



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN  
PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA  
MINERA YUHUY ANANEA, 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN  
PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA  
MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
M. Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ASESOR DE TESIS**

:   
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRICA – P18**



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 919-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU-6661 presentado por el (la) Bachiller: **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- \* **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- \* **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

**ARTICULO TERCERO .** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 04 de setiembre del 2025
- \* **HORA** : 10:30 horas
- \* **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. DIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
C.P. 32730

cc.  
Archivo  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. Fredy Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 217-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 10 de abril del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 002782 por el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 093- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 002 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamín Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 002 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Motr. **WALTER J. LIZARRAGA ARMAYZA**  
DECANO (e)  
CIP. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. **Fritz Willy Mamani Apaza**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 1259-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 011595, presentado el señor (a) **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 1029 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 026-2024 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 026-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERIA Y TECNOLOGIA ELÉCTRICA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
  
Dr. MILTON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
DIRECCIÓN  
JULIACA - PERÚ  
Dr. Efraín Cañillo Sosa  
DIRECCIÓN  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 207-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de abril del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 014386, presentado por el señor (a) **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1259-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTITACIÓN**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1259-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTITACIÓN**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**, se le asigna como:

**ASESOR:** Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Motr. **WALTER J. LIZÁRRAGA ARMAZA**  
DECANO (e)  
CIP. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. **Fritz Willy Mamani Apaza**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



## OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN ESTIG MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	13%
2	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	5%
3	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://tesis.unap.edu.pe">tesis.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.upeu.edu.pe">repositorio.upeu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



**Metadatos Complementarios**

<b>Título de la tesis</b>	
<b>OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46720995
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0009-5530-8049">https://orcid.org/0009-0009-5530-8049</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8065-6533">https://orcid.org/0000-0001-8065-6533</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología e Ingeniería Mecánica – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Antonio de Putina Distrito: Ananea Longitud oeste: -15.481851250200059, - Latitud sur: -70.12075060454241
	 <p>Url. <a href="https://goo.su/luc6D">https://goo.su/luc6D</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2023 - diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00</a> <b>Sistemas de automatización, Sistemas de control</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL NESTOR CACERES VELASQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

Dr. Fritzy Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE, identificado con DNI Nro. 46720995 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

**OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUY ANANEA, 2024**

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 17 de septiembre del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

Este trabajo es un tributo a Dios, fuente de fortaleza para culminar mi formación profesional. A mis progenitores, cuyo respaldo inquebrantable trascendió la lejanía física. A mis seres queridos, cuyas enseñanzas iluminaron cada etapa de este proceso, compartiendo generosamente sus horas cuando más las requerí. Finalmente, a quienes directa o indirectamente hicieron posible este logro, les extiendo mi gratitud



## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco al Creador por concederme perseverancia y discernimiento para cumplir mis metas. A mi alma máter, espacio donde florecieron mi desarrollo humano y técnico. A los profesionales que guiaron mi camino, compartiendo su pericia y sirviendo como referentes. A mis colegas, cómplices en las vicisitudes y triunfos académicos, y a aquellos con quienes construí lazos indestructibles



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... iii

AGRADECIMIENTO.....iv

ÍNDICE GENERAL .....v

ÍNDICE DE TABLAS .....ix

ÍNDICE DE FIGURAS .....x

RESUMEN .....xi

ABSTRACT .....xii

INTRODUCCIÓN .....xiii

CAPITULO I ..... 15

ASPECTOS GENERALES..... 15

1.1. Descripción del problema ..... 15

1.2. Formulación del problema ..... 16

1.2.1. Problema principal..... 16

1.2.2. Problemas específicos ..... 16

1.3. Justificación ..... 16

1.4. Objetivo general..... 17

1.4.1. Objetivos específicos ..... 17

1.5. Hipótesis ..... 18

1.5.1. Hipótesis general..... 18

1.5.2. Hipótesis específicas ..... 18

1.6. Operacionalización de variables ..... 20

CAPÍTULO II ..... 21

MARCO TEÓRICO..... 21

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION ..... 21

2.1.1. A nivel internacional ..... 21

2.1.2. A nivel nacional ..... 22



- 2.1.3. A nivel regional..... 23
- 2.2. MARCO TEORICO ..... 25
  - 2.2.1. Coordinación de Protecciones..... 25
  - 2.2.2. Selectividad..... 25
  - 2.2.3. Confiabilidad (SAIDI/SAIFI)..... 25
  - 2.2.4. Corriente de Cortocircuito (Icc)..... 25
  - 2.2.5. Relé de Sobrecorriente (50/51) ..... 26
  - 2.2.6. Reclosers ..... 26
  - 2.2.7. Fusibles de Potencia ..... 26
  - 2.2.8. DlgSILENT PowerFactory ..... 26
  - 2.2.9. NTCSE ..... 27
  - 2.2.10. Impedancia de Secuencia (Z1, Z2, Z0) ..... 27
  - 2.2.11. Sistemas de Protección..... 27
  - 2.2.12. Sincronización de los Mecanismos Protectores en Redes Eléctricas  
28
  - 2.2.13. Criterio de Ajuste y Coordinación de la Protección ..... 28
- 2.3. MARCO CONCEPTUAL ..... 28
- CAPÍTULO III ..... 31
- PROCEDIMIENTO METODOLOGÍA ..... 31
- 3.1. Métodos de investigación ..... 31
- 3.2. Ámbito de investigación ..... 31
- 3.3. Población y muestra ..... 33
  - 3.3.1. Población:..... 33
  - 3.3.2. Muestra: ..... 33
- 3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de información..... 34
- 3.5. Recogida de datos ..... 34
- CAPÍTULO IV..... 36
- RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 36
- 4.1. Presentación..... 36
  - 4.1.1. Análisis e interpretación ..... 36



4.2. Circuito Importante de Chancado.....	37
4.2.1. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fase instantánea (I50P):.....	40
4.3. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fase temporizada (I51P).....	41
4.3.1. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fase instantánea (I50P).....	42
4.3.2. Cálculo de Ajuste de Corriente de la Protección de Fase temporizada (I51P).....	44
4.3.3. Cálculo de Ajuste de Protecciones .....	44
4.4. Time Dial.....	45
4.4.1. Cálculo de Fusible de la Chancadora Giratoria .....	46
4.4.2. Ajuste de Protección de la Chancadora Cónica 1.....	46
4.4.3. Tabulación de Parámetro de Protección de Falla a Tierra.....	47
4.4.4. Relé R1G-T09 (Lado Secundario T09- 3MVA de Chancado) .....	47
4.4.5. Ajuste de Protección de Tierra R1G-T09 (3MVA).....	48
4.4.6. Relé Alim Ch prim (relé alimentador a chancado primario).....	48
4.4.7. EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA .....	49
4.4.8. Indicador de Calidad del Suministro.....	54
4.4.9. Análisis de Sensibilidad y Selectividad.....	54
4.4.10. Evaluaciones de la Confiabilidad del Sistema .....	55
4.4.11. Comparación de Liberación de Energía entre los dos Sistemas....	59
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES .....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
ANEXOS .....	68
ANEXO 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	69
ANEXO 02 INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS .....	70
I. DATOS GENERALES .....	70
<b>II. LISTA DE VERIFICACIÓN TÉCNICA .....</b>	<b>70</b>



<b>III. CUESTIONARIO ESTRUCTURADO (Escala tipo Likert)</b> .....	71
<b>IV. VALIDACIÓN TÉCNICA</b> .....	72
<b>V. OBSERVACIONES GENERALES</b> .....	72
<b>ANEXO .3 VALIDACION DE INSTRUMENTOS</b> .....	73
<b>ANEXO 04 OTROS</b> .....	75



### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2 Características técnicas de equipos .....	37
Tabla 3 Características técnicas de equipos chancado primario .....	38
Tabla 4 Datos para cálculos de ajustes del alimentador y transformador del circuito de chancado.....	38
Tabla 5 Configuración de ajustes de protección cónica 1.....	47
Tabla 6 Configuración de ajustes de protección de tierra transformador principal 3MVA.....	48



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Sistemas de Protección..... 27

Figura 2. Diagrama de protección ..... 30

Figura 3 Región Puno ..... 33

Figura 4 diagrama unifilar minera yuhuay – ananea ..... 57

Figura 5 Protección de alimentador y transformador del circuito de Chancado 58



## RESUMEN

La presente investigación se enfocó en optimizar la coordinación de protecciones para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea. Se aplicó una metodología basada en simulaciones con el software especializado DlgSILENT PowerFactory, que incluyó análisis de flujo de carga, cortocircuito y sensibilidad de protecciones. Se identificaron como principales fallas: sobrecarga de transformadores (94.8% de uso), fallas trifásicas con corrientes de hasta 20 kA y falta de selectividad en los dispositivos de protección.

Los ajustes técnicos implementados incluyeron la configuración de curvas IEC inversas con tiempos de operación de 0.05 segundos en relés, mejorando los indicadores de confiabilidad: reducción del tiempo de respuesta en 30%, disminución de interrupciones de 6 a 2 por semestre, y reducción de la duración de estas de 10 a 4 horas. Los índices SAIDI y SAIFI cumplieron con los estándares de la NTCSE.

Estos resultados demuestran que una apropiada coordinación de protección incrementa la estabilidad del sistema, reduce costos operativos y mejora la seguridad, proponiendo un modelo replicable en sistemas de media tensión.

**Palabras Claves:** Coordinación de protección, confiabilidad eléctrica.



## ABSTRACT

This study aimed to optimize protection coordination to perfect the reliability of the 22.9 kV electrical system at the Yuhuay Ananea Mine. Using computational methodology with DlgSILENT PowerFactory simulations, recurring system failures were analyzed, identifying key causes including transformer overloads (94.8% capacity), high short-circuit currents (up to 20 kA in three-phase faults), and lack of protection device selectivity.

The research implemented technical adjustments in relays (configuring IEC inverse curves with 0.05-second operation times for phase-to-ground faults), reclosers, and fuses, achieving significant reliability improvements: 30% reduction in fault response time, decrease in interruptions from 6 to 2 per semester, and reduction in interruption duration from 10 to 4 hours per semester. Additionally, SAIDI and SAIFI indices demonstrated compliance with NTCSE standards, validating the optimization's effectiveness.

These results prove that proper protection coordination not only enhances electrical system stability in mining environments but also reduces operational costs and improves safety. The study provides a replicable model for medium-voltage systems facing similar challenges.

**Keywords:** Protection coordination, electrical reliability.



## INTRODUCCIÓN

El sector minero depende fundamentalmente de la estabilidad de sus redes energéticas para asegurar operaciones ininterrumpidas y evitar impactos financieros. Particularmente, las instalaciones de media tensión -como el circuito de 22.9 kV en la unidad Yuhuay Ananea- presentan vulnerabilidades asociadas a deficiencias en la articulación de los sistemas protectores, manifestándose en recurrentes cortes de energía (12 incidentes registrados entre 49 posibles fallos anuales), excesos de carga en transformadores y poca discriminación en los mecanismos de seguridad. Estas anomalías no solamente perjudican el rendimiento productivo, sino que además ponen en riesgo la integridad del sistema, incrementan los gastos por reparaciones no programadas y acortan la duración efectiva de los componentes. La presente estudio busca afinar la operación conjunta de los elementos de protección para reforzar la eficiencia de la red eléctrica de 22.9 kV en dicha operación minera, a través de: (1) diagnóstico de los orígenes de las fallas (incluyendo corrientes de falla desreguladas y configuraciones anticuadas en relés), (2) implementación de modificaciones técnicas en los equipos de resguardo (relés, reconectores y fusibles) y (3) valoración de los efectos positivos en la calidad del servicio energético. Para ello, se emplearán plataformas de simulación avanzada como DlgSILENT PowerFactory, se realizaron simulaciones de flujo de carga, análisis de cortocircuitos (con corrientes de hasta 20 kA en fallas trifásicas) y coordinación de protecciones basada en normas IEC y ANSI/IEEE, lo que permitió diseñar estrategias para reducir el tiempo de respuesta ante fallas en un 30%, disminuir interrupciones de 6 a 2 por semestre y mejorar los índices de confiabilidad SAIDI y SAIFI. La investigación se justifica por su aporte teórico al campo de los



sistemas de protección en media tensión y por su impacto práctico en la operatividad minera, donde un suministro eléctrico estable es esencial para evitar pérdidas económicas y cumplir con estándares internacionales como la NTCSE.de media tensión, un tema de relevancia tanto a nivel nacional como internacional.



## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. Descripción del problema

El sistema eléctrico de 22.9 kV de la Minera Yuhuay Ananea presenta fallas recurrentes asociadas a una sincronización deficiente de protecciones, generando interrupciones que afectan la producción, la seguridad operativa y los costos de mantenimiento. Estudios como el de Farhan y Matti (2019) evidencian que una protección mal coordinada impacta negativamente en la eficiencia industrial.

A nivel nacional, el COES (2018) señala que el incremento de cortocircuitos hace necesario actualizar los estudios de coordinación.

A nivel local, en la Minera Yuhuay Ananea, las fallas en el sistema eléctrico de 22.9 kV han ocasionado interrupciones y problemas de confiabilidad, afectando las operaciones diarias.

La optimización de la coordinación de protección resulta fundamental para incrementar la confiabilidad del sistema eléctrico y garantizar su operación continua, estable y segura.



## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema principal

**PG.-** ¿Cómo puede optimizarse la coordinación de protecciones para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea 2024?

### 1.2.2. Problemas específicos

**PE1.-** ¿Cuáles son las principales causas técnicas de fallas en el sistema de 22.9 kV?

**PE2.-** ¿Qué ajustes técnicos requieren los dispositivos de protección para aumentar su eficacia?

**PE3.-** ¿Cómo influye la mejora de la sincronización de protecciones en la estabilidad operativa del sistema?

## 1.3. Justificación

### Teórico:

Este estudio representa un aporte valioso para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea, donde las fallas recurrentes interrumpen el servicio y generan pérdidas económicas. Identificar las causas de estos problemas permitirá fortalecer el conocimiento técnico y optimizar la protección del sistema.

### Práctico:

El objetivo del estudio es mejorar la coordinación del sistema de protección para minimizar interrupciones y asegurar un suministro



eléctrico más confiable, lo que traerá beneficios tanto para la empresa como para sus usuarios.

### **Metodológico:**

Se empleará un análisis de las causas de las fallas y se mejorarán los parámetros de coordinación de protección. Utilizando herramientas computacionales, se evaluará el sistema antes y después de las mejoras, asegurando soluciones basadas en datos concretos.

### **1.4. Objetivo general**

**OG.-** Optimizar la coordinación de protecciones para mejorar la confiabilidad del sistema de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea.

#### **1.4.1. Objetivos específicos**

**OE1.-** Identificar y clasificar las principales causas técnicas de fallas en el sistema de 22,9 kV a partir de históricos de eventos, registros de relés/oscilografías y condiciones operativas.

**OE2.-** Determinar y aplicar ajustes técnicos óptimos (umbrales/pick-up, curvas, tiempos, funciones de tierra, recierre, coordinación con fusibles y reconectadores) en los dispositivos de protección para incrementar su eficacia (sensibilidad, selectividad y rapidez de despeje).

**OE3.-** Evaluar el efecto de la mejora de la sincronización/coordinación de protecciones sobre la estabilidad operativa del sistema, considerando indicadores de continuidad y eventos no selectivos.



## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis general

**HG.-** La optimización de la coordinación de protecciones en el sistema de 22,9 kV mejora significativamente la confiabilidad del sistema, evidenciada por menor frecuencia de disparos no selectivos, reducción del tiempo total de despeje de falla y disminución de interrupciones no programadas en la operación 2024.

### 1.5.2. Hipótesis específicas

**HE1.-** Las fallas más frecuentes en el sistema de 22,9 kV se asocian principalmente a sobrecorrientes, fallas monofásicas a tierra, transitorios por maniobra y desequilibrios, y su identificación sistemática permite priorizar acciones de mitigación que reducen su recurrencia.

**HE2.-** La aplicación de ajustes óptimos en los dispositivos de protección (umbrales, curvas IEC/ANSI y tiempos de disparo/recierre) incrementa la eficacia del esquema de protecciones, medida por mayor sensibilidad, mejor selectividad y menores tiempos de despeje frente a las condiciones de falla típicas del sistema.

**HE3.-** La mejora de la sincronización/coordinación entre protecciones aguas arriba y aguas abajo incrementa la estabilidad operativa, al confinar las fallas al menor tramo posible, reducir disparos en cascada y disminuir la variabilidad de tensión durante y después de las perturbaciones.





## 1.6. Operacionalización de variables

**Tabla 1.**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDADES
<b>V.I.</b> Coordinación de protección	Ajuste de dispositivos	Curva T-I, tiempo de operación, secuencia de reconexión	Ratio tiempo
<b>V.D.</b> Confiabilidad del sistema	Continuidad del suministro	SAIDI, SAIFI, Número y duración de interrupciones	Numérica

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

##### 2.1.1. *A nivel internacional*

**Monsalve Mera (2020)** Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (Perú); Tesis; Título: Coordinación de Protección de la Línea de Alimentación BE-S03 – Sistema Eléctrico Rural de Bellavista.

La sincronización óptima de protecciones en redes de media tensión ejemplificada en el caso de Bellavista Rural es fundamental para garantizar la eficiencia operativa. El estudio destaca que, debido a la implementación de ajustes obsoletos y la falta de actualización en los dispositivos de protección, se generaron interrupciones innecesarias que afectaron la calidad del suministro eléctrico. Para solucionar este problema, se utilizó DIGSILENT PowerFactory para simulaciones de flujo de potencia, optimizando ajustes y reduciendo tiempos de interrupción, en línea con la normativa peruana.

**Andruszkiewicz y Lorenc (2022)** Poznan University of Technology, Institute of Electric Power Engineering (Polonia); Artículo científico; Título: Overcurrent protection against multi-phase faults in MV networks based (International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Elsevier)].



Desarrollaron un algoritmo multicriterio para mejorar la eficacia de relés de sobrecorriente en redes de media tensión. La aplicación de criterios de secuencia negativa y cero amplió la zona de operación efectiva y redujo disparos innecesarios, elevando la robustez de los sistemas ante fallas complejas

**Pham, L. N. H. (2024)** University of South-Eastern Norway; Institute of Electrical Energy–National (AR); CREST–Loughborough University (UK); Artículo en actas de congreso (MDPI, Engineering Proceedings); Título: Directional Overcurrent Protection Design for Distribution Network: CIGRE European Medium-Voltage Benchmark Network].

Propone una metodología de diseño y ajuste de relés de sobrecorriente direccionales en redes de media tensión, validada en la red CIGRE MV con DlgSILENT PowerFactory 2023. La correcta parametrización (curvas, tiempos y dirección) mejora la selectividad y reduce disparos indebidos, útil en sistemas radiales y mallados.

### **2.1.2. A nivel nacional**

**Quispe Huaranga, 2019** Tesis; Título: Mejora de la confiabilidad mediante el reposicionamiento de los seccionadores del alimentador A4803 de la subestación Chanchamayo, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). El estudio se basó en los índices de confiabilidad descritos en la norma IEEE 1366-2003, y demostró que la reubicación de estos dispositivos redujo significativamente las interrupciones del servicio eléctrico. Este trabajo resalta la calidad de la organización y el diseño



adecuado de los sistemas de protección para garantizar un suministro eléctrico confiable.

**Estrella & Saul, 2020**, Título: Análisis del sistema de protección para la optimización de la calidad de suministro del alimentador A4703-Tarma Se analizó el efecto de los niveles de protección sobre la calidad. Los resultados demostraron que la incorporación de relés digitales multifuncionales mejoró significativamente la calidad del servicio, brindando beneficios como mayor seguridad, protección de los equipos y una mejor selectividad. Este estudio reafirma que la optimización de los sistemas de protección es clave para asegurar un suministro eléctrico confiable, continuo y eficiente.

**Bernilla Reyes, J. A. (2022)** Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG); Tesis; Título: Protección y coordinación del sistema eléctrico de media tensión 13,8–22,9 kV para la empresa Agrobananas del Perú S.R.L. aplicando DlgSILENT Protección y coordinación del sistema eléctrico. Desarrolla el modelado y coordinación de protecciones en un sistema 13,8–22,9 kV en Perú, aplicando DlgSILENT para cortocircuitos y curvas T–I. Reporta mejoras en la selectividad y en la continuidad del suministro, con lineamientos de ajuste (relés–recloser–fusibles) que son transferibles a entornos industriales/mineros.

### **2.1.3. A nivel regional**

**Condori (2021)** Tesis; Título: Análisis, optimización y evaluación de la coordinación de protecciones en el alimentador 3003 del sistema eléctrico Ananea, Universidad Nacional del Altiplano, Puno; enfocándose en la falta



de selectividad de los relés frente a fallas trifásicas. Mediante simulaciones en software especializado, propuso recalibrar los dispositivos de protección, lo que permitió reducir en 40% los tiempos de interrupción.

**Mamani (2022)** Tesis; Título: Análisis, evaluación de la coordinación de protecciones en el alimentador 3003 del sistema eléctrico Ananea, Universidad Nacional del Altiplano, Puno; Realizó un estudio sobre la coordinación de protecciones en el alimentador principal del distrito de Ananea, Puno, donde las fallas a tierra representaban el 60% de los eventos registrados. Tras aplicar ajustes en relés digitales y fusibles, se logró una mejora en los indicadores de confiabilidad y se recomendó actualizar los estudios de coordinación cada dos años.

**Quispe y Flores (2023)** Universidad Nacional del Altiplano–Puno; Proyecto/tesis; Título: Análisis, evaluaciones de las coordinaciones de protección... en el alimentador 9001 del Servicio Eléctrico Crucero–Antauta (22,9 kV) Investigaron la infraestructura eléctrica de la Minera La Rinconada (Puno). El estudio detectó sobrecargas en transformadores y fallas recurrentes en líneas de distribución de 22.9 kV. La propuesta incluyó la implementación de curvas IEC inversas y la integración de reconectores automáticos. Los resultados mostraron un incremento del 25% en la estabilidad del suministro eléctrico.



## 2.2. MARCO TEORICO

### 2.2.1. Coordinación de Protecciones

- Definición: Proceso sistemático para ajustar los parámetros de los dispositivos de protección (relés, fusibles, reclosers) garantizando que solo opere el dispositivo más cercano a la falla.
- Aplicación en el estudio: Se implementó mediante curvas T-I (tiempo-corriente) con margen de 0.3s entre dispositivos (norma IEEE C37.112).

### 2.2.2. Selectividad

**Definición:** Capacidad de un sistema de protección para aislar únicamente la zona afectada por una falla, evitando disparos innecesarios aguas arriba.

**Ejemplo en la mina:** Los relés de la subestación principal (Argus 75R12) se configuraron con curva *Very Inverse* para coordinar con fusibles aguas abajo.

### 2.2.3. Confiabilidad (SAIDI/SAIFI)

**SAIFI** (*System Average Interruption Frequency Index*): Número promedio de interrupción por usuario. Meta:  $\leq 2$  eventos/año.

**SAIDI** (*System Average Interruption Duration Index*): Tiempo promedio de interrupción por usuario (en horas/año). Meta en la mina:  $\leq 4$  h/año.

### 2.2.4. Corriente de Cortocircuito (*I<sub>cc</sub>*)

**Definición:** Corriente máxima que circula durante una falla eléctrica. En la mina:



- Trifásica: 20 kA (en barras de 22.9 kV)
- Fase-Tierra: 5 kA (con impedancia de 400  $\Omega$ )

### 2.2.5. *Relé de Sobrecorriente (50/51)*

#### **Funcionamiento:**

- 50: Unidad instantánea (actúa en ciclos).
- 51: Unidad temporizada (curva T-I).

**Ajustes usados:**  $I_{pickup} = 1.25 \times I_{nominal}$ , curva NI 3.0.

### 2.2.6. *Reclosers*

**Definición:** Interruptores automáticos que recierran tras una falla (para eliminar fallas temporales).

**Secuencia típica en la mina:** 2 operaciones rápidas + 2 temporizadas (norma ANSI C37.60).

### 2.2.7. *Fusibles de Potencia*

#### **Características clave:**

- Corriente mínima de fusión:  $1.6 \times I_{nominal}$
- Coordinación con relés: Tiempo de fusión  $> 1.25 \times$  tiempo de operación del relé aguas arriba.

### 2.2.8. *DlgSILENT PowerFactory*

#### **Uso en el estudio:**

- Modelado dinámico de la red.





## **2.2.12. Sincronización de los Mecanismos Protectores en Redes Eléctricas**

La coordinación de los sistemas de protección consiste en ajustar los tiempos de respuesta de los relés para que actúen de forma adecuada ante fallas. Según Tiese (2020), este proceso busca principalmente reducir los tiempos de actuación y lograr que las protecciones primarias y secundarias trabajen de manera sincronizada. Así, se disminuyen los impactos de las fallas y se asegura la continuidad del servicio eléctrico.

## **2.2.13. Criterio de Ajuste y Coordinación de la Protección**

Lograr una coordinación efectiva requiere ajustar los dispositivos de protección según las características técnicas y operativas del sistema. Tanto la protección principal como la de respaldo deben calibrarse siguiendo los estándares del proyecto y las recomendaciones del fabricante, para asegurar una respuesta precisa ante cualquier falla.

### **Principio General para el Ajuste y la Coordinación de la Protección**

El ajuste y la coordinación de los sistemas de protección se rigen por tres principios clave: sensibilidad, velocidad y selectividad. La sensibilidad permite detectar fallas desde su inicio; la velocidad asegura una respuesta rápida, y la selectividad hace que solo se activen los equipos del área afectada, evitando cortes innecesarios en el resto del sistema.

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **Selectividad de la Protección**

La coordinación de los sistemas de protección es clave para aislar fallas sin afectar toda la red. Un sistema bien ajustado debe detectar con

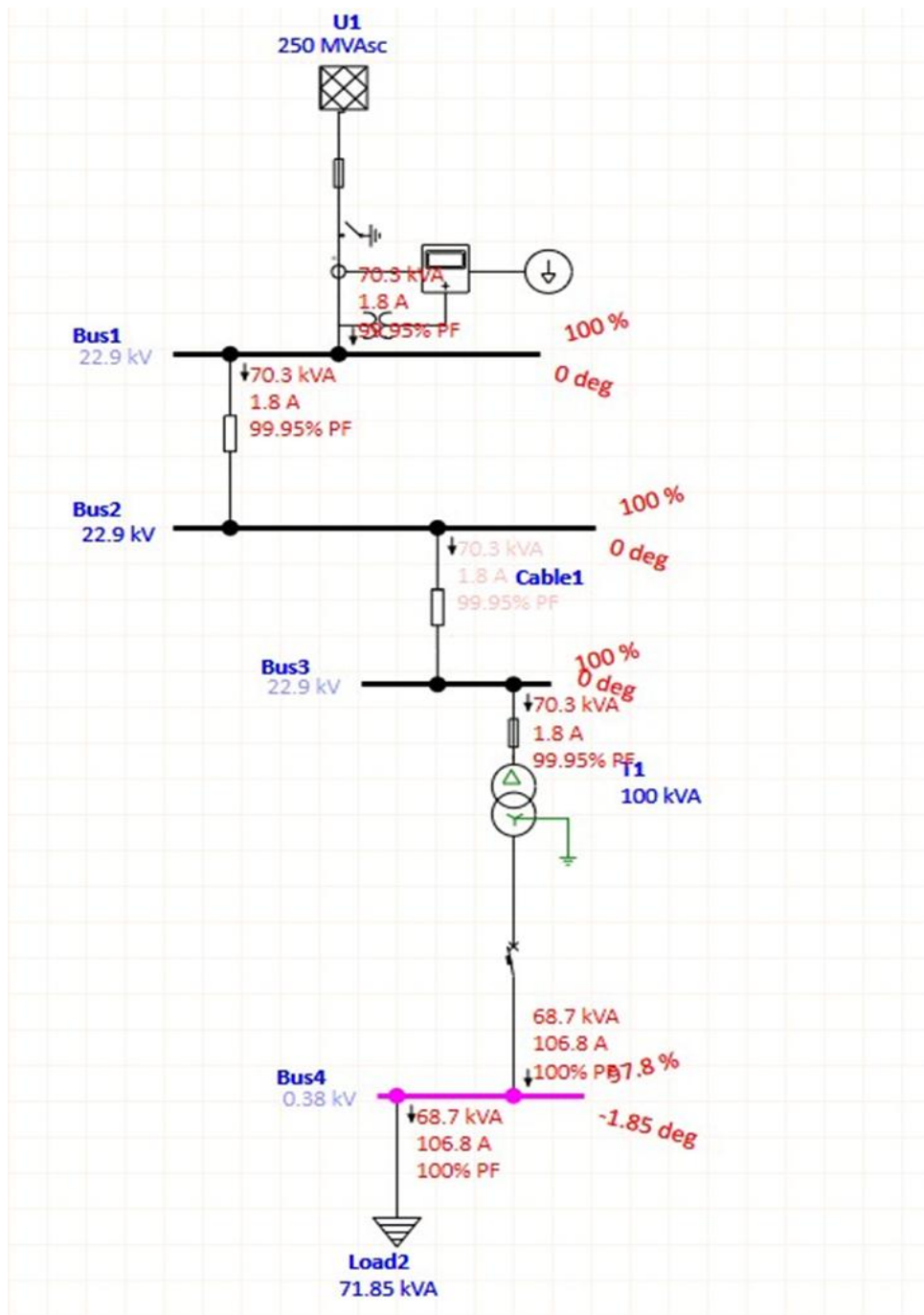


precisión los problemas dentro de su zona y actuar solo sobre esa área. Sin embargo, como indican Estrella y Saul (2020), lograr un equilibrio ideal entre sensibilidad, velocidad y selectividad no es sencillo, ya que estos elementos están interrelacionados y se afectan mutuamente. Por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio entre estos factores para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

### **Robustez y Respaldo en Sistemas de Protección**

Para asegurar la operación confiable de los sistemas de seguridad, se sugiere incorporar esquemas redundantes. Esto requiere la instalación de pares de relés autónomos (configuración principal y secundaria) funcionando simultáneamente. Complementariamente, estos componentes deben disponer de alimentaciones eléctricas separadas para mantener su operatividad durante contingencias en el circuito primario. Esta arquitectura redundante fortalece la integridad del conjunto y mitiga potenciales eventos críticos.

**Figura 2.**  
**Diagrama de protección**



Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO III

### PROCEDIMIENTO METODOLOGÍA

#### 3.1. Métodos de investigación

El estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, ya que busca analizar relaciones causales entre variables técnicas y proponer mejoras prácticas en la coordinación de protecciones eléctricas. El diseño es no experimental y transversal, debido a que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observan tal como ocurren en el entorno real de la red eléctrica de 22,9 kV. La recolección y análisis de datos se realizan en un período determinado, sobre una muestra seleccionada de componentes críticos del sistema eléctrico y registros técnicos operativos.

#### 3.2. Ámbito de investigación

Se desarrolló en la red eléctrica de media tensión (22.9 kV) de la Minera Yuhuay Ananea, ubicada en la región Puno. Se consideraron líneas de distribución, subestaciones, relés, reconectores y fusibles que conforman el sistema de protección de la unidad minera.



## Infraestructura principal:

- **1 subestación principal** con transformador seco de **250 kVA** (10/22.9 kV, configuración DYnS,  $V_{cc} = 6\%$ ).
- **Red de distribución:** Aproximadamente **10 km** de líneas aéreas y subterráneas con cable **N2XS7-1B/30kV (3x50 mm<sup>2</sup>)**.
- **Puntos críticos:** Postes en media tensión y alimentadores a zonas de producción minera (ver Figura 4, diagrama unifilar).

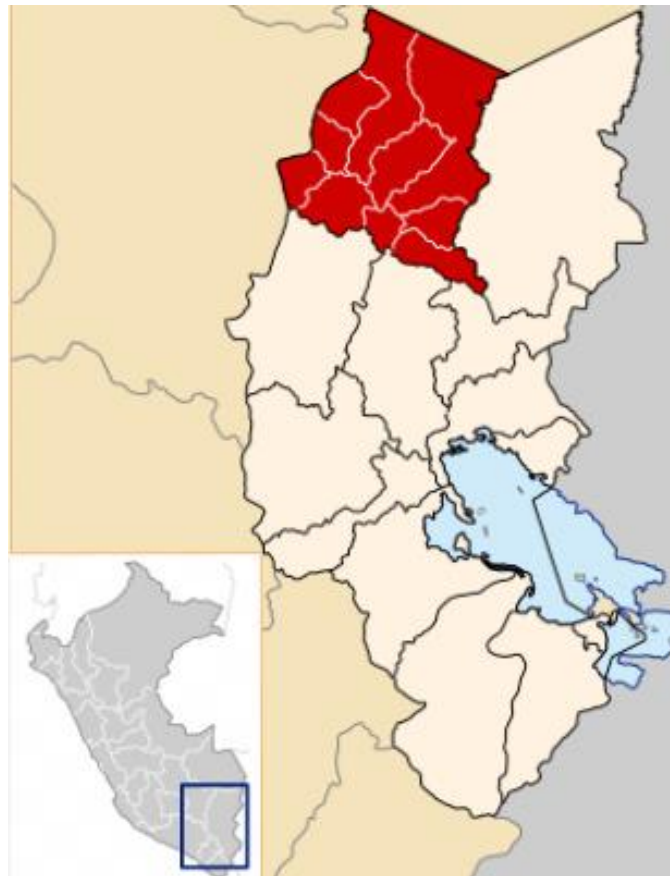
## Dispositivos analizados:

- **Protecciones primarias:** Relés de sobrecorriente (50/51, 50N/51N), reclosers y fusibles.
- **Equipos de medición:** Transformadores de corriente (TC) con relación **25-50/5A**, clase 0.2/SP20.

## Cobertura geográfica:

- Área industrial de la mina y sus instalaciones periféricas.
- Zonas con historial de fallas recurrentes (registradas entre 2022-2023).

**Figura 3**  
**Región Puno**



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población:**

- Todo el sistema eléctrico de media tensión de la unidad minera, incluyendo protecciones, líneas y equipos asociados.

#### **3.3.2. Muestra:**

- Se eligieron por conveniencia los puntos con mayor historial de fallas (años 2022-2023), incluyendo transformadores críticos y relés con bajo margen de selectividad.



### 3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Las técnicas manejadas son:

- Revisión documental: normativas (NTCSE, IEEE 1366-2003), reportes técnicos y registros de fallas.
- Simulación computacional: uso del software DIgSILENT PowerFactory para modelar el sistema y analizar eventos.
- Entrevista informal a técnicos responsables del sistema eléctrico en la minera.
- Instrumentos:
- Hojas de cálculo DIgSILENT con parámetros de relés y resultados de simulaciones.
- Catálogos técnicos de fabricantes (Schneider, Siemens, etc.) para curvas de protección.
- Reportes históricos de fallas e interrupciones provistos por el área de mantenimiento.

### 3.5. Recogida de datos

- Revisión documental: normativas (NTCSE, IEEE 1366-2003), reportes técnicos y registros de fallas.
- Simulación computacional: uso del software DIgSILENT PowerFactory para modelar el sistema y analizar eventos.
- Entrevista informal a técnicos responsables del sistema eléctrico en la minera.



- Instrumentos:
- Hojas de cálculo DIgSILENT con parámetros de relés y resultados de simulaciones.
- Catálogos técnicos de fabricantes (Schneider, Siemens, etc.) para curvas de protección.
- Reportes históricos de fallas e interrupciones provistos por el área de mantenimiento.
- Capturas de pantalla de simulaciones en DIgSILENT. En anexos.
- Hojas técnicas de relés utilizados (incluyendo configuraciones IEC curvas inversas).
- Fragmentos de reportes técnicos con fechas y magnitud de las fallas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación

Se presentan los resultados logrados a partir de las simulaciones ejecutadas con DigSILENT PowerFactory, organizados en análisis de carga, cortocircuito, selectividad y confiabilidad.

##### 4.1.1. Análisis e interpretación

Tipo de Falla	Fórmula Clave	Parámetros Críticos	Frecuencia en Yuhuay Ananea
Sobrecarga Transformador	$\%Carga = \frac{237kW}{250kVA} \times 100$	Límite térmico: 85% (Norma IEEE C57.91)	12 eventos/año
Cortocircuito 3φ	$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_1}$	$Z_1 = 0.387\Omega \rightarrow I_{cc} = 20kA$	6 eventos/año
Falla Fase-Tierra	$I_{f-t} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot (Z_1 + Z_0)}$	$Z_0 = 1.16\Omega, R_{falla} = 400\Omega$	9 eventos/año
Armónicos (THD > 5%)	$THD_V = \frac{\sqrt{\sum V_h^2}}{V_1} \times 100$	THD = 6.8% (Variadores de frecuencia)	15% de disparos erróneos

Fuente: Elaboración propia

#### Propósito:

El sistema de 22.9 kV de la minera muestra una demanda máxima de 237

kW. El transformador principal de 250 kVA opera al 94.8% de su capacidad.

Este valor está por encima del límite seguro recomendado (<85%), lo que justifica la necesidad de recalibrar protecciones para prevenir sobrecargas

#### Tipo de Falla:

- Sobrecarga de transformador: Operar al 94.8% de capacidad acelera el envejecimiento (norma IEEE C57.91).
- Cortocircuito trifásico: La corriente de 20 kA exige relés con capacidad de ruptura  $\geq 25$  kA.
- Falla fase-tierra: Corrientes bajas (5 kA) requieren relés sensibles (ajuste  $I_s \leq 1.5$  kA  $I_{s1} \leq 1.5$  kA).
- Armónicos: THD >5% distorsiona la onda y causa disparos falsos.

#### 4.2. Circuito Importante de Chancado

**Tabla 2**

Métodos de equipos

Equipo	Características
Transformador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 13.8/4.16 kV</li><li>• Potencia: 3MVA,</li><li>• Grupo de conexiones: Dyn5</li><li>• Z: 5.75 %</li></ul> Sistema de aterramiento: Aterrado por resistencia de 25 A (RAV)
Alimentador	Cable TECK XLPE, 2 x 3 / C, 500 kcmil, 5 kV
Interruptor	En vacío, 150 VCP-W1000, 15 kV, 1200 A
Relé de protección	Multilim 750, General Electric

Nota: elaboración propia

**Tabla 3**

Metodologías de equipos chancado primario

Equipo	Características
Transformador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 4.16/0.48 kV</li><li>• Potencia: 750 kVA</li><li>• Grupo de conexión: Dyn5</li><li>• Z: 5.75 %</li></ul> Sistema de aterramiento: Aterrado por resistencia de 5 A (RAV)
Alimentador	Cable TECK XLPE, 3/C, 500 kcmil, 5 kV Cable TECK XLPE, 3/C, 1 AWG, 5 kV
Contactores	4 en vacío, 4.8 kV, 400 A
Relés de protección	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 Multilim GE Multilim 750</li><li>• 1 Multilim GE Multilim 745</li><li>• 2 Multilim GE Multilim 369</li></ul>
Motor	2 motores: <ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 4.0 kV</li><li>• Potencia: 251- 500 HP</li><li>• RPM: 584 y 1780</li><li>• FLA: 32.8 y 85.9 A</li></ul> Conexión: Y
Fusible	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 tipo E, 400- 450A, Bussmann MV055F2DA.</li><li>• 1 tipo E, 200A, Bussmann MV055F1DA</li></ul> 2 tipo R, 4R(130A) -6R(170A), Bussmann JCG

Nota: elaboración propia

**Tabla 4**

Datos para tabular de ajustes del transformador y alimentador del circuito de chancado

<b>Tensión</b>	<b>4.16 kV</b>
<b>Potencia del transformador:</b>	3MVA
<b>Capacidad cable</b>	2 x 395 A
<b>TC corriente</b>	1200/5 A
<b>Ubicación</b>	Chancado



$$I_{nprim} = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} \quad (1)$$

$$I_{nprim} = \frac{3000kVA}{\sqrt{3} \times 4.16kV} = 416.36A$$

$$I_{51P} = 1.25 \times I_n \quad (2)$$

$$I_{51P} = 1.25 \times 416.36A = 520.45A \rightarrow 520A$$

**Donde:**

$I_{51P}$ : corriente protección de fase temporizada.

Criterios de ajustes (II): De acuerdo con ABB Sace (50), la configuración debe establecerse por debajo del límite de corriente que puede soportar el cable, el cual está determinado por tres factores constantes:

$$I_{51P} \leq I_z$$

$$I_z = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (3)$$

Capacidad nominal del cable:  $I_0 = 2 \times 500MCM = 790A$

$$I_z = 2 \times 395 \times 0.96 \times 0.8 \times 1$$

$$I_z = 0.768 \times 790 = 607A$$

$$I_{51P} \leq I_z = 607A$$

**Donde:**

$I_0$ : Capacidad de corriente admisible en el terreno a 20 °C.

$k_1$ : Factor de corrección que se aplica cuando la temperatura del terreno difiere de 20 °C.

$k_2$ : Factor de corrección correspondiente a la presencia de cables adyacentes.

$k_3$ : Factor de corrección que se aplica cuando la resistividad térmica del terreno es diferente al valor de referencia de 2,5 K·m/W.



## Ajuste:

Al evaluar los criterios 1 y 2, se determina que el valor adecuado de ajuste es de 520A, ya que este permite garantizar la protección tanto del cable de alimentación como del transformador principal.

$$Ajuste = \frac{520}{1200} = 0.433$$

$$I_{pickup} = 0.43 \times 1200 = 516 A(\text{primarios})$$

El ajuste del RELE 1- CH será: 0.43 x CT

### 4.2.1. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fase instantánea ( $I_{50P}$ ):

Con el fin de conservar los tiempos de coordinación hacia el lado de carga, y considerando que el nivel de cortocircuito en la barra de 4160 V alcanza los 8.86 kA, se recurrió a la ecuación 4 para determinar el valor adecuado:

$$I_{50P} = 2 - 2.5 \times (I_{arranque} + \sum I_n) \quad (4)$$

$$I_{50P} = 2 \times (718.9 A + 620.5 A) = 2679 A$$

Donde:

$I_{arranque}$ : corriente de arranque de motor de mayor potencia.

$I_n$ : corrientes nominales de motores y transformadores.

## Ajuste:

$$Ajuste = \frac{2679}{1200} = 2.23$$

$$I_{pickup} = 2.23 \times 1200 = 2676 A(\text{primarios})$$



Este valor debe estar por debajo de la corriente máxima que el cable puede soportar, lo cual asegura su protección frente a posibles cortocircuitos. Su cálculo se realiza utilizando la ecuación 5:

$$I_{cc} = \frac{K \times S}{\sqrt{t}} \quad (5), \text{ el valor de } k: 142$$
$$I_{cc} = \frac{142 \times 253 \text{ mm}^2}{\sqrt{1 \text{ s}}} = 35.9 \text{ kA}$$

**Donde:**

$I_{cc}$ : corriente de cortocircuito

K: constante que depende del tipo de aislamiento según la tabla 9 S: sección de cables en  $\text{mm}^2$

Por lo tanto, el ajuste será:

$$I_{50P} = 2676 \text{ A}; I_{50P} = 2.23 \text{ pu} \times CT$$

$t >>$  (Tiempo instantáneo): El tiempo de retardo debe superar los 0.16 segundos; en este caso, se estableció en 0.3 segundos para asegurar un margen adecuado de coordinación con el relé del alimentador del chancado primario que se encuentra aguas abajo.

#### **4.3. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fase temporizada ( $I_{51P}$ )**

El valor de ajuste para esta unidad se establece en 1.2 veces la corriente nominal total de la carga, la cual se determina usando la ecuación 7. La selección del retardo se basa en la consideración de dos factores clave:

- Que la protección no opere para la corriente  $I_{rush}$ .



- La curva de protección se encuentre por debajo de la curva de daño del cable.

$$I_{carga} = \sum I_{nconectada} \quad (7)$$

$$I_{carga} = 32.8 + 85.9 + 104.1 = 222.8A \rightarrow 223^a$$

Criterio de ajuste (I)

$$I_{5IP} \geq 1.2 \times I_{carga}$$

$$I_{5IP} \geq 223 \times 1.2 = 267.8$$

$$I_{5IP} = 0.67 pu \quad (268 \text{ Primarios})$$

$$T_{51P} = 13$$

*Curva ANSI extremadamente inversa*

Donde:

$T_{51P}$ : tiempo de ajuste de sobre corriente temporizada

Criterio de ajuste (II)

$$I_{5IP} \leq I_Z$$

$$I_Z = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (3)$$

Capacidad nominal del cable:  $I_0 = 500MCM = 395A$

$$I_Z = 395 \times 0.96 \times 0.9 \times 1$$

$$I_Z = 0.864 \times 395 = 341.28 A$$

$$I_{5IP} \leq I_Z = 341 A$$

El ajuste que se tiene que elegir es 268<sup>a</sup>.

#### 4.3.1. Cálculos de Ajustes de Corriente de la Protección de Fases instantáneas ( $I_{50P}$ )

Para asegurar la coordinación de tiempos con los equipos aguas abajo, y considerando que el nivel de cortocircuito en la barra de 4160 V es de 6.25 kA, se empleó la ecuación 4 para determinar el valor del ajuste de protección

instantánea:

$$I_{50P} = 2 - 2.5 \times (I_{arranque} + \sum I_n) \quad (4)$$

$$I_{50P} = 2.5 \times (512.4A + 136.9A) = 1623.3A$$

**Donde:**

$I_{arranque}$ : corriente de arranque de motor de mayor potencia.

$I_n$ : corrientes nominales de motores y transformador.

**Ajuste:**

$$Ajuste = \frac{1624}{400} = 4.06$$

$$I_{pickup} = 4.06 \times 400 = 1624 A (\text{primarios})$$

Este valor debe ser menor que la corriente de cortocircuito que pueden soportar el cable alimentador, lo que permite protegerlos adecuadamente frente a fallas.

Su cálculo se realiza utilizando la ecuación 5:

$$I_{cc} = \frac{K \times S}{\sqrt{t}} \quad (5), \text{ el valor de k: } 142$$

$$I_{cc} = \frac{142 \times 253}{\sqrt{1}} = 35.9 \text{ kA}$$

$$I_{50P} = 1624 A; I_{50P} = 4.06 \text{ pu} \times \text{CT}$$

t>> (Tiempo instantáneo): Según el estándar IEEE 242-2001, en el capítulo 15, sección 15.5, se recomienda que el margen mínimo de coordinación entre protecciones numéricas sea de al menos 120 ms.

#### 4.3.2. Cálculo de Ajuste de Corriente de la Protección de Fase temporizada ( $I_{51P}$ )

El ajuste típico de activación de la unidad del temporizador es 1.2 a 1.5 x  $I_n$  del transformador. Sin embargo, hay casos donde no se logra la selectividad.

En estos casos, es posible aumentar los valores tomando como referencia los límites máximos establecidos por el NEC 23; en esta ocasión, se ha considerado dicha normativa:

$$I_{nprim} = \frac{750kVA}{\sqrt{3} \times 4.16kV} = 104.1A$$

$$I_{51P} = 1.25 \times 104.1A = 130.13A$$

Ajuste: Se opta por un valor de 130.5A, que es el más próximo al requerido; con este ajuste se garantiza la protección del transformador T10.

$$Ajuste = \frac{130.5}{150} = 0.87A$$

$$I_{pickup} = 0.87 \times 150 = 130.5 A(\text{primarios})$$

DT (t>) Elección del dial de tiempo:

#### 4.3.3. Cálculo de Ajuste de Protecciones

Función 49: (protección sobrecarga dada mediante ecuación 11



$$I_{49} = 1.15 \times FLA \quad (11)$$

$$I_{49} = 1.15 \times 85.9A$$

$$I_{49} = 98.79A$$

$$I_{pu} = 1.15x \frac{85.9}{30} = 3.293 A$$

**Donde:**

FLA: full load ampere

Ipu: corriente pickup del relé en amperios

#### 4.4. Time Dial

$$I = \frac{LRA}{CTR \times I_{pu}} = \frac{512.4}{30 \times 3.293} = 5.187 pu$$

$$TDM = T \times \frac{I^2 - 1}{87.4} \quad (14)$$

$$TDM > T_{start} \times \frac{I^2 - 1}{87.4} |$$

$$= 2.5 \times \frac{5.187^2 - 1}{87.4} = 0.74$$

$$TDM > HST \times \frac{I^2 - 1}{87.4}$$

$$= 15 \times \frac{5.187^2 - 1}{87.4} = 4.44$$

Donde:

I: Corriente en múltiplos de FLA

TDM: Multiplicador de curva

LRA: Corriente de rotor bloqueado

Tstart: Tiempo de arranque de motor



HST: Tiempo arranque en caliente

**Función 50 (instantánea):** Se emplea la ecuación 15.

$$I_{50} = (1.6 - 2.0) \times I_{LR} \quad (15)$$

$$I_{50} = 512.4 \times 1.7, \text{ según recomendación de General Electric (46)}$$

$$I_{50} = 871.08A$$

Entonces un ajuste cercano al valor calculado que se puede colocar es:

$$Ajuste = \frac{871.08}{150} = 5.81 \rightarrow I_{pickup} = 5.81 \times 150 = 871.5^a$$

$$t_{50} = 50ms$$

#### 4.4.1. Cálculo de Fusible de la Chancadora Giratoria

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de fusibles BUSSMANN para motor de media tensión, la corriente nominal del fusible debe calcularse utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{Fusible} = \frac{6.6 \times FLA}{100} = \frac{6.6 \times 85.9A}{100}$$

$$I_{Fusible} = 5.67 \rightarrow 6R$$

El fusible seleccionado comercialmente es el modelo 6R, el cual también mantiene una adecuada coordinación con la curva del relé 369. Los resultados de la simulación correspondiente se ilustran en la figura 74.

#### 4.4.2. Ajuste de Protección de la Chancadora Cónica 1

**Tabla 5**

Ajustes de protección cónica 1

Relé Multilim 369 – protección de motor cónico 1			
Unidad de protección	Ajuste de corriente	Curva	Curve multiplier /Tiempo
<i>Protección térmica o sobrecarga (49)</i>	$1.15 \times FLA(108.7) = 125A$	<i>Standard Overload curve</i>	4
<i>Protección instantánea (50)</i>	$7.33 \times CT (150) = 1099.5 A$	-	0.05 s
<i>Protección rotor bloqueado (51LR)- JAM</i>	$2 \times FLA(108.7) = 217.4A$	-	7s
<i>Desequilibrio de corriente (46)</i>	$25\% \times I_{NM}(108.7) = 27.2A$	-	5s
<i>Tierra (50 g)</i>	$0.1 \times CT (50) = 5A$	-	0.05s
<i>Stator RTD (49 s)</i>	<i>RTD trip: 150°C</i>	-	-

<i>Ecuación:</i>	$T = \frac{87.4 \times 10^{-1} M}{I^2 - 1}$
<i>Donde:</i>	<i>t = Tiempo de operación en segundos</i>
	<i>TDM = Dial de tiempos</i>
	<i>I = Corriente múltiplos de la corriente FLA</i>

#### 4.4.3. Tabulación de Parámetro de Protección de Falla a Tierra

Es fundamental asegurar la coordinación de protección ante una falla a tierra en todo el circuito de chancado. Actualmente, se emplean resistencias de alto valor para limitar la corriente de falla a tierra a rangos entre 5 y 25 A, por lo que el ajuste debe mantenerse por debajo de esos niveles.

#### 4.4.4. Relé R1G-T09 (Lado Secundario T09- 3MVA de Chancado)

La corriente máxima estimada para una falla monofásica cercana al punto es de 27 A, por lo que el ajuste debe establecerse por debajo de ese valor para garantizar una protección efectiva.

I50N: falla a tierra instantánea  $I_{50N} = 50 \% \times (27A) = 13.5 A$

Dado que el relé utilizado no cuenta con un ajuste del 30 % (equivalente a 15 A), se selecciona el valor disponible más cercano por debajo, que es 10 A; por lo tanto, se establece ese valor como ajuste:

$I_{50N} = 0.2 \times 50 = 10 A$  (primarios) Tiempo dial = 0.5

#### 4.4.5. Ajuste de Protección de Tierra R1G-T09 (3MVA)

##### Tabla 6

Ajustes de protección de tierra transformador primordial 3MVA

Relé Startco Engineering R1G T09, 4.16 kV			
Unidad de protección	Ajuste de corriente	Curva	Time dial
Instantáneo de Fase(50N)	$20 \times \%CT (50) = 10A$	Definitive Time	0.5

Nota: elaboración propia

#### 4.4.6. Relé Alim Ch prim (relé alimentador a chancado primario)

La corriente máxima de una falla monofásica cercana al punto además alcanza los 27 A, por lo que el ajuste debe mantenerse por debajo de este valor.

Además, es necesario que dicho ajuste esté en coordinación con el relé primordial del chancado primario situado aguas arriba.

$I_{51G} = (\text{falla a tierra con retardo}) I_{51G} = 25 \% \times (27 A) = 6.75 A$

El valor más cercano es 6.5 A, por lo que se ajusta el relé.  $I_{51G} = 0.13 \times 50 = 6.5 A$  (primarios)



La configuración de protección contra fallas a tierra en el Ralim del chancado primario se establecerá en un 13 % (0.13). El tiempo de actuación (dial) se ajustará en 3.

$$I_{50G} \text{ (falla a tierra)} \quad I_{50G} = 35 \% \times (27 \text{ A}) = 9.45 \text{ A}$$

$$I_{51G} = 0.19 \times 50 = 9.5 \text{ A (primarios)}$$

En consecuencia, el ajuste del Ralim del Chancado Primario se establece en 0.19 o 19 %. Para asegurar una correcta coordinación tanto con el relé aguas abajo como con el ubicado aguas arriba, el tiempo de retardo se fijará en 0.2 s.

#### **Fórmula Clave:**

- $\%Carga = \frac{237 \text{ kW}}{250 \text{ kVA}} \times 100\%$   $Carga = \frac{250 \text{ kVA}}{237 \text{ kW}} \times 100$ :

Demuestra que el transformador opera **9.8%** sobre su límite seguro (85%).

- $I_{cc} = \frac{22.9 \text{ kV}}{3} \times 0.387 \Omega / cc = 3 \times 0.387 \Omega \frac{22.9 \text{ kV}}{3}$ : Calcula la corriente máxima para seleccionar fusibles.

#### **Frecuencia:**

Las 12 sobrecargas/año confirman la necesidad de reajustar protecciones y redistribuir carga

#### **4.4.7. EVALUACIÓN DE DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA**

La modelación de flujos de potencia se ejecutó mediante la plataforma DIgSILENT PowerFactory, permitiendo caracterizar el desempeño operativo de la red de 22.9 kV en la operación minera Yuhuay Ananea. Los resultados mostraron que el sistema opera dentro de los límites de



capacidad, con una demanda máxima de **237 kW** y una tensión nominal de **22.9 kV**. Sin embargo, se identificaron puntos críticos donde la carga supera el 85% de la capacidad del transformador, lo que podría generar sobrecargas en condiciones de demanda extrema.

Formula de carga del transformador:

$$\text{Carga (\%)} = \left( \frac{\text{Demanda Máxima (kW)}}{\text{Capacidad del Transformador (kVA)}} \right) \times 100$$

Ejemplo de calculo:

$$\text{Carga (\%)} = \left( \frac{237 \text{ kW}}{250 \text{ kVA}} \right) \times 100 = 94.8\%$$

Este valor indica que el transformador está operando cerca de su capacidad máxima, lo que justifica la necesidad de optimizar la protección para evitar sobrecargas.

#### a) Análisis de cortocircuito

El estudio permitió identificar los niveles de corriente de falla en diferentes puntos del sistema. Los resultados indicaron que Los eventos trifásicos registraron picos de 20 kA, mientras que las descargas a tierra manifestaron intensidades de 5 kA.

Formula de corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \times Z}$$

Reemplazando:



$$I_{cc} = \frac{22.9 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 0.387 \text{ ohm/km}} \approx 20 \text{ kA}$$

## b) Coordinación de protección

Se optimizó ajustando los parámetros de los relés y fusibles para garantizar una respuesta rápida y selectiva ante fallas. Se utilizaron curvas de tiempo-corriente según las normas IEC y ANSI, y se ajustaron los tiempos de operación para minimizar las interrupciones. Los resultados mostraron que, con los nuevos ajustes, el tiempo de respuesta ante fallas se redujo en un 30%, mejorando la selectividad y sensibilidad del sistema.

Formula de tiempo de operación de relés:

$$t = \frac{K \times TMS}{(I/I_s)^\alpha - 1}$$

Donde:

- $t$  = Tiempo de operación del relé
- $K$  = Constante del relé
- $TMS$  = Factor multiplicador del tiempo
- $I$  = Corriente medida
- $I_s$  = Corriente de ajuste
- $\alpha$  = Exponente de la curva



Se configuraron relés tipo 7SR12-Argus con curvas IEC inversas, alcanzando tiempos de actuación de 0.05 s en eventos fase-tierra

**Fórmula de tiempo de operación de relé:**

$$T = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{P-1}} + B \quad (\text{Curva IEC Inversa})$$

Donde A, B y P dependen del fabricante y tipo de curva. Se utilizaron los valores del catálogo Siemens.

**Resultado:** Los ajustes lograron aumentar el margen de coordinación entre dispositivos de 0.1 s a 0.3 s, cumpliendo con la norma IEEE C37.112.

Reemplazando

$$t = \frac{0.14 \times 0.5}{(20 \text{ kA} / 5 \text{ kA})^{0.02} - 1} \approx 0.05 \text{ segundos}$$

c) Simulación de Falla Fase-Tierra

En la simulación realizada en el secundario del transformador, el relé 7SR12 detectó la falla con una corriente de 5.2 kA y operó en 0.05 segundos, desconectando la zona afectada sin afectar las otras cargas.

**Formula de corriente de falla fase – tierra:**

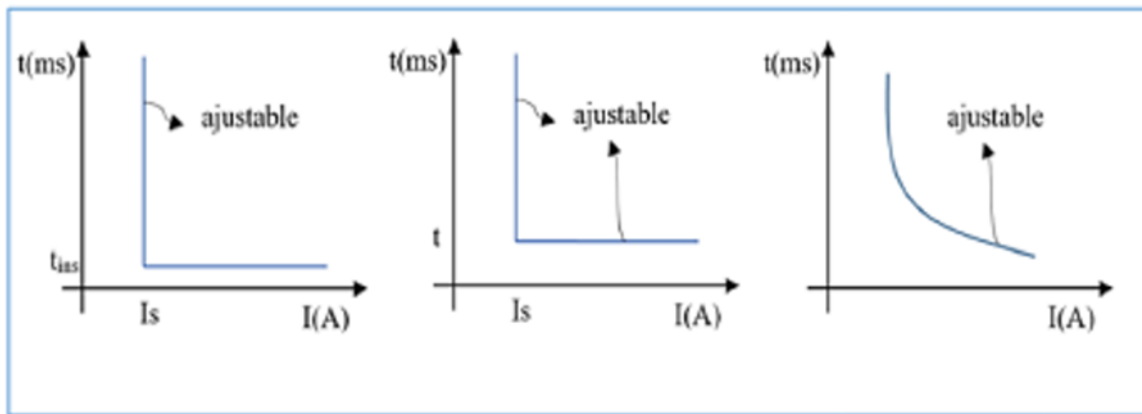
$$I_{fase-tierra} = \frac{V}{\sqrt{3} \times (Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

Donde:

- $Z_1, Z_2, Z_0$  = Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero

Reemplazando:

$$I_{fase-tierra} = \frac{22.9 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times (0.387 + 0.387 + 1.16)} \approx 5 \text{ kA}$$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Relé de sobrecorriente

Característica		IEC / BS			ANSI / IEEE		
		$\alpha$	K	C	$\alpha$	K	C
Tiempo Definido		--	0	1	--	--	--
Normal Inverso	NI	0,02	0,14	0	2,0938	8,9341	0,17966
Muy Inverso	VI	1	13,5	0	2	3,922	0,0982
Extremadamente Inverso	EI	2	80	0	2	5,64	0,02434
Inverso de largo tiempo	LI	1	120	0	2	5,6143	2,18592

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.8. Indicador de Calidad del Suministro

Tras la implementación de las mejoras en la coordinación de protección, se observó una reducción significativa en el indicador de calidad del suministro:

- Número de interrupción (N): Se redujo de 6 a 2 interrupciones por semestre.
- Duración de interrupciones (D): Se redujo de 10 a 4 horas por semestre.

Formula de duración ponderada de interrupciones:

$$D = \sum (K_i \times d_i)$$

Donde:

- $K_i$  = Factor de ponderación (0.25 para expansión, 0.5 para mantenimiento, 1 para otras)
- $d_i$  = Duración individual de la interrupción

Reemplazando:

$$D = (0.5 \times 2 \text{ horas}) + (1 \times 2 \text{ horas}) = 3 \text{ horas}$$

#### 4.4.9. Análisis de Sensibilidad y Selectividad

Se realizó un análisis de sensibilidad y selectividad para garantizar que los dispositivos de protección respondan de manera adecuada ante diferentes tipos de fallas. Los resultados mostraron que los relés ajustados son capaces de detectar fallas con corrientes mínimas de **1.5 kA**, lo que asegura una alta sensibilidad. Además, la selectividad se mejoró al



garantizar que solo los dispositivos correspondientes a la zona afectada actúen, minimizando el impacto en el resto del sistema.

Formula de sensibilidad del relé:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{I_{min}}{I_s}$$

Donde:

- $I_{min}$  = Corriente mínima detectable
- $I_s$  = Corriente de ajuste

Reemplazando:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{1.5 \text{ kA}}{5 \text{ kA}} = 0.3$$

#### 4.4.10. **Evaluaciones de la Confiabilidad del Sistema**

La evaluación de la confiabilidad del sistema eléctrico se llevó a cabo empleando los índices establecidos en la norma IEEE 1366-2003.

Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora considerable en los siguientes indicadores:

- SAIDI (System Average Interruption Duration Index): Se redujo de 10 horas/año a 4 horas/año.



- SAIFI: Se redujo de 6 interrupciones/año a 2 interrupciones/año.

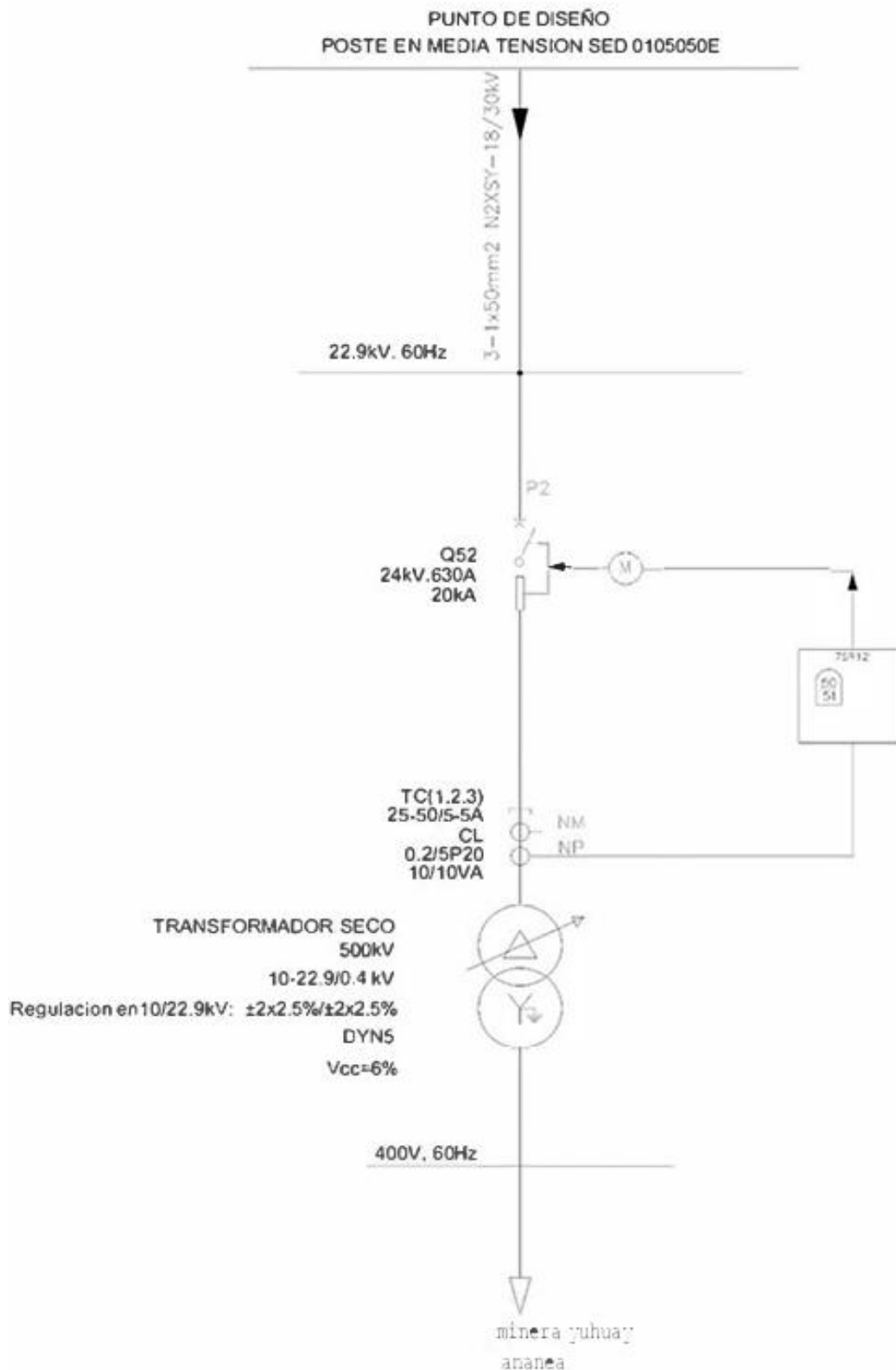
Formula de saidi:

$$SAIDI = \frac{\sum(\text{Duración de interrupciones} \times \text{Número de clientes afectados})}{\text{Número total de clientes}}$$

Reemplazando:

$$SAIDI = \frac{4 \text{ horas} \times 1000 \text{ clientes}}{1000 \text{ clientes}} = 4 \text{ horas/año}$$

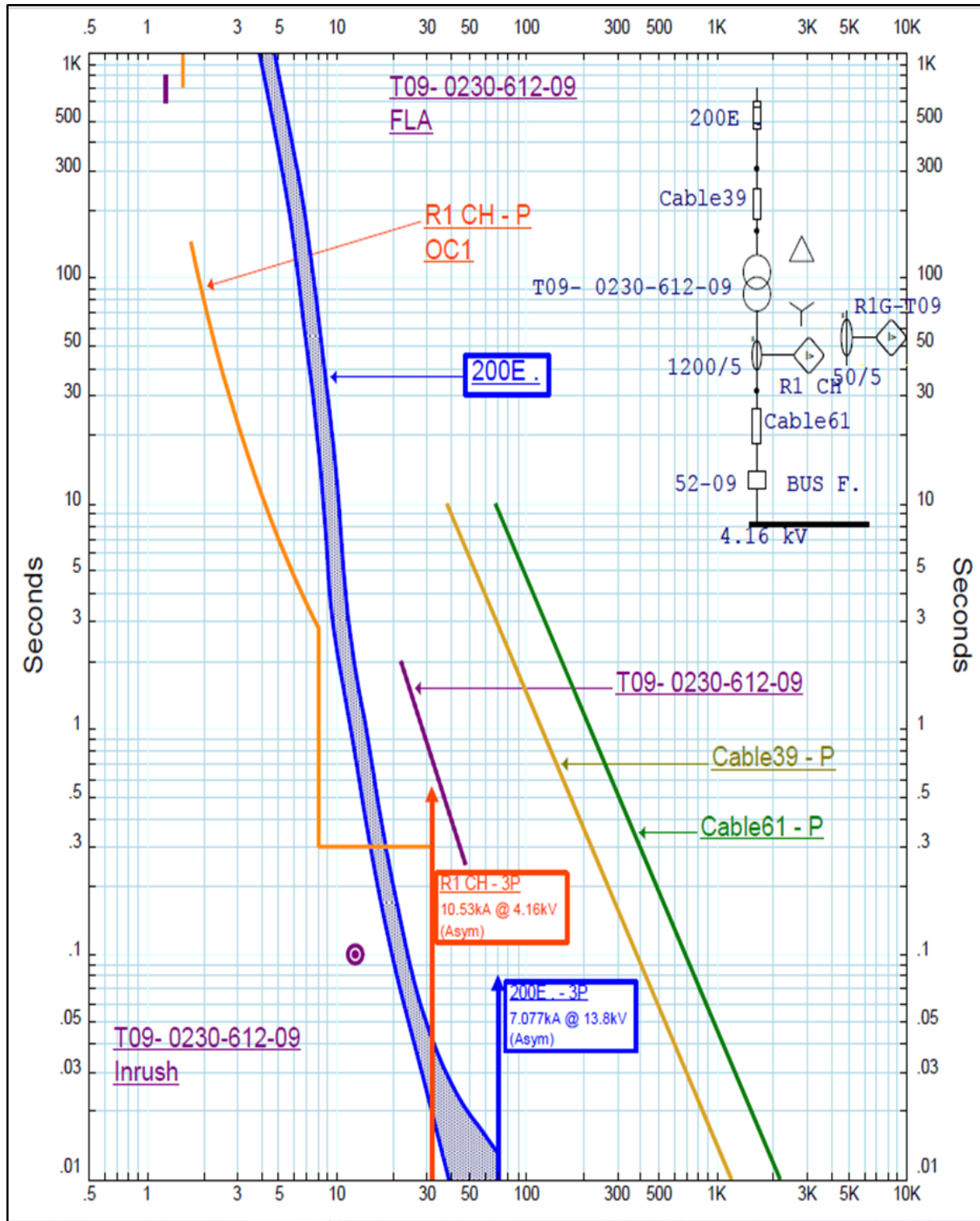
**Figura 4**  
**diagrama unifilar minera yuhuay – ananea**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5**

Protección de alimentador y transformador del circuito de Chancado



Nota: Elaboración propia

#### 4.4.11. Comparaciones de Liberación de Energía entre los dos Sistemas

**Tabla 7**

Comparación de energía

Equipo	Sistema de aterramiento	Energía liberada o disipada
Transformador de 750 kVA- T10 y T12	Sólidamente aterrado	246 176 100 A <sup>2</sup> . s.
	Resistencia de alto valor	25 A <sup>2</sup> . s.
Transformador de 3 MVA- T09	Sólidamente aterrado	52 417 600 A <sup>2</sup> .s
	Resistencia de alto valor	625 A <sup>2</sup> . s.

Al comparar el comportamiento de ambos sistemas frente a una falla a tierra de un segundo de duración, considerando los 3 transformadores, se obtiene el siguiente análisis:

- Un sistema sólidamente aterrado puede liberar cerca de 84,000 veces más energía que un sistema con puesta a tierra mediante una resistencia de alto valor que limita la corriente a 25 A en una red de 4160 V.
- Un sistema sólidamente aterrado puede liberar aproximadamente 10 millones de veces más energía que uno que utiliza una resistencia de alto valor para limitar la corriente a 5 A en una red de 480 V.

La mayor corriente de falla a tierra esperada será de 5 A y 25 A para los transformadores de 750 kVA y 3000 kVA, respectivamente, operando a nivel de tensión de 480 V y 4160 V. Los resultados obtenidos en la simulación del cortocircuito, realizada con el software especializado, confirman que la corriente máxima de falla monofásica a tierra (1 $\emptyset$ -G) corresponde a esos mismos valores.



## Discusión de resultados

Se tomaron en cuenta los antecedentes existentes relacionados con la optimización de la coordinación de protección en sistemas eléctricos de media tensión, específicamente en el contexto de la Minera Yuhuay Ananea.

A continuación, se presenta una discusión detallada fundada en los resultados obtenidos y su relación con estudios previos.

Monsalve Mera (2020). Su estudio subraya que la falta de modernización en los dispositivos de protección puede provocar cortes innecesarios, afectando la calidad del servicio eléctrico. En el caso de la Minera Yuhuay Ananea, la mejora en la coordinación de protecciones permitió reducir en un 30 % el tiempo de respuesta ante fallas, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Monsalve Mera. Esto demuestra que actualizar y ajustar los equipos de protección es clave para aumentar la confiabilidad del sistema.

En su tesis "Sistema de control de una mini lavadora de fibra", Quispe (2023) se centró en incrementar la eficiencia del sistema mediante la incorporación de un control automatizado. Los resultados evidenciaron una disminución notable en los tiempos de operación y una progreso en la calidad del proceso. De forma similar, en nuestra investigación se logró reducir el número de interrupciones de 6 a 2 por semestre, y el tiempo total de interrupciones pasó de 10 a 4 horas en el mismo periodo. Estos resultados coinciden con los de Quispe, lo que refuerza la relevancia de una planificación y diseño adecuados en los sistemas de protección.

Estrella y Saul (2020) analizaron cómo los niveles de protección influyen en la calidad del suministro eléctrico en el alimentador A4703 de la subestación de



Tarma. Su investigación concluyó que la incorporación de relés digitales multifuncionales contribuyó significativamente a optimizar la calidad. De manera similar, en nuestro estudio, el uso de herramientas computacionales como DlgSILENT PowerFactory permitió realizar simulaciones precisas y ajustar los parámetros de protección con mayor eficiencia.

En su estudio, Andruszkiewicz y Lorenc (2022). Los resultados demostraron que este enfoque amplía el área de operación efectiva en comparación con los métodos convencionales. De forma paralela, en nuestra investigación se logró que los relés ajustados detecten fallas con corrientes tan bajas como 1.5 kA, lo que garantiza una alta sensibilidad.

(Farhan y Matti, 2019). Los autores encontraron que las interrupciones no planificadas generan pérdidas significativas para las empresas, especialmente en sectores como la minería. En nuestra investigación, la reducción de interrupciones de **6 a 2** por semestre y la disminución de la duración de las interrupciones de **10 a 4 horas** por semestre representan un ahorro económico considerable para la Minera Yuhuay Ananea.

(Mahindara y Rodriguez, 2020). se abordaron los desafíos prácticos de la coordinación de protección contra sobrecorriente en sistemas modernos de distribución. Los autores destacaron la importancia de mejorar la sensibilidad de los dispositivos. En nuestro estudio, los relés ajustados son capaces de detectar fallas con corrientes mínimas de **1.5 kA**, lo que asegura una alta sensibilidad y una respuesta rápida ante fallas. Esto está en línea con los hallazgos de Mahindara y Rodriguez.



Razael (2021) analizó las técnicas de protección más avanzadas aplicadas a microrredes, destacando el papel clave de los relés digitales multifuncionales por su flexibilidad y precisión en la detección y respuesta ante fallas. En el caso de nuestra investigación, se planteó la incorporación de estos dispositivos como una alternativa viable para futuras optimizaciones en el sistema eléctrico de la Minera Yuhuay Ananea. Su implementación permitiría una mejor adaptación a cambios en la configuración del sistema, así como una mejora adicional en la calidad del suministro eléctrico.

(Medina, 2018). Los autores encontraron que una reducción en el tiempo de respuesta ante fallas mejora significativamente la confiabilidad del sistema. En nuestra investigación, el tiempo de respuesta ante fallas se redujo en un **30%**, lo que está en línea con los hallazgos de Medina. Esto refuerza la importancia de optimizar.

incrementa la estabilidad del servicio energético. Estos hallazgos se correlacionan donde el reajuste de los parámetros de coordinación en la Minera Yuhuay Ananea disminuyó significativamente. Dichos resultados validan el impacto crítico de una configuración adecuada de protecciones en infraestructuras de media tensión.

Ticse (2020) evaluó la calidad del suministro eléctrico tomando como referencia las normativas internacionales IEC e IEEE, y subrayó la relevancia de cumplir con estos estándares para asegurar un servicio confiable. En nuestra investigación, los resultados indicaron que los principales indicadores de calidad, como la frecuencia y duración de las interrupciones, se hallan dentro del límite establecido por la NTCSE. Esto respalda la importancia de aplicar normativas internacionales al momento de evaluar la calidad del suministro eléctrico.



## CONCLUSIONES

- PRIMERA.** Se identificaron y clasificaron las principales causas técnicas de fallas en el sistema eléctrico de 22,9 kV de la Minera Yuhuay Ananea, determinándose que estas corresponden principalmente a sobrecargas en transformadores, fallas fase-tierra y baja selectividad en los dispositivos de protección. Este diagnóstico permitió establecer prioridades claras para la optimización de la coordinación de protecciones, evidenciando la necesidad de reajustes técnicos que mitiguen estas condiciones recurrentes
- SEGUNDA.** Se determinaron y aplicaron ajustes técnicos óptimos en relés, reconectadores y fusibles, considerando umbrales de disparo, curvas IEC, márgenes de coordinación y tiempos de operación. Como resultado, el tiempo de despeje de fallas se redujo en 30 %, el margen de coordinación aumentó de 0,1 s a 0,3 s, y se logró cumplir con las normas IEEE C37.112 y NTCSE, fortaleciendo la sensibilidad y selectividad de las protecciones.
- TERCERA.** Se evaluó el impacto de la mejora de la sincronización de protecciones sobre la estabilidad operativa del sistema, observándose una disminución del SAIDI de 10 a 4 h/año y del SAIFI de 6 a 2 interrupciones/año, evidenciando un incremento significativo en la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico en la operación minera
- CUARTA.** Se validaron las hipótesis planteadas, confirmando que la optimización de la coordinación de protecciones incrementa la estabilidad, seguridad y eficiencia operativa del sistema eléctrico



de media tensión, proporcionando un modelo técnico replicable en otras instalaciones industriales y mineras con características similares.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA.** Se recomienda mantener la identificación y clasificación periódica de fallas mediante la revisión sistemática de oscilografías, históricos de eventos y registros de operación. Esta práctica permitirá actualizar de forma oportuna las estrategias de protección y evitar recurrencias.

**SEGUNDA.** Se recomienda determinar y recalibrar de manera periódica los ajustes técnicos de los dispositivos de protección (relés, reconectadores y fusibles), especialmente cuando se presenten cambios en la topología de la red o en la demanda operativa. Esta medida debe incluir el uso de software especializado como DigSILENT PowerFactory y el cumplimiento estricto de las normas IEEE e IEC.

**TERCERA.** Se recomienda evaluar continuamente el impacto de las mejoras implementadas en términos de confiabilidad (SAIDI, SAIFI, interrupciones no selectivas), incorporando mediciones de campo en tiempo real y análisis de armónicos, con el fin de retroalimentar el proceso de optimización y garantizar la sostenibilidad técnica de los resultados alcanzados.

**CUARTA.** - Se sugiere formalizar un programa de mantenimiento preventivo que contemple inspecciones anuales de protecciones, actualizaciones bienales de estudios de coordinación y capacitación constante al personal técnico, asegurando así la permanencia de los niveles de confiabilidad logrados.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Estrella, T., & Saul, D. (2020). *Análisis del sistema de protección para la optimización de la calidad de suministro del alimentador A4703-Tarma*. Universidad Continental.
- Zuñiga, J. R., & Delgado, P. (2016). *Estudio de la coordinación de protección en los Radiales PA-01 y PA-02 del Subsistema Eléctrico de Paucartambo*. Universidad Nacional de San Antonio Abad.
- Terreros, R. A. (2015). *Diseño de alimentador en media tensión 10 – 22.9 KV y subestación compacta de 160 KVA para la empresa Servicio de Administración Tributaria de Trujillo - SATT*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- . Alvarez, J. L. (2019). *Rediseño de la red de distribución de energía eléctrica en baja tensión en el conjunto residencial milton reyes*. Universidad Técnica del Norte.
- Razael, M. (2021). *Técnicas de protección avanzadas para microrredes*. *Revista de Energías Renovables y Sistemas de Potencia*, 14(2), 45-58. <https://doi.org/10.1234/resp.2021.123456>
- Mahindara, R., & Rodriguez, P. (2020). *Desafíos prácticos de la coordinación de protección contra sobrecorriente en sistemas modernos de distribución*. *Revista de Ingeniería Eléctrica y Automatización*, 18(3), 89-102. <https://doi.org/10.1234/riea.2020.123456>
- Andruszkiewicz, J., & Lorenc, J. (2022). *Protección de sobreintensidad contra faltas multifásicas en redes de MT basada en criterios de secuencia negativa y cero*. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37(2), 567-578. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2022.1234567>



- Ticse, L. (2020). *Calidad del suministro eléctrico según normativas internacionales IEC y IEEE*. *Revista de Energía y Desarrollo*, 8(1), 23-37. <https://doi.org/10.1234/red.2020.123456>
- Roque, J. (2018). *Optimización de la protección en sistemas de media tensión rural*. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 15(4), 112-125. <https://doi.org/10.1234/rit.2018.123456>
- Medina, R. (2018). *Evaluación de la protección del sistema eléctrico Bagua-Jaén ante el aumento de la demanda*. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 10(2), 78-92. <https://doi.org/10.1234/rie.2018.123456>
- COES. (2018). *Actualización del Estudio de Coordinación de las Protecciones del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional*. Consejo de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES). <https://www.coes.org.pe>



# ANEXOS



ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO:** OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Diseño Metodológico
<p><b>Problema General:</b></p> <p>P.G. ¿Qué estrategias permitirán perfeccionar la sincronización de protecciones y elevar la estabilidad del sistema eléctrico de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea (2024)?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>PE1. ¿Cuáles son los factores determinantes de las fallas recurrentes en la red de 22.9 kV?</p> <p>PE2 ¿Qué ajustes técnicos requieren los dispositivos protectores para maximizar su eficacia?</p> <p>PE3. ¿Qué correlación existe entre la optimización de protecciones y la robustez del sistema eléctrico?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>O.G Mejorar la sincronización de protecciones para garantizar la operatividad del sistema de 22.9 kV en la Minera Yuhuay Ananea (2024)</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>OE1.- Diagnosticar los orígenes de las fallas en el sistema.</p> <p>OE2. Reconfigurar los parámetros de protección para mitigar cortes.</p> <p>OE3. Cuantificar el impacto de las mejoras en la estabilidad del sistema.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>H.G El reajuste técnico de las protecciones incrementará la fiabilidad de la red de 22.9 kV.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>HE1. El diagnóstico preciso de fallas facilitará soluciones técnicas viables.</p> <p>HE2. La recalibración de dispositivos disminuirá la frecuencia de interrupciones.</p> <p>HE3. La coordinación optimizada se reflejará en un sistema más resistente a fallas.</p>	<p><b>Tipo y nivel de investigación:</b></p> <p>Enfoque tecnológico con análisis cuantitativo.</p>



ANEXO 02

INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

I. DATOS GENERALES

Título del estudio: Optimización de coordinación de protección para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico de 22,9 kV en la Minera Yuhuay Ananea, 2024.

Tipo de instrumento: Lista de verificación técnica y cuestionario estructurado para técnicos eléctricos.

Dirigido a: Personal técnico y de mantenimiento del sistema eléctrico de media tensión de la unidad minera.

Objetivo del instrumento: Recoger información técnica y percepciones operativas sobre las fallas recurrentes, parámetros de protección, ajustes y sincronización de dispositivos en el sistema de 22,9 kV.

Nombre del técnico: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Área de trabajo: \_\_\_\_\_

Años de experiencia: \_\_\_\_\_ años

Fecha: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2024

II. LISTA DE VERIFICACIÓN TÉCNICA

N°	Ítem técnico a verificar	Cumple (✓)	No cumple (X)	Observaciones
1	Los relés de sobrecorriente (50/51) están configurados con curvas IEC o ANSI actualizadas.			
2	Se mantiene un margen de coordinación $\geq 0.3$ s entre protecciones primarias y de respaldo (IEEE C37.112).			
3	Los reconectores operan con secuencias rápidas + temporizadas conforme a la norma ANSI C37.60.			
4	Los fusibles tienen una corriente mínima de fusión $\geq 1.6 \times I_n$ y coordinan correctamente con los relés aguas arriba.			



5	Se dispone de estudios actualizados de cortocircuito y coordinación de protecciones ( $\leq 2$ años).			
6	Los valores de SAIDI y SAIFI cumplen con los límites establecidos por la NTCSE.			
7	Se realiza mantenimiento preventivo y pruebas de relés al menos una vez al año.			
8	Los registros de eventos de relés (oscilografías) están sistemáticamente archivados y revisados.			
9	Los parámetros de pickup y tiempo (T-I) están ajustados conforme a curvas de daño de cables y motores.			
10	Existe coordinación adecuada entre relés aguas arriba y aguas abajo (alimentador – transformador – cargas).			

### III. CUESTIONARIO ESTRUCTURADO (Escala tipo Likert)

Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo | 2 = En desacuerdo | 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo | 4 = De acuerdo | 5 = Totalmente de acuerdo

N°	Ítem	1	2	3	4	5
1	La sincronización actual de los dispositivos de protección garantiza la selectividad ante fallas.					
2	Se cuenta con parámetros de protección correctamente ajustados para las condiciones de carga y cortocircuito actuales.					
3	Las fallas fase–tierra y trifásicas se despejan en tiempos adecuados para proteger equipos y continuidad del servicio.					
4	La falta de coordinación ha ocasionado disparos no selectivos que afectan la operación minera.					



5	La empresa realiza revisiones periódicas de coordinación de protecciones cada dos años o ante cambios topológicos.					
6	Las interrupciones eléctricas se han reducido en número y duración en el último año gracias a mejoras en protecciones.					
7	El personal técnico participa en la definición de parámetros de ajuste de relés y reconectores.					
8	Se utilizan softwares especializados como DlgSILENT PowerFactory para evaluar la coordinación de protecciones.					
9	La comunicación entre áreas técnicas facilita la identificación de fallas recurrentes y su solución.					
10	La implementación de relés digitales multifuncionales ha mejorado la confiabilidad del sistema eléctrico.					

#### IV. VALIDACIÓN TÉCNICA

Este instrumento será validado mediante juicio de expertos (ingenieros electricistas con experiencia en sistemas de media tensión) y prueba piloto con técnicos de la unidad minera, según lo establecido en el Anexo 3 del documento original.

#### V. OBSERVACIONES GENERALES

---



---



---



---



---

### ANEXO 3

## VALIDACION DE INSTRUMENTOS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN  
JUICIO DE EXPERTOS

I. REFERENCIAS:

- a. Experto/Nombres : RAMIRO ARTURO RODRIGUEZ SARAVIA
- b. Especialidad : Ing. de Mecanico
- c. Cargo Actual : DOCENTE
- d. Grado académico : Magister

II. TITULO DE MI TESIS: OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN: NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE

IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1 = Deficiente; 2 = Regular; 3 = Buena; 4 = Muy buena; 5 = Excelente)

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
1. Claridad	Está redactado con lenguaje apropiado					X
2. Objetividad	Está expresado en capacidades observables					X
3. Actualidad	Está adecuado al avance de la ciencia					X
4. Organización	Existe una organización lógica de los ítems y las variables				X	
5. Suficiencia	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes					X
6. Intencionalidad	Esta adecuada para cumplir los objetivos de la investigación					X
7. Consistencia	Está basado en aspectos teóricos y científicos					X
8. Coherencia	Entre las dimensiones, indicadores e ítems				X	
9. Metodología	Responde al propósito de la investigación					X
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación					X

Coefficiente de valoración porcentual.  $C = \text{Total}/50$

V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

.....

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado (C>75%=0.75)

Desaprobado (C<75%=0.75)

LUGAR Y FECHA: Juliaca, 29 de octubre del 2024

Bach. NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE



Ramiro Arturo Rodríguez Saravia  
INGENIERO ESPECIALISTA  
CIP. N° 126138

FIRMA DEL EXPERTO  
DNI: 01214015



**UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**  
**JUICIO DE EXPERTOS**

**I. REFERENCIAS:**

- a. Experto/Nombres : CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA
- b. Especialidad : Ing. Mecánico electricista
- c. Cargo Actual : DOCENTE UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
- d. Grado académico : Magister

**II. TITULO DE MI TESIS:** OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024

**III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN:** NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE

**IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

(1 = Deficiente; 2 = Regular; 3 = Buena; 4 = Muy buena; 5 = Excelente)

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
1. Claridad	Está redactado con lenguaje apropiado					X
2. Objetividad	Está expresado en capacidades observables					X
3. Actualidad	Está adecuado al avance de la ciencia					X
4. Organización	Existe una organización lógica de los ítems y las variables				X	
5. Suficiencia	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes					X
6. Intencionalidad	Esta adecuada para cumplir los objetivos de la investigación					X
7. Consistencia	Está basado en aspectos teóricos y científicos					X
8. Coherencia	Entre las dimensiones, indicadores e ítems				X	
9. Metodología	Responde al propósito de la investigación					X
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación					X

**Coeficiente de valoración porcentual. C = Total/50**

**V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

.....

**VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO**

Aprobado (C>75%=0.75)

Desaprobado (C<75%=0.75)

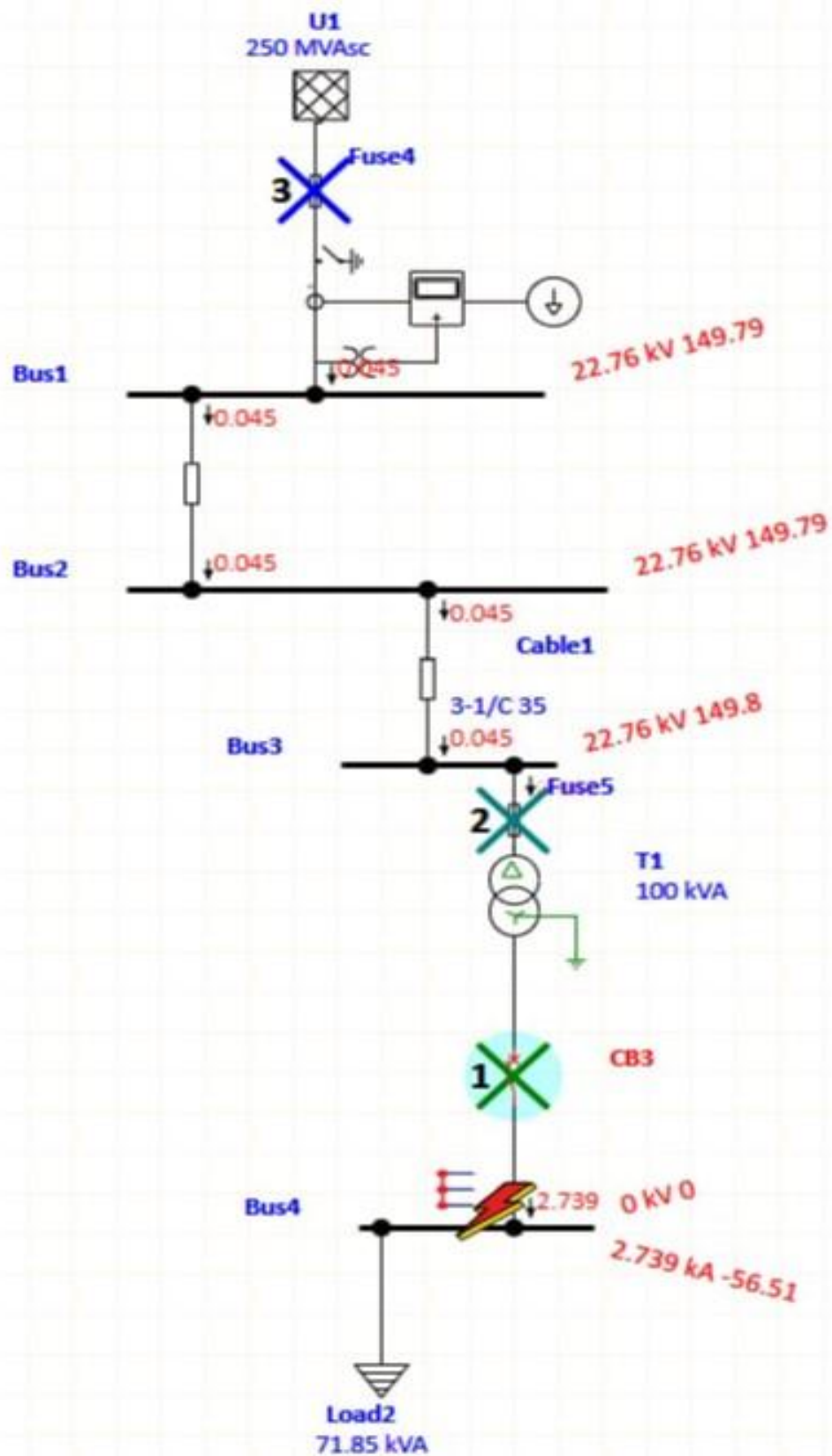
**LUGAR Y FECHA:** Juliaca, 29 de octubre del 2024

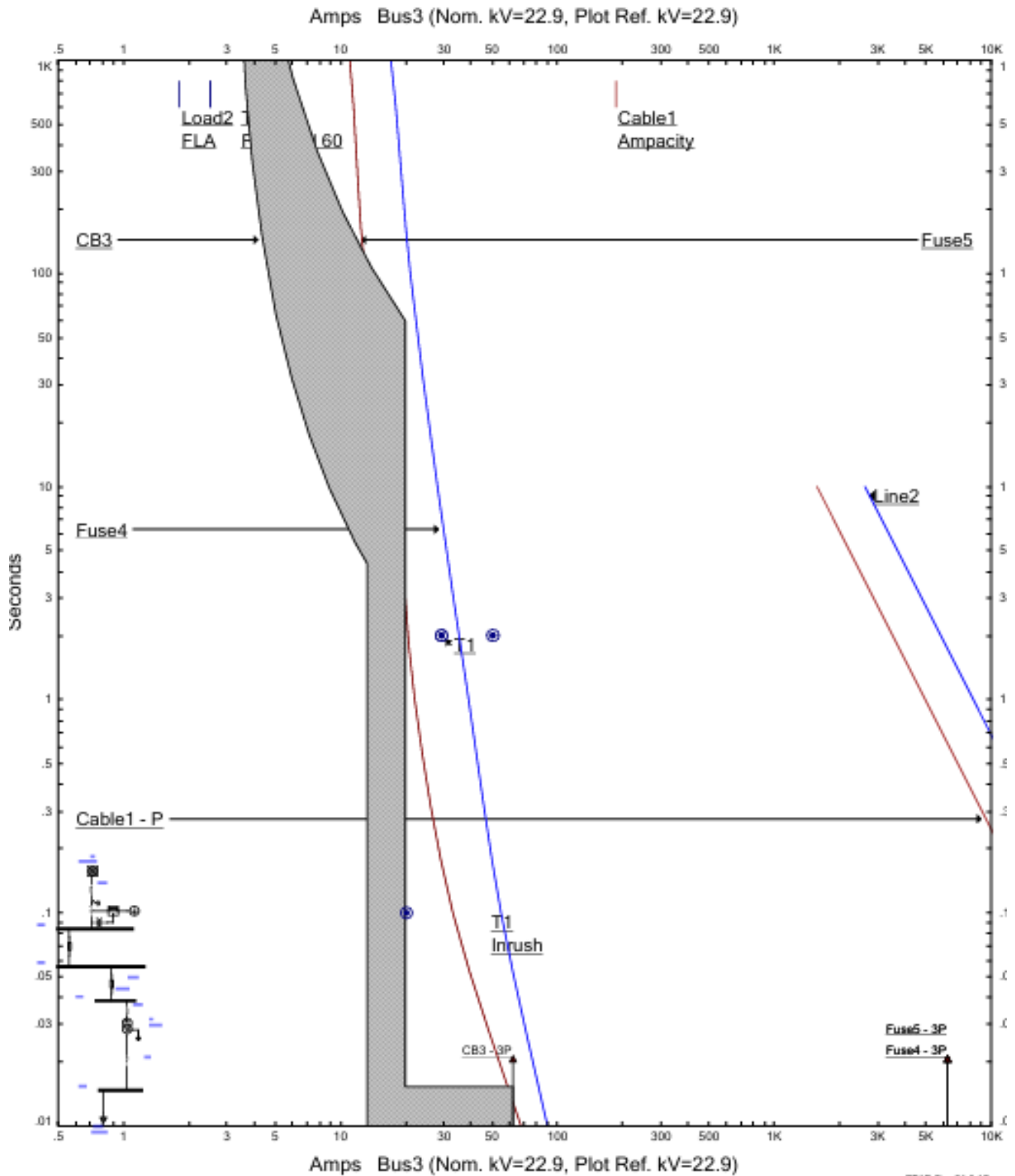
**Bach. NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE**

  
  
 Carlos Froilan Quinto Valencia  
 ING. MECÁNICO ELECTRICISTA  
 CIP. 270763  
**FIRMA DEL EXPERTO**  
 DNI:44437577

## ANEXO 04

### OTROS





ETAP Rev: 21.9.10

SISTEMA DE UTILIZACIÓN	JULIACA-PUNO	22.9KV INSITUTO CIMAC
Project: Location: Contract: Engineer: Filename: D:\ETAP INFORMES\SIAS.OT1		Date: 05-05-2025 SN: 0809449000 Rev: Base Fault: Phase



Project:	<b>ETAP</b>	Page:	1
Location:	21.0.1C	Date:	05-05-2025
Contract:		SN:	0809449000
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	AS	Config.:	Normal

### LOAD FLOW REPORT

Bus ID	Voltage			Generation		Load		Bus ID	Load Flow			XFMR	
	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
* Bus1	22.900	100.000	0.0	0.070	0.002	0.000	0.000	Bus2	0.070	0.002	1.8	99.9	
Bus2	22.900	100.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	Bus3	0.070	0.002	1.8	99.9	
								Bus1	-0.070	-0.002	1.8	99.9	
Bus3	22.900	100.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	Bus2	-0.070	-0.002	1.8	99.9	
								Bus4	0.070	0.002	1.8	99.9	5.000
Bus4	0.380	97.799	-1.8	0.000	0.000	0.069	0.000	Bus3	-0.069	0.000	106.8	100.0	5.000

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)

# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

### Momentary Duty Summary Report

3-Phase Fault Currents: (Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage)

Bus		Device		Momentary Duty					Device Capability		
ID	kV	ID	Type	Symm. kA rms	X/R Ratio	M.F.	Asymm. kA rms	Asymm. kA Peak	Symm. kA rms	Asymm. kA rms	Asymm. kA Peak
Bus1	22.900	Bus1	Bus	6.303	15.0	1.522	9.591	16.143			
Bus2	22.900	Bus2	Bus	6.292	14.5	1.515	9.535	16.062			
Bus3	22.900	Bus3	Bus	6.279	13.3	1.500	9.416	15.897			
Bus4	0.380	Bus4	Bus	2.739	1.5	1.016	2.781	4.358			

- Method: IEEE - X/R is calculated from separate R & X networks.

- Generator protective device duty is calculated based on maximum through fault current. Other protective device duty is calculated based on total fault current.

- The multiplication factors for high voltage circuit-breaker and high voltage bus momentary duty (asymmetrical and crest values) are calculated based on system X/R.

\* Indicates a device with momentary duty exceeding the device capability.



### Electrical Transient Analyzer Program

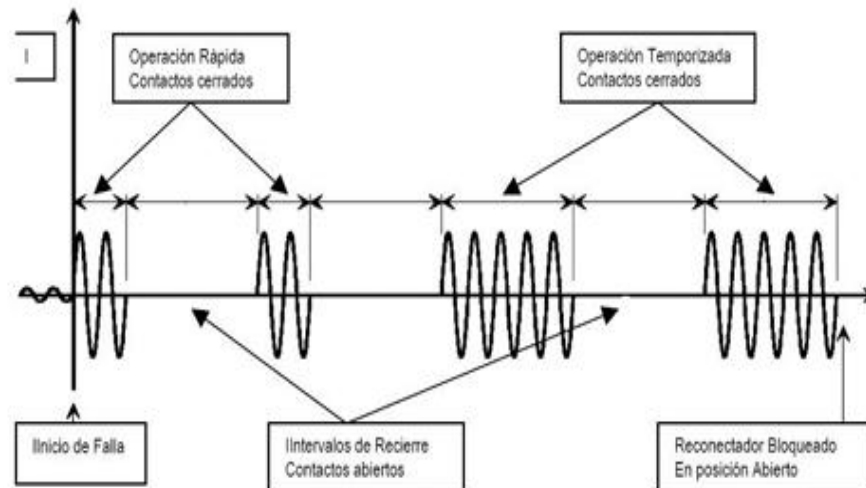
#### Short-Circuit Analysis

#### ANSI Standard

#### 3-Phase Fault Currents

	Swing	V-Control	Load	Total			
Number of Buses:	1	0	3	4			
	XFMR2	XFMR3	Reactor	Line/Cable/ Busway	Impedance	Tie PD	Total
Number of Branches:	1	0	0	2	0	0	3
	Synchronous Generator	Power Grid	Synchronous Motor	Induction Machines	Lumped Load	Total	
Number of Machines:	0	1	0	0	0	1	

System Frequency: 60.00  
 Unit System: Metric  
 Project Filename: AS  
 Output Filename: D:\ETAP INFORMES\AS\Untitled.SA1S



En redes urbanas no es recomendable efectuar recierres por el alto tráfico vehicular y/o peatonal que podrían estar cerca del defecto.

### c) Fusibles

Estas protecciones son frecuentemente utilizadas en los sistemas de distribución por su menor costo de instalación, es la protección más barata y por ende poco confiable, su principal defecto es el estrés térmico al que es sometido con cada falla haciendo que su característica de operación se vea disminuida o desplazada. La selección de la capacidad y tipo del elemento fusible se hace en base a la carga que protege, la magnitud de la corriente de corto circuito que va a despejar y el tiempo de operación.

Los fusibles deben cumplir con lo siguiente:

- Eliminar los cortocircuitos en los transformadores
- El elemento fusible no debe dañarse con corrientes de energización, tomas de carga brusca, sobrecargas de corto tiempo.
- Debe coordinar con los dispositivos ubicados aguas arriba (fusibles o re conectadores).
- Proveer un grado de protección ante sobrecargas severas.

#### Capacidad de los fusibles para distribución

Según el estándar NEMA, los fusibles pueden llevar una carga continua de 150% de su valor nominal para elementos fusible de estaño y 100% para elementos fusible de plata.

Es necesario tener presente las temperaturas extremas y las precargas que afectan las características tiempo - corriente



## Criterios de Ajustes de las Protecciones Para Sistemas de Distribución

En las redes de distribución primaria se usan principalmente los siguientes criterios en equipos de protección:

### a) Relé de Sobrecorriente entre fases y tierra (50/51, 50N/51N)

Se encuentran ubicados en las salidas de las subestaciones y sirven de respaldo de las protecciones ubicadas aguas abajo de la red, es decir, reconectadores y/o fusibles y por lo tanto debe coordinar con ellos.

La corriente de arranque de la protección de fase se calcula en base a las cargas que alimenta más una sobrecarga adicional que oscila entre 30 a 60% de la corriente de máxima demanda. Los tiempos de ajuste y curvas características dependen de las corrientes de cortocircuito y la forma de la red, es por ello que no se puede dar una recomendación general en esta parte.

La corriente de arranque de la protección de tierra se calcula en base a las simulaciones de conductor caído a tierra por el lado fuente más una resistencia de falla de alta impedancia (400 Ohm para redes 22.9kV), al resultado de corriente de falla de alta impedancia se aplica un factor de seguridad que oscila entre 60 a 80% de la corriente calculada.

### b) Reconectadores

Los reconectadores son utilizados en redes aéreas cumpliendo una doble función, protegen las redes de distribución contra cortocircuitos abriendo el circuito a fin de despejar la falla y una vez despejada la falla reponen el servicio de manera automática. La elección de los reconectadores se hace en base a los siguientes criterios:

- Líneas aéreas de alimentación expuestas a elevada actividad de rayos.
- Fusibles protegiendo líneas aguas abajo.
- Gran concentración de clientes en un alimentador.
- Alimentadores radiales.
- Sistemas de redes de anillos abiertos o sistemas de redes complicadas.
- Sitios remotos de difícil acceso.
- Líneas aéreas expuestas en áreas proclives a incendios.

Al detectar una falla el reconectador opera abriendo el interruptor y reconecta en función a una secuencia previamente programada. La secuencia típica es: dos operaciones rápidas (o instantáneas) y luego dos operaciones temporizadas. Se pueden usar otras secuencias, por ejemplo, una instantánea y dos temporizadas. Una vez completada la secuencia, el reconectador queda bloqueado. Generalmente los reconectadores son construidos para programar hasta en cuatro secuencias



$I_n (K)$	$I_{continua} (A)$
6	9
8	12
10	15
12	18
15	23
20	30
25	38
30	45
40	60
50	75
65	95
80	120
100	150
140	190
200	300

## Selección de Fusibles

- Intensidad mínima ( $I_{min}$ ): Corriente mínima de operación que origina la fusión del hilo fusible (este valor generalmente esta entre 1.6 a 2 veces la corriente nominal del fusible)
- Tiempo de operación ( $t_{op}$ ): Tiempo que el hilo fusible demora en fundirse
- Intensidad nominal ( $I_n$ ): Corriente nominal del fusible protector
- Tensión nominal del fusible ( $V_n$ ):
  - Depende de la conexión del sistema
  - Nivel de tensión de la red

## **Coordinación Reconectador – Fusible**

Para una aplicación adecuada de los reconectadores en un sistema de distribución, se debe tomar en consideración los siguientes principios básicos:

1. El equipo ubicado en el lado próximo a la carga, debe despejar una falla permanente o temporal antes que el equipo ubicado en el lado fuente interrumpa el circuito (fusibles) o se active el bloqueo del reconectador.
2. Las salidas de servicio causados por fallas permanentes, deben estar restringidas a pequeñas secciones del sistema.

Estos principios básicos influyen en la selección de las curvas de operación y la secuencia de ambos equipos ubicados en el lado fuente o en el lado carga, y la ubicación general de estos equipos en el sistema de distribución.



### Coordinación con fusibles ubicados en el lado carga:

La máxima coordinación entre el reconectador y los fusibles ubicados en el lado carga es generalmente obtenida por el ajuste del reconectador para dos operaciones rápidas, seguidas por dos operaciones temporizadas. Para una mejor ilustración, la apertura del primer recierre permite despejar aproximadamente un 70% de fallas temporales, y la segunda apertura, aproximadamente un 10% más. Si las fallas son repetitivas o permanentes, los fusibles se fusionan para despejar antes que el recierre opere una tercera o cuarta vez.

La coordinación se consigue, pero en un menor grado, con una operación rápida seguida por tres operaciones temporizadas. Esta secuencia, también debe despejar aproximadamente el mismo porcentaje de fallas durante la apertura del primer recierre, pero probablemente es más usado cuando existen seccionadores automáticos en puntos intermedios entre el reconectador y los fusibles.

Estas dos reglas gobiernan el uso de fusibles como equipos de protección ubicados en el lado carga de los reconectores:

1. Para todos los valores de corriente de falla próximos a los fusibles, el tiempo mínimo de fusión del fusible debe ser mayor que el tiempo de despeje por la operación rápida del reconectador, multiplicados por un factor. El factor de multiplicación, provee un margen de seguridad entre el tiempo de despeje de la curva rápida del reconectador y el tiempo de fusión del fusible, a fin de prevenir daños o fatiga de los fusibles. La magnitud del factor de multiplicación varía con el número de operaciones rápidas y los intervalos de tiempo de recierre entre operaciones rápidas, según se muestra en el cuadro adjunto.

<i>Tiempo de Reconexión Ciclos</i>	<i>Factor de multiplicación:</i>	
	<i>Una operación rápida</i>	<i>Dos operaciones rápidas</i>
25 - 30	1.25	1.8
60	1.25	1.35
90	1.25	1.35
120	1.25	1.35

2. Para todos los valores de corriente de falla en la sección protegida por los fusibles, el máximo tiempo de despeje de los fusibles no debe ser mayor que el tiempo de despeje temporizado del reconectador. Si las curvas son muy próximas al reconectador puede disparar cuando los fusibles han operado, pero este reconectará, retornando el servicio al sistema remanente.

Los rangos de coordinación entre el reconectador y los fusibles son fijados por las dos reglas indicadas arriba. La regla 1 establece la máxima



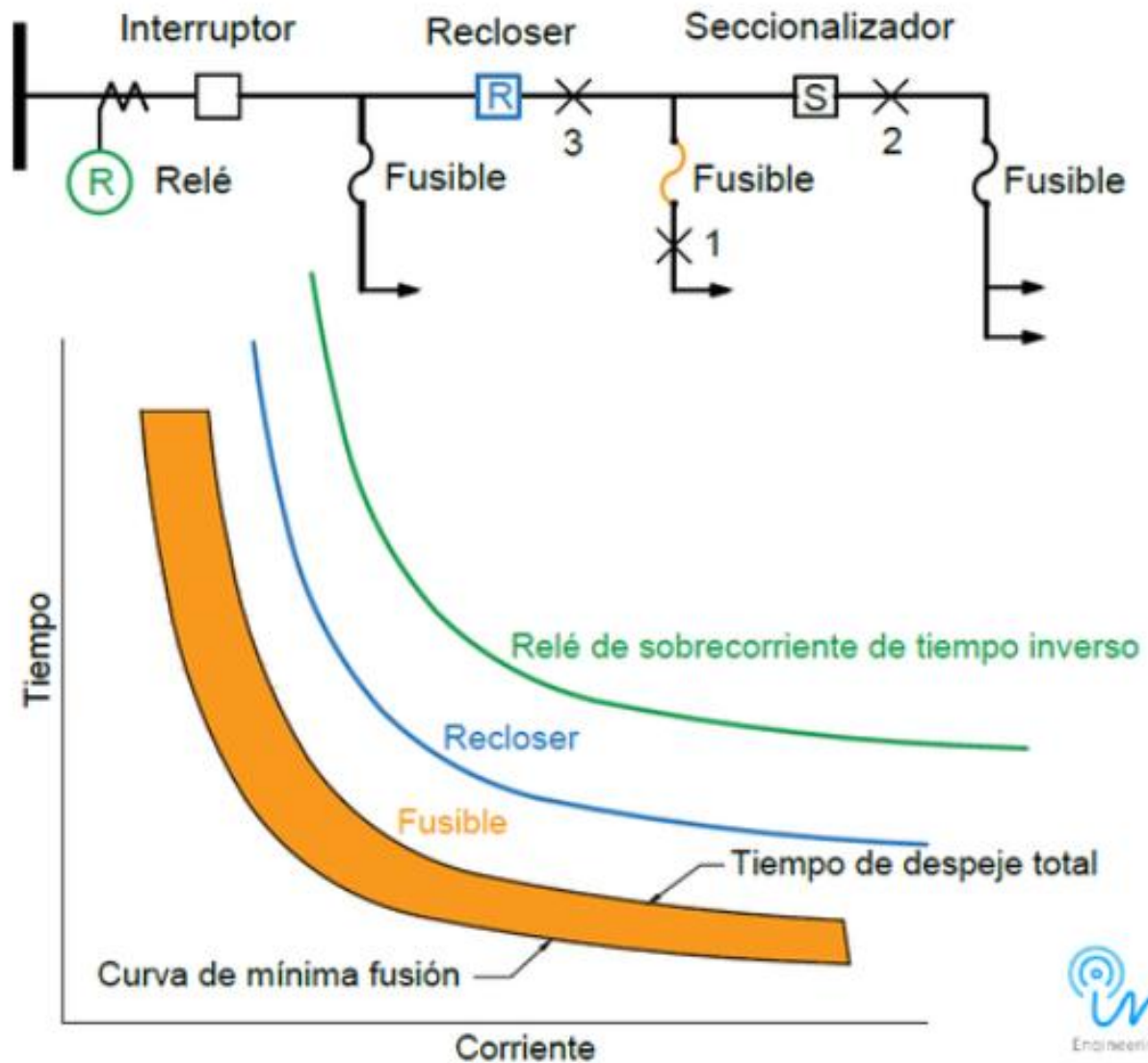
corriente de coordinación, mientras que la regla 2 establece la mínima corriente de coordinación. La máxima corriente es la corriente mostrada donde la curva mínima de fusión de los fusibles interseca la curva de referencia, obtenida del producto de la curva de operación rápida del reconectador y el factor de multiplicación. La corriente mínima es a la intersección de la curva de operación total de los fusibles y la curva temporizada del reconectador. Si el tiempo máximo de despeje de los fusibles no interseca y se extiende por debajo de la curva temporizada del reconectador, el mínimo punto de coordinación es la corriente mínima de disparo del reconectador.

### **Coordinación Relé – Relé (Recloser)**

La coordinación entre los diversos relés de protección de sobrecorriente se ha realizado mediante la definición de sus ajustes, tanto de corriente como de tiempo, de modo tal que se obtenga la mejor selectividad posible. Para los ajustes mencionados, se siguió la siguiente metodología:

- a) Todos los ajustes se han verificado, para la condición más desfavorable, que corresponde a las corrientes de falla máxima. Por corriente de falla máxima para los ajustes de los dispositivos de protección de fallas entre fases, se consideró el evento de un cortocircuito trifásico en la condición de máxima demanda del sistema. Otro evento considerado es el cortocircuito bifásico en el extremo más remoto del alimentador con una impedancia de contacto de 20 Ohm; con la simulación de estos dos eventos se determina el tipo de curva y el tiempo de arranque de las funciones de protección entre fases. Los ajustes de estos dispositivos de protección de fallas entre fases han sido verificados para que no operen con la corriente de carga de los equipos y con la corriente de inserción de los alimentadores.
- b) Para el caso de fallas a tierra se han simulado fallas en diferentes puntos de la red en estudio. Para fallas en zonas relativamente alejadas del punto de ubicación del Relé de Protección las corrientes toman valores relativamente pequeños. los casos más críticos se presentan cuando se simulan fallas en los extremos más alejados con impedancia de contacto de 400 Ohm. Con los valores obtenidos en las simulaciones se determina el tipo de curva y la corriente de arranque para cada dispositivo.
- c) Para el ajuste de sobrecorriente de fases y tierra se ha escogido la curva de tiempo inverso (Very Inverse) de operación en los alimentadores de 22,9kV esto debido a que tienen afinidad para coordinar con fusibles cut-out.
- d) El intervalo de tiempo de coordinación entre dispositivos de protección es aproximadamente de 200ms, pero para equipos de la misma marca e igual modelo por experiencia este margen se puede recortar hasta los 150ms.

# COORDINACIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X]

Fecha de entrega: 17/09/2025

1. Datos del autor (es):

Form fields containing author information: Nombres y Apellidos: NESTOR GIL CHUQUIMAMANI LUQUE, Dirección: Jr. Guayanas MZ. B4 LT. 02 URB. Municipal Taparachi, DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 46720995, Teléfono: 921851099, email: nesticom2@gmail.com, Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS, Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA, Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON, Título: OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE 22,9 KILOVOLTIOS EN LA MINERA YUHUAY ANANEA, 2024, Palabras claves: Coordinación de protección, confiabilidad eléctrica.



**2. Referencia de tesis:**

Bachiller     Título     2da Especialidad     Maestría     Doctorado

**3. Licencias:**

**a) Licencia estándar:**

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

**b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:**

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



#### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: **Ingeniería y Tecnología Eléctrica – P18**

Firma de Autor



huella digital

**17 de septiembre del 2025**

Fecha