

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Suficiencia Profesional

Análisis de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, por incremento de la potencia en el área mina 16, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico - Cosapi minería

Carlos Feliciano Ayala Alania

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A los asesores: Ing. Darwin Padilla Gutiérrez, Ing. David Checa Cervantes y al Ing. Joel Contreras Núñez, por sus valiosos consejos en la elaboración del informe.

A la empresa Cosapi Minería por la oportunidad de compartirme información relevante para la ejecución del informe de suficiencia profesional.

A mi esposa e hija por su paciencia y tolerancia que siempre me brindaron.

DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que alumbra mi sendero.

A mis padres, por el constante apoyo que me brindaron.

A mi hija por ser la motivación que me permite ser una mejor persona.

ÍNDICE

Agradecimiento	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen	x
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I.....	13
ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	13
1.1. Datos generales.....	13
1.2. Actividades principales.....	13
1.2.1. Servicios en minería superficial.....	14
1.3. Reseña histórica	14
1.4. Organigrama de la empresa	15
1.5. Visión y misión	17
1.5.1. Visión.....	17
1.5.2. Misión	17
1.6. Bases legales o documentos administrativos	17
1.6.1. Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería	18
1.6.1.1. Resolución ministerial N.º 308-2001-EM-VME aprueban la norma técnica “uso de la electricidad de minas”	18
1.6.1.2. Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011	19
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	19
1.8. Descripción del cargo y responsabilidades del bachiller en la empresa	20
1.8.1. Ingeniero asistente de electricidad	20
1.8.1.1. Objetivo del puesto	20
1.8.1.2. Responsabilidades y funciones	21
CAPÍTULO II.....	23
ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES	23
2.1. Diagnóstico situacional	23
2.2. Identificación de la necesidad en el área de actividad profesional.....	25
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	25

2.4. Justificación de la actividad profesional	26
2.5. Resultados esperados	26
CAPÍTULO III	28
MARCO TEÓRICO	28
3.1. Bases teóricas de las actividades realizadas.....	28
3.1.1. Antecedentes del trabajo de suficiencia	28
3.1.2. Análisis de flujo de potencia	29
3.1.3. Análisis de corto circuito	30
3.1.4. Protecciones eléctricas en sistemas eléctricos	30
3.1.5. Relé de sobrecorriente entre fases y tierra (50 / 51, 50N / 51N)	31
3.1.6. Descripción del software Power Factory DIgSILENT	32
CAPÍTULO IV.....	33
DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	33
4.1. Descripción de actividades	33
4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales	33
4.1.1.1. Generalidades	34
4.1.1.2. Escenarios de análisis	34
4.1.1.3. Descripción del equipamiento del sistema eléctrico Cosapi	35
4.1.1.4. Demanda en situación actual y proyectado	36
4.1.2. Alcance de las actividades profesionales	37
4.1.3. Entregables de las actividades profesionales.....	37
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	38
4.2.1. Metodologías.....	38
4.2.2. Técnicas	39
4.2.3. Instrumentos.....	39
4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades.....	40
4.3. Ejecución de actividades profesionales	40
4.3.1. Cronograma de actividades realizadas	40
4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	40
CAPÍTULO V.....	43
RESULTADOS.....	43
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas	43
5.1.1. Resultados de flujo de potencia.....	43
5.1.2. Nivel de tensión en barras	43

5.1.3. Niveles de carga en líneas eléctricas	45
5.1.4. Nivel de carga en transformadores.....	46
5.1.5. Resultados de cortocircuito	46
5.1.6. Corto circuito monofásico a tierra	47
5.1.7. Corto circuito trifásico	48
5.1.8. Resultados de coordinación de protecciones	49
5.1.9. Protección de sobrecorriente de fases y tierra	50
5.1.10. Esquemas de protección de sobrecorriente de fases y tierra – situación sin proyecto.....	53
5.1.11. Esquemas de protección de sobrecorriente de fases y tierra – situación con proyecto.....	56
5.2. Logros alcanzados.....	60
5.3. Dificultades encontradas.....	61
5.4. Planteamiento de mejoras	62
5.5. Análisis.....	62
5.6. Aporte del bachiller en la empresa.....	63
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	65
Lista de referencias.....	67
Anexos	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del transformador de potencia	36
Tabla 2. Demanda de estiaje 2021, situación actual	36
Tabla 3. Demanda Estiaje 2021, situación proyectado	36
Tabla 4. Demanda de estiaje 2021, situación sin proyecto	44
Tabla 5. Demanda de estiaje 2021, situación con proyecto	44
Tabla 6. Nivel de congestión en líneas de eléctricas, año 2021, sin potencias proyectadas	45
Tabla 7. Nivel de congestión en líneas de eléctricas, año 2021, con potencias proyectadas	45
Tabla 8. Nivel de cargabilidad en transformadores, año 2021, sin potencias proyectadas	46
Tabla 9. Nivel de cargabilidad en transformadores, año 2021, con potencias proyectadas	46
Tabla 10. Cortocircuito monofásico a tierra-sin potencias proyectadas	47
Tabla 11. Cortocircuito monofásico a tierra-con potencias proyectadas	48
Tabla 12. Cortocircuito trifásico-sin potencias proyectadas	48
Tabla 13. Cortocircuito trifásico-con potencias proyectadas	49
Tabla 14. Equipos de protección existentes y proyectados.....	50
Tabla 15. Ajustes de sobrecorriente de fases – actuales	50
Tabla 16. Ajustes de sobrecorriente a tierra – actuales	51
Tabla 17. Ajustes de sobrecorriente de fases – propuesto	52
Tabla 18. Ajustes de sobrecorriente a tierra – propuesto.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de Cosapi Minería Shougang Hierro.	16
Figura 2. Vista Satelital de Cosapi Minería Shougang Hierro Perú.	20
Figura 3. Esquema de la subestación Shougang 60 / 34.5 kV	23
Figura 4. Esquema del sistema eléctrico Cosapi.....	24
Figura 5. Relé de protección de transformador.	32
Figura 6. Cronograma de la implementación del proyecto	41
Figura 7. Diagrama del flujo del proceso y secuencia operativa	42
Figura 8. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal.....	54
Figura 9. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal.....	54
Figura 10. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en barra de 7.2 kV de la subestación principal	55
Figura 11. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal	55
Figura 12. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal.....	56
Figura 13. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal.	57
Figura 14. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal	57
Figura 15. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal	58
Figura 16. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en la barra de 7.2 kV de la pala 4	58
Figura 17. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico en la barra de 7.2 kV de la pala 4.....	59
Figura 18. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en la barra de 7.2 kV de la perforadora 3	59
Figura 19. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico en la barra de 7.2 kV de la perforadora 3	60
Figura 20. Implementación de los ajustes de relés de protección	66
Figura 21. Diagrama unifilar proyectado	69

Figura 22. Estiaje de máxima demanda CP	70
Figura 23. Estiaje de máxima demanda SP	71
Figura 24. Estiaje de media demanda CP	72
Figura 25. Estiaje de media demanda SP	73
Figura 26. Estiaje de mínima demanda CP	74
Figura 27. Estiaje de mínima demanda SP	75
Figura 28. Estiaje máximo CP 1f	76
Figura 29. Estiaje máximo CP 3f	77
Figura 30. Estiaje máximo SP 1f	78
Figura 31. Estiaje máximo SP 3f	79
Figura 32. Estiaje medio CP 1f.....	80
Figura 33. Estiaje medio CP 3f.....	81
Figura 34. Estiaje media SP 1f.....	82
Figura 35. Estiaje medio SP 3f	83
Figura 36. Estiaje mínimo CP 1f.....	84
Figura 37. Estiaje mínimo CP 3f.....	85
Figura 38. Estiaje mínimo SP 1f.....	86
Figura 39. Estiaje mínimo SP 3f	87
Figura 40. ECP – Cosapi informe.....	88
Figura 41. Check list de relés tytronic	89
Figura 42. Cronograma de trabajo, análisis de ECP	90
Figura 43. P0287 - F002 Autorización de ingreso	91

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional analiza la coordinación de protecciones de los relés de sobrecorriente, con la finalidad de evaluar las modificaciones en los ajustes de protección de los relés, debido al incremento de potencia en el área de mina 16; permitiendo coordinar las protecciones de sobrecorriente de los relés de los alimentadores con los relés de barra del transformador de potencia de 8 MVA y con ello garantizar la operación del sistema eléctrico Cosapi.

Para realizar el informe se hizo un análisis de flujo de potencia y análisis de corrientes de cortocircuito, determinando el comportamiento del sistema eléctrico, posterior a ello se realizó la coordinación de protecciones de los relés utilizando los criterios de selectividad, seguridad y confiabilidad. Para las respectivas simulaciones se ha tomado en consideración la configuración del sistema eléctrico Cosapi para escenarios de máxima, media y mínima demanda, utilizando la base de datos proporcionada por el COES para dichas condiciones como información de referencia.

En el capítulo I, denominado aspectos generales de la empresa, se detallan los datos generales, reseña histórica y actividades principales de la empresa Cosapi Minería. Asimismo, se describe el área donde se llevan a cabo las actividades profesionales señalando las responsabilidades que desempeña en la empresa.

En el capítulo II se exponen los aspectos generales de las actividades profesionales considerando el diagnóstico situacional, identificando las necesidades en el área de actividad profesional, señalando los resultados esperados.

En el capítulo III, denominado marco teórico, se detallan las bases teóricas de las actividades realizadas, considerando los antecedentes del trabajo de suficiencia profesional.

En el capítulo IV se expone el enfoque, alcance y entregables de las actividades profesionales; así como los aspectos técnicos que considera metodologías, técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo de las actividades efectuadas.

Finalmente, en el capítulo V se presentan los resultados de las actividades realizadas para la coordinación de protecciones y la interpretación de los resultados obtenidos con el software DIgSILENT versión 15.1.7.

INTRODUCCIÓN

Cosapi Minería es socio estratégico de Shougang Hierro Perú para realizar la extracción y transporte de material estéril y mineral como parte de la actividad de servicios mineros, para realizar esa actividad Cosapi Minería ha implementado un sistema eléctrico conformado por una línea eléctrica en el nivel de tensión de 34.5 kV y una subestación móvil de potencia de 8 MVA de relación de tensión de 34.5/7.2 kV que suministra de energía eléctrica principalmente a palas y perforadoras. Por motivo de las actividades de voladura que se realizan cerca de la zona donde se ubica la subestación móvil de 8 MVA (actualmente desenergizada), se procedió a reubicar, asimismo, el sistema eléctrico ha incrementado su carga en el área de mina 16.

La presente investigación tiene por finalidad demostrar mediante el análisis de coordinación de protecciones, que el incremento de potencia en la mina 16 genera cambios en la coordinación de protecciones de todo el sistema eléctrico Cosapi, asimismo, determinar la influencia que tiene la coordinación de protecciones para garantizar la seguridad, selectividad y seguridad del sistema eléctrico Cosapi y, por consiguiente, al sistema eléctrico Shougang Hierro Perú.

Para lograr los resultados óptimos se realizó una evaluación del equipamiento y de los parámetros eléctricos del sistema mediante simulaciones con el software DigSilent versión 15.1.7 para los distintos escenarios de análisis. El software es una herramienta computacional de análisis y control para diseñar, simular y operar sistemas eléctricos de potencia, orientada a los sistemas industriales y desarrollada para que los ingenieros puedan acelerar la toma de decisiones en función a los resultados que obtengan.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1. Datos generales

Cosapi Minería es una compañía subsidiaria de Cosapi S. A., empresa de ingeniería y construcción con más de 56 años de trayectoria en los ámbitos nacional e internacional, especializados en realizar grandes movimientos de tierra y explotación de minas a tajo abierto (1).

Empresa: Cosapi Minería S. A. C.
RUC: 20552714378
Dirección legal: Av. República de Colombia N.º 791, San Isidro. Lima, Perú
Teléfono: (511) 211 3500

1.2. Actividades principales

Cosapi Minería brinda servicios de desarrollo de minas (incluyendo actividades de perforación, voladura, carguío y el transporte de mineral y desmonte), generando valor mediante una gestión innovadora, el uso de tecnología de punta y aprovechando la vasta experiencia de la compañía en el manejo de proyectos complejos.

La decisión de entrar al negocio de servicios mineros se basó en el deseo de la empresa de maximizar las sinergias con los negocios tradicionales y

aprovechar las cercanas relaciones comerciales que Cosapi ha desarrollado con las principales empresas mineras que operan en el país.

1.2.1. Servicios en minería superficial

- Asesoría en ingeniería de la producción
- Explotación de minas y canteras
- Construcción de *pads* de lixiviación, pozas de procesos, plataformas y servicios auxiliares
- Movimiento de tierra masivo.
- Suministro de equipo especializado

1.3. Reseña histórica

De acuerdo a Cosapi (2) a finales de los años 60 la empresa constructora Pivasa (conformada por los ingenieros Walter Piazza Tangüis y José Valdez Calle), fue invitada a participar en la licitación para la construcción de la línea de transmisión Huinco - Lima, en consorcio con SADE (Sociedad Argentina de Electrificación), el resultado fue óptimo. Para 1969 el Consorcio se transformó en Cosapi S. A., actualmente comprende un grupo diversificado de empresas que actúa tanto a nivel nacional como internacional.

En el 2000, en sociedad con Bechtel y Fraport, Cosapi fundó LAP, empresa que ganó la concesión del aeropuerto Jorge Chávez, participando en su exitosa modernización.

En 2013, se creó la división de Cosapi Minería que asume el desarrollo del proyecto Shougang Hierro Perú S. A. A., que se ubica en el distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica.

1.3.1. Cosapi Minería se crea por cuatro factores

- **Experiencia** de Cosapi S. A. en los servicios de ingeniería, construcción y movimiento de tierra masivo para el sector minero.
- **Crecimiento:** oportunidades en el sector minero para los servicios especializados que brinda Cosapi Minería.

- **Diversificación:** como parte del crecimiento de Cosapi S. A., una de nuestras estrategias de crecimiento y de sostenibilidad es la diversificación.
- **Reputación:** Cosapi S. A. ha participado en los proyectos mineros más importantes del país, cumpliendo con altos estándares de calidad, seguridad, medio ambiente y responsabilidad social.

1.4. Organigrama de la empresa

El área de Mantenimiento Eléctrico de Cosapi Minería, presenta la siguiente estructura organizacional:

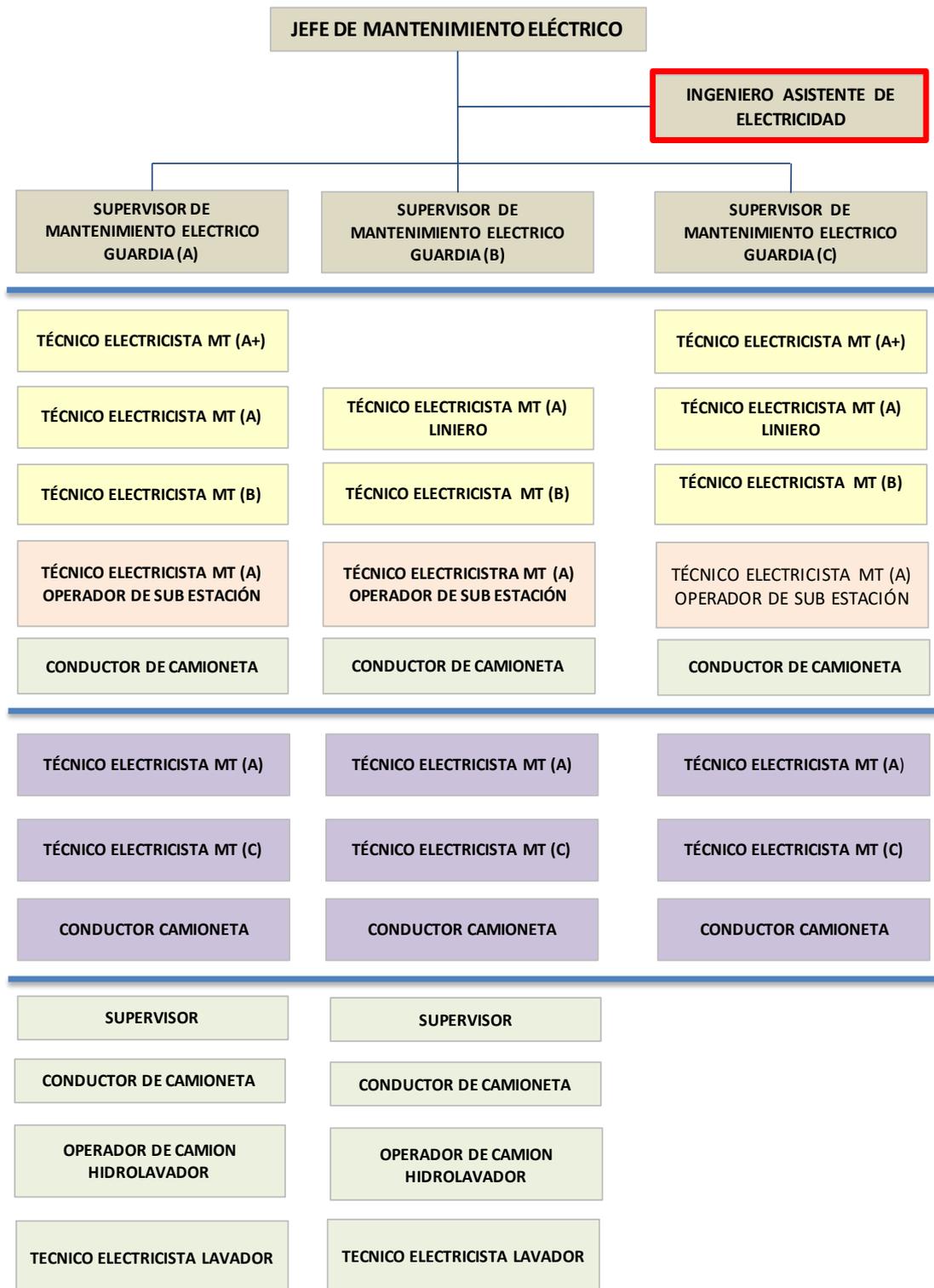


Figura 1. Organigrama de Cosapi Minería Shougang Hierro. Tomada del Sistema de Gestión

1.5. Visión y misión

1.5.1. Visión

Ser reconocida como una empresa líder en servicios mineros de clase mundial por su productividad, innovación y gran capacidad de adaptación, superando las expectativas de sus clientes.

1.5.2. Misión

Contribuir al éxito de nuestros clientes, desarrollando nuestras operaciones con altos estándares de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional, enfocándonos en la productividad y empleando la tecnología para lograr un negocio sostenible.

1.6. Bases legales o documentos administrativos

Dentro de las bases legales o documentos administrativos, se encuentran los siguientes documentos:

- Constitución Política del Perú (1993)
- Decreto Supremo N.º 014-92- EM - Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería
- ISO 9000 Sistema de Gestión de la Calidad
- ISO 14000 Sistema de Gestión Medio Ambiental
- ISO 45000 Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – Decreto Supremo N.º 020-97-EM
- Ley General del Ambiente Ley N.º 28611
- Ley N.º 29325 Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N.º 29783)
- Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad 2013 Resolución Ministerial N.º 111-2013-MEM-DM
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo 024-2016-EM

1.6.1. Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería

En el Capítulo I Electricidad, Artículo 360 indica lo siguiente: las instalaciones eléctricas y actividades relacionadas a ellas, deben cumplir con las normas establecidas en el Código Nacional de Electricidad, en la norma técnica “Uso de la Electricidad en Minas”, aprobada por Resolución Ministerial N.º 308-2001-EM/VME, y en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad, aprobado por Resolución Ministerial N.º 111-2013-MEM-DM, sus modificaciones y aquellas normas que los sustituyan, así como las demás disposiciones legales vigentes.

Las instalaciones, operaciones y mantenimiento de equipos o herramientas eléctricas empleados en trabajos mineros deberán ajustarse a lo dispuesto en el párrafo anterior, al presente reglamento, a las normas y procedimientos elaborados por cada titular de actividad minera, los que deben considerar, entre otros, lo siguiente:

Las instalaciones eléctricas deben disponer de los sistemas de protección requeridos de acuerdo a sus características de operación y mantenimiento, cumpliendo con las reglas del *Código Nacional de Electricidad* y normas complementarias emitidas por las autoridades competentes.

1.6.1.1. Resolución ministerial N.º 308-2001-EM-VME aprueban la norma técnica “Uso de la electricidad de minas”

En el numeral 3.5 Protección y control, 3.5.2 Protección y control de transformadores, indican lo siguiente: se instalará medios de desconexión adecuados en el circuito primario de cada transformador de potencia y distribución o en cada banco de transformadores que opere como una unidad. También serán instalados medios de desconexión en el lado secundario de cada transformador cuando los transformadores operen en paralelo para alimentar a un solo circuito.

1.6.1.2. Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011

Numeral 17.C. Requerimientos de la operación del sistema de protección, se indica lo siguiente: las instalaciones de suministro eléctrico como de comunicaciones, deberán disponer del sistema de protección adecuado, para evitar daños al ser humano, deterioros a sus propias instalaciones y de terceros. En cualquier tipo de sistema de suministro, con neutro o sin neutro, el titular deberá asegurarse en todo momento que su sistema de protección debe ser capaz de detectar y aislar fallas causadas por desprendimiento de conductores o fase a tierra, para evitar tensiones de contacto y de paso peligrosas.

1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales

Las actividades profesionales se desarrollan en la empresa Cosapi Minería, que se encuentra ubicada dentro de Shougang Hierro Perú S. A. en el departamento de Ica, provincia de Nazca, distrito de Marcona, Perú.

El sistema eléctrico de Cosapi Minería es alimentado por la SE Shougang de 60/34.5 kV propiedad de Shougang Hierro Perú S. A. La empresa ha implementado un sistema eléctrico conformado por una línea en el nivel de tensión de 34.5 kV y una subestación móvil de potencia 8 MVA de relación de tensión de 34.5/7.2 kV que suministra de energía eléctrica principalmente a palas y perforadoras.

Para lograr con éxito la continuidad de suministro del sistema eléctrico Cosapi, se evaluó el incremento de potencia y el correcto funcionamiento del equipamiento asociado a las protecciones, como son los transformadores de corriente, relés de protección e interruptores de potencia, ya que su influencia es importante en el funcionamiento de las protecciones y por ende en el correcto desempeño de la subestación de potencia de 8 MVA.



Figura 2. Vista Satelital de Cosapi Minería Shougang Hierro Perú. Tomada de Google Maps <https://n9.cl/09tfr>

1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa

El cargo que ocupó en la empresa es de ingeniero asistente de electricidad dentro del área de Mantenimiento Eléctrico de Cosapi Minería.

1.8.1. Ingeniero asistente de electricidad

1.8.1.1. Objetivo del puesto

Supervisar el suministro de energía eléctrica para la operación, garantizando la adecuada ejecución en campo de los trabajos programados, mantenimientos correctivos y preventivos de líneas y equipos de distribución de energía en la zona donde se realiza el minado, perforación y voladura, cumpliendo las normas de seguridad y los procedimientos aprobados.

1.8.1.2. Responsabilidades y funciones

a) Suministrar energía eléctrica para operar con equipos eléctricos mineros

- Solicitar los recursos materiales y de mano de obra para el mantenimiento (correctivo o preventivo) de las redes de distribución eléctrica, subestaciones y *switch house*.
- Coordinar con el área de operaciones la disponibilidad y requerimiento de alimentación eléctrica de equipos, para la ejecución de labores de operación minera.
- Organizar el trabajo del personal técnico sobre las labores de mantenimiento a redes de distribución y subestación.
- Verificar que se realicen las inspecciones diarias a la llegada del cable de alimentación en los equipos, en cambio de guardia.
- Verificar el correcto llenado de los formatos de mediciones de parámetros eléctricos, así como *check list* y reportes de mantenimiento eléctrico.
- Presentar informes con análisis de causa raíz de eventos de fallas relevantes.
- Reportar los pendientes por seguridad y operacional entre los supervisores entrantes y salientes en los cambios de guardia.
- Verificar y registrar la operatividad de los interruptores portátiles que sirven como sistemas de protección de los equipos eléctricos mineros.
- Presentar informes de los trabajos relevantes y las propuestas de mejora continua para el siguiente mes.
- Capacitar al personal a su cargo para mejorar sus competencias técnicas y habilidades blandas.

b) Controlar la correcta ejecución de las tareas de mantenimiento

- Verificar el cumplimiento de las actividades de las tareas de mantenimiento en términos de plazos, calidad y eficiencia.

- Supervisar el desempeño de los técnicos y personal en las tareas de mantenimiento eléctrico.

c) Responsabilidad de ética y cumplimiento

- Cumplir con lo dispuesto en el modelo de cumplimiento y sus sistemas implementados: SPD y PC y SPLAFT, para garantizar la integridad y transparencia de las operaciones de la organización.
- Cumplir con lo dispuesto en el Código de Ética y la Política de Prevención de Delitos y Prácticas Corruptas con la finalidad de comportarse de manera íntegra y transparente en el ejercicio de su labor.

d) Responsabilidad SSOMA y Calidad

- Cumplir con lo dispuesto en el Manual Integrado de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente para contribuir al establecimiento de un entorno de trabajo seguro y saludable en la organización y apoyar la cultura de protección al medio ambiente.
- Cumplir con el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo de Cosapi Minería S. A. C. a fin de apoyar a la mejora de los índices de seguridad y salud ocupacional de la organización y prevenir todo daño a la salud causado por las condiciones de trabajo y factores de riesgo.
- Reportar a sus superiores todos los riesgos, lesiones, accidentes e incidentes detectados, a fin de contribuir con el control y mejora de los índices de seguridad de la organización y favorecer el establecimiento de un entorno de trabajo seguro.
- Velar por su seguridad, la de sus compañeros y protección del medioambiente a fin de fomentar y fortalecer la cultura en SSOMA de la organización.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1. Diagnóstico situacional

El sistema eléctrico Cosapi se alimenta de la subestación Shougang que cuenta con 2 transformadores de potencia de 25 MVA como se aprecia en la figura 3, en el nivel de 34.5 kV mediante una línea eléctrica se conecta a la subestación de Cosapi de potencia 8 MVA y niveles de tensión de 34,5 / 7,2 kV.

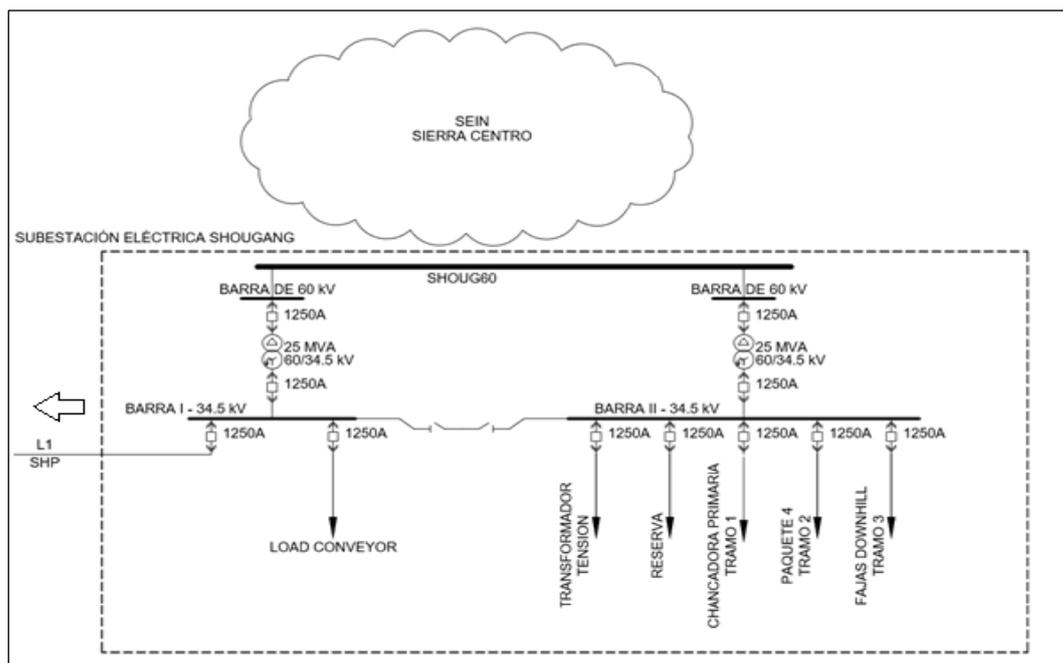


Figura 3. Esquema de la subestación Shougang 60 / 34.5 kV

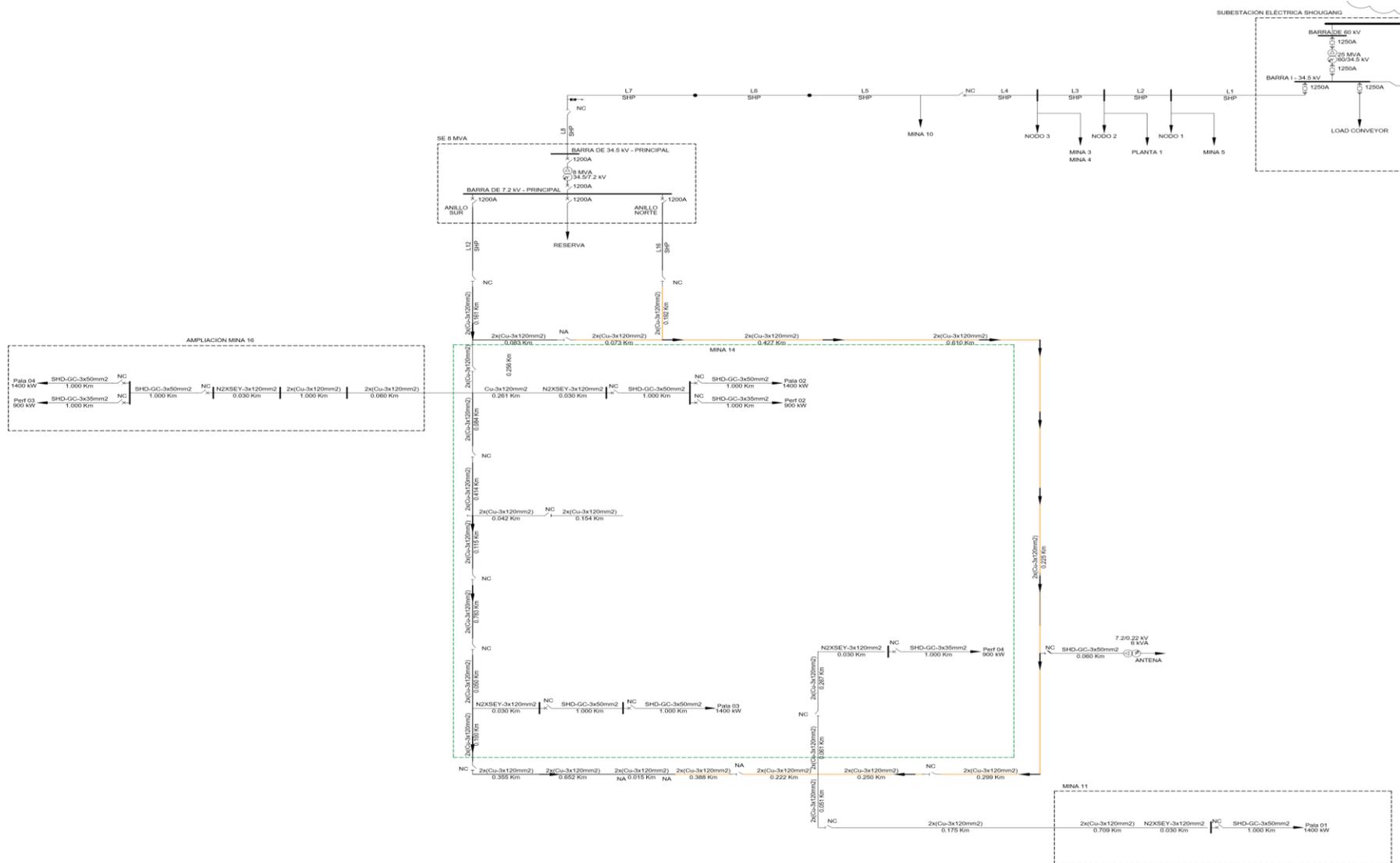


Figura 4. Esquema del sistema eléctrico Cosapi

La empresa Shougang Hierro Perú S. A. A. tiene un contrato de extracción de mineral y desmonte con la empresa Cosapi Minería, por lo tanto, en el Área Mina 16 se tiene una proyección de equipos y maquinarias para la perforación y movimiento de tierras.

De lo anterior se evidencia que en este sistema eléctrico se ha incrementado la potencia en el área de Mina 16 considerando la pala 4 CAT 6040 de 1.4 MW y la perforadora 3 D75KS SANDVIK de 0.79 MW, ambos en el nivel de tensión de 7.2 kV; por lo tanto, este incremento de potencia puede afectar los niveles de tensión; asimismo, el incremento de máquinas rotativas genera un aporte de corrientes de corto circuito y la consideración de equipos de protección para la pala 4 y perforadora 3 significaría cambios en la coordinación de protecciones, por lo cual se debe realizar una evaluación, considerando la nueva topología del sistema eléctrico.

2.2. Identificación de la necesidad en el área de actividad profesional

Dadas las condiciones de operación y planeamiento del sistema eléctrico Cosapi Minería (incremento de potencia en el área de Mina 16), la empresa mediante el área de Mantenimiento Eléctrico planteó la necesidad de realizar una evaluación técnica que consiste principalmente en:

- Análisis de flujo de potencia en estado estacionario del sistema eléctrico Cosapi Minería para identificar que todos los parámetros eléctricos son adecuados.
- Análisis de las corrientes de cortocircuito en los diferentes tipos de falla (trifásica y monofásica) para obtener las máximas y mínimas corrientes de cortocircuito.
- Realizar la coordinación de protecciones para garantizar la selectividad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico bajo estudio.

2.3. Objetivos de la actividad profesional

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- Determinar los criterios que se deben tener en cuenta en el análisis de flujo de potencia y corrientes de cortocircuito.

- Determinar los criterios que se deben tener en cuenta en el análisis de coordinación de protecciones.
- Analizar la influencia del incremento de la potencia en el área de Mina 16 en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, en el 2021.

2.4. Justificación de la actividad profesional

Considerando el incremento del área de Mina 16 se tiene una proyección de perforación con una máquina perforadora 3 D75KS SANDVIK, un total de 225 horas brutas que significan 465,677 toneladas métricas de desmonte y mineral por mes, en el caso del trabajo efectivo por mes de la pala 4 CAT6040, se considera una proyección de 15,208 toneladas métricas; teniendo en consideración los costos aproximados de movimiento de tierra masivo (costo de desmonte por tonelada es de \$2 y costo de mineral por tonelada es de \$5). Por lo mencionado, en el caso que fallen las protecciones de los mencionados equipos, las metas proyectadas por la minera no se cumplirán, significando una disminución en los ingresos (lucro cesante) económicos de Cosapi Minería.

También señalar que una inadecuada protección puede causar perjuicio a la persona (significando indemnizaciones), perjuicio al equipamiento por posibles fallas y hasta siniestro; respecto al proceso, puede causar paradas innecesarias del equipamiento destinado a las operaciones, las que se encuentren conectados al sistema eléctrico. La adecuada coordinación de protecciones permitirá eliminar los mencionados perjuicios.

2.5. Resultados esperados

A raíz de los objetivos planteados, el área de Mantenimiento Eléctrico señaló los siguientes resultados esperados respecto al análisis de flujo de potencia y corrientes de cortocircuito:

- Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales en todos los niveles de tensión son de hasta el ± 5.0 %.
- El nivel de carga de los transformadores es hasta el 100 % de su capacidad nominal.

- Los niveles de congestión de las líneas de eléctricas son hasta el 100 % de su capacidad nominal.
- Los cálculos de corrientes de cortocircuito se realizan basados en la norma IEC 60909 titulada como “Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos AC”.

Asimismo, los resultados esperados respecto a los criterios a tener en el análisis de la coordinación de protecciones son:

- 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 20 % a 50 % 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.
- 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 (100 ohmios); también se puede considerar el 20 % de la corriente nominal.
- La corriente de arranque de la protección homopolar se puede considerar el 20 % de la corriente nominal.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas de las actividades realizadas

3.1.1. Antecedentes del trabajo de suficiencia

El presente trabajo de suficiencia profesional se refuerza en investigaciones elaboradas con anterioridad por otros autores, a continuación, se describe las conclusiones más importantes:

Sanmiguel (3) plantea que un sistema eléctrico de potencia industrial ideal, debe ser un sistema selectivo. Para cumplir con el requisito de ser selectivo, los dispositivos de protección deben ser dimensionados y coordinados con otros, de tal manera que, opera primero solo el dispositivo de protección que se encuentre más cercano a la falla; si por alguna razón no funciona, entonces debe operar el siguiente, viendo el arreglo de la fuente hacia la falla y así sucesivamente.

Para lograr una operación selectiva, se debe tener cuidado en seleccionar los dispositivos de protección con las características de interrupción apropiadas y el conocimiento de sus curvas tiempo – corriente (3) (p. 243).

Medina (4) concluye que “para el coordinamiento de las protecciones de sobrecorriente se está considerando la mínima y máxima

corriente en máxima demanda de fallas obtenidas con la operación de todo el SEIN y simulando distintos escenarios de configuración eléctrica” (p. 83).

Cuevas y Hernández (5) señalan que mantener un servicio de energía eléctrica es la principal tarea de las compañías suministradoras, predecir con precisión las fallas que pudieran afectar la distribución de energía sería algo imposible, sin embargo, el papel que desempeñan las protecciones eléctricas es resguardar el sistema y operar en casos de un disturbio.

Conocer las características de los elementos que forman parte de un sistema eléctrico de distribución es muy importante para hacer un estudio de coordinación de protecciones, es decir, tiene que conocerse lo que se va a proteger, de otra forma, se estaría trabajando empíricamente y, en consecuencia, el estudio de coordinación no sería confiable (p. 120).

3.1.2. Análisis de flujo de potencia

Los estudios de flujos de potencia son de gran importancia en la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia, así como también en la determinación de las mejores condiciones de la operación de los sistemas existentes (6) (p. 309).

Gómez (7) señala que el problema conocido como flujo de cargas consiste en obtener las condiciones de operación en régimen permanente de un sistema de energía eléctrica. Más concretamente, dados los consumos de cada nudo, y la potencia generada por los alternadores, se trata de encontrar las tensiones de los nudos y los flujos de potencia por las líneas y transformadores (p. 139).

El flujo de potencia del sistema eléctrico de Cosapi Minería se realizó en el programa computacional Power Factory DIgSILENT Versión. 15.1.7.

3.1.3. Análisis de corto circuito

La corriente que fluye a través de un elemento del sistema de potencia es un parámetro que puede ser usado para detectar fallas, dado que se produce un incremento importante del flujo de corriente cuando ocurre un corto circuito.

Los tipos de falla que pueden ocurrir en un sistema eléctrico (8) (p. 515):

- Trifásica a tierra - 3ϕ
- Fase a tierra o una línea a tierra – SLG

La ocurrencia de los diferentes tipos de falla depende de varios factores como la configuración del circuito, la altura de los cables de tierra, métodos de aterramiento en el sistema, niveles de aislamiento relativo para tierra y entre fases, velocidad de despeje de falla y las condiciones atmosféricas de la zona.

3.1.4. Protecciones eléctricas en sistemas eléctricos

Los sistemas de distribución de líneas aéreas están sujetos a dos tipos de fallas eléctricas: transitorias (temporales) y permanentes. Usualmente, las fallas temporales ocurren cuando un conductor de una fase entra en contacto eléctrico con otra fase del sistema o con tierra momentáneamente por causa de vientos fuertes, entre otros.

Coordinar la protección significa definir los tiempos de operación de la protección para permitir la actuación debidamente priorizada de los relés de protección, minimizando los tiempos de actuación y garantizando una apropiada graduación en los tiempos de actuación de todas las protecciones, tanto las principales como las de respaldo (8).

Los objetivos de los sistemas de protección en distribución son:

- Minimizar la duración de una falla.
- Minimizar el número de usuarios que es afectado por la falla.
- Eliminar de una forma segura los peligros tan pronto sea posible.

- Limitar las salidas de servicio, a segmentos pequeños del sistema.

Según Roccia (9) los relés de protección son dispositivos, más o menos complejos, que deciden una acción, generalmente la apertura de un interruptor automático, si aparece un defecto en la red, en la alimentación o en la máquina controlada. Estos dispositivos se denominan «relés», porque son unos intermediarios entre una magnitud física controlada y un disparador. En AT son del tipo indirecto, por cuanto toman la información a través de captadores (TC, TT, toroides).

3.1.5. Relé de sobrecorriente entre fases y tierra (50 / 51, 50N / 51N)

Un relé es un sistema electromecánico o electrónico (microprocesador - controlador) que censa una falla o condición anormal (sobrecorriente, sobrevoltaje, sobrefrecuencia, entre otros) en el sistema de distribución; un excesivo valor genera una señal de disparo para la apertura del interruptor de potencia (10).

Los relés de sobrecorriente entre fases y tierra se encuentran ubicados en las salidas de las subestaciones y sirven de respaldo de las protecciones ubicadas aguas abajo de la red, es decir, reconectores 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 20 % a 50 % 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 lo 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 (100 ohmios).



Figura 5. Relé de protección de transformador. Tomada de GE <https://n9.cl/cvft0>

3.1.6. Descripción del software Power Factory DlgSILENT

El programa Power Factory DlgSILENT es una herramienta de ingeniería asistida por computadora. Ha sido diseñado como un paquete de software avanzado e interactivo dedicado al análisis y control de los sistemas de potencia para la optimización del planeamiento y operación de los sistemas eléctricos.

Los módulos fueron diseñados y desarrollados por programadores e ingenieros calificados con muchos años de experiencia en los campos del análisis de los sistemas eléctricos de potencia y la programación de software. La exactitud y validez de los resultados obtenidos con este programa computacional han sido confirmadas a lo largo de numerosas implementaciones, realizadas por instituciones involucradas en el planeamiento y operación de los sistemas de potencia.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1. Descripción de actividades

Dentro del área de Mantenimiento Eléctrico de Cosapi Minería se plantearon las siguientes actividades:

- Levantamiento de información y verificación de datos de las máquinas y equipos que se encuentran en el sistema eléctrico Cosapi Minería.
- Evaluación del incremento de potencia en el área de Mina 16 (pala 4 CAT 6040 de 1.4 MW y la perforadora 3 D75KS SANDVIK de 0.79 MW).
- Análisis de flujo de potencias en el sistema eléctrico en estado estacionario para identificar que los parámetros eléctricos sean los adecuados.
- Análisis de las corrientes de cortocircuito en los diferentes tipos de falla (trifásica y monofásica) para obtener las máximas y mínimas corrientes de cortocircuito.
- Realizar la coordinación de protecciones, garantizando la selectividad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico de Cosapi Minería.

4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales

El proyecto describe los procesos para realizar la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi Minería ante el incremento de la potencia en el área de Mina 16.

4.1.1.1. Generalidades

Para el modelado de las instalaciones de la zona en análisis, se utilizó el archivo DlgSILENT para estudios de operatividad publicado en la página web del COES (11) y actualizado con las demandas del sistema eléctrico de Cosapi Minería ubicado en Shougang Hierro Perú.

Para determinar los ajustes de los equipos de protección se utilizaron los siguientes documentos:

- Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN - julio 2018 – COES SINAC publicado en la página web del COES (12)
- Diagrama Unifilar COSAPI_2021 para estudio de coordinación- A3 DU
- Informe ECP Cosapi 2017_Rev1
- Diagrama Unifilar mina con ZN 962100-100-C-F-DWG-0001_Rev9, mayo 2019
- Ubicación Relés subestación Shougang
- Demanda S. E. Shougang 60/ 34.5 kV
- Ficha técnica del conductor A1. 3. CUC Duro
- Parámetros eléctricos línea 34.5 kV
- Código Nacional de Electricidad – Suministro 2006
- Código Nacional de Electricidad – Utilización 2011
- Norma IEC 60909, Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos AC
- Cuaderno N.º 113, Protección de las máquinas y de redes industriales de AT – Schneider Electric
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

4.1.1.2. Escenarios de análisis

Para realizar la evaluación del sistema eléctrico se consideró la temporada de estiaje, que está comprendido entre los meses de junio a noviembre según lo estipulado por el COES, asimismo se consideraron los siguientes escenarios:

a) Sin proyecto

- Estiaje de máxima demanda, donde se considera la máxima potencia coincidente del sistema, el cual fue el 17 de noviembre de 2021, con una potencia de 24.406 MW.
- Estiaje de media demanda, se considera la potencia coincidente del 17 de noviembre de 2021 en el horario de las 12:00 p. m. (13), que está considerado por el COES, con una potencia de 22.546 MW.
- Estiaje de mínima demanda, se considera la mínima potencia coincidente del 17 de noviembre de 2021, con una potencia de 20.706 MW.

b) Con proyecto

- Estiaje de máxima demanda, donde se considera la máxima potencia coincidente del sistema, el cual fue el 17 de noviembre de 2021, con una potencia de 25.939 MW.
- Estiaje de media demanda, se considera la potencia coincidente del 17 de noviembre de 2021 en el horario de las 12:00 p. m., lo cual está considerado por el COES, con una potencia de 24.079 MW.
- Estiaje de mínima demanda, se considera la mínima potencia coincidente del 17 de noviembre de 2021, con una potencia de 22.239 MW.
- Los escenarios considerados son para realizar el análisis de flujo de carga y cortocircuito.

Los escenarios considerados son para realizar el análisis de flujo de carga y cortocircuito.

4.1.1.3. Descripción del equipamiento del sistema eléctrico Cosapi

En la tabla 1 Parámetros del Transformador de Potencia se muestran los parámetros eléctricos del transformador de potencia para la subestación principal 34.5 kV.

Tabla 1. Parámetros del transformador de Potencia

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia	8	MVA
Tensión	34.5/7.2	kV
Grupo de conexión	Dyn5	-
Regulación	34.5±3/5x2.5%/7.2	kV
Frecuencia	60	Hz
Impedancia de secuencia (+)	6.12	%
Altura de operación	1000	m s. n. m.

Nota: tomada de Cosapi Minería

4.1.1.4. Demanda en situación actual y proyectado

En la tabla 2, demanda de estiaje 2021, situación actual y tabla 3, demanda de estiaje 2021, situación proyectada se detallan las demandas del sistema eléctrico Cosapi.

Tabla 2. Demanda de estiaje 2021, situación actual

Cargas Shougang	Máxima demanda		Media demanda		Mínima demanda	
	P[MW]	Q[Mvar]	P[MW]	Q[Mvar]	P[MW]	Q[Mvar]
Load conveyor	1.530	0.740	1.390	0.670	1.250	0.600
Mina 5	5.310	2.570	4.830	2.340	4.350	2.110
Planta 1	1.280	0.620	1.160	0.560	1.040	0.500
Mina 3	1.100	0.530	1.000	0.480	0.900	0.430
Mina 10	0.130	0.070	0.120	0.060	0.110	0.050
Tramo 1	2.200	1.240	2.000	1.130	1.800	1.020
Tramo 2	8.420	4.770	7.650	4.340	6.890	3.910
Tramo 3	0.390	0.220	0.350	0.200	0.320	0.180
Pala 1	0.980	0.721	0.980	0.738	0.980	0.735
Pala 2	0.980	0.718	0.980	0.734	0.980	0.731
Pala 3	0.980	0.716	0.980	0.732	0.980	0.729
Pala 4	-	-	-	-	-	-
Perf. 2	0.553	0.352	0.553	0.362	0.553	0.360
Perf. 3	-	-	-	-	-	-
Perf. 4	0.553	0.355	0.553	0.365	0.553	0.363

Tabla 3. Demanda Estiaje 2021, Situación Proyectado

Cargas Shougang	Máxima demanda		Media demanda		Mínima demanda	
	P[MW]	Q[Mvar]	P[MW]	Q[Mvar]	P[MW]	Q[Mvar]
Load conveyor	1.530	0.740	1.390	0.670	1.250	0.600
Mina 5	5.310	2.570	4.830	2.340	4.350	2.110
Planta 1	1.280	0.620	1.160	0.560	1.040	0.500
Mina 3	1.100	0.530	1.000	0.480	0.900	0.430
Mina 10	0.130	0.070	0.120	0.060	0.110	0.050
Tramo 1	2.200	1.240	2.000	1.130	1.800	1.020
Tramo 2	8.420	4.770	7.650	4.340	6.890	3.910
Tramo 3	0.390	0.220	0.350	0.200	0.320	0.180
Pala 1	0.980	0.721	0.980	0.738	0.980	0.735
Pala 2	0.980	0.718	0.980	0.734	0.980	0.731
Pala 3	0.980	0.716	0.980	0.732	0.980	0.729
Pala 4	0.980	0.720	0.980	0.710	0.980	0.707
Perf. 2	0.553	0.352	0.553	0.362	0.553	0.360
Perf. 3	0.553	0.353	0.553	0.347	0.553	0.345
Perf. 4	0.553	0.355	0.553	0.365	0.553	0.363

4.1.1. Alcance de las actividades profesionales

El alcance de las actividades está ligado como participante del estudio e implementación de la actualización de la coordinación de protecciones, producto del incremento de potencia en el área de Mina 16 en el sistema eléctrico Cosapi. Asimismo, los alcances buscan el cumplimiento del cargo y responsabilidades como bachiller, que se describieron en detalle en el ítem 1.8 del presente trabajo de suficiencia profesional.

4.1.2. Entregables de las actividades profesionales

Como resultado de las actividades profesionales se entrega la siguiente información técnica:

- Nivel de tensión en barras sin potencias proyectadas y con potencias proyectadas.
- Nivel de cargabilidad en las líneas eléctricas sin potencias proyectadas y con potencias proyectadas.
- Nivel de cargabilidad en los transformadores sin potencias proyectadas y con potencias proyectadas.

- Resultados de corrientes de cortocircuito monofásico sin potencias proyectadas y con potencias proyectadas.
- Resultados de corrientes de cortocircuito trifásicos sin potencias proyectadas y con potencias proyectadas.
- Análisis de coordinación de protecciones para la obtención de las planillas de ajustes de sobrecorriente de fases y tierra.
- Análisis de los esquemas de protección de sobrecorriente de fases y tierra para el transformador de 8 MVA y las líneas en 7.2 kV que llegan a la subestación principal TR1 – 8 MVA.

4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional

4.2.1. Metodologías

El método del presente trabajo de suficiencia profesional es de tipo explicativo y analítico; debido a que el proceso se basa en el conocimiento de los sistemas eléctricos de potencia y en la coordinación de protecciones.

Las simulaciones se realizaron teniendo en consideración la información técnica recopilada utilizando el software DIgSILENT Power Factory versión 15.1.7. Estos análisis de flujo de potencia permiten observar el comportamiento del sistema en estado estacionario, determinándose los niveles de tensiones en las barras, la distribución de los flujos de potencia en las líneas y transformadores de potencia.

Según el COES Sinac (14) para evaluar los resultados de las simulaciones se han considerado los criterios de calidad y confiabilidad recomendada por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – NTCSE y “Alcances para el desarrollo de estudios de preoperatividad” del procedimiento técnico PR-20, los cuales son:

4.2.1.1. Niveles de tensiones admisibles en barra

- Operación normal : ± 5 % tensión nominal
- Operación ante contingencias : ± 10 % tensión nominal

4.2.1.2. Cargas en líneas y transformadores

- Líneas de transmisión: 100 % de su capacidad nominal.
- Transformadores de potencia: 100 % de su potencia nominal.

4.2.2. Técnicas

Bajo la premisa que las técnicas son el conjunto de instrumentos y medios a través de los cuales se efectúa el método. Las técnicas utilizadas para la sistematización para el análisis de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, considerando un incremento de potencia en el área de Mina 16, son las siguientes:

- Revisión y análisis de data existente
- Observación del sistema eléctrico bajo estudio
- Coordinación con las áreas involucradas en el proyecto
- Revisión y análisis de los resultados de flujo de potencia y cortocircuito
- Políticas de seguridad de trabajo seguro

4.2.3. Instrumentos

Para lograr el análisis de la coordinación de protecciones en el área de Mantenimiento Eléctrico, se utilizaron los siguientes instrumentos:

Instrumentos administrativos: autorización de ingreso a la subestación, póliza de seguro, cronograma de trabajos, autorización interna de trabajo.

Instrumentos de seguridad: registro de inducciones, identificación de peligro y evaluación de riesgos y controles IPERC, estándares de seguridad.

Instrumentos de trabajos: procedimiento de trabajo, manuales de relés, planos funcionales, demanda de SE Shougang, ficha técnica de conductor A1.3. CUC duro, software de IED de protección. Los formatos respectivos se adjuntan en el anexo 5.

4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

Los equipos que se utilizan en la ejecución de las actividades profesionales son:

- Laptop
- Impresora
- Escáner
- Cámara fotográfica
- Pinza amperimétrica
- Multímetro digital
- Analizador de redes

4.3. Ejecución de actividades profesionales

4.3.1. Cronograma de actividades realizadas

El cronograma de la ejecución del estudio del sistema eléctrico Cosapi se muestra en la figura 6.

4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

En el presente numeral se muestra el diagrama de flujo del proceso y secuencia operativa (figura 7) del análisis de coordinación de protecciones para la ampliación del área de Mina 16.



Análisis de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, por incremento de la potencia en el área mina 16, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico – Cosapi Minería

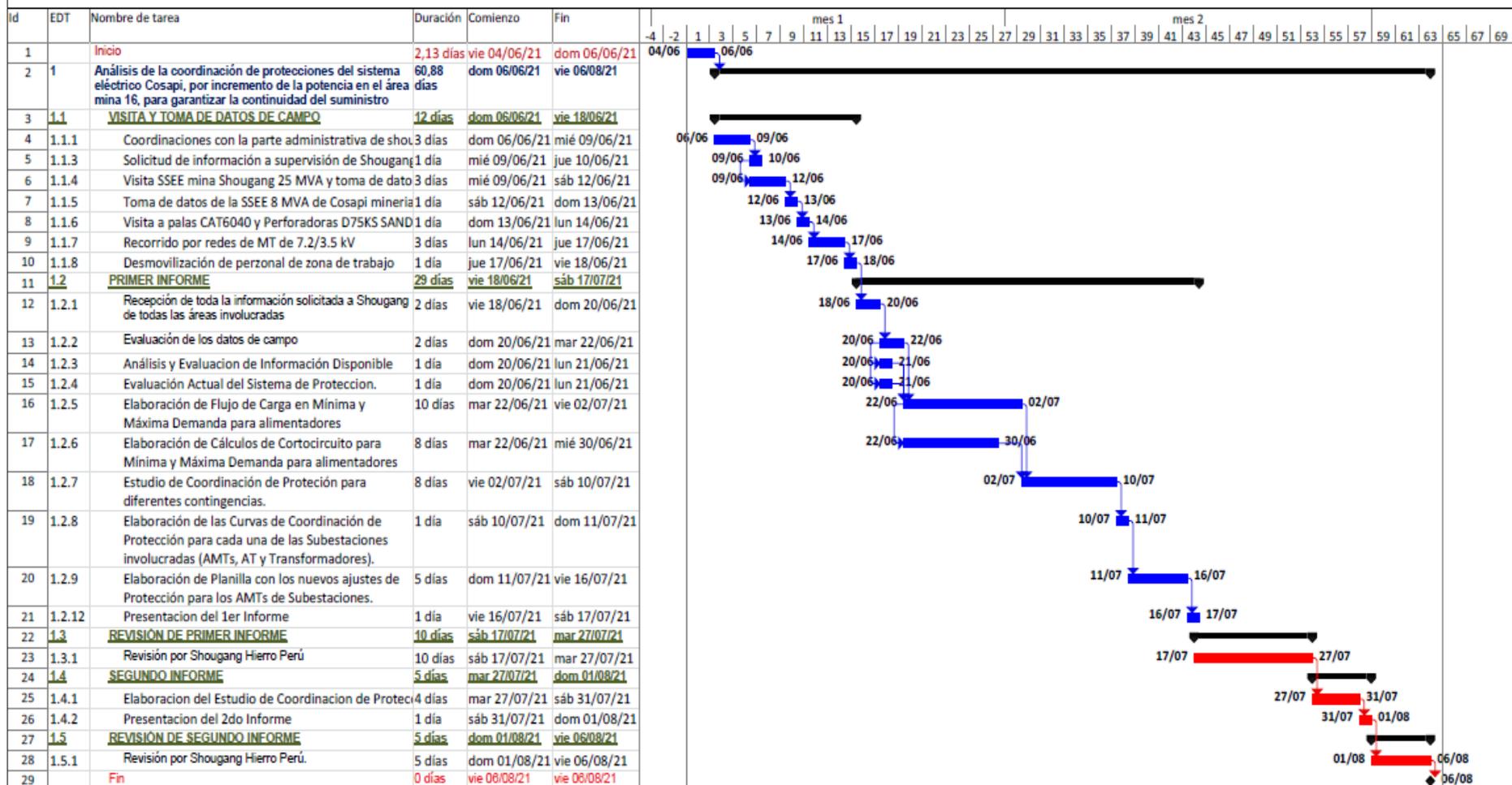


Figura 6. Cronograma de la implementación del proyecto

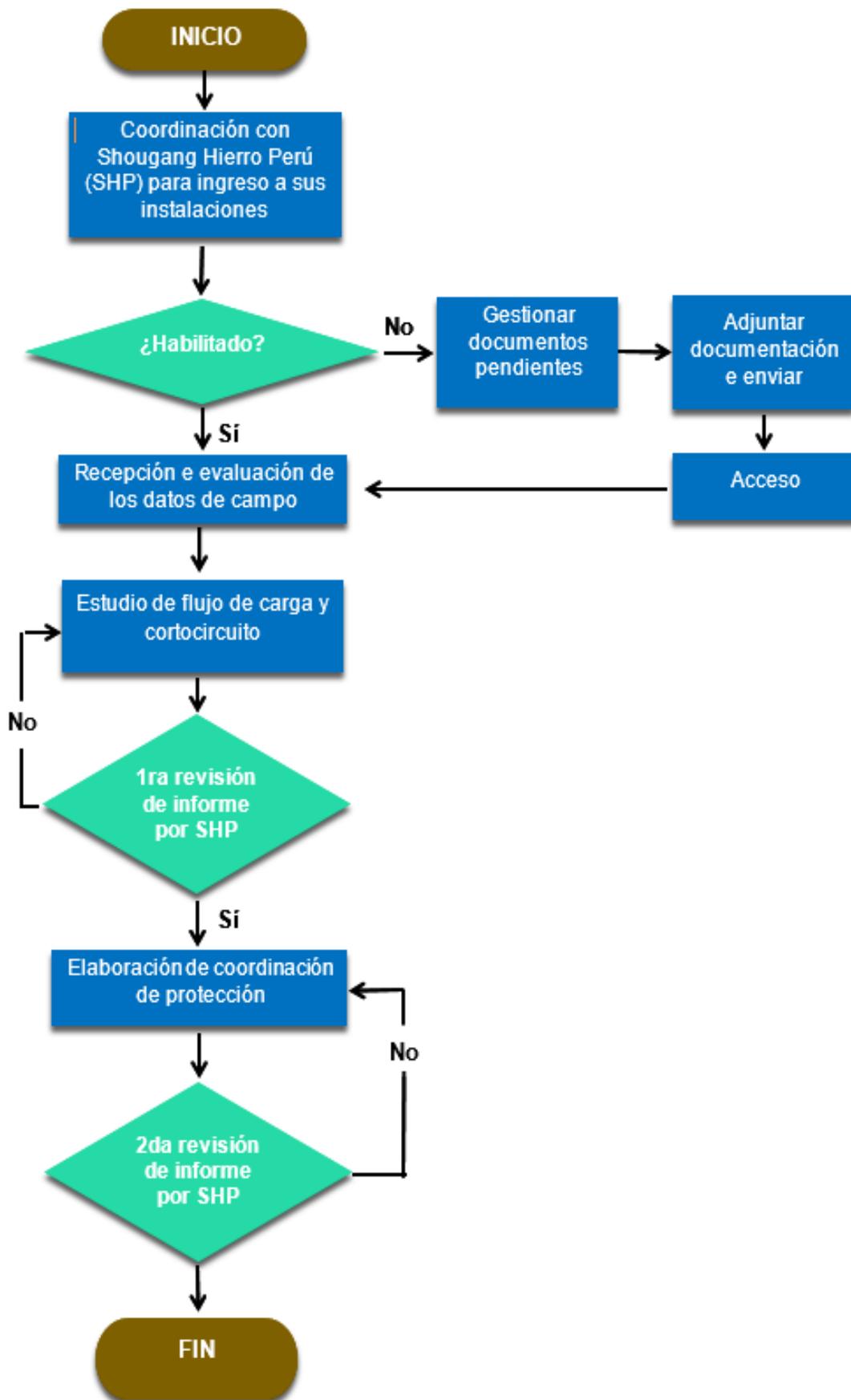


Figura 7. Diagrama del flujo del proceso y secuencia operativa

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Resultados finales de las actividades realizadas

5.1.1. Resultados de flujo de potencia

Para el presente análisis se deberá considerar lo siguiente:

- La tensión en barras no debe ser inferior al 95 % ni superior al 105 % de la tensión nominal.
- La sobrecarga de transformadores no debe superar el 100 % de su capacidad nominal.
- La sobrecarga de líneas no debe superar el 100 % de su capacidad nominal.

Los esquemas de las simulaciones de flujo de potencia se encuentran en el anexo 2 de la presente investigación.

5.1.2. Nivel de tensión en barras

En la tabla 4 se muestra un resumen de los resultados del nivel de tensión en las principales barras asociadas a la red en estudio, sin considerar las potencias proyectadas.

Tabla 4. Demanda de estiaje 2021, situación sin proyecto

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
		Tensión [p. u.]	Tensión [p. u.]	Tensión [p. u.]
Barra I - 34.5 kV	34.5	1.02	1.02	1.01
Barra II - 34.5 kV	34.5	1.03	1.02	1.02
Nodo 1	34.5	1.01	1.00	1.00
Nodo 2	34.5	1.00	1.00	0.99
Nodo 3	34.5	1.00	0.99	0.99
Barra 34.5 kV - stand by	34.5	0.99	0.99	0.98
Barra 34.5 kV - principal	34.5	0.99	0.99	0.98
Barra 7.2 kV - principal	7.2	1.02	1.04	1.04
Pala 04_perf 3 - 7.2 Kv	7.2	-	-	-
Pala perf. 2 - 7.2 kV	7.2	1.00	1.02	1.02
Perf. 4 - 7.2 kV	7.2	1.01	1.03	1.032
Pala 3 - 7.2 kV	7.2	1.00	1.02	1.02
Pala 1 - 7.2 kV	7.2	1.00	1.03	1.02

Tabla 5. Demanda de estiaje 2021, situación con proyecto

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
		Tensión [p. u.]	Tensión [p. u.]	Tensión [p. u.]
Barra I - 34.5 kV	34.5	0.99	1.00	1.00
Barra II - 34.5 kV	34.5	1.01	1.02	1.01
Nodo 1	34.5	0.97	0.99	0.98
Nodo 2	34.5	0.97	0.98	0.98
Nodo 3	34.5	0.96	0.98	0.97
Barra 34.5 kV - stand by	34.5	0.95	0.97	0.96
Barra 34.5 kV - principal	34.5	0.95	0.97	0.96
Barra 7.2 kV - stand by	7.2	1.00	1.02	1.01
Pala 4_perf. 3 - 7.2 kV	7.2	1.00	0.99	0.98
Pala perf. 2 - 7.2 kV	7.2	1.00	0.99	0.98
Perf. 4 - 7.2 kV	7.2	1.01	1.00	0.99
Pala 03 - 7.2 kV	7.2	1.00	0.99	0.98
Pala 01 - 7.2 kV	7.2	1.01	1.00	0.99

En la tabla 5 se muestra un resumen de los resultados del nivel de tensión en las principales barras asociadas a la red en estudio, considerando las potencias proyectadas.

De los resultados, se concluye que los valores de tensión en las barras analizadas se encuentran dentro de los niveles de operación

permisibles ($\pm 5\%$ Vn Valor Nominal), sin embargo, esta condición es resultado del cambiador automático de TAPS.

5.1.3. Niveles de carga en líneas eléctricas

En la tabla 6 se muestra un resumen de los resultados de flujo de potencia en líneas de eléctricas, sin considerar las potencias proyectadas.

Tabla 6. Nivel de congestión en líneas de eléctricas, año 2021, sin potencias proyectadas

Línea de eléctricas	Vnominal [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
		Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]
L-1	34.5	93.34	88.57	83.61
L-2	34.5	54.30	53.07	51.55
L-3	34.5	44.98	44.58	43.89
L-4	34.5	36.96	37.28	37.29
L-8	34.5	35.76	36.17	36.27
L-12	7.2	27.41	26.97	27.04

Se observa que las líneas eléctricas no superan el límite permisible según norma.

En la tabla 7 se muestra un resumen de los resultados de flujo de potencia en líneas de eléctricas, considerando las potencias proyectadas.

Tabla 7. Nivel de congestión en líneas de eléctricas, año 2021, con potencias proyectadas

Línea de eléctricas	Vnominal [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
		Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]
L-1	34.5	110.64	103.84	98.88
L-2	34.5	70.61	67.87	66.39
L-3	34.5	61.02	59.25	58.60
L-4	34.5	52.74	51.81	51.89
L-8	34.5	51.53	50.70	50.86
L-12	7.2	43.84	44.35	44.49

Se observa que el tramo 1 de la línea de eléctricas en 34.5 kV, presenta una sobrecarga de 110.64 % y 103.84 % en los periodos de estiaje de máxima y media demanda. Estas sobrecargas se atribuyen al incremento de la potencia en la Mina 16.

5.1.4. Nivel de carga en transformadores

En la tabla 8 se muestra un resumen de los resultados de la cargabilidad de los transformadores, sin considerar las potencias proyectadas.

Tabla 8. Nivel de cargabilidad en transformadores, año 2021, sin potencias proyectadas

Transformador	Potencia [MVA]	Tensión [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
			Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]
TR 1 - 25 MVA	25	60/34.5	66.12	61.75	57.31
TR 2 - 25 MVA	25	60/34.5	52.53	47.36	42.30
TR – 8 MVA	8	34.5/7.2	67.07	67.82	68.00

En la tabla 9 se muestra un resumen de los resultados de la cargabilidad de los transformadores, considerando las potencias proyectadas.

Tabla 9. Nivel de cargabilidad en transformadores, año 2021, con potencias proyectadas

Transformador	Potencia [MVA]	Tensión [kV]	Estiaje máxima demanda	Estiaje media demanda	Estiaje mínima demanda
			Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]	Cargabilidad [%]
TR 1 - 25 MVA	25	60/34.5	76.28	71.34	66.77
TR 2 - 25 MVA	25	60/34.5	52.85	47.62	42.54
TR - 8 MVA	8	34.5/7.2	96.61	95.05	95.35

Tal como se muestra en las tablas 8 y 9, los niveles de sobrecarga de los transformadores en situación actual se encuentran por debajo de su valor nominal. Sin embargo, se puede apreciar un incremento de hasta un 30 % de cargabilidad en el transformador TR – 8 MVA y de un 10 % en el transformador TR1 – 25 MVA.

5.1.5. Resultados de cortocircuito

Los cálculos de corrientes de cortocircuito se realizan basados en la norma IEC 60909 titulada como “Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos AC”, en la cual se hace alusión, entre otras, al cálculo de corriente de cortocircuito máxima. Para el cálculo de esta corriente se considera que la tensión en el punto de falla en el momento

en que ocurre la falla es de 1.10 p. u. Este cálculo sirve de referencia para determinar la capacidad requerida de los equipos eléctricos.

En este método se desprecian las impedancias de carga y las corrientes prefalla, en los generadores y motores se asume igual a cero; asimismo, se omiten las admitancias *shunts* (efecto capacitivo de líneas y cables) de la red de secuencia positiva, pero estas admitancias *shunt* sí se consideran para la red de secuencia cero. Asimismo, solo se consideran las impedancias subtransitorias de los generadores y motores, no se utilizan las impedancias transitorias. Los esquemas de las simulaciones de corto circuito se encuentran en el anexo 3 del presente trabajo.

5.1.6. Corto circuito monofásico a tierra

Se realizaron simulaciones sin considerar el incremento de la potencia en el área de Mina 16, los cuales se muestran en la tabla 10.

En la tabla 11 se realizaron simulaciones considerando el incremento de la potencia en el área de Mina 16.

Tabla 10. Cortocircuito Monofásico a tierra-Sin Potencias Proyectadas

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje 2021		Estiaje 2021		Estiaje 2021	
		Máxima demanda		Media demanda		Mínima demanda	
		Ik" [kA]	Sk" [MVA]	Ik" [kA]	Sk" [MVA]	Ik" [kA]	Sk" [MVA]
Barra I - 34.5 kV	34.5	3.71	73.98	3.71	73.98	3.71	73.95
Barra II - 34.5 kV	34.5	3.49	69.51	3.49	69.51	3.49	69.48
Nodo 1	34.5	2.42	48.13	2.42	48.13	2.42	48.12
Nodo 2	34.5	2.07	41.20	2.07	41.20	2.07	41.19
Nodo 3	34.5	1.82	36.18	1.82	36.18	1.82	36.17
Barra 34.5 kV - principal	34.5	1.44	28.64	1.44	28.64	1.44	28.64
Barra 7.2 kV - principal	7.2	0.51	2.13	0.51	2.13	0.51	2.13
Pala 4_perf. 3 - 7.2 kV	7.2	-	-	-	-	-	-
Pala perf. 2 - 7.2 kV	7.2	0.49	2.05	0.49	2.05	0.49	2.05
Perf. 4 - 7.2 kV	7.2	0.50	2.08	0.50	2.08	0.50	2.08
Pala 3 - 7.2 kV	7.2	0.48	2.00	0.48	2.00	0.48	2.00
Pala 1 - 7.2 kV	7.2	0.50	2.08	0.50	2.08	0.50	2.08

Tabla 11. Cortocircuito Monofásico a tierra-Con Potencias Proyectadas

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje 2021 Máxima demanda		Estiaje 2021 Media demanda		Estiaje 2021 Mínima demanda	
		I _k " [kA]	S _k " [MVA]	I _k " [kA]	S _k " [MVA]	I _k " [kA]	S _k " [MVA]
		Barra I - 34.5 kV	34.5	3.79	75.43	3.79	75.43
Barra II – 34.5 kV	34.5	3.50	69.66	3.50	69.66	3.50	69.63
Nodo 1	34.5	2.46	49.07	2.46	49.07	2.46	49.05
Nodo 2	34.5	2.11	42.02	2.11	42.02	2.11	42.01
Nodo 3	34.5	1.85	36.93	1.85	36.93	1.85	36.92
Barra 34.5 kV – principal	34.5	1.47	29.28	1.47	29.28	1.47	29.27
Pala 4_perf 3 - 7.2 kV	7.2	0.49	2.04	0.49	2.04	0.49	2.04
Pala perf. 2 - 7.2 kV	7.2	0.49	2.05	0.49	2.05	0.49	2.05
Perf. 4 - 7.2 kV	7.2	0.50	2.08	0.50	2.08	0.50	2.08
Pala 3 - 7.2 kV	7.2	0.48	2.00	0.48	2.00	0.48	2.00
Pala 1 - 7.2 kV	7.2	0.50	2.08	0.50	2.08	0.50	2.08

5.1.7. Corto circuito trifásico

Se realizaron simulaciones sin considerar el incremento de la potencia en el área de Mina 16.

Tabla 12. Cortocircuito trifásico-sin potencias proyectadas

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje 2021 Máxima Demanda		Estiaje 2021 Media Demanda		Estiaje 2021 Mínima Demanda	
		I _k " [kA]	S _k " [MVA]	I _k " [kA]	S _k " [MVA]	I _k " [kA]	S _k " [MVA]
		Barra I - 34.5 kV	34.5	3.39	202.36	3.39	202.37
Barra II - 34.5 kV	34.5	3.11	185.60	3.11	185.61	3.10	185.50
Nodo 1	34.5	2.82	168.63	2.82	168.64	2.82	168.57
Nodo 2	34.5	2.62	156.44	2.62	156.44	2.62	156.38
Nodo 3	34.5	2.45	146.43	2.45	146.44	2.45	146.38
Barra 34.5 kV - principal	34.5	2.16	129.17	2.16	129.18	2.16	129.14
Barra 7.2 kV - principal	7.2	6.98	87.04	6.98	87.04	6.98	87.03
Pala 04_perf 03 - 7.2 kV	7.2	-	-	-	-	-	-
Pala perf 02 – 7.2 kV	7.2	5.15	64.27	5.15	64.27	5.15	64.27
Perf04 - 7.2 kV	7.2	5.18	64.55	5.18	64.55	5.18	64.54
Pala 03 - 7.2 kV	7.2	3.84	47.84	3.84	47.84	3.84	47.84
Pala 01 - 7.2 kV	7.2	5.05	62.94	5.05	62.94	5.05	62.93

Tabla 13. Cortocircuito trifásico-con potencias proyectadas

Barras	Vnominal [kV]	Estiaje 2021 Máxima Demanda		Estiaje 2021 Media Demanda		Estiaje 2021 Mínima Demanda	
		Ik"	Sk"	Ik"	Sk"	Ik"	Sk"
		[kA]	[MVA]	[kA]	[MVA]	[kA]	[MVA]
Barra I - 34.5 kV	34.5	3.48	207.78	3.48	207.80	3.48	207.68
Barra II - 34.5 kV	34.5	3.11	186.13	3.12	186.14	3.11	186.03
Nodo 1	34.5	2.92	174.45	2.92	174.45	2.92	174.38
Nodo 2	34.5	2.72	162.44	2.72	162.45	2.72	162.39
Nodo 3	34.5	2.55	152.63	2.55	152.63	2.55	152.58
Barra 34.5 kV - principal	34.5	2.27	135.81	2.27	135.81	2.27	135.78
Barra 7.2 kV - principal	7.2	7.76	96.79	7.76	96.79	7.76	96.77
Pala 04_perf 03 - 7.2 kV	7.2	5.24	65.36	5.24	65.36	5.24	65.36
Pala perf 02 – 7.2 kV	7.2	5.53	68.92	5.53	68.92	5.53	68.91
Perf04 - 7.2 kV	7.2	5.53	68.99	5.53	68.99	5.53	68.99
Pala 03 - 7.2 kV	7.2	4.03	50.23	4.03	50.23	4.03	50.23
Pala 01 - 7.2 kV	7.2	5.38	67.09	5.38	67.09	5.38	67.09

En la tabla 13 se realizaron simulaciones considerando el incremento de la potencia en el área de Mina 16.

El ingreso de las cargas en la Mina 16 (perforadora 3 D75KS SANDVIK y pala 4 CAT6040), significan un aporte de corriente de cortocircuito monofásico de 0.49 kA y aporte de corriente trifásico de 5.24 kA; lo cual se considera en la coordinación de protecciones, ya que significan valores considerables.

5.1.8. Resultados de coordinación de protecciones

Los equipos de protección que forman parte del análisis se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Equipos de protección existentes y proyectados

Equipo protegido	Ubicación	Relé de Protección	TC	Estado
Transformador de potencia 8 MVA 34.5/7.2kV	Lado 34.5kV	GE T60	34.5kV: 1200/5	Existente
Transformador de potencia 8 MVA 34.5/7.2kV	Lado 7.2kV	GE T60	7.2kV: 1200/5 7.2kV: 400/5	Existente
Transformador de potencia 8 MVA 34.5/7.2kV	Lado 7.2kV	GE F60	7.2kV: 1200/5	Existente
Transformador de potencia 8 MVA 34.5/7.2kV	Lado 7.2kV FEEDER NORTE	GE F60	7.2kV: 600/5 7.2kV: 50/5	Existente
Transformador de potencia 8 MVA 34.5/7.2kV	Lado 7.2 kV FEEDER SUR	GE F60	7.2kV: 600/5 7.2kV: 50/5	Existente
Pala 4	Lado 7.2 kV	Thytronic	7.2kV: 200/5	Proyectado
Perforadora 3	Lado 7.2 kV	Thytronic	7.2kV: 200/5	Proyectado

5.1.9. Protección de sobrecorriente de fases y tierra

En las tablas 15 y 16 se presentan los ajustes de sobrecorriente de fases y tierra de los relés de protección existentes en el sistema eléctrico

Tabla 15. Ajustes de sobrecorriente de fases – actuales

Equipo por proteger	Protección		Ajuste Umbral 1				Ajuste Umbral 2			
	Relé	TC	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 1	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 2
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 34,5 kV	GE T60	1200/5	0.46	552	0.41	IEEE VI	3.15	3780	0.14	DT
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE T60	1200/5	0.73	876	0.37	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE F60	1200/5	0.73	876	0.41	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Norte	GE F60	600/5	1	600	0.31	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Sur	GE F60	600/5	1	600	0.32	IEEE VI	-	-	-	-

Tabla 16. Ajustes de sobrecorriente a tierra – actuales

Equipo por proteger	Protección		Ajuste Umbral 1				Ajuste Umbral 2			
	Relé	TC	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 1	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 2
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 34,5 kV	GE T60	1200/5	0.18	216	0.6	IEEE EI	2.849	3418.8	0.01	DT
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE T60	400/5	0.13	50	0.8	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE F60	1200/5	0.042	50.4	0.63	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE F60	1200/5	0.067	80.4	0.35	IEEE MI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Norte	GE F60	600/5	1.2	720	0.4	IEEE EI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Norte	GE F60	50/5	0.8	40	0.46	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Sur	GE F60	600/5	1.2	720	0.4	IEEE EI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Sur	GE F60	50/5	0.8	40	0.46	DT	-	-	-	-

En la tabla 17 y 18 se presentan los ajustes de sobrecorriente de fases y tierra de los relés de protección existentes en el sistema eléctrico.

Tabla 17. Ajustes de sobrecorriente de fases – propuesto

Equipo por proteger	Protección		Ajuste Umbral 1				Ajuste Umbral 2			
	Relé	TC	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 1	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 2
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 34,5 kV	GE T60	1200/5	0.15	175.20	0.30	IEEE VI	1.05	1256.40	0.10	DT
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE T60	1200/5	0.70	834.00	0.30	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE F60	1200/5	0.70	834.00	0.30	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Norte	GE F60	600/5	1.00	600.00	0.23	IEEE VI	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Sur	GE F60	600/5	1.00	600.00	0.23	IEEE VI	-	-	-	-
Pala 04 7,2 kV	Thytronic NA011	200/5	2.00	400.00	1.00	ANSI/IEEE EI	4.50	900.00	0.03	DT
Perforadora 03 7.2 kV	Thytronic NA011	200/5	2.00	400.00	1.00	ANSI/IEEE EI	4.50	900.00	0.03	DT

Tabla 18. Ajustes de sobrecorriente a tierra – propuesto

Equipo por proteger	Protección		Ajuste Umbral 1				Ajuste Umbral 2			
	Relé	TC	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 1	Pickup p. u.	Amp. Prim	T>	Curva 2
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 34,5 kV	GE T60	1200/5	0.05	54.00	0.14	IEEE VI	0.15	180	0.03	DT
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE T60	400/5	0.05	20.00	0.35	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV	GE F60	1200/5	0.04	48.00	0.35	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Norte	GE F60	50/5	0.80	40.00	0.20	DT	-	-	-	-
TR1 8 MVA 34,5/7,2 kV Lado 7,2 kV Feeder Sur	GE F60	50/5	0.80	40.00	0.20	DT	-	-	-	-
Pala 04	Thytronic	200/5	0.03	5.00	0.05	DT	0.25	50	0.03	DT

7,2 kV	NA011										
Perforadora 03	Thytronic	200/5	0.03	5.00	0.05	DT	0.25	50	0.03	DT	
7.2 kV	NA011										

5.1.10. Esquemas de protección de sobrecorriente de fases y tierra – situación sin proyecto

En el presente numeral se realizó la verificación de la coordinación para las protecciones que se encuentran en el transformador de 8 MVA y las líneas en 7,2 kV que llegan a la subestación principal TR1-8MVA. Para la verificación de una adecuada coordinación de protecciones de sobrecorriente de fases, se realizaron cortocircuitos trifásicos francos en bornes del transformador lado 34,5 kV y cortocircuitos trifásicos en barra del lado 7,2 kV.

Para la verificación de una adecuada coordinación de protecciones de sobrecorriente de tierra, se realizaron cortocircuitos monofásicos a tierra con resistencia en barras de 7,2 kV de palas y perforadoras.

A continuación, se muestran las gráficas de sobrecorriente de fase y sobrecorriente de tierra de los ajustes actuales.

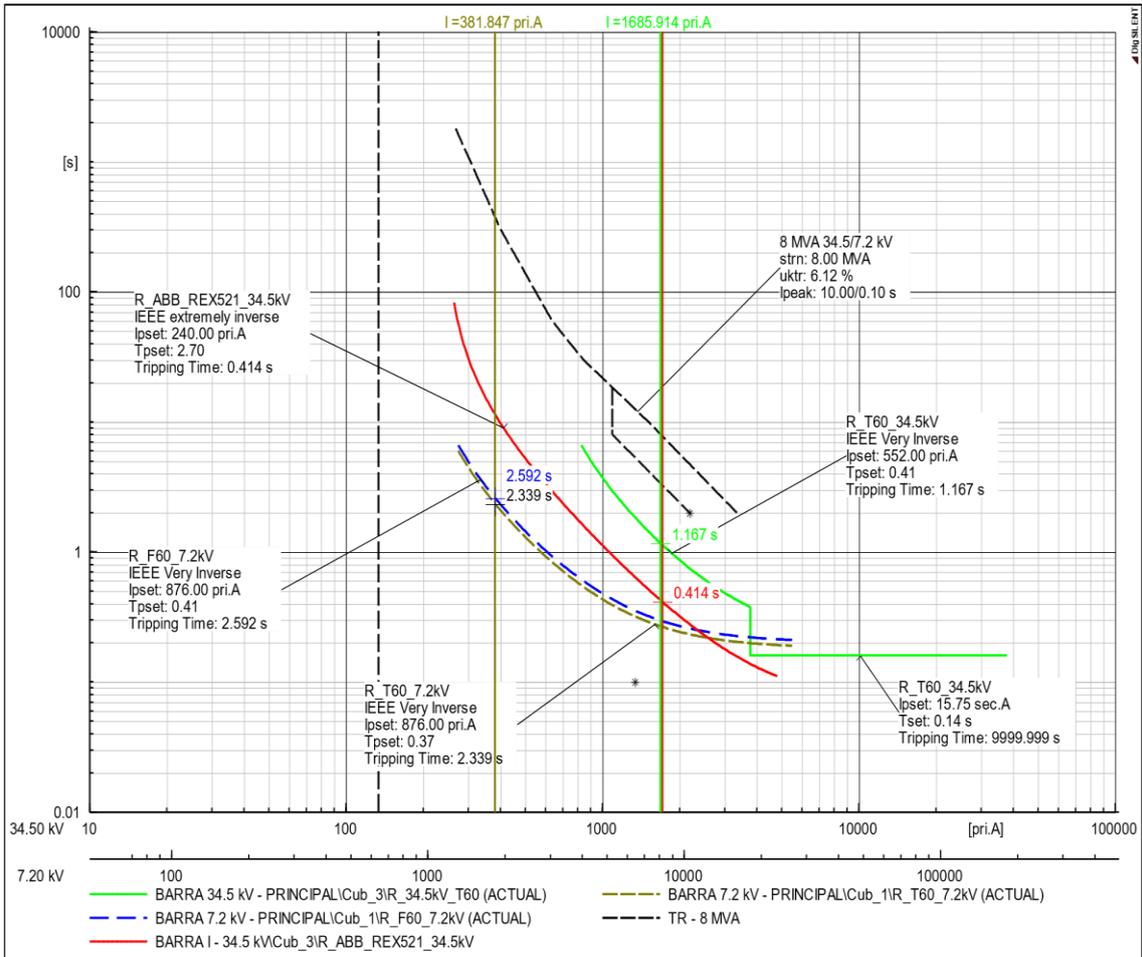


Figura 8. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal

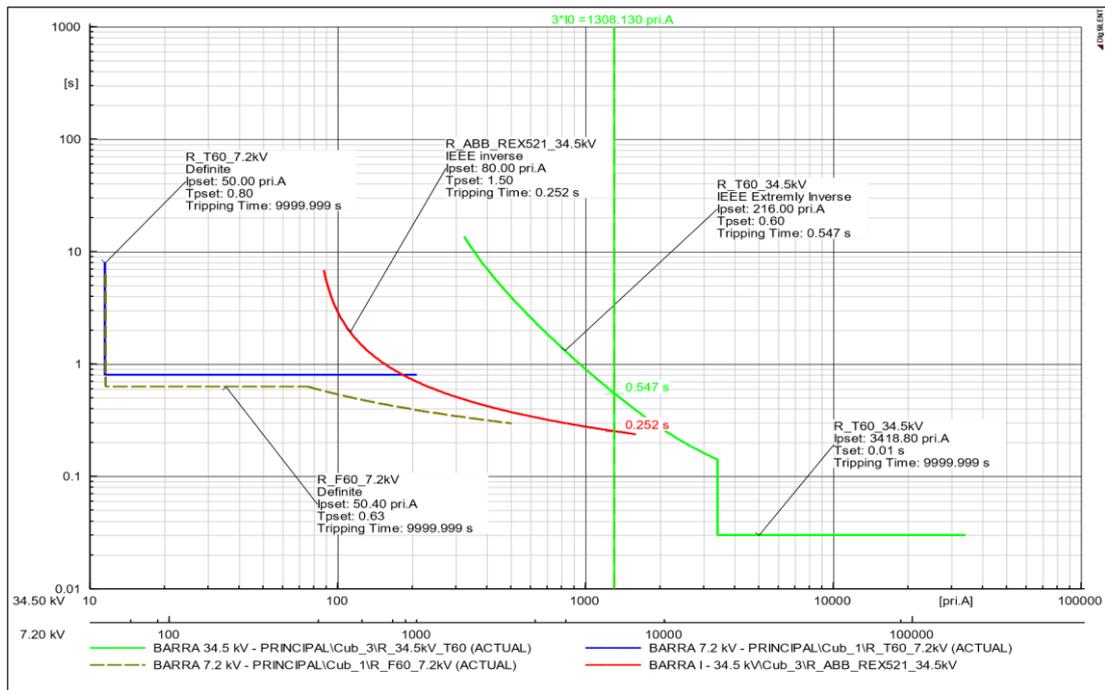


Figura 9. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal

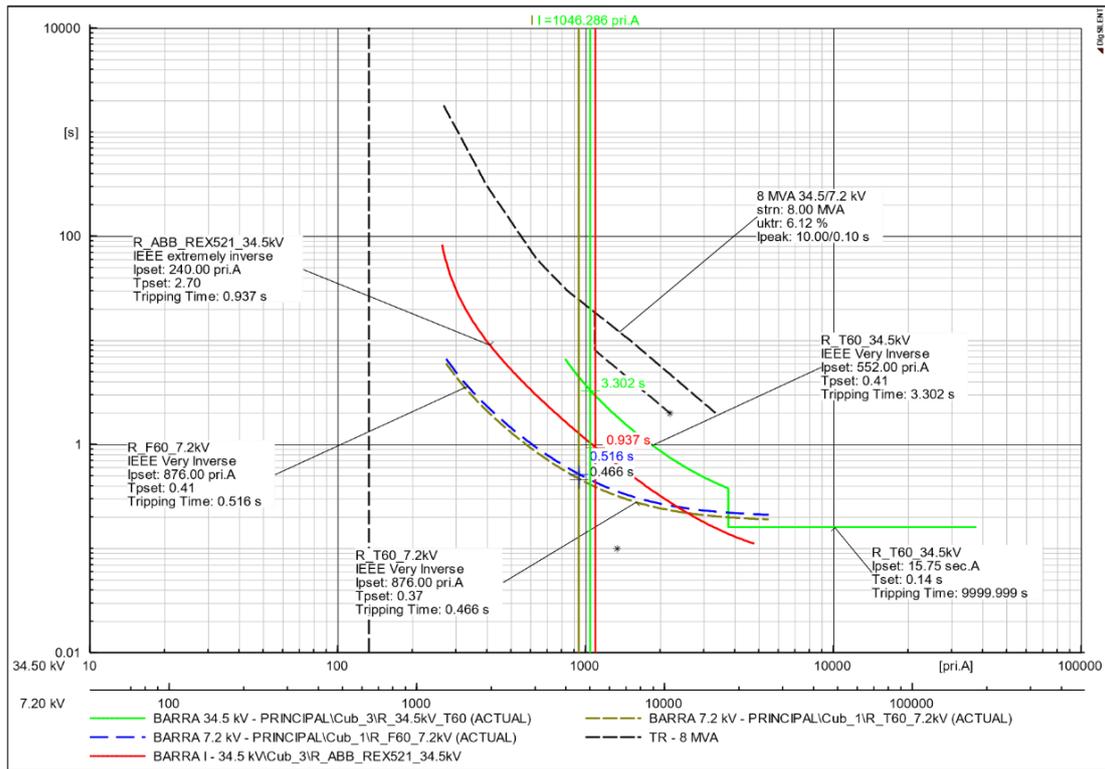


Figura 10. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en barra de 7.2 kV de la subestación principal

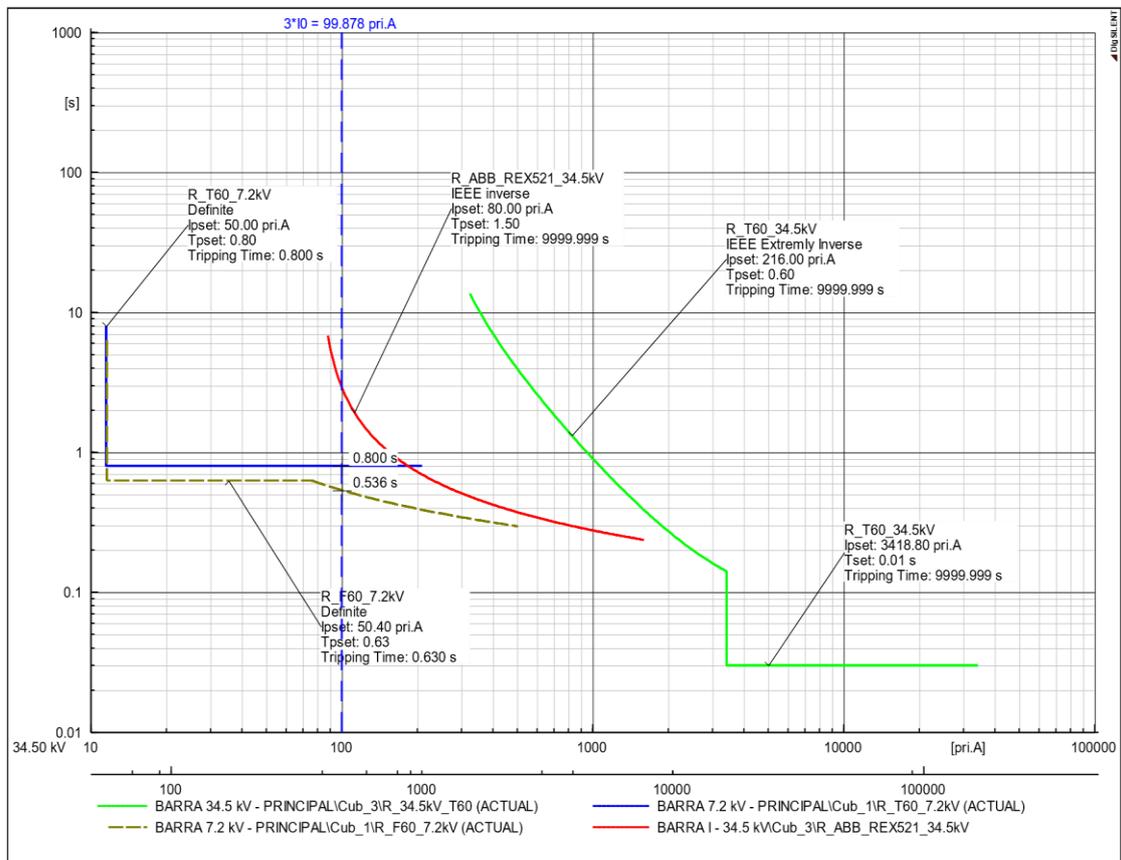


Figura 11. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal

5.1.11. Esquemas de protección de sobrecorriente de fases y tierra – situación con proyecto

Los ajustes de los relés del transformador de potencia de 8 MVA, sufrieron modificaciones debido al ingreso de la pala 4 y perforadora 3, asimismo, se realizó la verificación de los ajustes de los relés que alimentan el *Feeder Norte* y *Feeder Sur*, teniendo como resultado la modificación para garantizar la seguridad, continuidad de suministro y selectividad.

A continuación, se muestran los esquemas de la coordinación de protecciones propuestas en la investigación.

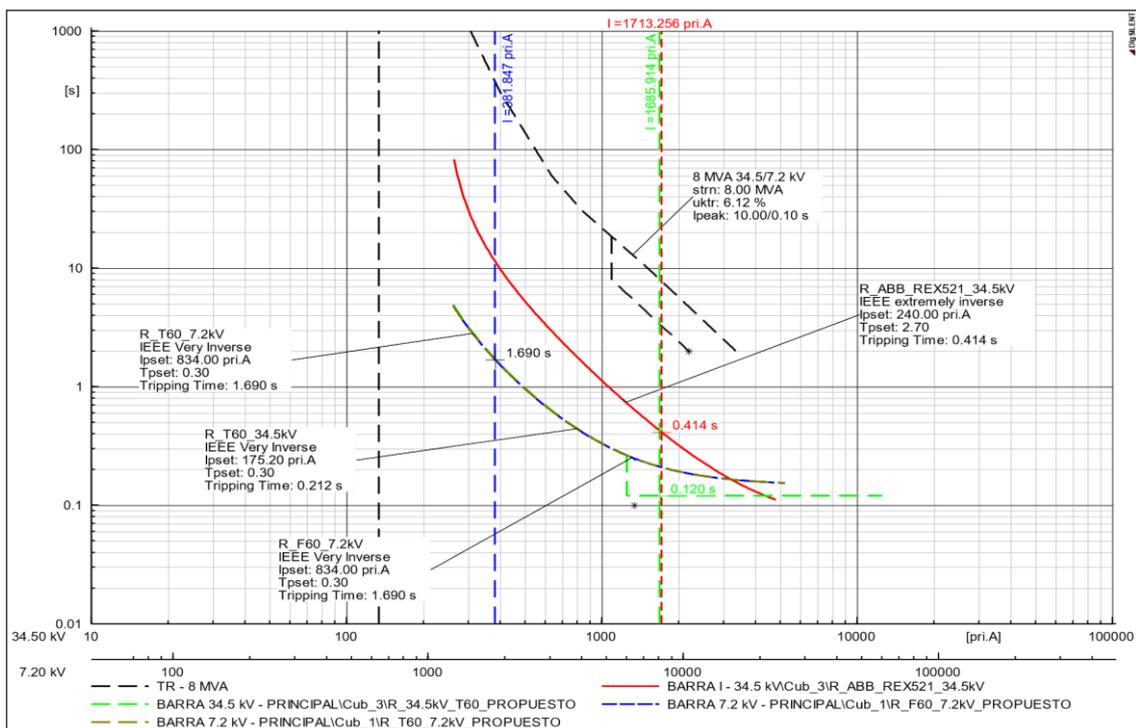


Figura 12. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal

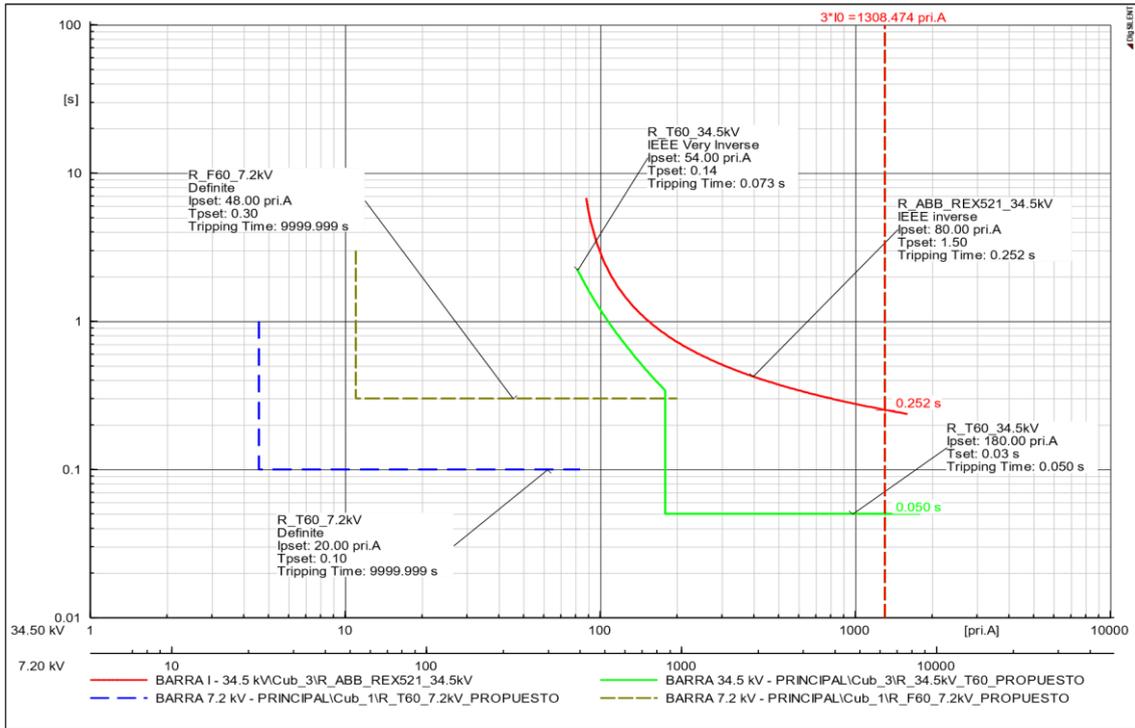


Figura 13. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en bornes de 34.5 kV del transformador de 8 MVA de la subestación principal

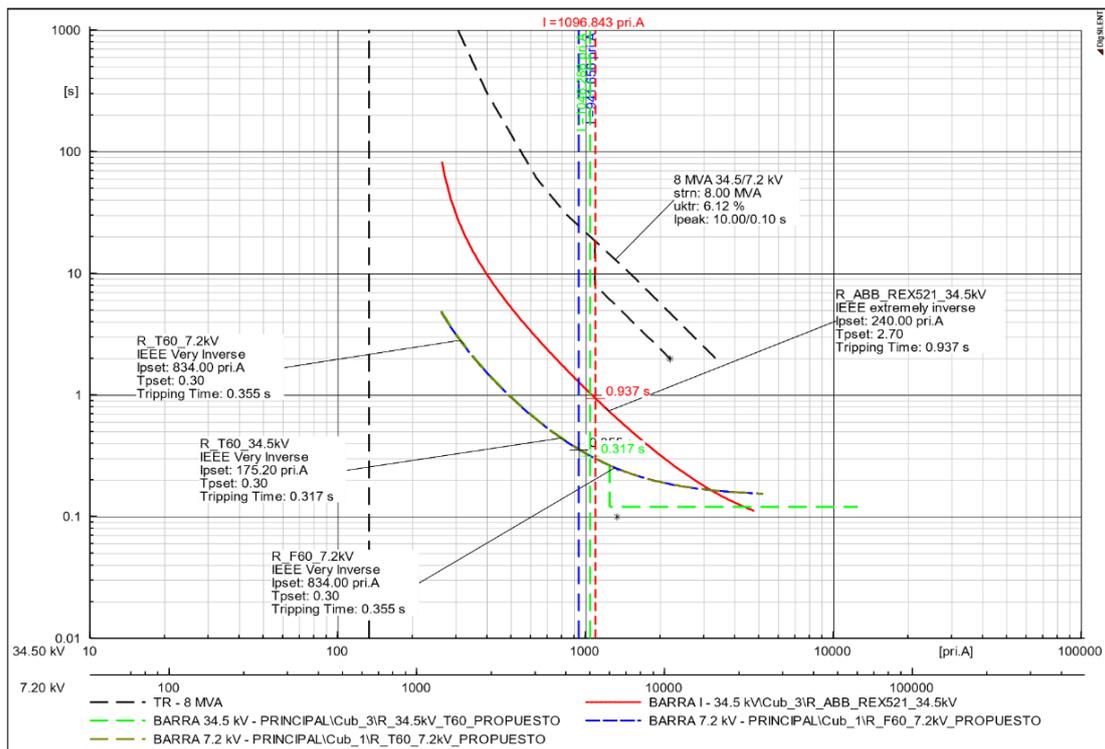


Figura 14. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal

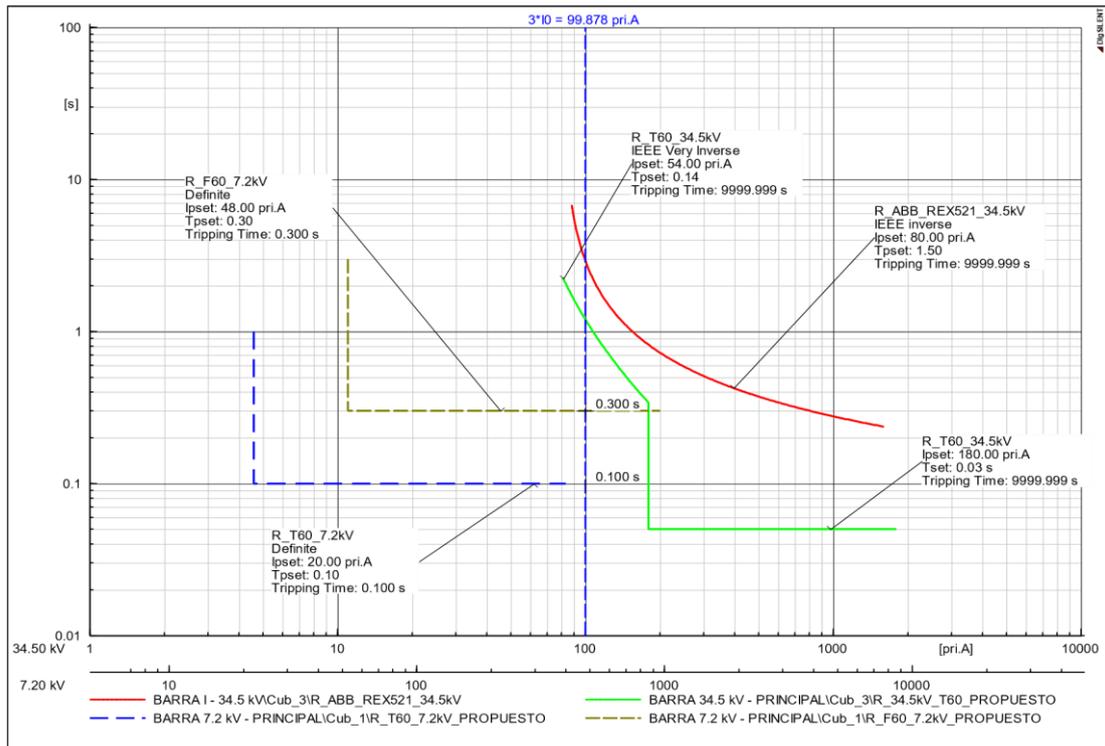


Figura 15. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico franco en la barra de 7.2 kV de la subestación principal

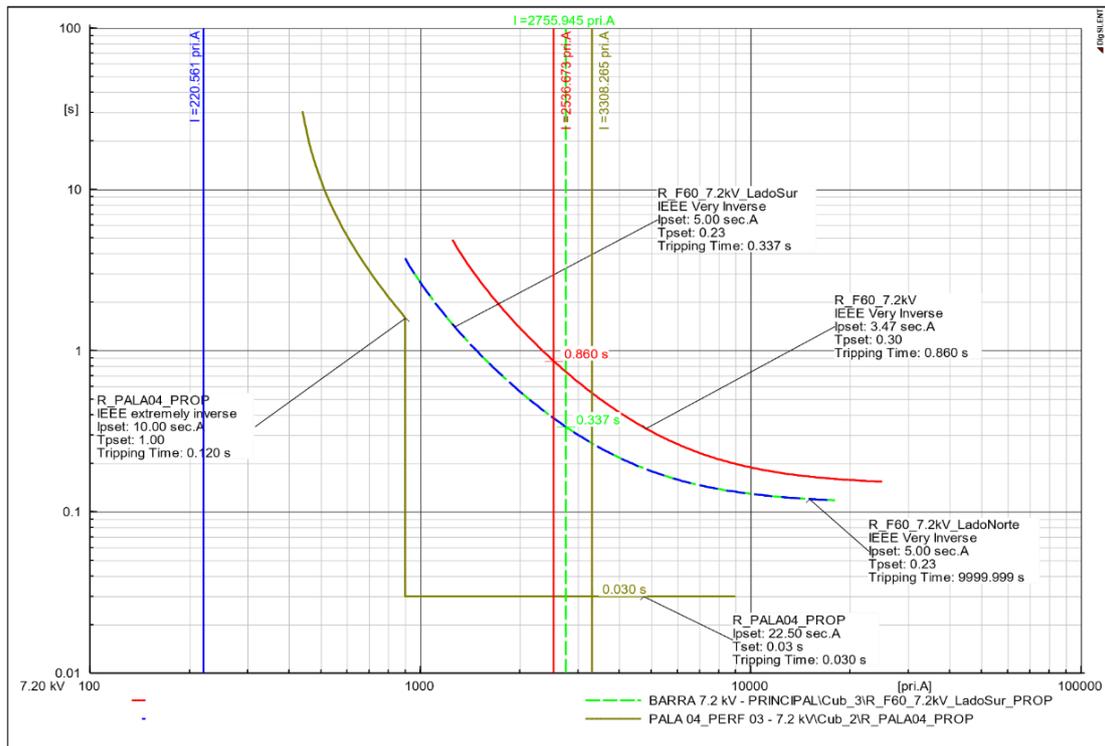


Figura 16. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en la barra de 7.2 kV de la pala 4

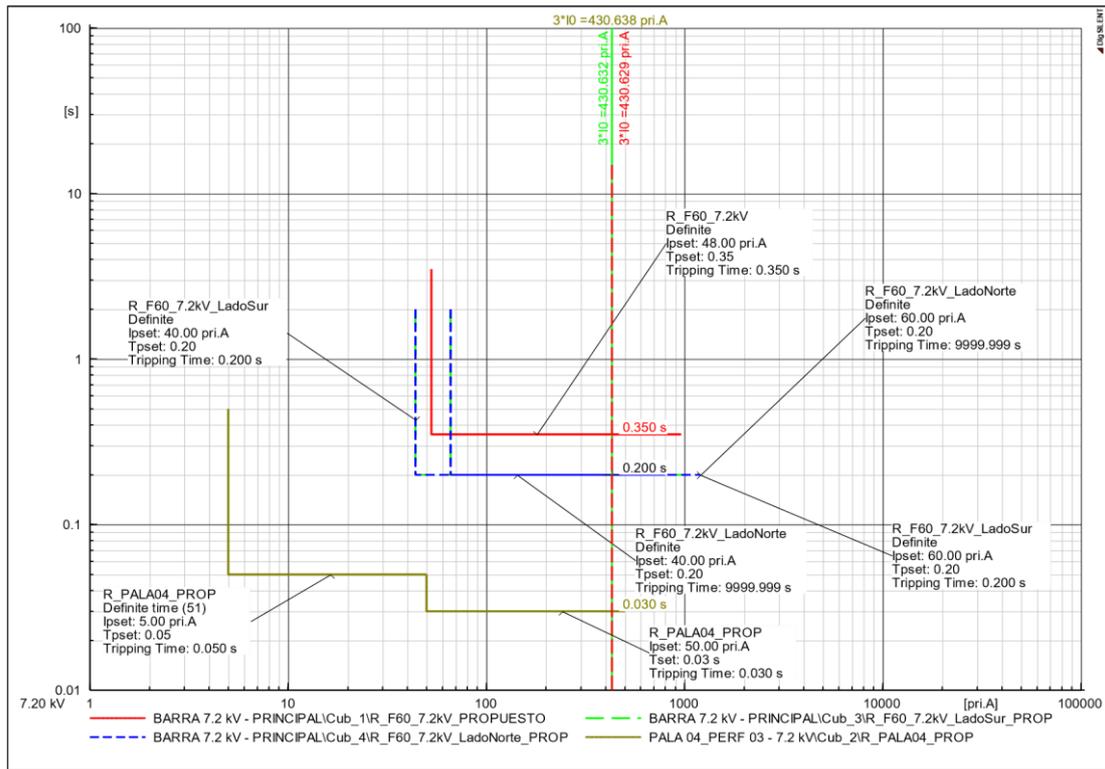


Figura 17. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico en la barra de 7.2 kV de la pala 4

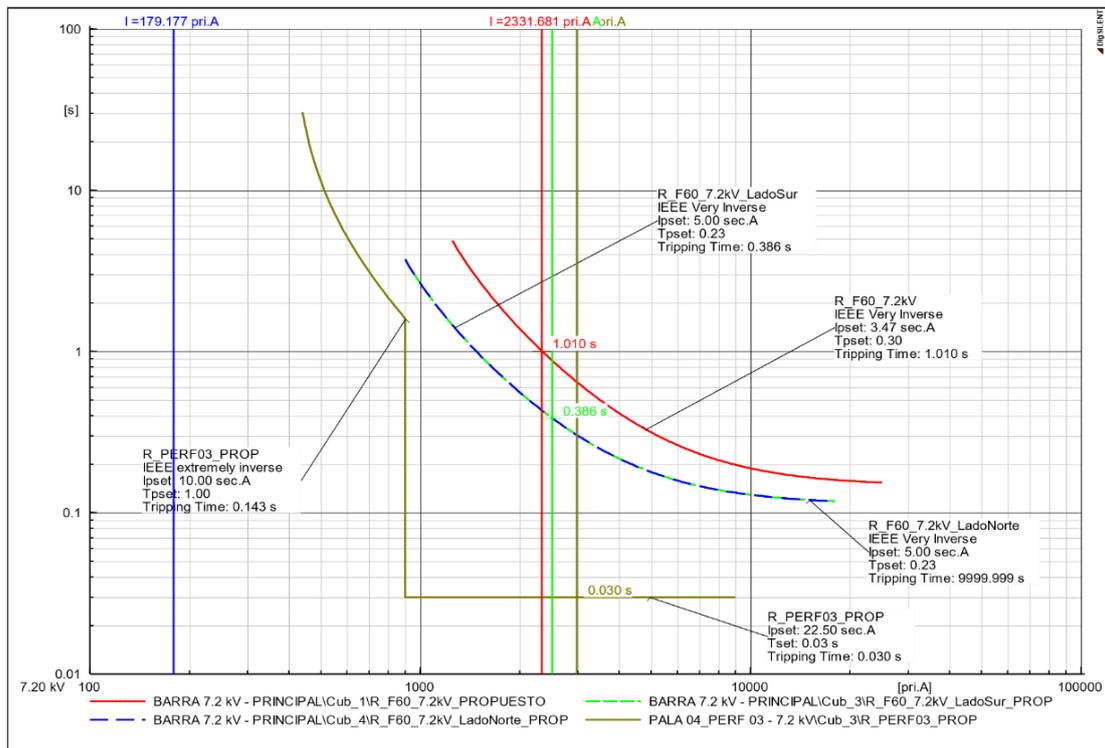


Figura 18. Sobrecorriente de fases – cortocircuito trifásico en la barra de 7.2 kV de la perforadora 3

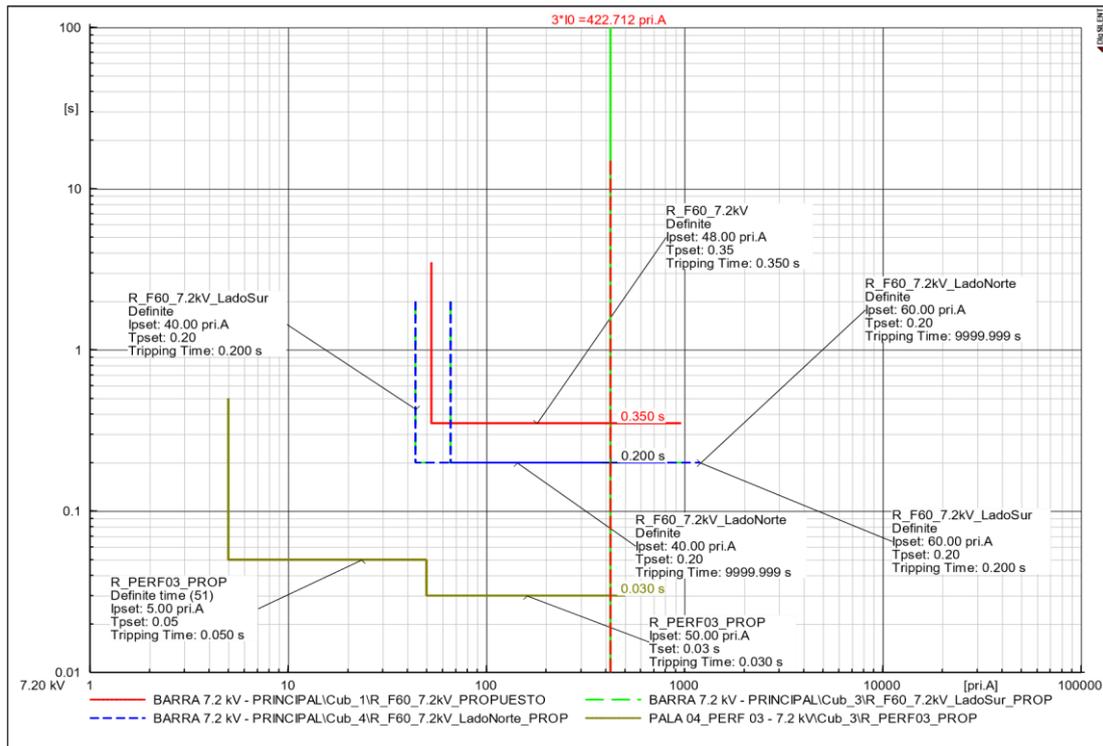


Figura 19. Sobrecorriente de tierra – cortocircuito monofásico en la barra de 7.2 kV de la perforadora 3

Se debe tener en cuenta que, con los ajustes propuestos se garantiza una adecuada coordinación aguas arriba del lado transformador 34.5 kV y aguas abajo lado norte y lado sur, palas y perforadoras. Además, ante una falla trifásica en barra lado transformador 7.2 kV, los relés R_7.2kV_T60 & R_7.2kV_F60, ordenarán disparo, sacando fuera de servicio al transformador, esto debido a que se está considerando ajustes similares en el lado de 34.5 kV y 7.2 kV, ya que no fue posible obtener un margen de coordinación de 150 m; sin embargo, en la práctica es posible operar en esta condición, como lo vienen haciendo actualmente en la subestación.

5.2. Logros alcanzados

Los logros alcanzados en el ámbito del estudio de la coordinación de protecciones por incremento de la potencia en el área de Mina 16 en el sistema eléctrico son:

- Se evaluó de qué manera influye el incremento de potencia en el área de Mina 16 (pala 4 CAT 6040 de 1.4 MW y la perforadora 3 D75KS SANDVIK de 0.79 MW) en el sistema eléctrico Cosapi Minería.

- Se realizó el análisis de flujo de potencia en el sistema eléctrico en estado estacionario, identificando los parámetros eléctricos.
- Con las simulaciones se obtuvieron las corrientes de cortocircuito en los diferentes tipos de falla para obtener las máximas y mínimas corrientes de cortocircuito.
- Se realizó la coordinación de protecciones garantizando la selectividad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico de Cosapi Minería.

Asimismo, cabe resaltar que las actividades se realizaron de acuerdo al cronograma de trabajo preestablecido por la empresa, sin reportarse ningún accidente personal, ni evento que generará una pérdida del proceso o pérdida material. Con todo ello, se logró una mayor confiabilidad en el sistema eléctrico Cosapi Minería, asegurándose la seguridad y producción continua del proyecto.

Del mismo modo, se logró la implementación de los siguientes procedimientos operativos:

- Mantenimiento de líneas energizadas
- Prueba de resistencia de aislamiento
- Hidrolavado de líneas energizadas
- Estándar operativo para la instalación y mantenimiento de *Switch House*.
- *Check list* de ajustes de relé en *Switch House*.

En el ámbito personal, al ser partícipe de este estudio de coordinación de protecciones se logró ampliar y consolidar los conocimientos adquiridos en la universidad en lo referente al análisis de flujo de potencia, cortocircuito y coordinación de protecciones, cumpliendo los procedimientos y protocolos de la empresa Cosapi Minería en Shougang Hierro Perú.

5.3. Dificultades encontradas

Las dificultades encontradas en el desempeño de mi labor profesional fueron:

- El acceso a la información se tornó dificultoso en ocasiones, debido a la cantidad de áreas que tenían que validar y autorizar accesos, por parte del cliente final.

- La data técnica, en algunos casos, no estaba sistematizada y organizada.
- Para el levantamiento de información en campo se tuvo dificultades en la obtención de los permisos de accesos a áreas distintas a las autorizadas de acuerdo a los alcances de mi cargo en la empresa Cosapi Minería.

5.4. Planteamiento de mejoras

Con el propósito de mejorar y garantizar la seguridad y selectividad del sistema eléctrico Cosapi Minería se plantean las siguientes mejoras:

- Configurar los IED (relés de protección) con los grupos de ajuste que se obtuvieron en el estudio de coordinación de protecciones del presente trabajo de suficiencia profesional.
- Gestionar la creación de una base de datos con los parámetros eléctricos obtenidos de los IED del sistema eléctrico bajo estudio, para su posterior análisis mediante indicadores e históricos.
- Se plantea la necesidad de realizar un estudio de transitorios electromagnéticos y estabilidad del sistema eléctrico Cosapi Minería.

5.5. Análisis

Desde mi incorporación al área de mantenimiento eléctrico de la empresa Cosapi Minería, se identificó la necesidad de realizar un estudio de coordinación de protecciones debido al incremento de potencia en el área de Mina 16.

Se procedió a realizar un levantamiento de datos en campo a fin de verificar los parámetros de los equipos que forman parte del sistema eléctrico bajo estudio. Posterior a ello se realizaron los análisis de flujo de carga y cortocircuito. Ulteriormente, se efectuó la coordinación de las protecciones.

De los resultados se observa que los perfiles de tensión están dentro del rango de (± 5 % tensión nominal); asimismo, no se presenta una cargabilidad mayor al 100 % en los transformadores.

Respecto a los ajustes de los relés, se presentaron nuevas planillas de *settings* para garantizar la continuidad, selectividad y seguridad del sistema eléctrico Cosapi Minería.

5.6. Aporte del bachiller en la empresa

Como profesional de la carrera de Ingeniería Eléctrica mis aportes a la empresa fueron:

- La implementación del estudio de coordinación de protecciones con los ajustes propuestos, derivando de ello mayor confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico Cosapi Minería.
- Se realizaron los ensayos con inyección primaria y secundaria de los IED de protección e interruptores de media tensión. Asimismo, se realizó una base de datos referente a la planilla de ajustes.
- Se implementó programas de mantenimientos mensuales y anuales de *Switch House*, subestaciones y cables de arrastre tipo SHD.
- Se realizaron capacitaciones teóricas y prácticas a todo el personal de mantenimiento eléctrico, referente a comunicación con los relés de protección, descarga de ajustes e interpretación de eventos.
- Del mismo modo se actualizaron los planos funcionales del *Switch House* y subestaciones.

CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos del análisis del flujo de potencia del sistema eléctrico Cosapi en estado estacionario, se concluye que los perfiles de tensión de las barras se encuentran dentro del límite permisible por la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (± 5 % tensión nominal) para situación con proyecto y sin proyecto.
2. Los transformadores de potencia no presentan sobrecarga para situación con proyecto y sin proyecto; sin embargo, el transformador TR-8MVA presenta una cargabilidad de 96 %.
3. La línea de eléctricas L-1 S.E. Shougang – Nodo 1 en 34.5 kV, en la situación con proyecto presenta una congestión de 110 %, que amerita una evaluación y pronta solución al respecto.
4. El ingreso de las cargas en el área de Mina 16 (perforadora 3 D75KS SANDV y pala 4 CAT6040), significan un aporte de corriente de cortocircuito monofásico de 0.49 kA y aporte de corriente trifásico de 5.24 kA.
5. Se realizaron modificaciones a los ajustes de los relés, los cuales se deben tener en cuenta para garantizar la continuidad, selectividad y seguridad del sistema eléctrico Cosapi (figura 20).
6. Con el análisis de coordinación de protecciones se redujo el riesgo de falla indeseada por protección, considerando 1 hora diaria de corte intempestivo que significa un monto de USD 293,300 de lucro cesante. El esfuerzo de efectuar el análisis de coordinación de protecciones, costo en mano de obra y equipos un promedio de USD 20,000, por lo que el retorno es inmediato.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda considerar un sistema de protección (reconectador) en la derivación hacia la Mina 14, Mina 11 y hacia la Mina 16, para garantizar la selectividad de las protecciones.
2. Se recomienda realizar una evaluación de resonancia en el sistema eléctrico Cosapi, el ingreso de las cargas proyectadas modifica la topología de red y puede causar este fenómeno.
3. Se recomienda realizar un estudio de transitorios electromagnéticos y estabilidad en el sistema eléctrico Cosapi Minería.
4. Se recomienda realizar una revisión de la saturación de los transformadores de corriente debido al incremento de las corrientes de cortocircuito monofásico y trifásico.

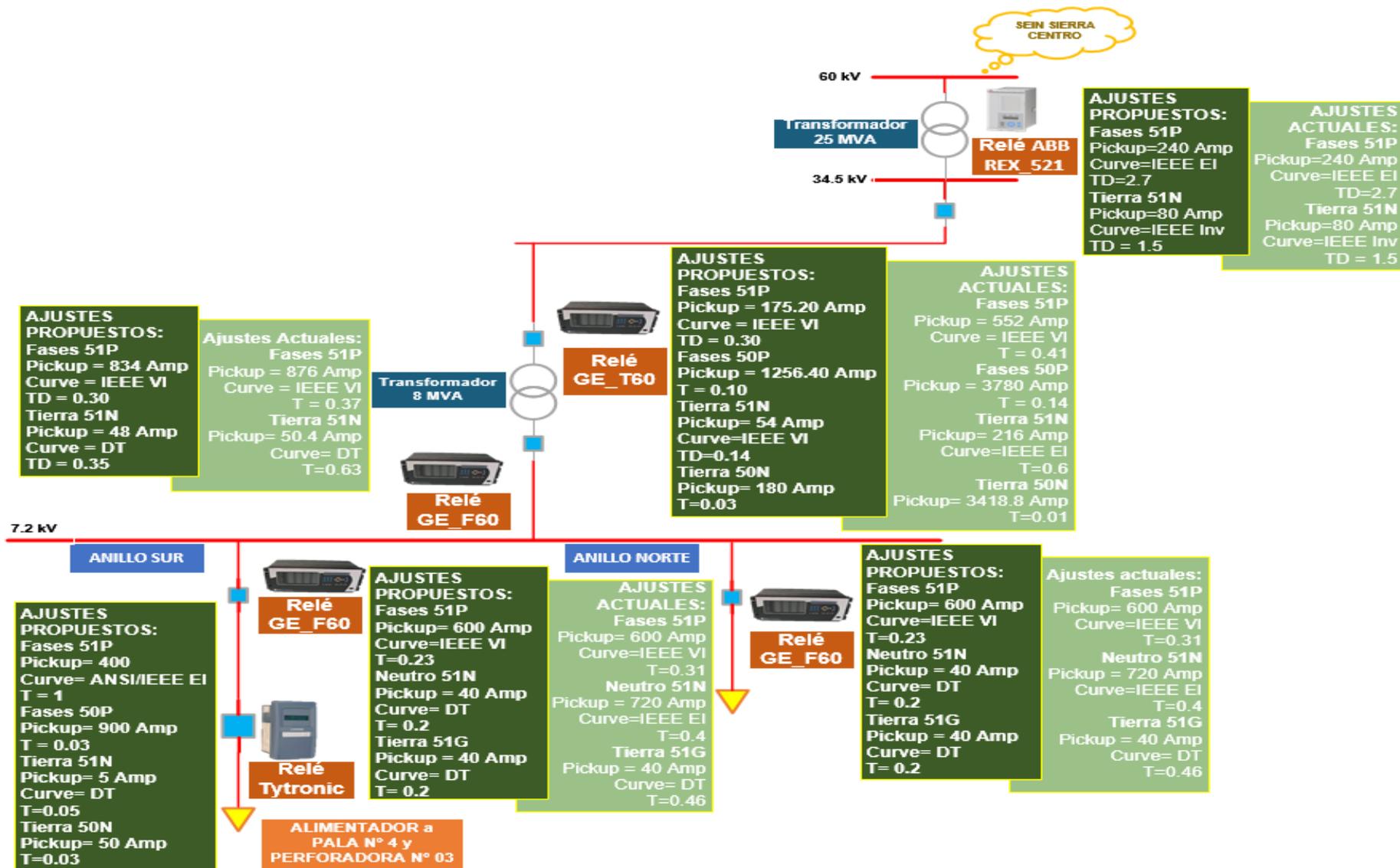


Figura 20. Implementación de los ajustes de relés de protección

LISTA DE REFERENCIAS

1. **Cosapi**. Quiénes Somos. [En línea] abril de 2022.
<http://cosapi.com.pe/Site/Index.aspx?aID=1785>.
2. **Cosapi Organización Empresarial**. Historia de un Desarrollo. [En línea] 1990.
<https://www.cosapi.com.pe/Upload/revista/archivo/historia-y-desarrollo.pdf>.
3. **SANMIGUEL, E.** *Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos en industria del Alkali S. A. de C. V.* Universidad Autónoma de Nuevo León. 2001. Tesis de Maestría.
4. **MEDINA, A.** *Evaluación de las protecciones ante el incremento de la demanda en el sistema eléctrico Bagua – Jaén y las repercusiones al SEIN.* Universidad Nacional del Centro del Perú. 2018. Tesis para obtención de Título de Ingeniero Electricista.
5. **CUEVAS, A.; HERNÁNDEZ, J.** *Coordinación de protecciones en un sistema de distribución.* Instituto Politécnico Nacional. 2013. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Electricista.
6. **GRAINGER, J.; STEVENSON, W.** *Análisis de sistemas de potencia* . s.l. : McGraw-Hill, 1996.
7. **GÓMEZ, E.** *Sistemas eléctricos de potencia: Ejercicios y problemas resueltos.* s.l. : Prentice Hall, 2003.
8. **GÖNEN, T.** *Electric Power Distribution Engineering.* 2. s.l. : CRC Press, 2008.
9. **ROCCIA, P.** *Cuaderno técnico N.º 113 Protección de las máquinas y de las redes industriales en AT.* s.l. : Schneider Electric, 1991.
10. **MOMOH, J.** *Electric power distribution, automation, protection, and control.* s.l. : CRC Press, 2007.
11. **COES** . *Modelo del SEIN 2022.*
12. **COES.** *Criterio de ajuste y coordinación de protección.* 2018.
13. —. *Premisas y consideraciones para modelar el sistema en modelo SDDP.* 2021.
14. **COES Sinac.** *PR-20 Procedimiento técnico del comité de operación económica del SEIN: ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN.* 2021.

ANEXOS

Anexo 1

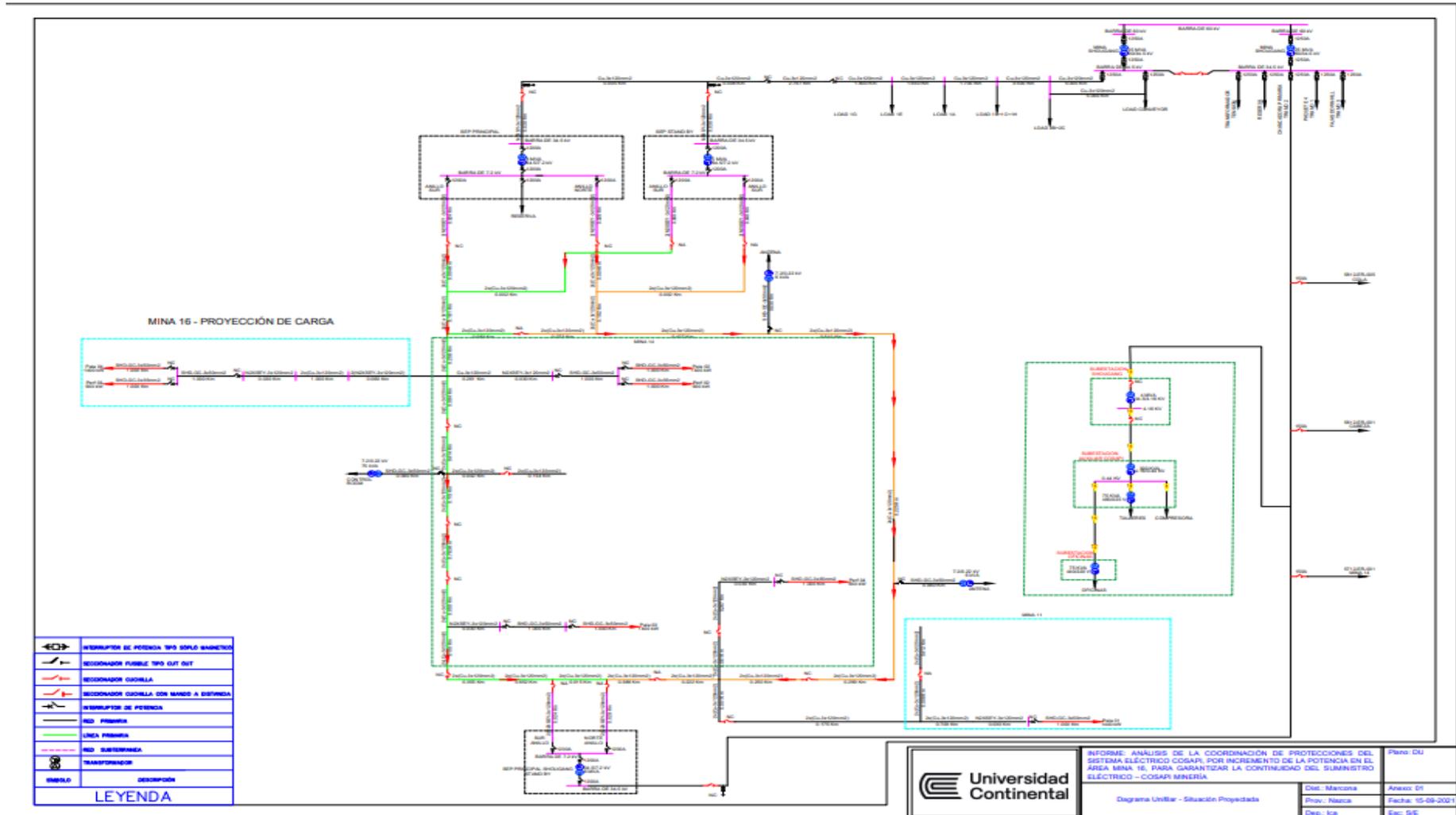


Figura 21. Diagrama unifilar proyectado

Anexo 2

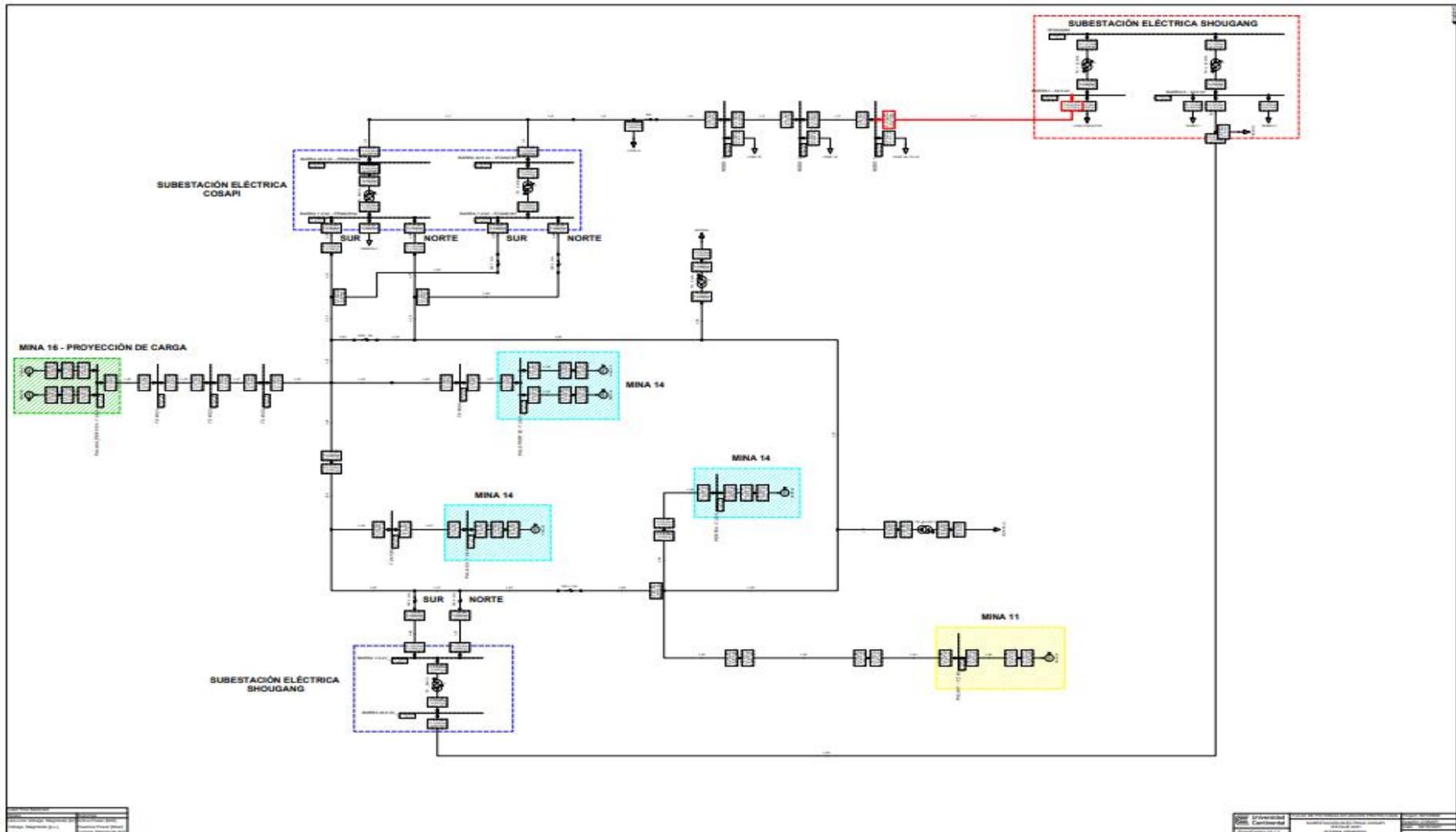


Figura 22. Estiaje de máxima demanda CP

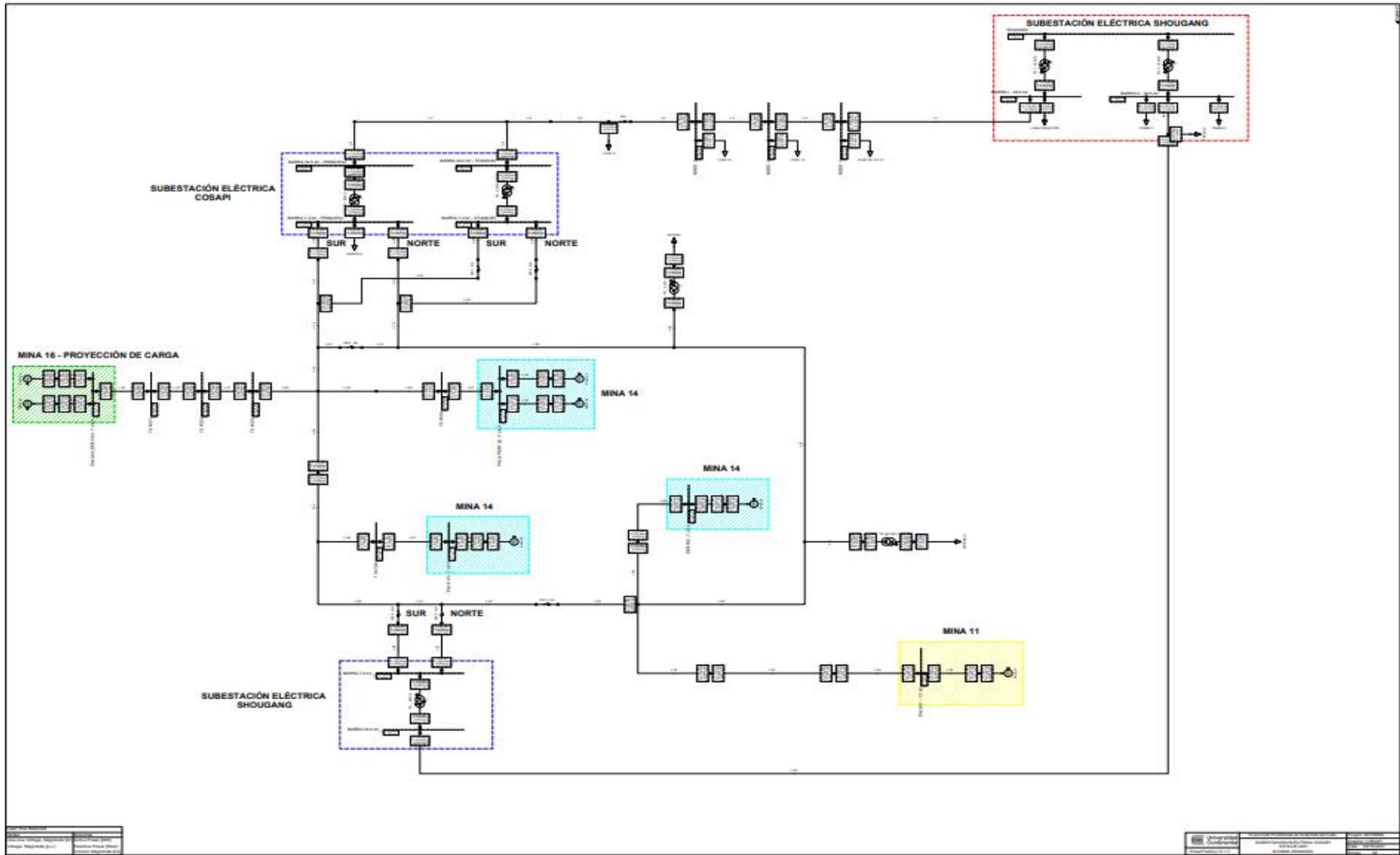


Figura 23. Estiaje de máxima demanda SP

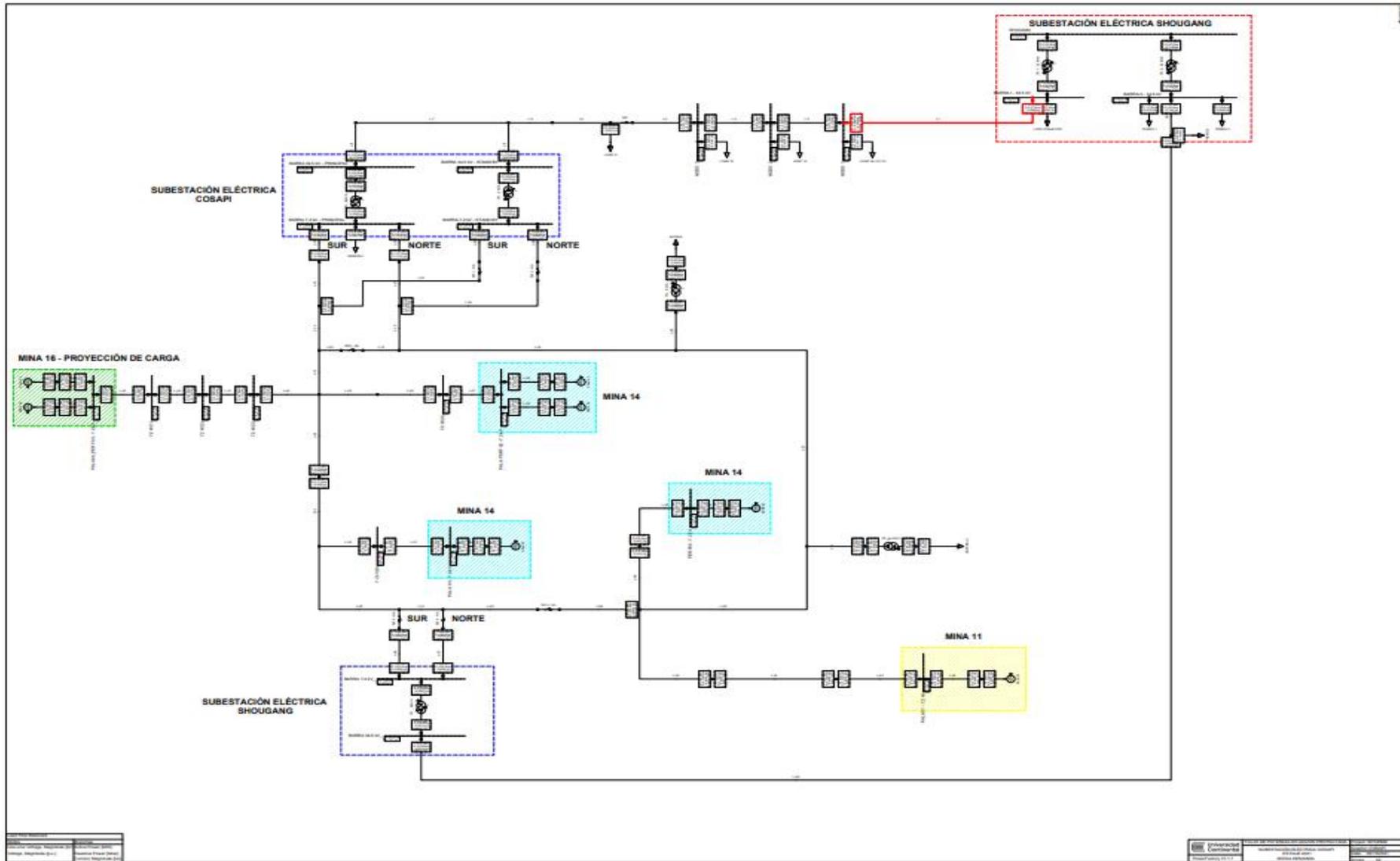


Figura 24. Estiaje de media demanda CP

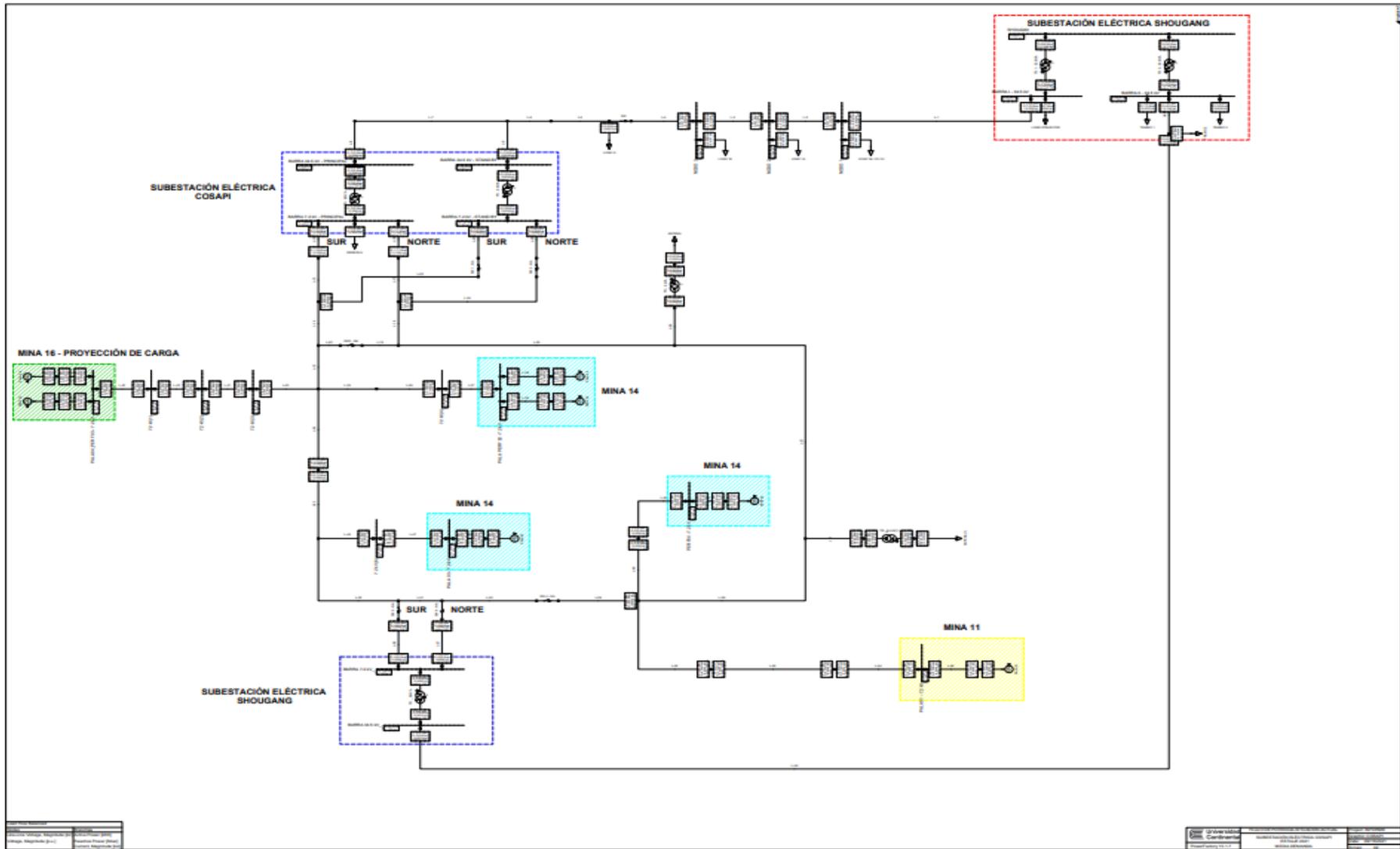


Figura 25. Estiaje de media demanda SP

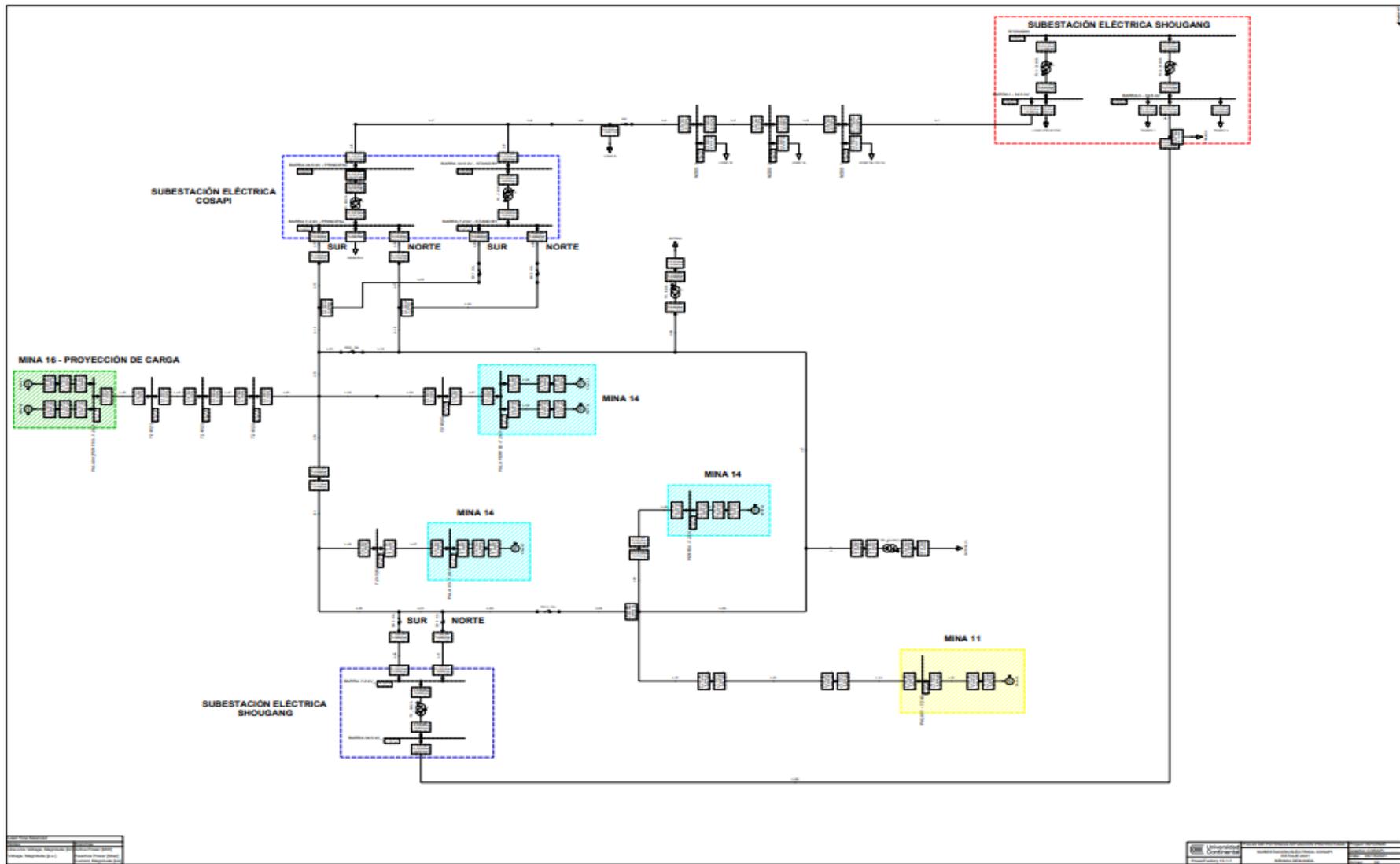


Figura 26. Estiaje de mínima demanda CP

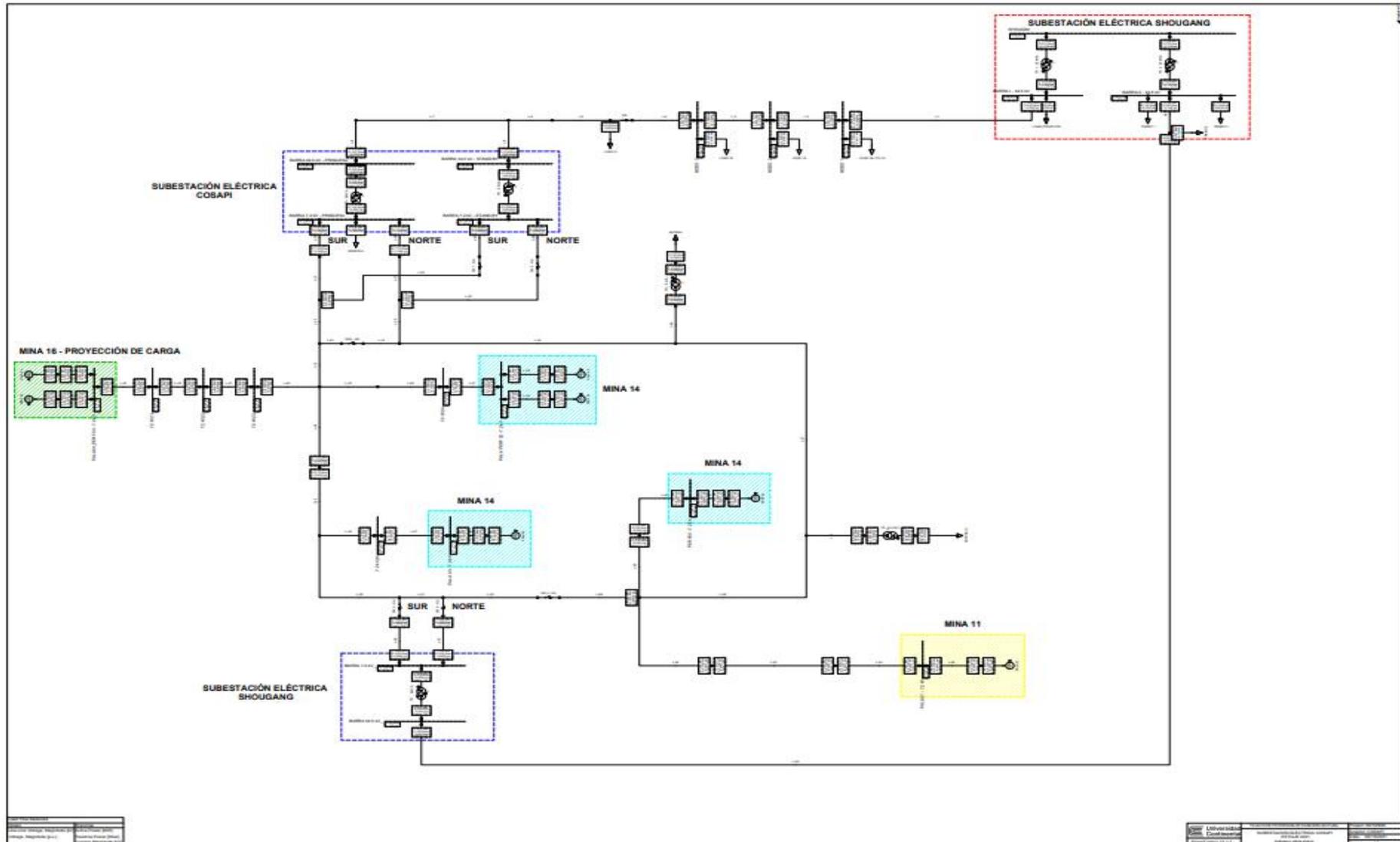


Figura 27. Estiaje de mínima demanda SP

Anexo 3

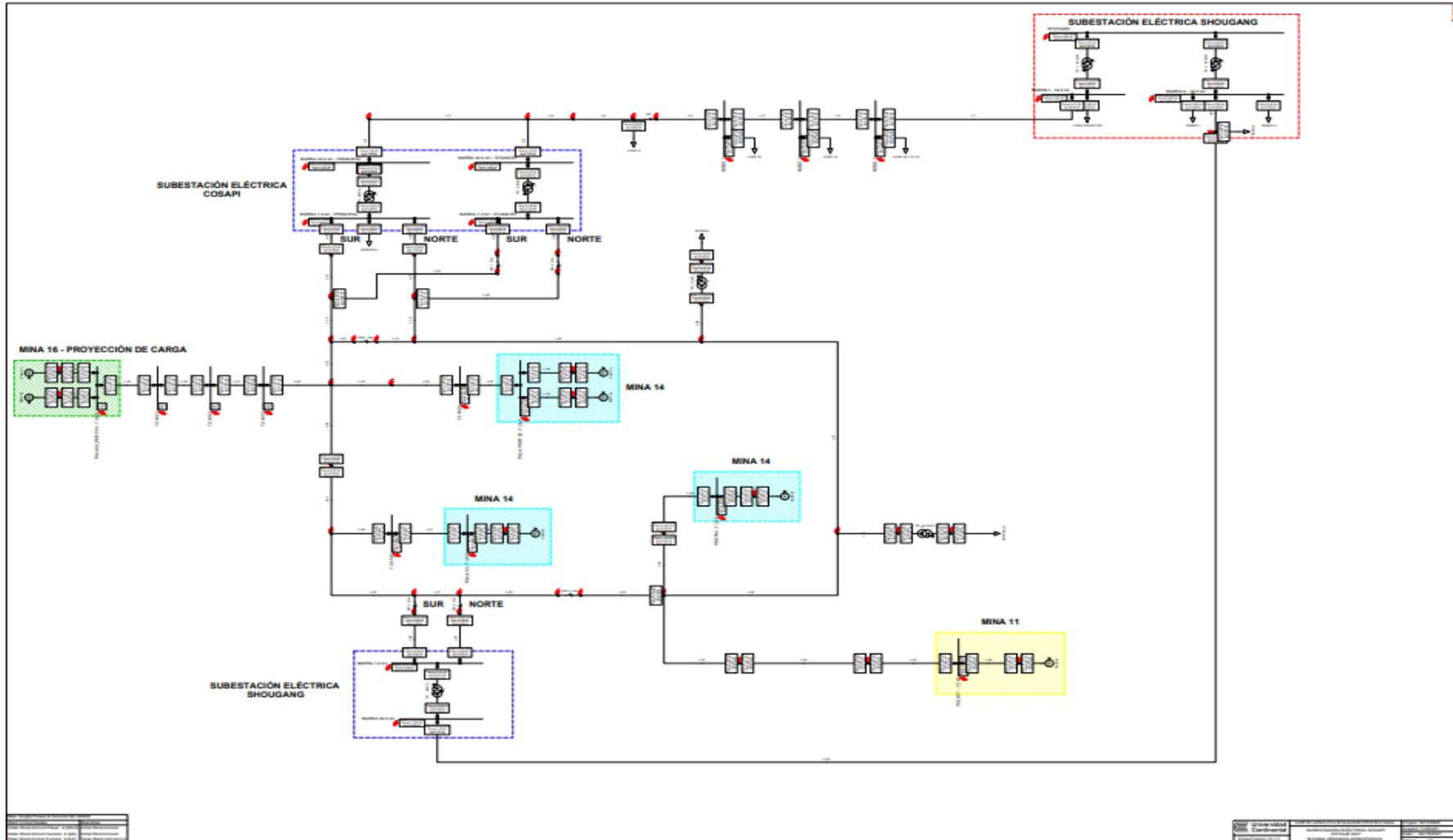


Figura 28. Estiaje máximo CP 1f

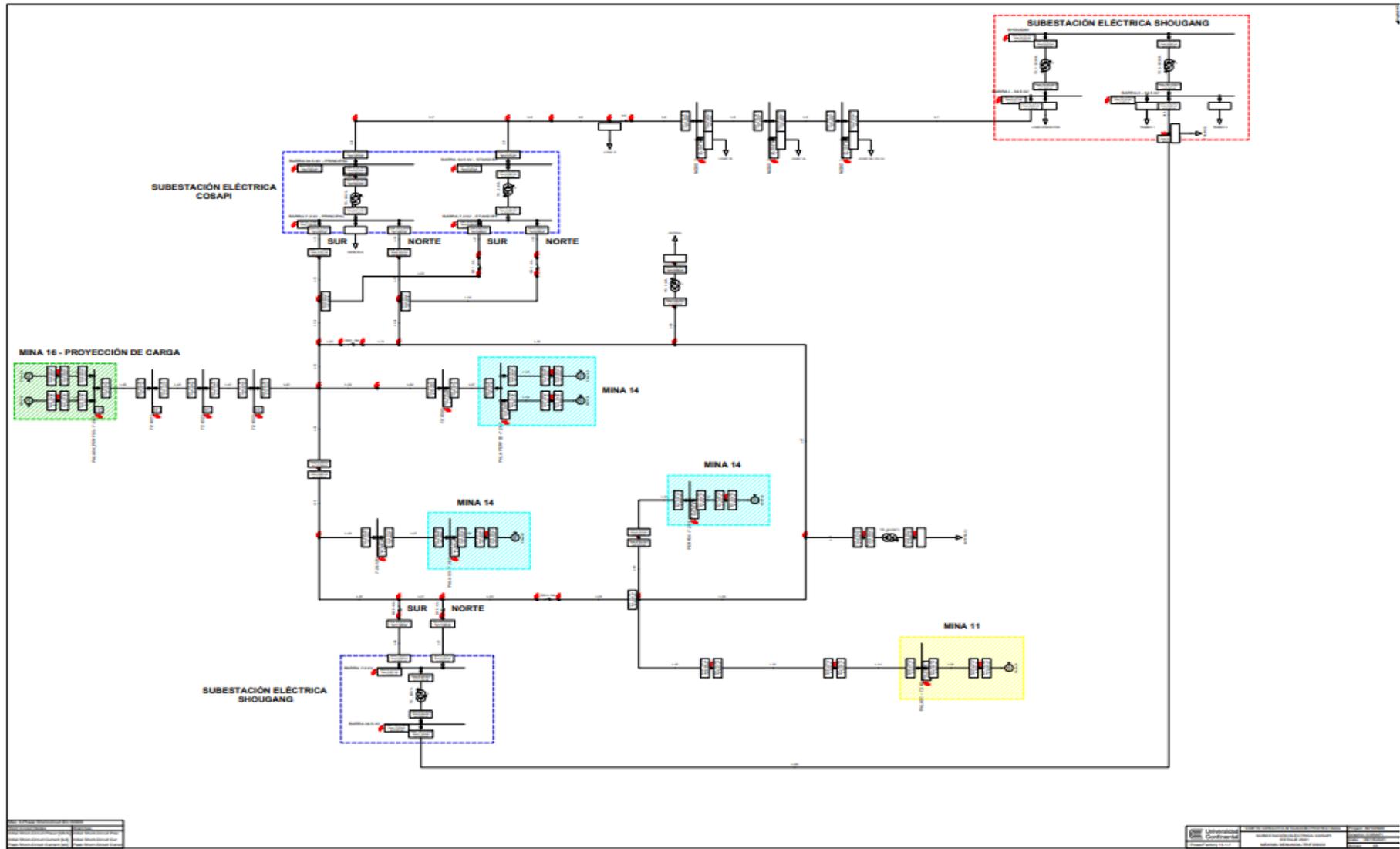


Figura 29. Estiaje máximo CP 3f

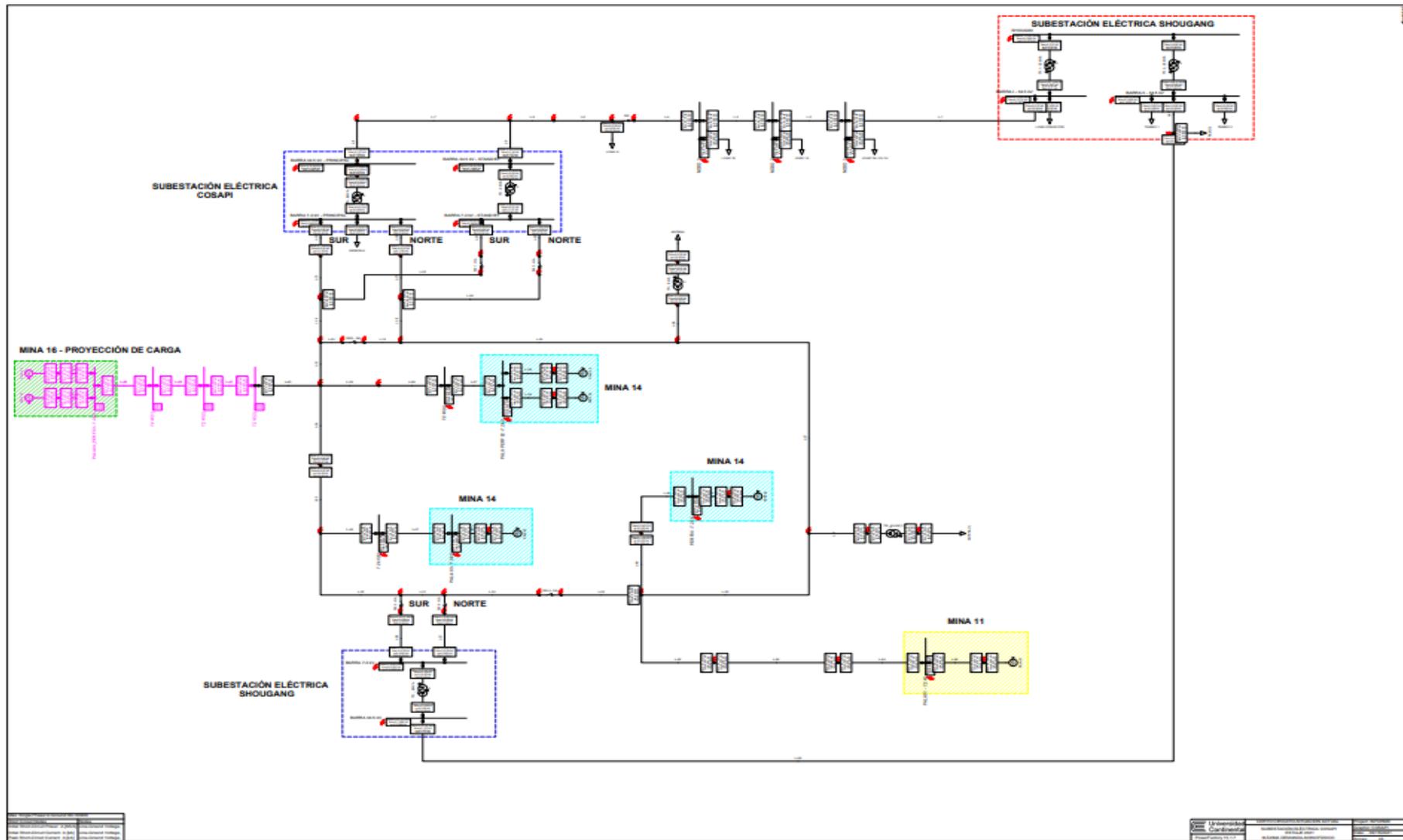


Figura 30. Estiaje máximo SP 1f

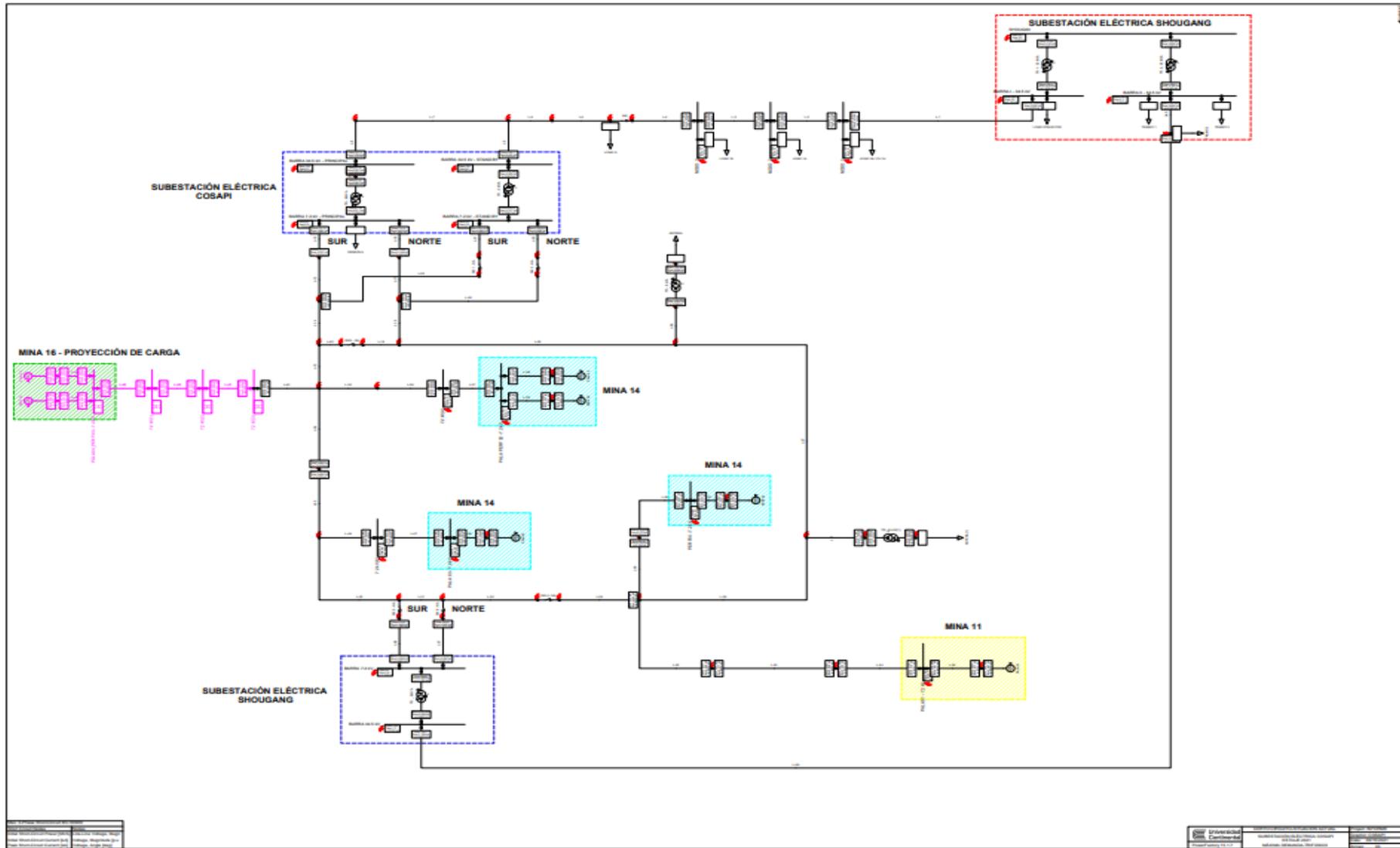


Figura 31. Estiaje máximo SP 3f

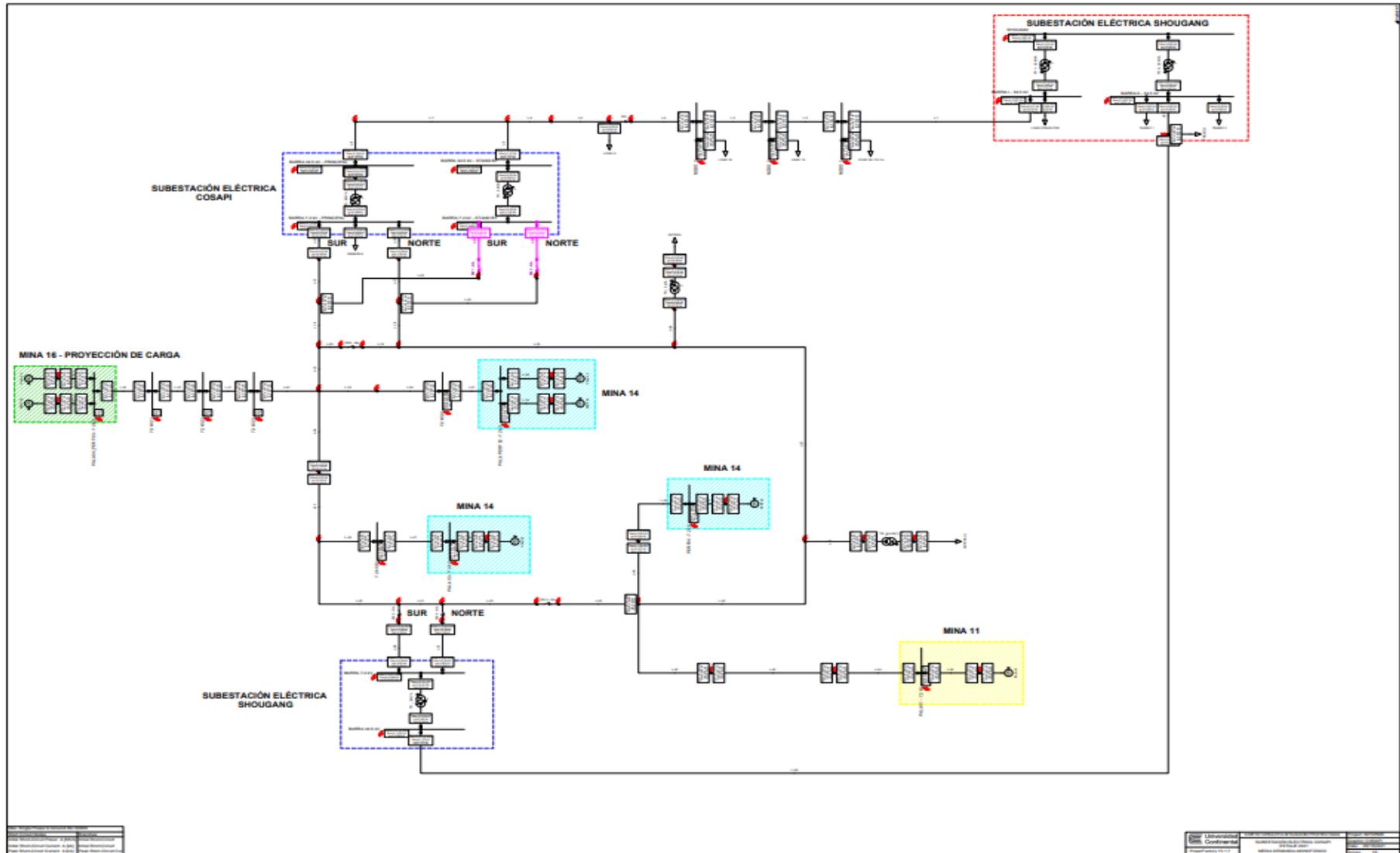


Figura 32. Estiaje medio CP 1f

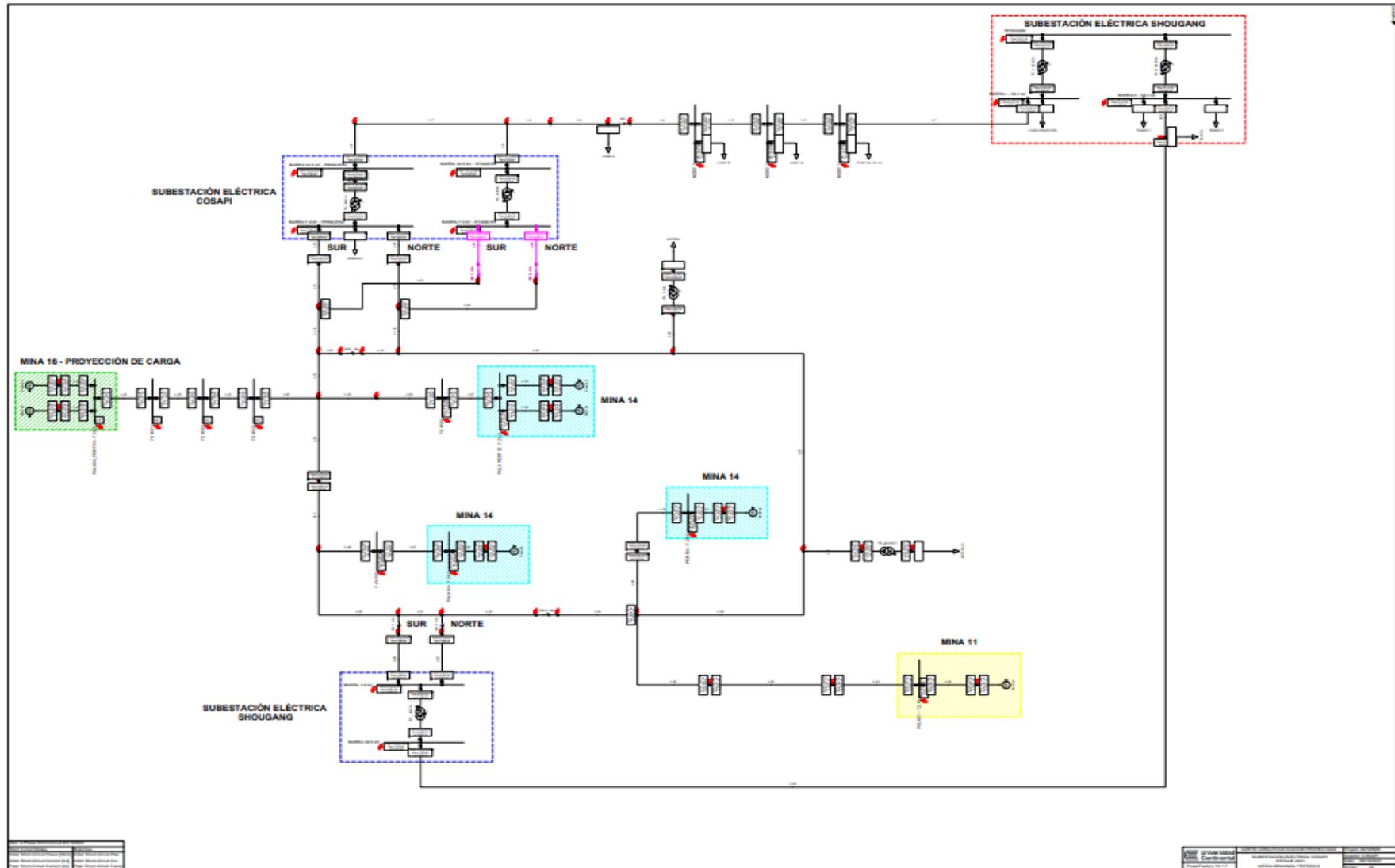


Figura 33. Estiaje medio CP 3f

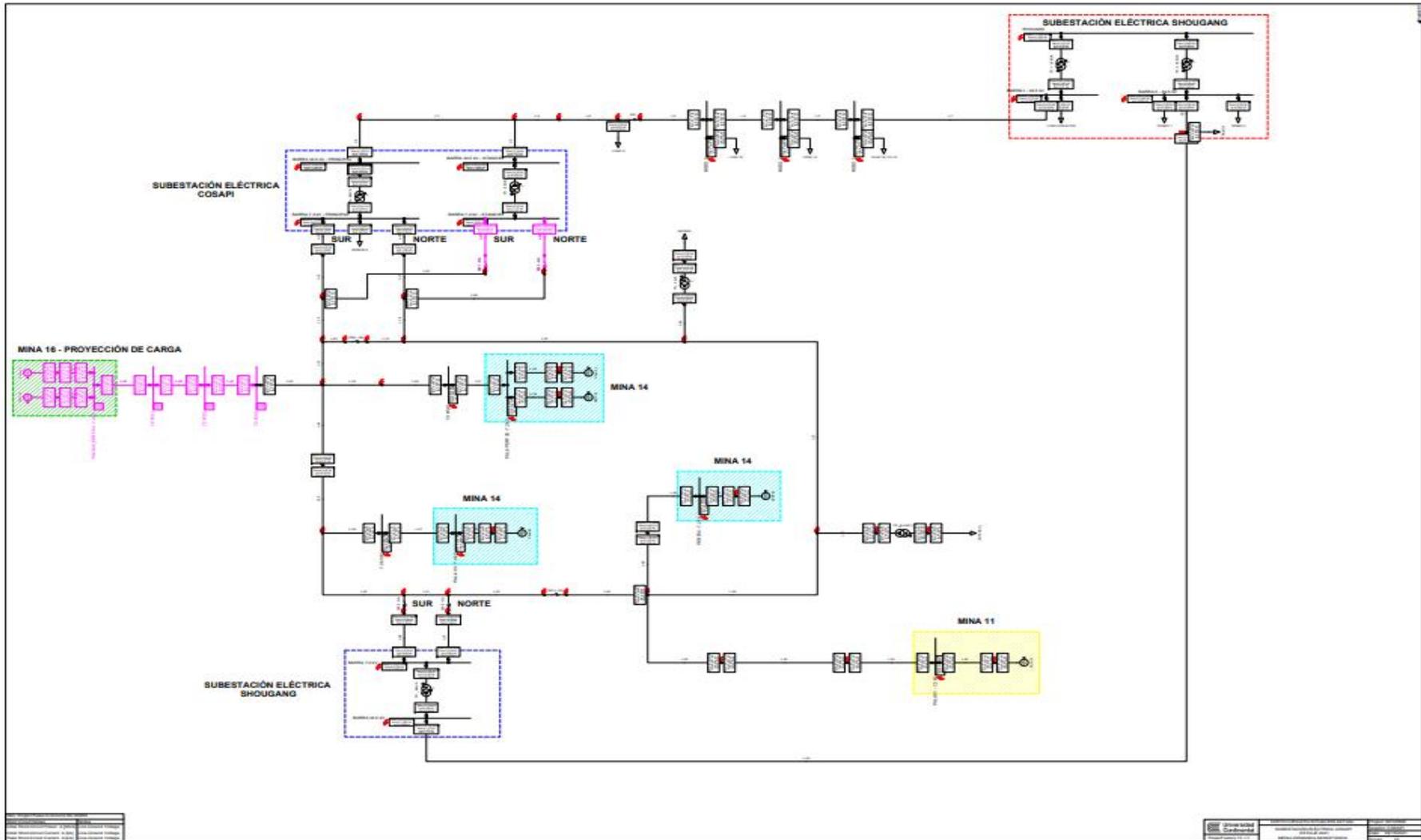


Figura 34. Estiaje media SP 1f

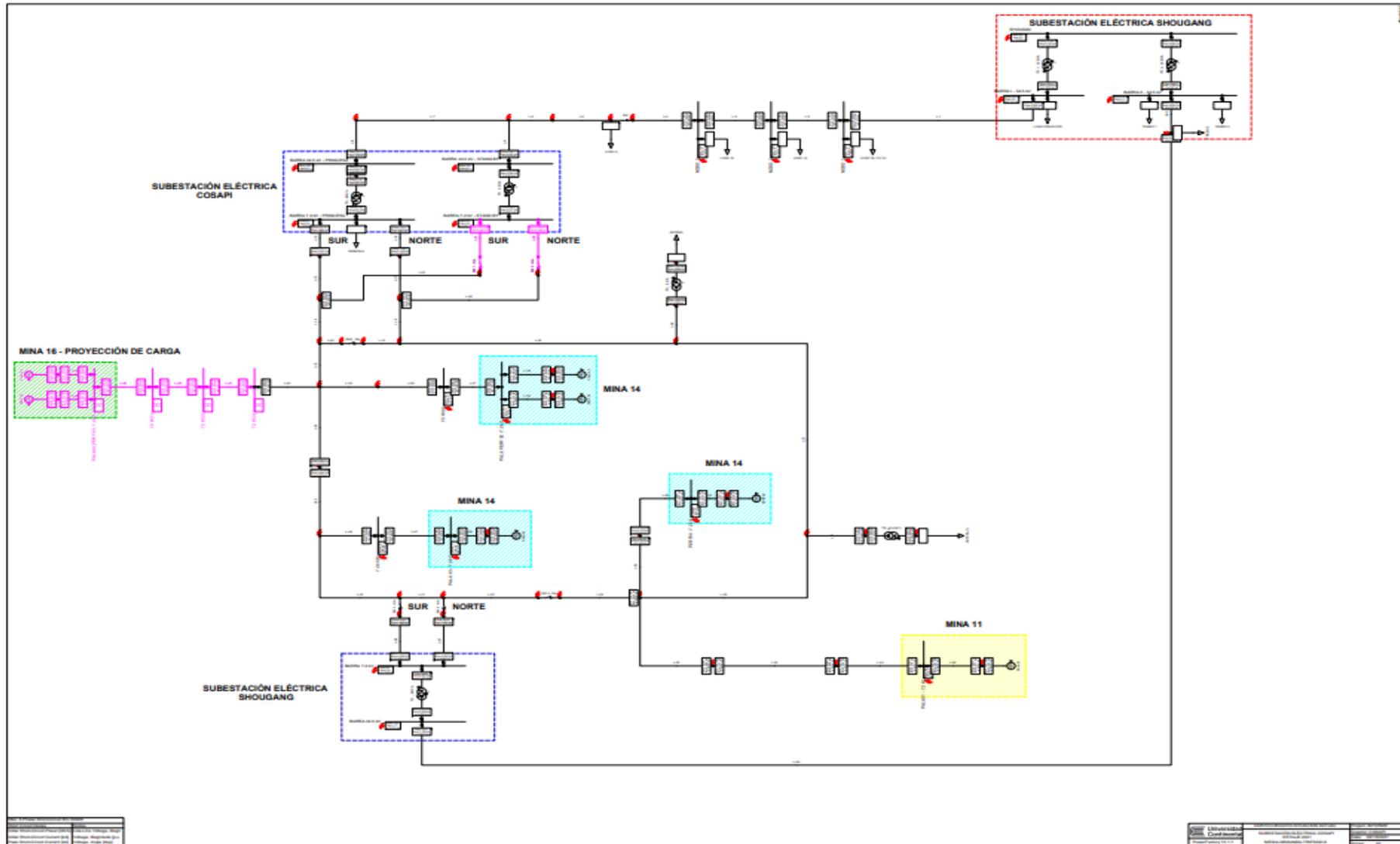


Figura 35. Estiaje medio SP 3f

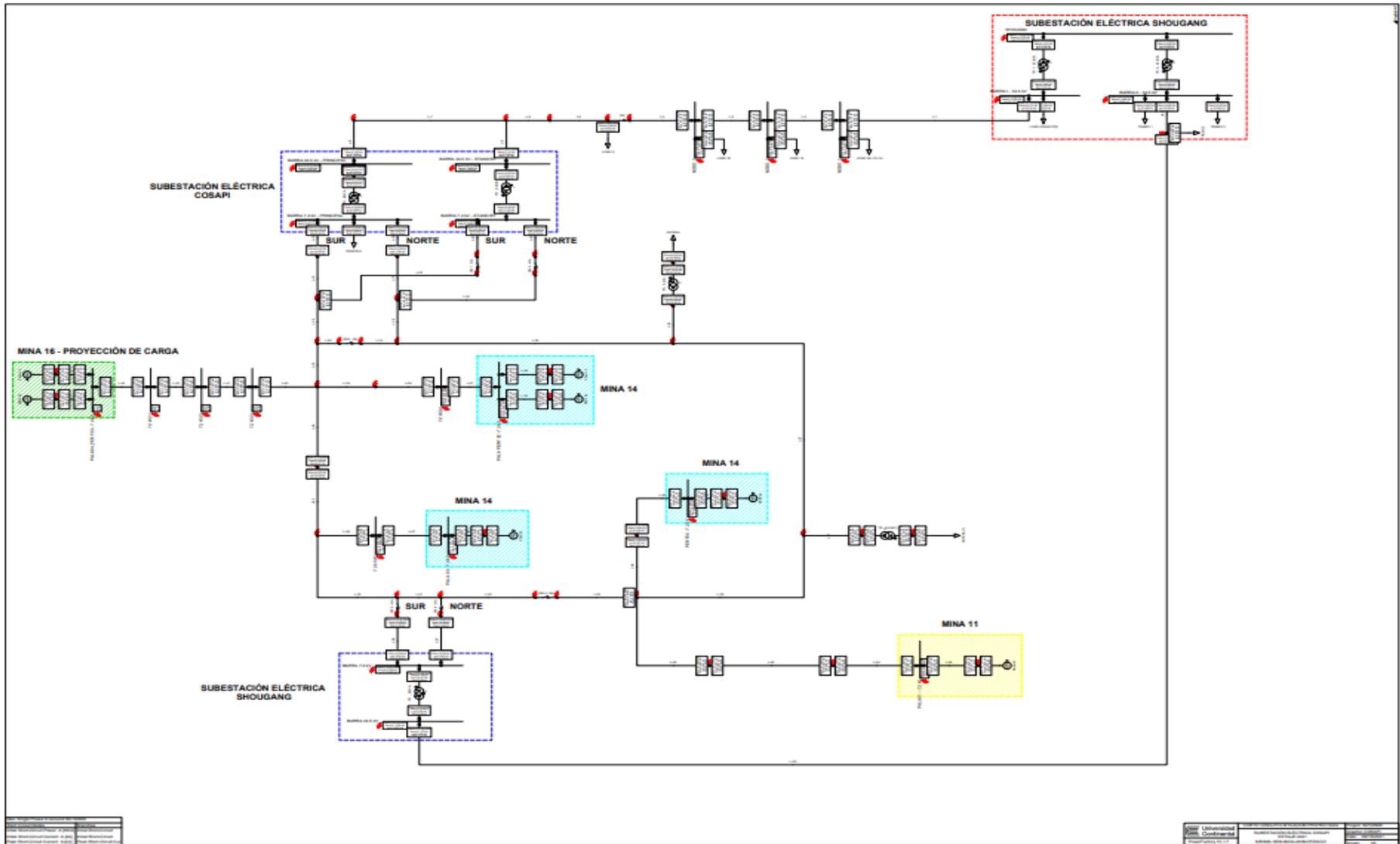


Figura 36. Estiaje mínimo CP 1f

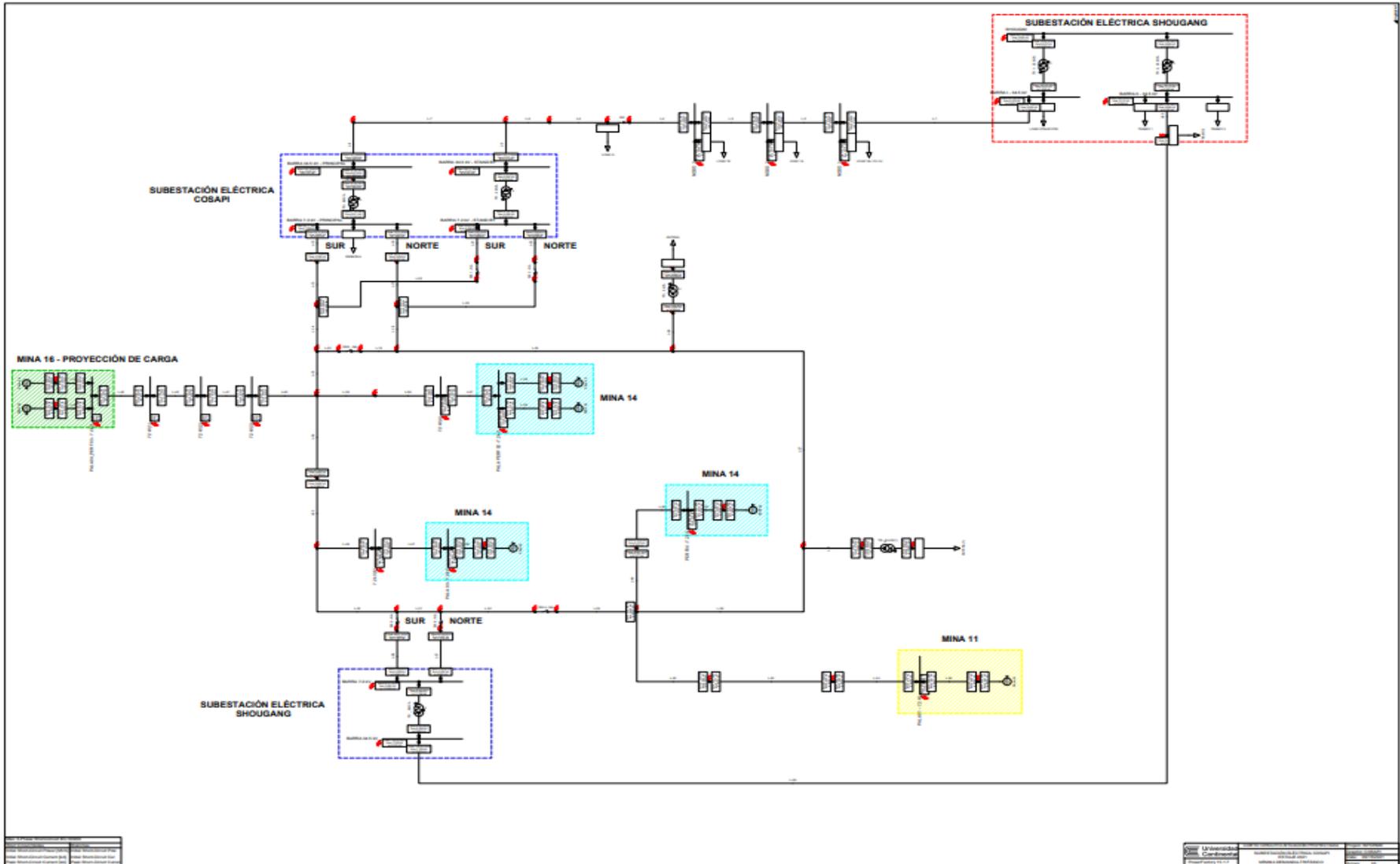


Figura 37. Estiaje mínimo CP 3f

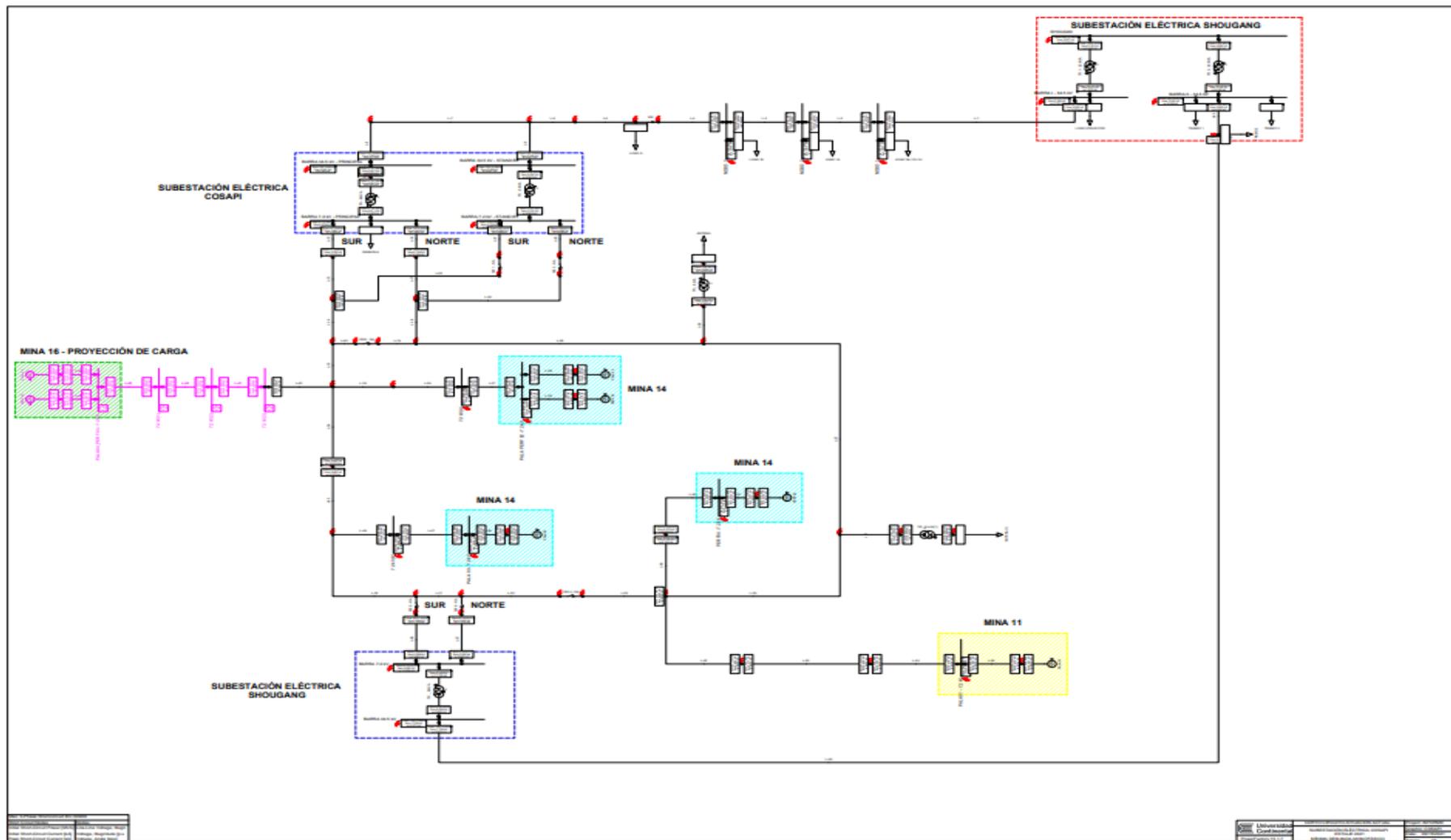


Figura 38. Estiaje mínimo SP 1f

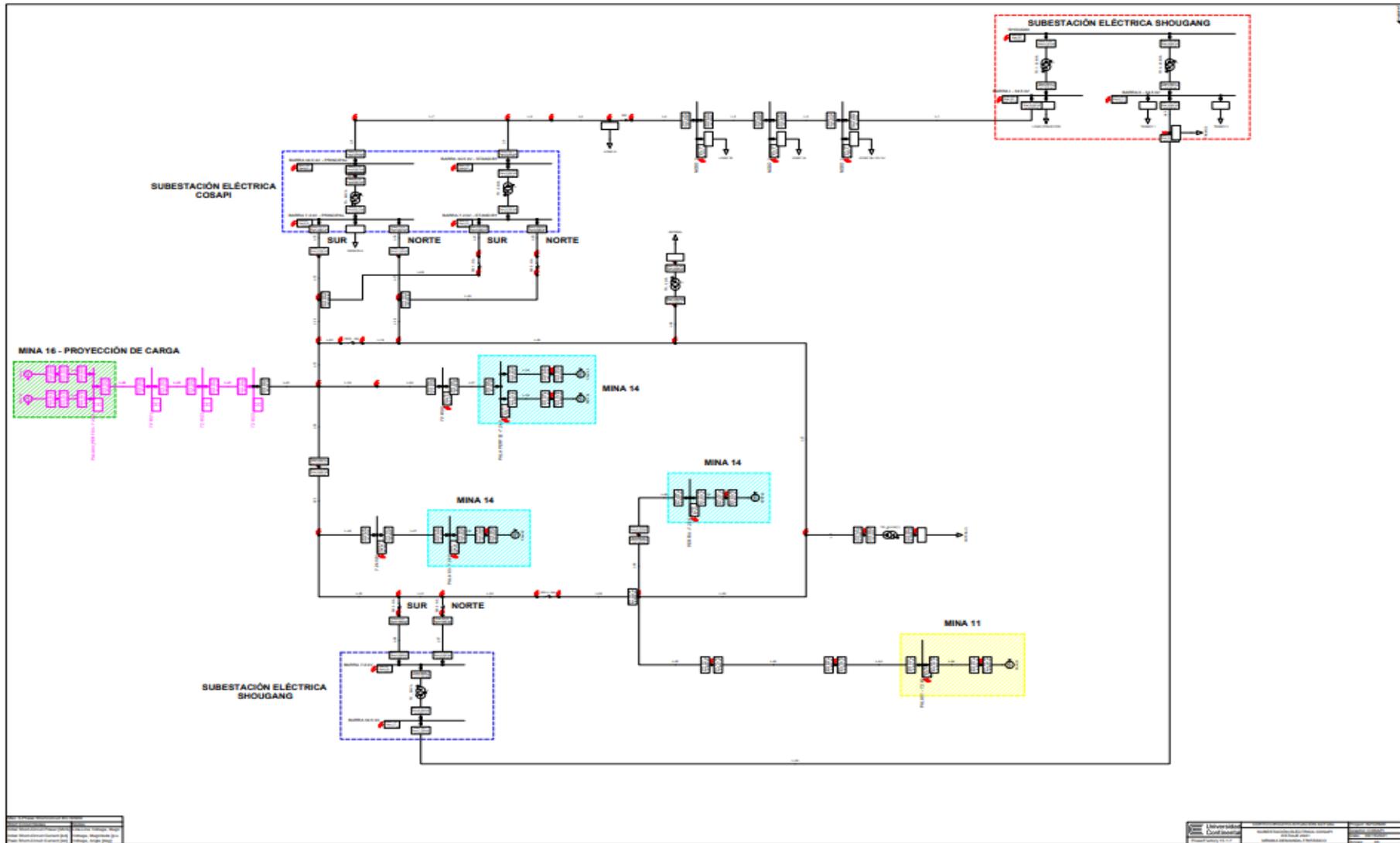


Figura 39. Estiaje mínimo SP 3f

Anexo 4

Data Manager - ECP - COSAPI_Rev.4 :

Name	Type	Object modified	Object modified by
LT		20/05/2021 9:59:03	Antony
Relays		20/05/2021 11:30:42	Antony
Library		27/03/2013 5:48:05	v141.6
Network Model		01/05/2009 18:09:10	rzarate
Operation Scenarios		01/05/2009 18:09:10	rzarate
Study Cases		01/05/2009 18:09:10	rzarate
General Filter		24/10/2018 17:25:26	Estudios_DP
Settings		01/05/2009 18:09:10	rzarate
Versions		08/05/2009 11:11:54	rzarate

Ln 1 | 9 object(s) of 9 | 1 object(s) selected | Drag & Drop

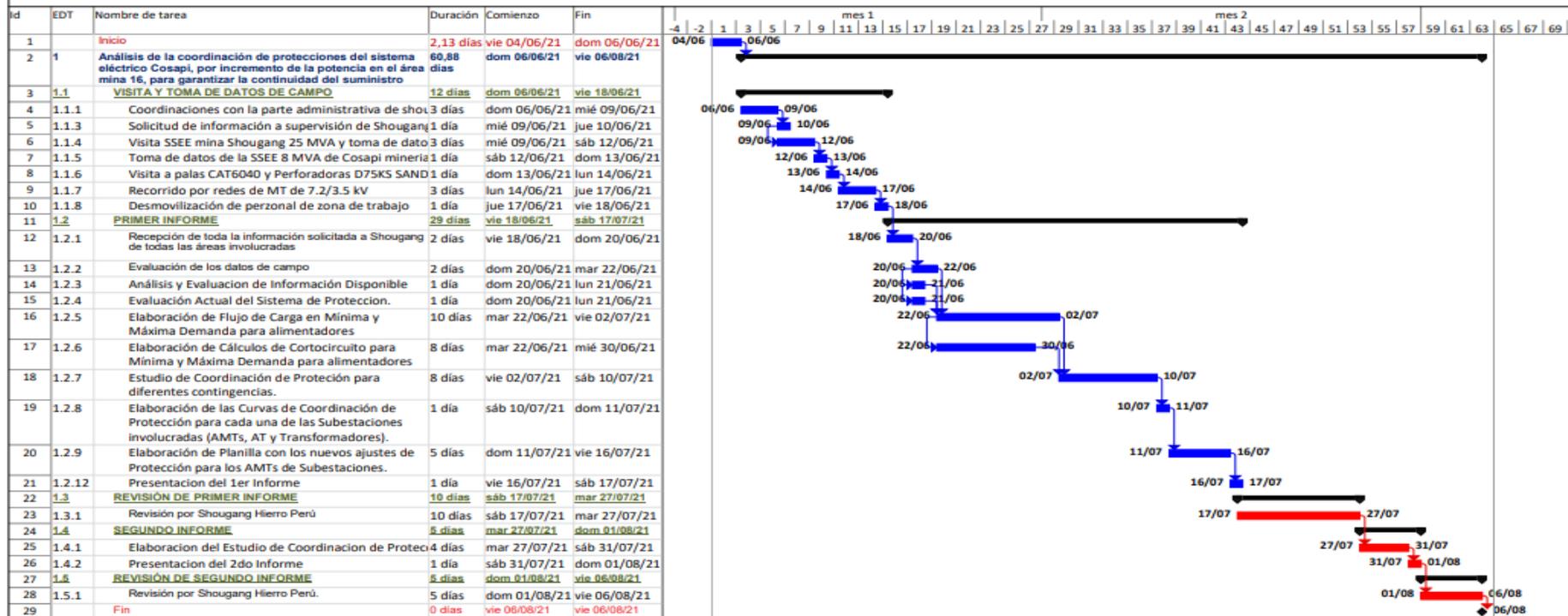
Figura 40. ECP – Cosapi informe

Anexo 5

	CHECKLIST AJUSTES DE RELÉ EN SWITCH HOUSE			SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A			
	ÁREA:	MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	Revisión:		00		
	CODIGO:	SHP - EST - ELC-05-F2	Registro:				
CHECKLIST AJUSTES DE RELÉ EN SWITCH HOUSE							
MARCA:	ELECIN			FECHA:	04.09.2021		
SERIE:	230494						
UBICACIÓN:	MINA 16						
N° SWITCH HOUSE:	04	SALIDA:	01				
FUNCIONES ACTIVAS :	<input checked="" type="checkbox"/> 50P	<input checked="" type="checkbox"/> 51P	<input checked="" type="checkbox"/> 50N	<input checked="" type="checkbox"/> 51N			
	<input type="checkbox"/> 50G	<input type="checkbox"/> 51G	<input type="checkbox"/> OTROS				
NÚMERO DE SWITCH HOUSE :							
FUNCIONES DE PROTECCIÓN		AJUSTES	OBSERVACIONES				
SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA DE FASE (51P)							
- Pickup		2.00 In					
- Curva		ANSI/IEEE E1					
- Dial		1.00					
SOBRECORRIENTE INSTANTANEA DE FASE (50P)							
- Pickup		4.50 In					
- Tiempo		0.03 s					
SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA DE NEUTRO (51N)							
- Pickup		0.025 In					
- Curva		DEFINITE					
- Dial		0.05 s.					
SOBRECORRIENTE INSTANTANEA DE NEUTRO (50N)							
- Pickup		0.25 In					
- Tiempo		0.03 s.					
SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA DE TIERRA (51G)							
- Pickup							
- Curva							
- Dial							
SOBRECORRIENTE INSTANTANEA DE TIERRA (50G)							
- Pickup							
- Tiempo							
COMENTARIOS / RECOMENDACIONES:							
La configuración y prueba se realizaron de forma satisfactoria.							
RESPONSABLE			SUPERVISOR RESPONSABLE				
APELLIDOS :	Ayala Alvaria	DIA:	04	APELLIDOS :	Huanate Callupe	DIA:	05
NOMBRES :	Carlos	MES:	09	NOMBRES :	Miguel Avocel	MES:	09
FIRMA :		AÑO:	2021	FIRMA :		AÑO:	21

Figura 41. Check list de relés tytronic

Análisis de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, por incremento de la potencia en el área mina 16, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico – Cosapi Minería



[Handwritten Signature]

Figura 42. Cronograma de trabajo, análisis de ECP

