



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Modelamiento de un sistema de protección eléctrica
en media tensión 13,8 – 22,9 kv para la empresa
Agrobananas del Perú s.r.l. aplicando el software
Digsilent”**

Autor:

Bach. Jeyser Antony Bernilla Reyes

Asesor:

Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

LAMBAYEQUE – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Modelamiento de un sistema de protección eléctrica
en media tensión 13,8 – 22,9 kv para la empresa
Agrobananas del Perú s.r.l. aplicando el software
Digsilent”**

Autor:

Bach. Jeyser Antony Bernilla Reyes

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	:	Dr. Amado Aguinaga Paz
SECRETARIO	:	Msc. Carlos Yupanqui Rodríguez
MIEMBRO	:	Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez
ASESOR	:	Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

LAMBAYEQUE – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

TITULO:

Modelamiento de un sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,9 kv para la empresa Agrobananas del Perú s.r.l. aplicando el software Digsilent”

CONTENIDOS

- CAPITULO I** : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II : MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III : MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV : PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN
CAPITULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Jeyser Antony Bernilla Reyes

Dr. Amado Aguinaga Paz
PRESIDENTE

Msc. Carlos Yupanqui Rodríguez
SECRETARIO

Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez
MIEMBRO

Msc. Jony Villalobos Cabrera
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Al único Dios del cielo y de la tierra, y a mi amado señor Jesús por cuidarme cada día de mi vida.

“Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia”.

Proverbios 1:6

Con todo mi amor y cariño a mi querida madre, a ti que me enseñaste el significado de la perseverancia, la entrega y el amor incondicional, todo lo que soy y aspiro ser se lo debo a ti mamá.

Elena Reyes de Bernilla

AGRADECIMIENTO

A mis queridos Hermanos Orlando, Segundo, José, Hugo, Alan, Edgardo y Gianina quienes me han apoyado de manera incondicional para lograr esta meta.

A todos los docentes de la gloriosa FIME por compartirme sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

Al Msc. Ingeniero Jony Villalobos Cabrera por su apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue desarrollar un modelo para el sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,9 kV para la empresa Agrobananas del Perú S.R.L., cumpliendo con los requisitos básicos de la ingeniería de protección eléctrica como: sensibilidad, seguridad, rapidez, selectividad y confiabilidad. El tipo de investigación empleado fue aplicada, ya que se aplicaron los conocimientos y teorías sobre la coordinación de protecciones empleando el software DigSilent Power Factory. Respecto al diseño de investigación esta fue experimental, ya que se realizó un análisis con diferentes parámetros para su adecuado modelado. De los resultados se obtuvo que el Recloser debe poseer una capacidad de corriente de interrupción de 630A, con una tensión de operación de 22 kV y que cuente con mínimo funciones de protección como de sobrecorriente de fase y tierra 50N/51N/50/51. La corriente de arranque del relé de protección del predio del suministro de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L., se ha establecido en función de la carga del suministro ($1,20 \times I_n$), que atenderá una demanda de 110 kW. Al ser un sistema de distribución se ha propuesto utilizar una curva IEC muy inversa, donde el relé debe soportar una corriente de arranque equivalente a 8 A. Las intensidades de corrientes máximas y mínimas de falla calculadas son: Corriente máxima en el punto de diseño 0,670 kA y en el punto más alejado a proteger 0,639 kA y corrientes mínimas de falla en el punto de diseño 0,419 kA y en el punto más alejado a proteger 0,395 kA. La línea 13,8 kV de tipo AAAC 3-1x50 mm² es la adecuada para transportar la potencia proyectada de 110 kW. Los valores de tensión se mantienen dentro de la tolerancia operando con factor de potencia superiores de 0,90 y de 0,95.

Palabras clave: *Coordinación de protecciones, corriente de cortocircuito, media tensión, DigSilent Power Factory.*

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a model for the 13,8 – 22,9 kV medium voltage electrical protection system for the company Agrobananas del Perú S.R.L., complying with the basic requirements of electrical protection engineering such as: sensitivity, safety, speed, selectivity and reliability. The type of research used was applied, since the knowledge and theories on the coordination of protections were applied using the DigSilent Power Factory software. Regarding the research design, this was experimental, since an analysis was carried out with different parameters for its adequate modeling. From the results it was obtained that the Recloser must have an interruption current capacity of 630A, with an operating voltage of 22 kV and that it has minimum protection functions such as phase and ground overcurrent 50N/51N/50/51. The starting current of the protection relay for the supply site of AGROBANANA DEL PERU S.R.L., has been established based on the supply load (1,20 X In), which will meet a demand of 110 kW. Being a distribution system, it has been proposed to use a very inverse IEC curve, where the relay must support a starting current equivalent to 8 A. The calculated maximum and minimum fault current intensities are: Maximum current at the design point 0,670 kA and at the furthest point to protect 0,639 kA and minimum fault currents at the design point 0,419 kA and at the furthest point to protect 0,395 kA. The AAAC 3-1x50 mm² type 13,8 kV line is suitable for transporting the projected power of 110 kW. The voltage values remain within the tolerance operating with power factors greater than 0,90 and 0,95.

Keywords: *Protection coordination, short-circuit current, medium voltage, DigSilent Power Factory.*

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.1.1. A nivel internacional	2
1.1.2. A nivel nacional	3
1.1.3. A nivel local	3
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	4
1.2.2. Delimitación temporal.....	4
1.3. Justificación e Importancia del estudio	4
1.3.1. Justificación Ambiental.....	4
1.3.2. Justificación Social.....	4
1.3.3. Justificación Científica.....	5
1.4. Limitaciones de la Investigación	5
1.5. Objetivos de estudio.....	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivo Específico	6

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de Estudios	7
2.1.1. A nivel Internacional.....	7
2.1.2. A nivel Nacional	9
2.1.3. A nivel Local.....	11
2.2. Sistemas de protección.....	13
2.2.1. Zonas de Protección	15
2.2.2. Elementos de los Sistemas de Protección	15
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	28
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	31
3.1. Tipo y diseño de investigación	31
3.2. Población y muestra.....	31
3.3. Técnicas de muestreo	31
3.4. Hipótesis	32
3.5. Variables - Operacionalización.....	32
3.6. Métodos y Técnicas de investigación	34
3.7. Descripción de los instrumentos utilizados.....	34
3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	35
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	36
4.1. Descripción del sistema propuesto.....	36
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	40
5.1. Selección de los equipos de protección eléctrica viables técnicamente que permitan reducir los daños en los equipos del sistema eléctrico.....	40
Alimentador A1029 13,8 kV - Subestación El Arenal.....	40
Línea 13,8 kV – Agrobananan del Perú S.R.L	40
Flujo de carga	41

Estudio de cortocircuito	44
5.1.1. Objetivos	44
5.1.2. Metodología	44
5.1.3. Casos Simulados	44
5.1.4. Resultados	47
Criterios para la coordinación de la protección	47
5.1.5. Criterios básicos de protección	47
5.1.6. Criterio de protección de sobrecorriente de fases (51p/50p).....	48
5.1.7. Criterio de protección de sobrecorriente de tierra (51n/50n)	50
5.1.8. Función de recierre del Recloser.....	50
Criterios de protección propuestos.....	50
5.2. Análisis del comportamiento de los principales indicadores de interrupción del sistema eléctrico.....	55
5.2.1. Metodología	55
5.2.2. Casos Simulados	56
5.2.3. Resultados	56
5.3. Evaluación de los parámetros de operación seleccionando los rangos más adecuados de operación, para el seleccionamiento de los elementos de protección ante cualquier falla que se presente en el sistema eléctrico de protección	57
5.4. Discusion de resultados.....	65
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1. Conclusiones.....	67
6.2. Recomendaciones	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	69
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estadística de Ocurrencia de Fallas Según el Tipo.....	21
Tabla 2 Estadística de Ocurrencia de Fallas de Acuerdo al Sitio	22
Tabla 3 Relés de sobrecorriente.....	27
Tabla 4 Operacionalización de variables	33
Tabla 5 Impedancia del Conductor Utilizado en el Proyecto	36
Tabla 6 Información de las Potencias de Cortocircuito Trifásica y Monofásica del Punto de Diseño.....	37
Tabla 7 Parámetros de Thévenin	37
Tabla 8 Impedancia de Secuencia de Conductores.....	41
Tabla 9 Perfil de Tensión en p.u.....	42
Tabla 10 Carga en Línea (%).....	43
Tabla 11 Niveles de Cortocircuito Trifásico	45
Tabla 12 Niveles de Cortocircuito Monofásico.....	46
Tabla 13 Parámetros de Ajuste del Elemento de Protección Existente del Alimentador 1029	51
Tabla 14 Ajuste de sobrecorriente de fases	52
Tabla 15 Precisión de los Sensores.....	54
Tabla 16 Ajuste de Sobrecorriente de Tierra.....	54
Tabla 17 Ajuste SEF.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema para un Sistema de Potencia	14
Figura 2 Zonas de Protección	15
Figura 3 Cortocircuito Unipolar a Tierra.....	19
Figura 4 Cortocircuito bipolar sin contacto a tierra.....	20
Figura 5 Cortocircuito Bipolar con Contacto a Tierra.....	20
Figura 6 Cortocircuito Tripolar	21
Figura 7 Curvas Características de Funcionamiento de los Relés de Sobreampacidad	26
Figura 8 Perfil de Tensión a lo Largo de Línea MT 13,8 kV con FP 0,8.....	42
Figura 9 Nivel de Cortocircuito Trifásico en Baja Tensión	59
Figura 10 Nivel de Cortocircuito Trifásico, Línea 13,8 kV	60
Figura 11 Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 10 kV - 0, 100, 200 y 600 Ohm.....	61
Figura 12 Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 13,8kV - 3000 ohm SEF	63
Figura 13 Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 10kV - 0, 100, 200 y 600 Ohm con Ajuste en Recloser del Alimentador Propuesto	64

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la humanidad a nivel mundial depende directa e indirectamente de la electricidad; la misma que viene a ser un servicio de prioridad básica para el desarrollo de las diferentes actividades económicas y la obtención de productos finales para las familias, en el comercio y las industrias, que contribuye significativamente al mejoramiento de la calidad de vida en la sociedad. Partiendo de esta necesidad es que se inició con la implementación de múltiples empresas para generación, transformación y distribución de energía eléctrica en todo el globo terrestre (Cholango Quishpe, 2019).

El suministro de este servicio eléctrico en forma continua puede presentar interferencias por múltiples razones que pueden ocasionar fallas e interrupciones, dichas causas pueden ser: líneas a tierra, aumentos de armónicos, deterioro del aislamiento, descargas atmosféricas, árboles que cayeron en las líneas, ramas en contacto originado por vientos fuertes, contacto con animales, terremotos y contaminación, entre otros; adicionalmente los accidentes de vehículos sobre la infraestructura eléctrica, es decir, equipos energizados o postes, incluyendo los daños originados por personas inescrupulosas a las instalaciones y equipamiento del sistema eléctrico de distribución (Andrade Puma, 2019).

La presente investigación tiene por objetivo la formulación de un modelo para el sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,3 kV para la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. empleando el software DigSilent con el fin de obtener un sistema eléctrico lo más seguro y eficiente posible, para reducir el número de posibles fallas del tipo eléctrico, las mismas que ocasionarían problemas como la desenergización parcial o total del sistema eléctrico y paradas imprevistas dando como consecuencia pérdida de horas de producción; por lo tanto, es importante elaborar un adecuado modelado para optimizar lo antes mencionado.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. A nivel internacional

Recientemente, la aplicación de fuentes de energía renovable en los competitivos mercados de electricidad a nivel mundial, ha ganado una atención significativa debido a las preocupaciones económicas y ambientales asociadas con los recursos energéticos basados en combustibles fósiles, así como al agotamiento de dichos recursos (Howell et al., 2017). La microrred son los recursos energéticos combinados que pueden consistir en recursos energéticos distribuidos, múltiples cargas eléctricas y elementos de almacenaje de electricidad. Se puede conectar a la red eléctrica y tiene la capacidad de operar en paralelo o en forma aislada desde la red de distribución (Balamurugan et al., 2012).

Todo sistema de potencia consta de tres partes principales: generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y funciona a niveles de voltaje que van desde 220 V hasta 400 kV o más. Además, las líneas de suministro, que transmiten energía eléctrica, no están aisladas. Estas líneas muestran irregularidades con más frecuencia que otras partes del sistema eléctrico debido a varios problemas, como rayos, que provocan sobrecorriente. El desequilibrio debido a estas irregularidades interrumpe el comportamiento de la energía y, además, conduce al deterioro de los demás accesorios vinculados al sistema de energía. Para eliminar estos problemas, se deben tener en cuenta las medidas de protección adecuadas (Wadood et al., 2018).

1.1.2. A nivel nacional

En el Perú, el sector eléctrico desde el año 1992 se modernizo obedeciendo a dos criterios importantes, considerando el ámbito externo como interno. Con relación al ámbito interno, existía una mala gestión de las concesionarias eléctricas públicas, como la mala calidad del servicio, un servicio malo, técnicas no eficientes, además de tener cuantiosas pérdidas en energía y de costos. En el ámbito externo, se tuvo conocimiento de ciertas reformas que países desarrollados buscaban implementar para mejorar la confiabilidad en sus sistemas eléctricos de distribución (Canahualpa Iriarte, 2019).

1.1.3. A nivel local

La empresa Agrobananas del Perú S.R.L con el fin de ampliar sus actividades productivas ha implementado un nuevo sistema de utilización en 13,8 – 22,9 kV, trifásico, en uno de sus fundos adquiridos en la localidad de La Huaca ubicado en el distrito de Paita en la región de Piura, el cual se encuentra dentro de los límites de operación de la empresa concesionaria Electronoroeste S.A., la misma que otorga mediante la documentación pertinente la potencia de cortocircuito en el lado de 13,8 kV del alimentador A-1029, a fin de ser considerado en el diseño para la implementación de sistema de protección de dicho sistema de utilización y con ello proteger contra fallas trifásicas y fallas monofásicas a tierra, y no interrumpir el continuo suministro de energía en las redes de Electronoroeste S.A.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué forma se podrá proteger el sistema eléctrico en media tensión 13,8 - 22,9 kV en la industria Agrobananas del Perú S.R.L. permitiendo reducir el daño en los equipos?

1.2.1. Delimitación espacial

El presente proyecto de investigación se desarrollará dentro del ámbito de la empresa Agrobananas del Perú S.R.L, específicamente en el nuevo proyecto que busca desarrollar en la ciudad de Paita, departamento de Piura.

1.2.2. Delimitación temporal

El tiempo estimado para desarrollar el presente proyecto de investigación es de 3 meses, considerando el mes de abril, mayo y junio del 2022.

1.3. Justificación e Importancia del estudio

1.3.1. Justificación Ambiental

Su justificación ambiental se sustenta en la reducción de fallas que obliguen al uso de sistemas de emergencias en áreas críticas dentro de una línea de producción que no pueden detenerse; por lo tanto, se requiere el consumo de combustibles fósiles para el funcionamiento en casos emergencia por largos periodos de tiempo; que origina la producción de CO₂ siendo el agente principal que incrementa con mayor intensidad el grado ODP (destrucción de la capa de ozono) que otros elementos y/o compuestos.

1.3.2. Justificación Social

La empresa Agrobananas del Perú S.R.L. por medio del presente estudio plantea en modelar un óptimo sistema de protección eléctrica de media tensión que buscará dar solución al problema actual muy rutinario y frecuente que atraviesa la empresa, al formular un sistema de protección eléctrica que nos permite reducir al máximo posible el número de fallas que puedan ocurrir ocasionando paradas imprevistas de producción y/o horas muertas de trabajo que afecta a la empresa y trabajadores,

aislando la falla permitiendo mantener el mayor porcentaje del sistema eléctrico en funcionamiento estable.

1.3.3. Justificación Científica

Los sistemas eléctricos generalmente se encuentran operando en forma continua, en condiciones normales de operación o en estado estable; es de vital importancia hacer énfasis en el desarrollo de sistemas de protección eléctrica, que nos permita reducir el número de ocurrencias de supervisión y de control para corregir alguna falla eléctrica y así evitar problemas o colapsos del tipo parcial o total. Es por ello, que el presente proyecto se justifica científicamente que, con el desarrollo de un sistema de protección de media tensión utilizando el software DigSilent y que puede ser aplicado a las diferentes situaciones similares en otros sectores de producción basadas y sustentadas en conceptos importantes y teorías respecto al diseño de coordinación de protección eléctrica, además de ser un aporte para otras investigaciones que se centren en el diseño y variantes de protección eléctrica.

1.4. Limitaciones de la Investigación

Una de las limitaciones al realizar la investigación fue conseguir la información pertinente para el modelamiento del sistema de coordinación de protecciones, ya que la empresa concesionaria encargada de brindar el servicio solicitó la presentación de múltiples documentos y esto generó demoras al obtener respuestas.

1.5. Objetivos de estudio

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo para el sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,9 kV de la empresa Agrobanananas del Perú S.R.L., cumpliendo con los requisitos básicos de la ingeniería de protección eléctrica como: sensibilidad, seguridad, rapidez, selectividad y confiabilidad.

1.5.2. Objetivo Específico

- a) Seleccionar adecuadamente los equipos de protección eléctrica viables técnicamente que permitan reducir los daños en los equipos del sistema eléctrico.
- b) Analizar el comportamiento de los principales indicadores de interrupción del sistema eléctrico en mención, como; intensidad de corriente máximas y mínimas de falla.
- c) Evaluar los parámetros de operación seleccionando los rangos más adecuados de operación, para el seleccionamiento de los elementos de protección ante cualquier falla que se presente en el sistema eléctrico de protección.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. A nivel Internacional

Perugachi Vásquez (2019) en su investigación “Estudio de la Coordinación de Protecciones de los Alimentadores de la Subestación Alpachaca de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. EMELNORTE” planteó como objetivo realizar el análisis para decidir la coordinación de protección de los alimentadores pertenecientes a la subestación “Alpachaca”, para lo cual aplicó la data técnica del sistema eléctrico, de los elementos de protección y la metodología de coordinación de protecciones analizando criterios de coordinación en relación de la experiencia de los operarios del área de protecciones que pertenecen al Departamento de Calidad de Electricidad y estudios Eléctricos de EMELNORTE buscando proteger el sistema eléctrico de distribución. Para llevar a cabo el análisis, se empleó software como CymDist para poder simular y determinar las corrientes de cortocircuito en los alimentadores y CymTCC que sirvió para elaborar las curvas de configuración de coordinación de los dispositivos de protección y ArcGIS el cual sirvió para visualizar la adecuada y estratégica ubicación de cada elemento de protección.

Anchundia Morales et al. (2019) en su artículo titulado “Estudio de Coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software DigSilent Power Factory” planteó el objetivo de llevar a cabo un estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación mencionada empleando el programa descrito. El diseño empleado para la investigación, fue del tipo no experimental, longitudinal, con carácter descriptivo, de campo y orientado a los transformadores y alimentadores de la Subestación Tachina, donde se ajustaron las funciones de protección 50/50N y

51/51N, siendo coordinadas empleando el software DigSilent Power Factory. Para obtener resultados se aplicaron ecuaciones matemáticas y luego, para la interpretación de los resultados se hizo un análisis metodológico. Del análisis se determinó que el factor de utilización obtenido era de 32,25% como resultado de emplear la carga máxima para el transformador con un 67,75% de reserva. Se obtuvo una variación óptima en relación al rango de tensión en las barras, con valores por debajo de $\pm 5\%$, con un ángulo comprendido en un valor de $\pm 30^\circ$, logrando cumplir con normativa actual. Los autores dieron a entender que el programa DigSilent Power Factory es realmente una herramienta potente y útil que facilita en gran manera realizar simulaciones y plantear casos de estudio, reduciendo los tiempos en los cálculos y entrega de resultados, ya que se incorpora las normativas IEEE, ANSI e IEC.

Chere Quiñónez et al. (2020) en su artículo “Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas en Celcep Termoesmeraldas II aplicando el Software DigSilent Power Factory”, los autores se enfocaron en entregar como resultados aquellos parámetros de calibración y ajuste de los réles contra sobrecorriente, lo que provocaría un incremento de la coordinación de protección del sistema eléctrico de potencia (SEP) para la central en mención, siendo necesario conocer las propiedades y características funcionales del SEP, sea en condiciones de normal operación y en contingencia, en operación normal a máxima demanda o en los casos de cortocircuitos o fallas. Para el modelado el SEP se utilizó la herramienta DigSilent Power Factory, logrando mostrar los módulos de flujos de carga, estudio de cortocircuito y coordinación de protección eléctrica. Se presentaron 3 casos en relación al enfoque en la coordinación de protección contra sobrecorriente, lo que permitió definir las zonas de óptima operación para los réles de protección

localizados en las barras donde se enlazan los equipos de generación y la carga, la misma que se refleja y alimenta la barra de la línea de transmisión Esmeraldas-Santo Domingo, acoplando de esa manera a la Central Termoesmeraldas II con el Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

2.1.2. A nivel Nacional

Avila Arteaga (2020) en su tesis “Diseño de la Coordinación de protecciones de la Red Eléctrica en Baja Tensión de la Obra: Tramo III-B del proyecto de mejoramiento de la Av. Nestor Gambetta – Callao” propuso optimizar el sistema de la distribución de energía eléctrica en BT de la obra en mención, donde se elaboró el diseño del estudio de coordinación de protección empleando la definición de selectividad, filiación y limitación para dar seguridad a la administración y continuo servicio del suministro eléctrico. Es por ello, que se hizo uso de una poderosa herramienta para realizar el análisis, brindada por Schneider Electric denominada “Ecodial Advance Calculation”, sirviendo para elaborar el diseño y cálculo para la coordinación de protección utilizando “interruptores automáticos” del tipo electrónico, ya que el programa cuenta con una base de información de todas las propiedades de los interruptores que se han ido eligiendo, esto sirvió de mucha ayuda para poder llevar a cabo el estudio en el tiempo más corto posible. Adicionalmente, logró cumplir con la normativa internacional siendo compatible con la normativa nacional empleada en el país. Llegando a automatizar la coordinación de protección de acuerdo con la programación de los gráficos de las curvas de disparo de los “interruptores automáticos” que forman parte de los circuitos en los tableros del sistema eléctrico logrando obtener una adecuada selectividad.

Cardenas Lovon (2019) en su tesis “Estudio de la Coordinación del Sistema de protección de TISUR considerando la ampliación del muelle F”, propuso realizar la coordinación y ajustes necesarios de la protección eléctrica para la puesta en marcha del Muelle F, brindando de forma rápida, el poder aislar cualquier falla eléctrica generada en el sistema, de tal manera que se mantenga en operación y funcionamiento la mayor parte del sistema eléctrico involucrado, minimizando los daños en los equipos, reduciendo el tiempo y costo de las interrupciones, además como el de reparación y problemas afines que puedan generarse. El análisis se realizó en el nivel de tensión de 0,23 kV, empezando en la Subestación Sala Eléctrica que posee cuatro celdas de salida, las mismas que distribuirán de forma radial a las subestaciones restantes del proyecto. Para ello, se realizará y analizará el flujo de potencia del sistema eléctrico, el estudio de cortocircuito y la coordinación de protecciones apropiado, empleando el software DigSilent Power Factory v15.1.7.

Lozada Cruzado & Pongo Santos (2019) en su tesis “Estudio de la Coordinación de protecciones del sistema eléctrico en 22,9 kV para la Planta Procesadora en Shanango, Bellavista, Jaén” plantearon como objetivo desarrollar el estudio de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico en 22,9 kV para la planta mencionada. Para ello, se hizo un análisis en las instalaciones en media tensión de dicha planta, con la finalidad de proteger de manera eficaz a los importantes dispositivos eléctricos del sistema en mención contra defectos y fallas que puedan llegar a presentarse en el desarrollo de la investigación , además del personal operativo. Se utilizó el software DigSilent Power Factory, realizando simulaciones y un análisis de flujo de potencia y cortocircuito. Logrando verificar que los niveles de voltaje están dentro del rango; el mismo que está en el rango $\pm 5\%$ regulada por la NTCSE. Adicionalmente, los valores máximos de corriente de cortocircuito en el

sistema eléctrico en 22,9 kV considerado para una falla del tipo trifásica es de 2,9 kA, donde este tipo de falla es la más crítica de la planta, siendo menor a la corriente dinámica y térmica del equipo de protección (menor a 5 kA), indicando que el sistema no fallará. Al realizar la investigación se logro mostrar que el sistema no ha sido dimensionado adecuadamente, el fusible tipo K, dimensionado en 50 A, no cumplía la correcta coordinación del sistema, debido al bajo amperaje, donde el valor adecuado debe ser de 65 A, además el recloser actual del alimentador NJA202 no está coordinado con el recloser de dicha planta procesadora.

2.1.3. A nivel Local

Saavedra Vásquez (2021) en su tesis “Estudio de Coordinación de protecciones de la Nueva Central Eólica de 18 MVA Duna Huambos para la conexión al Sistema Interconectado Nacional” propuso realizar el diseño de coordinación de protección para la Central Eólica mencionada para su conexión al SEIN. Se inició analizando el sistema de potencia y sus parámetros sin tener en cuenta la central eólica, luego se lleva a cabo un análisis de los parámetros del sistema de potencia considerando la central eólica, posteriormente, se evaluó la aplicación de los dispositivos de protección, teniendo en cuenta los parámetros calculados anticipadamente, para luego realizar el simulado de una adecuada coordinación de protección empleando el programa DigSilent.

Saavedra Ugaz (2021) en su tesis “Estudio de coordinación de protecciones para mejorar la calidad de servicio en el sistema eléctrico rural Chulucanas – Quiroz 22,9 kV”, propuso como objetivo realizar el diseño de coordinación de protección con la finalidad de perfeccionar la calidad de servicio eléctrico rural en Chulucanas, ubicado en Quiroz para el nivel de tensión 22,9 kV. Inicialmente, se realizó una exposición

de la actual situación del funcionamiento del sistema eléctrico perteneciente de la red de Chulucanas, en Quiroz, conformado por aquellos alimentadores A1016/A1017. Seguidamente, se realizó el análisis para el cortocircuito y para el flujo de carga, empleando las relaciones de los valores eléctricos, obtenidos por las propiedades resistivas, capacitivas e inductivas propias de la red; logrando con ello, poder hacer los arreglos suficientes en el sistema de protección, esto es, utilizar los relés que sirven para controlar el nivel de sobrecorriente entre cada fase y tierra (50/50N, 51/51N), considerando los reconectores y los interruptores.

Para llevar a cabo el análisis, se tuvo en consideración la operatividad del sistema donde se logró evaluar su respuesta, elaborando el registro de los parámetros de operación, en función a la corriente y tensión eléctrica. Por último, se dimensionó y seleccionó el equipamiento para protección del sistema eléctrico, de acuerdo a los parámetros de funcionamiento, seleccionando los interruptores, las protecciones de sobrecorriente para las fases 50P y 51P, de tierra 50N y 51N, además de secuencia negativa.

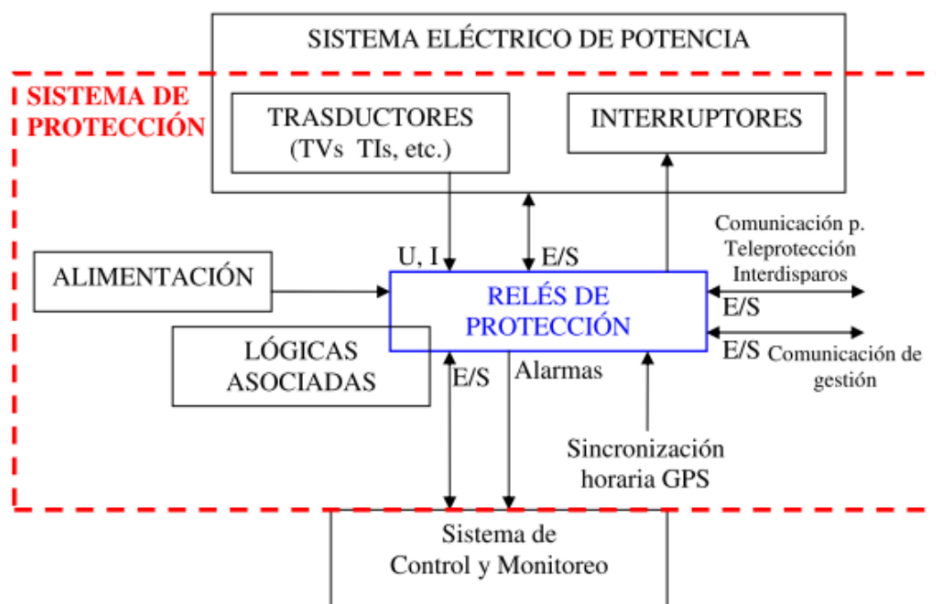
2.2. Sistemas de protección

Estos sistemas eléctricos tienen la función de suministrar electricidad a los diferentes clientes consumidores de manera continua, confiable y eficiente dentro de su ámbito de influencia, donde prima el objetivo de mantener el servicio en forma continua y con los niveles de calidad correctos según la normatividad vigente, debido a que dichos sistemas son susceptibles a las pérdidas de energía, caída de voltaje y sobrevoltajes, donde estas son impredecibles ya que es prácticamente imposible técnicamente eludir los desastres naturales, físicos, errores por operación o fallas en la infraestructura. Debido a lo antes mencionado, es importante que los sistemas de protección eléctrica cuenten con el adecuado equipamiento de protección, con la capacidad de descubrir eventos anormales que puedan ocasionarse para así poder tener una respuesta inmediata.

Todo el conjunto de componentes que cumplen el objetivo de vigilar por alguna falla en la red de energía eléctrica es llamado sistema de coordinación de protección y la ciencia que los estudia y aplica es la protección de los sistemas de potencia, aplicando y ajustando a los elementos de protección obteniendo la sensibilidad máxima a la falla y en condiciones de operación anormal (Barrantes Pinela, 2011).

Figura 1

Esquema para un Sistema de Potencia



Nota: Tomada de (Martínez Cabrera, 2011)

Es importante e indispensable un sistema de protección, el mismo que servirá para reducir o eliminar de la forma más eficiente posible cualquier falla que pueda presentarse, donde su finalidad es:

- Para reducir las pérdidas de carácter económico, se debe aislar rápidamente la falla.
- Para reducir y evitar pérdidas, se debe dar la alerta de las inadecuadas condiciones de funcionamiento del sistema, además de tomar acciones del tipo preventivas.
- Para lograr evitar pérdidas económicas y fallas, se debe alertar respecto al inadecuado estado del equipamiento.

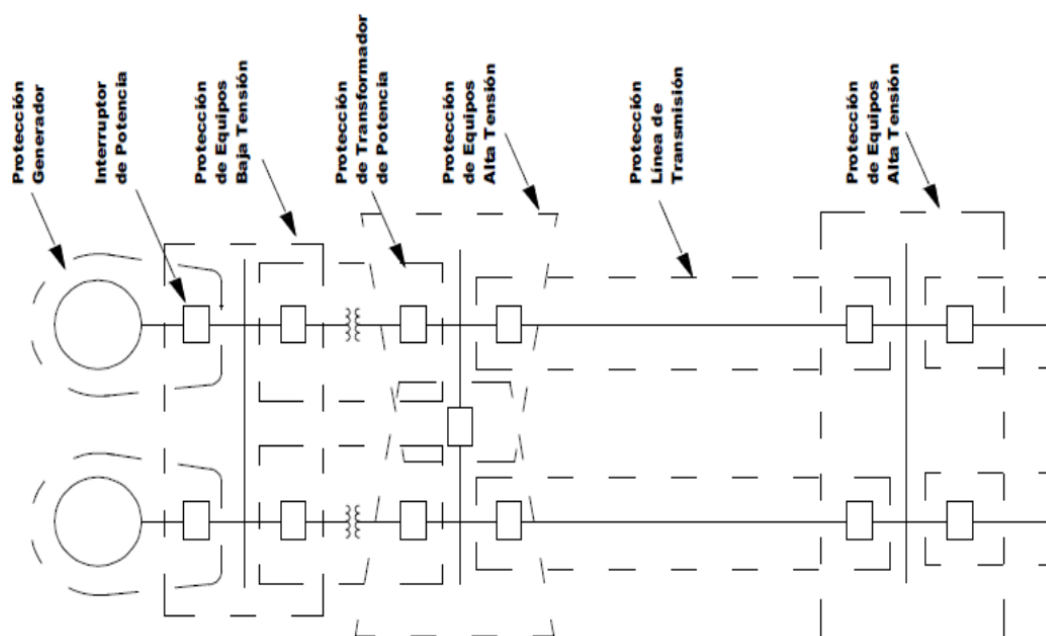
Todo sistema de potencia se expone a múltiples tipos de fallos, donde la probabilidad de que ocurran estos fallos, se puede calcular de forma estadística. El SEIN, mediante su estadística empleada muestra una cantidad alta de fallos en los sistemas de generación y de transmisión (COES SINAC, 2018).

2.2.1. Zonas de Protección

Según COES SINAC (2018), para poder reconocer la coordinación de protección, es importante realizar una división por zonas. Instalando interruptores en las fronteras de las zonas de protección, para que actúen de forma instantánea ante una falla o anomalía con sus transformadores de voltaje y corriente que puedan identificar los cambios tanto de voltaje como de amperaje, además de servir para alimentar a los relés de protección. De modo que, si logra ocurrir un fallo, dichos relés emitirán la señal de aperturar los interruptores, donde se aísla la zona donde ocurrió el fallo.

Figura 2

Zonas de Protección



Nota: Tomada de (COES SINAC, 2018)

2.2.2. Elementos de los Sistemas de Protección

De acuerdo con la Figura 2, todo sistema de protección tiene diferentes elementos, donde cada uno tiene su función definida. Los elementos pueden ser: Interruptores de potencia, relés de protección, transformadores de amperaje y voltaje, fuentes de

alimentación para los circuitos de protección, empalmes para comunicar los relés de las diferentes estaciones y adicionalmente, cableado para el control.

De acuerdo con COES SINAC (2018), un sistema de protección es realmente importante, ya que se debe diseñar de modo que se especifique cada elemento de forma correcta obteniendo la mejor opción posible. Dichos elementos trabajan y operan en equipo, entonces, si uno de ellos llega a fallar, se tendría como resultado un mal funcionamiento del sistema de potencia.

2.2.2.1. Protección Sistemática de la Protección

Toda la red de energía eléctrica debe poseer un sistema de protección que tenga la capacidad de reaccionar rápidamente ante un fallo, es por ello, que se establecen las siguientes operaciones como protección principal, protección de respaldo, protección preventiva y un tipo de protección incorporada al equipamiento. Según COES SINAC (2018):

Protección Preventiva

Es aquella con la capacidad de prever un fallo dentro del sistema mediante señales de alerta, esto es, deben actuar anticipadamente en el instante en que falla se presente.

Protección Incorporada en el Equipo

Son elementos que vienen incorporados en el equipamiento, por ende, dichos dispositivos vienen instalados de fábrica. Dicha protección es determinada por el fabricante, teniendo en cuenta la experiencia para el diseño, esto es necesario para brindar las garantías del producto ofrecido.

Protección Principal

En relación a esta protección, es la que actúa al inicio de la falla dentro del sistema de protección, dicha protección debe poseer la capacidad de reaccionar de forma instantánea.

Protección de Respaldo

Esta protección actúa seguidamente a la protección principal del sistema de protección, esta posee un tiempo de retardo, de modo que actúa posteriormente a la protección principal. Para lograr este comportamiento en la protección, se hace mediante la coordinación de protección, para obtener el mejor resultado y óptimo rendimiento.

Comportamiento de los Sistemas de Protección

Todo sistema o plan de protección debe poseer las siguientes cualidades para lograr cumplir con sus respectivas funciones de forma eficiente:

a) Sensibilidad

Característica que posee un dispositivo de protección para identificar un fallo por más mínimo que este fuese, también de tener la capacidad para diferenciar un evento de fallo con un evento de no fallo.

b) Selectividad

Característica que sirve para identificar el fallo en el interior de la zona de protección. Para lograr evitar inconvenientes y retardos, además de reconocer la zona de fallo.

c) Velocidad

Característica de los dispositivos que tienen para actuar en el mínimo tiempo posible frente a un fallo, para minimizar los daños en el sistema.

d) Fiabilidad

Característica que posee un dispositivo para actuar de forma eficiente y correcta cuando sea pertinente, aunque el escenario no sea favorable para poder detectarlo.

e) Seguridad

Característica que posee un dispositivo de protección a la hora de actuar frente a un fallo inesperado, logrando aislar la zona de protección.

Perturbaciones en el Sistema Eléctrico

Son variaciones que se presentan en la red energética con respecto a su operación y funcionamiento normal, estos tienen múltiples motivos, donde se detallan los diferentes tipos de perturbaciones en el sistema (Barrantes Pinela, 2011).

Sobrecargas

Ocurre cuando el valor de amperaje es más alto que el amperaje nominal, los dispositivos o elementos del sistema se logran diseñar considerando dicho valor máximo de corriente. Dichos elementos poseen un factor de seguridad, esto es, la capacidad de aguantar dichos valores elevados de corriente, sin sufrir daños considerables, pero dependiendo del valor de la corriente de sobrecarga y del tiempo que está dure. Este fenómeno llamado sobrecarga se manifiesta con sobrecalentamiento en el cableado, debido a que el calor producido es directamente proporcional al cuadrado del amperaje, y si el tiempo de fallo es

prolongado puede traer como consecuencia la destrucción y/o acortamiento de la vida útil de las instalaciones (Barrantes Pinela, 2011).

Cortocircuitos

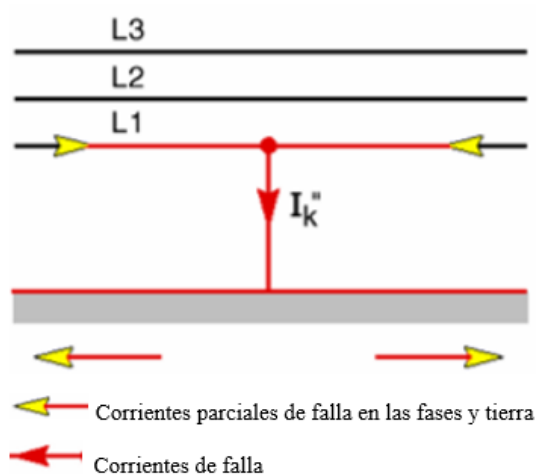
Es una falla que ocurre entre fase-fase o fase-tierra cuando se ponen en contacto; lo que genera intensidades elevadas de amperaje, y por consiguiente puede llegar a dañar o destruir los dispositivos, caídas de voltaje, inestabilidad y además de esfuerzos electromecánicos elevados (Barrantes Pinela, 2011).

Se tienen 4 tipos de cortocircuito y son:

- ✓ **Monofásica a tierra:** Es un cableado que está en contacto con el sistema de puesta a tierra. Son los más causados.

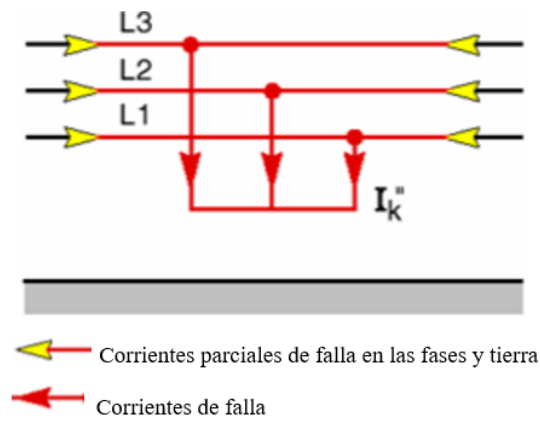
Figura 3

Cortocircuito Unipolar a Tierra



Nota: Tomada de (Roeper, 1985)

- ✓ **Bifásico:** Son dos cableados de fase viva que se encuentran en contacto. Si este tipo de falla logra ocurrir próximo a un generador, dichas corrientes de fallas generadas son demasiado elevadas.

Figura 6*Cortocircuito Tripolar**Nota:* Tomada de (Roeper, 1985)

De acuerdo con estudios estadísticos, se dice que las fallas más comunes en una red energética son las monofásicas, dicha información se puede apreciar en la Tabla 1, y el área o sector donde más ocurren son en las líneas o cableado de transmisión, la información se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 1*Estadística de Ocurrencia de Fallas Según el Tipo*

Tipo de Falla	Total (%)
Monofásica	70 – 80
Bifásica a Tierra	17 – 10
Bifásica	10 – 8
Trifásica	3 – 2

Nota: Tomada de (Carrillo Caicedo, 2007)

Tabla 2*Estadística de Ocurrencia de Fallas de Acuerdo al Sitio*

Sitio de la Falla	Total (%)
Línea de transmisión	50
Cables	10
Equipos de protección	15
Transformadores	12
Transformadores de corriente y potencial	2
Equipos de control	3
Otros	8

Nota: Tomada de (Carrillo Caicedo, 2007)

Es muy importante calcular adecuadamente las corrientes de cortocircuito en el análisis y estudio de una red energética de potencia, porque brinda la información suficiente para el diseño adecuado del tipo de cableado, las barras y demás elementos de protección (Barrantes Pinela, 2011).

Sobretensiones

Se debe a la detección de un alto o elevado voltaje, esto es, que sobrepasan los límites permisibles en una red de energía eléctrica, donde pueden ser generadas debido al equipamiento que forma parte de la red de potencia u ocasionada por descargas atmosféricas (rayos), donde el efecto originado es el desperfecto del aislante y arcos eléctricos (Barrantes Pinela, 2011).

Este tipo de falla, se puede clasificar en 4 clases y que son las siguientes:

- ✓ **Tensión de servicio:** Este tipo de falla se debe a que la red de energía de potencia experimenta diferenciales de tensión, en relación al diseño del aislante, es considerada tensión máxima constante de la red.

- ✓ **Sobretensiones internas temporales:** Se deben considerar debido a su importancia, estas dependen de las propiedades del sistema de pararrayos, siempre que no excedan de 1.5 veces el voltaje de servicio.
- ✓ **Sobretensiones internas de maniobra:** Se originan de forma frecuente debido a las maniobras hechas en los interruptores pero que son de duración corta, generadas en maniobras de desconexión, conexión y reconexión en líneas o cableados en vacío.
- ✓ **Sobretensiones externas o atmosféricas:** El mismo nombre lo indica, se producen a causa de las características atmosféricas, son de una duración breve, y son menores que las sobretensiones de maniobra.

Subtensiones

Se puede decir que son los voltajes que están por debajo de los límites permisibles, el problema se produce, ya que, al mantenerse la carga, se obtiene un aumento de corriente, generando una sobrecorriente o sobreintensidad (Barrantes Pinela, 2011).

Desequilibrio

Un sistema o red de energía puede estar desequilibrado cuando la ampacidad está desfasada en ángulo y/o magnitud, se originan por la repartición desigual de las potencias o cargas, aunque también se pueden provocar por sucesos de la propia red (Barrantes Pinela, 2011).

Retornos de energía

Barrantes (2011), la define como aquella energía que posee un solo sentido y este no debe ser contrario, lo cual se puede determinar considerando los criterios siguientes:

Los aportantes de energía son los generadores y estos la entregan a las barras.

Las encargadas de transportar o llevar la electricidad a las subestaciones son las líneas o cableado de Alta Tensión (AT).

La alimentación de energía eléctrica al sistema de distribución es llevada a cabo por las subestaciones.

Ajuste de protecciones de sobrecorriente

La protección de sobre corriente mide la corriente de cada fase y la corriente homopolar, con la finalidad de detectar sobrecorriente que se puede producir en una falla polifásica o monofásica. Se usa como protección principal en alimentadores radiales de distribución y en transformadores de baja potencia, y como protección de respaldo en equipos de más importantes del sistema eléctrico como son los transformadores, generadores, líneas de transmisión entre otros.

Entre las funciones de protección de sobrecorriente que más se usan para sistemas de redes distribución son los siguientes:

Funciones 50/51 – 50N/51N

Permiten medir de forma permanente la ampacidad de fase por fase con el objetivo de descubrir la sobrecorriente que pueda originarse en un short circuit o cortocircuito. El tiempo para que actúe este tipo de protección, se define en función o relación al valor de la ampacidad, definiéndose como:

- Cuando se llega al umbral calibrado previamente, es de tiempo definido. Su operación para dichos casos logra ser breve, depende de la función 50, o cronometrado, depende de la función 51.
- Su operación está en función del tiempo, es de tiempo inverso y se emplea la función exponencial siguiente para poder establecerla.

$$t_{OP} = \left(\frac{A}{\left(\frac{I_{OP}}{I_S} \right)^B - C} + D \right) * TMS$$

Donde:

t_{OP} : Tiempo en que actúa el Relé (variable dependiente).

A, B, C, D : Parámetro definido de la curva característica de funcionamiento para el Relé.

I_{OP} : Ampacidad que mide el Relé (variable independiente).

I_S : Ampacidad de arranque del Relé.

TMS : Constante de ajuste o dial del Relé.

Se define lo siguiente para poder ajustar el relé:

Función (51)

La ampacidad de arranque del Relé (I_S) es el umbral de la ampacidad de funcionamiento del relé.

El Dial o TMS , es aquel parámetro que logra definir aquellos tiempos de funcionamiento de acuerdo a la curva característica.

Función (50)

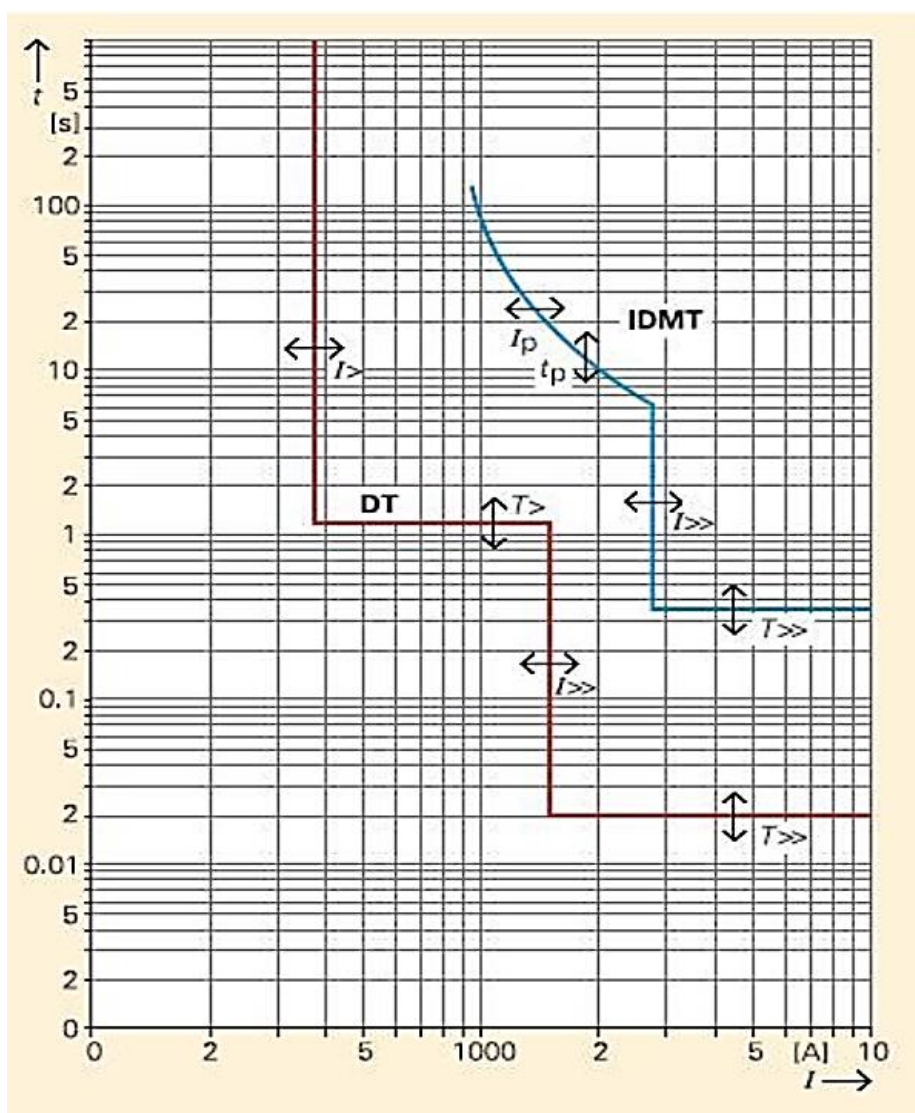
La ampacidad de arranque del Relé (I_S) es el umbral de la ampacidad de funcionamiento del relé.

Aunque se dice que es una función momentánea por concepto (ANSI 50), se puede hacer posible cronometrar su actuación de acuerdo a la conveniencia.

Los ajustes del relé para sobreampacidad de tiempo inverso (función 51), se puede ver en la Figura 7, que al combinarse con la función instantánea 50, pudiendo compararse con un relé de sobreampacidad de un definido tiempo considerando dos tipos de umbrales de funcionamiento (función 50/función 51).

Figura 7

Curvas Características de Funcionamiento de los Relés de Sobreampacidad



Nota: Tomada de (COES SINAC, 2018)

Los parámetros A, B, C y D; se obtienen de acuerdo a la Tabla 3, asociados a los parámetros del relé, que se establecen de acuerdo a las normas. Dichos valores de los parámetros se dan de acuerdo a la característica de tiempo inverso.

Tabla 3

Relés de sobrecorriente

Característica	IEC/BS				ANSI/IEEE				
		A	B	C	D	A	B	C	D
Tiempo definido		-		0	1				
Normal Inverso	NI	0.14	0.02	1	0	8.9311	2.0938	1	0.17966
Muy Inverso	VI	13.5	1	1	0	3.922	2	1	0.0982
Extremadamente Inverso	EI	80	2	1	0	5.64	2	1	0.02434
Inverso de Larga Duración	LI	120	1	1	0	5.6143	1	1	2.18592

Nota: Tomada de (COES SINAC, 2018)

Función 67

Es el tipo de protección direccional de sobreintensidad para fallas entre fases, en esta se debe especificar la dirección de flujo de corriente para la que se aplica la protección. Para su evaluación se requiere de una referencia o polarización, para ello es preferible usar la tensión porque su ángulo se mantiene relativamente constante durante la falla generalmente se aplica lo siguiente:

- Corriente fase R: Tensión ST
- Corriente fase S: Tensión TR
- Corriente fase T: Tensión RS

Se debe notar que el ángulo entre la tensión de falla y las tensiones de referencia es de 90° , conocida también como la polarización en cuadratura. Sin embargo, su valor depende de la relación X/R del circuito de falla (COES SINAC, 2018).

Función 67N

Es el tipo de protección direccional de sobreintensidad para fallas a tierra, se debe especificar la dirección de flujo de corriente de secuencia cero o secuencia negativa para la que se aplica la protección. Para su evaluación se requiere de un referencia o polarización. Para determinar la direccionalidad es preferible usar la secuencia negativa. Sin embargo, de usar la tensión homopolar se debe ajustar el ángulo de máxima sensibilidad según sea el sistema a tierra (COES SINAC, 2018).

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada**Coordinación de protecciones eléctrica**

Define el comportamiento de los elementos del sistema de protección para buscar la menor afectación de la continuidad de la operación del sistema eléctrico ante el desarrollo de fallas por corto circuito, cuidando la integridad de las personas y los equipos.

Corriente eléctrica

Es el flujo de carga eléctrica que atraviesa un material conductor durante un periodo de tiempo determinado. Su unidad es el Amperio (A).

Cortocircuito

Aumento brusco de intensidad en la corriente eléctrica de una instalación por la unión directa de dos conductores de distinta fase.

Generador eléctrico

Máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Sistema de distribución

Es una porción del sistema eléctrico donde su función es suministrar electricidad partiendo de la subestación de distribución y llegando a los clientes finales (contador o medidor). Se conforma de las siguientes partes:

- ✓ **Subsistema de Distribución Primaria:** Vienen a ser las subestaciones y redes donde su voltaje de operación se encuentra entre los valores de 1 kV a 30 kV.
- ✓ **Subsistema de Distribución Secundaria:** Este tipo de redes vienen a brindar el servicio al público o cliente donde su voltaje de operación es menor a 1 000 V.
- ✓ **Instalaciones de Alumbrado Público:** Vienen a ser las redes y elementos que conforman el alumbrado público.

Sistema de Utilización en Media Tensión

Este tipo de sistema está conformado por los elementos y dispositivos dentro de las instalaciones de electricidad de media tensión, inicia en el punto donde se entrega la electricidad hasta llegar a los bornes o contactos del sistema de baja tensión del transformador que ha sido destinado a brindar electricidad a un cliente. Pueden instalarse en zonas públicas o privadas, con excepción a la subestación que debe ser instalada en zona de propiedad del interesado.

Sistema de protección

Es aquel que permite la protección y evita que se originen errores o destrucción de equipamiento o instalaciones. Sirven para aislar la zona de origen de la falla con el propósito de restringir que sea expandida la falla y que aparezcan problemas de mayor consideración.

Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)

Un sistema eléctrico de potencia es una herramienta de conversión y transporte de energía. Está compuesto por todas las máquinas, aparatos, redes, procesos y materiales utilizados para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)

Es el conjunto de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas conectadas entre sí, así como sus respectivos centros de despacho de carga, el cual permite la transferencia de energía eléctrica entre los diversos sistemas de generación eléctrica de Perú.

Subestación eléctrica

Son instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases o conexiones de dos o más circuitos.

Transformador de potencia

Sirven para variar los valores de tensión de un circuito de corriente alterna, manteniendo su potencia. Su funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Tensión eléctrica

Llamado también diferencia de potencial, es una magnitud física que permite cuantificar la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Además, se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico respecto a una partícula cargada para moverla entre dos puntos específicos. Su unidad es en Voltio.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Aplicada

La investigación será aplicada, ya que se hará uso de la ingeniería eléctrica, principalmente, de la teoría de coordinación de protecciones para poder modelar el sistema eléctrico en media tensión para la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. mediante el uso del software DigSilent, para luego interpretar los resultados obtenidos.

Diseño de investigación: Experimental

Será experimental porque se tendrá una manipulación de las variables, donde se modelará el sistema de protección eléctrica con diferentes configuraciones para poder determinar la mejor alternativa con el propósito de calcular las corrientes máximas y mínimas de falla, además de los elementos correctos para su operación.

3.2. Población y muestra

La población de estudio vendría a ser todas las empresas agroindustriales del rubro ubicadas en la región GRAU, que cuentan con suministro de energía eléctrica en media o alta tensión.

La muestra es no probabilística por conveniencia se tomará a la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. ubicada dentro de la región por facilidad de la obtención de datos y volumen de producción.

3.3. Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo que se empleó en la presente investigación es la no probabilístico o al azar por conveniencia.

3.4. Hipótesis

Con el modelamiento de un sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,9 kV para la empresa Agrobananas S.R.L. mediante el uso del software DigSilent, se podrá evitar que se afecte la vida útil de los equipos del sistema eléctrico de la empresa en mención.

3.5. Variables - Operacionalización

La Tabla 1 muestra e identifica las variables y su operacionalización.

X: Variable independiente:

Modelamiento de un sistema de protección eléctrica empleando el software DigSilent.

Y: Variable dependiente:

Sistema Eléctrico en Media Tensión 13,8 – 22,9 kV.

Tabla 4*Operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Variable independiente Modelamiento de un sistema de protección eléctrica empleando el software DigSilent.	Formulación de un sistema de protección eléctrica que permite seleccionar los elementos que componen el sistema de protección que dan continuidad al sistema eléctrico ante el desarrollo de fallas por corto circuito, cuidando la integridad de las personas y los equipos.	Un modelo de protección eléctrica, consiste en seleccionar, dimensionar y ajustar los dispositivos de protección, con la intención de lograr una adecuada selectividad para distintas condiciones de falla, asociando un dispositivo de protección contra los shorts circuit (cortocircuitos), con el fin de evitar ampacidades debido a una sobrecarga.	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de protección - Selectividad del equipo - Tiempo de actuación del dispositivo - Determinación de los rangos de graduación. - Simulación de fallas
Variable dependiente Sistema Eléctrico en Media Tensión 13,8 – 22,9 kV.	Conjunto de equipos, elementos y dispositivos que forman parte de un sistema eléctrico que tiene una tensión mayor a 1 kV y menor a 30 kV.	Definida como la calidad de la electricidad de alimentación y puesta de tierra de equipos sensibles a la fluctuación de tensión y corrientes de una manera óptima de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de seguridad - Continuidad del suministro - Potencia instalada
Variable de localización Empresa Agrobanananas S.R.L.	Es lugar o empresa que es un cliente mayor de consumo de energía eléctrica cuya producción dedicada a la producción, manufactura y/o procesamiento de productos finales y/o intermedios.	Empresa Agrobanananas S.R.L es una empresa de cultivo y/o comercial de bananas ubicado en el departamento de Piura	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de Producción - Calidad de Producto - Posicionamiento en el mercado

3.6. Métodos y Técnicas de investigación

Los métodos y técnicas que se aplicaran en la investigación se resumen a continuación:

Observación

Este método será necesario para poder visualizar la simulación realizada en el software DigSilent (Demo) con el objetivo de poder analizar los datos obtenidos para así poder llevar a cabo el correcto desarrollo del estudio de coordinación de protecciones del sistema eléctrico en mención.

Análisis de documentos

Está técnica será importante porque servirá para recopilar la información necesaria previa para el correcto desarrollo del estudio de coordinación de protecciones. Además, de recolectar información importante y pertinente sobre investigaciones, conceptos, teorías y definiciones referentes al tema investigado.

La Entrevista

Servirá para entrevistar al personal encargado de la empresa con la finalidad de que nos brinde información relevante sobre la carga, área, ubicación, entre otros parámetros necesarios que servirán para el desarrollo de la investigación presente.

3.7. Descripción de los instrumentos utilizados

El instrumento que se empleará para el modelamiento y desarrollo del sistema eléctrico en media tensión de la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. será el software DigSilent, previamente se utilizará el cuestionario para conocer aspectos importantes de la empresa que servirán para la realización de la investigación.

Para poder determinar ciertos parámetros necesarios para el adecuado modelamiento del sistema eléctrico en media tensión de la empresa Agrobananas S.R.L., se aplicó la

técnica de la entrevista con su respectivo instrumento llamado cuestionario al personal encargado de brindar dicha información. De donde se pudo determinar la potencia necesaria, además de ciertos parámetros que fueron brindados directamente al personal encargado por la empresa concesionaria encargada de suministrar la energía eléctrica para la empresa en cuestión.

3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Para el análisis de datos, se empleará el software DigSilent Power Factory versión Demo, para poder determinar la mejor opción con respecto al desarrollo del estudio de coordinación de protecciones, para poder dimensionar adecuadamente el sistema de protección eléctrica con el fin de poder reducir las fallas que se puedan originar de forma inesperada, reducir los daños en los equipos, minimizar las pérdidas inesperadas en el proceso de producción debido a una falla en el sistema eléctrico de la empresa.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

En el presente trabajo se desarrollará el análisis de flujo de carga y cortocircuito para las condiciones de operación proyectadas del sistema de utilización del predio de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L, para atender una demanda de 110 kW, desde Alimentador A1029 asociado a SET El Arenal.

El predio de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L, está ubicado en el distrito de la Huaca, en la provincia de Paíta, cuyo sector se alimentará de energía eléctrica en 13,8 kV a través del alimentador A1029, asociado al SET El Arenal. Debido a la necesidad de disponer de nueva demanda, se ha fijado como punto de diseño para la ampliación de potencia la estructura 616412 del Alimentador A1029 de la SET El Arenal.

A partir del punto de diseño otorgado por la concesionaria, se tiene una conexión a través de un conductor de 18 m hasta el punto de medición en el sistema aéreo con un conductor AAAC de 50 mm².

Posterior al punto de medición existe un conductor aéreo AAAC de 50 mm² con una extensión de 1,132 km dentro del predio de la empresa AGROBANANAS DEL PERU S.R.L.

Tabla 5

Impedancia del Conductor Utilizado en el Proyecto

IMPEDANCIA DE SECUENCIA DEL CONDUCTOR											
SISTEMA TRIFÁSICO											
Sección (mm ²)	Material	Impedancia de Secuencia Positiva					Impedancia de Secuencia Cero				
		R1	X1	Z1	Ángulo	B1	R0	X0	Z0	Ángulo	B0
		[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[°]	[uS/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[°]	[uS/km]
50	AAAC	0,6774	0,4146	0,7829	30,0979	0,673	0,8504	2,0527	2,2219	53,953	0,4158

Nota: Datos tomados de (COES SINAC, 2018).

La subestación “El Arenal” posee un barraje en 13,8 kV en estrella y está aterrada de forma directa, por tanto, las corrientes de falla a tierra que se presentan en el sistema son importantes.

La carga de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L, será de 110 kW, la cual se atenderá a través de transformadores de distribución de relación 13,8 kV/0,23 kV y 150 kVA. Además, la línea es en sistema aéreo.

Para el desarrollo del Estudio de Protecciones del suministro en MT, la concesionaria ENOSA proporcionó la data de las potencias de shorts circuit (cortocircuito) monofásica y trifásica en el punto de diseño. Dicha información se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6

Información de las Potencias de Cortocircuito Trifásica y Monofásica del Punto de Diseño

Punto de Diseño	Estructura		V (kV)	Ubicación	Máxima Demanda (kW)	Barra 10 kV		Punto de diseño	
	MT (NTCSE)	Alimentador				Pcc 3ø (MVA)	Pcc 3ø (MVA)	Pcc 3ø (MVA)	Pcc 3ø (MVA)
Sistema de Utilización	616412	A-1029	13,8- 22,9	El Arenal	110	50,400	21,820	16,007	3,338

Nota: Valores tomados de la factibilidad y punto de diseño brindados por la empresa concesionaria Electronoroeste S.A.

Se estableció el modelo Thévenin a partir del punto de diseño actualizado. Con los valores de potencia de cortocircuito se definieron los parámetros del Thévenin que dieron lugar a las siguientes relaciones:

Tabla 7

Parámetros de Thévenin

R/X	Z2/Z1	X0/X1	R0/X0
0.1	1	1	0.1

Nota: Valores obtenidos con el software DigSilent Power Factory Versión Demo.

Objetivos

La selección del equipamiento para la protección correcta, se cumplió siguiendo los requisitos o criterios básicos proporcionados por la ingeniería de protecciones, donde se consideraron a la seguridad, selectividad, sensibilidad, confiabilidad y rapidez.

Metodología

El software utilizado para el cálculo de Flujo de Carga, Corrientes de cortocircuito y Coordinación de Protecciones es el DIGSILENT- Power Factory. Para el desarrollo del presente estudio se ha tomado en cuenta el lineamiento principal indicado en los siguientes documentos:

- IEEE Std. 242-2001: IEEE Recommended Practice for Protection and coordination of Industrial and commercial Power Systems.
- Criterios de Ajustes y coordinación de protección del SEIN (COES – Julio 2014).
- El análisis se desarrollará en la temporada dónde se presente la máxima corriente de falla, como punto de partida se ha tenido la información alcanzada por la concesionaria ENOSA en la factibilidad.
- Las ampacidades de cortocircuito se determinaron según la norma IEC 60909-2001.

Alcance De Estudio

Los alcances del presente Estudio son los siguientes:

- Recopilación de información técnica.
- Modelamiento del sistema de protección eléctrico haciendo uso del Power Factory DIGSILENT versión Demo.
- Simulación del flujo de potencia o carga.

- Simulaciones de shorts circuit (cortocircuitos).
- Cálculos y coordinamientos de protecciones.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Selección de los equipos de protección eléctrica viables técnicamente que permitan reducir los daños en los equipos del sistema eléctrico

Alimentador A1029 13,8 kV - Subestación El Arenal

El análisis está orientado a evaluar el sistema eléctrico proyectado para el predio de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L y presentar una propuesta para su protección de falla entre fases y a tierra.

Línea 13,8 kV – Agrobananas del Perú S.R.L

A partir del punto de diseño fijado en la estructura 616412 del Alimentador A1029 del SET El Arenal, se tiene una derivación de 18 m hasta la primera estructura donde estará ubicado el sistema de protección; asimismo, se encontrará el sistema de medición. La línea principal es en sistema aéreo con conductor AAAC de 50 mm², la cual va desde el punto de diseño hasta la subestación.

A partir del punto de medición se tiene una línea en sistema aéreo de 1 132 m hasta llegar a la subestación, donde se empalmará a la nueva red en el nodo 3. Como se muestra en el diagrama unifilar del sistema en el **Anexo 2**.

Parámetros eléctricos de la red de estudio

Los parámetros de las líneas de distribución necesarios para las simulaciones de flujo de carga y cortocircuito se detallan a continuación:

Tabla 8*Impedancia de Secuencia de Conductores*

Impedancias de Secuencia de Conductores												
Sistema Trifásico												
Sección mm ²	Material	Amperaje (kA)	Impedancia de secuencia positiva (1) y (2)					Impedancia de secuencia Cero (0)				
			R1	X1	Z1	Ángulo	B1	R0	X0	Z0	Ángulo	B0
50	AAAC	0,195	0,4969	0,3483	0,6068	35,028°	0,9458	0,6239	1,392	1,525	50,89°	0,5982

Nota: Datos tomados de (COES SINAC, 2018).

Los conductores están diseñados para soportar las corrientes nominales que se indican.

Flujo de carga

El alcance del presente estudio de flujo de carga es determinar que la línea MT 13,8 kV sea la adecuada para transportar la potencia otorgada de 110 kW.

El flujo de carga se realiza para diversos factores de potencia de la carga.

Analizar el comportamiento del sistema eléctrico en estudio verificando que los elementos en análisis puedan operar dentro de sus límites permitidos de tensión.

Niveles de tensión admisibles en barras

Operación Normal y contingencia: $\pm 5\% V_n$ (V_{nom} : Tensión Nominal)

Casos simulados:

Condiciones de operación máxima demanda, considerando el factor de potencia de la carga que en promedio es de **0,80; 0,90 y 0,95**.

Los resultados se muestran en forma gráfica en el **Anexo 3**.

a) Perfil de tensión (p.u.)

Tabla 9

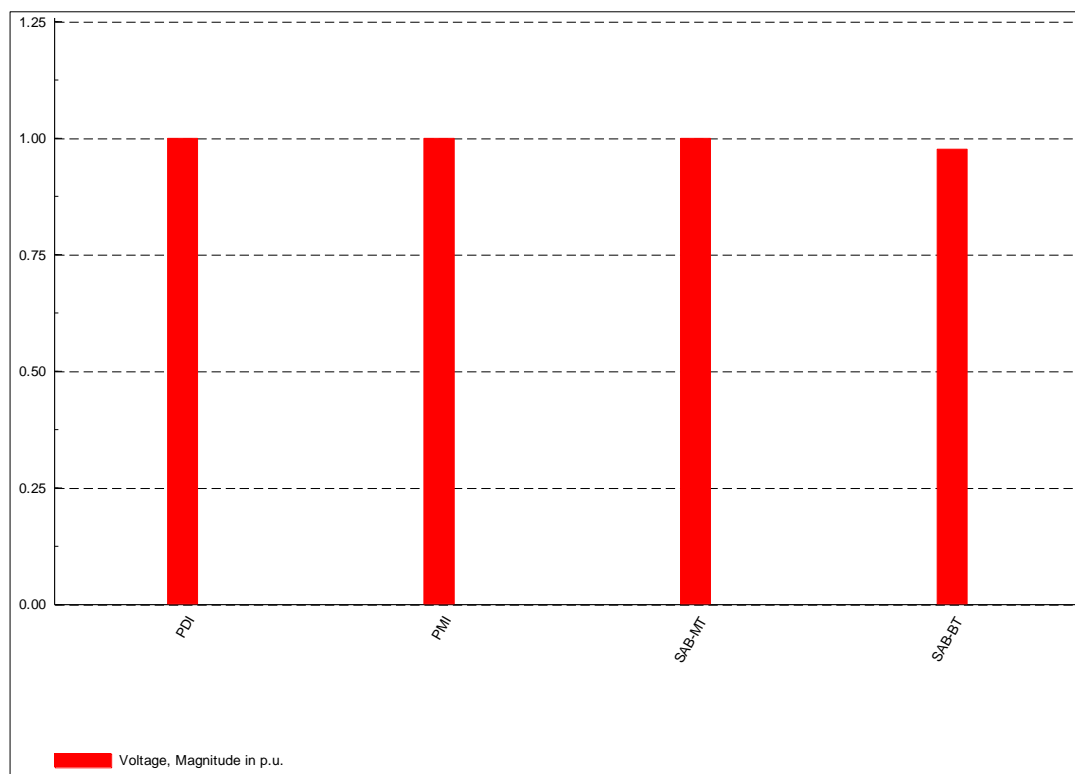
Perfil de Tensión en p.u.

Nodo	Voltaje	FP=0.80	FP=0.90	FP=0.95
		Caso 1	Caso 2	Caso 3
P1_ Punto Diseño	13,8kV	1,000	1,000	1,000
P2_ PMI	13,8kV	0,999	0,999	0,999
P3_ SAB MT	13,8kV	0,999	0,999	0,999
P4_ SAB BT	0,23 kV	0,976	0,985	0,989

Nota: Valores obtenidos con el software DigSilent Power Factory Versión Demo.

Figura 8

Perfil de Tensión a lo Largo de Línea MT 13,8 kV con FP 0,8



Nota: Elaborado con software DigSilent Power Factory Versión Demo.

b) Carga en Línea (%)

Tabla 10

Carga en Línea (%)

Línea	L_inicio	L_final	Voltaje	FP=0.80	FP=0.90	FP=0.95
				Caso 1	Caso 2	Caso 3
L1	P1_ Punto diseño	P2_ PMI	13,8kV	3,011	2,656	2,506
L2	P2_ PMI	P3_SAB-MT	13,8kV	3,022	2,663	2,511

Nota: Valores obtenidos con el software DigSilent Power Factory Versión Demo.

Los resultados nos indican lo siguiente:

- Se realizó los cálculos de flujo de carga para su condición de operación proyectada para atender una demanda de 110 kW, a través de una línea principal de 1 132 m, hasta el nodo P3. En este nodo se encuentra un transformador de 150 kVA, a partir de este nodo se deriva a un tablero general dentro del predio.
- Las simulaciones se desarrollaron para un despacho en el punto de entrega del suministro a la tensión nominal de 1.0 p.u. (13,8 kV) y la potencia proyectada con un total de 110 kW en cargas.
- Se observa que la tensión varía en el nodo 3, en el punto donde se encuentra el Transformador aéreo. Los valores que se presentan son debido a las características y longitud de línea de 1 132 m (en total) y a la demanda a transportar que es del orden de 110 kW. La línea es corta y por tanto no hay caída de tensión significativa. Se recomienda operar el transformador en posición de TAP 3, debido a la poca variación de tensiones a lo largo de la línea.
- Se recomienda la operación con un factor de potencia de 0,95.

- Es importante mantener el factor de potencia en valores superiores a 0,90 y operar en 0,95; para mantener un nivel de tensión adecuado.

Estudio de cortocircuito

5.1.1. Objetivos

Analizar el comportamiento del sistema eléctrico en estudio ante la ocurrencia de una falla determinando las corrientes máximas y mínimas de falla, cuyos resultados permitirán lo siguiente:

- Verificar la capacidad de los equipos y dispositivos de interrupción de falla.
- Desarrollar los cálculos y determinar los ajustes adecuados de los equipos de protección.

5.1.2. Metodología

- El análisis se desarrolla en la temporada donde se presente la máxima corriente de falla, como punto de partida se ha tenido la información alcanzada por la concesionaria.
- Las corrientes de cortocircuito han sido determinadas según norma IEC 60909 (2001).

Cabe indicar que la concesionaria ha confirmado la tensión de operación en el punto de diseño de 13,8 kV, es decir 1p.u.Vn., la cual se considera en el análisis del flujo de carga.

5.1.3. Casos Simulados

Considerando un F.P.=0,8, para el Sistema 13,8 kV aterrado (Falla Trifásica y monofásica)

Falla trifásica en barras:**Tabla 11***Niveles de Cortocircuito Trifásico*

Nodo	Voltaje (kV)	I_k (kA)	S_k (MVA)
P1_ Punto diseño	13,8	0,670	16007
P2_ PMI	13,8	0,669	15995
P3_SAB-MT	13,8	0,639	15262
P4_SAB-BT	0,230	7,958	3170

Nota: Valores obtenidos con el software DigSilent Power Factory.

Falla monofásica de baja y alta impedancia en barra y nodos:

Tabla 12

Niveles de Cortocircuito Monofásico

Nodo	Voltaje	0 ohm		100 ohm		200 ohm		600 ohm	
		3*I0(kA)	Sk'' (MVA)	3*I0(kA)	Sk'' (MVA)	3*I0(kA)	Sk'' (MVA)	3*I0(kA)	Sk'' (MVA)
P1_ Punto Diseño	13,8 kV	0,419	3337,880	0,0819	652,292	0,0425	338,788	0,014	115,332
P2_ PMI	13,8 kV	0,419	3334,732	0,082	652,193	0,046	338,763	0,014	115,330
P3_SAB-MT	13,8 kV	0,395	3147,048	0,081	646,027	0,042	337,236	0,014	115,165
P4_SAB-BT	0, 23 kV	8,602	1142,247	0,001	0,185	0,0007	0,0926	0,0002	0,0309

Nota: Valores obtenidos con el software DigSilent Power Factory.

5.1.4. Resultados

Se tiene variación poca acentuada de las corrientes de falla a lo largo de la línea debido a su longitud.

La magnitud de las fallas a tierra que ocurra en 13,8 kV en el sistema Eléctrico de AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L, dependerán a que longitud de la fuente sucedan, siendo las más elevadas las que ocurran en inmediaciones del punto de diseño (Ver cuadro 2), siendo menor conforme sucedan más alejado de la fuente. A partir de la salida del TRAFO, las corrientes aumentan por la relación de conversión de voltaje.

Para fallas de alta impedancia 600 ohm se tiene corrientes de falla del orden de 0,014 kA en Media Tensión.

Los resultados se muestran en forma gráfica en el **Anexo 4**.

Criterios para la coordinación de la protección

5.1.5. Criterios básicos de protección

El objetivo principal del sistema de Protección es proporcionar, en forma rápida el aislamiento de un área de falla en el sistema y, de este modo poder mantener en funcionamiento la mayor parte del sistema eléctrico restante. Dentro de este contexto existen seis requerimientos básicos para la aplicación de relé de protección.

- a) Fiabilidad: seguridad de que la protección se llevará a cabo correctamente, tiene dos componentes: confianza y seguridad.
- b) Selectividad: continuidad máxima del servicio con mínima desconexión del sistema

- c) Rapidez de operación: duración mínima de una falla, así como un menor daño a los equipos del sistema.
- d) Simplicidad: menor equipo de protección y circuitos asociados para lograrlos objetivos de protección.
- e) Economía: mayor protección a menor costo total.
- f) El término “protección” no implica que el equipo de protección pueda prevenir fallas o deficiencias de los equipos. Los relés de protección solo se ponen en funcionamiento después que haya ocurrido una condición insostenible. Sin embargo, su función es minimizar los daños a equipos fallados, reducir el tiempo y costo de interrupción, así como el de reparación a fines que pudieran ocurrir.
- g) La protección del sistema eléctrico y de los equipos es muy importante, en vista que una falla en cualquiera de ellos pueda dejar sin suministro un área entera, además de poner en riesgo la estabilidad del sistema de potencia.

5.1.6. Criterio de protección de sobrecorriente de fases (51p/50p)

Para definir los ajustes de protección de la sobrecorriente entre fases se ha tomado en cuenta la definición de los umbrales de corriente y tiempo, de tal manera que se obtenga la mejor selectividad posible.

Para definir los ajustes de protección de sobrecorrientes de fases se han considerado los siguientes criterios:

Corriente de arranque: Para definir el ajuste de la corriente de arranque de las protecciones, se debe considerar un ajuste entre el 120% y 150% de la corriente nominal de carga.

Temporización: Se ha determinado de modo que las protecciones despejen la falla de forma selectiva desde los relés de protección aguas arriba y relé de punto de entrega a suministro.

La curva característica de operación podrá definirse de acuerdo con las normas IEC u otra de acuerdo con el fabricante del relé y se elegirá según necesidad de coordinamiento con el resto de los relés.

La curva característica de operación seleccionada debe considerar lo siguiente:

- No operar cuando se conecten cargas (corriente inrush).
- Deben proteger los equipos (transformadores y líneas) de sus límites de sobrecarga térmica y dinámica.

La curva de daño térmico y dinámico de cada transformador de potencia se determinan según norma ANSI /IEEEC57, 91-1981.

La corriente Inrush de transformadores de potencia se determinará:

- Transformadores < 2MVA; Inrush=8xIn
- Transformadores > 2MVA; Inrush=10-12xIn

Con un tiempo de duración menor a 100 ms, según estándar: IEEE Std242 “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power System”.

La curva de daño térmico y dinámico de los conductores se determinan según norma IEEE 738-2006.

5.1.7. Criterio de protección de sobrecorriente de tierra (51n/50n)

La coordinación entre las protecciones de sobrecorriente de tierra se ha realizado mediante la definición de umbrales de corriente y de tiempo, de tal manera que se obtenga la mejor selectividad posible.

Para definir los ajustes de protección de sobrecorrientes de tierra se han considerado los siguientes criterios:

Corriente de arranque: Para este caso el valor de arranque se ha elegido un valor mucho menor que el proporcionado por la concesionaria.

Temporización: Se ha determinado de modo que las protecciones despejen la falla de forma selectiva desde los relés de protección aguas arriba y relé de punto de entrega a suministro.

5.1.8. Función de recierre del Recloser

Esta función quedará deshabilitada. No obstante, en función de la necesidad de proteger nuestro sistema en un futuro próximo se evaluará su habilitación para lo cual se presentaría propuesta a la concesionaria para su aprobación.

Criterios de protección propuestos

El alcance del presente estudio presenta propuesta y verificación del sistema de protección y ajustes de equipamiento del suministro del predio Agrobananas del Perú S.R.L, ubicado en el distrito de La Huaca, provincia y departamento de Piura.

Se ha proporcionado los parámetros de cortocircuito como los ajustes de protección del elemento de protección “aguas arriba” del punto de diseño, barra de 13,8 kV de SET El Arenal, con la finalidad de verificar la propuesta de protección.

Tabla 13*Parámetros de Ajuste del Elemento de Protección Existente del Alimentador 1029*

Descripción			
Elemento		A1029	
Subestación		El Arenal	
Régimen de Neutro		Sólidamente Aterrado	
Nivel de Tensión (kV)		13,8	
Equipo de Protección			
Tipo	Relé		
Marca	General Electric		
Modelo	F650		
Transformadores de Corriente			
TC Fases	150/5		
TC Tierra	150/5		
TC SEF	20/1		
Ajustes de Protección			
Fases	51P	Pick Up	150
		Curva	IEC Curva B
		Dial	0,08
	50P	Pick Up	1050
Tiempo		0	
Tierra	51N	Pick Up	20,1
		Curva	IEC Curva B
		Dial	0,35
	51N	Pick Up	500,1
Tiempo		0	
SEF	Temporizado	Pick Up	20,0
		Curva	IEC Curva B
		Dial	0,35
	Instantáneo	Pick Up	10
Tiempo		2	

Nota: Valores obtenidos en la factibilidad y punto de diseño
brindados por la empresa concesionaria Electronoroeste S.A.

a) Protección de sobrecorriente de fases Agrobananos del Perú S.R.L:

Recloser

El equipo de protección propuesto para su condición final de operación cuando se atienda una demanda de 110 kW, utiliza una nueva tecnología para la medición de

parámetros de corriente y tensión denominados sensores de corriente y tensión. Se garantiza una alta precisión siendo posible ajustar a valores de corrientes muy bajos. Se adjunta las características del equipo en el **Anexo 1**.

Protección de sobrecorrientes de fase:

La corriente de arranque del relé de protección del predio del suministro del predio de Agrobananas del Perú S.R.L., se ha establecido en función de la carga del suministro ($1,20 \times I_n$), que atenderá una demanda de 110 kW. Al ser un sistema de distribución se ha propuesto utilizar una curva IEC muy inversa.

Para el ajuste de la función 51:

Demanda en punto de entrega: 110 kW

Tensión nominal: 13,8 kV

Corriente nominal Primaria: 5,75 A

$I_{pri\ 51} = 1,2 \times 6 = 7,2$, equivalente a: 8 A

Condición de operación:

Tabla 14

Ajuste de sobrecorriente de fases

Elemento a Proteger	Equipo de Protección	V (kV)	TC	Umbral 51P			Umbral 50P		
				I > (pri.A)	t(s)	Curva1	I > (pri.A)	t(s)	Curva2
Recloser en PMI	RECLOSER	13,8	50/5	8	0,05	IEC VI	500	0.	-

De la Figura 9, a efectos de mantener una coordinación adecuada con el ingreso de la nueva carga, se propone lo siguiente en el Recloser del alimentador A-1029:

Función 51P:

Ajuste actual: 150 Amperios

De la verificación realizada con elementos de protección en barras de 13,8 kV, se mantiene el dial de 0,08, para mantener una adecuada coordinación. Por la carga proyectada, se puede observar que el Recloser podría actuar libremente, sin provocar interferencias con el equipo de protección del punto de diseño asignado del alimentador A-1029.

De la Figura 10, a efectos de mantener una coordinación adecuada con el ingreso de la nueva carga, se coordinó los fusibles del seccionador de la subestación, los cuales cumplen con el ajuste de coordinación realizado.

b) Protección de sobre corriente a tierra AGROBANANAS DEL PERU S.R.L:

Recloser

El ajuste de la protección está determinado por la capacidad y el comportamiento de los equipos e instalaciones del equipo eléctrico, para lo cual se debe considerar todas las condiciones de operación.

El equipo de protección propuesto utiliza una tecnología diferente a la de inducción, para la medición de parámetros de corriente y tensión denominados sensores de corriente y tensión. Se garantiza una alta precisión, que es detallada en la información técnica del equipo.

Precisión de los sensores

Tabla 15

Precisión de los Sensores

Tipo de sensor	Precisión	Rangos donde se garantiza precisión
Transformador de corriente	$\pm 0.2\%$	0 – 800 A
Transformador de corriente (Modelo 0.2A SEF)	$\pm 0.03\%$	0 – 800 A
Sensor de voltaje	$\pm 5\%$	

Temporización, la característica de operación será seleccionada considerando lo permitido por el equipo seleccionado. Instantáneo, se habilita esta protección para corrientes altas.

Condición de operación:

Tabla 16

Ajuste de Sobrecorriente de Tierra

Elemento	Equipo de Protección	V (kV)	TC	Umbral 51N			Umbral 50N		
				Io > (pri.A)	To (s)	Curva1	Io >> (pri.A)	To (s)	Curva2
Recloser en PMI	RECLOSER	13,8	10/1	5	0,1	IEC VI	150	0.	-

Condición de operación: SEF

Tabla 17

Ajuste SEF

Elemento	Equipo de Protección	V (kV)	TC	Umbral SEF-Instantáneo			Umbral SEF-Temporizado		
				Io > (pri.A)	To (s)	Curva1	Io > (pri.A)	To (s)	Curva 2
Recloser en PMI	RECLOSER	13,8	10/1	2	0,5	-	10	0,15	-

De la Figura 11 y Figura 12, a efectos de mantener una coordinación adecuada con el ingreso de la nueva carga, se propone lo siguiente en el Recloser del alimentador A-1029:

- Función 50N:
 - ✓ Ajuste actual: 500 Amperios
 - ✓ Ajuste propuesto: 700 Amperios

Se puede evidenciar que la propuesta de ajustes en Recloser de Agrobananos del Perú S.R.L., coordina con los ajustes del elemento de protección del alimentador ubicado “aguas arriba del punto de diseño”.

5.2. Análisis del comportamiento de los principales indicadores de interrupción del sistema eléctrico

Para el Cálculo de Cortocircuito

5.2.1. Metodología

- El análisis se desarrolla en la temporada donde se presente la máxima corriente de falla, como punto de partida se ha tenido la información alcanzada por la concesionaria.
- Las corrientes de cortocircuito han sido determinadas según norma IEC 60909 (2001).

Cabe indicar que la concesionaria ha confirmado la tensión de operación en el punto de diseño de 13,8 kV, es decir 1p.u.Vn., la cual se considera en el análisis del flujo de carga.

5.2.2. Casos Simulados

Considerando un F.P.=0,8, para el Sistema 13,8 kV aterrado (Falla Trifásica y monofásica)

Falla trifásica en barras:

Los datos empleados se aprecian en la Tabla 11.

Falla monofásica de baja y alta impedancia en barra y nodos:

Los datos empleados se aprecian en la Tabla 12.

5.2.3. Resultados

Se ha determinado las siguientes corrientes de cortocircuito trifásico máximas:

- Punto de alimentación AGROBANANAS: 0,670 kA
- Punto más alejado de la red a proteger: 0,639 kA
- Esto se da por la distancia del tramo.

Los equipos instalados en todo el sistema eléctrico de AGROBANANAS DEL PERU S.R.L disponen de capacidades de ruptura mayores a las máximas corrientes de falla trifásica, el cual indica que los valores tomados como diseños son aceptables.

El sistema es en estrella aterrado en la SET El Arenal y permite corrientes de falla a tierra en magnitudes importantes del orden de 0,419 kA y 0,395 kA en el punto de diseño y lugar más alejado de línea la cual no afecta a los equipos. Los resultados se muestran en forma gráfica en el **Anexo 4**.

5.3. Evaluación de los parámetros de operación seleccionando los rangos más adecuados de operación, para el seleccionamiento de los elementos de protección ante cualquier falla que se presente en el sistema eléctrico de protección

Empleando el software DigSilent Power Factory se elaboraron las curvas características del sistema de protección eléctrica, las cuales se muestran a continuación, de las cuales se determinan los siguientes parámetros de operación:

De la Figura 9

- Para la Función 51P:

Ajuste actual: 150 Amperios

De la verificación realizada con elementos de protección en barras de 13.8 kV, se mantiene el dial de 0.08, para mantener una adecuada coordinación. Por la carga proyectada, se puede observar que el recloser podría actuar libremente, sin provocar interferencias con el equipo de protección del punto de diseño asignado del alimentador A-1029.

De la Figura 10

Incluye ajustes del sistema protección “aguas arriba” y coordinación con fusible 6K del transformador 150 kVA. A efectos de mantener una coordinación adecuada con el ingreso de la nueva carga, se coordinó los fusibles del seccionador de la subestación, los cuales cumplen con el ajuste de coordinación realizado.

De la Figura 12

A efectos de mantener una coordinación adecuada con el ingreso de la nueva carga, se propone lo siguiente en el Recloser del alimentador A-1029:

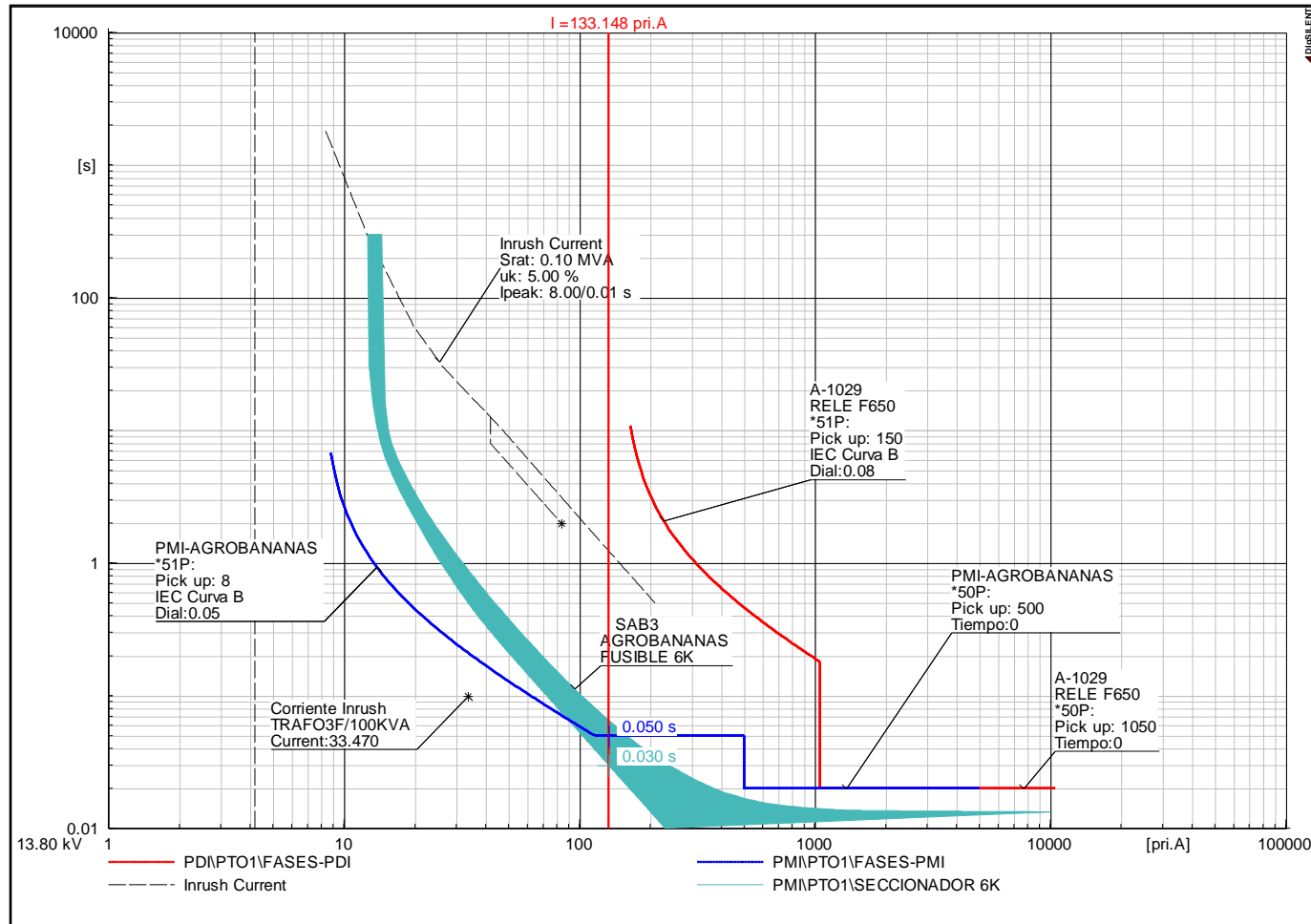
- Función 50N:

Ajuste actual: 500 Amperios

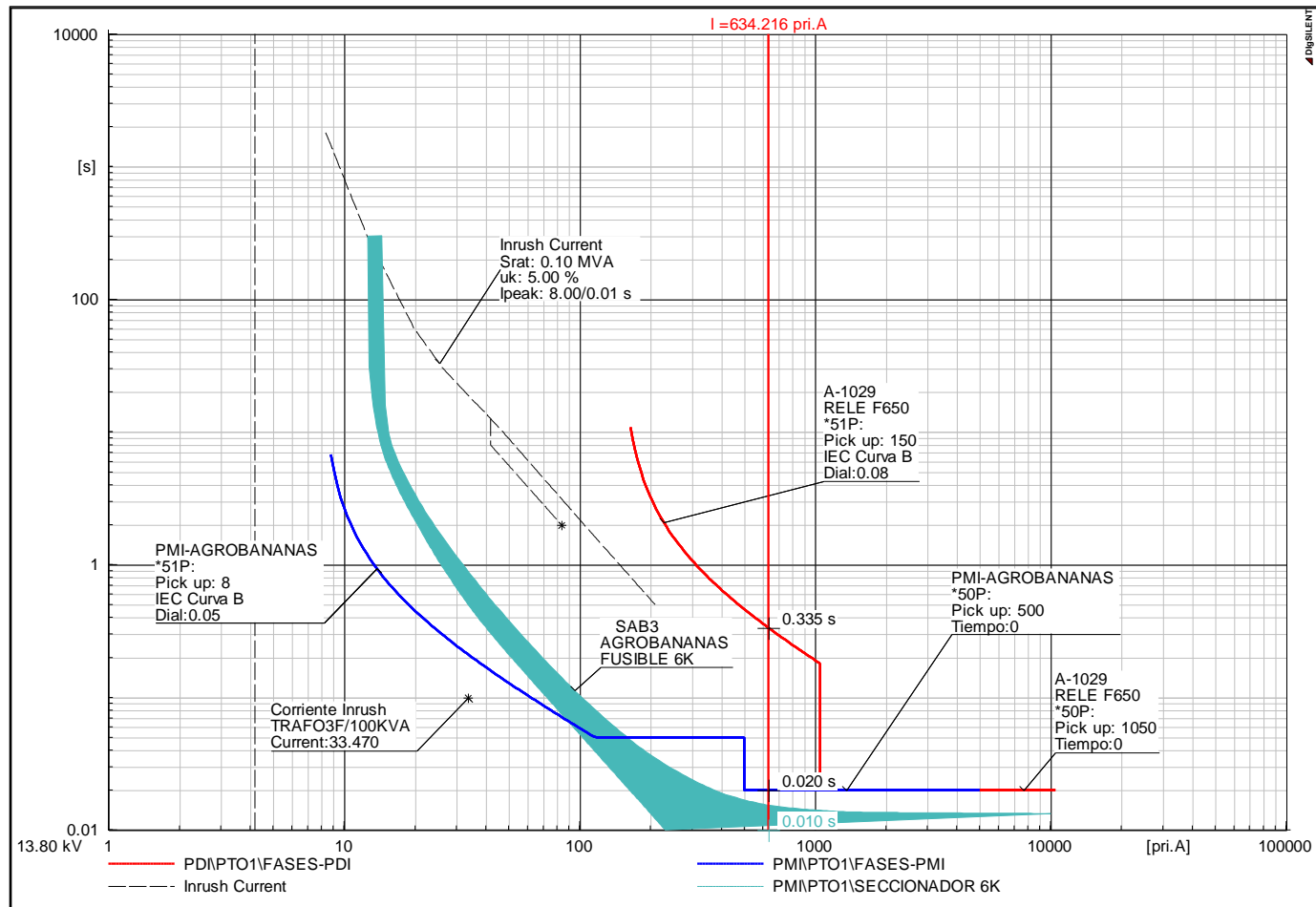
Ajuste propuesto: 700 Amperios

De la Figura 13

Se puede evidenciar que la propuesta de ajustes en Recloser de Agrobanananas del Perú S.R.L., coordina con los ajustes del elemento de protección del alimentador ubicado “aguas arriba del punto de diseño”.

Figura 9*Nivel de Cortocircuito Trifásico en Baja Tensión*

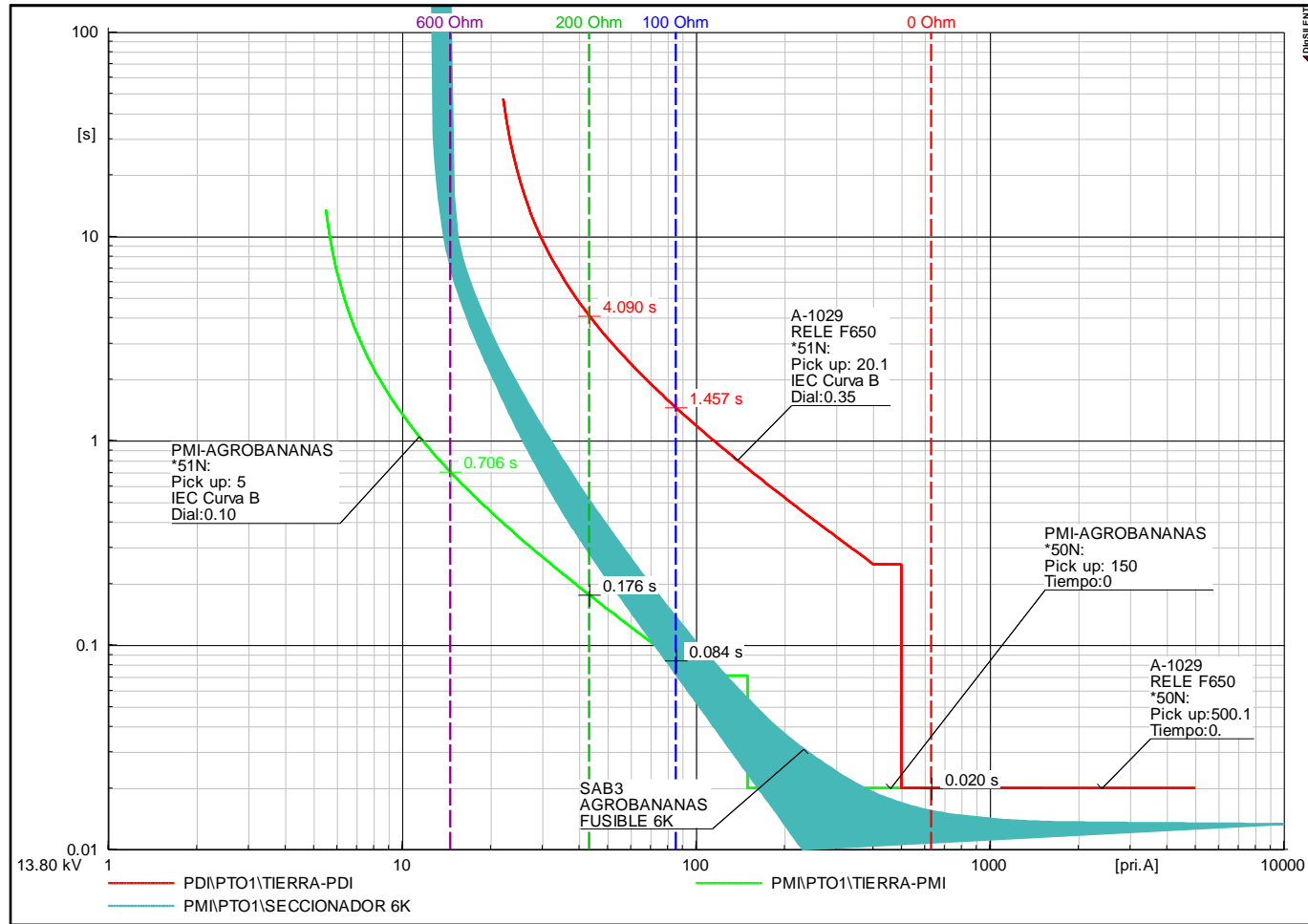
Nota: Incluye ajustes del sistema protección “aguas arriba”. Elaborado con software DigSilent Power Factory Versión Demo.

Figura 10*Nivel de Cortocircuito Trifásico, Línea 13,8 kV*

Nota: Incluye ajustes del sistema protección “aguas arriba” y coordinación con fusible 6K del transformador 150 kVA. Elaborado con software DigSilent Power Factory.

Figura 11

Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 10 kV - 0, 100, 200 y 600 Ohm

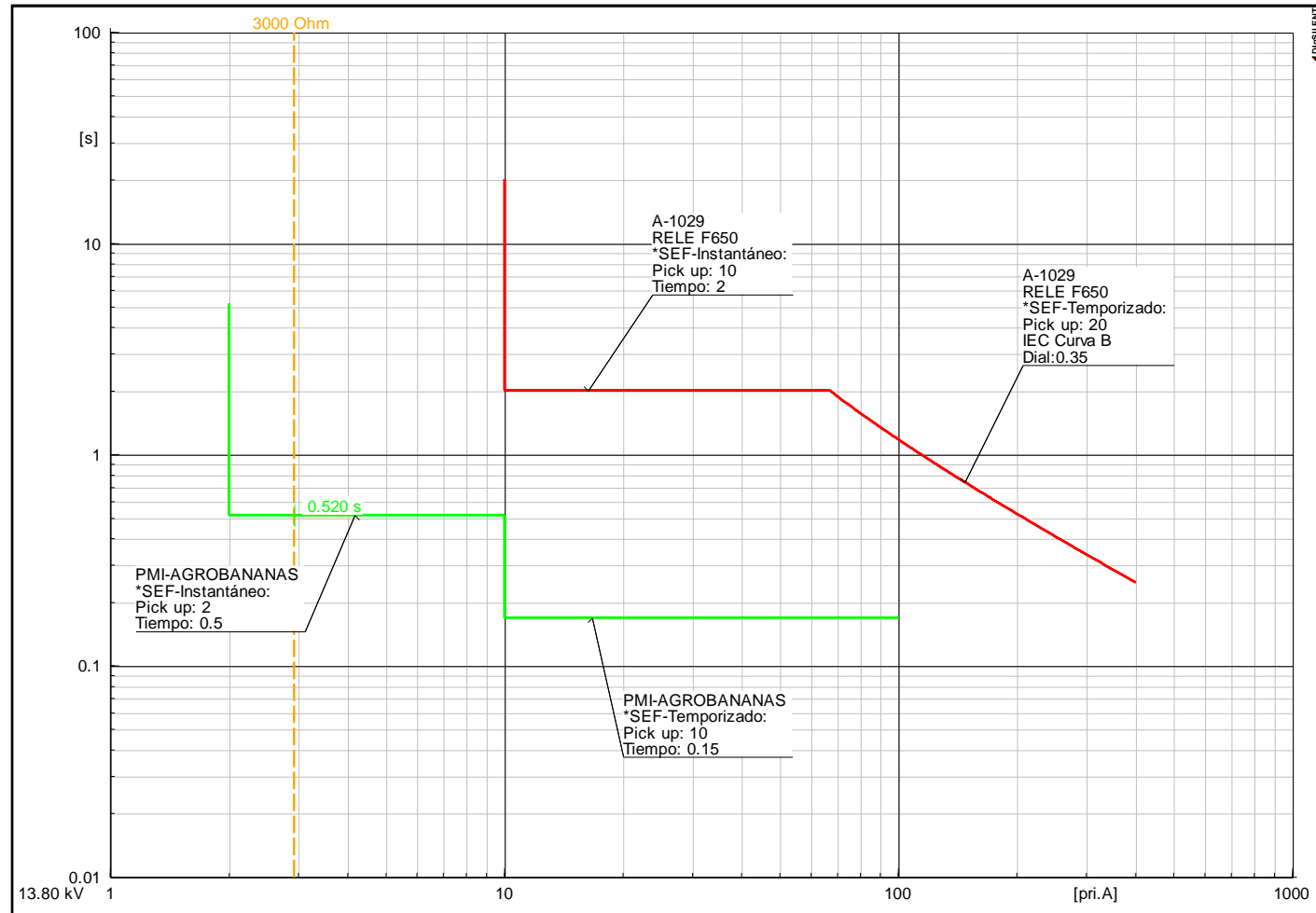


Nota: Elaborado con software DigSilent Power Factory Versión Demo.

.

Figura 12

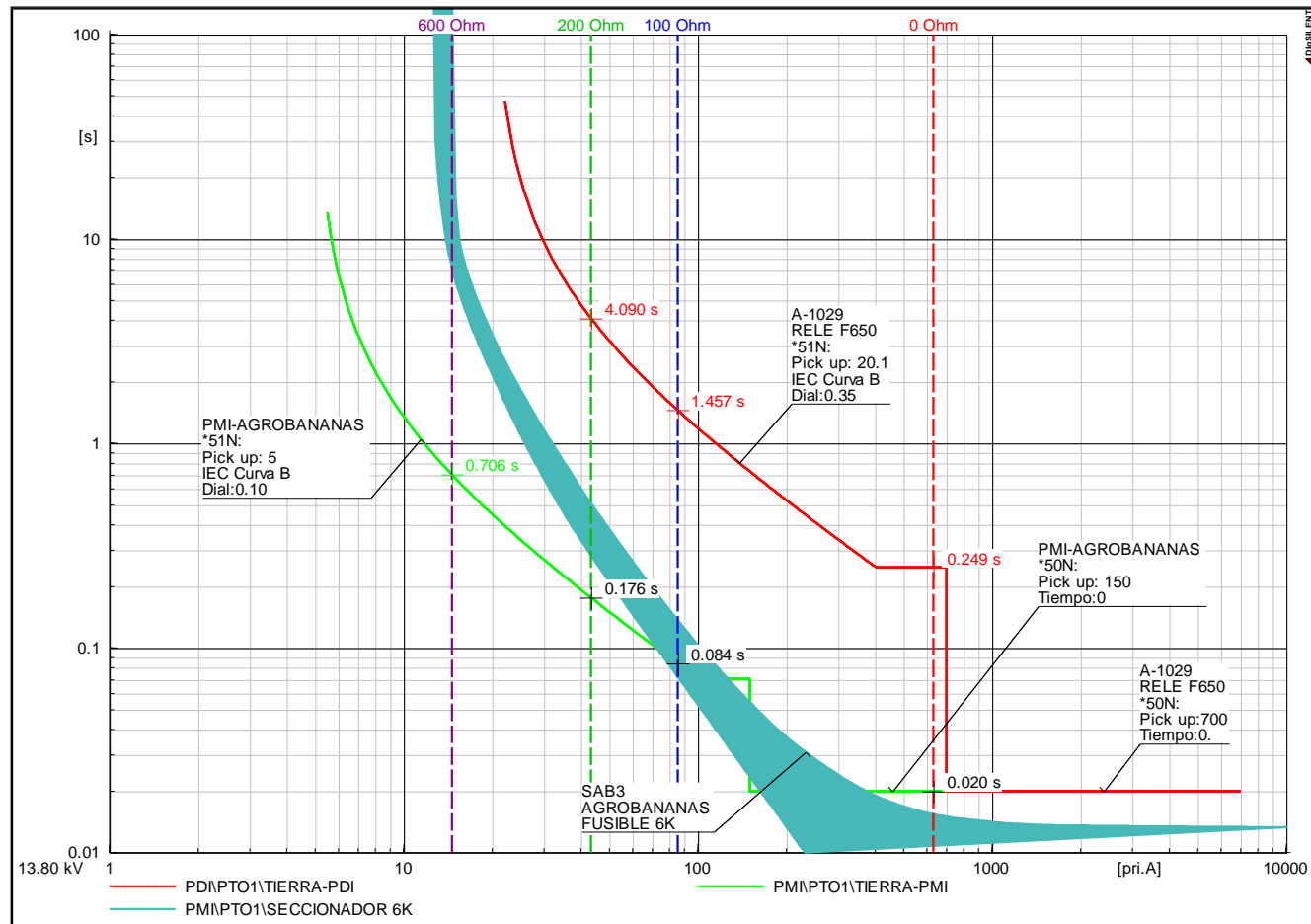
Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 13,8kV - 3000 ohm SEF



Nota: Elaborado con software DigSilent Power Factory Versión Demo.

Figura 13

Nivel Cortocircuito Monofásico en Línea MT 10kV - 0, 100, 200 y 600 Ohm con Ajuste en Recloser del Alimentador Propuesto



Nota: Elaborado con software DigSilent Power Factory versión Demo.

5.4. Discusion de resultados

De acuerdo con Perugachi Vásquez (2019), quien realizó una metodología de coordinación de protecciones para la empresa EMELNORTE, la cual fue selectiva, lo cual logró brindar una protección adecuada al sistema de distribución en el caso de ocurrencia de una falla del tipo eléctrica empleando elementos y dispositivos de protección localizados de forma estratégica en el sistema en mención con el propósito de prevenir la total desconexión del sistema eléctrico. De igual forma se realizó así al momento de modelar el sistema de protección eléctrica en media tensión para la empresa AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. donde se logró visualizar que el modelado llevado a cabo en el programa DigSilent permitió verificar una adecuada operación del sistema de protección eléctrica propuesto.

Anchundia Morales et al. (2019) obtuvieron como resultados en su trabajo de investigación que el transformador a plena carga máxima operó empleando un factor de utilización del orden del 32,25% donde la reserva fue obviamente de 67,75%. En concordancia con la presente investigación, donde se pudo determinar que el transformador operaría a una capacidad del 93,88% si se tiene un factor de potencia por arriba del valor de 0,95 con el fin de eludir las caídas de voltaje en la línea, y de ser necesario, se debe llevar a cabo su respectiva compensación. Anchundia Morales et al. (2019) emplearon el software DigSilent Power Factory versión Demo para el diseño del sistema de coordinación de protecciones, quienes concluyeron que dicho programa es realmente una herramienta valiosa que sirve y permite con bastante facilidad poder realizar modelamientos y plantear casos de análisis lo que ayudaría bastante en la reducción de tiempos en el diseño y entrega de los resultados, además de que incorpora las normas ANSI, IEC e IEEE.

De igual modo Chere Quiñónez et al. (2020) en su investigación empleó el software DigSilent Power Factory, donde mencionaron que es una valiosa herramienta a la hora de llevar a cabo métodos numéricos e iteraciones, donde permitirá reducir los tiempos en los cálculos y entrega de resultados con un índice realmente bajo de error y que es realmente importante porque posee las normas ANSI, IEC e IEEE.

Cardenas Lovon (2019) en su trabajo hizo uso del software DigSilent Power Factory, donde hizo el análisis del flujo de potencia para el sistema de electricidad, el estudio para cortocircuito y la coordinación de protecciones en sí.

Lozada Cruzado & Pongo Santos (2019) en su trabajo de investigación obtuvieron al realizar el análisis de flujo de potencia verificando que los niveles de voltaje si cumplan con las normas establecidas y que se encontraban en un rango de entre +5% y -5%, lo cual exige la norma NTCSE. Donde los valores valores máximos de corriente de cortocircuito en el sistema de electricidad en 22,9 kV ante una falla del tipo trifásica fue de 2 900 A, llegando a ser la más crítica en la planta procesadora, pero que es menor a la corriente dinámica y térmica del dispositivo de protección, el cual tiene una capacidad máxima de 5 000 A, asegurando que el sistema no llegue a fallar. En relación a la presente investigación, de igual forma se obtuvieron los valores máximos y mínimos de corriente de cortocircuito ante una posible falla siendo del orden de 0,670 kA y 0,639 kA, lo que permitiría proteger el sistema eléctrico ya que son valores menores al dispositivo de protección seleccionado.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El equipo de protección para que el sistema eléctrico de 13.8 – 22.9 kV opere de forma adecuada será un Recloser con capacidad de corriente de interrupción de 630A, con tensión de funcionamiento nominal de 22 kV que cuente como mínimo con las siguientes funciones de protección: protección de sobre corriente de fase y tierra 50N/51N/50/51. En el Anexo 1 se aprecia los datos técnicos del Recloser.
- Las intensidades de corrientes máximas y mínimas de falla calculadas al modelar el sistema de protección eléctrica en media tensión 13,8 – 22,9 kV para la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. empleando el software DigSilent Power Factory son: Corriente máxima en el punto de diseño 0,670 kA y en el punto más alejado a proteger 0,639 kA y corrientes mínimas de falla en el punto de diseño 0,419 kA y en el punto más alejado a proteger 0,395 kA.
- Para mantener una coordinación adecuada con el elemento de protección del alimentador ubicado “aguas arriba del punto de diseño”. Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros en el Recloser del alimentador A-1029:

Para la función 51P:

Mantener el dial de 0,08, y el ajuste actual de 150 A.

Para la función 50N:

A efecto de mantener una adecuada coordinación con el ingreso de la nueva carga se propone cambiar el ajuste actual del equipo de protección del A-1029 de 500 Amperios a 700 Amperios.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda emplear otro software similar como ETAP o ATP-EMTP para realizar el modelamiento de coordinación de protecciones y hacer una comparativa con el objetivo de verificar que diferencias existen o si los datos obtenidos fueron similares con un porcentaje de error bajo.
- Se recomienda usar un software distinto configurando con los mismos parámetros para verificar si se obtienen las mismas corrientes de falla máxima y mínima o si difieren en gran manera o con un porcentaje bajo de error.
- Se recomienda si al cambiar el tipo de conexión del transformador, se podrían reducir las corrientes de falla a tierra o si se mantienen estables o aumentan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anchundia Morales, J. C., Chere Quiñonez, B. F., & Martínez Peralta, A. J. (2019). Estudio de Coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software DigSilent Power Factory. *Dominio de las Ciencias*, 5(4), 323-340. doi:10.23857/dc.v5i1.1047
- Andrade Puma, R. D. (2019). *Coordinación de Protecciones de los Alimentadores de la Subestación Ajaví aplicando la Metodología de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. (EMELNORTE)*. Repositorio de la Universidad Técnica del Norte3.
- Avila Arteaga, J. M. (2020). *Diseño de la Coordinación de protecciones de la Red Eléctrica en Baja Tensión de la Obra: Tramo III-B del proyecto de mejoramiento de la Av. Nestor Gambetta - Callao*. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Balamurugan, K., Srinivasan, D., & Reindl, T. (2012). Impact of Distributed Generation on Power Distribution Systems. *Energy Procedia*, 25, 93-100. doi:10.1016/j.egypro.2012.07.013
- Barrantes Pinela, L. S. (2011). *Diseño del Sistema de Protección y Control de Subestaciones Eléctricas*. Repositorio de la Universidad Carlos III de Madrid.
- Canahualpa Iriarte, K. (2019). *Mejoramiento de los indicadores de confiabilidad empleando la coordinación y disposición de los equipos de protección y su efecto económico en el sistema de distribución Tarapoto Rural en 22.9 kV*. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cardenas Lovon, S. (2019). *Estudio de la Coordinación del Sistema de Protección de Tisur considerando la ampliación del muelle "F"*. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Carrillo Caicedo, G. (2007). *Protecciones eléctricas*. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas.
- Chere Quiñónez, B. F., Martínez Peralta, A. J., Ulloa de Souza, R. C., & Lucio Cruz, J. A. (2020). Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas en Celc-Ep Termoessmeraldas II aplicando el Software DigSilent Power Factory. *Polo del Conocimiento*, 5(8), 1264-1276. doi:10.23857/pc.v5i8.1658
- Cholango Quishpe, A. R. (2019). *Estudio de Coordinación de Protecciones para los Alimentadores de la Subestación Atuntaqui, utilizando la metodología aplicada en la*

- Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. (EMELNORTE)*. Repositorio de la Universidad Técnica del Norte.
- COES SINAC. (2018). *Requisitos mínimos para los Sistemas de Protección del SEIN*. Lima: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional.
- Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J.-L., Jayan, B., & Li, H. (2017). Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 193-214. doi:10.1016/j.rser.2017.03.107
- Lozada Cruzado, E. E., & Pongo Santos, L. F. (2019). *Estudio de la Coordinación de protecciones del sistema eléctrico en 22.9 kV para la Planta Procesadora en Shanango, Bellavista, Jaén*. Repositorio de la Universidad Nacional de Jaén.
- Martinez Cabrera, L. F. (2011). *Protección de Subestaciones de Transmisión*.
- Perugachi Vásquez, F. R. (2019). *Estudio de la Coordinación de Protecciones de los Alimentadores de la Subestación Alpachaca de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. EMELNORTE*. Repositorio de la Universidad Técnica del Norte.
- Roeper, R. (1985). *Corrientes de cortocircuito en redes trifásicas*. Marcombo Boixareu Editores.
- Saavedra Ugaz, R. C. (2021). *Estudio de coordinación de protecciones para mejorar la calidad de servicio en el sistema eléctrico rural Chulucanas - Quiroz 22.9 kV*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- Saavedra Vásquez, J. R. (2021). *Estudio de Coordinación de protecciones de la Nueva Central Eólica de 18 MVA Duna Huambos para la conexión al Sistema Interconectado Nacional*. Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Wadood, A., Farkoush, S. G., Khurshaid, T., Kim, C.-H., Yu, J., Geem, Z. W., & Rhee, S.-B. (2018). An Optimized Protection Coordination Scheme for the Optimal Coordination of Overcurrent Relays Using a Nature-Inspired Root Tree Algorithm. *Applied Sciences*, 8, 1-22. doi:10.3390/app8091664

ANEXOS**Anexo 1 – Tabla de datos Técnicos del recloser**

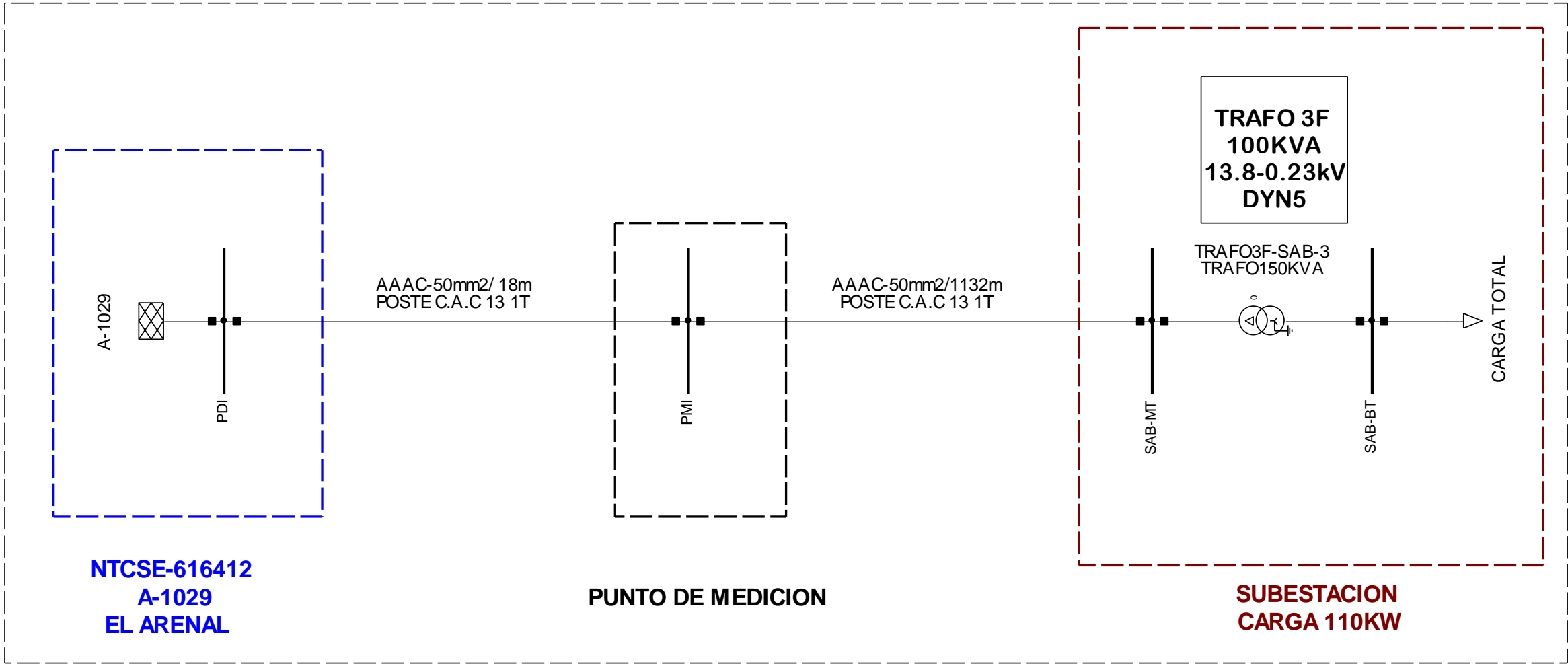
TABLA DE DATOS TÉCNICOS RECONECTADOR AUTOMATICO (RECLOSER)


Tensión de operación	27 kV
Corrientes Nominales:	630 A
Lugar de instalación	COSTA

ÍTEM	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO
1	INTERRUPTOR DE RECIERRE AUTOMATICO		
1.1	País de Procedencia		
1.2	Fabricante		
1.3	Modelo		
1.4	Norma		ANSI/IEEE C37.60
			IEC 62271
1.5	Tipo		Exterior
1.6	Sistema		Trifásico
1.7	Tipo de Operación		Manuel, automática y remota
	Características Eléctricas		
1.8	Tensión de Operación	kV	22.9
1.9	Tensión Máxima	kV	27
1.1	Frecuencia Nominal	Hz	60
1.11	Corriente Nominal y corriente de Interrupción simétrica nominal	A	630
1.12	Nivel básico de aislamiento	kV	170
1.13	Capacidad de cierre sobre fallas (Vef)	kA	12.5
1.14	Capacidad de Cierre sobre fallas (Pico)	kA	32.5
1.15	Ciclo de Trabajo acorde con ANSI C.37.63		SI
1.16	Medio de Interrupción		Vacío
1.17	Medio aislante		Dieléctrico solido
1.18	Número de operaciones eléctricas		30000
	Características Mecánicas		
1.19	Abrazadera		
	- Material		Acero Galvanizado
	- Norma de material		ASTM A575
	- Norma de Galvanizado		ASTM A153
	- Espesor de Galvanización mín.	µm	100
1.2	Sistema de montaje		Para poste de sección circular, poste H o en Subestación
1.21	Mecanismo de accionamiento		Actuador magnético
1.22	Indicador de posición		Visible desde el suelo
1.23	Indicador de nivel de fluido aislante (si corresponde)		N.A.
1.24	Operación mediante pértiga con gancho		SI
1.25	Equipado con gancho de izaje		SI
1.26	Indica vida útil de contactos		Hasta 30000 operaciones, de acuerdo a la corriente de interrupción
1.27	Número de operaciones mecánicas		30000
1.28	Funciones de protección		30001
	Protección máxima demanda		32
	Protección de sobrecorriente de fase y tierra		50N/51N/50/51
	Protección dirección y direccional a tierra		67N/67
	Protección contra falla a tierra sensitiva		SEF

Anexo 2 – Diagrama Unifilar elaborado con software DigSilent Power Factory

SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L

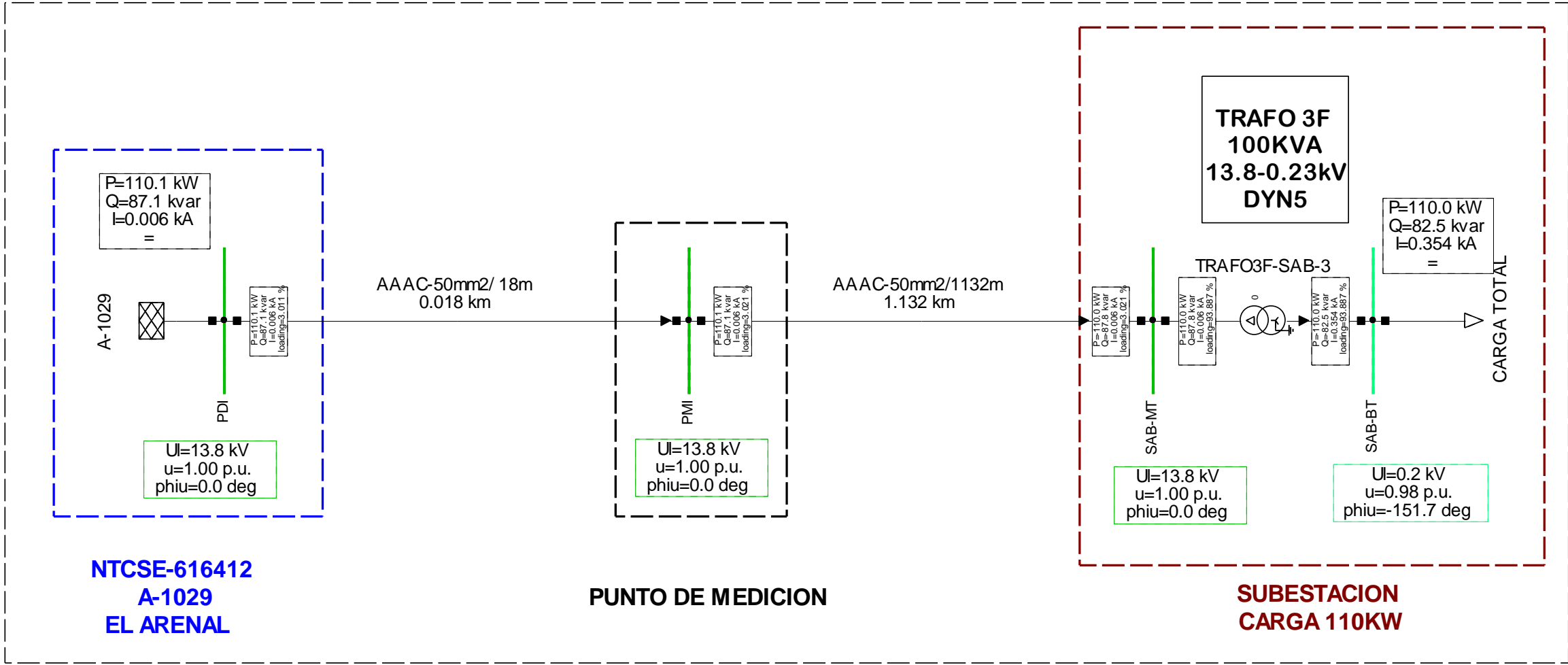


 PowerFactory	ESTUDIO DE COORDINACION SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV DIAGRAMA UNIFILAR	Project:
		Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1


**Anexo 3 – Simulaciones de Flujo de carga elaborado con software DigSilent Power
Factory.**

Flujo de carga con FP=0,8

SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L

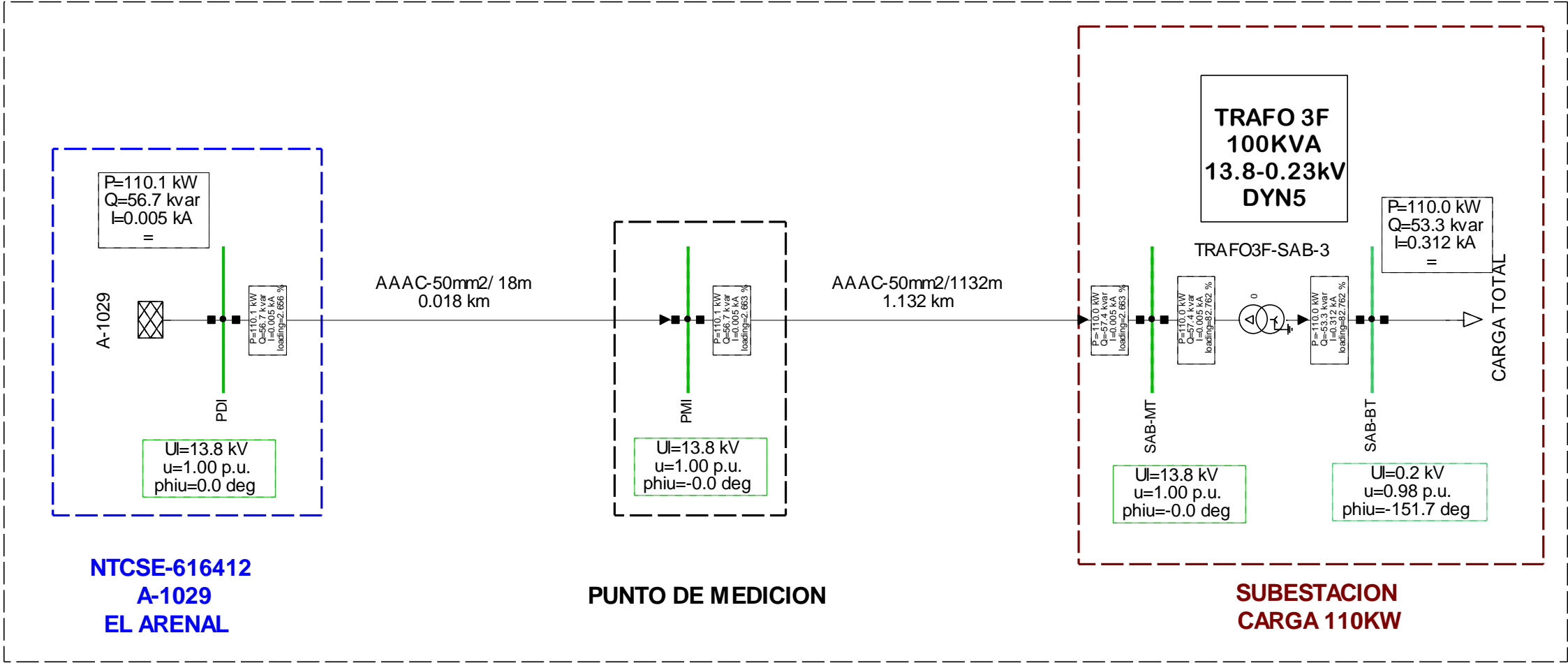


Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
U, Magnitude [kV]	Active Power [kW]
u, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [kvar]
U, Angle [deg]	Current, Magnitude [kA]


 PowerFactory	ESTUDIO DE COORDINACION	Project:
	SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV	Graphic: ECP-AGROBAN
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA (FDP = 0.8)	Date: 6/12/2022
		Annex: 1

Flujo de carga con FP=0,9

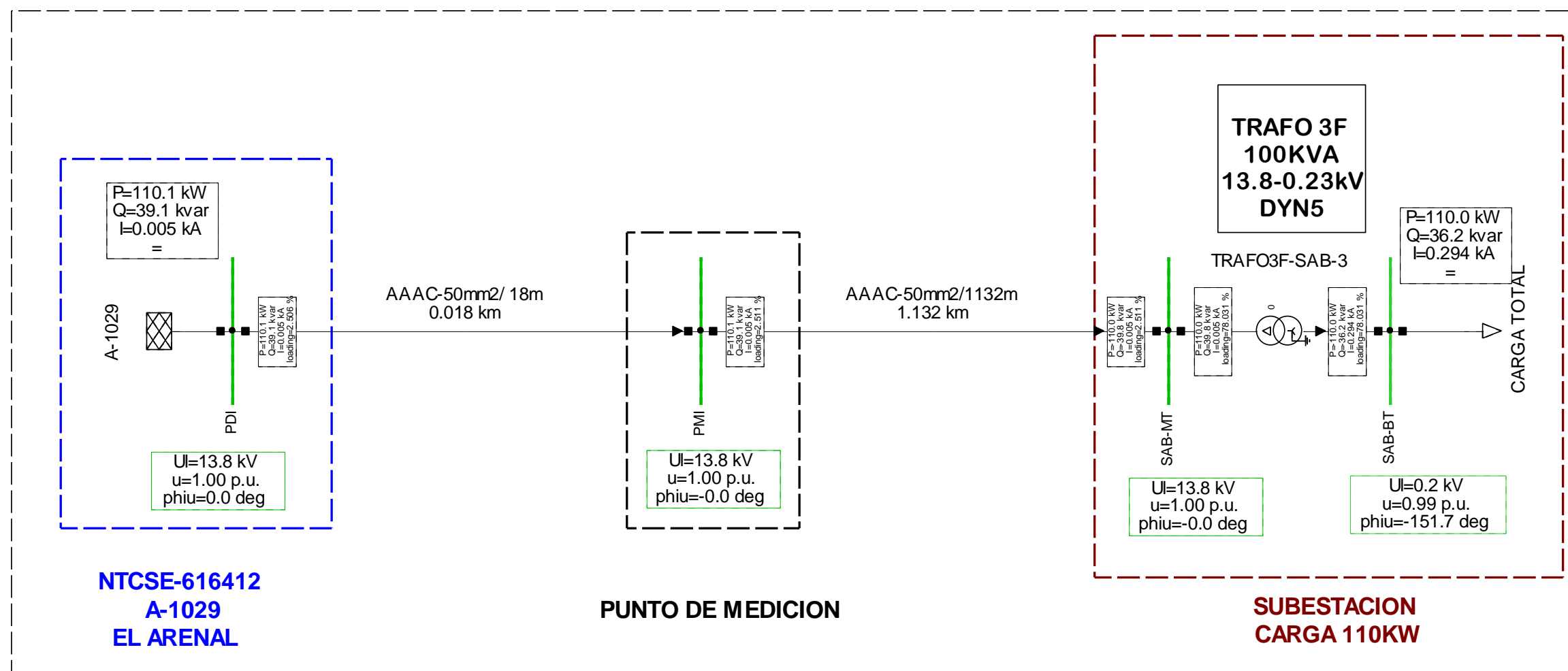
SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
U, Magnitude [kV]	Active Power [kW]
u, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [kvar]
U, Angle [deg]	Current, Magnitude [kA]

 PowerFactory 7	ESTUDIO DE COORDINACION	Project:
	SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA (FDP = 0.9)	Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1

SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø, PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L



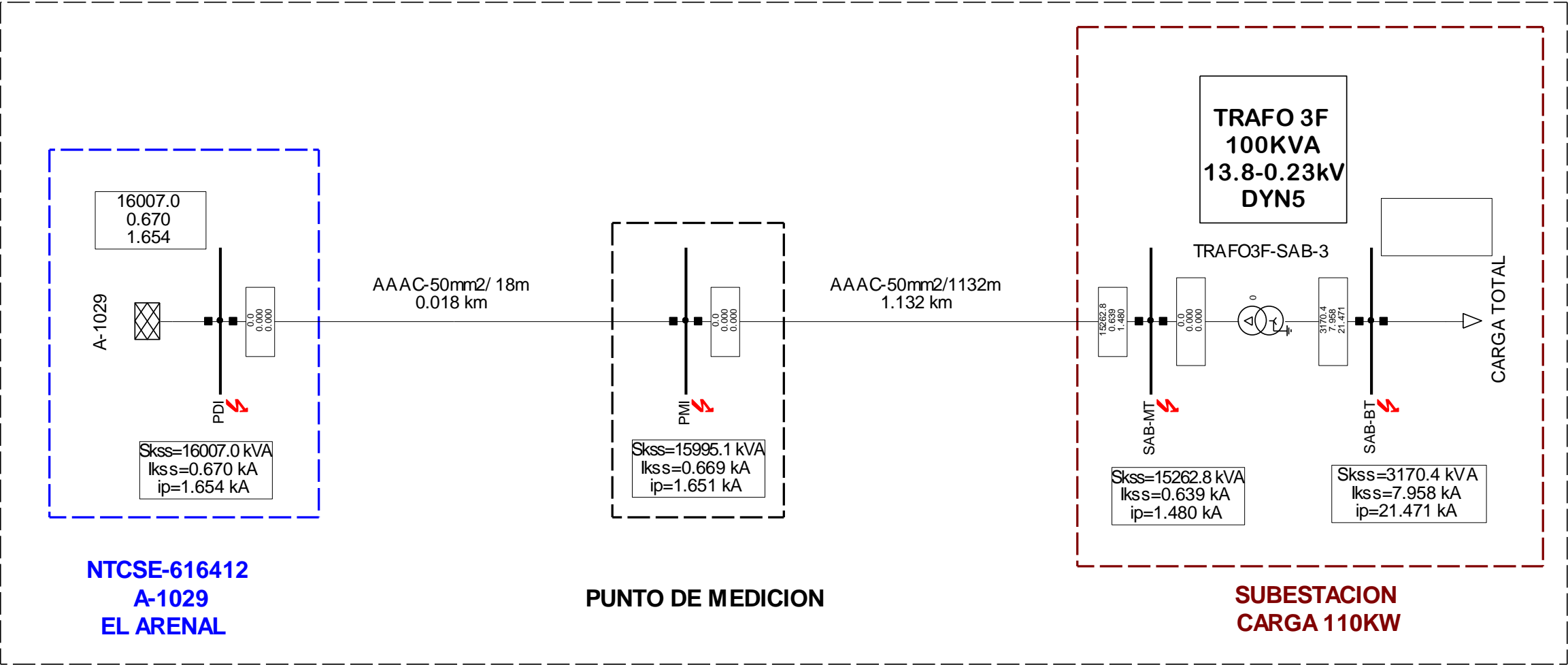
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
U, Magnitude [kV]	Active Power [kW]
u, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [kvar]
U, Angle [deg]	Current, Magnitude [kA]

 AGROBANANOS DEL PERÚ	ESTUDIO DE COORDINACION	Project:
	SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA (FDP = 0.95)	Graphic: ECP-AGROBANANAS Date: 6/12/2022
PowerFactory		Annex: 1


**Anexo 4 – Simulaciones de Cortocircuito elaborado con software DigSilent
Power Factory.**

Nivel de corto circuito TRIFASICO en línea 13,8 kV

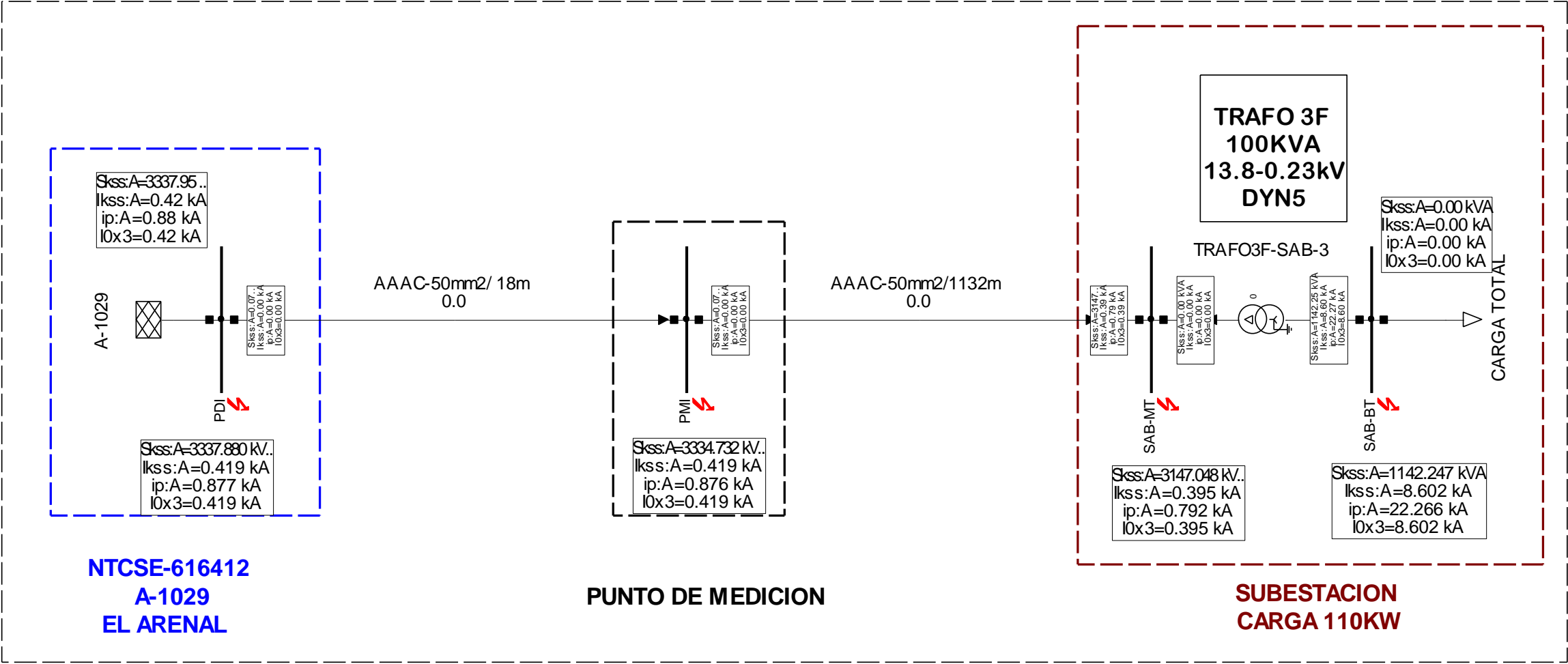
SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L




Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909	
Short Circuit Nodes	Branches
Sk" [kVA]	Sk" [kVA]
Ik" [kA]	Ik" [kA]
ip [kA]	ip [kA]

 AGROBANANAS DEL PERÚ	ESTUDIO DE COORDINACION	Project:
	SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV ANALISIS DE CORTOCIRCUITO TRIFASICO	Graphic: ECP-AGROBAN Date: 6/12/2022 Annex: 1
PowerFactory		

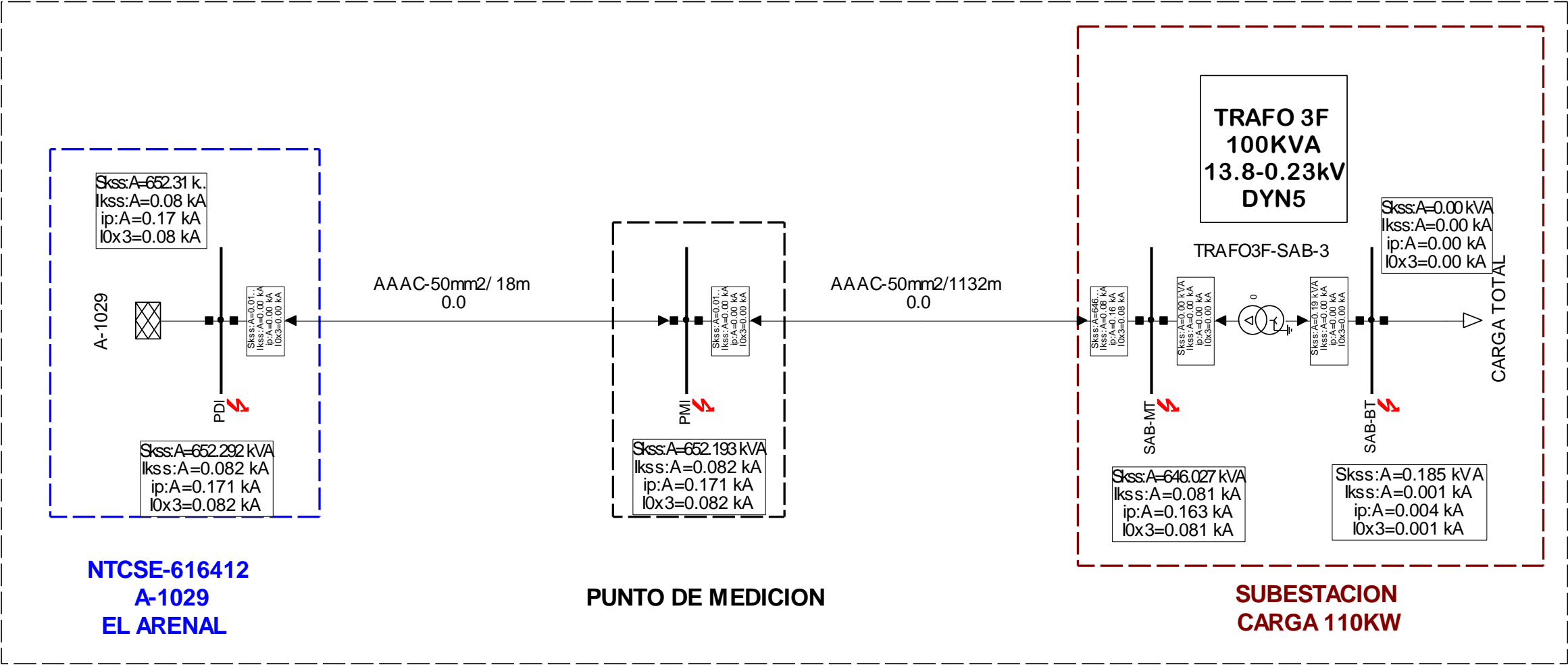
SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L



Max. Single Phase to Ground IEC 60909	
Short Circuit Nodes	Branches
Sk" A [kVA]	Sk" A [kVA]
Ik" A [kA]	Ik" A [kA]
ip A [kA]	ip A [kA]

 PowerFactory	ESTUDIO DE COORDINACION SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV CORTOCIRCUITO MONOFASICO Rf = 0 Ohm	Project:
		Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1

SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L

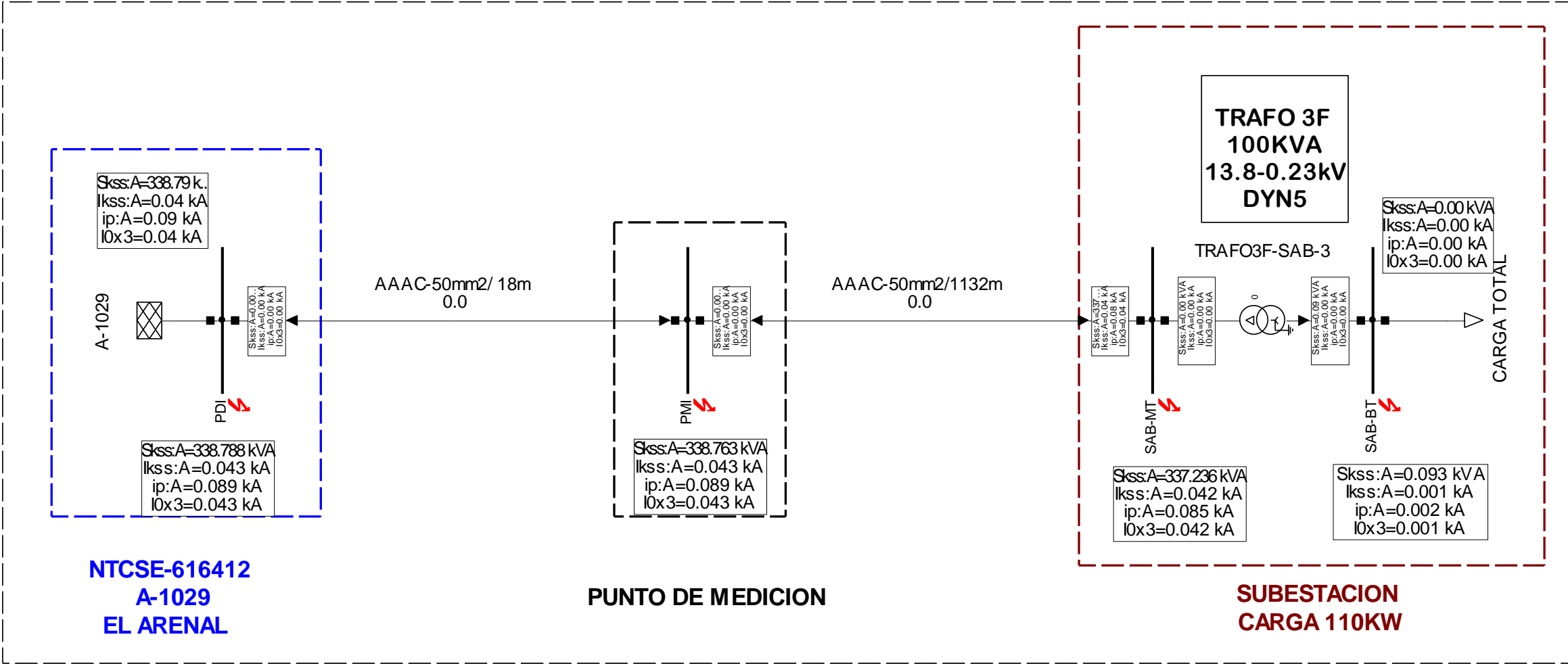


Max. Single Phase to Ground IEC 60909	
Short Circuit Nodes	Branches
Sk" A [kVA]	Sk" A [kVA]
Ik" A [kA]	Ik" A [kA]
ip A [kA]	ip A [kA]


 PowerFactory	ESTUDIO DE COORDINACION SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV CORTOCIRCUITO MONOFASICO Rf = 100 Ohm	Project:
		Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1

Nivel de corto circuito monofásico en línea 13,8 kV 200 Ohm

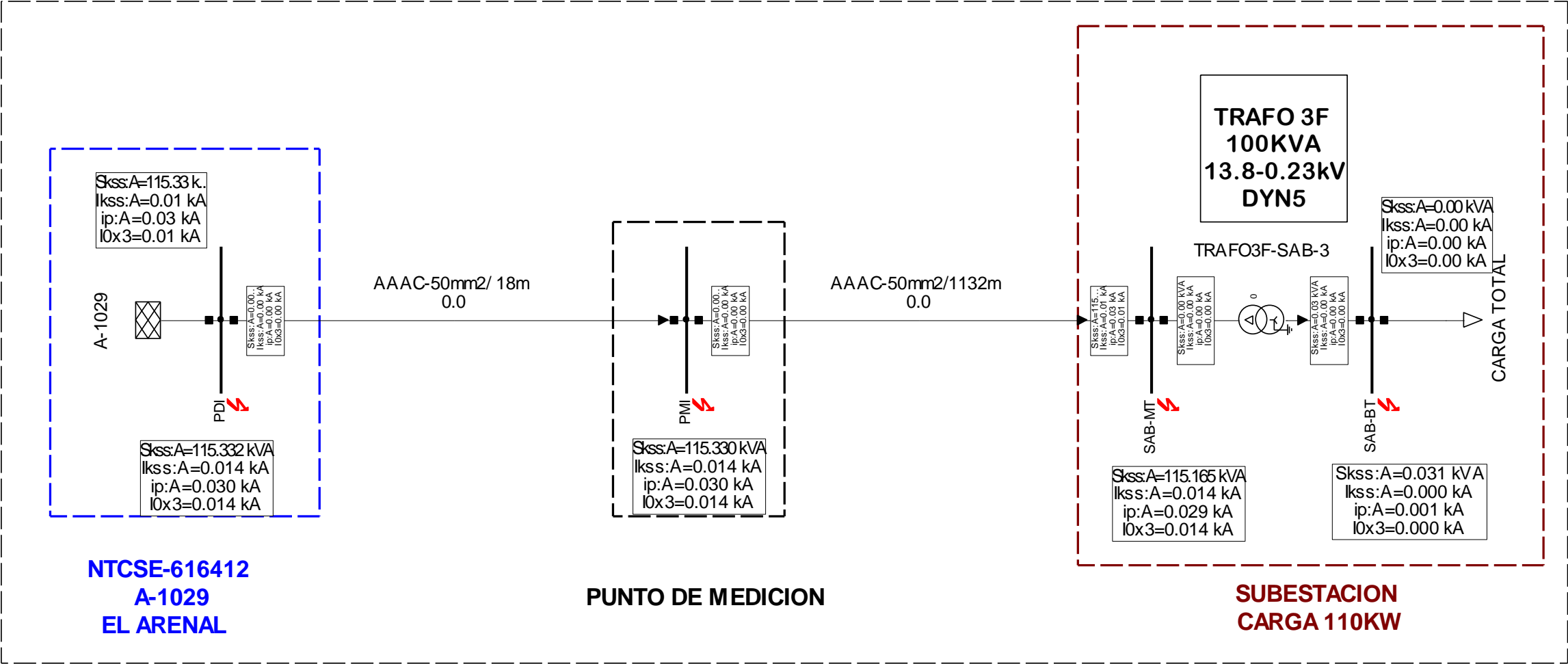
SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L




Max. Single Phase to Ground IEC 60909	
Short Circuit Nodes	Branches
Sk" A [kVA]	Sk" A [kVA]
Ik" A [kA]	Ik" A [kA]
ip A [kA]	ip A [kA]

 PowerFactory	ESTUDIO DE COORDINACION SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV CORTOCIRCUITO MONOFASICO Rf = 200 Ohm	Project:
		Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1



SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN 13.8 KV, 3Ø,
PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU S.R.L



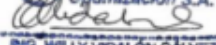


Max. Single Phase to Ground IEC 60909	
Short Circuit Nodes	Branches
Sk" A [kVA]	Sk" A [kVA]
Ik" A [kA]	Ik" A [kA]
ip A [kA]	ip A [kA]

 PowerFactory 1	ESTUDIO DE COORDINACION SUT EMPRESA AGROBANANAS DEL PERU MEDIA TENSION 13.8-22.9KV CORTOCIRCUITO MONOFASICO Rf = 600 Ohm	Project:
		Graphic: ECP-AGROBAN
		Date: 6/12/2022
		Annex: 1

Anexo 5 – Protocolo de pruebas del transformador

 ELÉCTRICA Optimización S.A.		PROTOCOLO DE PRUEBAS			
		TRANSFORMADOR		Nº Serie	T22-013
Cliente: ADEN					
KVA	150	HERTZ	60	m.s.n.m.	1000
VOL.	13800 400	FASES	3	$\Delta \varnothing$ °C	60/65
AMP.	6.28 216.5	GRUPO	Dyn5	T.c.c.%	4.9
1.- RELACION DE TRANSFORMACION Y GRUPO DE CONEXIÓN					± 2.5 %
Pos.	Voltios	Nominal	U - V o - u	V - W o - v	W - U o - w
1	14490	62.74	62.76	62.77	62.74
2	14145	61.25	61.26	61.26	61.24
3	13800	59.76	59.75	59.76	59.74
4	13455	58.26	58.27	58.28	58.26
5	13110	56.77	56.79	56.81	56.78
2.- PRUEBA EN VACIO A 60 HZ					
VOLT.	1 / 1	AMP.	50 / 5	VATIOS	
402	398.3	0.62	5.87	79	wfe = 790
400		0.49			
393		0.65		79 x 10 x 1 x 1	
3) PRUEBA EN CORTOCIRCUITO					
VOLT.	1 / 1	AMP.	25 / 5	VATIOS	TEMP °C= 20
474	476	0.908	4.47	256	Wcu 20 °C= 2529
479		0.893		1280	Tcc 20 °C= 4.85
476		0.878		256 5 1 1	Wcu 75 °C= 2974
4) MEDICION DE RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS					
Arrollam	\varnothing a °C	VOLT.	AMP.	Ohm	I2R Ta
AT U - V	20	8.14	0.383	21.253	1256 I2R 75°C 2766
BT u - v	20	0.01521	1.049	0.0145	1019 Ad. 75°C 209
				Suma	2275 Wcu 75 °C 2974
5) PRUEBAS DE AISLAMIENTO					
	Voltios	Hertz	Segundos	Resultado	
5.1 Tensión inducida	800 27600	120	60	BIEN	
5.2 Tensión aplicada	KV	Hertz	Segundos	Resultado	
A.T.	38	60	60	BIEN	
B.T.	3	60	60	BIEN	
	KV/2.5 mm				
5.3 Rigidez dieléctrica del aceite	55				
OBSERVACIONES:					
FECHA:	20/05/2022				
PROBADO:	Ing. Willy Vidalón				
	CIP 23205		 ELÉCTRICA Optimización S.A. ING. WILLY VIDALÓN GALVÍZ N° CIP 23205		

 ELÉCTRICA Optimización S.A.		PROTOCOLO DE PRUEBAS			
		TRANSFORMADOR		N° Serie T22-013	
Cliente: ADEN					
KVA	150	HERTZ	60	m.s.n.m.	1000
VOL.	22900 400	FASES	3	$\Delta \varnothing ^\circ\text{C}$	60/65
AMP.	3.78 216.5	GRUPO	YNyn6	T.c.c. %	4.9
1.- RELACION DE TRANSFORMACION Y GRUPO DE CONEXION					$\pm 2.39 \%$
Pos.	Voltios	Nominal	U - V o - u	V - W o - v	W - U o - w
1	23995	59.99	60.25	60.27	60.25
2	23447	58.62	58.74	58.76	58.75
3	22900	57.25	57.24	57.26	57.25
4	22353	55.88	55.77	55.78	55.77
5	21805	54.51	54.29	54.31	54.29
2.- PRUEBA EN VACIO A 60 HZ					
VOLT.	1 / 1	AMP.	50 / 5	VATIOS	
402	398.3	0.62	5.87	79	wfe = 790
400		0.49			
393		0.65		$79 \times 10 \times 1 \times 1$	
3) PRUEBA EN CORTOCIRCUITO					TEMP $^\circ\text{C}$ = 20
VOLT.	1 / 1	AMP.	10 / 5	VATIOS	
564.0	564.67	0.99	1.97	350	700
568		0.98			
562		0.98		350	2 1 1
4) MEDICION DE RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS					
Arrollam	\varnothing a $^\circ\text{C}$	VOLT.	1.035	Ohm	I2R Ta
AT U - V	20	8.28	0.135	61.333	1316
BT u - v	20	0.01521	1.049	0.0145	1019
				Suma	2335
5) PRUEBAS DE AISLAMIENTO					
	Voltios	Hertz	Segundos	Resultado	
5.1 Tensión inducida	600 34350	120	60	BIEN	
5.2 Tensión aplicada	KV	Hertz	Segundos	Resultado	
A.T.	50	60	60	BIEN	
B.T.	3	60	60	BIEN	
	KV/2.5 mm				
5.3 Rigidez dieléctrica del aceite	55				
OBSERVACIONES:					
FECHA:	20/05/2022				
PROBADO:	Ing. Willy Vidalón CIP 23205		 ELÉCTRICA Optimización S.A.  ING. WILLY VIDALÓN GÁLVEZ N° CIP 23205		

Anexo 6 – Vista fotográfica de la placa de datos del transformador

TRANSFORMADOR TRIFASICO EN ACEITE BIODEGRADABLE
FABRICADO SEGUN NORMAS CEI PUB 60076 - ITINTEC 370.002

Serie T22 - 013 Aceite FR3 Año 2022

KVA 150 Parte Activa 290 Kg. Hertz 60

VOLT 13800 - 22900/400 Peso Aceite 215 Kg. Fases 3

AMP 6.28 - 3.78/216.5 Peso Total 680 Kg. Grupo Dyn5-YNyn6

m.s.n.m. 1000

Enfriamiento ON/AN

T.C.C. 75 °C 4.5 %

Aislamiento CLASE A

Interno AT Um /Uf/BIL 24/50/125 kV

Externo AT Um /Uf/BIL 36/70/170 kV

Um/Uf BT 1.1/3 kV

TENSION VOLT.				
Pos.	Pos. 1		Pos. 2	
1	14490	U - Ub	24095	
2	14145	V - Vb	23498	U - Ua
3	13800	W - Wb	22900	V - Va
4	13455	Ub - Z	22302	W - Wa
5	13110	Vb - X	21704	Z-X-Y-N





UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°003-2023-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día viernes 06 de enero de 2023. Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/ncm-eyah-gav>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°007-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 03 de enero de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió la Tesis titulada:


"MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN 13,8-22,9 KV PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. APLICANDO EL SOFTWARE DIGSILENT"

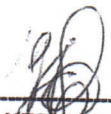
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **BERNILLA REYES JEYSER ANTONY**. Finalizada la sustentación virtual de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (15) en la escala vigesimal, mención **REGULAR**.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10:55 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
SECRETARIO


ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
MIEMBRO


M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
ASESOR



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

Lambayeque, 27 de octubre del 2022

Señor

Dr. ANIBAL SALAZAR MENDOZA

JEFE DE LA OFICINA DE INVESTIGACION – FIME

ASUNTO: CONFORMIDAD DE ELABORACION DE TESIS

Es grato dirigirme a Ud. Para saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, a la fecha, quien suscribe la presente es ASESOR de la tesis elaborada por el Bach. JEYSER ANTONY BERNILLA REYES, tesis titulada: **“MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRICA EN MEDIA TENSIÓN 13.8 – 22.9 KV PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. APLICANDO EL SOFTWARE DIGSILENT”** En ese sentido, después de haber revisado dicha tesis y después de someterlo a revisión en el software Turnitin, este arroja 17% de duplicidad (menor de 20%), por lo tanto, procedo a dar CONFORMIDAD, quedando el Sr. JEYSER ANTONY BERNILLA REYES, APTO para la sustentación respectiva, en la hora y fecha que su despacho tenga a bien designar.

Agradecido por su atención al presente, me despido de Ud.

Adjunto

Recibo digital de Turnitin en formato de pdf. (página 01)

Se adjunta el reporte digital de Turnitin en formato pdf. (106 páginas).

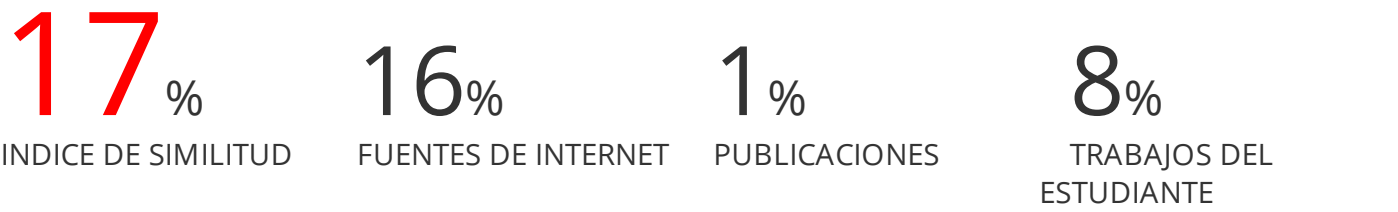
Atentamente:



M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN 13,8 – 22,9 KV PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. APLICANDO EL SOFTWARE DIGSILENT

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	1%
	Trabajo del estudiante	
2	Submitted to Universidad Continental	1%
	Trabajo del estudiante	
3	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
4	gobiernoabierto.navarra.es	1%
	Fuente de Internet	
5	www.slideshare.net	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.utc.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

8	Fuente de Internet	1 %
9	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
11	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1 %
12	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	

<1 %

20

dominiodelasciencias.com

Fuente de Internet

<1 %

21

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

zagan.unizar.es

Fuente de Internet

<1 %

25

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

vbook.pub

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.unprg.edu.pe:8080

Fuente de Internet

<1 %

30

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

31	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
32	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
33	bibliotecadigital.udea.edu.co Fuente de Internet	<1 %
34	Mihet-Popa, L., X. Han, H. Bindner, J. Pihl-Andersen, and J. Mehmedalic. "Development and modeling of different scenarios for a smart distribution grid", 2013 IEEE 8th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2013. Publicación	<1 %
35	ojs.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
36	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
40	www.davidpublisher.com	

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		






Recibo digital


Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jeyser Antony Bernilla Reyes
Título del ejercicio: Tesis de Pregrado
Título de la entrega: MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA...
Nombre del archivo: TESIS_JABR_29-8-22.docx
Tamaño del archivo: 6.06M
Total páginas: 100
Total de palabras: 14,470
Total de caracteres: 77,963
Fecha de entrega: 29-ago.-2022 05:26p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 1889052919



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



TESIS
Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN 13,8 – 22,9 KV PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. APLICANDO EL SOFTWARE DIGSILENT"

Autor:

Bach. Jeyser Antony Bernilla Reyes

Asesor:

Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

LAMBAYEQUE – PERÚ
2022



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE SIMILITUD

Nº 009-2023-VIRTUAL-UINV-FIME

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO, HACE CONSTAR:

Que, el Bachiller: **BERNILLA REYES JEYSER ANTONY**, de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ha cumplido con presentar la **SIMILITUD DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS (TURNITIN)**; como requisito indispensable para la sustentación de la tesis; según detalle:

- TITULO DE LA TESIS:

“MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRICA EN MEDIA TENSIÓN 13.8 – 22.9 KV PARA LA EMPRESA AGROBANANAS DEL PERÚ S.R.L. APLICANDO EL SOFTWARE DIGSILENT”

- INDICE DE SIMILITUD: 17%

- ASESOR: MSC. JONY VILLALOBOS CABRERA.

Se expide la presente, para la tramitación del Título Profesional; dispuesto en la **Directiva para la evaluación de originalidad de los documentos académicos, de investigación formativa y para la obtención de Grados y títulos de la UNPRG.**

Lambayeque, 30 de enero del 2023

Atentamente,

Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza
Director de la Unidad de Investigación FIME