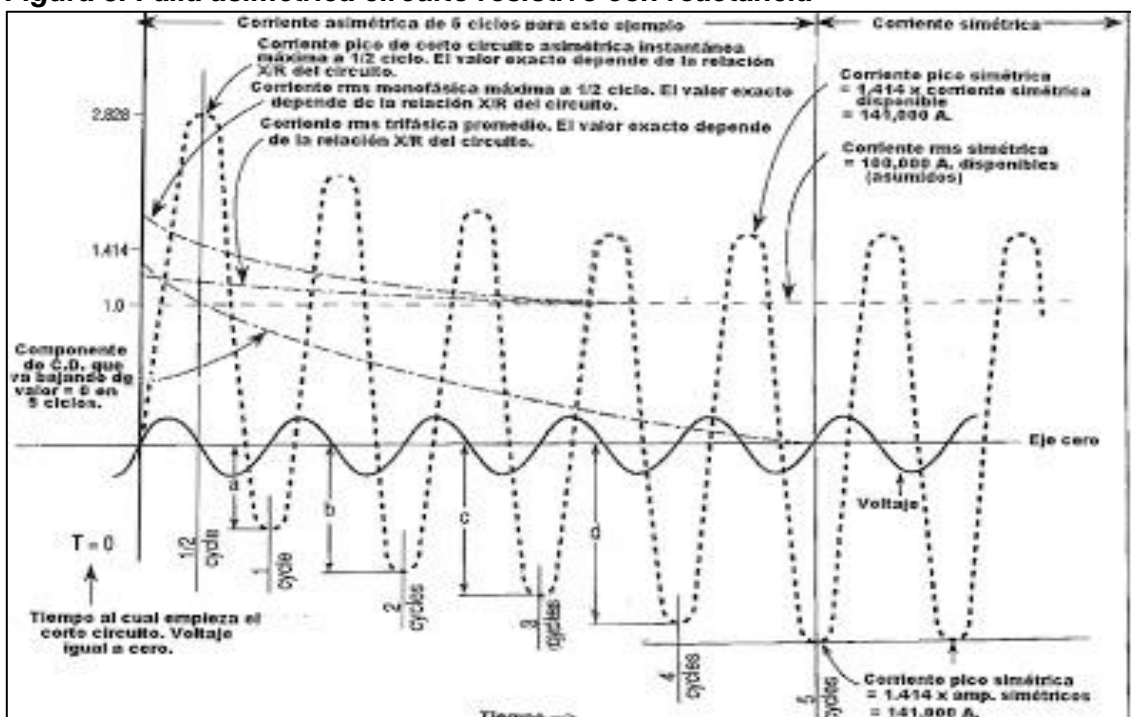
Para un estudio de corriente de cortocircuito, este dato es de gran importancia, ya que contiene resistencia y reactancia con un factor de potencia igual a cero. El cortocircuito ocurre en un punto donde la tensión pasa a través del eje cero en una dirección positiva. Por ende, es necesario considerar que:

Este tipo de onda de corriente de cortocircuito es asimétrico con respecto al eje cero. Los picos de las primeras cinco curvas positivas son más grandes sobre el eje cero que las partes superiores de las curvas positivas de la corriente simétrica. Nótese

también que el punto más bajo de cada una de las primeras cinco curvas negativas debajo del eje cero es menor que la corriente pico negativa simétrica. La distancia de la primera curva negativa (a) debajo del cero es más pequeña, pero, conforme pasa el tiempo, los valores (b), (c) y (d) se incrementan hasta que los valores de la curva negativa asimétrica son iguales a los valores de la curva negativa simétrica (Anónimo, 2011, párr. 5).

En ese sentido, se logra apreciar cómo se suman, en el circuito, los tipos de onda de las figuras 2, 3 y 4, y el componente CD causado por la súbita aplicación de un cortocircuito en un sistema de CA. Esto se suma a la componente de CA, la cual también es causada por la súbita aplicación del cortocircuito. Cuando las componentes de CA y CD se suman, la onda de corriente resultante es asimétrica al eje cero, tal como se ilustra en la figura 5:

Figura 5. Falla asimétrica circuito resistivo con reactancia



Fuente: *Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II*

2.1.2. Protecciones en sistemas eléctricos

En todo sistema eléctrico de potencia, las protecciones eléctricas son necesarias, pues representan los elementos encargados de desconectar las fallas en caso de que exista alguna dificultad que ponga en riesgo al sistema eléctrico. Por tanto, se requiere una labor minuciosa en la cual todos los dispositivos de protección deben funcionar en conjunto. En esta sección, Pérez (2021) menciona una serie de características de las protecciones eléctricas dentro de las cuales se destacan las siguientes:

- a) Sensibilidad: es la habilidad del sistema eléctrico de identificar una condición anormal que excede cierto valor límite en relación con la operación normal del sistema.
- b) Selectividad: se refiere al diseño estratégico donde las protecciones más cercanas a una falla operarán para remover los componentes afectados para despejarla.
- c) Relé de protección primario: es aquel que, para una zona de protección determinada, le corresponde operar ante condiciones anormales que ocurran dentro de la zona.
- d) Coordinación: se muestra cuando los dispositivos de protecciones, tanto primarios, como de respaldo, han sido ajustados tal que se ha logrado una operación selectiva (p.12).

La importancia de la protección eléctrica radica en evitar eventos que puedan afectar el equipo, o bien, a las personas por sobrecalentamientos, por lo tanto, las organizaciones deben tomar las previsiones del caso para evitar tragedias. Por otro lado, en un circuito trifásico, existen tres corrientes simultáneas, específicamente, una en cada fase. Cuando una fase está en su máxima asimetría, las otras dos fases tienen un valor de 0,707 veces este máximo valor en el mismo instante.

Las capacidades interruptivas de los disyuntores y fusibles se dan en amperios RMS simétricos. Sin embargo, los procedimientos de prueba usados para establecer la capacidad interruptiva simétrica establecen las siguientes máximas capacidades de soporte para el primer semiciclo asociadas con cada tipo de protección: máxima corriente pico instantánea de paso, máxima corriente monofásica asimétrica RMS por medio ciclo, así como corriente RMS trifásica media por medio ciclo.

Los valores máximos admisibles de estas tres capacidades de soporte, para cada tipo de elemento protector, dependen de los valores de prueba de la razón X/R que están prescritas en la norma ANSI/IEEE. Es importante anotar que las razones de prueba X/R varían conforme a los tamaños y tipos de las protecciones. Siempre debe determinarse la razón X/R para la protección en cuestión antes de calcular las respectivas capacidades máximas de soporte.

La figura 6, muestra una tabla con los factores multiplicadores para convertir los amperios simétricos a capacidades de soporte. Por ejemplo, para un circuito cuyo factor de potencia en cortocircuito es de 8%, se encuentra que la relación X/R de cortocircuito es 13.46, que la corriente máxima instantánea pico monofásica es de 2,52 veces el valor simétrico RMS, que la corriente máx. monofásica RMS por $\frac{1}{2}$ ciclo es igual a 1,486 veces el valor simétrico RMS y que el valor medio de la corriente trifásica RMS al $\frac{1}{2}$ ciclo es igual a 1,256 veces el valor simétrico RMS.

Figura 6. Factores multiplicadores

Short Circuit Power Factor, Percent*	Short Circuit X/R Ratio	Ratio to Symmetrical RMS Amperes		
		Maximum 1 phase Instantaneous Peak Amperes M_p	Maximum 1 phase RMS Amperes at 1/2 Cycle M_m (Asym.Factor)*	Average 3 phase RMS Amperes at 1/2 Cycle M_a *
0	∞	2.828	1.732	1.394
1	100.00	2.785	1.697	1.374
2	49.993	2.743	1.662	1.354
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.599	1.318
5	19.974	2.625	1.569	1.302
6	16.623	2.589	1.540	1.286
7	14.251	2.554	1.512	1.271
8	13.460	2.520	1.486	1.256
9	11.066	2.487	1.461	1.242
10	9.9301	2.455	1.437	1.229
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.370	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.331	1.172
16	6.1695	2.282	1.312	1.162
17	5.7947	2.256	1.295	1.152
18	5.4649	2.231	1.278	1.144
19	5.16672	2.207	1.278	1.135
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.219	1.112
23	4.2313	2.110	1.205	1.105
24	4.0450	2.095	1.193	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.092
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.015	1.149	1.076
29	3.3001	1.996	1.139	1.071
30	3.1798	1.978	1.130	1.064
31	3.0669	1.960	1.122	1.062
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.106	1.057
34	2.7660	1.910	1.098	1.050
35	2.6764	1.894	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.085	1.043
37	2.5109	1.863	1.079	1.040
38	2.4341	1.848	1.073	1.037
39	2.3611	1.833	1.068	1.034
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.058	1.029
42	2.1608	1.791	1.053	1.027
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.023

Fuente: Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II

La razón X/R al punto de la falla variará de instalación a instalación. Sin embargo, es práctica común considerar que se dará adecuada protección de cortocircuito si se asume que la máxima razón X/R = 6,6, que es equivalente a decir que el factor de potencia, durante el cortocircuito, es de 15% para la instalación en cuestión. La probabilidad de exceder este número es muy poco probable y, por consiguiente, se puede suponer que una instalación es segura.

2.2. Equipos y dispositivos de protección

2.2.1. Relé de sobrecorriente

Son equipos de protección capaces de identificar corrientes de falla comparando el valor de la intensidad de corriente utilizada como dato de entrada a la protección con un valor

de referencia establecido según las características técnicas del elemento por proteger, operando sí y solo sí el valor de intensidad de corriente supera al de referencia (Revetti y Rogelio, 2010).

2.2.2. Ajuste y coordinación de las protecciones

Al determinar la operación de los equipos de protección mediante un esquema de protección, se deben considerar las condiciones de operación nominal del sistema eléctrico asegurando que, durante las fallas, el funcionamiento irregular y las condiciones indeseadas de los equipos se vean afectados de manera mínima (Revetti y Rogelio, 2010).

Para ajustar las protecciones, se deben definir los límites de las señales o umbrales de entrada que permitirán la correcta operación de éstas. Para ello, se consideran la capacidad y el comportamiento de los elementos que componen el sistema eléctrico en todas las condiciones de operación (Revetti y Rogelio, 2010).

Asimismo, de acuerdo con Revetti y Rogelio (2010), coordinar una protección eléctrica requiere de disponer de intervalos de tiempos de operación para actuar según la función y la prioridad, tomando como partida la protección principal y de respaldo. La coordinación está determinada por la graduación o los ajustes de los tiempos para una correcta ejecución de las protecciones vinculadas.

2.2.3. Funciones de las protecciones

Sobrecorrientes de tiempo instantáneo (función 50). Son aquellas que operan de manera inmediata, es decir, no introducen intencionalmente ningún tiempo de retraso en su operación, sino que actúan desde el mismo instante en que la corriente de entrada sobrepasa el valor de referencia (Revetti y Rogelio, 2010).

Sobrecorrientes de ajuste temporizado (función 51). Trabajan mediante un parámetro de retraso de tiempo en su operación. Cuando éste es independiente de la corriente de entrada, al relé se le llama protección de sobrecorriente de tiempo definido. Encaso contrario, si el retraso es función de la corriente de entrada, entonces, se denominan protecciones de sobrecorriente de tiempo inverso. En esta sección, se pueden modificar las formas de inclinación de la curva de operación del relé, por ejemplo, tiempo inverso, moderadamente inverso, extremadamente inverso, etc. (Revetti y Rogelio, 2010).

2.2.4. Ajustes de las protecciones para motores y transformadores

En el capítulo II, se citan las partes ajustadas a un disyuntor de potencia en baja tensión; en mediana tensión, los ajustes se realizan en los relés de sobrecorriente mediante el TAP, el dial de tiempo (TD) y la unidad instantánea (INST). El TAP es una derivación de la bobina de entrada de la corriente. Dicha bobina tiene un número de vueltas que es ajustable. El TD es un ajuste vertical de la posición en la TCC, lo cual permite variar el tiempo para un mismo nivel de corriente. El INST permite interrumpir corrientes de cortocircuito sin retardo intencional de tiempo.

2.2.5. Criterios para la selección de los ajustes y de la coordinación de los relés de sobrecorriente

Los ajustes requeridos para los relés de sobrecorriente se realizan mediante los siguientes parámetros:

2.2.5.1. Ajuste de la protección temporizada de fase

La protección temporizada de fase tiene dos ajustes: corriente mínima de operación (TAP) y dial de tiempo (TD). Para la corriente mínima de operación, se requiere que el ajuste

sea de forma tal que la protección no opere para una intensidad primaria y secundaria del transformador de corriente 1,5 en relación con la capacidad nominal máxima del elemento por ser protegido, ya que así se evitará la actuación de la protección en condiciones normales de operación (Revetti y Rogelio, 2010). Para dimensionar la relación de transformación de corriente (CT), se utiliza la siguiente expresión:

$$CT = 1,2 \times I_n \quad (23)$$

Donde: I_n es la corriente nominal del dispositivo por proteger. Cabe destacar que el CT calculado debe acercarse a los valores de CT disponibles y normados en los circuitos de distribución. Una vez hecho lo anterior, el ajuste del TAP de fase estará determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$TAP = 1,2 \times I_n / CT \quad (24)$$

El TAP es una bobina ajustable, por tanto, el TAP calculado deberá aproximarse a los valores disponibles especificados por el fabricante. El ajuste del TD de la curva característica temporizada de la protección de fase debe ser tal que la curva seleccionada coordine con la curva característica de los elementos de protección “aguas abajo”, además de que sirva como respaldo efectivo de estas protecciones (Revetti y Rogelio, 2010).

2.2.5.2. Ajuste de la unidad instantánea de fase

El ajuste debe ser tal que la protección no opere para la corriente transitoria de restablecimiento en frío y no debe ser sensible a fallas que otros equipos “aguas abajo” puedan detectar, ya que no sería posible la coordinación en tiempo. En caso de que no existan elementos de protección “aguas abajo” del interruptor de la subestación, la unidad instantánea de fase (INST) deberá ajustarse a 2,5 veces la corriente nominal del circuito (Revetti y Rogelio,

2010). Es decir:

$$INST = 2,5 \times I_n/CT \quad (25)$$

Para este caso, se usará el valor de 2 veces la corriente nominal. Por otra parte, cuando existan protecciones “aguas abajo”, se podrá ajustar el INST de fase entre 1,25 o 1,6 veces el valor máximo de corriente de cortocircuito trifásico en el punto donde se encuentra el próximo dispositivo de protección (Revetti y Rogelio, 2010), por tanto:

$$INST = (1,25 - 2,5) \times I_n/CT \quad (26)$$

Cuando en el alimentador existan grandes cargas industriales, el ajuste deberá estar comprendido entre 4 y 10 veces la corriente nominal. De esta manera, se evita que el alimentador se dispare ante las fuertes corrientes de arranque de los motores.

El ajuste para motores difiere de sus condiciones de arranque en el cual su corriente llega a ser hasta 8 veces su capacidad nominal. Para esto, se utilizan métodos similares a los anteriores tomando en cuenta la corriente a plena carga (FLA) y la corriente de rotor bloqueado (LRA) para dimensionar las protecciones temporizadas de fase y los ajustes instantáneos. Éstos deben ser capaces de soportar, sin ejecutar su función de apertura, el arranque del motor según sean las condiciones catalogadas como óptimas (Revetti y Rogelio, 2010). Para determinar el ajuste de sobrecorriente de temporizada ($I_{>}$), el TAP se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$TAP = 2,8 \times \frac{I_{FLA}}{CT_{RATIRR}} \quad (27)$$

Por otra parte, para determinar el ajuste de sobrecorriente de tiempo definido ($I_{>}$), el TAP se obtiene mediante la ecuación:

$$INST = 2,5 \times \frac{I_{LRA}}{CT_{RATIRR}} \quad (28)$$

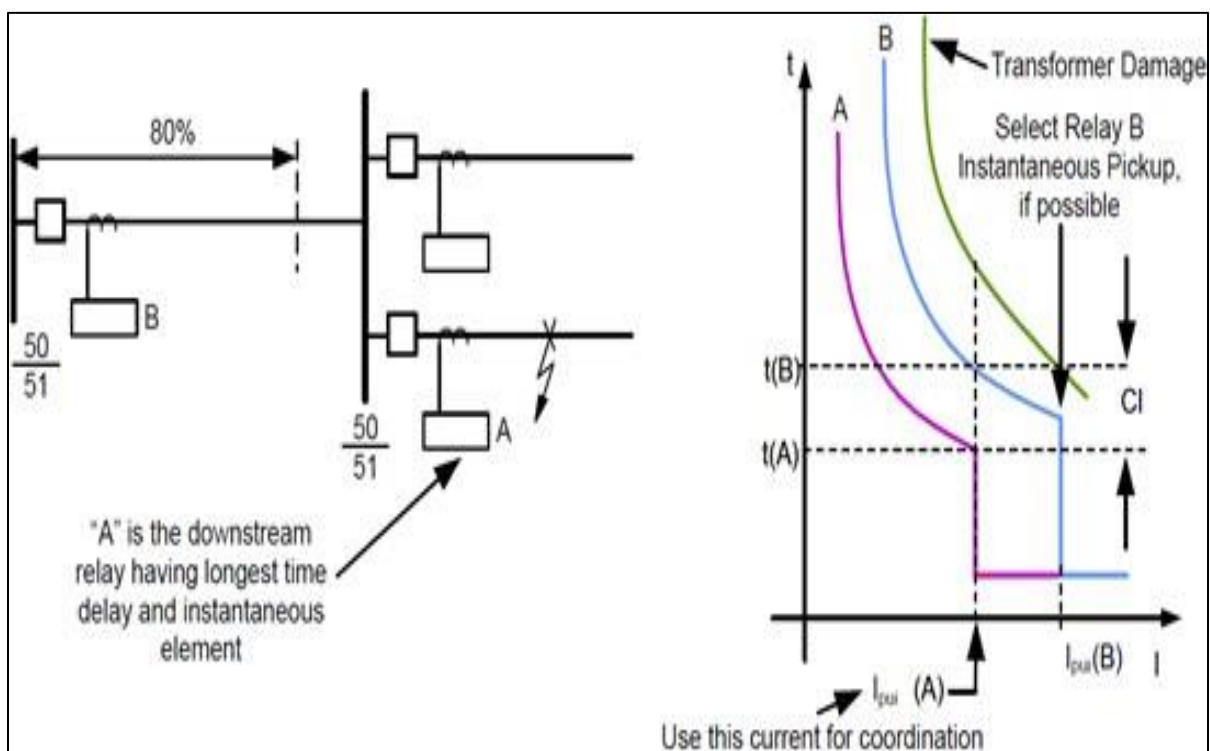
Es importante tomar en consideración la normativa relacionada con los límites de ajuste.

2.2.5.3. Coordinación de las protecciones de sobrecorriente de fase

En esta ocasión, se adoptarán los márgenes de tiempo mínimo sugeridos por la tabla 2 para las diferentes protecciones contenidas en este sistema eléctrico, considerando la periodicidad con que se realizan ajustes y pruebas de los dispositivos de protección (Revetti y Rogelio, 2010).

En respuesta al uso del tiempo en las protecciones eléctricas, la figura 7, muestra una coordinación típica de los relés de sobrecorriente. Al establecer una sobrecorriente instantánea en B, se requiere de una diferencia en la corriente de falla en A. Sin esto, no es posible la coordinación entre A y B existe una mala coordinación. (Hedding, Zimmerman, Bartok, Basler y Benmouyal, 2009).

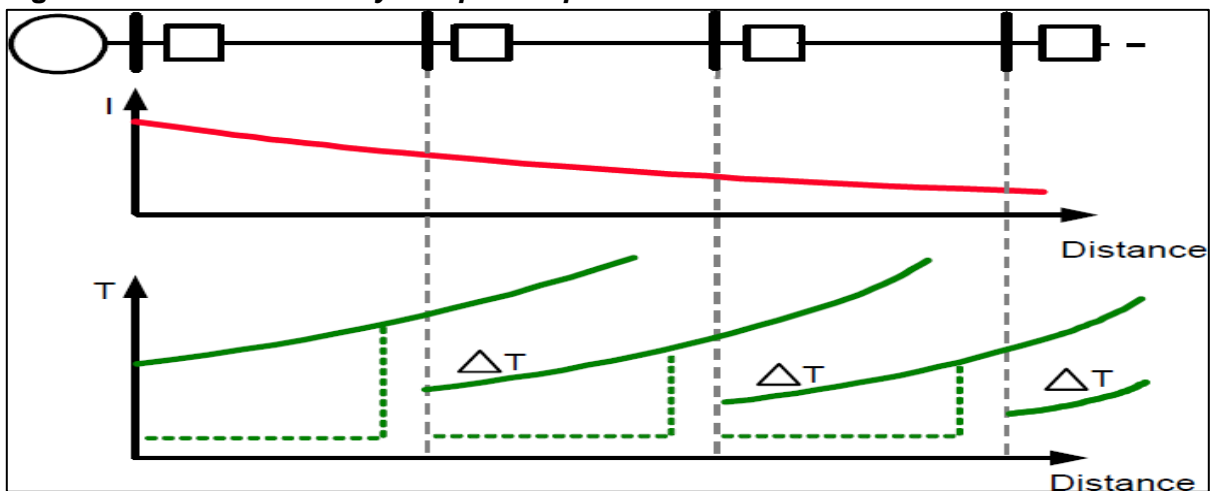
Figura 7. Coordinación de tiempo – corriente



Fuente: Hedding, Zimmerman, Bartok, Basler y Benmouyal, 2009

La figura 7, muestra los tiempos de funcionamiento del relé en función de la ubicación del fallo. Se puede observar que la corriente de fallo es más alta en la fuente. Si la distancia entre los dispositivos de coordinación es baja, el efecto es que la "delta T" continúa añadiendo.

Figura 8. Corriente de falla y tiempo de operación



Fuente: Hedding, Zimmerman, Bartok, Basler y Benmouyal, 2009

Por lo tanto, se termina con las corrientes de falla más altas y los retardos de tiempo más largos y cercanos a la fuente, donde es más probable que el personal esté trabajando. En resumen, el tiempo y la sobrecorriente que pueden soportar las protecciones son los aspectos que se buscan reducir a intervalos de coordinación mínimos mediante el ajuste en la TCC. En la siguiente sección, se determinan las TCC de cada esquema o zona de protección en conjunto con su representación unifilar, en la cual se observa la curva de operación.

A continuación, se realiza el estudio de coordinación de las protecciones mediante el *software* EasyPower. Para cada caso, se presenta la zona de protección en conjunto con el diagrama unifilar con la debida secuencia y el tiempo de operación (Revetti y Rogelio, 2010). Cabe destacar que los ajustes considerados en las protecciones corresponden a los definidos por la norma NFPA 70 en la tabla 430.52 y 430.3 (A) en relación con la dimensión y el ajuste de las protecciones en baja y mediana tensión de los motores y los transformadores, IEEE std 37.91-2000 para el ajuste de relés a mediana tensión en transformadores de potencia, IEEE 141 e IEEE 242.

2.3. Disyuntores de mediana tensión

Los interruptores de media tensión son utilizados en sistemas de potencia, por lo general se llama mediana tensión a niveles mayores a 1000 V. hasta los 38.5 V. sea en distribución eléctrica o sistemas industriales, mismos que poseen mecanismos necesarios para su adecuado funcionamiento como marca, mecanismo de operación y unidad de disparo, en la figura 9, se muestra un interruptor LS/SF Schneider.

Figura 9. Interruptor Schneider LS/SF



Fuente: Catálogo Schneider

a) Mecanismo de operación

Los interruptores de mediana tensión poseen un sistema mecánico encargado de realizar la apertura ante una falla. Este sistema es cargado por medio de un pequeño motor eléctrico y realiza la apertura a través de un resorte. El sistema de disparo posee una bobina que, ante una señal de falla enviada por un sistema de medición, energiza la bobina para que el enganche libere el resorte y genera el disparo. Seguidamente, el sistema debe cargar nuevamente para realizar el cierre de manera controlada.

b) Unidad de disparo

La unidad de disparo está constituida por un relé inteligente encargado de monitorear las líneas de tensión. Este relé será programado previamente para ajustar la curva de disparo y recibirá señales, las cuales son revisadas de manera inmediata con el fin de proteger los

sistemas de potencia eléctrica que integren los equipos. Estos relés de disparo se dividen en electromecánicos o digitales, las cuales tienen el mismo funcionamiento, pero los digitales son de nueva generación, donde los ajustes son más precisos. El propósito es proteger los sistemas de sobre corrientes instantáneas, sobre corrientes prolongadas y sobre tensión, se muestra en la figura 10, un modelo de relé inteligente.

Figura 10. Relé inteligente



Fuente: Catálogo Eaton

2.3.1. Disyuntores de bajo voltaje

Son aquellos elementos que entorpecen el paso de la corriente en caso de presentarse cortocircuito. Además, es importante recordar que este tipo de disyuntores trabaja para baja tensión. De la misma manera, es importante mencionar que se dividen en dos tipos:

- a) Interruptores de caja moldeada (MCCB): los MCCB son los disyuntores más utilizados en toda clase de tableros eléctricos. El mecanismo es totalmente sellado. Estos interruptores se atornillan generalmente a las barras, pero hay versiones enchufables. Están diseñados para usarse al 80% de su capacidad nominal cuando estén en

presencia de cargas continuas. Están disponibles en un amplio rango de capacidades interruptivas, sin embargo, para ciertos valores de X/R en condiciones de falla, debe comprobarse que esta capacidad interruptiva sea capaz de interrumpir la corriente asimétrica pasante en el punto de la falla. En la figura 11, se muestra un ejemplo de interruptor de caja moldeada.

Figura 11. Interruptor de caja moldeada



Fuente: *Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II*

- b) Aislada caja moldeada (ICCB): los ICCB son un tipo de disyuntores de caja moldeada diseñados para proveer características típicas de los disyuntores de potencia. Están diseñados para usarse al 80% de su capacidad nominal cuando estén en presencia de cargas continuas. Están disponibles en un amplio rango de capacidades interruptivas, sin embargo, para ciertos valores de X/R en condiciones de falla, debe comprobarse que esta capacidad interruptiva sea capaz de interrumpir la corriente asimétrica pasante en el punto de la falla. En la figura 12, se muestran los parámetros para los disyuntores de caja moldeada.

Figura 12. Parámetros Disyuntores (MCCB, ICCB)

Type of Circuit Breaker	Interrupting Rating (kA)	Power Factor Test Range	X/R Test Range
Molded Case	10 or less	0.45 – 0.50	1.98 - 1.73
Molded Case	over 10 to 20	0.25 – 0.30	3.87 - 3.18
Molded Case	over 20	0.15 – 0.20	6.6 - 4.9
Low-Voltage Power	all	0.15 max.	6.6 min.

Fuente: Curso Diseño de Instalaciones Eléctricas II

Cuando la X/R en los tableros donde se encuentran alojados estos disyuntores excede a los valores de la tabla continua, se debe tener cuidado porque la protección podría no tener la capacidad de interrumpir la corriente asimétrica que se podría presentar.

2.3.2. Disyuntores de potencia de bajo voltaje (LVPCB)

Los LVPCB tienen capacidades entre los 800 A y los 5000 A. Están diseñados y probados bajo normas muy diferentes a la de los MCCB y los ICCB (ANSI C 37 (UL 1066) y la (UL 1558)). Los LVPCB están conectados a las barras parcial o totalmente mientras el *switchgear* está energizado. Tienen numerosos componentes que pueden ser inspeccionados y reemplazados, tales como contactos, ensamblajes polares y cámaras cuyo fin es apagar arcos. Deben ser inspeccionados y reparados después de cada interrupción.

Están diseñados para trabajar al 100% de sus capacidades con cargas continuas (NEC 220.10). Están diseñados para interrumpir valores asimétricos de corriente de falla mayores que los MCCB y los ICCB. Los LVPCB se diferencia también de los MCCB y de los ICCB en el mayor STD de su curva característica (que puede llegar a 30 ciclos). Junto con la habilidad que poseen de poder eliminar el disparo instantáneo, facilitan la coordinación selectiva del sistema.

2.4. Equipos activos que aportan en caso de falla

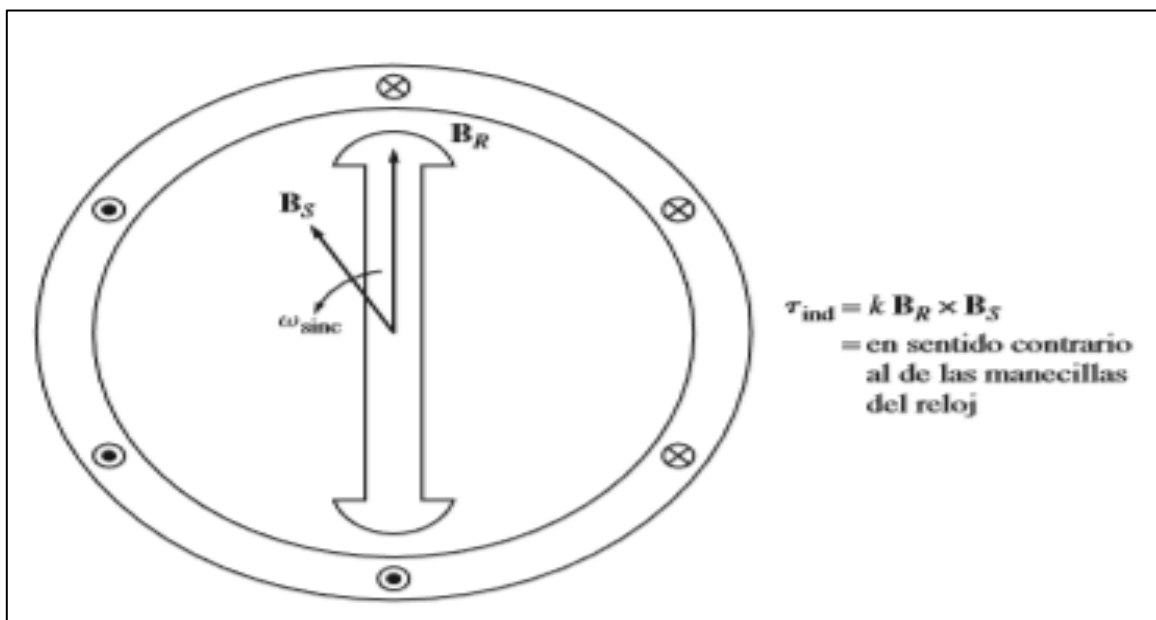
Como se sabe, las máquinas eléctricas rotativas son elementos que aportan energía ante un cortocircuito, siendo de esta forma equipos activos, tales como la red de suministro eléctrico (fuente), generadores eléctricos y motores síncronos y asíncronos. Cabe mencionar que existen equipos que no aportan ante un cortocircuito tales como: luminarias, equipos electrónicos, cargas lineales (resistencias) (Chapman, 2012).

Cuando ocurre una falla eléctrica, además de los generadores, toda máquina eléctrica rotativa que esté en funcionamiento por un tiempo determinado, en el instante de la falla, se volverán aportadores de energía al punto de la falla. Aportarán, a la falla, corrientes simétricas y asimétricas muy elevadas, y con alto nivel destructivo en conductores eléctricos y equipos de protección si éstos no fueron dimensionados de manera adecuada.

a) Motor sincrónico

Para entender la concepción básica de un motor síncrono, se debe comprender que la corriente de campo (IF) (ver figura 13) del motor origina un campo magnético en estado estacionario (BR). Se aplica un conjunto de voltajes trifásicos al estator de la máquina, lo cual produce un flujo de corriente trifásica en los devanados, mientras un conjunto de corrientes trifásicas en el inducido de un devanado produce un campo magnético giratorio uniforme (BS). Consiguientemente, existen dos áreas magnéticas en la máquina y el campo del rotor se alinea con el campo del estator y, al igual que dos imanes, se alineará si se colocan uno al lado del otro. De esta forma, el campo magnético del estator gira, mientras que el campo magnético del rotor tratará asiduamente de igualarlo. Por lo tanto, cuanto más grande sea el ángulo de los dos campos magnéticos, mayor será el par en el rotor de la máquina (Anónimo, 2019).

Figura 13. *Motor síncrono dos polos*



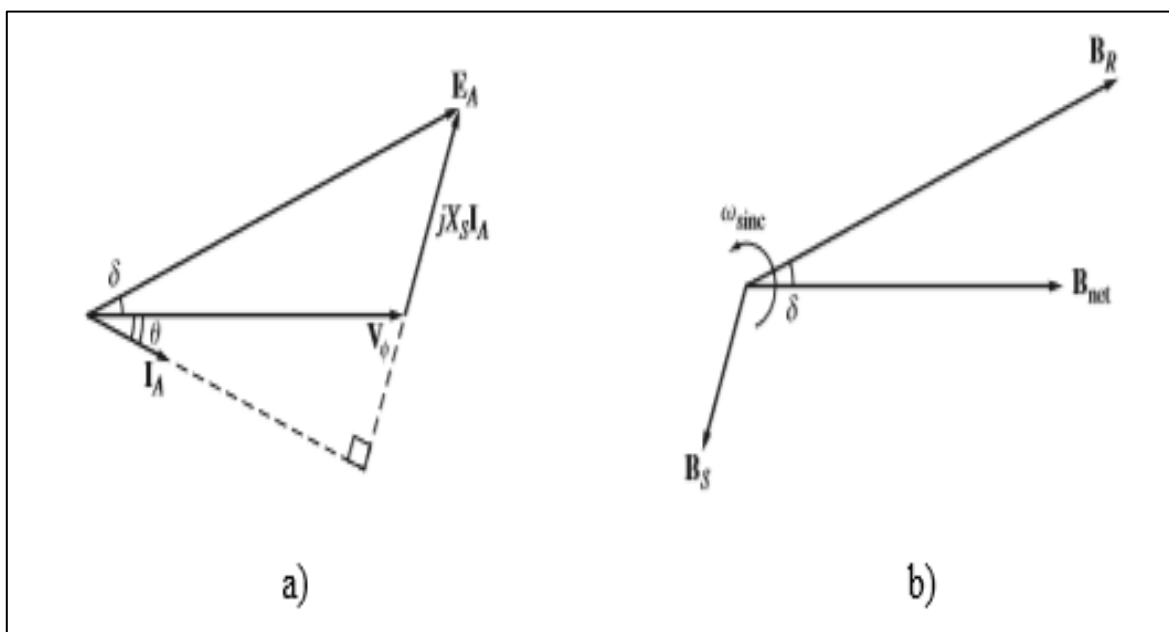
Fuente: Chapman, 2012

b) Motores síncronos desde la perspectiva del campo magnético

Para comenzar a entender la operación de un motor síncrono, es preciso dar otra mirada a un generador síncrono conectado a un bus infinito. El generador tiene un motor primario que hace girar el eje y causa que éste rote. La dirección del par aplicado t_{ap} del motor primario sigue la dirección del movimiento porque el motor primario hace que el generador gire (Chapman, 2012).

En la figura 13, se muestra un diagrama fasorial de un generador que opera con una corriente de campo grande.

Figura 14. Diagrama fasorial



Fuente: Chapman, 2012

Se puede notar que, a partir de ese campo magnético, el par inducido en esta máquina es, en relación con las manecillas del reloj, en sentido opuesto a la rotación. En otras palabras, el par inducido en el generador es un par contrario en sentido contrario a la rotación provocada por el par externo aplicado. De la misma manera, Chapman (2012) afirma que:

Los motores síncronos suministran potencia a cargas que son básicamente dispositivos de velocidad constante. Es normal que estén conectados a sistemas de potencia mucho más grandes que los motores individuales, por lo que los sistemas de potencia parecen buses infinitos de motores. Esto quiere decir que el voltaje en los terminales y la frecuencia del sistema serán constantes sin importar la cantidad de potencia que consuma el motor. La velocidad de rotación del motor está asociada a la tasa de rotación de los campos magnéticos, y la tasa de rotación de los campos magnéticos aplicados está asociada a la frecuencia eléctrica aplicada, por lo que la velocidad del motor síncrono será constante sin que importe la carga (p.208).

Los motores síncronos son utilizados en sistemas de trabajo y velocidad constante. En ese sentido, consumen energía en relación con la potencia y frecuencia destinadas a transformarse en energía mecánica por la relación magnética generada entre el estator y el rotor.

Comportamiento en falla: cuando se establece la falla, la máquina sigue girando por inercia y, como el flujo del rotor no desaparece instantáneamente, se genera un voltaje en el estator y, por consiguiente, una corriente que alimenta la falla hasta que el flujo del motor se anule. La corriente se anula en cuatro ciclos.

Ésta depende del voltaje, de la potencia, de la reactancia del motor y de la impedancia entre el motor y el punto de falla. La impedancia del motor de inducción al instante del cortocircuito coincide con la impedancia a rotor bloqueado. En consecuencia, la corriente inicial simétrica de cortocircuito del motor es aproximadamente igual a la corriente de arranque a pleno voltaje (Chapman, 2012).

c) Motor de inducción

Los motores de inducción poseen un estator similar a un motor síncrono, pero su estructura tiene diferencias. Existen dos tipos de rotores de inducción:

- c) Jaula de ardilla: está formada por una serie de placas laminadas, unidas y cortocircuitadas.
- d) Rotor devanado: posee un conjunto de devanados trifásicos que son imágenes del estator y, generalmente, su conexión es en Y.

El motor con rotor devanado está cortocircuitado por medio de escobillas en un extremo del eje, esto permite realizar cambios por medio de resistencias en su par-velocidad. Este tipo de motor exige mayor mantenimiento, siendo menos usado en la industria por costo operativo.

El funcionamiento de estos motores es similar. El voltaje inducido en el rotor es producido por el comportamiento magnético que se genera en el estator. Dicho comportamiento se entiende en tres dimensiones por el comportamiento del flujo inducido del voltaje, lo cual da como resultado la generación de corriente hacia afuera de las barras superiores y hacia adentro de las inferiores. Por lo tanto, el flujo de corriente genera un campo magnético en el rotor.

Comportamiento en falla: cuando se establece la falla, la máquina sigue girando por inercia y, debido a que el flujo del rotor no desaparece instantáneamente, se genera un voltaje en el estator y, por consiguiente, una corriente que alimenta la falla. Lo anterior hasta que el flujo del motor se anule. La corriente se anula en cuatro ciclos: el voltaje, el caballaje, la reactancia del motor y la impedancia entre el motor y el punto de falla (Chapman, 2012).

La impedancia del motor de inducción al instante del cortocircuito coincide con la impedancia a rotor bloqueado. En consecuencia, la corriente inicial simétrica de cortocircuito del motor es aproximadamente igual a la corriente de arranque a pleno voltaje (Chapman, 2012).

2.5. Método de kVA equivalentes

Este método se basa en calcular los kVA semejantes del componente del circuito. Luego, la etapa sucesiva permite el valor de los kVA de cortocircuito (kVA_{cc}) en cada sitio del sistema, estableciéndolo en forma consecutiva. La conveniente corriente de cortocircuito

simétrica I_{cc} , en cada punto, se consigue dividiendo los kVA_{cc} del lugar por el voltaje de línea que le corresponde:

$$I_{cc} = \frac{kVA_{cc}}{\sqrt{3} \cdot kV}$$

La magnitud de corriente que se puede entregar durante un cortocircuito en sus terminales, en un dispositivo activo, como un generador, está directamente relacionada con los kVA equivalentes del dispositivo. La magnitud de corriente que pasa través de un elemento pasivo, durante un cortocircuito, está directamente relacionada con los kVA equivalentes de la impedancia.

- Valores de corriente, de impedancia y de kVA para sistemas monofásicos y trifásicos

Tanto en sistemas monofásicos como en sistemas trifásicos, como para los elementos de cada sistema, valen las siguientes relaciones.

$$I_{cc} = \frac{kVA}{kV} \quad I = \frac{kVA_{cc}}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad KVA = \frac{kV^2 \cdot 1000}{Z}$$

- Si la corriente fluye en un circuito eléctrico, también los kVA fluyen en el circuito.
- Durante el funcionamiento normal del circuito, los kVA fluyen desde los generadores a las cargas a través de transformadores, cables y reactores.
- Por cada impedancia (Z) de un elemento del circuito, en condiciones de cortocircuito, hay unos kVA equivalentes del elemento, los cuales varían en forma inversa a Z .

- Entonces, así como las impedancias de los elementos de un circuito limitan el paso de corriente, los kVA equivalentes de los transformadores, cables y reactores del circuito, limitarán a los kVA que podrán fluir a través de estos elementos.

Por consiguiente, se comprende que el flujo de energía de un sistema eléctrico se puede calcular en kVA bajo una condición de cortocircuito, lo cual da como resultado kVA equivalentes en un sistema. Se pueden calcular los kVA equivalentes en sistemas de distribución, donde se contemplan generadores, motores, conductores eléctricos, transformadores o reactores. Al examinar la expresión:

$$kVA = \frac{kV^2 \cdot 1000}{Z}$$

Si la impedancia de un elemento, en condiciones de cortocircuito, aumenta (elementos conectados en serie), los kVA equivalentes del elemento disminuyen (es decir, su potencia pasante disminuye). Mientras tanto, si la impedancia del elemento, en condiciones de cortocircuito, disminuye (elementos conectados en paralelo), los kVA equivalentes del elemento aumentan (es decir, su potencia pasante aumenta).

- e) Los kVA equivalentes de elementos conectados en serie se comportan como las impedancias conectadas en paralelo de estos elementos.
- f) Los kVA equivalentes de elementos conectados en paralelo se comportan como las impedancias conectadas en serie de esos elementos.

Datos por considerar:

- 1 hp = 1 kVA (aproximación válida para el estudio).
- La reactancia subtransitoria p.u. de motores mayores de 50 hp = 0.17

- La reactancia subtransitoria p.u. de motores menores de 50 hp = 0.20
- Los equipos resistivos y luminarias no aportan en caso de corto.

Contribución de cortocircuito motor:

$$kVA = \frac{HP}{RS}$$

Donde:

- HP: potencia del motor
- kVA: contribución al cortocircuito
- RS: reactancia subtransitoria en p.u.

Contribución de cortocircuito generador:

$$KVA = \frac{HP}{RS}$$

Donde:

- HP: potencia del generador
- kVA: contribución al cortocircuito
- RS: reactancia subtransitoria en p.u.

Limitantes de cortocircuito por parte de conductor:

$$kVA = \frac{1000 \cdot (kV)^2}{Z}$$

Donde:

- kVA: potencia limitante del conductor
- kV: tensión que pasa por el conductor
- Z: impedancia del conductor

Cálculo de la impedancia de un conductor:

$$Z = \frac{ft \cdot (Z\Omega/ft)}{1000}$$

Donde:

- Z: impedancia del conductor
- Ft: distancia del conductor en pies
- ZΩ/ft: variable obtenida de la tabla 9 del NEC (anexo N°1)

Limitantes de cortocircuito por parte de transformador:

$$kVA = \frac{HP}{RS}$$

Donde:

- HP: potencia del motor
- kVA: contribución al cortocircuito
- RS: reactancia subtransitoria en p.u.

Limitantes de cortocircuito por parte de transformador:

$$kVA's = \frac{kVA}{Z}$$

Donde:

- kVA's: potencia limitante por el transformador
- kVA: capacidad en KVA del transformador
- Z: impedancia del transformador en p.u.

Corriente de cortocircuito simétrica en la barra (bus):

$$I_{ccs} = \frac{kVA's}{\sqrt{3} \cdot kV}$$

Donde:

- I_{ccs}: corriente de cortocircuito simétrica en la barra
- kVA's: potencia de cortocircuito en la barra
- kV: tensión en la barra

2.6. Transformadores

“Un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético” (Tolosa, s.f., p.4).

Estos equipos poseen bobinas hechas de alambre de cobre o aluminio, rodeando un núcleo de hierro ferromagnético fabricado con láminas, según sea su característica. Estarán conectados en delta o estrella según sea la aplicación necesaria. Por lo general, las cargas son conectadas en estrella con el fin de tener un punto en común del sistema puesto a tierra y el neutro que se forma en la conexión estrella.

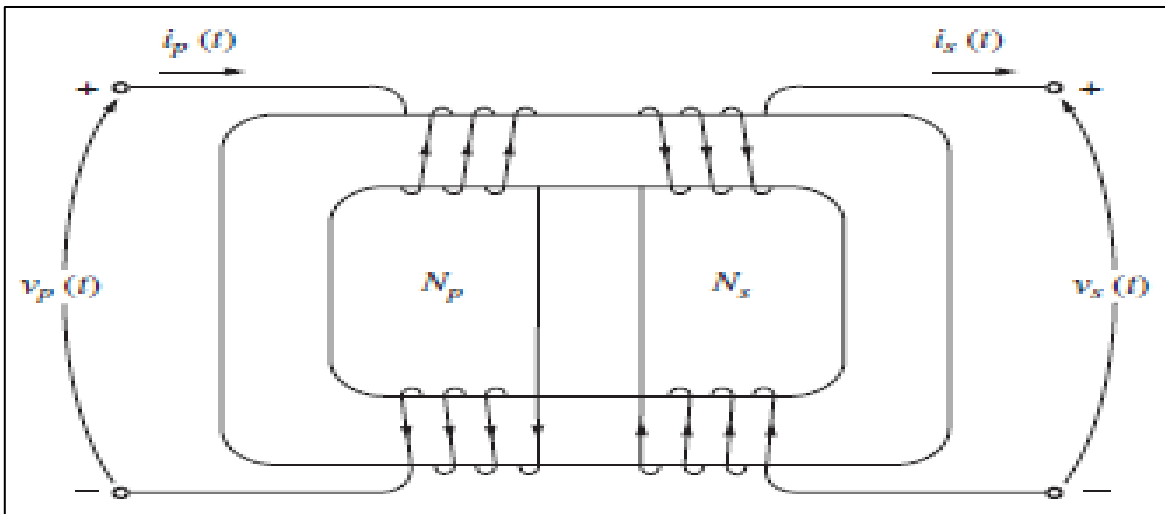
Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se enlaza al origen de potencia, y el devanado que se conecta a la carga se llaman devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador, se llama devanado terciario (Tolosa, s.f., p.4)

2.6.1 Tipos y construcción de transformadores

El objetivo primordial de un transformador es regular las tensiones en sus salidas. Los transformadores también se utilizan para otros propósitos, pero se mencionarán las características de los transformadores de potencia (Campos, 2019).

Al mismo tiempo, los transformadores de potencia se construyen de dos maneras. Un tipo de transformador consta de una pieza de acero. Esta clase de construcción se conoce como transformador tipo núcleo (figura 15), rectangular, laminada y con los devanados enrollados sobre dos de los lados del rectángulo (Campos, 2019).

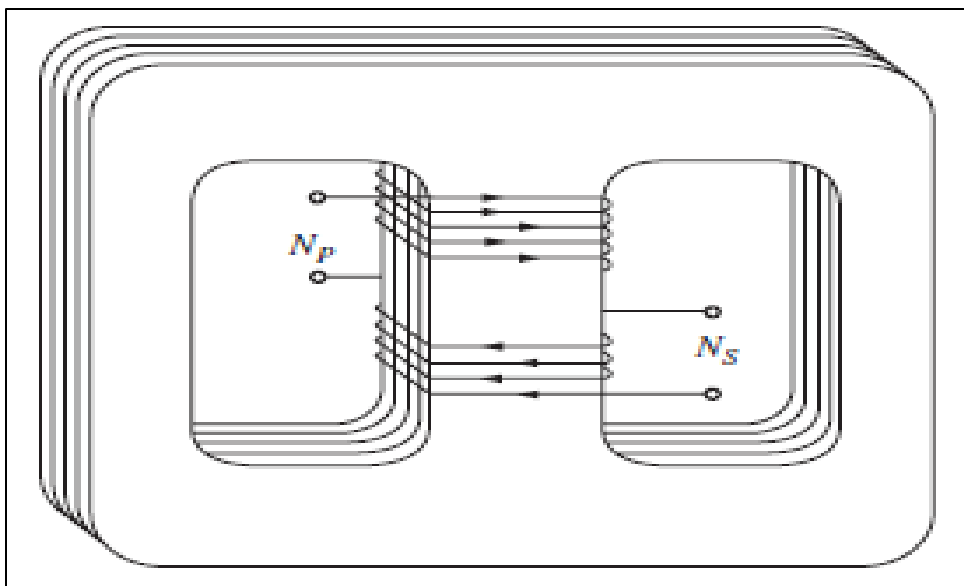
Figura 15. Transformador tipo núcleo



Fuente: Campos, 2019

La segunda construcción (Figura 16) consta de un núcleo laminado de tres columnas donde la bobina está rodeando la columna central. Esta metodología de bobinado se llama tipo acorazado.

Figura 16. Transformador tipo acorazado



Fuente: Chapman, 2019

En los dos casos, el núcleo es construido con láminas ferromagnéticas aisladas eléctricamente unas de otras para minimizar las corrientes parásitas. En un transformador, los devanados primario y secundario están envueltos uno sobre el otro con un devanado de bajo voltaje en la parte cercana al núcleo. Esta disposición cumple dos objetivos:

1. Simplifica el problema de aislar el devanado de alta tensión desde el núcleo.
2. Produce un menor flujo disperso que el que se presentaría en caso de colocar los dos devanados separados del núcleo (Chapman, 2019).

Los transformadores de potencia son llamados de distinta manera. Según su aplicación en el sistema de potencia, son equipos con las mismas características y solo varía su nombre dependiendo de la ubicación. Un transformador conectado a la salida de un generador y que se usa para aumentar su voltaje a niveles de transmisión a más de 110 kV, y se le llama transformador de unidad (Chapman, 2019).

Por otra parte, a un transformador que se encuentra al final de la línea de transmisión, que baja el voltaje de niveles de transmisión a niveles de distribución (de 2.3 a 34.5 kV), se le llama transformador de subestación. Por último, al transformador que toma el voltaje de distribución y lo disminuye hasta el voltaje final al que se utiliza la potencia (110, 208, 220 V, etc.) se le llama transformador de distribución. Ya en niveles bajos, se encuentran los transformadores de potencial, los cuales son utilizados para obtener tensiones bajas para obtener muestreos proporcionales a la tensión alta con el fin de manejar tensiones controlados. De la misma manera, sucede con la corriente, la cual es proporcional a la corriente en alta tensión (Chapman, 2019).

2.6.2 Carga demandada en un transformador

Los transformadores, al igual que cualquier equipo eléctrico, tienen una vida útil relacionada con los materiales aislantes poseídos y el trabajo al que son sometidos. Un transformador expuesto a una carga prolongada mayor a la capacidad a la que fue diseñado verá seriamente reducida la vida útil a largo plazo. Inclusive, si la carga excedida es en forma continua, puede sufrir daños mecánicos en su bobinado casi de manera inmediata, lo cual da como resultado un agotamiento en el aislamiento. Por ende, se expone a una falla de fase a fase o de fase a tierra. En forma contraria, un transformador que trabaja con cargas que no exceden su capacidad nominal, por lo general, tiene mayor vida útil, ya que no sufre calentamientos, ni se expone a vibraciones mecánicas que puedan provocar daños en el material aislante como lo es el barniz.

Para un diseño adecuado de un transformador, se deben tomar en cuenta aspectos importantes para mantener el transformador en condiciones seguras de trabajo, así como calcular las cargas que dependan de él en forma efectiva. Algunos parámetros que se deben tomar en cuenta son los siguientes: potencia demandada, condiciones ambientales, temperatura ambiente, humedad relativa y tipo de refrigeración.

Las cargas se deben contemplar sabiendo que, a mayor capacidad del transformador, mayor complejidad tendrá su sistema de refrigeración. En algunos casos, a un transformador, se le puede elevar su carga, por ejemplo, un transformador de 12 MVA se puede elevar a 15 MVA colocando ventiladores en su sistema de disipación de calor. Para ello, se deben conocer las características del equipo y conocer si su diseño lo permite, pues los materiales aislantes, además de soportar temperaturas, deben soportar las corrientes que circulan en él.

Los transformadores que permitan elevar sus cargas son de gran importancia en las industrias que crecen con el tiempo, pero se debe contemplar que una elevación en las cargas conlleva a corrientes de cortocircuitos mayores en los equipos aguas abajo. Por ende, se debe realizar un estudio en las protecciones de estos equipos. Asimismo, se debe saber que los transformadores, al igual que cualquier otro equipo eléctrico, se deben proteger ante sobrecargas y corrientes de cortocircuito, aunque algunos posean protecciones internas. Por otra parte, el definir el régimen de carga normalizado de un transformador resultará fundamental para poder determinar los efectos que puede provocar sobre un equipo trabajar por encima de su carga nominal. Al respecto, la IEC establece tres regímenes de carga:

1. Ciclo de carga normal: en este punto, el régimen de carga es el previsto. En la hora de demanda, sube su carga, mientras, en las horas valle, baja, reduciendo así los daños al material aislante.
2. Sobrecarga de emergencia de larga duración: se debe a cuando un equipo con daño está en el circuito por meses, provocando una sobrecarga cada vez que entra en funcionamiento.
3. Sobrecarga de emergencia de corta duración: son sobrecargas ocasionadas por daños en un equipo por tiempos menores a treinta minutos.

Por su parte, Romero (2014) menciona que la guía de carga IEEE establece cuatro tipos distintos de régimen de carga:

- a) Ciclo de carga normal: el régimen de carga es el previsto. En la hora de demanda, sube su carga, mientras, en las horas valle, baja, reduciendo así los daños al material aislante. Sin embargo, las sobrecargas en las que se produce envejecimiento no estarían incluidas en este tipo.

- b) Sobrecarga programada: es igual al ciclo de carga normal definido anteriormente con la diferencia de que, en este caso, se produce envejecimiento en el aislamiento.
- c) Sobrecarga de emergencia de larga duración: son sobrecargas ocasionadas por daños en un equipo por tiempos menores a treinta minutos (p.19).

Un transformador puede soportar cambios en las cargas, siempre y cuando las protecciones encargadas de estos cambios estén debidamente programadas, así como los equipos auxiliares que puedan intervenir para controlar estas cargas demandadas sin sobrepasar el 25 % de la capacidad del transformador por un tiempo no mayor a treinta minutos, bajo sistemas debidamente programados y controlados.

2.6.3. Mantenimiento de transformadores

El sostenimiento de los transformadores desempeña un rol necesario para el trabajo de una subestación eléctrica o empresas con instalaciones de gran magnitud y que dependen del buen funcionamiento de estos equipos; al ser aparatos eléctricos que sistematizan el voltaje de una corriente alterna viabilizando que la potencia se mantenga a niveles estables, es necesario ejecutar mantenimientos preventivos y predictivos, ya que llegar a un mantenimiento correctivo significa una falla dada en operación, por tanto, implica un paro en las operaciones. Los principales análisis que se deben realizar son los siguientes:

- a) Análisis dieléctrico: en los transformadores que contienen aceite, es importante realizar un análisis en el aceite dieléctrico que contiene. Para ello, se debe tomar una muestra con el fin de verificar los siguientes datos: rigidez dieléctrica, contenido de humedad normal, número de neutralización y gravedad específica.
- b) Tensión interfacial: con este estudio, se da a conocer el estado del aislamiento y asegurar que no se dará un daño en el equipo y se encuentra en operaciones

confiables. Si se encuentra una alteración en el aceite dieléctrico, se podrá realizar un cronograma para corregir el daño.

- c) Análisis cromatográfico: con este análisis, se encuentra la composición química del aceite dieléctrico, así como las sustancias que lo contaminan. Cabe mencionar que también se detectan niveles de contaminación por gases combustibles como: hidrógeno, monóxido de carbono, metano, etileno, acetileno, y otros como dióxido de carbono; conociendo estos niveles de alteración, se puede intervenir el equipo antes de que se provoque un daño.
- d) Análisis de PCB'S: realizar este estudio para verificar si contiene iones de cloruro. Por ende, la presencia de PCB'S es para beneficio humano y ambiental, ya que este contaminante es perjudicial para la salud y el ambiente. Por lo tanto, se debe tratar con una adecuada manipulación.
- e) Análisis del contenido de furanos: al igual que el análisis del aceite para verificar la presencia de PCB'S, el análisis de furanos (compuesto orgánico heterocíclico aromático de cinco miembros con un átomo de oxígeno) es de bienestar para la salud humana, además de garantizar la seguridad de los equipos.

Este estudio se debe realizar en transformadores con aceite mineral con más de 12 años en operación debido a su alto grado de inflamabilidad.

- f) Prueba de aislamiento: esta prueba es una de las más importantes porque indica la capacidad que tiene el transformador para estar en operación en forma continua. Los análisis incluidos son los siguientes: medición de la impedancia en cortocircuito, relación de transformación, corriente de magnetización, resistencia del devanado, resistencia dinámica del devanado en los *tap*, factor de disipación y capacitancia.

- g) Pruebas de termografía: este estudio es sencillo y de gran aporte para detectar calentamientos en bornes y la estructura del transformador. Se debe llenar una tabla con los datos recolectados para generar una estadística y, de esta manera, observar el comportamiento del equipo con respecto al tiempo.

2.7. Analizadores de energía y de la calidad eléctrica Fluke 435 serie II

Por su parte, Procte (2018) menciona una serie de características de estos equipos dentro de las cuales se destacan las siguientes:

- a) Eficiencia de los inversores de potencia: mide simultáneamente la potencia de salida de CA y la entrada de CC en sistemas electrónicos de potencia con una sonda opcional de CC.
- b) Captura de datos PowerWave: captura rápidamente datos RMS y muestra medios ciclos y formas de onda para caracterizar la dinámica de los sistemas eléctricos.
- c) Calculadora de pérdida de energía: las mediciones clásicas de potencia activa y reactiva, desequilibrios y armónicos, que se cuantifican para poner de manifiesto el coste fiscal de las pérdidas de energía.
- d) Solución de problemas en tiempo real: se analizan las tendencias mediante las herramientas de cursor y *zoom*.
- e) La categoría de seguridad más alta del sector: conforme a 600 V CAT IV/1000 V CAT III para su uso en la acometida de servicio.
- f) Medición de las tres fases y el neutro: con cuatro puntas de prueba de corriente flexibles incluidas y un diseño delgado mejorado para adaptarse a los lugares más estrechos.
- g) Tendencia automática: todas las medidas se registran siempre automáticamente sin necesidad de configuración alguna entre otras características.

2.8. EasyPower

EasyPower es un *software* que posee herramientas necesarias para realizar cálculos en diseño eléctrico y de ingeniería. Dicho *software* ha logrado incorporarse en el ámbito ingenieril trayendo consigo gran cantidad de análisis, dentro de los cuales se destacan cálculos de fallas por cortocircuito, flujo de carga, coordinación de protecciones, análisis de arco eléctrico, arranques de motor, estabilidad frente a eventos transientes, armónicos, fallas a tierra y muchos otros más.

Dicho *software* basa su funcionamiento en la metodología de solución brindada por la IEC_61363 para el análisis de cortocircuito, la cual analiza los flujos de corriente que fluyen en un sistema eléctrico de potencia bajo condiciones anormales de funcionamiento. Este tipo de cálculo permite realizar estudios sistemas monofásicos, o trifásicos operativos en 50 o 60 Hz, con diferentes niveles de voltaje y que incluyan motores, generadores, cables, transformadores, reactores y demás otros componentes. Dentro de los beneficios que se pueden obtener al utilizar este *software* para la solución de estos análisis, se encuentran los siguientes:

- a) Ahorrar tiempo al obtener las corrientes de cortocircuito en todos los puntos rápidamente.
- b) Diseños más seguros y confiables de redes eléctricas al poder seleccionar de mejor manera los equipos.
- c) Generar reportes detallados, de manera rápida, en relación con los resultados de estos análisis.
- d) Tener certeza de que los resultados obtenidos están validados con normas internacionales que el *software* ya trae implícitas.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

En este apartado, la metodología empleada para el desarrollo del estudio consta de una investigación donde se explica el enfoque en el cual está orientado. Asimismo, en el alcance de la investigación, se da a conocer el propósito general, mientras las fuentes de información exponen los medios utilizados. En las variables, se muestran las dependientes y las independientes. A través de lo anterior, el sujeto de la información proporciona información sobre la recolección de datos. En ese contexto, se evidencia un resumen de la metodología empleada que permitirá el siguiente desarrollo del estudio.

3.1. Tipo de investigación

Para efectos de esta investigación, se presenta el tipo de investigación mixta, es decir, se incluyen, tanto el enfoque cuantitativo, como el cualitativo. Es importante señalar que los tipos de investigación emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo por generar conocimiento. Por lo tanto, la definición previa de investigación se les aplica por igual. Seguidamente, se definen los enfoques presentados en los estudios investigativos:

3.1.1. Cuantitativo

Al estudio en cuestión, se le otorgará un enfoque cuantitativo. Al respecto, Hernández y Mendoza (2018) afirman que, en el enfoque cuantitativo, “se pretende describir, explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos (variables)” (p.7). En este estudio, se recolectan los datos que pertenecen a cada elemento que compone el sistema eléctrico de potencia y su respectiva distribución de la planta de producción Alunasa. Éste es tomado para ser modelado, modificado y verificado por el *software* Easy Power, número de serie P2-18933-8L.

3.1.2. Cualitativo

En este punto, se muestra otro enfoque empleado en esta investigación. Al respecto, Hernández y Mendoza (2018) afirman que, en esta orientación:

Se estudian fenómenos de manera sistemática. Sin embargo, en lugar de comenzar con una teoría y luego “voltear” al mundo empírico para confirmar si ésta es apoyada por los datos y resultados, el investigador comienza el proceso examinando los hechos en sí y revisando los estudios previos. Ambas acciones se realizan de manera simultánea con el fin de generar una teoría consistente con lo cual está observando que ocurre (p.7).

Por lo tanto, los estudios cualitativos dan como resultado la elección del equipo de protección para el sistema de potencia eléctrica. Este proyecto se lleva a cabo mediante una investigación mixta. En ese sentido, es importante enfatizar que el modelo con el cual se desarrolla este proyecto está determinado por las normas citadas en capítulos anteriores. Posteriormente, se expone que la indagación procede de diagramas, manuales de estudios de corto circuito y coordinación de protecciones. Por consiguiente, se realiza el levantamiento total del sistema eléctrico para las actualizaciones correspondientes por medio de visitas de campo. Todo lo anterior se representa en tabulaciones en el capítulo 4.

Consecutivamente, al estudiar las medidas como producto del modelado del sistema eléctrico en el *software*, se elige el tipo de protecciones eléctricas. A esto, se añade la solicitud de los representantes de mantenimiento e ingeniería de la empresa Alunasa para utilizar protecciones Schneider modelo SF1 con el propósito de cumplir con los estándares exigidos por las normas y los estándares en los cuales se fundamenta este proyecto. En relación con la información anterior, se elaboran documentos según lo contemplado en los procedimientos de referencia.

3.2. Alcance de la investigación

El alcance del estudio muestra el resultado de lo que se obtendrá por medio de ella y condiciona el método perseguido para obtener resultados. Por ende, es necesario identificar correctamente los alcances para después determinar el que más se ajusta al tema investigado, lo cual es necesario antes de empezar a desarrollar la investigación. Por lo tanto, la investigación tiene propósito mostrar una propuesta del estado actual de las protecciones en la empresa Alunasa y la importancia de actualizar el sistema de potencia en MT y baja tensión. Para este estudio, se está implementado la técnica de recolección de datos.

A continuación, se definen y se establecen los alcances que posee este proyecto de investigación:

3.2.1. Exploratorio

Al respecto, Hernández y Mendoza (2018) aducen que este tipo de estudios “investigan fenómenos o problemas poco estudiados, de los cuales se tienen dudas o no se han abordado en el contexto” (p.105). Es así como, en este contexto, se brinda un panorama más real del problema que se intenta estudiar y conocer.

En el alcance exploratorio, se desea adquirir información sobre la coordinación de protecciones con el fin de elegir la protección adecuada, modelarla en el *software* EasyPower y analizar el funcionamiento con respecto al comportamiento de las corrientes de cortocircuito para otorgar mayor seguridad al sistema de potencia ante una eventual falla eléctrica.

3.2.2. Descriptiva

Desde el punto de vista de Hernández y Mendoza (2018), la investigación descriptiva “tiene como finalidad especificar propiedades y características de conceptos, fenómenos,

variables o hechos en un contexto determinado” (p.105). En consecuencia, el estudio descriptivo orienta una serie de particularidades de la población estudiada. En el alcance descriptivo, se busca conocer la magnitud de corriente de falla, es decir, la corriente de cortocircuito trifásica, la cual sería la mayor corriente de falla. Ello con el propósito de seleccionar el disyuntor y relé adecuados para despajar la falla, dando protección a los equipos y asegurando que soportarán, en su estructura, un evento de falla eléctrica.

3.2.3. Explicativa

En algunos estudios, se emplea el tipo explicativo por causa del requerimiento de responder al problema detectado. Considerando lo anterior, Hernández y Mendoza (2018) “establecen relaciones de causalidad entre conceptos, variables, hechos o fenómenos en un contexto concreto” (p.105). En este punto, se explican las causas que originaron la situación analizada.

En lo referente a este estudio, el tipo más definitorio es el explicativo, ya que sus objetivos buscan no solo describir la aplicación de conceptos en relación con el hecho de cómo se van a interrelacionar, sino que se enfoca en responder, a través de la interpretación de los datos, resultados y distintos estudios de la capacitación del personal. En el alcance explicativo, se mencionan las fallas eléctricas que se pueden presentar en distintas situaciones asociadas con fallas eléctricas de los sistemas de potencia de mediana tensión.

3.4. Fuentes de información

En relación con las fuentes de información, se pueden mencionar las primarias y las secundarias, las cuales se utilizarán en la búsqueda de información para dar credibilidad al trabajo. Según Campos (2017), “una fuente de información puede ser cualquier cosa: desde un conjunto de estrellas, hasta una pila de periódicos, desde un determinado grupo de

personas, hasta una ciudad maya, desde muchos libros, hasta un solo libro” (p.53). En las fuentes de información, los investigadores deben ser cuidadosos al recolectar la información, pues deben tener claridad con el fin de lograr la confianza de los sujetos.

3.4.1. Fuentes de información primaria

Dentro de las fuentes primarias, se incluye toda aquella información recabada directamente del *software* EasyPower, número de serie P2-18933-8L, el cual generará información que luego será procesada y analizada con el fin de enriquecer el estudio. En ese sentido, Hernández y Mendoza (2018) afirman que, en este punto, “proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes” (p.72).

Las fuentes primarias del estudio están representadas por una herramienta específica que sirve para ejemplificar el modelado del sistema eléctrico con el objetivo de simular las curvas de disparo y verificar su eficacia en el funcionamiento. Dichas fuentes son apropiadas para lograr cumplir los objetivos específicos de la investigación. En este caso, las fuentes primarias a las que se hace mención son los instrumentos aplicados en el *software* EasyPower, número de serie P2-18933-8L.

3.4.2. Fuentes de información secundaria

Las fuentes secundarias, para efectos de este estudio, son las siguientes: revisión de trabajos finales de graduación relacionados con el tema, libros, artículos de revistas, políticas, leyes, reglamentos, páginas y documentos electrónicos, y estadísticas, entre otras. Según Maranto y González (2015), son “las que ya han procesado información de una fuente primaria. El proceso de esta información se pudo dar por una interpretación, un análisis, así como la extracción y reorganización de la información de la fuente primaria” (p. 3). Para efectos de este

estudio, en lo relacionado con las fuentes secundarias, se tomaron en cuenta: libros (referentes al tema en estudio), tesis doctorales nacionales e internacionales de universidades, así como artículos de revistas académicas, etc.

3.4.3 Variables de análisis

Se comprende que una categoría o variable es aquello que permite obtener información. De esta manera, la presente investigación se sustenta en las cuatro variables que se desprendieron de los objetivos específicos, dichas variables son:

- Levantamiento de cargas.
- Actualización de cargas en los transformadores.
- Actualización de diagrama unifilar.
- Estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones.

Al realizar un estudio de cortocircuito para poder coordinar las protecciones del diseño de propuesta. Considerando lo mencionado, Hernández y Mendoza (2018) definen *variables* como “las propiedades medidas que forman parte de las hipótesis que se pretenden describir” (p.319). Asimismo, se puede confiar en la información obtenida.

3.5. Sujeto de información

La información y el diagrama unifilar fueron facilitado por el departamento de mantenimiento de la empresa Alunasa en al año 2021 con el fin de obtener datos actualizados del diagrama. En el sistema de coordinación de protecciones, no se encontró registro de ajuste o mantenimiento y, de la misma manera, no se tiene certeza de que los sistemas de protección actuales estén debidamente coordinados.

3.6. Resumen

A continuación, se muestra en la tabla 2, un cuadro resumen con los instrumentos de medición, fuentes de información, forma de recolección de datos y forma de análisis de éstos.

Tabla 2. *Matriz metodológica*

Objetivos	Instrumento de medición	Fuentes de información	Forma de recolección de datos	Forma de análisis de datos
1	Registros digitales e impresiones de datos	-Norma IEEE 1584-2018 -Norma NFPA 70E-2018	-Documentos -Libros -Normas	-Observaciones y procedimientos de cálculo
2	-Registros digitales impresos -Formatos para observación y mediciones de campo	-Diagramas unifilares de potencia -Estudio de Intensidad de cortocircuito -Datos técnicos de los interruptores de mediana y baja tensión	Tabulación de variables como: -Niveles de tensión nominal en las barras -Potencia del sistema -Potencia del transformador -Impedancia del transformador -Intensidad de corto circuito simétrico -Tiempo de despeje de la falla de la protección	-Observaciones de campo e identificación de elementos de la red eléctrica
3	-Registros digitales generados	Software de ingeniería	Análisis de documentos generados	-Observaciones en los tiempos de apertura de las protecciones ante una falla
4	-Registros y revistas digitales	-OSHA, sección 1910.333 -Norma NFPA 70E (2018) -Norma NFPA 70B (2018) -Norma ASTM F-1506 -Norma ASTM F-1891 -Norma ASTM F-1958 -Norma ASTM F-1959 -Norma ASTM F-2178	Tabulación de variables como: -Energía incidente (cal/cm ²) en el punto -Distancia de arqueo -Distancia de las diferentes zonas de protección	-Niveles de protección requeridos en los equipos

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, 2022

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis y resultados

En este capítulo, se encuentran los datos relacionados con la coordinación de protecciones, además de los datos necesarios para la obtención de dicho cálculo, como la corriente de cortocircuito en los buses que integran el diagrama calculado.

Para la realización de la coordinación de protecciones, se utilizó el *software* EasyPower, serie P2-18933-8L, el cual pertenece a la Universidad Técnica Nacional. En éste, se realiza la estructura del diagrama unifilar para, posteriormente, introducir los datos como calibre de conductores, longitud, capacidad de las protecciones eléctricas y datos necesarios para la obtención de los resultados finales de la C.C.

En relación con este procedimiento, el *software* realiza el cálculo de la corriente de falla trifásica y muestra la curva de daño de los equipos. Bajo este cálculo, muestra los datos necesarios para realizar el cálculo y ajustes de la curva de disparo de los equipos con los tiempos establecidos en las normas ANSI/IEEE. A partir de ello, se obtendrán las TCC y se mostrarán las curvas de disparo que se deben implementar en los equipos para proteger y evitar el daño en las máquinas eléctricas.

Las protecciones propuestas y utilizadas en la simulación de EasyPower corresponden al modelo: interruptor de potencia, tipo SF1 de 630 A, marca Schneider: De esta manera, se menciona una serie de características de dicho interruptor:

- a) Interruptor de potencia tipo SF1 de 630 A.
- b) Mecanismo de operación del interruptor tipo motorizado, secuencia de operación 0-0.3 s.
- c) Cantidad de operaciones 10000.
- d) Juego de transformadores de corriente 600-600:5-5.

- e) El panel de distribución necesario para la colocación y puesta en marcha de los interruptores SF1: panel de distribución en mediana tensión autosoportado SM6, marca Schneider Electric, construido y probado de acuerdo con las normas IEC vigentes y adecuado para la operación de tres fases.

Éstas determinan las siguientes características:

- a) Altura de operación menor o igual a 1000 m.s.n.m.
- b) Tensión nominal de 36 kV.
- c) Tensión nominal de servicio de 34.5 kV.
- d) Nivel máximo de impulso de 170 kV BIL.
- e) Frecuencia de 60 Hz.
- f) Capacidad de barras de 630 A
- g) Corriente admisible durante 1 seg. 16 KA.

Los sistemas de protección eléctricos son los encargados de brindar resguardo a los equipos y a las personas. A la vez, minimizan la fatiga mecánica a la que se ven expuestos los conductores eléctricos o las máquinas eléctricas, ya que interrumpen las corrientes de falla, evitando sobrecargas, calentamientos y daños mecánicos en los metales.

Asimismo, se utilizó la protección con relé de disparo con una 50-51, la cual es encargada de la protección por falla de fase o falla a tierra. Esta protección vigila el sistema constantemente para controlar la magnitud del fasor, comparándolo con un valor de corriente dado. En ese sentido, todo rango que esté fuera de la tolerancia programada provocará que la protección se abra.

Por otra parte, en la zona de baja tensión de cada transformador, se colocará una protección marca CUTLER-HAMMER-magnum SB-sbs-E25 con capacidad de ajustar la protección para programar un límite deseado a la corriente de falla y salvaguardar el equipo.

4.1.1. Levantamiento de carga eléctrica

En este proceso, se recolecta la información de los tableros del sistema de distribución en mediana tensión y baja tensión, los cuales se distribuyen en la nave industrial por medio de una subestación principal con dos transformadores de 12 MVA lado alta 138 kV, lado de baja 13.8 kV ubicados en la subestación del ICE Juanilama, Esparza. Con ello, se alimentan las subestaciones internas en la nave industrial llamadas: Cabina A, Cabina B, Cabina C y Cabina D. Dichas cabinas se distribuyen de la siguiente manera:

Cabina A:

Posee tres transformadores denominados: TRA-1, TRA-2 y TRA-3.

Características principales de los transformadores:

TRA-1: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ seco / 2 MVA

TRA-2: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.6 MVA

TRA-2: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.6 MVA

Cabina B:

Posee dos transformadores denominados: TRB-1 y TRB-2.

Características principales de los transformadores:

TRB-1: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 0.750 MVA

TRB-2: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

Cabina C:

Posee cuatro transformadores denominados: TRC-1, TRC-2, TRC-3 y TRC-4.

Características principales de los transformadores:

TRC-1: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRC-2: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRC-3: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRC-4: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

Cabina D:

Posee tres transformadores denominados: TRD-1, TRD-2 y TRD-3.

Características principales de los transformadores:

TRD-1: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRD-2: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRD-3: alta 13.8 kV, baja 0,480 kV/ sumergido en aceite / 1.250 MVA

TRD-Alumbrado: alta 0,480 kV, baja 240/120 V / seco / 0.750 MVA (este transformador es alimentado por el TRD-3 utilizado para el sistema de alumbrado y alimentación eléctrica de oficinas).

El proceso de toma de datos en el levantamiento de cargas tiene como propósito recopilar la información de las cargas de cada transformador para verificar que las cargas estén dimensionadas adecuadamente con respecto a la capacidad del transformador, evitando así un error en el diseño de propuesta. En este proceso, se realiza el diagrama unifilar de la nave industrial para, posteriormente, montar el diagrama en el *software* EasyPower, en el cual se obtendrá la corriente de cortocircuito. Dicha corriente brinda la información para iniciar el diseño y la selección de equipos con la finalidad de obtener la

coordinación de protecciones deseada, lo cual garantiza la protección de los equipos industriales.

Procedimiento:

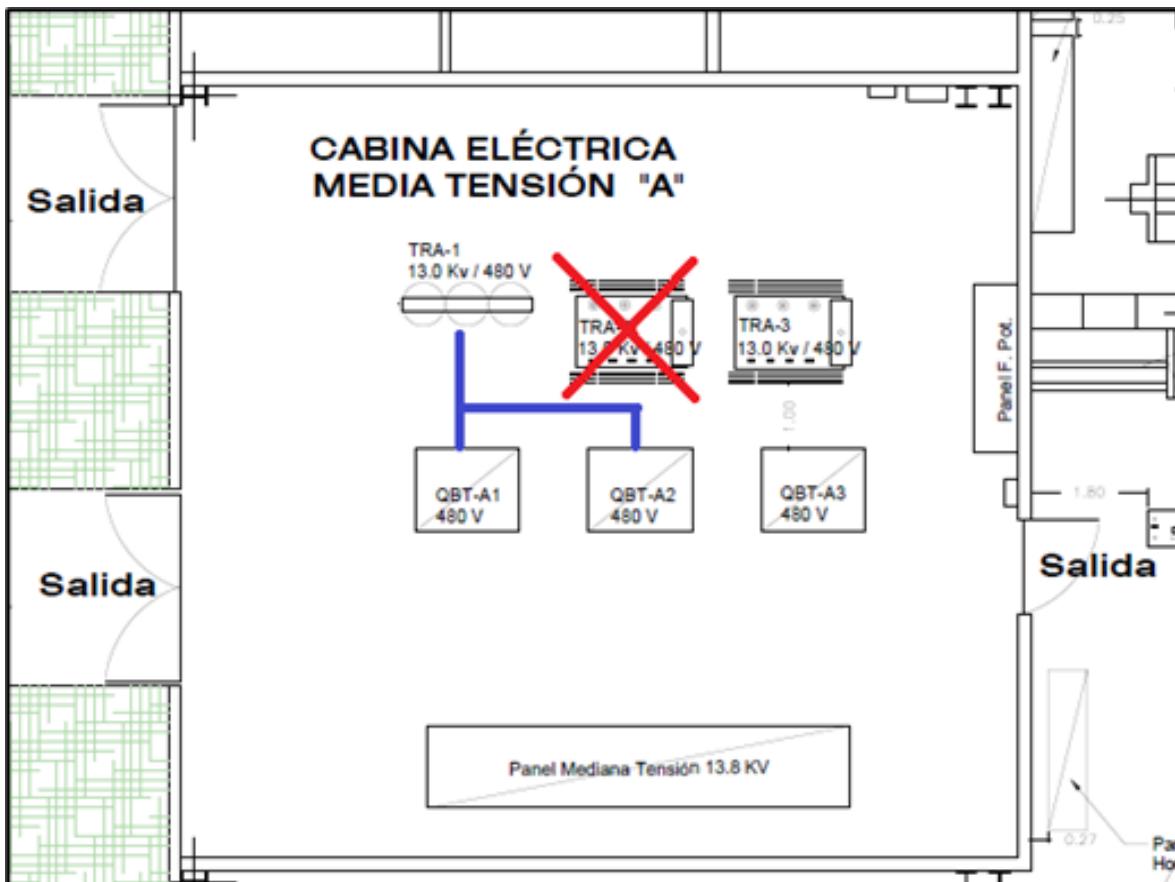
1. Verificación de planos eléctricos pertenecientes al anillo de potencia y de planos del diagrama de potencia pertenecientes a las máquinas con el fin de obtener los equipos que aportan corrientes de cortocircuito en caso de falla.
2. Comprobación de datos de placa de los motores y distancias de los conductores en los circuitos ramales.
3. Realización de una base de datos para obtener la información necesaria en el momento de realizar la propuesta de diseño.

A continuación, se muestran las cargas tomadas en el campo en el orden de las cabinas de potencia y los transformadores, lo cual se realiza a través de diversas figuras.

Cabina A

En el estudio de campo en la cabina A (ver figura 17), se encuentra un antecedente, el cual muestra que, en el año 2014, se dio una falla en el transformador que ocupaba la posición número dos, Alunasa Departamento Eléctrico (2014). En este caso, se presentó una falla en el bobinado de transformador y el disyuntor del este no realizó la apertura de manera adecuada. Como consecuencia, el interruptor sufrió una falla en su estructura, lo cual provocó una explosión interna y lo dejó fuera de servicio. Al no tener repuestos del interruptor, ni interruptor de repuesto, se procede a colocar la carga en paralelo con el transformador de la posición número uno con una capacidad de 2 MVA.

Figura 17. Cabina A de mediana tensión



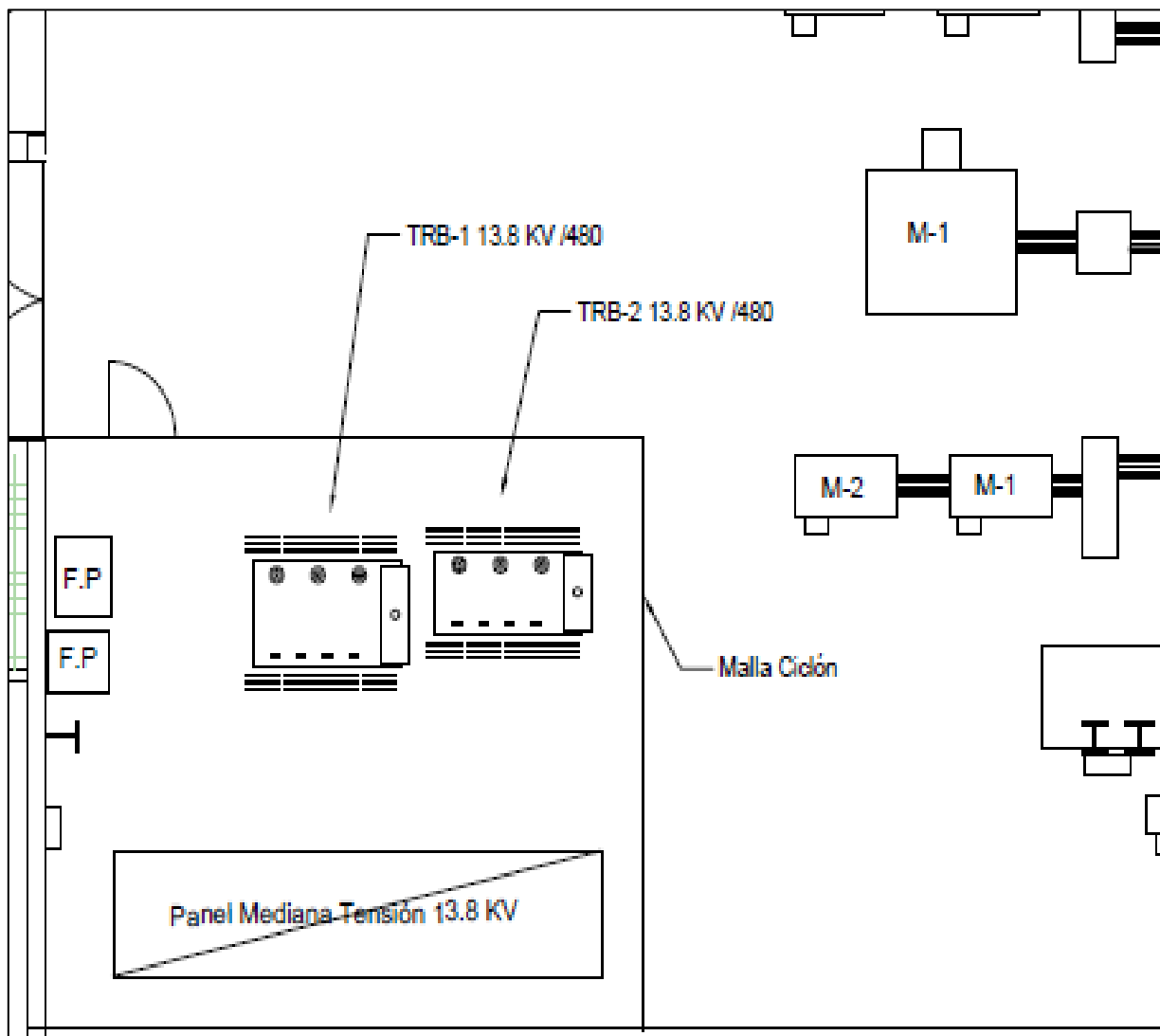
Fuente: Elaboración propia, 2022

Para el estudio realizado, se tomará en cuenta el diseño original, por lo tanto, se considerarán las cargas de manera independiente para la selección de la protección con el objetivo de mantener las cargas de manera ordenada sin recargar los demás equipos.

Cabina B

La cabina de distribución eléctrica B (ver figura 18) cuenta con dos transformadores con capacidad de 1250 kVA y 750 kVA, los cuales poseen la carga del laminador liviano.

Figura 18. Cabina B de mediana tensión

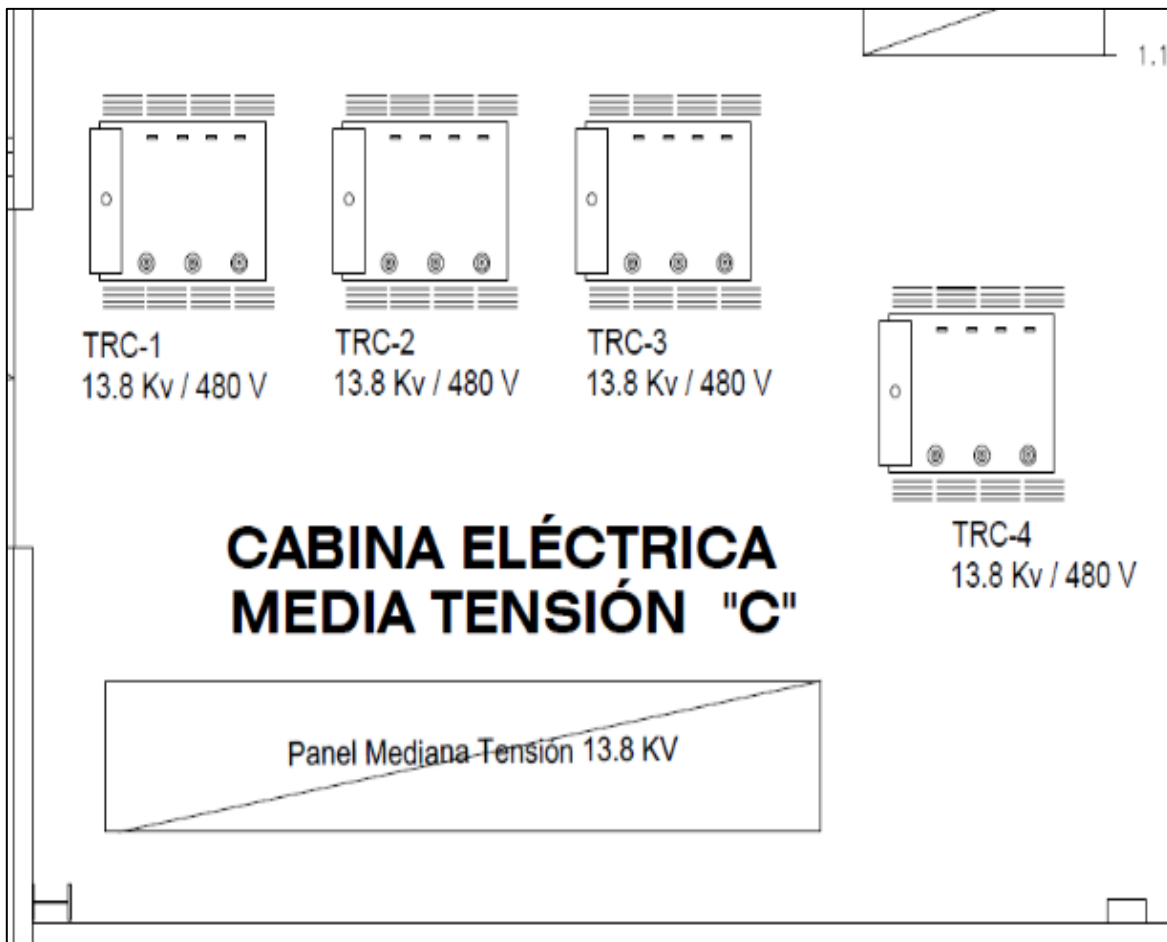


Fuente: Elaboración propia, 2022

Cabina C

La cabina de distribución eléctrica C (ver figura 19) cuenta con cuatro transformadores con capacidad de 1250 kVA cada uno. Estos equipos alimentan la carga del laminador liviano.

Figura 19. Cabina C de mediana tensión

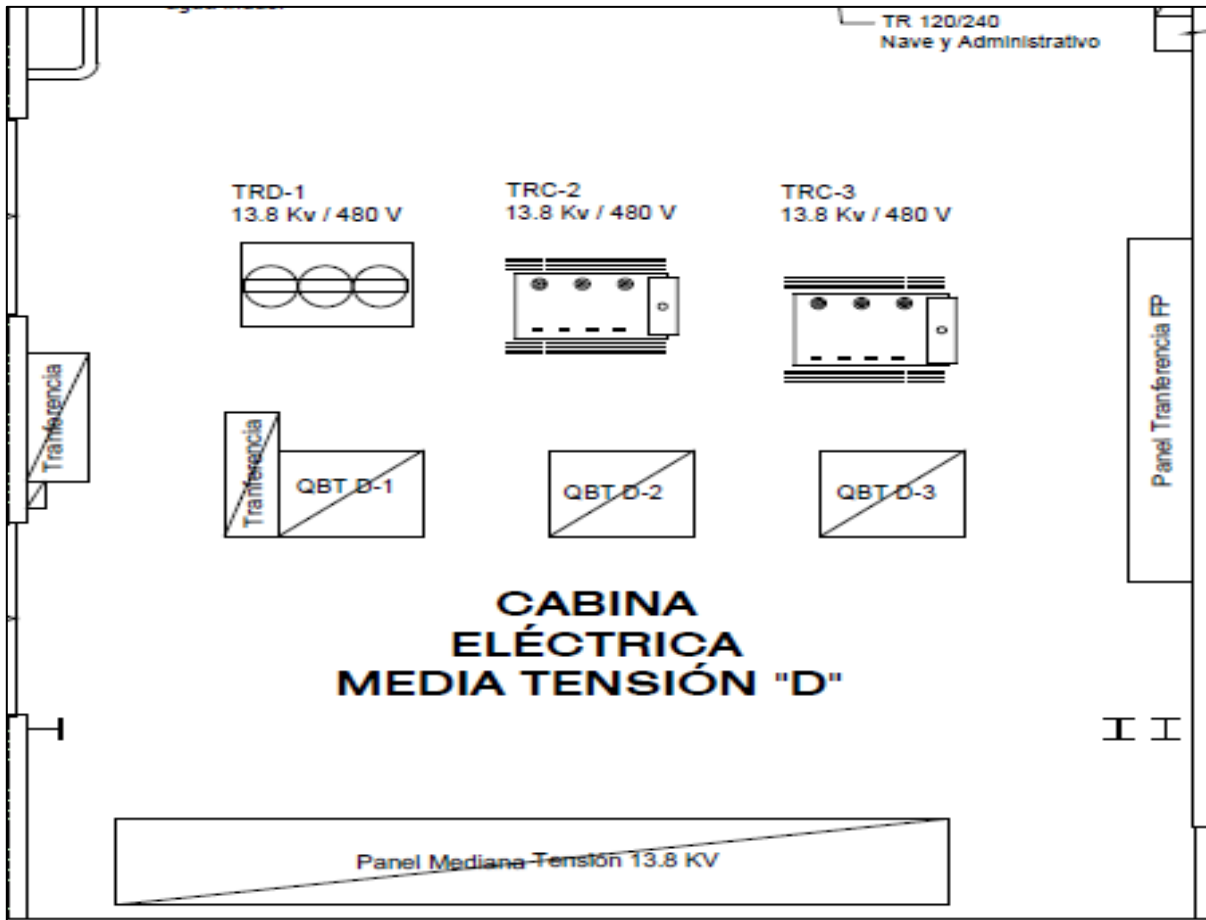


Fuente: Elaboración propia, 2022

Cabina D

La cabina de distribución eléctrica D (ver figura 20) cuenta con tres transformadores: dos de ellos con capacidad de 1250 kVA, mientras el tercer transformador con capacidad de 2000 kVA. Estos equipos alimentan la carga del sistema industrial auxiliar industrial y área de fundición.

Figura 20. Cabina D de mediana tensión



Fuente: Elaboración propia, 2022

4.1.2.1. Levantamiento de cargas y actualización por transformadores

En el proceso se realiza la actualización y verificación de las cargas de los equipos eléctricos que pertenecen a cada transformador de las cabinas A; B; C y D (ver de tablas 3 hasta tabla 14), para cumplir con el objetivo de tener los datos reales para realizar el estudio de corriente de corto circuito, con este dato se podrá tener la información mediante el software EasyPower para realizar la coordinación de las protecciones en el Bus del anillo de potencia y los transformadores.

- Detalle Cabina A

Tabla 3.Transformador TR-A1

Transformador TR-A1					Datos Conductor		
Carga	Motor Equipo	HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Horno B7-A	Alimentador de horno			480	3/0	31,98	104,93
	Resistencias	815,0	608	480	8	13,94	45,75
	Vent. Enfriamiento	17,0	13	480	10	15,17	49,78
	Vent. #1	40,0	30	480	6	14,00	45,93
	Vent. #2	40,0	30	480	6	12,06	39,58
zigzag	Alimentador zigzag			480	2/0	31,97	104,9
	Central Hidraulica	5,0	4	480	12	4,00	13,12
	Brazo pinzador	10,0	7	480	12	4,00	13,12
	Enderezado Lam.	10,0	7	480	12	6,00	19,69
	Desenrollador	10,0	7	208	12	4,00	13,12
	Desplazador	10,0	7	208	12	4,00	13,12
Intercalador a	Alimentador Inter.			480	1/0	144,13	472,9
	Jaula	3,0	2	480	12	13,93	45,69
	Bomba Vacio	10,0	7	480	10	11,62	38,12
Taller Embalaje	Alimentador Embalaje			480	1/0	236,00	774,3
	Extractores	3,5	3	480	12	43,00	141,07
	Extractores	3,5	3	480	12	51,81	170
	Extractores	3,5	3	480	12	53,12	174,3
	Sierra #1	6,0	4	480	12	66,00	216,54
	Extractor de Polvo	7,5	6	480	12	61,00	200,13
	Canteadora	3,0	2	480	12	43,37	142,3
	Cepilladora	3,5	3	480	12	53,61	175,9
	Sierra 2	5,5	4	480	10	95,82	314,4
	Trompo	4,0	3	480	12	74,98	246,01
	Sierra 3	4,5	3	480	12	87,06	285,65

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 4. Transformador TR-A2

Transformador		TR-A2			Datos Conductor		
Carga	Motor Equipo	HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Horno B7-B	<i>Alimentador de horno</i>			480	3/0	60,0	196,85
	Resistencias		608	480	8	13,9	45,75
	Vent. Enfriamiento	17,0	13	480	10	14,6	48
	Vent. #1	40,0	30	480	6	18,1	59,38
	Vent. #2	40,0	30	480	6	18,1	59,38
B6-C	<i>Alimentador B6-C</i>			480	3/0	116,4	382
	Desenrollador	75,0	56	480	1/0	8,0	26,24
	Enrollador sup.	50,0	37	480	4	9,0	29,69
	Enrollador Inf.	50,0	37	480	4	8,0	26,25
	Piloto	75,0	56	480	1/0	8,0	26,24
	Central Hidraulica	15,0	11	480	8	11,1	36,45
Cuadro Auxiliares A-1	<i>Alimentador Aux. A-1</i>			480	1/0	30,1	98,7
	Conj. Ventilador techo	48,0	36	480	10	88,9	291,83
	Conj. Ventilador piso	48,0	36	480	10	100,1	328,53
Presas FM QDP1	Sin carga						
Taller nucleos hierro	<i>Alimentador Nucleos</i>			480	6	43,2	141,7
	Torno 1	8,0	6	480	10	12,6	41,25
	Torno 2	6,0	4	480	10	11,8	38,65
	Sierra	4,0	3	480	10	11,2	36,87
Rebobinado ras	<i>Alimentador Reobin.</i>			480	6	84,0	275,6
	Rebobi. I-1	0,0	3	480	12	11,1	36,43
	Rebobi. I-2	0,0	3	480	12	11,6	37,93
	Rebobi. I-3	0,0	5	480	12	12,5	40,94
	Rebobi. I-4	0,0	3	480	12	11,0	35,94
	Rebobi. I-5	0,0	5	480	12	11,6	37,94

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 5. Transformador TR-A3

Carga	Transformador	TR-A3		Datos Conductor			
		HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Lam y Rec	<i>Alimentador Schiavi</i>			480	3/1	75,4	247,3
	Aspirador horno	8,4	6	480	3/0	5,0	16,4
	Ventilador del horno 1	11,0	8	480	10	4,1	13,4
	Ventilador del horno 2	11,0	8	480	10	8,0	26,4
	Laminador	14,0	10	480	10	5,0	16,4
	Aplicador	14,0	10	480	10	6,2	20,4
	Aspirador bordes	7,4	6	480	10	2,3	7,4
Slitter	Aspirador gases	7,4	6	480	10	2,3	7,4
	<i>Alimentador Schiavi</i>			480	6	47,1	154,6
Prensa Refilado	Piloto	10,0	7	480	10	0,6	2
	<i>Alimentador Refilado</i>			480	1/0	46,0	150,9
	Central hidraulica 1	15,0	11	480	8	5,7	18,69
	Central hidraulica 2	40,0	30	480	8	6,7	22,12
Grúas Aéreas	Central hidraulica 3	68	51	480	4	5,8	19,12
	<i>Alimentador grúas</i>			480	4	150,1	492,6
	Grúa 1	10	7	480	12	24,7	80,93
	Grúa 2	45	34	480	4	23,3	76,4
Separadora B6-B	Grúa 3	20	15	480	10	21,0	68,78
	<i>Alimentador B6-B</i>		0	480	1/0	20,0	65,7
	Aspiradr bordes 1	10	7	480	12	6,0	19,69
	Aspiradr bordes 2	10	7	480	12	4,0	13,12
	Central Hidraulica	8	6	480	12	4,0	13,12
Separadora B6-A	Conjunto Vent. Forzada	6	4	480	12	5,2	17,12
	<i>Alimentador B6-A</i>			480	1/0	60,0	196,85
	Piloto	40	30	480	4	5,0	16,4
	Central Hidraulica	6,4	5	480	12	3,9	12,93
	Aspirador bordes	10	7	480	10	7,6	24,78
	Conjunto Vent. Forzada	4	3	480	4	8,2	26,78

Fuente: Elaboración propia, 2022

- Detalle cabina B

Tabla 6. Transformador TR-B1

		Cabina distribución B					
		Transformador		TR-B1		Datos Conductor	
Carga		HP	kW	V	Calibre	Dist. (m)	Dist. (Ft)
RAMAL "C" DE B5	Alimentador B5.			480	350 Kcmil	15,0	49,21
	Ventilador de motor doblamiento	2	1	480	12 AWG	10,7	35
	Motor DC de doblamiento	31	23	220	8 AWG	15,0	49,21
	Conjunto ventiladores motor	4	3	480	10 AWG	10,7	35
	Motor DC del desenrolador	31,0	23	220	8 AWG	15,0	49,2
	Motor DC del desenrolador	31,0	23	220	8 AWG	15,0	49,2
	Motor DC de la jaula	397	296	220	8 AWG	15,0	49,21
	Ventilacion motor laminador (M)	7,3	5	480	8 AWG	15,0	49,21
	Motor DC del enrolador	37	28	220	8 AWG	15,0	49,21
	Motor DC del enrolador	37	28	220	8 AWG	15,0	49,21
	Conjunto ventilador motor enrollador	4	3	480	8 AWG	15,0	49,21

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 7. Transformador TR-B2

		Transformador TR-B2			Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Filtro Sshneider	Alimentador Auxiliares			480	350 Kcmil	13,0	42,6
	Bomba Envío #1	50,0	37	480	4 AWG	54,9	180
	Bomba Envío #2	51,0	38	480	4 AWG	55,2	181
	Placas De Filtro	15	11	480	10 AWG		200
	Extractor de telas	17	13	480	10 AWG	41,8	137
BUS - FILTRO SCHNEIDER	Compresor	30	22	480	8 AWG		98
	Aspirador de	112	84	480	1/0 AWG	39,9	131,00
	Hidraulica #1	46	34	480	6 AWG		164,00
	Central	46	34	480	6 AWG	47,9	157
	Bomba envío #1	50	37	480	4 AWG	64,9	213
	Bomba envío #2	50	37	480	4 AWG	61,9	203
	Bomba envío #3	36	27	480	1/0 AWG	59,7	196
	Ventilador	10	7	480	6 AWG	25,9	85
	Ventilador	17	13	480	8 AWG	14,0	78

Fuente: Elaboración propia, 2022

- **Detalle cabina C**

Tabla 8. Transformador TR-C1

		Transformador TR-C1			Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
	Alimentador			480	350 Kcmil	14,0	49,0
Destilador	Bomba vacio	4	3	480	12 AWG	4,9	16,0
	Conj. Motores	6,0	4	480	12 AWG	6,1	20,00
Ramal Laminador	Ventilador Motor enr.	6,0	4	220	8 AWG	18,9	62,00
	Motor desenrollador #1	268,0	200	220	6 AWG	11,9	39,00
	Motor desenrollador #2	268,0	200	220	6 AWG	11,9	39,00
	Ventilador Motor enr.	7,0	5	480	8 AWG	18,9	62,00
	Motor enrollador #1	394	294	220	6 AWG	11,9	39,00
	Motor enrollador #2	394	294	220	6 AWG	11,9	39,00
	Bordes	50	37	220	6 AWG	15,2	50,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 9. Transformador TR-C2

Transformador TR-C2					Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre	Dist. (m)	Dist. (Ft)
	<i>Alimentador</i>			480	350 Kcmil	14,0	39
Conjunto Jaula M	Motor Jaula M	863,0	644	220	1/0 AWG	22,96	50,00
	Ventilador	6,0	4	480	10 AWG	22,96	50,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 10. Transformador TR-C3

Transformador TR-C3					Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre	Dist. (m)	Dist. (Ft)
	<i>Alimentador</i>			480	350 Kcmil	14,0	39
Conjunto Jaula N	Motor Jaula N	863,0	644	220	1/0 AWG	16,8	55,00
	Ventilador	6,0	4	480	10 AWG	16,8	55,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 11. Transformador TR-C4

Transformador		TR-C4			Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre	Dist. (m)	Dist. (Ft)
	Alimentador			480	350Kcmil	9,75	32
Destilador Formeco	Conjunto de resistencias	32	24	480	8 AWG	14,02	46,00
	Conjunto de motores	7	5	480	10 AWG	7,01	23,00
Filtro Risend	Bomba de precarga	25	19	480	8 AWG	2,13	7,00
	Motor de las telas	7	5	480	10 AWG	2,13	7,00
	Central hidraulica	6	4	480	10 AWG	3,05	10,00
	Bomba de Bodyfeed	20	15	480	8 AWG	2,74	9,00
	Motor filtro Risen de placas	125	93	480	1/0 AWG	7,92	26,00
Filtro Hidromation	Bombas de filtro #1	50	37	480	4 AWG	9,14	30,00
	Bombas de filtro #2	50	37	480	4 AWG	9,75	32,00
Sistemas Auxiliares B-1	Extractor de aire	17,0	13	480	88 AWG	6,10	20,00
	Extractor de aire	17,0	13	480	8 AWG	6,10	20,00
	Soplado de lamina retorno de aire	20	15	480	8 AWG	6,10	20,00
	Centrado lamina 1	23	17	480	8 AWG	6,10	20,00
	Centrado lamina 2	23	17	480	8 AWG	6,10	20,00
	Bomba precarga 1	102	76	480	1/0 AWG	6,10	20,00
	Bomba precarga 2	102	76	480	1/0 AWG	6,10	20,00
	Extractor de humo	125	93	480	1/0 AWG	10,06	33,00
	ventilacion motores	17	13	480	8 AWG	7,31	24,00
	Central hidráulica 1	57	43	480	4 AWG	15,24	50,00
	Central hidráulica 2	57	43	480	4 AWG	15,85	52,00
	Central hidráulica 3	50	37	480	4 AWG	7,31	24,00
	Central hidráulica 4	50	37	480	4 AWG	7,92	26,00
	Lubricacion desenrollador	8,4	6	480	10 AWG	12,19	40,00
	Lubricación Reduc.	12	9	480	10 AWG	12,19	40,00
	Lubricacion reductor enrollador	8,4	6	480	10 AWG	9,14	30,00
	Bomba de envio #1	75	56	480	1/0 AWG	20,12	66,00
	Bomba de envio #2	75	56	480	1/0 AWG	20,12	66,00
Bomba de envio #3	74	55	480	1/0 AWG	20,12	66,00	

Fuente: Elaboración propia, 2022

- Detalle cabina D

Tabla 12. Transformador TR-D1

Transformador TR-D1				Datos Conductor		
Carga	HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Horno A-1						
Induccion ventilador de	15,0	11	480	10	26,8	88,00
Induccion precalentamiento	4,0	3	480	10	26,8	88,00
Induccion de combustion #1	40,0	30	480	8	270,6	888,00
Induccion de combustion #2	25,0	19	480	12	28,3	93,00
Induccion puerta principal	6,4	5	480	12	28,0	92,00
Ramal de agua Industrial						
Motor de induccion # 1	24,5	18	480	8	20,1	66,00
Motor de induccion # 2	24,5	18	480	8	21,0	69,00
Motor de induccion # 3	24,5	18	480	8	22,6	74,00
Motor de induccion # 4	73,8	55	480	6	10,7	35,00
Motor de induccion # 5	73,8	55	480	6	11,9	39,00
Motor de induccion # 6	73,8	55	480	6	13,4	44,00
Motor de induccion # 7	6,4	5	480	12	17,1	56,00
Motor de induccion # 8	6,4	5	480	12	17,1	56,00
Motor de induccion # 9	6,4	5	480	12	17,1	56,00
Motor de induccion # 10	6,4	5	480	12	20,4	67,00
Motor de induccion # 11	6,4	5	480	12	20,4	67,00
Motor de induccion # 12	6,4	5	480	12	23,2	76,00
Motor de induccion # 13	6,4	5	480	6	23,2	76,00
Ramal de Aire Comprimido						
Motor de induccion #1	125	93	480	6	3,0	10,000
Motor de induccion #2	125	93	480	6	6,1	20,000
Motor de induccion #3	125	93	480	6	7,9	26,000
Motor de induccion #4	200	149	480	2/0	3,0	10,000
Motor de induccion #5	10	7	480	12 AWG	3,0	10,000
Motor de induccion #6	4	3	480	12	21,9	72,000
Motor de induccion #7	5	4	480	8	50,0	50,000

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 13. Transformador TR-D2

		Cabina distribución D			Datos Conductor		
		Transformador TR-D2					
Carga		HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Taller Marinita	Alimentador			480	1/0	50,0	164
	Sierra Circular	3,0	2	480	8	9,8	32
	Extractor de	15,0	11	480	8	4,9	16
	Sierra cinta	2,5	2	480	10	7,0	23
	canteadora	6,6	5	480	10	8,8	29
	Motor del	2,8	2	480	10	11,0	36
Bus Horno B2-A	Alimentador			480	2/0	56,7	186
	Extractor de combustible	10,0	7	480	10	29,9	98,00
	Abanico aire de combustion	15,0	11	480	10	19,8	65,00
	Ventilador recircularcion #1	46,0	34	480	8	16,2	53,00
	Ventilador recircularcion #2	46,0	34	480	8	15,8	52,00
	Carro del horno	18,0	13	480	10	13,7	45,00
	Generador atmosferico	15	11	480	10	52,7	173,00
Bus Carter A3	Alimentador			480	3/0	89,9	295
	Central hidraulica	35,0	26	480	8	14,9	49,00
	Central hidraulica	51,0	38	480	8	14,9	49,00
	Lubricacion reductor	4,0	3	480	10	14,0	46,00
	Lubricacion reductor enrollador	4,0	3	480	10	14,0	46,00
	Motor Caster	50	37	480	8	18,3	60,00
	Bomba de enfriamiento #1	25,0	19	480	8	164,0	538,00
	Bomba de enfriamiento #2	50,0	37	480	8	164,0	538,00
	motor enrollador	25	19	480	8	14,9	49,00
Cortadora	Alimentador			480	2/0	49,1	161,00
	Grupo generador	100	75	480	1/0	14,9	49,00
	Central	25	19	480	8	18,0	59,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 14. Transformador TR-D3

		Transformador TR-D3			Datos Conductor		
Carga		HP	kW	V	Calibre AWG	Dist. (m)	Dist. (Ft)
Bus - Horno B2-B	Alimentador			480	2/0	56,7	186
	Extractor de combustion	10,0	7	480	10	30,0	98,4
	Abanico aire de Combustion	15,0	11	480	10	19,8	65,0
	Ventilacion recirculacion 1	46,0	34	480	8	16,2	53,0
	Ventilacion recirculacion 2	46,0	34	480	8	16,2	53,0
Mantnimiento	Alimentador			480	2/0	77,7	255,0
	Torno acra motor Principal	12,5	9	480	10	18,0	59,0
	Fresadora universal motor mandril	5,5	4	480	10	22,9	75,0
	Torno pinacho motor mandril	7,5	6	480	10	23,8	78,0
	rectificadora cilindrica	6,5	5	480	10	29,9	98,0
	rectificador plana motor	7,8	6	480	10	23,8	78,0
	torno ursus motor mandril	5,5	4	480	10	19,8	65,0

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.2. Introducción a cálculo de corriente de cortocircuito

Para realizar el estudio de corriente de cortocircuito, se debe realizar un levantamiento de carga, donde se incluyan los equipos que aportan corrientes de falla, obteniendo resistencia y reactancia de ellos. Estos datos provienen de las máquinas eléctricas como motores asíncronos, motores síncronos, conductores eléctricos y transformadores, los cuales se cargan al programa EasyPower para simular los eventos.

Figura 21. Datos de la entrada eléctrica

-----		-----		--SLG--	--TPH--
Substation	Faulted Bus			3IFO	IFA
CR_JUA	50404 JUA-138A			2133.5	1657.2
-----Thevenin Impedances (Ohms)-----					
Rpos	Xpos	Rneg	Xneg	Rzero	Xzero
2.246178 +j	48.024235	2.255966 +j	48.084229	1.124964 +j	15.784439
---ANSI X/R Ratios--		--Thev. X/R Ratios--			
TPH	SLG	TPH	SLG		
26.99	31.19	21.38	19.88		

Fuente: ICE, s.f.

En la figura 21, se muestran los datos brindados por la empresa ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), los cuales son de la subestación Juanilama en el Bus 50404 con una tensión en mediana tensión de 138 kV. Dicha subestación se encuentra al costado de la empresa Alunasa, específicamente a 100 metros, donde operan los transformadores TR-1 y TR.2 con capacidad de 12 M.VA, tipo TSPN. En el cálculo, se contemplan las distancias entre los transformadores y equipos, tipo de canalización, diámetro de conductor eléctrico y capacidad de los equipos.

Una vez cargados los datos brindados por la compañía suministradora de energía en el software EasyPower, se obtienen las corrientes de corto circuito, en este caso se eligen y muestran los buses en los cuales se dirige el proyecto.

En la tabla 15, se muestran las corrientes de corto circuito Trifásico, Fase-Fase, fase-Tierra, para este proyecto se trabaja la corriente de falla trifásica, ya que es de mayor valor y es el escenario más crítico que debe soportar el equipo.

Tabla 15. ICC por Buses

BUS	Tensión KV	corriente de corto circuito (KA)		
		Trifasico	Fase-Fase	Fase-Tierra
Subestación	13.8	14,758	12,781	14,425
Anillo distribución	13.8	14,599	12,643	14,091
Cabina A	13.8	14,555	12,605	14,008
Cabina B	13.8	14,555	12,605	14,008
Cabina C	13.8	14,556	12,606	14,009
Cabina D	13.8	14,558	12,608	14,01

Fuente: EasyPower

4.2.3. Subestación principal

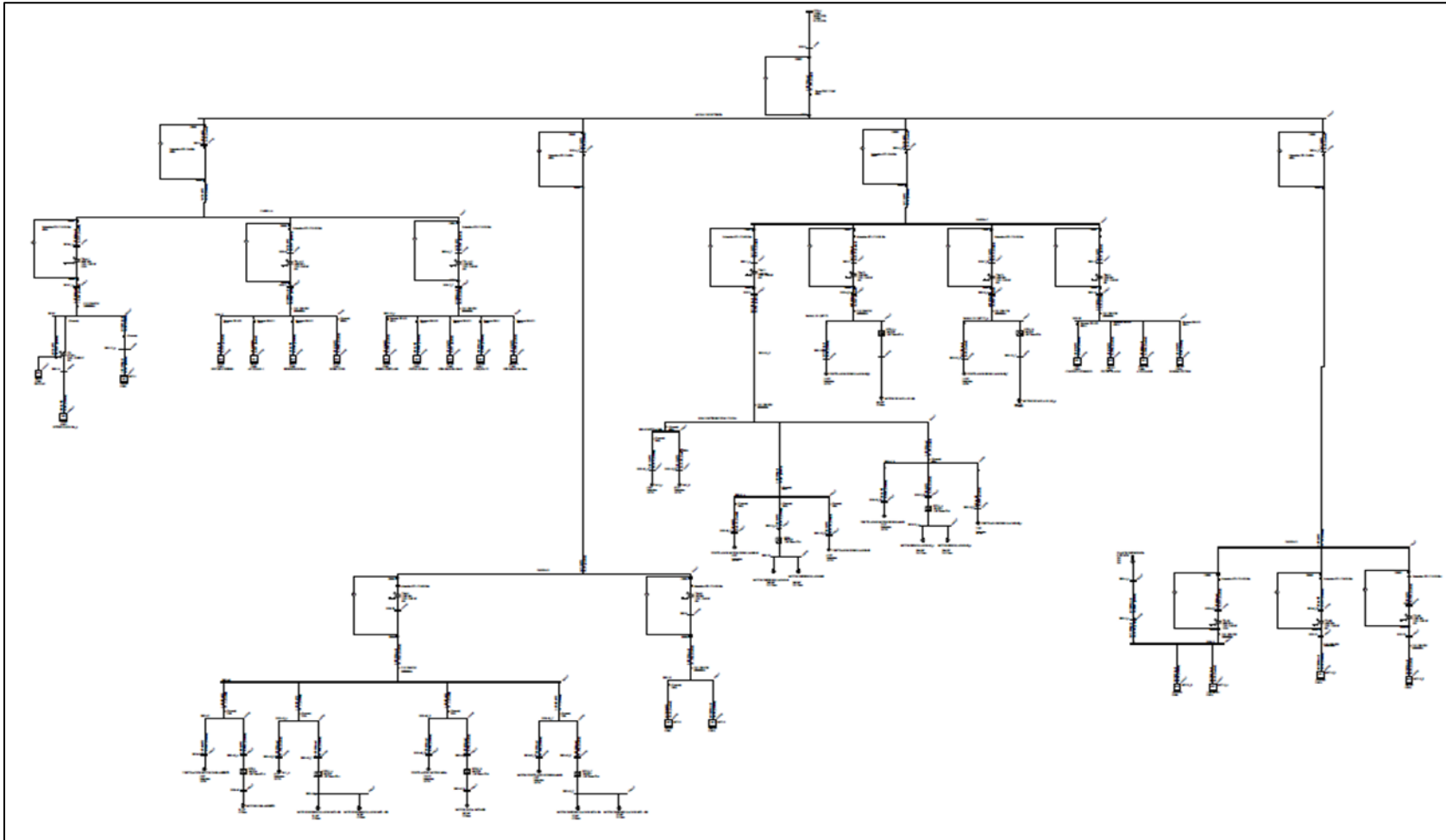
Esta área es caracterizada por ser la zona de alimentación del sistema eléctrico y está compuesta por dos transformadores en paralelo con 3 protecciones para cada unidad. Se presenta una protección 50/51 en el lado de alta y en lado de baja y un dispositivo diferencial, donde solo se empleará la protección 50/51 con la intención de no perder la selectividad necesaria en la TCC.

4.3. Coordinación del sistema de potencia

Esta sección cuenta con los datos de corrientes de cortocircuito brindadas por medio del *software* EasyPower serie P2-18933-8L, mismo que se basa en las normas IEEE Std 551TM-2006 y IEEE Std 141TM-1993. Se tiene como objetivo obtener el resultado de la corriente de cortocircuito tras realizar el diagrama unifilar de la empresa Alunasa (ver figura 22) con los datos recolectados en campo. Ello con el fin de obtener el comportamiento de la corriente de falla en el sistema de potencia en condiciones anormales de operación para realizar el ajuste de los relés de protección que controlan los disyuntores a sustituir. Esta zona está compuesta por dos transformadores de potencia de 12 MVA, sin embargo, solo trabaja uno a la vez, pues cada unidad se protege con una protección 50/51.

En el siguiente diagrama (Figura 22), se muestra el transformador perteneciente a la subestación y los equipos instalados en la empresa Alunasa. Se utiliza la herramienta del *software* Easy Power llamada "MCC", la cual se utiliza para hacer un paquete de motores, para lograr completar la carga de los equipos con los 100 buses disponibles que posee dicho programa. En éste, se detalla la carga instalada y actualizada de los transformadores de las cabinas de distribución A, B, C y D.

Figura 22. Diagrama nave



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En el bus de distribución que alimenta las cuatro cabinas, se realiza la coordinación entre el disyuntor de la subestación, el disyuntor que resguarda cada cabina y los disyuntores pertenecientes a cada transformador con el fin de asegurar la apertura de las protecciones en caso de falla, de manera ordenada y eficiente, sin provocar disparos en zonas en las cuales la falla no genera ningún inconveniente.

En la figura 23, se ilustra el nombre de las curvas, la ubicación y los equipos protegidos, según orden del del sistema eléctrico.

Figura 23. Identificación de curvas de disparo

TCC	Nombre de curva	Orden de Curvas y Ubicación				
		Ubicación	Rango de protección			
			Cabina A	Cabina b	Cabina C	Cabina D
	R-2 AG	Subestación				
77	R-2 T	cabina A				
78	R-2 Q	TR-A1				
79	R-2 R	TR-A2				
	R-2 S	TR-A3				
	R-2 Z	Cabina B				
80	R-2 AA	TR-B1				
81	R-2 AB	TR-B2				
	R-2 Y	Cabina C				
83	R-2 U	TR-C1				
84	R-2 V	TR-C2				
85	R-2 W	TR-C3				
86	R-2 X	TR-C4				
	R-2 AC	Cabina D				
87	R-2 AD	TR-D1				
89	R-2 AE	TR-D2				
90	R-2 AF	TR-D3				

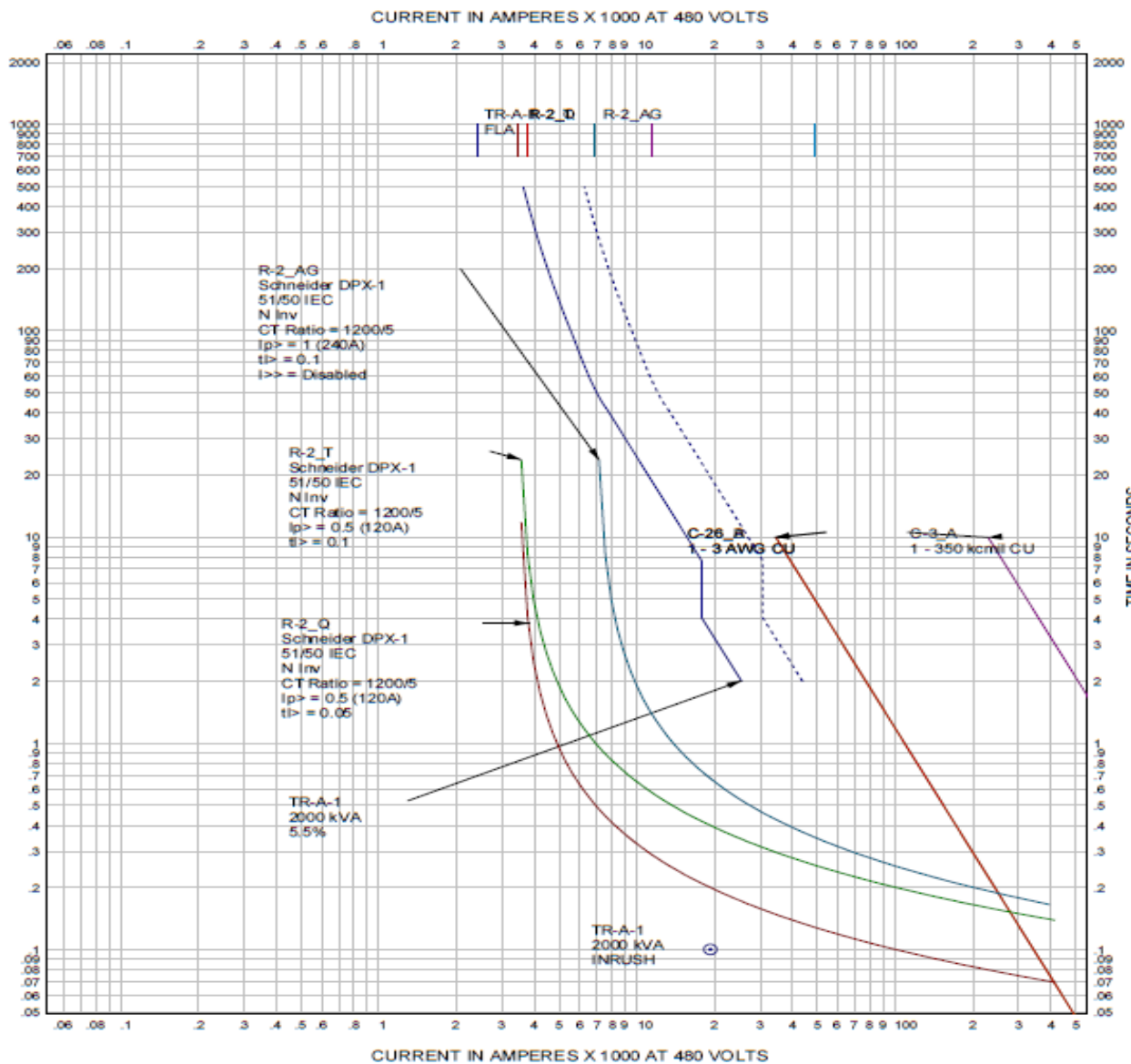
NOTA: las curvas R-2 AG, R-2T se aprecian en TCC 77,78,79
las curvas R-2 AG, R-2Z se aprecian en TCC 80,81
las curvas R-2 AG, R-2Y se aprecian en TCC 83,84,85,86
las curvas R-2 AG, R-2AC se aprecian en TCC 87,89,90

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

- Detalle de cabina A:

Curvas disparo en relés correspondientes a coordinación en cabina A

Figura 24. Curva disparo protección TR-A1



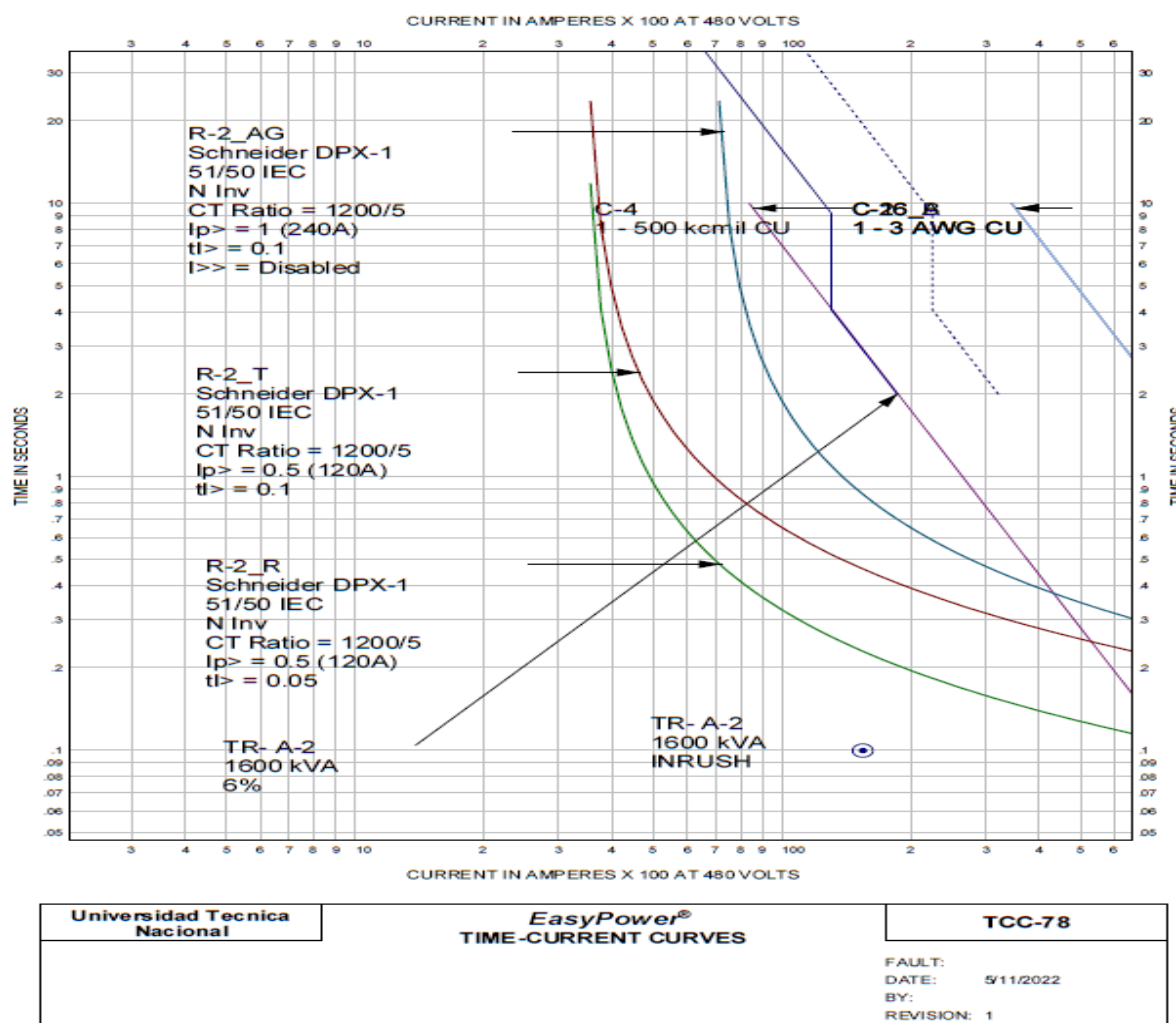
Universidad Tecnica Nacional	EasyPower® TIME-CURRENT CURVES	TCC-77
		FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1

DIAGRAMA NAVE 5-11-22

Fuente: Software EasyPowerserie P2-18933-8L,2022

En la figura 24, se muestran de las curvas de operación para las protecciones eléctricas de la zona de subestación, bus de mediana tensión y transformador TR-A1, se dispone de un ajuste de 400 ms con una curva de carácter moderadamente inversa. En orden ascendente, el relé cumple con un margen de 300 ms con respecto al transformador 1 ajustado con un tiempo de 700 ms con una curva del tipo extremadamente inversa. con un margen de coordinación de 300 ms con respecto al dispositivo anterior. Bajo esta coordinación en la operación del relé, se asegura la protección de los buses implicados y el transformador TR-A1.

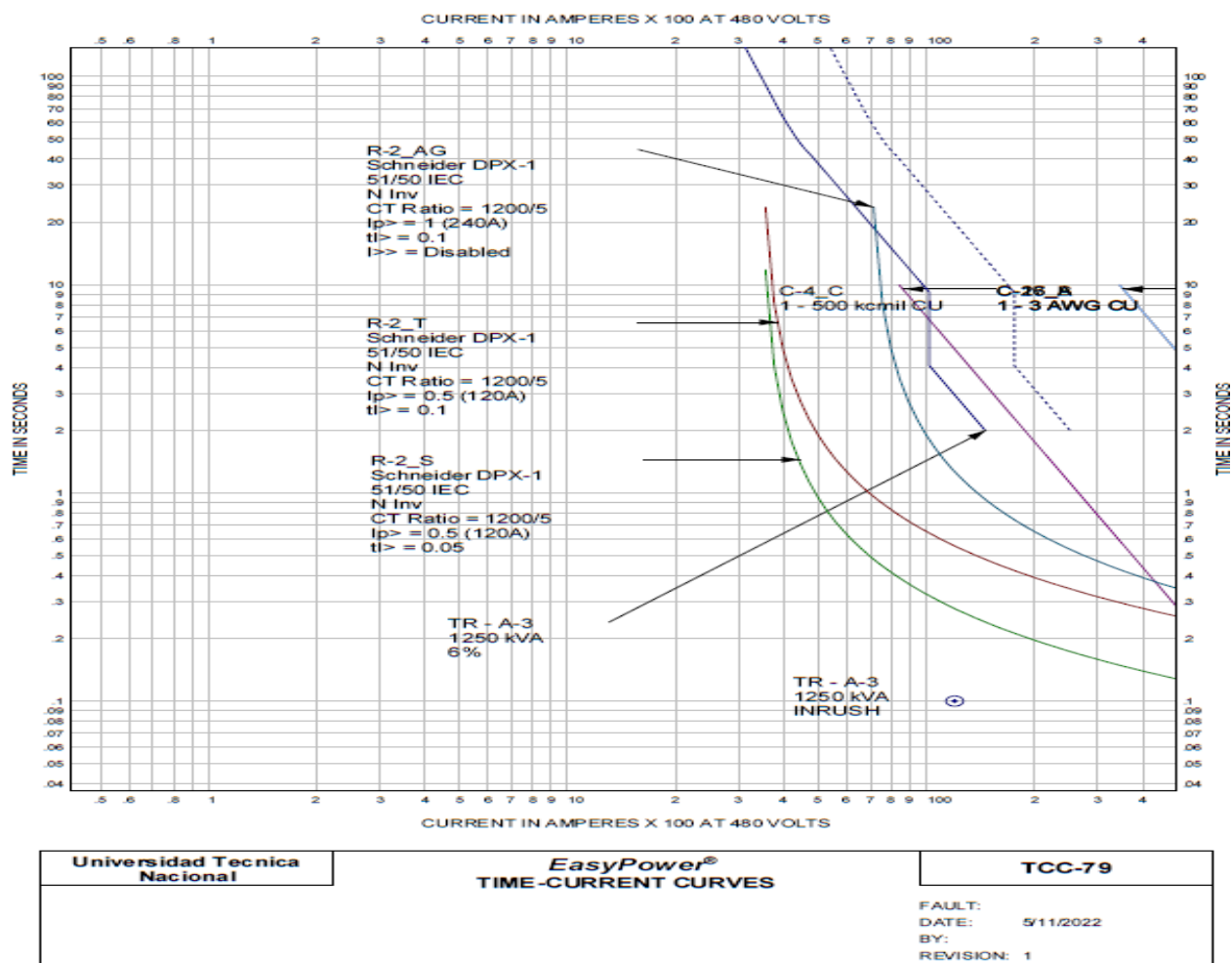
Figura 25. Curva disparo protección TR-A2



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 25, se muestran las curvas de operación del circuito correspondiente al transformador TR-A2, mediante las TCC, cumpliendo con la normativa y estableciendo criterios de protección según las recomendaciones. En la figura, el disyuntor Schneider SF1-17.5-32.5kA protege el circuito del transformador TR-A2. El dispositivo SF1-17.5-32.5kA dispone de un margen de coordinación de menos de 100 ms con respecto al disyuntor. Su apertura logra coordinarse con el primer dispositivo de protección en orden ascendente de la curva moderadamente inversa, el cual es un margen que asegura la protección del transformador y los equipos implicados.

Figura 26. Curva disparo protección TR-A3

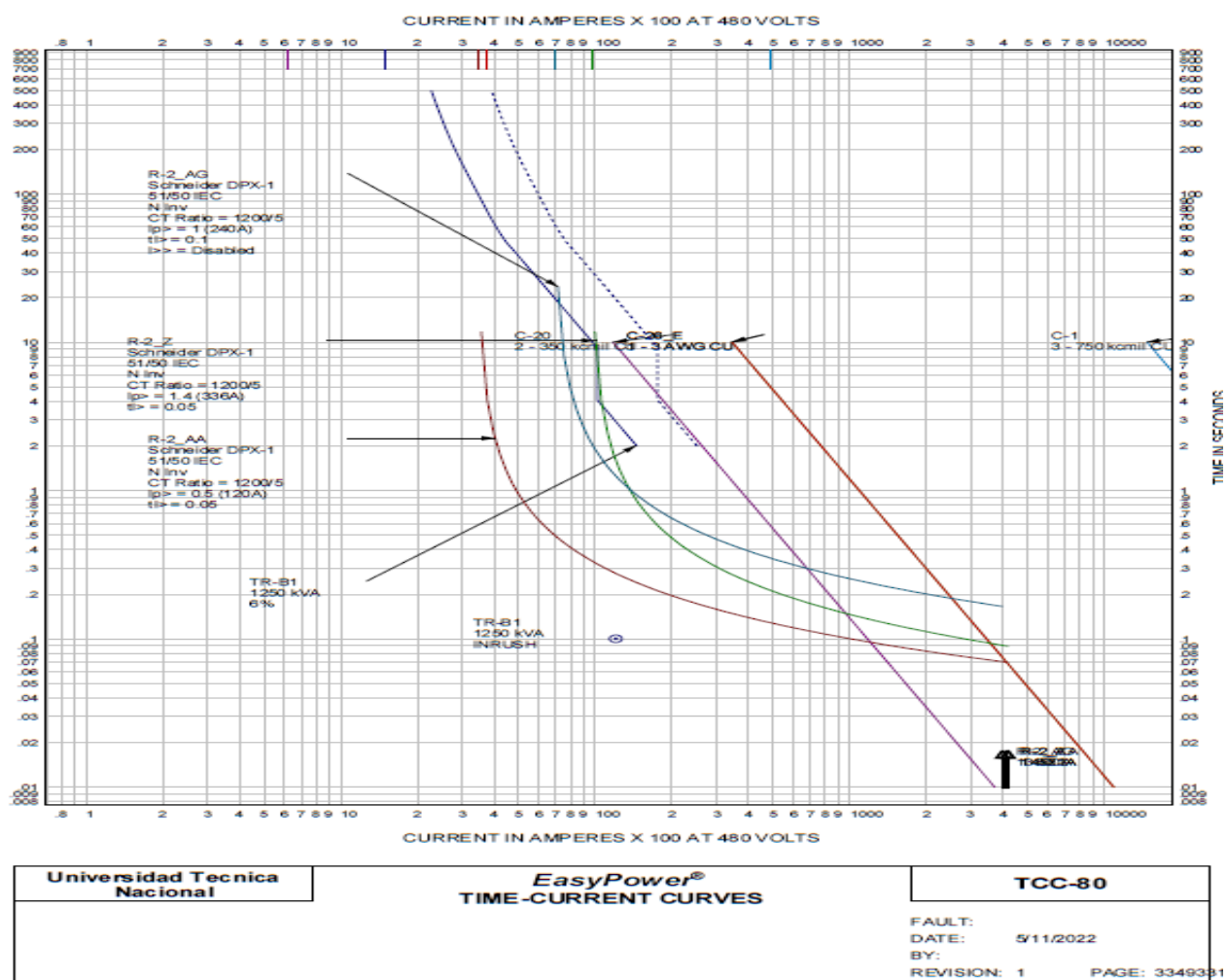


Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 26, se observa la curva del relé, mostrando protección el circuito con respecto al transformador, el cual dispone de un ajuste instantáneo de 100 ms con una curva del tipo moderadamente inversa en un margen de coordinación 300 ms con respecto al primer dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación. De la misma forma, esto genera la protección necesaria para el transformador TR-A3 en relación al bus de mediana tensión y el transformador de la subestación.

- **Detalle de cabina B**

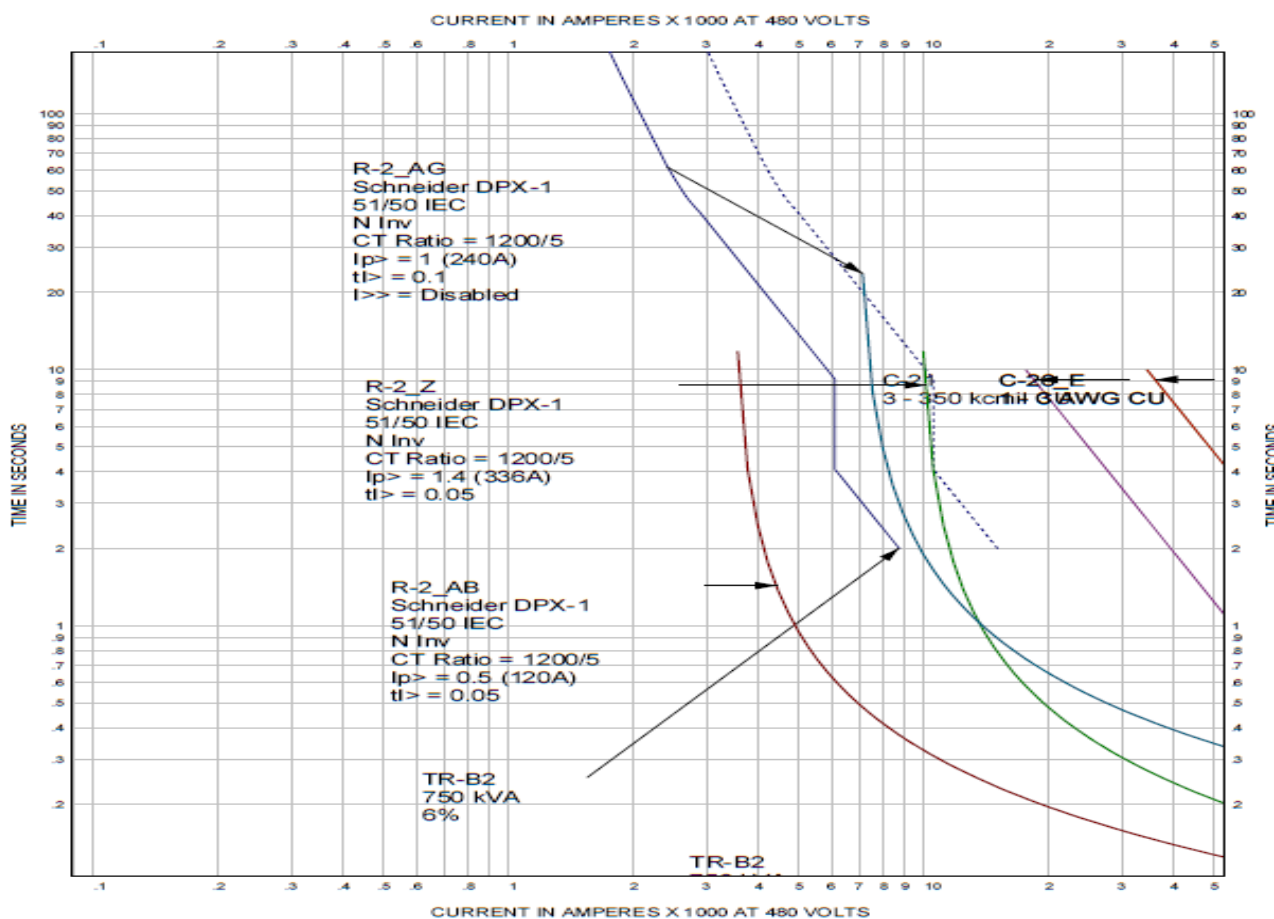
Figura 27. Curva disparo protección TR-B1



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 27, se muestra la curva del relé que opera para realizar la apertura del disyuntor SF1-17.5-32.5kA. El dispositivo dispone de un margen de coordinación de menos de 400 ms. Considerando su apertura en el orden de los ms, logra coordinarse con el primer dispositivo en orden ascendente de los transformadores de subestación, de esta manera en sistema en mediana tensión queda con una protección adecuada y segura según las normas implicadas.

Figura 28. Curva disparo protección TR-B2



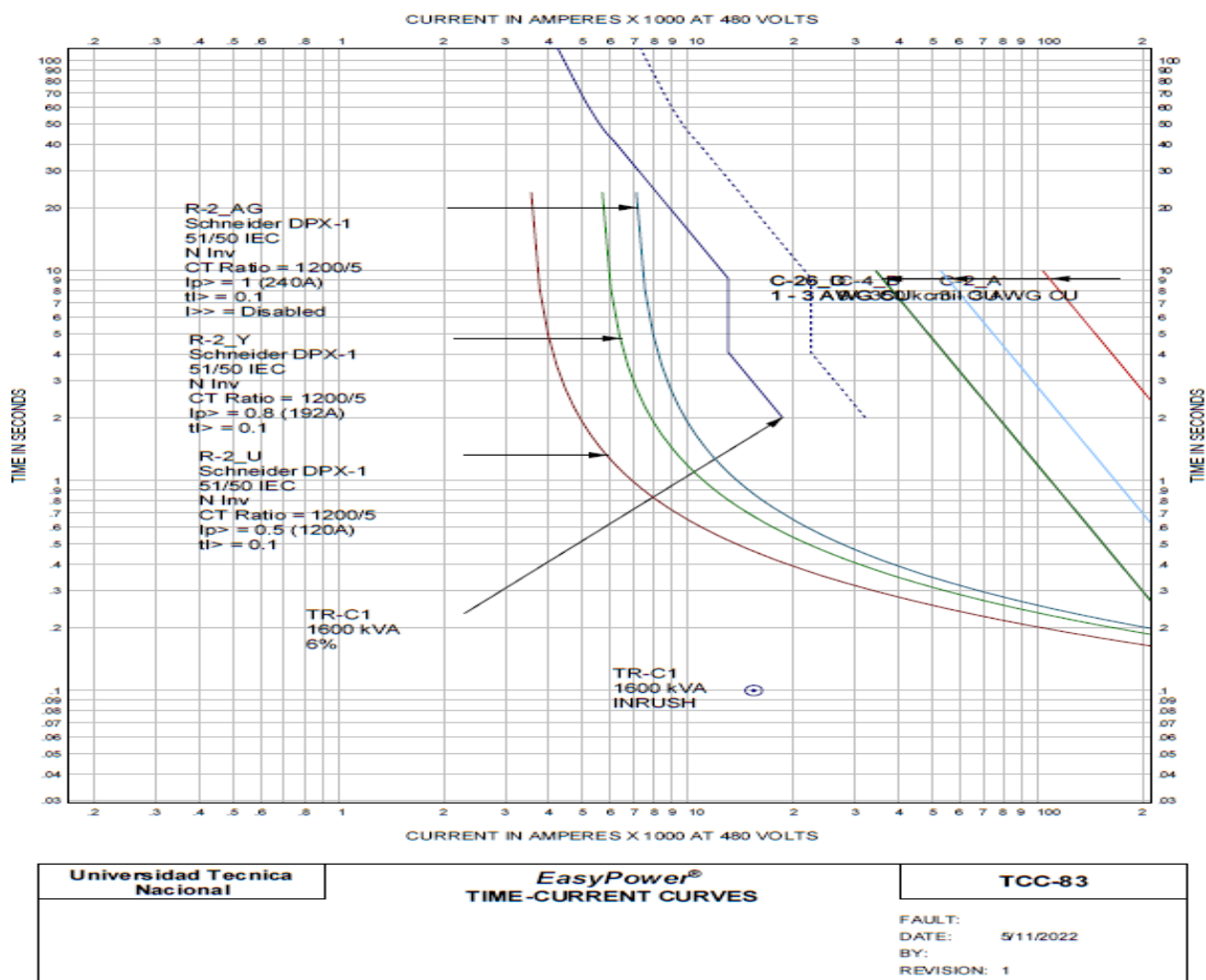
<p>Universidad Tecnica Nacional</p>	<p>EasyPower® TIME-CURRENT CURVES</p>	<p>TCC-81</p>
<p>DIAGRAMA NAVES-11-22</p>		<p>FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1</p>

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 28, se dispone de un ajuste definido de 200 ms y un ajuste instantáneo de 100 ms con una curva del tipo moderadamente inversa en un margen de coordinación de 200 ms y 300 ms con respecto al primer dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación. En la TCC se observa que la curva de daño del transformador al lado derecho de las curvas de disparo, con un margen seguro de operación para despejar una falla eléctrica si así lo amerita.

- **Detalle de cabina C**

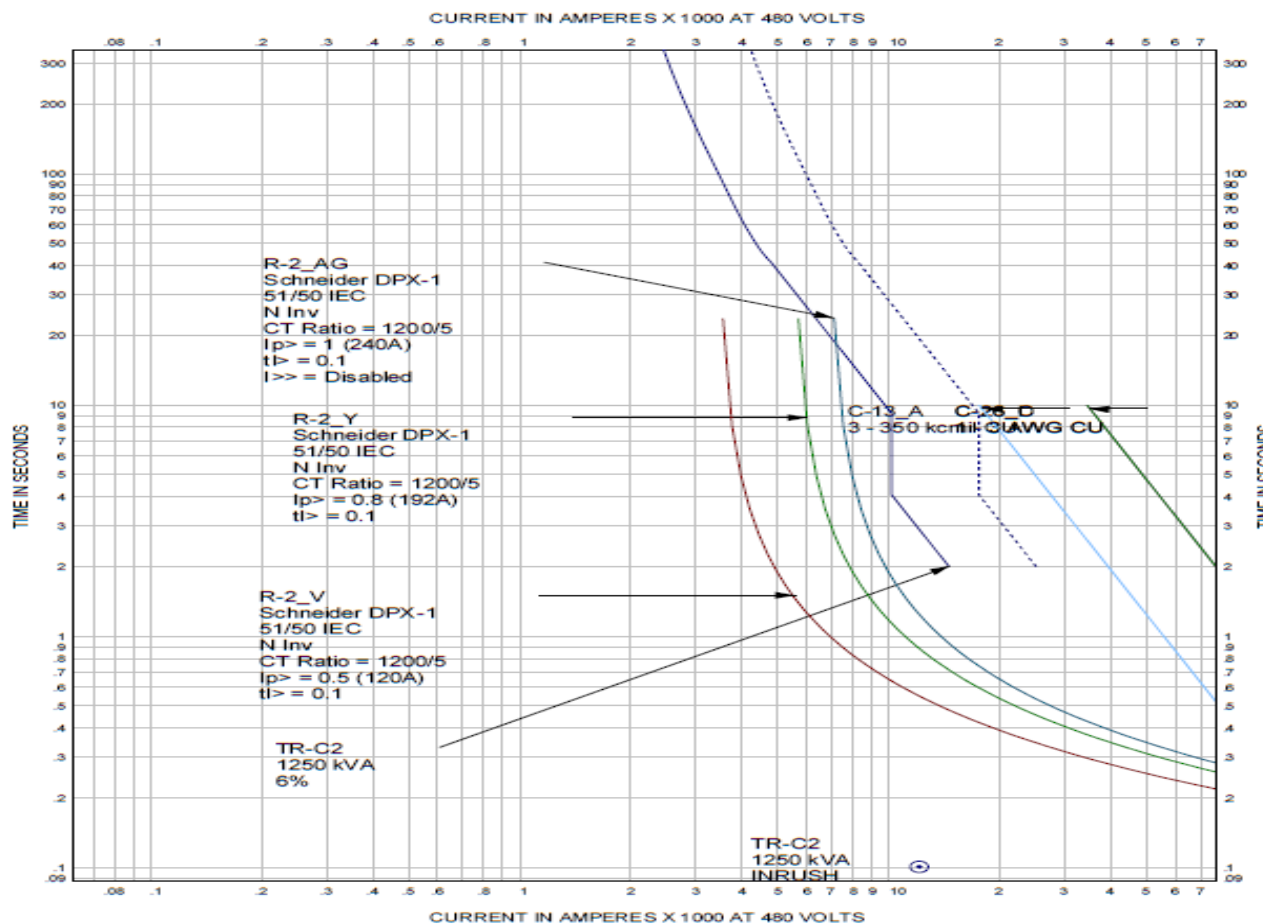
Figura 29. Curva disparo protección TR-C1



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 29, se dispone de un ajuste definido de 200 ms y un ajuste instantáneo de 300 ms con una curva del tipo muy inversa en un margen de coordinación de 300 ms y 400 ms con respecto dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación. En la TCC (figura 27) se logra observar que la coordinación es adecuada e impide que se provoque un daño en los equipos ante un evento de corriente de falla, bajo este escenario el relé realizará la operación y enviará la señal de apertura a la protección SF1-17.5-32.5kA. despejando la falla.

Figura 30. Curva disparo protección TR-C2



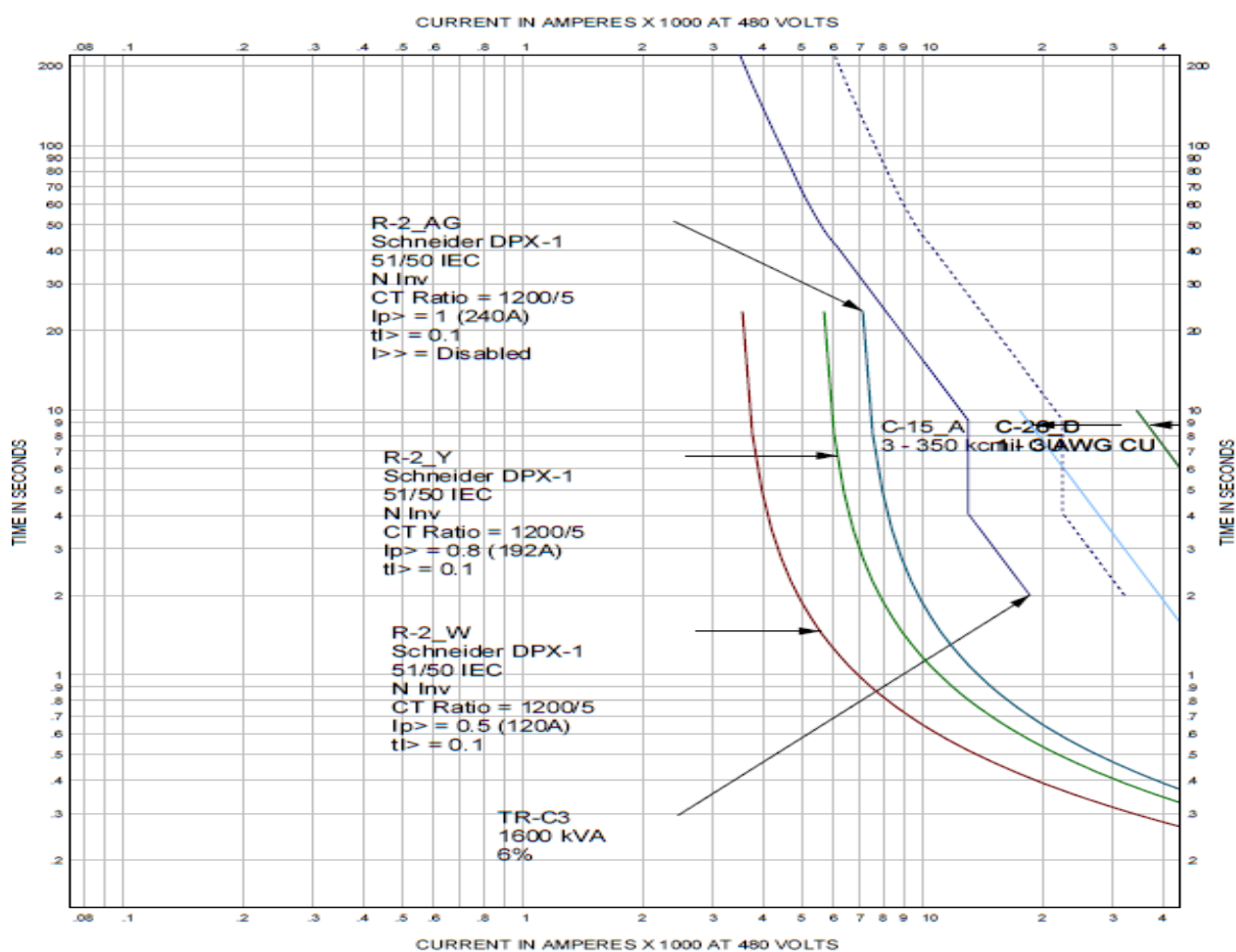
<p>Universidad Tecnica Nacional</p>	<p>EasyPower® TIME-CURRENT CURVES</p>	<p>TCC-84</p>
		<p>FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1</p>

DIAGRAMA NAVES-11-22

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 30, se observa la coordinación apropiada en el relé de disparo, el cual opera ante una falla sobre el disyuntor SF1-17.5-32.5kA protegiendo el transformador TR-C2. El relé dispone de un margen de coordinación de menos de 300 ms con respecto el transformador (curva moderadamente inversa) en el cual se muestra la protección que realiza el relé, esto con base a la coordinación realizada en dicho relé, para realizar el disparo adecuado en el disyuntor correspondiente.

Figura 31. Curva disparo protección TR-C3



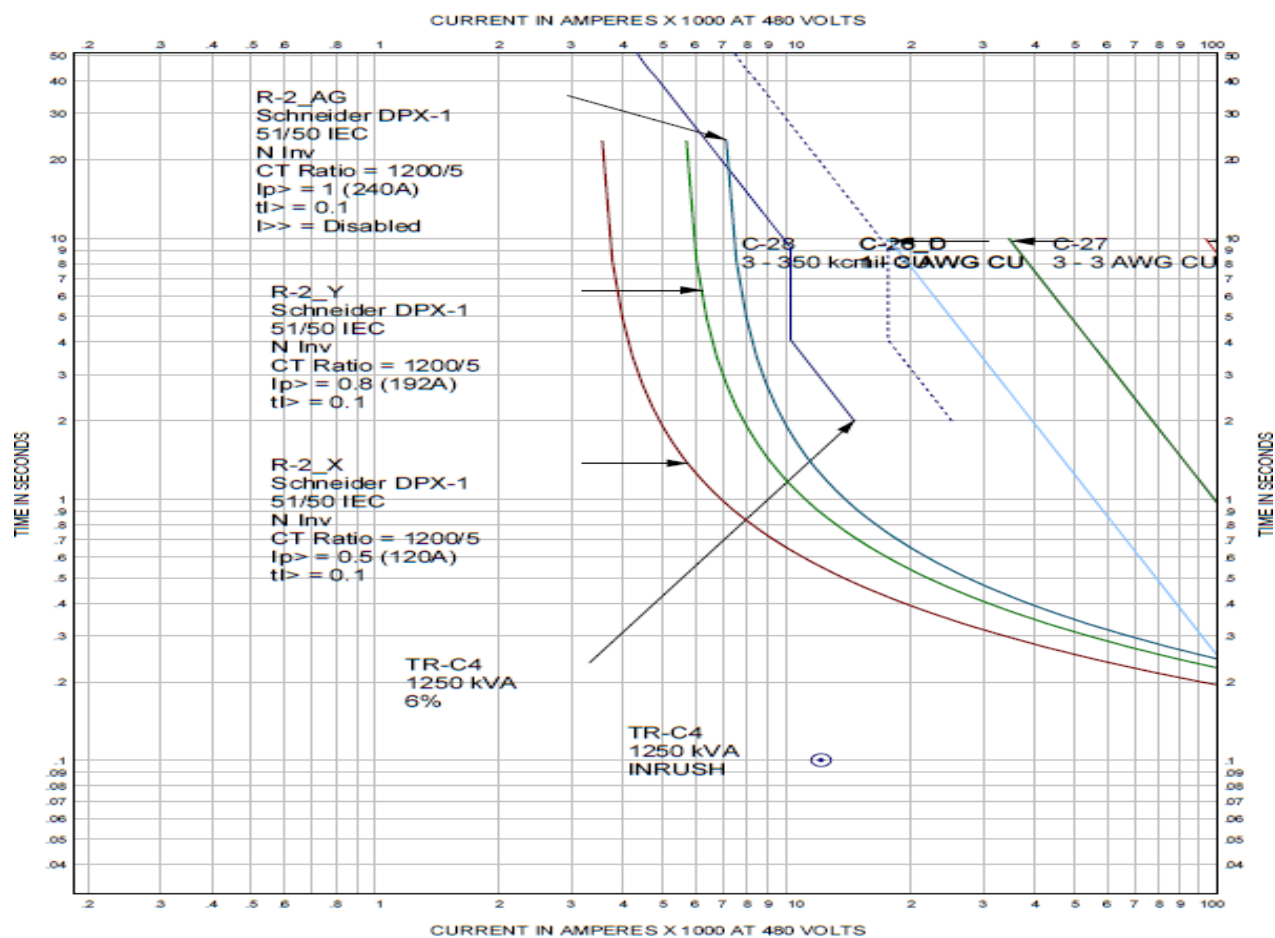
<p>Universidad Tecnica Nacional</p>	<p>EasyPower® TIME-CURRENT CURVES</p>	<p>TCC-85</p>
		<p>FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1</p>

DIAGRAMA NAVES-11-22

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 31, se muestra una coordinación definida de 200 ms y un ajuste instantáneo de 300 ms con una curva del tipo muy inversa en un margen de coordinación con respecto dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación. En la TCC (figura 28) se logra observar que la coordinación es adecuada e impide el paso de corrientes de falla a los equipos, ante un evento anormal, bajo este escenario el relé realizará la operación y enviará la señal de apertura a la protección SF1-17.5-32.5kA. despejando la falla de manera oportuna.

Figura 32. Curva disparo protección TR-C4



<p>Universidad Tecnica Nacional</p>	<p>EasyPower® TIME-CURRENT CURVES</p>	<p>TCC-86</p>
		<p>FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1</p>

DIAGRAMA NAVES-11-22

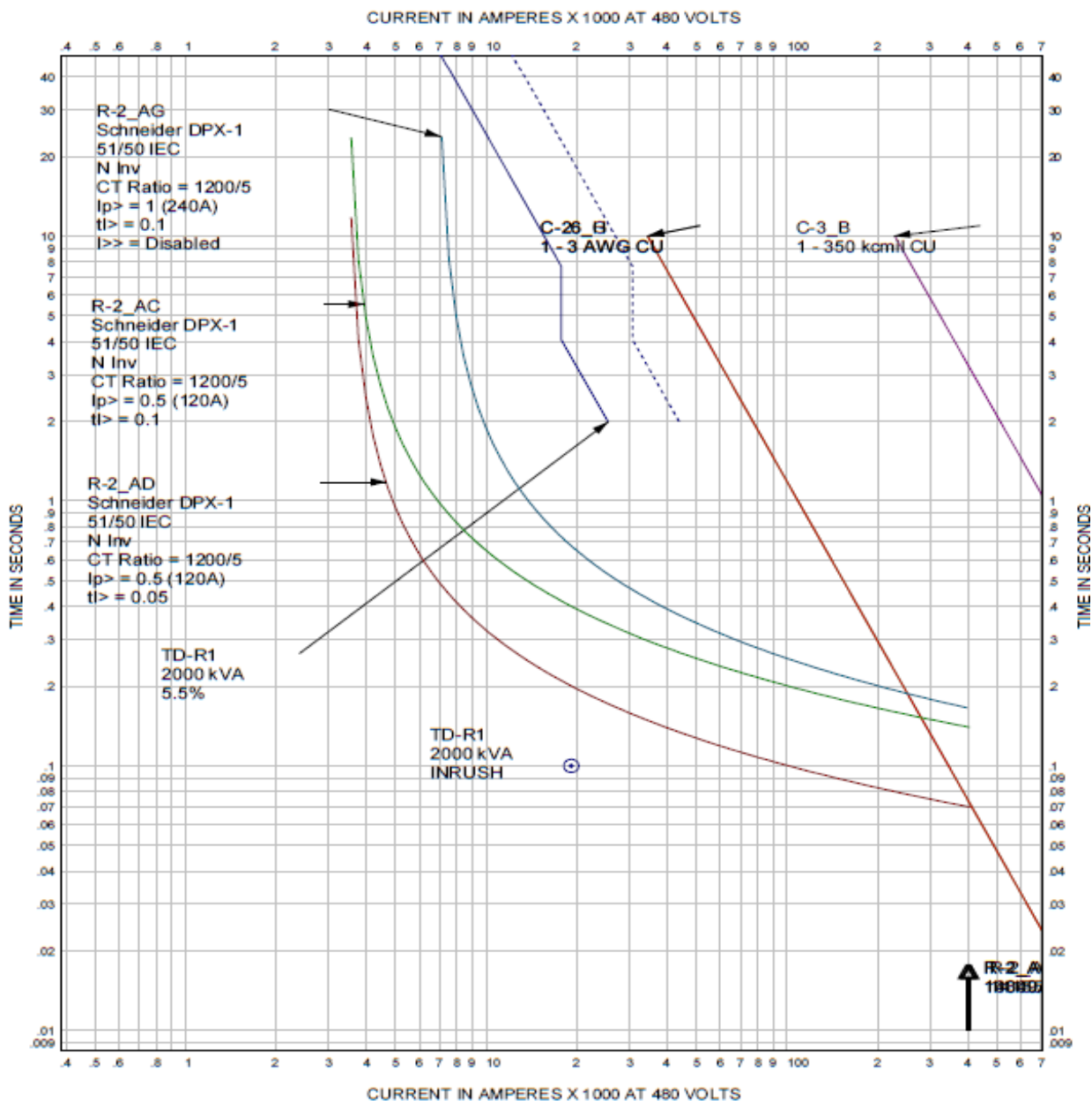
Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 32, el disyuntor SF1-17.5-32.5kA, realiza la apertura mediante el relé de disparo programado con una 50/51, des este modo protege el circuito determinado por el transformador TR-C4 (curva moderadamente inversa), el margen de protección del disyuntor. En este caso, su coordinación viene a realizarse por un ajuste en la sobrecorriente instantánea o sobrecarga, para lograr la protección del transformador.

- **Detalle de cabina D**

Esta zona se caracteriza por ser la zona de alimentación del sistema eléctrico. Está compuesta por tres transformadores en paralelo con 3 protecciones para cada unidad. Se presenta una protección 50/51 en el lado de alta y en lado de baja, y un dispositivo diferencial, donde solo se empleará la protección 50/51 con la intención de no perder la selectividad que se necesita en la TCC. Tiene como prioridad proteger el transformador, considerando la carga máxima a la que puede acercarse en el bus de baja. La secuencia de protección viene proporcionada desde el dispositivo aguas abajo, el relé diferencial hasta el dispositivo aguas arriba con una diferencia de tiempo de 300 ms entre sí iniciando la curva de operación desde los 400 ms cumpliendo con los TAP de ajuste mínimos, lo cual se refleja en la figura.

Figura 33. Curva disparo protección TR-D1



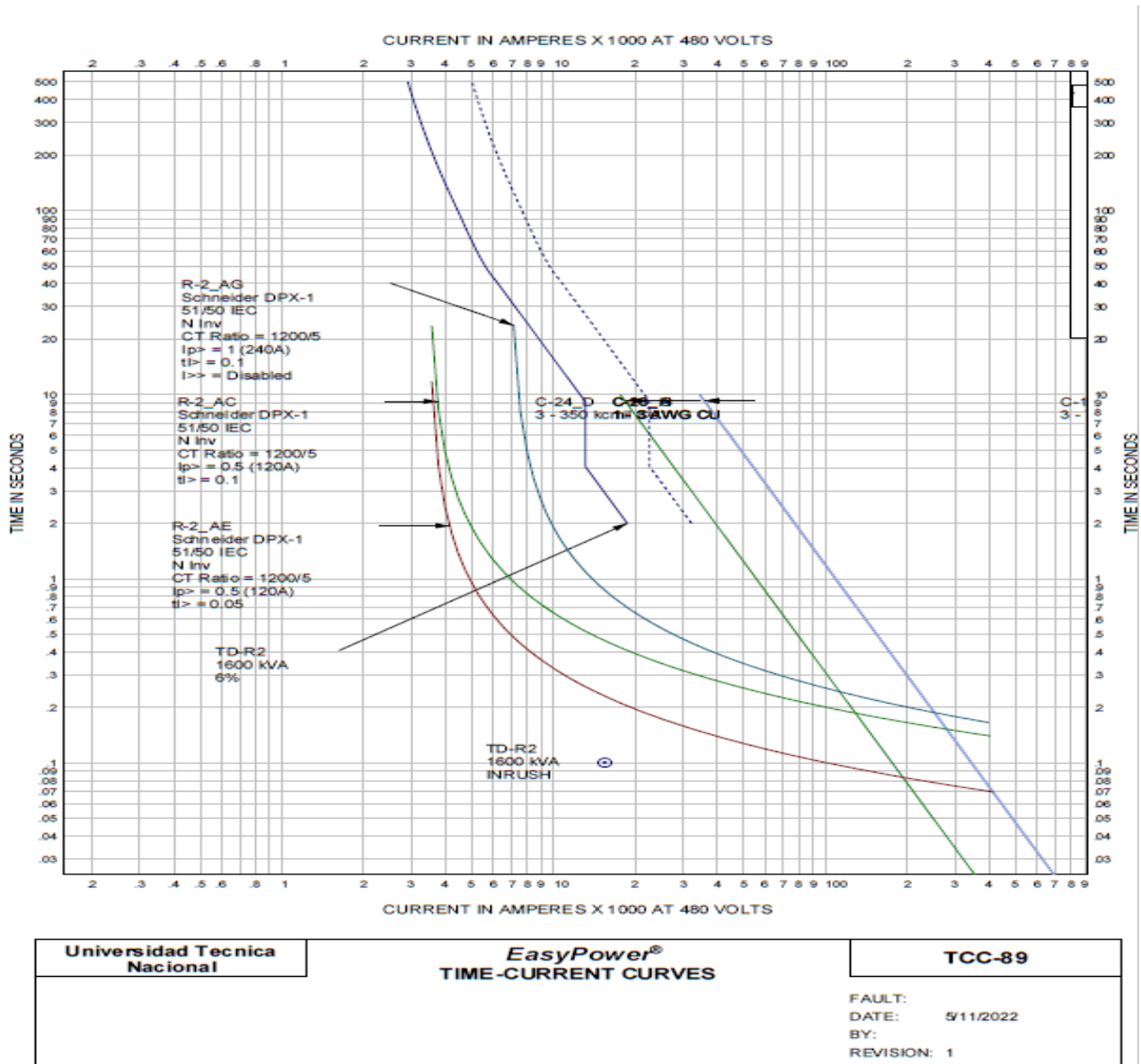
<p>Universidad Tecnica Nacional</p>	<p>EasyPower® TIME-CURRENT CURVES</p>	<p>TCC-87</p>
		<p>FAULT: DATE: 5/11/2022 BY: REVISION: 1</p>

DIAGRAMA NAVES-11-22

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 33, se dispone de un ajuste de 400 ms con una curva de carácter moderadamente inversa. En orden ascendente, cumple con un margen de 400 ms con respecto al relé ajustado con un tiempo de 8300 ms con una curva del tipo extremadamente inversa. De este modo el transformador queda protegido ante una corriente de falla con respecto a la coordinación entre el transformador de la subestación y los equipos implicados.

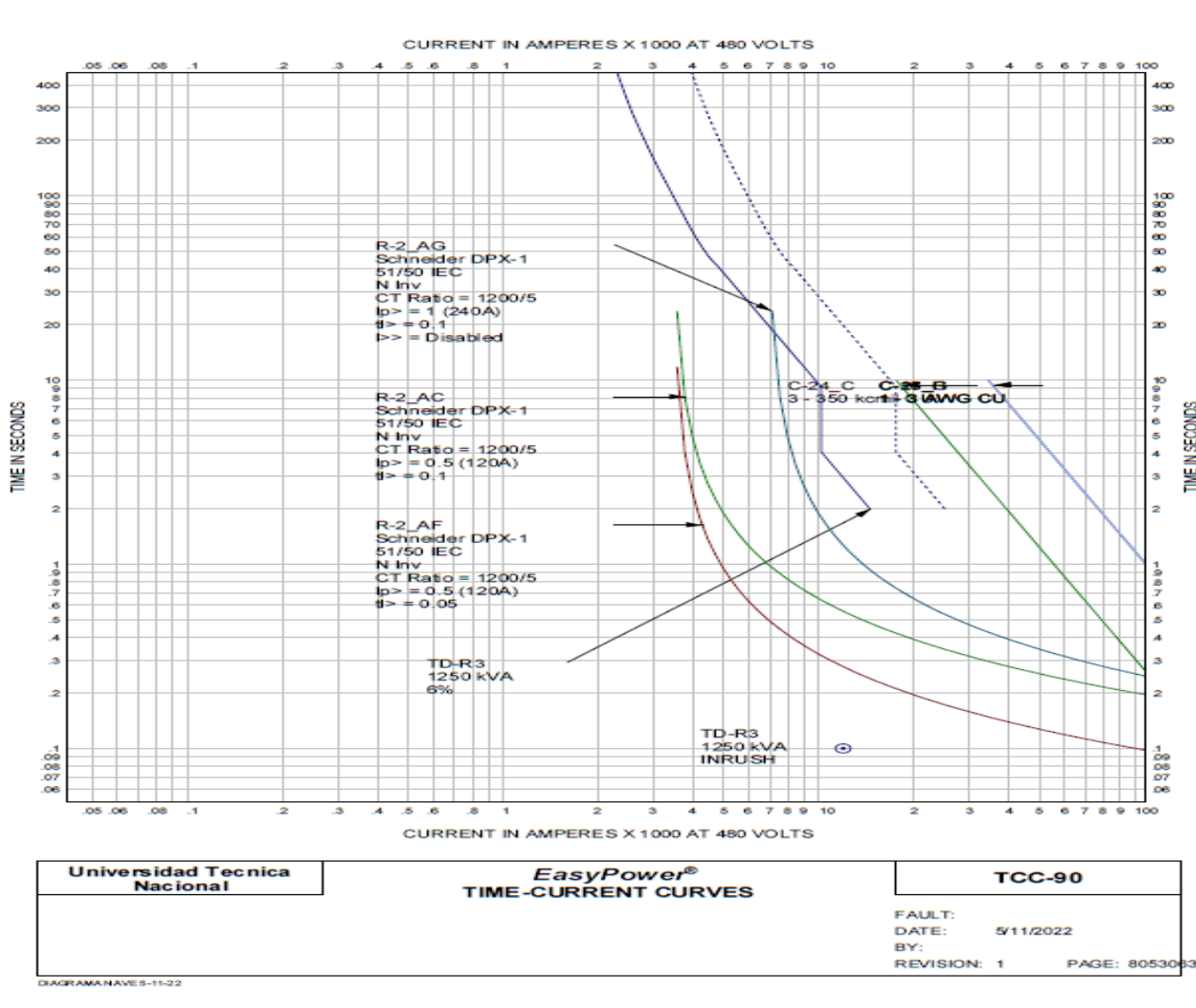
Figura 34. Curva disparo protección TR-D2



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 34, se da un ajuste instantáneo de 100 ms con una curva de carácter moderadamente inversa en un margen de coordinación de 300 ms con respecto al primer dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores en subestación. Se observa en la TCC que el transformador está protegido, observando la curva de daño del transformador y las curvas de disparo del relé que custodia dicha transformador.

Figura 35. Curva disparo protección TR-D3



Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

En la figura 35, se dispone de un ajuste instantáneo de 100 ms y un ajuste instantáneo de 300 ms con una curva del tipo extremadamente inversa en un margen de coordinación con

respecto dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación. En la TCC (figura 34) se logra observar que la coordinación con respecto al primer dispositivo de protección en orden ascendente de los transformadores de subestación, bajo este escenario el relé realizará la operación y enviará la señal de apertura a la protección SF1-17.5-32.5kA. despejando la falla.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones y recomendaciones

Seguidamente, se presentan las conclusiones y las recomendaciones, así como los principales hallazgos del proyecto, lo cual permite evaluar no solo el desarrollo de este estudio en función de los objetivos propuestos, sino enmarcar todas las conclusiones de acuerdo con cada uno de los objetivos y de las variables.

Una vez aprovechado el método de investigación, se utiliza el *software* EasyPower, serie P2-18933-8L como método para la indagación relacionada con el diseño eléctrico en el anillo de potencia y buses que alimentan los equipos productivos de la nave CVG Alunasa. Finalizado el análisis de la interpretación de los resultados, se procede a detallar los hallazgos identificados en la recopilación de datos.

5.1.1. Conclusiones

De acuerdo con el proyecto realizado, con base en las distintas referencias bibliográficas, los cálculos manuales realizados, la simulación mediante el *software* EasyPower y con los criterios de diseño, se obtienen las siguientes conclusiones en función de los objetivos:

Según los resultados encontrados se concluye que la carga esta dimensionada adecuadamente, con respecto a la capacidad de cada transformador, evitando así un error en el diseño propuesto. Verificando los parámetros de crecimientos de la industria en equipos nuevos, excediendo la carga analizada para los transformadores anteriores, se debe de replanteará el diseño existente.

Se realizaron la recolección de datos de todas las cargas en las cabinas y tableros que se distribuyen en la nave de Alunasa, se tabularon para poder realizar el estudio de

corto circuito, con el fin de obtener un margen para seleccionar las protecciones adecuados que se andan buscando.

En este proceso, se realiza el diagrama unifilar de la nave industrial para, posteriormente, montar el diagrama en el software EasyPower, en el cual se obtendrá la corriente de cortocircuito. Dicha corriente brinda la información para iniciar el diseño y la selección de equipos con la finalidad de obtener la coordinación de protecciones deseada, lo cual garantiza la protección de los equipos industriales. Además, se actualizaron datos nuevos y reciente en la carga de los transformadores para las futuras protecciones dentro de los parámetros indicados.

En cuantas aplicaciones de conocimientos en el proyecto, se cumple con el objetivo de colaborar en los análisis del Corto circuito para obtener las corrientes de falla en cada bus que posea el diagrama unifilar analizado con el fin de dimensionar y ajustar los sistemas de protección de manera idónea y sean capaces de soportar eventos sin sufrir daños.

5.1.2. Recomendaciones

A partir de las anteriores conclusiones, se determina una serie de recomendaciones a la empresa ALUNASA, la cual es el objeto de estudio.

En el análisis realizado y tomando en cuenta el estado de los equipos y los costos generados para la empresa, se propone realizar la sustitución de dichas protecciones en un plazo de 4 años. Dicho proyecto iniciaría en la cabina D por prioridades e importancia en el funcionamiento del anillo de potencia, ya que, por diseño, es la que realiza la conexión eléctrica con la subestación de Juanilama.

Además de la sustitución de los equipos, se recomienda realizar un estudio en la coordinación de protecciones cada cuatro años, tomando en cuenta los cambios en

crecimiento de las cargas en empresa suministradora de energía eléctrica, según NFPA 70E-2018, con el dato actualizado de corriente de falla disponible por la empresa generadora de energía.

En el ajuste del sistema de protección perteneciente al modelo SF1 de 630 A, se recomienda realizar una capacitación con los responsables del mantenimiento eléctrico de la empresa, con la finalidad de garantizar un adecuado mantenimiento y funcionamiento de los equipos.

En caso de realizarse cambios o la reposición de algunos dispositivos del sistema eléctrico presente, se requiere del profesional correspondiente por parte del fabricante, que verifique y le dé validez al trabajo realizado, por efectos de garantía en equipos.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

- Alfaro, J. (2016). *Evaluación del sistema eléctrico instalado, estudio de puesta a tierra, evaluación del factor de potencia, actualización del diagrama unifilar y diseño de manuales de mantenimiento autónomo en la empresa COCORISA* (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6915/evaluacion_sistema_elctrico_instalado_estudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ALUNASA (s.f.) Reseña histórica. <http://www.alunasa.com/>
- Anónimo (2011). *Estudio de la forma de onda de la corriente de falla*.
<https://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2011/01/estudio-de-la-forma-de-onda-de-la.html>
- Anónimo (2019). *Máquinas eléctricas síncronas*.
<https://es.essays.club/Otras/Tecnolog%C3%ADa/Máquinas-EI%C3%A9ctricas-S%C3%ADncronas-197139.html>
- Bermúdez, G. (2017). *Diseño del sistema eléctrico, análisis de cortocircuito y estudio de arco eléctrico para nueva planta de MATRA* (Tesis de grado). Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7366/Dise%C3%B1o_sistema_electrico_analisis_cortocircuito_estudio_arco_electrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Campo, A. (2019). *El transformador*. [Presentación].
<https://es.slideshare.net/INGArmandoCampos/1-definicion-y-antecedentes>

- Campos, M. (2017). *Métodos de investigación académica: fundamentos de investigación bibliográfica*. Universidad de Costa Rica.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas* (5.ª ed.). México: Mc Graw Hill.
- González, G. y Luna, E. (2010). *Análisis de cortocircuito a sistemas eléctricos*. (Tesis de grado). Instituto Politécnico Nacional, México.
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6471/1/ANALISISCORTO.pdf>
- Hedding, K., Zimmerman, G., Bartok, M., Basler, G., & Benmouyal, J. (2009). Protection Considerations to Mitigate Arc-Flash Hazards. Technical Report to the Substation Subcommittee of the Power Systems Relaying Committee. https://www.pes-psrc.org/kb/published/reports/Protection%20Considerations%20to%20Mitigate%20Arc_final_20090108.pdf
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Maranto, M. y González, M. (febrero, 2015). *Fuentes de Información*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16700/LECT132.pdf>
- Paye, F., Candro, B. y Vilcazan, R. (2022). *Fallas simétricas y asimétricas*. Universidad Nacional del Altiplano. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-centro-del-peru/proteccion-de-sistemas-elect-de-potencia/fallas-simetricas-y-asimetricas/30417863>
- Pérez, F. (2021). *Coordinación de protecciones de sistemas eléctricos de potencia mediante formulación de problema de optimización* (Tesis de grado). Universidad de Chile, Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/181246/Coordinacion-de->

protecciones-de-sistemas-electricos-de-potencia-mediante-formulacion-de-problema-de-optimizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quesada, B. (2019). *Diseño de Instalaciones Eléctricas II*. Universidad Técnica Nacional.

<https://sites.google.com/a/utn.ac.cr/disenio-de-instalaciones-electricas-ii/?invite=CLqeo-8L&pli=1>

Revetti, R. y Rogelio, R. (2010). *Estudio de coordinación del sistema de protecciones asociados al circuito de distribución A4 de la Subestación Elegua 12,47 kV* (Tesis de grado). Universidad Central de Venezuela, Venezuela. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/16613/1/TEG%20Revetti%20R.%2c%20Rogelio%20R.pdf>

Romero, P. (2014). *Análisis eléctrico en el sistema nacional de transmisión por la incorporación de cocinas de inducción* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. <https://fdocuments.co/document/universidad-politcnica-salesiana-kt008-i-declaratoria-de-autora-yo-patricio.html?page=1>

Tolosa, W. (s.f.) *Transformadores*. Instituto Tecnológico Superior de Champotón. <https://1library.co/document/zlv9rrgy-unidad-4-transformadores.html>

Unicrom (s.f.) *Transformador con cargas resistiva, capacitiva e inductiva*. <https://unicrom.com/transformador-con-cargas-resistiva-capacitiva-inductiva/>

ANEXOS

Anexo N°1. NEC 2008

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

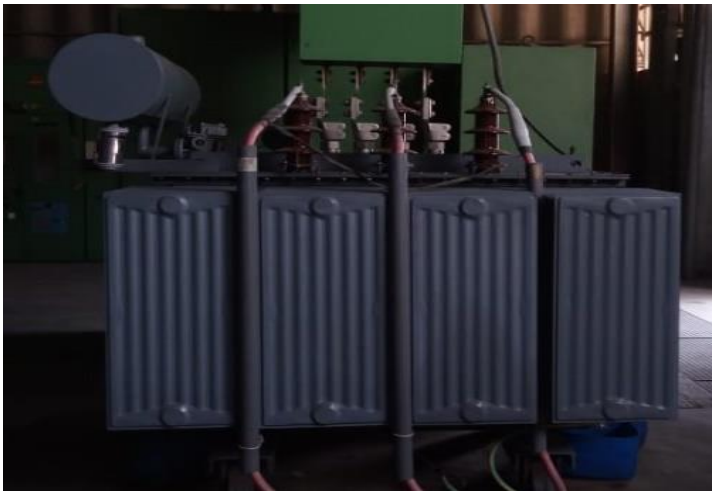
Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro Ohms al neutro por 1000 pies															Calibre (AWG o kcmil)
	X_L (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a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

Fuente: NEC, 2008

Anexo N°2. Placa de transformador TD-R1



. Fuente: Fotografía tomada durante inspección de equipos.



Fuente: Fotografía tomada durante inspección de equipos

Anexo N°3. Panel de distribución de transformador TD-R1

Fuente: Fotografía tomada durante inspección de equipos.

Anexo N°4. Pérdida de información en placa de motor

Fuente: Fotografía tomada durante inspección de equipos.

Anexo N°5. Horno de fusión A1



Fuente: Fotografía tomada durante inspección de equipos.

Anexo N°6. Datos del disyuntor de baja en cada transformador

Class		
<input type="radio"/> LVPCB	<input checked="" type="radio"/> ICCB	<input type="radio"/> MCCB
Breaker Mfr:	Breaker Type:	Breaker Style:
Cutler-Hammer	Magnum SB	SBS-E25
Standard:	Frame (A):	
ANSI	2500	

Fuente: Software EasyPower serie P2-18933-8L, 2022

Anexo N°7. Nomenclatura

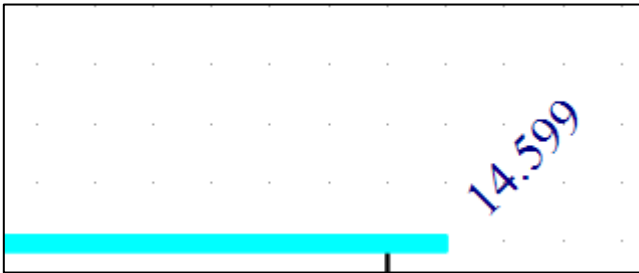
THE: Tecmo-Hunter Engineering

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

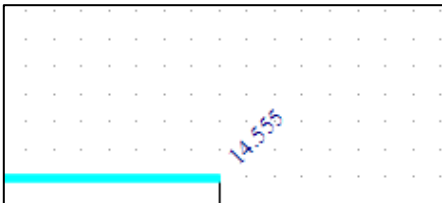
MCCB: Interruptores de caja moldeada

LVPCB: Interruptores automáticos de potencia de baja tensión

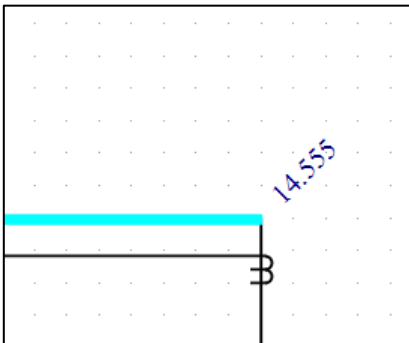
kVA: Kilovoltiamperios

Anexo N°8. Corriente de cortocircuito en buses

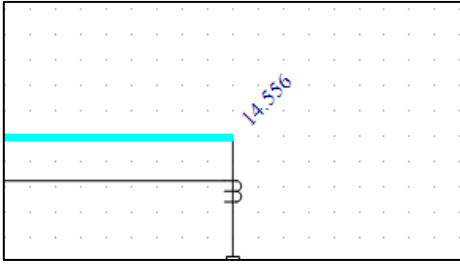
Fuente: EasyPower, Bus Principal.



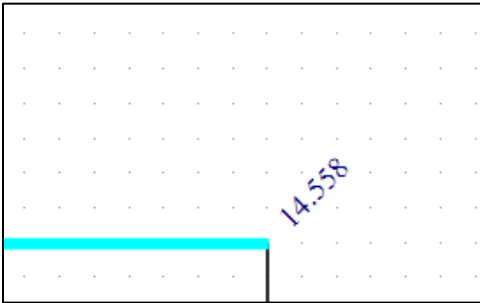
Fuente: EasyPower, Cabina A.



Fuente: EasyPower, Cabina B.



Fuente: EasyPower, Cabina C.



Fuente: EasyPower, Cabina D.

Anexo N°9 Carta Autorización



Ingeniería Eléctrica
Sede del Pacífico



**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**
(Trabajo colectivo)

Señores/as
Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Nombre completo de sustentantes	Número de identificación
Roy Elizondo Musillo	603410477
Fabrizio Henriquez Rosales	5-0378-0375

Nosotros en calidad de autores del trabajo de graduación titulado:

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

- Seminario de Graduación
 Proyecto de Graduación
 Tesis de Graduación

Presentado en la fecha Día/Mes/Año autorizamos a la Universidad Técnica Nacional, Sede _____, para que nuestro trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizamos Ver CAPÍTULO V, DISPOSICIONES, FINALES. Artículo 43. RTFG. Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	✓
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	✓
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	✓
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN con una cantidad de 200 a 500 palabras.	✓
Consulta electrónica con texto protegido	✓
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	✓
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	✓



Ingeniería Eléctrica
Sede del Pacífico



Por otra parte, declaramos que el trabajo que aquí presentamos es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma conjunta, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizamos que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional. Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autores del trabajo. Confiamos en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar nuestros derechos de propiedad intelectual.
Día: 23/01/2023

Nombre del estudiante	Cédula	Firma
Roy Elzondo Uchillo	6 03410477	
José Antonio Rodríguez Roca	5-0977-0375	

Glosario

- Transformador de potencia: Máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.
- Motor eléctrico: Dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.
- Par motor: Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia o, dicho de otro modo, la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo, o de pivote.
- Carga: Equivale al par motor que tiene que suministrar un motor, tanto eléctrico, como de combustión interna para vencer las resistencias que se oponen a su movimiento.
- Voltaje: La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Se mide en voltios (V).
- Corriente: es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas en el interior de este. Se mide en amperios (A).
- Potencia eléctrica: La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.
- Corriente directa (CD o CC): Flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial y carga eléctrica, que no cambia de sentido con el tiempo.
- Corriente alterna (CA): Corriente eléctrica que se caracteriza porque la magnitud y la dirección presentan una variación de tipo cíclico.

- Frecuencia: Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
- Frecuencia eléctrica: constituye un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo y puede abarcar desde uno hasta millones de ciclos por segundo o Hertz (Hz).
- Acometida: Instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la protección principal o medidor de energía de la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica.
- Sistema de anillo: Sistema utilizado para aumentar la fiabilidad de distribución eléctrica, ya que, si hay una avería en un punto del anillo, se puede mantener dicho servicio alimentando desde otro punto del anillo.
- Diagrama unifilar: es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella.
- Instalación eléctrica: conjunto de circuitos eléctricos que tiene como objetivo dotar de energía eléctrica a edificios, instalaciones, lugares públicos, infraestructuras, etc. Incluye los equipos necesarios para asegurar su correcto funcionamiento y la conexión con los aparatos eléctricos correspondientes.
- Eficiencia: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.
- Reactancia: Oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por inductores y condensadores.
- Impedancia: Es una medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión.

- Factor de potencia (FP): Medida de la eficiencia o rendimiento de un receptor o sistema eléctrico mediante la relación de potencia aparente (S) y potencia activa (P).
- Valor RMS: El valor RMS es el valor de voltaje o corriente en C.A. que produce el mismo efecto de disipación de calor que su equivalente de voltaje o corriente directa.
- Underwriter Laboratories (UL): Es una de las compañías de certificación de seguridad más antiguas.
- Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE): Asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y al desarrollo en áreas técnicas.
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC): Organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
- American National Standards Institute (ANSI): Organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.
- National Electrical Code (NEC) o NFPA 70: es un código estándar estadounidense para la instalación segura de instalaciones eléctricas.
- Switchgear: Equipo eléctrico de maniobra, entendiéndose por maniobra las acciones que permiten energizar o desenergizar o segregar un circuito o red eléctrica.
- La fuerza electromotriz (FEM): El voltaje inducido es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.
- Caballos de fuerza (HP): Se define como la potencia necesaria para elevar verticalmente a la velocidad de 1 pie/minuto un peso de 33 000 libras. Equivale a 745,7W de potencia.

- El sistema por unidad (p.u): Se define como la relación entre una cantidad y la cantidad base y se expresa como un decimal.
- Campo magnético: Es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos.
- Bifenilos policlorados (PCB'S): Son una serie de compuestos organoclorados, que pueden ocasionar daños en el ambiente.