

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Evaluación técnica de la conexión de una CSF con sistema BESS
y de un banco de capacitores para la mejora de la tensión en la
mina Catalina Huanca - Ayacucho**

Para obtener el grado de Ingeniero Electricista

Elaborado por

Raúl Alejandro Levano Vergara

 0000-0002-0231-2046

Asesor

Mg Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva

 0000-0002-3335-0926

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Levano Vergara [1]
Referencia/Reference	[1] R. Levano Vergara, " <i>Evaluación técnica de la conexión de una CSF con sistema BESS y de un banco de capacitores para la mejora de la tensión en la mina catalina huanca - Ayacucho</i> " [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	
Referencia/Reference	Levano, R. (2024). <i>Evaluación técnica de la conexión de una CSF con sistema BESS y de un banco de capacitores para la mejora de la tensión en la mina catalina huanca - Ayacucho</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios y a mi familia.

Agradecimientos

A Dios, por haberme dado los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo. A mi esposa Celica por ser ayuda idónea en el cumplimiento de mis objetivos, a mis hijos Danna y Josías por ser mi motivación. A mis padres Víctor y María por su constante apoyo en mi formación y culminación de mi carrera. A mis hermanos Dimas, Victoria y Andrea por estar allí en este camino. A el Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva por su excelente orientación, guía y compromiso en el desarrollo de este trabajo. A el a el Ing. Juan Pablo Bautista Ríos, profesor especialista, y M.Sc. Ing. Estanislao Ubaldo Rosado Aguirre, presidente del jurado, por sus recomendaciones en este trabajo. A la empresa Inel por brindar una parte del financiamiento, acceso a sus *softwares* de simulación y documentación necesaria para la implementación de este trabajo. A la Universidad Nacional de Ingeniería y sus docentes por su excelente labor de enseñanza para un mejor presente.

Resumen

Las propuestas de solución para el cumplimiento de los indicadores de desempeño en instalaciones de cargas con punto de conexión muy distantes al sistema han aumentado, esto debido a la emergente tecnología de equipos eléctricos/electrónicos con objetivo de un desarrollo sostenible, sin embargo, es necesaria una evaluación técnica y una comparativa entre estos nuevos dispositivos con los ya existentes. Este trabajo de suficiencia profesional de pregrado presenta una evaluación técnica de conexión de una central solar fotovoltaica con sistema de almacenamiento de energía y de un banco de capacitores en derivación en las instalaciones de una carga minera, para el cumplimiento de los indicadores de desempeño exigido por la normativa PR-20 del COES en Perú. Se identifica que el principal problema en las instalaciones de la unidad minera es la caída de la tensión, donde se presenta los desafíos por cumplir con lo exigido por la normativa por parte de estas dos nuevas tecnologías emergentes.

Palabras clave — Compensación reactiva, Central Solar Fotovoltaica, BESS, Banco de capacitores, Carga Minera.

Abstract

The proposed solutions for compliance with performance indicators in charging installations with connection points very distant from the system have increased, due to the emerging technology of electrical/electronic equipment with the objective of sustainable development, however, it is necessary a technical evaluation and a comparison between these new devices with the existing ones. This undergraduate professional proficiency work presents a technical evaluation of the connection of a photovoltaic solar power plant with an energy storage system and a bank of shunt capacitors in the facilities of a mining load, for compliance with the performance indicators required by the PR-20 regulations of the COES in Peru. It is identified that the main problem in the mining unit facilities is the drop in voltage, where the challenges arise in complying with the requirements of the regulations for these two new emerging technologies.

Keywords — Reactive compensation, Photovoltaic Solar Power Plant, BESS, Capacitor bank, Mining Load.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xv
CAPÍTULO I. PARTE INTRODUCTORIA DEL TRABAJO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.2.1 Situación problemática.....	1
1.2.2 Problema por resolver.....	2
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Antecedentes investigativos	2
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
2.1 Marco teórico.....	5
2.1.1 Sistema Fotovoltaico.....	7
2.1.2 Sistema BESS	11
2.1.3 Acoplamiento entre la energía fotovoltaica y el SBESS	12
2.1.4 Caída de tensión vs potencia de carga	14
2.1.5 Cumplimiento con las Normativas	16
2.1.6 PR-20.....	16
2.1.7 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).....	19
2.2 Marco conceptual	20
2.2.1 Niveles de tensión utilizados	20
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	21
3.1 Descripción del Proyecto	21

3.1.1	Antecedentes	21
3.1.2	Descripción del Trabajo de Suficiencia.....	23
3.1.3	Ubicación del Proyecto	23
3.1.4	Características Generales del Proyecto	25
3.1.5	Proyección de la demanda.....	38
3.2	Escenarios de análisis del proyecto.....	39
3.2.1	Avenida Máxima	39
3.2.2	Avenida Media	40
3.2.3	Avenida Mínima	40
3.2.4	Estiaje Máxima.....	40
3.2.5	Estiaje Media	40
3.2.6	Estiaje Mínima	40
3.3	Conexión del Proyecto.....	40
3.3.1	Alternativa 0.....	41
3.3.2	Alternativa 1	41
3.3.3	Alternativa 2.....	41
3.3.4	Alternativa 3.....	41
3.3.5	Alternativa 4.....	42
3.3.6	Alternativa 5.....	42
3.3.7	Alternativa 6.....	42
3.3.8	Alternativa 7.....	42
3.4	Premisas para los estudios eléctricos	51
3.4.1	Elección de conexión para el BC.....	51
3.4.2	Escenario de operación del SBESS	51
3.4.3	Elementos eléctricos en análisis	52
3.4.4	Herramienta computacional	55
3.4.5	Flujograma de la metodología.....	55
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		57

4.1	Análisis de flujo de carga	57
4.1.1	Alternativa 0	57
4.1.2	Alternativa 1	58
4.1.3	Alternativa 2	60
4.1.4	Alternativa 3	61
4.1.5	Alternativa 4	62
4.1.6	Alternativa 5	64
4.1.7	Alternativa 6	65
4.1.8	Alternativa 7	66
4.1.9	Resumen de resultados	68
4.1.10	Discusión de resultados	72
	Conclusiones	73
	Recomendaciones	75
	Referencias bibliográficas	76
	Anexos	78

Lista de Tablas

Tabla 1	Tensiones nominales de las principales S.E. y sus límites permitidos por el PR-20.	20
Tabla 2	Coordenadas geográficas del proyecto.....	24
Tabla 3	Características principales del Inversor.....	25
Tabla 4	Datos de la CSF Pampahuasi.....	26
Tabla 5	Datos de la CSF Acolla.....	26
Tabla 6	Datos de sistema BESS 1 Pampahuasi.	26
Tabla 7	Datos de sistema BESS 2 Acolla.	27
Tabla 8	Datos de los transformadores del proyecto.....	27
Tabla 9	Datos de las líneas del proyecto.	27
Tabla 10	Bloque de Demandas en los escenarios del COES.	38
Tabla 11	Demanda Catalina Huanca – Año 2023 – Proyectada.	38
Tabla 12	Demanda Catalina Huanca – Año 2023 – Ajustada para simulación.....	39
Tabla 13	Demanda Catalina Huanca – Año 2026 – Proyectada.	39
Tabla 14	Demanda Catalina Huanca – Año 2026 – Ajustada para simulación.....	39
Tabla 15	Subestaciones en análisis.....	53
Tabla 16	Conductores en análisis.....	53
Tabla 17	Transformadores en análisis.....	53
Tabla 18	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.....	57
Tabla 19	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.....	58
Tabla 20	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.....	58
Tabla 21	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.....	59

Tabla 22	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.....	59
Tabla 23	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.....	59
Tabla 24	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.....	60
Tabla 25	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.....	60
Tabla 26	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.....	61
Tabla 27	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.....	61
Tabla 28	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.....	62
Tabla 29	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.....	62
Tabla 30	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.....	63
Tabla 31	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.....	63
Tabla 32	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.....	63
Tabla 33	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.....	64
Tabla 34	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.....	64
Tabla 35	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.....	65

Tabla 36	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.....	65
Tabla 37	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.....	66
Tabla 38	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.....	66
Tabla 39	Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.....	67
Tabla 40	Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.....	67
Tabla 41	Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.....	67

Lista de Figuras

Figura 1	Desglose de generación de CAISO para el 21 de abril, 2019	6
Figura 2	Diseño de un array fotovoltaico con dos string.....	8
Figura 3	Punto máximo de potencia (MPP) para diferentes temperaturas del módulo. ..	10
Figura 4	Configuración típica para sistemas independientes de suministro de alimentación de CA.....	10
Figura 5	Inversor PWM trifásico.....	11
Figura 6	Configuración de la planta fotovoltaica-BESS con acoplamiento de CA.....	13
Figura 7	Tensión vs carga para diferentes longitudes de línea en un sistema de dos barras.....	15
Figura 8	Tensión vs carga para diferentes pasos del BC en un sistema de dos barras.	16
Figura 9	Ubicación del Proyecto.	24
Figura 10	Líneas y S.E. asociadas al proyecto.	25
Figura 11	Principales datos del inversor FV Pampahuasi en el software PowerFactory.....	28
Figura 12	Principales datos del convertidor Inverter BESS Bolivar en el software PowerFactory.....	29
Figura 13	Principales datos del transformador TR-FV Pampahuasi en el software PowerFactory.....	30
Figura 14	Principales datos del transformador TR-BESS Bolivar en el software PowerFactory.....	31
Figura 15	Principales datos del transformador TR-BESS Jeronimo en el software PowerFactory.....	32
Figura 16	Principales datos del transformador TR-FV Acolla en el software PowerFactory.....	33

Figura 17 Principales datos del conductor San Jeronimo-Pampahuasi en el software	
PowerFactory.....	34
Figura 18 Principales datos del conductor Bolivar-Pampahuasi en el software	
PowerFactory.....	35
Figura 19 Principales datos del conductor Bolivar-Acolla en el software PowerFactory. ..	36
Figura 20 Principales datos del capacitor shunt BC Jeronimo en el software	
PowerFactory.....	37
Figura 21 Diagrama unifilar – Alternativa 0.	43
Figura 22 Diagrama unifilar – Alternativa 1.	44
Figura 23 Diagrama unifilar – Alternativa 2.	45
Figura 24 Diagrama unifilar – Alternativa 3.	46
Figura 25 Diagrama unifilar – Alternativa 4.	47
Figura 26 Diagrama unifilar – Alternativa 5.	48
Figura 27 Diagrama unifilar – Alternativa 6	49
Figura 28 Diagrama unifilar – Alternativa 7.	50
Figura 29 Escenarios de operación de demanda ajustada para la Unidad minera	
Catalina Huanca.	52
Figura 30 Elementos eléctricos en análisis.	54
Figura 31 Flujograma de la metodología.....	56
Figura 32 Perfil de tensión del caso base y alternativas para el año 2023 y 2026.....	69
Figura 33 Cargabilidad en líneas del caso base y alternativas para el año 2023 y	
2026.....	70
Figura 34 Cargabilidad en transformadores del caso base y alternativas para el año	
2023 y 2026.	71

Introducción

En los últimos años se ha presentado una creciente conexión de generación con recursos de energías renovables sostenibles en los sistemas eléctricos de cada país. Las empresas en el Perú han adoptado este nuevo escenario de conexión de Centrales de Generación No Convencional (CGNC) interconectados con convertidores electrónicos, como lo son los generadores eólicos y fotovoltaicos, esto debido al potencial de recursos solar y eólico que presentan ciertas zonas del territorio nacional.

La autogeneración considerando CGNC es atractiva para muchas empresas mineras, esto porque reduce los costos de energía eléctrica debido a la alta demanda presente y por la proyección de esta. Además, generalmente la ubicación de estas instalaciones mineras no se encuentra cercanas a un punto de conexión del sistema eléctrico. Este es el caso de la unidad minera Catalina Huanca ubicada en el departamento de Ayacucho, donde sus instalaciones se encuentran distantes del punto de conexión más cercano al sistema eléctrico interconectado y se prevé un crecimiento de su demanda siendo así que se presenta una fuerte caída de tensión en sus instalaciones.

Para el mejoramiento de los indicadores de desempeño en las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca, se está evaluando el proyecto de conexión de una central solar fotovoltaica con sistema de almacenamiento de energía eléctrica, además, este trabajo evalúa la conexión de un banco de capacitores para tal fin.

CAPÍTULO I. PARTE INTRODUCTORIA DEL TRABAJO

1.1 Generalidades

Este trabajo es importante porque brinda una solución para el correcto funcionamiento de los equipos de las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca, al mejorar el desempeño de las variables de estado de las tensiones en las barras del proyecto, este proyecto está conectado al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Además, este trabajo puede ser usado como una alternativa de solución para los diferentes proyectos que presenten problemas similares.

Este trabajo de estudio de evaluación de la conexión de la Central Solar Fotovoltaica (CSF) con Sistema BESS (SBESS) y conexión de Banco de Capacitores (BC) en las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca se realizará cumpliendo con los lineamientos del Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN” (en adelante “PR-20”).

1.2 Descripción del problema de investigación

1.2.1 Situación problemática

La unidad minera “Catalina Huanca” está políticamente ubicada en el distrito de Canaria, provincia de Víctor Fajardo en el departamento de Ayacucho” (Ministerio de Energía y Minas, 2019). El principal problema que presenta la unidad minera “Catalina Huanca” la cual está conectada en el SEIN en la subestación CHILCAYOC60 es la caída de tensión en sus barras, esto debido principalmente a que la subestación donde se conecta es parte de un área eléctrica que puede ser considerada como radial y de muy larga longitud, la S.E. ABANCAY NUEVA 138 puede ser considerada el inicio de esta conexión radial.

1.2.2 Problema por resolver

Existe una fuerte caída de tensión en el presente año, en la subestación donde se conecta la unidad minera “Catalina Huanca”, se observa también que existe un crecimiento de la demanda para los años venideros en el proyecto, por lo tanto, el problema de caída de tensión se agravará, este problema puede llegar a ser perjudicial para todo el SEIN, pues, debido a este fenómeno, se prevé que existirá un punto donde el sistema perderá estabilidad de tensión.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Encontrar una solución ante la caída de tensión en las barras de las instalaciones eléctricas de la unidad minera Catalina Huanca a través de la evaluación de diferentes alternativas de conexión de una CSF con SBESS y alternativa de conexión de un BC.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar la subestación donde se conectará la CSF y el SBESS.
- Seleccionar el horario de funcionamiento para la carga y descarga del SBESS.
- Seleccionar la barra donde se conectará el banco de capacitores.
- Seleccionar la mejor alternativa para la mejora de la tensión en las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca.

1.4 Antecedentes investigativos

A continuación, se presentan trabajos realizados por diferentes autores que proponen metodologías de aplicaciones de sistemas fotovoltaicos y sistemas BESS.

En (Bass et al., 2016) se describe un método para determinar las capacidades de potencia y energía que un sistema de almacenamiento de energía necesitaría para acomodar un nivel de penetración fotovoltaica particular dentro de un alimentador de

distribución, o, por el contrario, la cantidad de fotovoltaica que podría instalarse en un alimentador con un mínimo Inversión en capacidades del SBESS. Este método determina las capacidades de SBESS requeridas para compensar las fluctuaciones inter-horaria de carga e inter-horaria de fotovoltaica para lograr un perfil de potencia de alimentación plana.

En (Wang et al., 2018) un método en tiempo real está diseñado para coordinar a los inversores fotovoltaicos y SBESS para la regulación de tensión. Para mantenerse al día con las fluctuaciones rápidas de la potencia fotovoltaica, este método se ejecuta en cada ciclo de control de 5 s. Además, el poder de carga/descarga del SBESS se retira adaptivamente por un método de ajuste activo para evitar el agotamiento de energía prematura del SBESS a largo plazo. Finalmente, a través de un esquema de control de margen de voltaje, el *Step Voltage Regulator* (SVR) aguas arriba y los inversores fotovoltaicos aguas abajo y SBESS se coordinan para la regulación de tensión sin ninguna comunicación. Este trabajo se validó a través de una plataforma de cosimulación digital MATLAB en tiempo real, y proporciona ideas valiosas y estrategias aplicables tanto para los servicios públicos como para los fotovoltaicos para la integración de la granja fotovoltaica a gran escala en redes rurales. La efectividad del enfoque propuesto se demuestra con un campo diurno típico de datos registrados. Los resultados muestran que las violaciones de voltaje en el punto de acoplamiento común están considerablemente mitigadas.

En (Li & Wu, 2022) se identifica el tamaño óptimo de los paneles fotovoltaicos, la capacidad óptima de BESS y la programación óptima de la carga/descarga de BESS, de modo que se minimiza el costo general a largo plazo, incluidas las facturas de servicios públicos como el sistema fotovoltaico. La optimización se realiza considerando una gran cantidad de parámetros, como el uso de energía, el costo de energía, el clima, la ubicación geográfica, la inflación y el costo, la eficiencia y los efectos de envejecimiento de los paneles solares y el SBESS. El problema se formula como un problema de programación no lineal de entero mixto (MINLP) durante el horizonte temporal que cubre todos los ciclos de vida de los paneles solares en el orden de diez años o más. También se propone un

nuevo algoritmo de baja complejidad utilizando una programación dinámica, donde se muestra que el problema de MINLP puede transformarse en uno que satisfaga la optimización principal de Bellman. La aplicación de los algoritmos recientemente desarrollados en datos del mundo real de un usuario comercial en San Francisco revela que el sistema logra el punto de equilibrio en el mes 66 y logra una reducción del 29.3% en el costo total del sistema.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico

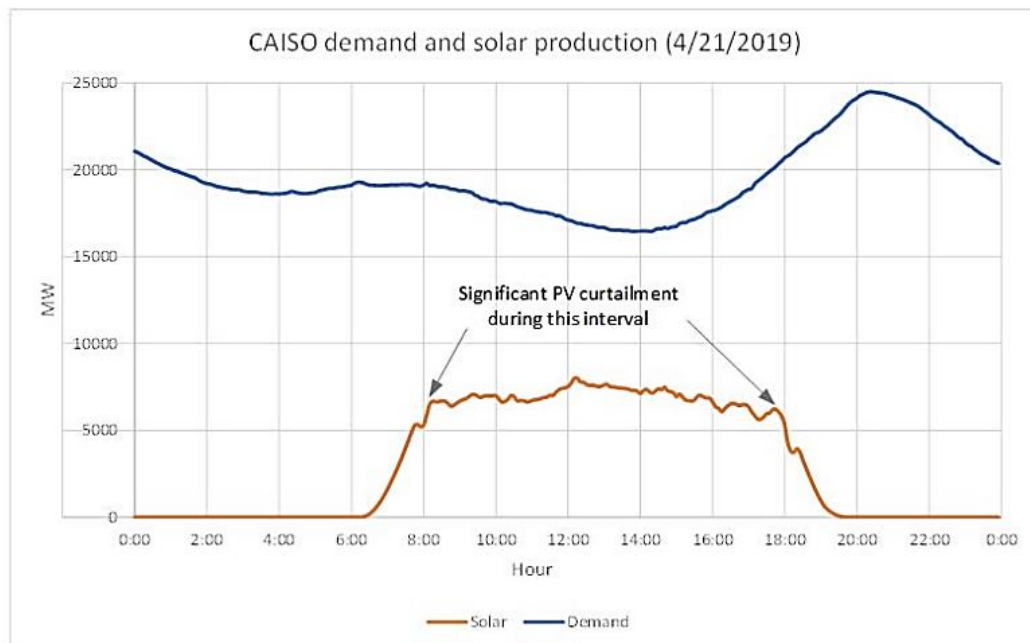
Desde el año 2010 hasta el año 2015 la energía fotovoltaica ha crecido en promedio un 60% de tasa anual, en estos años ha superado en un tercio a la capacidad instalada de energía eólica acumulada, y se está convirtiendo de forma acelerada en una importante fuente de energía eléctrica en algunas regiones y sistema de energía eléctrica. Una de las principales razones por lo cual esto ha ocurrido es porque los fabricantes de módulos fotovoltaicos han conseguido reducir su costo. Otro punto importante ha sido la evolución de los convertidores de potencia fotovoltaicos de los inversores, donde se ha conseguido aumentar la confiabilidad y la eficiencia para la extracción de potencia de los módulos (Kouro et al., 2015).

Los sistemas de conversión de energía solar fotovoltaica han tenido un gran crecimiento de potencia total acumulativa, aproximadamente se tenía 1,2 GW en el año 1992 y en el año 2013 aproximadamente se tiene un total de 136 GW (36 GW solo durante 2013) (Kouro et al., 2015). Este fenómeno ha sido posible debido a varios factores que trabajan juntos para empujar la energía fotovoltaica a hacer frente a una posición importante hoy (y potencialmente una posición fundamental en el futuro cercano). La reducción de costos y el aumento de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos son los principales factores, también el impulso por encontrar energías limpias alternativas (no basadas en combustibles fósiles), además de una mayor conciencia del cuidado del medio ambiente y regulaciones políticas favorables de los gobiernos locales (estableciendo tarifas de alimentación diseñadas para acelerar la inversión en tecnologías de energía renovable) (Kouro et al., 2015). Sin embargo, un factor limitante clave para el despliegue de energía fotovoltaica es la reducción debido a la sobregeneración y otras limitaciones. Un ejemplo de esto tuvo lugar el 21 de abril de 2019, como se muestra en la Figura 1, cuando se tuvo

que reducir hasta 4,5 GW de generación fotovoltaica en California debido a la sobregeneración (Gevorgian et al., 2013).

Figura 1

Desglose de generación de CAISO para el 21 de abril, 2019



Nota: fuente (Gevorgian et al., 2013).

El almacenamiento de energía puede desempeñar un papel crucial para mantener la reducción de la energía fotovoltaica en niveles aceptables, lo que permite la integración rentable de mayores cantidades de generación fotovoltaica. El costo de los sistemas de almacenamiento de energía basadas en baterías ha disminuido drásticamente en los últimos años, presentando una oportunidad para que el almacenamiento de energía no solo realice las funciones que actualmente cumplen los generadores convencionales que atienden la demanda máxima de electricidad, sino también para brindar nuevas oportunidades para la hibridación económica con la generación variable, incluyendo la FV. El uso del almacenamiento puede cambiar y personalizar la "forma" de la producción fotovoltaica para adaptarse mejor a la carga y la demanda máxima en muchos sistemas de energía, hacer que la generación fotovoltaica sea más flexible y facilitar niveles muy altos de generación fotovoltaica sin restricciones (Gevorgian et al., 2013).

2.1.1 Sistema Fotovoltaico

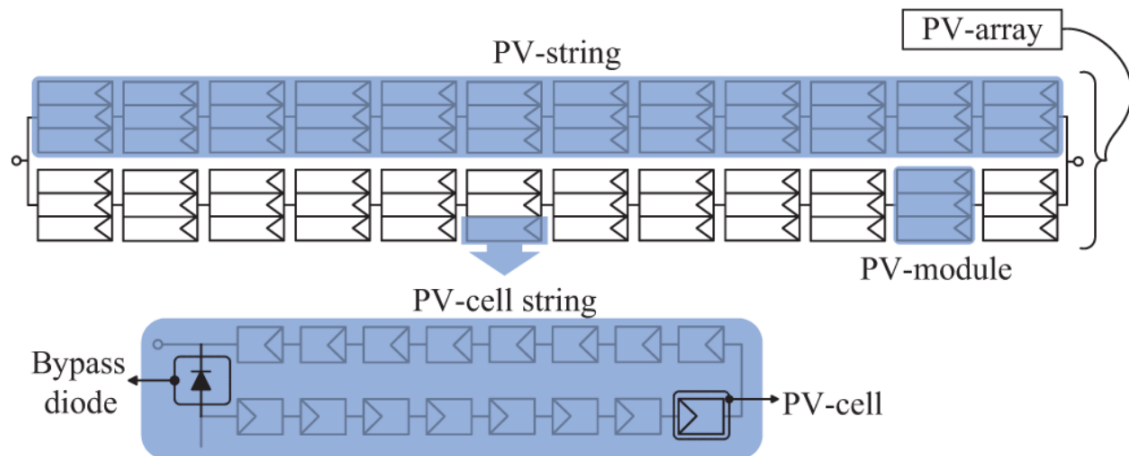
El objetivo de un sistema Fotovoltaico es el de convertir de manera eficiente la luz solar en electricidad, siendo la celda fotovoltaica el dispositivo electrónico más básico de un sistema fotovoltaico. El conjunto de celdas fotovoltaicas forma paneles o matrices (*arrays*). En los terminales de los dispositivos fotovoltaicos se puede conectar directamente cargas pequeñas (sistemas de iluminación y motores de corriente continua). Los convertidores son usados para aplicaciones más sofisticadas como regulación de tensión y corriente, o para controlar el flujo de potencia hacia el sistema conectado, sin embargo, su función principal es rastrear el Punto Máximo de Potencia (por sus siglas en inglés MPP). (Villalva et al., 2009).

Los dispositivos fotovoltaicos tienen una característica definida I-V (corriente vs tensión) la cual es una curva no lineal, estas se obtienen a partir de varios parámetros ajustables, siendo que estos parámetros son obtenidos de forma experimental. Es importante considerar este modelo matemático del dispositivo fotovoltaico cuando se realiza un estudio del análisis de la respuesta dinámica de los convertidores, o también en la búsqueda de algoritmos que consigan de manera efectiva el Seguimiento del MPP (por sus siglas en inglés MPPT), y principalmente en la implementación en *software* que consigan simular al sistema fotovoltaico considerando sus componentes (Villalva et al., 2009).

Un dispositivo fotovoltaico puede ser cualquier elemento que convierta la luz solar en electricidad. El dispositivo fotovoltaico elemental es la celda fotovoltaica. Un conjunto de celdas conectadas forma un panel. Los paneles generalmente se componen de celdas en serie para obtener grandes voltajes de salida. Los paneles con grandes corrientes de salida se logran aumentando el área de superficie de las celdas o conectando las celdas en paralelo. Una matriz fotovoltaica puede ser un panel o un conjunto de paneles conectados en serie o paralelo para formar grandes sistemas fotovoltaicos (Villalva et al., 2009). A continuación, en la Figura 2 se presenta el diseño y la composición de un *array* fotovoltaico.

Figura 2

Diseño de un array fotovoltaico con dos string.



Nota: fuente (Villalva et al., 2009).

El *string* fotovoltaico conecta módulos fotovoltaicos para obtener una potencia adecuada, el módulo fotovoltaico conecta células solares para obtener una tensión adecuada, las células solares fotovoltaicas se conectan típicamente en serie en módulos solares para producir un voltaje adecuado. Los módulos están conectados en serie para obtener un voltaje más alto, donde los módulos solares fotovoltaicos que se conectan en serie llamados *String*. Los *strings* solares fotovoltaicos están conectados en paralelo para obtener una corriente más alta. La matriz solar fotovoltaica (grupo de *strings*) es una interconexión del número de series de módulos solares fotovoltaicos y paralelo. Estrictamente hablando, un array solar fotovoltaico solo abarca el conjunto de módulos solares y no incluye todos los demás hardware (inversor) (Kasim & Hussain, 2020). Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por muchos elementos entre los principales son: el almacenamiento de batería, el controlador de carga, el inversor, Generadores auxiliares, Dimensionamiento del sistema, etc. (Luque & Hegedus, 2003). A continuación, se presenta una descripción de los inversores.

- Inversor

Debido a que el costo de producción de la electricidad FV es muy superior al costo de la energía eléctrica convencional, la eficiencia de la conversión es predominante en la economía del sistema fotovoltaico. Por tanto, la alta eficiencia para los inversores fotovoltaico es un requisito. A continuación, se presentan las diferentes configuraciones utilizadas para los inversores (Luque & Hegedus, 2003):

- Sistemas conectados a la red
- Sistemas independientes con baterías recargables
- Sistemas de bombeo sin baterías de almacenamiento

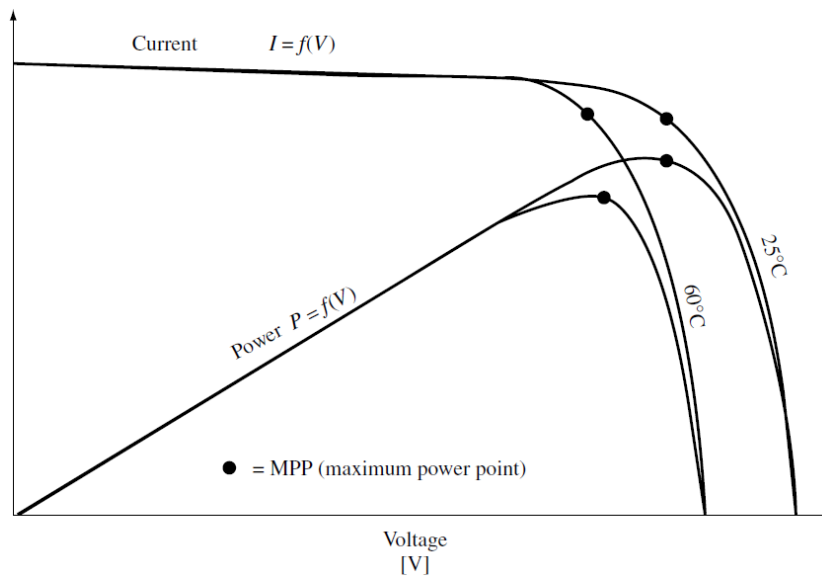
Este trabajo se enfoca en los Inversores conectados a la red. Un proyecto de conexión de sistema fotovoltaico a la red inicia con la correcta elección del inversor, éste determina el nivel de tensión que tendrá el sistema en el lado de CC, de esta forma la configuración del generador solar depende de las características de entrada del inversor.

Después del generador solar, el segundo componente más importante del sistema fotovoltaico es el inversor. El objetivo del inversor es convertir la corriente continua a corriente alterna a una determinada frecuencia (50 o 60 Hz). Conforme fluye la corriente a través del inversor, sus propiedades influyen en el comportamiento y operación del sistema fotovoltaico. (Luque & Hegedus, 2003).

Como primer paso, el inversor debe permitir que el generador fotovoltaico funcione en el MPP ajustando el voltaje de operación correspondiente como se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Punto máximo de potencia (MPP) para diferentes temperaturas del módulo.

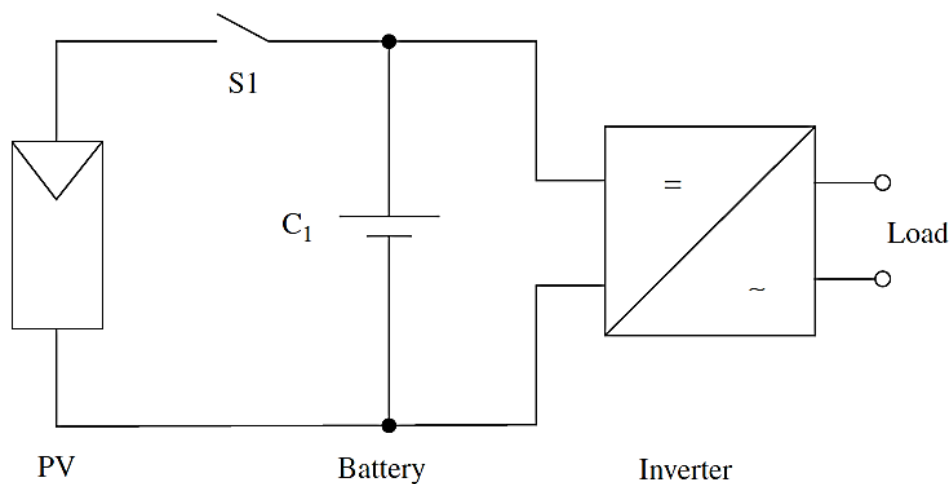


Nota: fuente (Luque & Hegedus, 2003).

Básicamente los inversores se encargan de la conversión de la corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) por inversión de la polaridad de CC en el ritmo de la frecuencia de CA deseada como se presenta en la Figura 4.

Figura 4

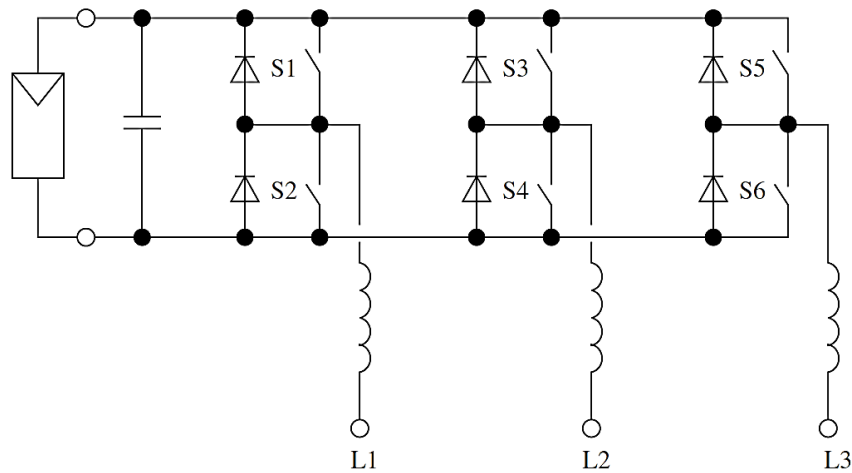
Configuración típica para sistemas independientes de suministro de alimentación de CA.



Nota: fuente (Luque & Hegedus, 2003).

En la Figura 5 se presenta una configuración trifásica para obtener una señal de salida en AC.

Figura 5
Inversor PWM trifásico.



Nota: fuente (Luque & Hegedus, 2003).

Este tipo de inversor normalmente se adapta a un rango de potencia superior a 5 kW. Los esfuerzos de conexión en el lado de CA son algo más altos ya que se deben tratar tres terminales.

2.1.2 Sistema BESS

Para que los sistemas fotovoltaicos puedan independizarse, es necesario un sistema de almacenamiento de energía, esto para compensar con energía eléctrica los períodos sin irradiación solar suficiente, como durante la noche o durante el clima turbio. Hasta el momento, la batería de acumulador electroquímico clásico es la mejor forma de almacenamiento de energía para un sistema fotovoltaico, principalmente porque su característica de CC tiene una conexión directa entre el generador fotovoltaico y la batería, de esta forma no es necesario ninguna conversión o transformación de la energía fotovoltaica suministrada a la batería (Luque & Hegedus, 2003).

Además de la conversión eficiente de la CC a CA, la electrónica del inversor incluye componentes que son responsables de la forma como opera diariamente. Éste se asegura de que la operación empiece a la hora adecuada de la mañana, es decir, apenas cuando

las células solares entregan suficiente energía para la operación. Cuando se tienen intentos de inicio fallidos, esto implica consumo de la energía del sistema eléctrico, para evitar esto es necesario tener buenos controles.

En el periodo del día, el punto de trabajo óptimo que sigue la curva característica I-V depende directamente de las fluctuaciones de la radiación solar y la temperatura del módulo. El inversor se encarga del seguimiento del MPP además del reajuste continuo al punto de trabajo más favorable gracias a que su control inteligente incluye estas funciones.

En el inversor también se integran los dispositivos de protección, estos se encargan de enviar señales para la desconexión automática del sistema en caso de fallas en la red o en el mismo generador solar. Actualmente, las diferentes marcas y modelos de inversores incluyen equipos registradores de datos y computadoras de medición, los cuales registran continuamente la potencia, la tensión, la corriente y otros parámetros operativos. Estos datos son leídos a intervalos de tiempo y pueden ser analizados en una computadora portátil gracias a la interfaz que tiene esta con el inversor (Luque & Hegedus, 2003).

2.1.3 Acoplamiento entre la energía fotovoltaica y el SBESS

El grado de acoplamiento entre la energía fotovoltaica y el almacenamiento (tanto física como operativamente) se puede dividir en cuatro categorías distintas (Gevorgian et al., 2013):

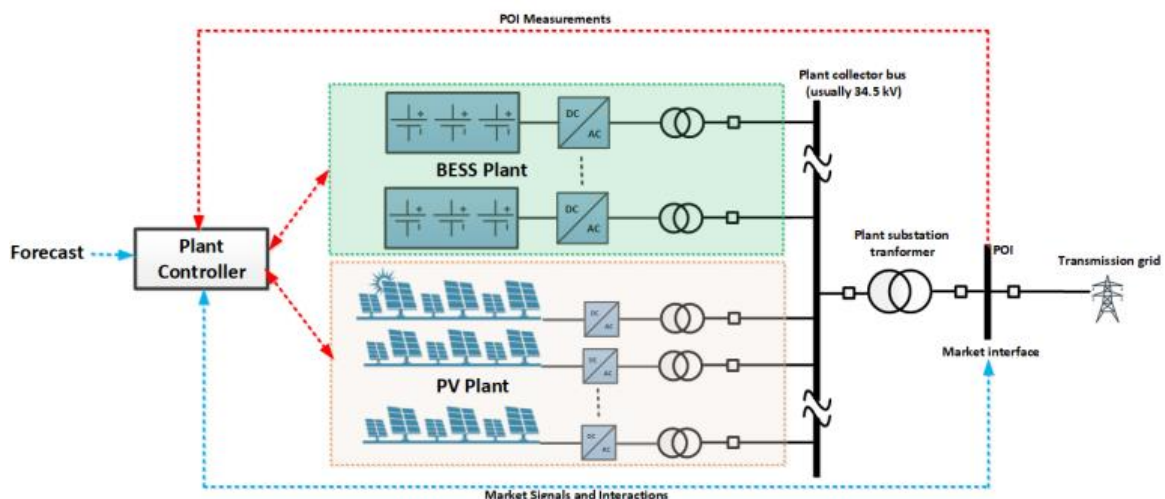
- Independiente: la energía fotovoltaica y la batería no están colocadas y no tienen un punto común de conexión, y la energía almacenada en la batería podría provenir de la energía fotovoltaica o de la red.
- Acoplamiento de CA: la energía fotovoltaica y la batería están colocadas y tienen un punto común de conexión en la subestación de la planta, y la energía almacenada en la batería puede provenir de la energía fotovoltaica o de la red.
- Con acoplamiento de CC: la batería está conectada al lado de CC de los inversores fotovoltaicos y la energía almacenada en la batería podría provenir de la red o de la fotovoltaica.

- Acoplamiento estrecho de CC: la batería está conectada al lado de CC de los inversores fotovoltaicos y la energía almacenada en la batería solo puede provenir de la energía fotovoltaica.

Cada configuración de fotovoltaica más almacenamiento presentado anteriormente tiene ventajas y desventajas. Muchos análisis de sistemas fotovoltaicos más almacenamiento se han centrado en los costos y la minimización de costos. Se ha realizado una cantidad suficiente de análisis sobre la evaluación de las métricas de costo de energía nivelado para los sistemas de almacenamiento fotovoltaico más almacenamiento y sobre la evaluación del rendimiento económico de los sistemas fotovoltaicos-SBESS en términos de su relación costo/beneficio. En la Figura 6 se presenta sistemas fotovoltaicos-SBESS acoplados a CA en los que el fotovoltaico y BESS están ubicados y comparten un punto de acoplamiento común (PCC). Los sistemas fotovoltaico y BESS no comparten ningún componente físico (como inversores, transformadores, protección o equipos de medición de energía), pero tienen un controlador común que puede operar tanto fotovoltaico como BESS como una sola planta o como dos sistemas independientes (Gevorgian et al., 2013).

Figura 6

Configuración de la planta fotovoltaica-BESS con acoplamiento de CA.



Nota: fuente (Gevorgian et al., 2013).

Como recursos ubicados, la generación fotovoltaica y BESS de la Figura 6 comparten naturalmente la misma infraestructura (subestación, punto de interconexión (POI), interconexiones) y un controlador a nivel de planta que opera ambas tecnologías como un activo a escala de servicios públicos que interactúa con una única interfaz de mercado (Gevorgian et al., 2013).

2.1.4 *Caída de tensión vs potencia de carga*

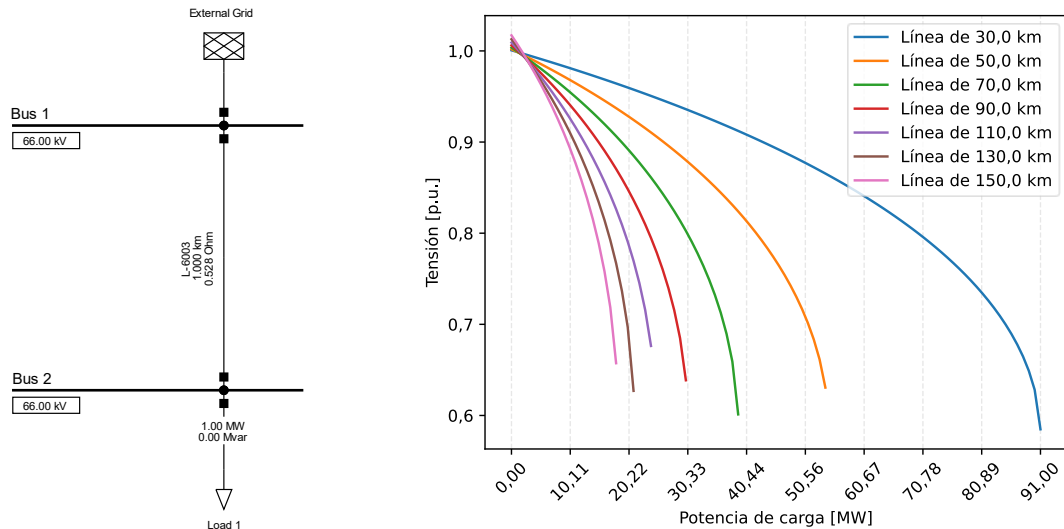
Para la transmisión de potencia reactiva se requiere de una diferencia de magnitud de tensión (esta diferencia debe ser muy estrecha), el hecho de que exista esta diferencia de magnitud de tensión indica que hay elementos que consumen potencia reactiva como son las líneas y cargas, entre otros.

La caída de tensión en un extremo aguas abajo de una línea depende de la distancia eléctrica que existe entre ambos extremos de la línea y de la carga conectada en el extremo aguas abajo de la línea, esto porque la longitud de la línea es un multiplicador a su consumo de potencia reactiva, y la carga también consume potencia reactiva.

En la Figura 7 (a) se presenta un sistema de dos barras conformado principalmente por una carga y una línea, en la Figura 7 (b), se presenta, para diferentes longitudes de línea, el comportamiento de la magnitud de la tensión de la barra donde se conecta la carga, ante la variación de la demanda de la carga.

Figura 7

Tensión vs carga para diferentes longitudes de línea en un sistema de dos barras.



(a) Sistema en análisis.

(b) Tensión vs carga para diferentes longitudes de línea.

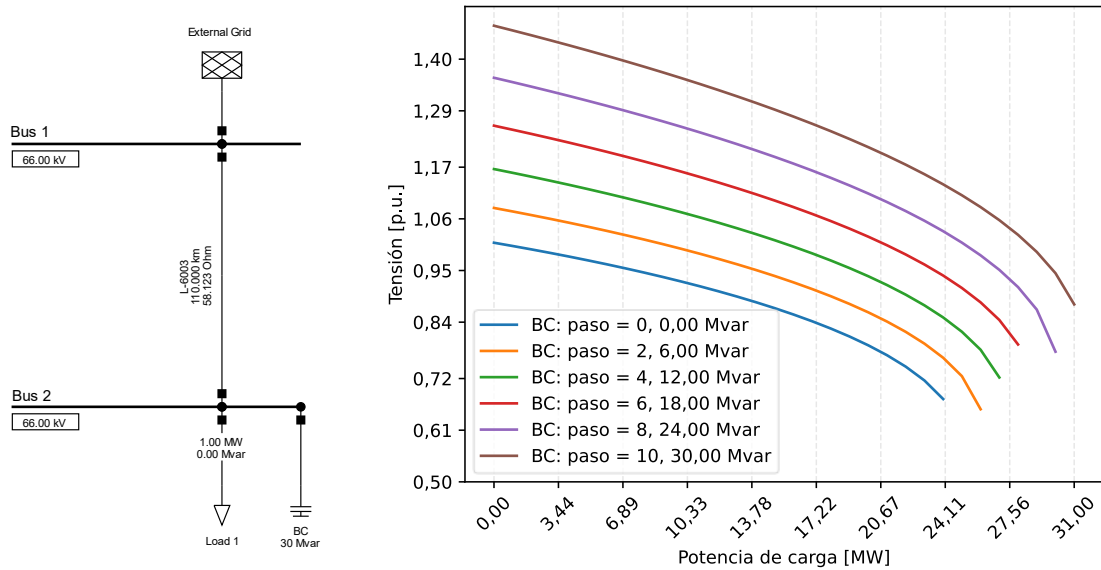
En la Figura 7 (b), se observa que cuando aumenta la demanda de la carga, la tensión cae, verificándose el efecto de esta en los niveles de magnitud de tensión. También se verifica que la longitud de la línea tiene un efecto importante en la caída de la magnitud de la tensión, siendo que cuando existe carga conectada, para mayores longitudes de línea se presentan mayores pendientes de caída de la tensión, siendo así que las tensiones caen más rápidamente, es decir, la tasa de cambio de la variación de la tensión es mayor a mayor longitud de línea.

Para amortiguar la caída drástica de la magnitud de la tensión, existen dispositivos de compensación reactiva, como son los bancos de capacitores, los compensadores síncronos, entre otros.

Por ejemplo, sea que en el sistema presentado en la Figura 7 (a) se instala un BC en la barra Bus 2, conforme se presenta en la Figura 8 (a). Tomando el caso donde la longitud de la línea es de 110 km, se verifica el comportamiento de la magnitud de la tensión para diferentes pasos del BC.

Figura 8

Tensión vs carga para diferentes pasos del BC en un sistema de dos barras.



(a) Sistema en análisis.

(b) Tensión vs carga para diferentes longitudes de línea.

En la Figura 8 (b) se verifica que la compensación reactiva del BC ocasiona un aumento considerable de la magnitud de la tensión, proporcionando así, mayor capacidad de demanda para la carga. Sin embargo, el hecho de tener el BC conectado en el sistema sin o con poca demanda de carga, ocasionan magnitudes de tensiones muy elevadas, pero esto se soluciona operando los taps del BC.

2.1.5 Cumplimiento con las Normativas

Para el desarrollo del estudio con alternativas de conexión para una CSF con SBESS y conexión de BC, se ha considerado el cumplimiento de las siguientes normativas:

- Procedimientos del COES.
 - PR-20.
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)

2.1.6 PR-20

En este procedimiento, en su capítulo 4 del Anexo 1, se presenta los “requisitos técnicos de conexión de las instalaciones de Centrales de Generación No Convencional

(CGNC) con Recursos Eléctricos Renovables (RER), cuya tecnología no utiliza un generador síncrono conectado directamente o mediante un transformador al SEIN, con potencias iguales o mayores a 500 kW” (COES, n.d.). El (COES, n.d.) establece como criterio básico para la conexión de las CGNC, que, en la barra o punto de conexión, la potencia total nominal de las CGNC no debe ser mayor al 5% de la potencia de cortocircuito medida en ese punto, sin embargo, esta condición puede ser superada dependiendo de la capacidad que tenga el sistema de control y la instalación, siendo que esta premisa se verificará en los estudios de Pre-Operatividad y Operatividad del Proyecto. En ese capítulo se describen las especificaciones para el control de potencia activa, control de potencia reactiva, control de frecuencia, control de tensión, continuidad de suministro ante contingencias severas, calidad de la tensión, sistemas de protección y sistemas de comunicación y control externo (COES, n.d.), de los cuales en este trabajo no se tomarán en cuenta de forma específica, en este trabajo se realiza el análisis de flujo de potencia.

En el Anexo 2 se describen los requisitos para la aprobación de los estudios de preoperatividad. En la subsección 5.4.2 (central de generación no convencional) se describen los requisitos mínimos para la instalación de las CSF los cuales se han tenido en cuenta en este trabajo. En la subsección 6.1.3 (centrales de generación no convencional) se especifica lo que debe incluir en el modelo eléctrico de una central solar fotovoltaica, lo cual en este trabajo se tiene en cuenta.

En el PR-20 exige “evaluar el impacto de la incorporación de las instalaciones del proyecto sobre el comportamiento en estado estacionario del SEIN, en particular de la zona de influencia del proyecto” (COES, n.d.).

En el Anexo 2, en el numeral 8 se presentan los indicadores de desempeño considerados en la elaboración de los estudios eléctricos los cuales en este trabajo se han tenido en cuenta, estos indicadores de desempeño son (COES, n.d.):

2.1.6.1 *Indicador de desempeño Para la tensión*

- En estado normal, “el ingreso de un proyecto no debe provocar tensiones fuera del rango de $\pm 2,5$ % sobre las tensiones de operación, o la tensión nominal del equipamiento principal” (COES, n.d.).

“Si en ausencia del proyecto se observan tensiones fuera del rango indicado, el ingreso del proyecto no debe agravar esta situación” (COES, n.d.).

- Estado de contingencias, “el ingreso de un proyecto no debe provocar tensiones post-contingencia (N-1) fuera del siguiente rango” (COES, n.d.):
 - $+7,5\%$ / -10% para las barras con tensiones nominales $V_N > 200$ kV.
 - $\pm 10\%$ para las barras con tensiones nominales $60 \text{ kV} < V_N \leq 200 \text{ kV}$.

“Siendo las tensiones nominales (V_N), las estandarizadas en el Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011 o el que lo sustituya, y que no supere la tensión máxima del equipamiento principal” (COES, n.d.).

“Si en ausencia del proyecto se observan tensiones fuera del rango indicado, el ingreso del proyecto no debe agravar esta situación” (COES, n.d.).

“En caso no se cumpla este indicador, el Gestor del Proyecto debe implementar como parte del proyecto, el equipamiento necesario que mitigue los problemas de tensión provocados. La implementación de este equipamiento será verificada en el Estudio de Operatividad” (COES, n.d.).

2.1.6.2 *Indicador de desempeño para las sobrecargas*

- En estado normal, “el ingreso de un proyecto no debe provocar sobrecargas.

Si en ausencia del proyecto se observan sobrecargas, el ingreso del proyecto no debe incrementarlas. Para el caso de proyectos de demanda no será posible implementar esquemas de rechazo automático para evitar sobrecargas” (COES, n.d.).

- En estado de contingencia, “el ingreso de un proyecto no debe provocar sobrecargas post-contingencia (N-1) en los transformadores de potencia y

sobrecargas mayores al 20% para el caso de líneas de transmisión. La tolerancia exigida debe respetarse en instalaciones de terceros” (COES, n.d.).

“Si en ausencia del proyecto se observan sobrecargas mayores al 20%, el ingreso del proyecto no debe incrementarlas” (COES, n.d.).

“En caso no se cumpla este indicador, el Gestor del Proyecto debe implementar como parte del proyecto, el equipamiento necesario que mitigue los problemas de sobrecarga que provoque” (COES, n.d.).

Este trabajo se rige principalmente en cumplir los indicadores de desempeño exigidos por el PR-20 para simulaciones en régimen estacionario las cuales están resumidas en esta sección.

2.1.7 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)

“La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), aprobada por Decreto Supremo N° 020-97-EM, regula los aspectos de calidad en el servicio eléctrico que deben cumplir las empresas eléctricas; estableciendo los niveles mínimos de calidad y las obligaciones de las empresas de electricidad y los Clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844” (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, n.d.).

En la NTCSE también establece los aspectos, parámetros e indicadores sobre los que se evalúa la Calidad del Servicio de la Electricidad. El control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, n.d.):

- Calidad de Producto: Tensión, Perturbaciones y Frecuencia
- Calidad de Suministro
- Calidad de Servicio Comercial
- Calidad de Alumbrado Público

2.2 Marco conceptual

El trabajo de suficiencia comprende el desarrollo de la implementación de una CSF con SBESS para ayudar a la continuidad, confiabilidad y calidad de la energía eléctrica para la Unidad Minera Catalina Huanca, cumpliendo con la NTCSE y PR-20.

La Unidad Minera pretende conectar una CSF y SBEEES con 6 posibles alternativas de conexión, además se evaluará una alternativa adicional de conexión de BC.

A través de estas alternativas se evaluará la mejor opción de conexión para lograr mejorar los niveles de tensión y así conseguir conectar parte de la demanda proyectada para los años 2023 y 2026.

2.2.1 Niveles de tensión utilizados

Los niveles de magnitudes de tensión empleados en este trabajo están especificados de acuerdo con las tensiones existentes en el proyecto y sus límites operativos están en función de los requerimientos para el proyecto, en este trabajo se tendrán en cuenta los requisitos exigidos por el PR-20.

Las tensiones nominales de las principales S.E. con sus respectivos límites inferior y superior calculados conforme se presenta en la sección 2.1.6.1 son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1

Tensiones nominales de las principales S.E. y sus límites permitidos por el PR-20.

Subestación	Tensión nominal (kV)	Tensión mínima equipo (kV)	Tensión máxima equipo (kV)
ABANCAY 138	137	133,575	140,425
ABANCAY 60	66	64,35	67,65
ANDY60	66	64,35	67,65
CHILCAYOC60	66	64,35	67,65

Nota: propio autor.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción del Proyecto

3.1.1 Antecedentes

Para el presente año 2023, al realizar un cálculo de flujo de potencia en el SEIN, se observa que la subestación CHILCAYOC60 presenta problemas de subtensión en todos los escenarios de operación, tanto para el periodo higrológico de Avenida con la evaluación de demanda Máxima (0,9391 p.u.), Media (0,9027 p.u.) y Mínima (0,9286 p.u.), como para el periodo higrológico de Estiaje con evaluación de demanda Máxima (0,9420 p.u.), Media (0,8916 p.u.) y Mínima (0,9124 p.u.). Este comportamiento continúa para los siguientes años, siendo que en todos los casos no se cumple con los indicadores de desempeño establecidos por el PR-20 con relación a la tensión.

Se prevé que en los años posteriores habrá un incremento de la demanda para la unidad minera “Catalina Huanca” ocasionando esto un decrecimiento en los niveles de tensión, por lo tanto, es urgente implementar una solución, de tal forma que se cumpla con los indicadores de desempeño establecidos por el PR-20 (COES, n.d.), el no cumplir con estos requisitos afectará la calidad de servicio y un posible perjuicio en los diferentes equipamientos instalados en la unidad minera Catalina Huanca, así como su imposibilidad de seguir creciendo y expandiéndose.

El problema viene ocasionado principalmente por la lejanía de la unidad minera Catalina Huanca al SEIN, siendo transmitida la energía a través de un circuito radial de una gran longitud, aproximadamente 109 km, desde la subestación ABANCAY 60 hasta la subestación CHILCAYOC60, por lo tanto, la caída de tensión entre estas dos subestaciones es drástica.

El interés en desarrollar el proyecto de interconexión de la CSF con SBESS motivó a la Unidad Minera Catalina Huanca a la realización del estudio de conexión del proyecto

mediante la ejecución de un estudio técnico, además, se presenta una alternativa adicional con conexión de BC.

Para tal fin se evaluó las siguientes alternativas de conexión:

- Alternativa 1: la CSF ubicada en Pampahuasi se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV;
- Alternativa 2: la CSF ubicada en Pampahuasi se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV;
- Alternativa 3: la CSF ubicada en Pampahuasi se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV;
- Alternativa 4: la CSF ubicada en Pampahuasi se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV.
- Alternativa 5: la CSF ubicada en Acolla se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV;
- Alternativa 6: la CSF ubicada en Acolla se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV. El SBESS (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV;
- Alternativa 7: Se conecta un BC de 10 Mvar en la S.E. San Jerónimo en 33 kV.

Como se observa, se presentan siete posibles alternativas de solución con la finalidad de mejorar los niveles de tensión ante el crecimiento de la demanda proyectada para los años 2023 y 2026.

3.1.2 Descripción del Trabajo de Suficiencia

Debido a que la proyección de la demanda en la unidad minera “Catalina Huanca” indica un incremento en esta, se prevé que esta ocasionará un decremento en los niveles de tensión, este decremento es debido a que las líneas que transportan la energía desde la SE ABANCAY 66 kV hasta la SE CHILCAYOC 66 kV es muy larga (58,27 km desde la SE ABANCAY 66 kV hasta la SE ANDY 66 kV y 51,40 km desde la SE ANDY 66 kV hasta la SE CHILCAYOC 66 kV), por lo tanto, se plantea conectar una CSF en las instalaciones de la unidad minera “Catalina Huanca” como una alternativa de solución, debido al perfil de demanda que existe en estas instalaciones en los diferentes escenarios de operación, se instalará además un SBESS para conseguir suplir la no operatividad de la CSF en el horario donde esta no trabaja debido a la no existencia del recurso solar, además como alternativa adicional se considera la conexión de un BC.

El trabajo de suficiencia comprende el análisis del estudio eléctrico de flujo de potencia de la conexión de una CSF con SBESS para diferentes alternativas de conexión en las instalaciones de la unidad minera “Catalina Huanca” y como alternativa adicional de conexión de un BC.

3.1.3 Ubicación del Proyecto

La unidad minera “Catalina Huanca” se encuentra políticamente ubicada en el distrito de Canaria, provincia de Víctor Fajardo en el departamento de Ayacucho a una altitud promedio de 3 600 msnm. Geográficamente, se encuentra ubicado en el flanco oriental de la cordillera Occidental de los Andes. Involucra principalmente a la cuenca del río Mishca el cual drena hacia el océano Pacífico que ocupa las microcuencas de Mishca, Marchapata, Rajaure y Sacclani. El área del proyecto se divide en la Zona Mina - Bolívar y Zona Planta de Beneficio San Jerónimo (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

El acceso desde Lima hacia la unidad minera se efectúa por dos vías principales:

- A la altura del kilómetro 227 de la carretera Panamericana Sur se toma la carretera Los libertadores Wari. Esta carretera conduce hacia la ciudad de Ayacucho y desde

allí se llega a la unidad minera por medio de una carretera secundaria que atraviesa las localidades de Cangallo, Huancapi, Cayara, Hualla, Canaria y Taca. El recorrido total en camioneta es de 708 km aproximadamente, el tiempo promedio de viaje es de 13 horas desde Lima;

- Por la carretera Panamericana Sur hasta Nazca (km 450). Desde Nazca se toma un desvío que conduce hacia Pampa Galeras en Ayacucho y desde allí se ingresa a la localidad de Canaria hasta llegar a la Operación. El recorrido es de 693 km aproximadamente, que se realiza en 12 horas de viaje desde Lima.

Las instalaciones de la Unidad Minera Catalina Huanca se encuentran ubicadas en la coordenada geográfica presentada en la Tabla 2, y en la Figura 9 se presenta la ubicación del proyecto minero.

Tabla 2

Coordenadas geográficas del proyecto.

Coordenadas	X	Y	Huso
UTM WGS84	615 895	8453333	18 L

Figura 9

Ubicación del Proyecto.

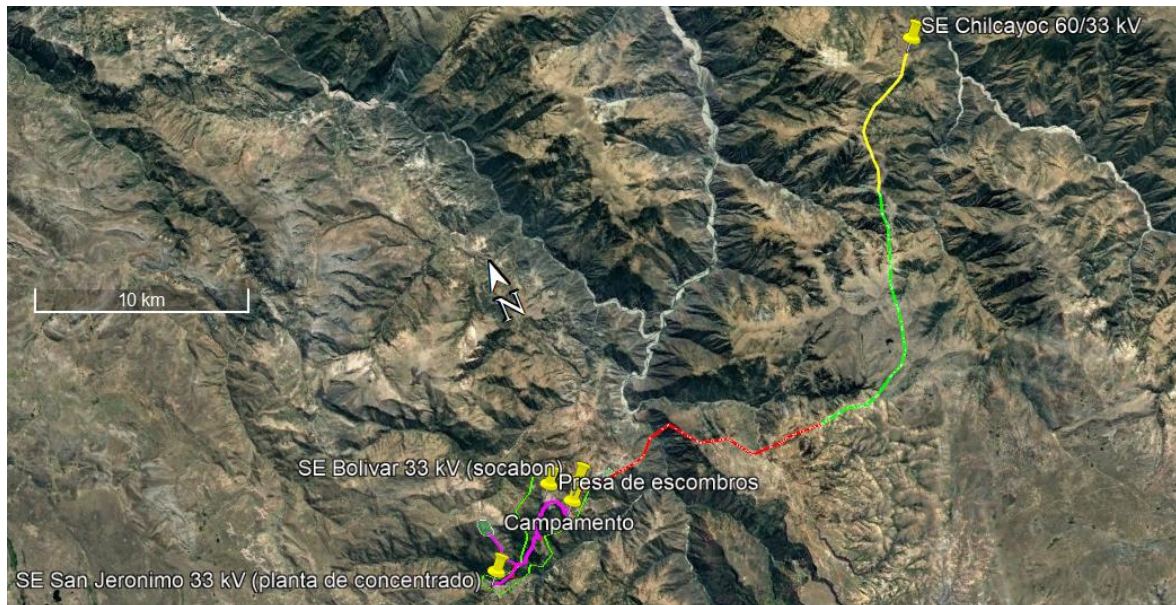


Fuente: <https://gisem.osinergmin.gob.pe/menergetico>

Generado el: 19/11/2023 - 10:13:58 p.m.

Nota: fuente (OSINERGMIN, 2023).

Figura 10
Líneas y S.E. asociadas al proyecto.



En referencia a la Figura 10, se observan las principales líneas para la S.E. Bolívar y S.E. San Jerónimo, ellas son: Línea MT S.E. Chilcayoc a S.E. Bolívar y Línea MT Derivación a S.E. San Jerónimo.

3.1.4 Características Generales del Proyecto

La CSF conectada a Pampahuasi tendrá capacidad instalada para 3,050 MW y la CSF conectada a Acolla tendrá capacidad instalada de 1,108 MW. La Tabla 3 muestra las principales características del inversor del proyecto.

Tabla 3
Características principales del Inversor.

Descripción	Valor
Fabricante	Solis
Modelo	Solis-(215-255) K-EHV-5G
Tipo	String
Potencia nominal máxima AC	255 kW
Voltaje nominal de salida	800 V, 3/PE
Máx. Eficiencia	99,0%

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan las características de las CSF conectadas en Pampahuasi y Acolla respectivamente.

Tabla 4

Datos de la CSF Pampahuasi.

Descripción	Valor
Potencia nominal [MW]	3,05
Factor de potencia	0,998
Tecnología	Trifásica
Tensión nominal AC	800 V
Corriente de Cortocircuito (valor típico)	3,4 kA
Corriente de Cortocircuito estacionario (máximo)	2,37 kA

Tabla 5

Datos de la CSF Acolla.

Descripción	Valor
Potencia nominal [MW]	1,108
Factor de potencia	0,998
Tecnología	Trifásica
Tensión nominal AC	800 V
Corriente de Cortocircuito (valor típico)	1 kA
Corriente de Cortocircuito estacionario (máximo)	0,956 kA

El SBESS tendrá una capacidad de almacenamiento de 2 MW. La Tabla 6 y Tabla 7 muestra las principales características del SBESS conectados en Pampahuasi y en Acolla respectivamente.

Tabla 6

Datos de sistema BESS 1 Pampahuasi.

Descripción	Valor
Potencia nominal [MW]	2,0
Factor de potencia	1
Tensión nominal AC	480 V
Corriente de Cortocircuito (valor típico)	2,23 kA
Corriente de Cortocircuito estacionario (máximo)	2,493 kA

Tabla 7*Datos de sistema BESS 2 Acolla.*

Descripción	Valor
Potencia nominal [MW]	2,0
Factor de potencia	1
Tensión nominal AC	480 V
Corriente de Cortocircuito (valor típico)	2,23 kA
Corriente de Cortocircuito estacionario (máximo)	2,493 kA

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los datos de los transformadores utilizados en el modelamiento del proyecto.

Tabla 8*Datos de los transformadores del proyecto.*

Transformador	[MVA] Nominal	[kV] Alta	[kV] Baja	Tecnología	Grupo de conexión	Impedancia de cortocircuito
CHILCAYOCC 1	8,25 (ONAF)	60	35	Trifásica	Y0yn0d5	3,25%
CHILCAYOCC 2	8,25 (ONAF)	60	35	Trifásica	Y0yn0d5	3,25%
TR-BESS Bolívar	3,75 (ONAN)	33	0,48	Trifásica	Ynd11	7%
TR-BESS Jerónimo	3,75 (ONAN)	33	0,48	Trifásica	Ynd11	7%
TR-FV Pampahuasi	4,0 (ONAN)	33	0,8	Trifásica	Ynd11	7,25%
TR-FV Acolla	1,5 (ONAN)	33	0,8	Trifásica	Ynd11	6%

Los datos de las líneas en parámetros de secuencia utilizados en el proyecto son presentados en la Tabla 9. La longitud de las líneas que conectan las alternativas para las CSF a las S.E. San Jeronimo y S.E. Bolivar pueden verificarse en el archivo “OE220715-LI-D-PL-ME-001”.

Tabla 9*Datos de las líneas del proyecto.*

Línea	Long. [km]	[kA] Nom.	[kV] Nom.	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	B0 [Ω/km]	B1 [Ω/km]
Chilcayoc-Div Bol & Jer	34,15	0,6	33	0,5941	1,2157	0,1694	0,3181	2,4092	5,2947
Chilcayoc-Bolivar	0,132	0,235	33	0,8519	1,3594	0,4259	0,4708	2,0020	3,5786
Chilcayoc-San Jeronimo	6,48	0,235	33	0,5995	1,8690	0,4257	0,4508	1,6551	3,7363
San Jeronimo-Pampahuasi	3,94	0,3	33	0,6057	1,1913	0,1695	0,3232	2,2816	5,1565
Bolivar-Pampahuasi	4,65	0,3	33	0,6057	1,1913	0,1695	0,3232	2,2816	5,1565
Bolivar-Acolla	1,48	0,3	33	0,9624	0,5364	1,3682	0,4796	1,9753	3,4939

A continuación, se presentan los valores de cada uno de los elementos mencionados arriba insertados en el software PowerFactory DigSILENT.

Figura 11
Principales datos del inversor FV Pampahuasi en el software PowerFactory.

Static Generator - Area Sur Oeste\FV Pampahuasi.ElmGenstat

Basic Data

Description

Load Flow

Short-Circuit VDE/IEC

Short-Circuit Complete

Short-Circuit ANSI

Short-Circuit IEC 61363

Short-Circuit DC

Quasi-Dynamic Simulation

Simulation RMS

Simulation EMT

Power Quality/Harmonics

Reliability

Generation Adequacy

Hosting Capacity Analysis

Optimal Power Flow

Unit Commitment

Optimal Equipment Placement

State Estimation

General

Zero Sequence/Neutral Conductor

Name

FV Pampahuasi

Terminal

...

Sur Oeste\Bus-TR BT-FV Pampahuasi\Cub_2

Bus-TR BT-FV Pump

Zone

→

Area

→

☐ Out of Service

Technology

3PH

Plant Category

Photovoltaic

Subcategory

Number of parallel units

16

Ratings

Rated Apparent Power

0.2

MVA

Rated Power Factor

1.

Model

→

Area Sur Oeste\DynamicModel(1)

OK

Cancel

Figure

Jump to ...

(a) Datos básicos.

Static Generator - Area Sur Oeste\FV Pampahuasi.ElmGenstat

Basic Data

Description

Load Flow

Short-Circuit VDE/IEC

Short-Circuit Complete

Short-Circuit ANSI

Short-Circuit IEC 61363

Short-Circuit DC

Quasi-Dynamic Simulation

Simulation RMS

Simulation EMT

Power Quality/Harmonics

Reliability

Generation Adequacy

Hosting Capacity Analysis

Optimal Power Flow

Unit Commitment

Optimal Equipment Placement

State Estimation

General

Operational Limits

Advanced

Automatic Dispatch

☐ Reference Machine

Local Controller

Const. Q

☐ Out of service when active power is zero

External Secondary Controller

→

External Station Controller

→

Dispatch

Input Mode

Default

...

Active Power

0.190625

MW

Reactive Power

0.06

Mvar

Voltage

1.

p.u.

Angle

0.

deg

Prim. Frequency Bias

0.

MW/Hz

Scaling Factor

1.

Actual Dispatch

Active Power (act.)

0.190625

MW

Reactive Power (act.)

0.06

Mvar

Apparent Power (act.)

0.1998447

MVA

Power Factor (act.)

0.9538658

ind.

Scaling Factor (act.)

1.

OK

Cancel

Figure

Jump to ...

(b) Datos para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 12

Principales datos del convertidor Inverter BESS Bolivar en el software PowerFactory.

PWM Converter/1 DC-Connection - Area Sur Oeste\Inverter BESS Bolivar.ElmVscmono

Basic Data	General	Advanced
Description	Name: Inverter BESS Bolivar	
Load Flow	Terminal AC: Area Sur Oeste\Bolivar BT\Cub_1	Bolivar BT
Short-Circuit VDE/IEC	Terminal DC: Area Sur Oeste\Bolivar DC\Cub_1	Bolivar DC
Short-Circuit Complete	Zone: Terminal AC	
Short-Circuit ANSI	Area: Terminal AC	
Short-Circuit IEC 61363		
Short-Circuit DC		
Simulation RMS	<input type="checkbox"/> Out of Service	
Simulation EMT	Number of parallel converters: 1	Converter type: Two-level converter
Power Quality/Harmonics	Ratings	Modulation
Reliability	Rated AC-voltage: 0.48 kV	<input checked="" type="radio"/> Sinusoidal PWM
Hosting Capacity Analysis	Rated DC-voltage (DC): 0.768 kV	<input type="radio"/> Rectangular PWM
Optimal Power Flow	Rated power: 2. MVA	<input type="radio"/> No modulation
Unit Commitment	Series reactor	
	Short circuit impedance: 0. %	R0/R1 ratio: 1.
	Copper losses: 0. kW	X0/X1 ratio: 1.
	Category: Others	Subcategory:
	Model:	

(a) Datos básicos.

PWM Converter/1 DC-Connection - Area Sur Oeste\Inverter BESS Bolivar.ElmVscmono

Basic Data	General	P-setpoint adaption	Operational limits	Advanced	Automatic Dispatch
Description	Control mode: P-cos(phi)				
Load Flow	Active power setpoint: 2. MW	Prim. frequency bias: 0. MW/Hz			
Short-Circuit VDE/IEC	Power factor: 1. ind.				
Short-Circuit Complete	Controlled flow: <input type="checkbox"/>				
Short-Circuit ANSI	External station controller: <input type="checkbox"/>				
Short-Circuit IEC 61363	Ext. secondary controller: <input type="checkbox"/>				
Short-Circuit DC	<input type="checkbox"/> Consider modulation index limit				
Simulation RMS	Losses				
Simulation EMT	No-load losses: 0. kW				
Power Quality/Harmonics	Switching loss factor: 0. kW/A				
Reliability	Resistive loss factor: 0. Ohm				
Hosting Capacity Analysis	Setpoint for DC load flow				
Optimal Power Flow	Active power setpoint: 2. MW				
Unit Commitment	Controlled flow: <input type="checkbox"/>				

(b) Datos para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 13

Principales datos del transformador TR-FV Pampahuasi en el software PowerFactory.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Type-TR-FV Pampahuasi.TypeTr2

Basic Data	Name	Type-TR-FV Pampahuasi
Description	Technology	Three Phase Transformer
Version	Rated Power	4. MVA
Load Flow	Nominal Frequency	60. Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage	
Short-Circuit Complete	HV-Side	33. kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	0.8 kV
Short-Circuit IEC 61363	Vector Group	
Short-Circuit DC	HV-Side	YN
Simulation RMS	LV-Side	D
Simulation EMT	Phase Shift	11. *30deg
Protection	Positive Sequence Impedance	
Power Quality/Harmonics	Short-Circuit Voltage uk	7.25 %
Reliability	Copper Losses	0. kW
Hosting Capacity Analysis	Zero Sequence Impedance	
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	7.25 %
	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %

(a) Datos básicos.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Type-TR-FV Pampahuasi.TypeTr2

Basic Data	General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Description	<input checked="" type="checkbox"/> Tap Changer 1			
Version	Type Ratio/Asym. Phase Shifter			
Load Flow	at Side HV			
Short-Circuit VDE/IEC	Additional Voltage per Tap 2.5 %			
Short-Circuit Complete	Phase of du 0. deg			
Short-Circuit ANSI	Neutral Position 0			
Short-Circuit IEC 61363	Minimum Position -2			
Short-Circuit DC	Maximum Position 2			
Simulation RMS	<input type="checkbox"/> Tap Changer 2			
Simulation EMT				
Protection	<input type="checkbox"/> Tap dependent impedance			
Power Quality/Harmonics				
Reliability				
Hosting Capacity Analysis				
Optimal Power Flow	Tap dependent rating			
	Configuration No dependency (constant current)			

(b) Datos de los taps para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 14

Principales datos del transformador TR-BESS Bolivar en el software PowerFactory.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\Transformador BESS.TypTr2

Basic Data	Name	Transformador BESS
Description	Technology	Three Phase Transformer
Version	Rated Power	3.75 MVA
Load Flow	Nominal Frequency	60. Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage	
Short-Circuit Complete	HV-Side	33. kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	0.48 kV
Short-Circuit IEC 61363	Vector Group	
Short-Circuit DC	HV-Side	Y
Simulation RMS	LV-Side	D
Simulation EMT	Phase Shift	11. *30deg
Protection	Positive Sequence Impedance	
Power Quality/Harmonics	Short-Circuit Voltage uk	7. %
Reliability	Copper Losses	0. kW
Hosting Capacity Analysis	Zero Sequence Impedance	
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	7. %
	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %

(a) Datos básicos.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\Transformador BESS.TypTr2

Basic Data	General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Description	<input checked="" type="checkbox"/> Tap Changer 1			
Version	Type Ratio/Asym. Phase Shifter			
Load Flow	at Side HV			
Short-Circuit VDE/IEC	Additional Voltage per Tap 2.5 %			
Short-Circuit Complete	Phase of du 0. deg			
Short-Circuit ANSI	Neutral Position 0			
Short-Circuit IEC 61363	Minimum Position -2			
Short-Circuit DC	Maximum Position 2			
Simulation RMS	<input type="checkbox"/> Tap Changer 2			
Simulation EMT	<input type="checkbox"/> Tap dependent impedance			
Protection	Tap dependent rating			
Power Quality/Harmonics	Configuration No dependency (constant current)			
Reliability				
Hosting Capacity Analysis				
Optimal Power Flow				

(b) Datos de los taps para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 15
Principales datos del transformador TR-BESS Jeronimo en el software PowerFactory.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\Transformador BESS.TypTr2

Basic Data	Name	Transformador BESS	
Description	Technology	Three Phase Transformer	
Version	Rated Power	3.75	MVA
Load Flow	Nominal Frequency	60.	Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage		Vector Group
Short-Circuit Complete	HV-Side	33.	kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	0.48	kV
Short-Circuit IEC 61363	Positive Sequence Impedance		Phase Shift
Short-Circuit DC	Short-Circuit Voltage uk		11.
Simulation RMS	Copper Losses		*30deg
Simulation EMT	Zero Sequence Impedance		Name
Protection	Short-Circuit Voltage uk0		Yd11
Power Quality/Harmonics	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r		
Reliability			
Hosting Capacity Analysis			
Optimal Power Flow			

(a) Datos básicos.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\Transformador BESS.TypTr2

Basic Data	General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Description	<input checked="" type="checkbox"/> Tap Changer 1			
Version	Type			
Load Flow	Ratio/Asym. Phase Shifter			
Short-Circuit VDE/IEC	at Side			
Short-Circuit Complete	HV			
Short-Circuit ANSI	Additional Voltage per Tap			
Short-Circuit IEC 61363	2.5			
Short-Circuit DC	Phase of du			
Simulation RMS	0.			
Simulation EMT	deg			
Protection	Neutral Position			
Power Quality/Harmonics	0			
Reliability	Minimum Position			
Hosting Capacity Analysis	-2			
Optimal Power Flow	Maximum Position			
	2			
	<input type="checkbox"/> Tap dependent impedance			
	Tap dependent rating			
	Configuration			
	No dependency (constant current)			

(b) Datos de los taps para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 16
Principales datos del transformador TR-FV Acolla en el software PowerFactory.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Type TR-FV Acolla.TypTr2

Basic Data	Name	Type TR-FV Acolla		
Description	Technology	Three Phase Transformer		
Version	Rated Power	1.5	MVA	
Load Flow	Nominal Frequency	60.	Hz	
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage		Vector Group	
Short-Circuit Complete	HV-Side	33.	kV	
Short-Circuit ANSI	LV-Side	0.8	kV	
Short-Circuit IEC 61363	Positive Sequence Impedance		Phase Shift	
Short-Circuit DC	Short-Circuit Voltage uk		11.	*30deg
Simulation RMS	Copper Losses		Name	
Simulation EMT	0.		YNd11	
Protection	Zero Sequence Impedance			
Power Quality/Harmonics	Short-Circuit Voltage uk0			
Reliability	0.			
Hosting Capacity Analysis	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r			
Optimal Power Flow	0.			

(a) Datos básicos.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\Type TR-FV Acolla.TypTr2

Basic Data	General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Description	<input checked="" type="checkbox"/> Tap Changer 1			
Version	Type			
Load Flow	Ratio/Asym. Phase Shifter			
Short-Circuit VDE/IEC	at Side			
Short-Circuit Complete	HV			
Short-Circuit ANSI	Additional Voltage per Tap			
Short-Circuit IEC 61363	2.5			
Short-Circuit DC	Phase of du			
Simulation RMS	0.			
Simulation EMT	deg			
Protection	Neutral Position			
Power Quality/Harmonics	0			
Reliability	Minimum Position			
Hosting Capacity Analysis	-2			
Optimal Power Flow	Maximum Position			
	2			
	<input type="checkbox"/> Tap dependent impedance			
	Tap dependent rating			
	Configuration			
	No dependency (constant current)			

(b) Datos de los taps para el cálculo de flujo de potencia.

Figura 17
Principales datos del conductor San Jeronimo-Pampahuasi en el software PowerFactory.

Line - Area Sur Oeste\San Jeronimo-Pampahuasi.ElmLine

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: San Jeronimo-Pampahuasi		
Load Flow	Type: ...ca\AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp		
Short-Circuit VDE/IEC	Terminal i: Area Sur Oeste\JERONIMO33\Cub_3(2) JERONIMO33		
Short-Circuit Complete	Terminal j: Area Sur Oeste\Pampahuasi\Cub_1 Pampahuasi		
Short-Circuit ANSI	Zone: Terminal i		
Short-Circuit IEC 61363	Area: Terminal i		
Short-Circuit DC	<input type="checkbox"/> Out of Service		
Simulation RMS	Number of parallel Lines: 1		Resulting Values
Simulation EMT			Nominal Current (act.): 0.3 kA
Cable Analysis	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Z1: 1.437809 Ohm
Power Quality/Harmonics	Thermal Rating:		Pos. Seq. Impedance, Angle: 62.31915 deg
Tie Open Point Opt.	Length of Line: 3.94 km		Pos. Seq. Resistance, R1: 0.6679285 Ohm
Reliability	Derating Factor: 1.		Pos. Seq. Reactance, X1: 1.27325 Ohm
Hosting Capacity Analysis	Type of Line: Overhead Line		Zero Seq. Resistance, R0: 2.38656 Ohm
Optimal Power Flow	Line Model		Zero Seq. Reactance, X0: 4.693525 Ohm
Unit Commitment	<input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI)		Earth-Fault Current, Ice: 0.5138101 A
Optimal Equipment Placement	<input type="radio"/> Distributed Parameter		Earth Factor, Magnitude: 0.8874126
	Sections/Line Loads/Compensation		Earth Factor, Angle: 1.002068 deg

(c) Datos básicos.

Line Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp.TypLine

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp		
Version	Rated Voltage: 33. kV		
Load Flow	Rated Current: 0.3 kA		
Short-Circuit VDE/IEC	Cable / OHL: Overhead Line		
Short-Circuit Complete	System Type: AC Phases: 3 Number of Neutrals: 0		
Short-Circuit ANSI	Nominal Frequency: 60. Hz		
Short-Circuit IEC 61363	Parameters per Length 1,2-Sequence		Parameters per Length Zero Sequence
Short-Circuit DC	AC-Resistance R'(20°C): 0.169525 Ohm/km		AC-Resistance R0': 0.605726 Ohm/km
Simulation RMS	Reactance X': 0.32316 Ohm/km		Reactance X0': 1.19125 Ohm/km
Simulation EMT			
Protection			
Cable Analysis			
Power Quality/Harmonics			
Reliability			
Hosting Capacity Analysis			
Optimal Power Flow			

(d) Datos del tipo del conductor.

Figura 18
Principales datos del conductor Bolivar-Pampahuasi en el software PowerFactory.

Line - Area Sur Oeste\Bolivar-Pampahuasi.ElmLine

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: Bolivar-Pampahuasi		
Load Flow	Type: ...ca\AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp		
Short-Circuit VDE/IEC	Terminal i: Area Sur Oeste\BOLIVAR33\Cub_3(3)	BOLIVAR33	
Short-Circuit Complete	Terminal j: Area Sur Oeste\Pampahuasi\Cub_1(1)	Pampahuasi	
Short-Circuit ANSI	Zone: Terminal i		
Short-Circuit IEC 61363	Area: Terminal i		
Short-Circuit DC	<input type="checkbox"/> Out of Service		
Simulation RMS	Number of parallel Lines: 1		Resulting Values
Simulation EMT			Nominal Current (act.): 0.3 kA
Cable Analysis	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Z1: 1.696907 Ohm
Power Quality/Harmonics	Thermal Rating:		Pos. Seq. Impedance, Angle: 62.31915 deg
Tie Open Point Opt.	Length of Line: 4.65 km		Pos. Seq. Resistance, R1: 0.7882913 Ohm
Reliability	Derating Factor: 1.		Pos. Seq. Reactance, X1: 1.502694 Ohm
Hosting Capacity Analysis	Type of Line: Overhead Line		Zero Seq. Resistance, R0: 2.816626 Ohm
Optimal Power Flow	Line Model		Zero Seq. Reactance, X0: 5.539312 Ohm
Unit Commitment	<input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI)		Earth-Fault Current, Ice: 0.6064003 A
Optimal Equipment Placement	<input type="radio"/> Distributed Parameter		Earth Factor, Magnitude: 0.8874125
	Sections/Line Loads/Compensation		Earth Factor, Angle: 1.002065 deg

(a) Datos básicos.

Line Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp.TypLine

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: AAAC 95 mm2-Con cable de guarda-Bol-Pamp		
Version	Rated Voltage: 33. kV		
Load Flow	Rated Current: 0.3 kA		
Short-Circuit VDE/IEC	Cable / OHL: Overhead Line		
Short-Circuit Complete	System Type: AC	Phases: 3	Number of Neutrals: 0
Short-Circuit ANSI	Nominal Frequency: 60. Hz		
Short-Circuit IEC 61363	Parameters per Length 1,2-Sequence		Parameters per Length Zero Sequence
Short-Circuit DC	AC-Resistance R'(20°C): 0.169525 Ohm/km		AC-Resistance R0': 0.605726 Ohm/km
Simulation RMS	Reactance X': 0.32316 Ohm/km		Reactance X0': 1.19125 Ohm/km
Simulation EMT			
Protection			
Cable Analysis			
Power Quality/Harmonics			
Reliability			
Hosting Capacity Analysis			
Optimal Power Flow			

(b) Datos del tipo del conductor.

Figura 19

Principales datos del conductor Bolivar-Acolla en el software PowerFactory.

Line - Area Sur Oeste\Bolivar-Acolla.Elmlne

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: Bolivar-Acolla		
Load Flow	Type: ...e Library\Catalina Huanca\Typ LN - Acolla - Bolivar		
Short-Circuit VDE/IEC	Terminal i: Area Sur Oeste\BOLIVAR33\Cub_3(4)	BOLIVAR33	
Short-Circuit Complete	Terminal j: Area Sur Oeste\Acolla\Cub_1	Acolla	
Short-Circuit ANSI	Zone: Terminal i		
Short-Circuit IEC 61363	Area: Terminal i		
Short-Circuit DC			
Simulation RMS	<input type="checkbox"/> Out of Service		
Simulation EMT	Number of parallel Lines: 1		
Cable Analysis	Parameters		
Power Quality/Harmonics	Thermal Rating:		
Tie Open Point Opt.	Length of Line: 1.48 km		
Reliability	Derating Factor: 1.		
Hosting Capacity Analysis	Type of Line: Overhead Line		
Optimal Power Flow	Line Model		
Unit Commitment	<input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI)		
Optimal Equipment Placement	<input type="radio"/> Distributed Parameter		
	Sections/Line Loads/Compensation		
		Resulting Values	
		Nominal Current (act.)	0.3 kA
		Pos. Seq. Impedance, Z1	1.064973 Ohm
		Pos. Seq. Impedance, Angle	41.79977 deg
		Pos. Seq. Resistance, R1	0.7939149 Ohm
		Pos. Seq. Reactance, X1	0.7098361 Ohm
		Zero Seq. Resistance, R0	1.424414 Ohm
		Zero Seq. Reactance, X0	2.024995 Ohm
		Earth-Fault Current, Ice	0.167099 A
		Earth Factor, Magnitude	0.4565007
		Earth Factor, Angle	22.58675 deg

(a) Datos básicos.

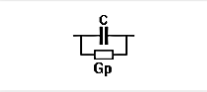
Line Type - Equipment Type Library\Catalina Huanca\Typ LN - Acolla - Bolivar.TypeLine

Basic Data	Overhead Line Configuration	Compensation	Advanced
Description	Name: Typ LN - Acolla - Bolivar		
Version	Rated Voltage: 33. kV		
Load Flow	Rated Current: 0.3 kA		
Short-Circuit VDE/IEC	Cable / OHL: Overhead Line		
Short-Circuit Complete	System Type: AC	Phases: 3	Number of Neutrals: 0
Short-Circuit ANSI	Nominal Frequency: 60. Hz		
Short-Circuit IEC 61363	Parameters per Length 1,2-Sequence		
Short-Circuit DC	AC-Resistance R'(20°C): 0.536429 Ohm/km		
Simulation RMS	Reactance X': 0.479619 Ohm/km		
Simulation EMT	Parameters per Length Zero Sequence		
Protection	AC-Resistance R0': 0.962442 Ohm/km		
Cable Analysis	Reactance X0': 1.36824 Ohm/km		
Power Quality/Harmonics			
Reliability			
Hosting Capacity Analysis			
Optimal Power Flow			

(b) Datos del tipo del conductor.

Figura 20
Principales datos del capacitor shunt BC Jeronimo en el software PowerFactory.

Shunt/Filter - Area Sur Oeste\BC Jeronimo.ElmShnt

Basic Data	General	Measurement Report	Zero Sequence/Neutral Conductor
Description	Name: BC Jeronimo		
Load Flow	Terminal: Area Sur Oeste\JERONIMO33\Cub_4		JERONIMO33
Short-Circuit VDE/IEC	Zone: →		
Short-Circuit Complete	Area: →		
Short-Circuit ANSI	<input type="checkbox"/> Out of Service		
Short-Circuit IEC 61363	System Type: AC	Technology: 3PH-Y	
Short-Circuit DC	Rated Voltage: 33. kV		
Simulation RMS	Shunt Type: C		
Simulation EMT	Input Mode: Default		
Power Quality/Harmonics	Controller		
Reliability	Max. No. of Steps: 10	Max. Rated Reactive Power: 9.599999 Mvar	
Hosting Capacity Analysis	Act.No. of Step: 10	Actual Reactive Power: 9.599999 Mvar	
Optimal Power Flow	<input type="checkbox"/> According to Measurement Report		
Unit Commitment	Design Parameter (per Step)		
	Rated Reactive Power, C: 0.96 Mvar	Layout Parameter (per Step)	
	Loss Factor, tan(delta): 0.	Susceptance: 881.5427 uS	
		Parallel Conductance: 0. uS	

(a) Datos básicos.

Shunt/Filter - Area Sur Oeste\BC Jeronimo.ElmShnt

Basic Data	Controller	
Description	Max. No. of Steps: 10	Max. Rated Reactive Power: 9.599999 Mvar
Load Flow	Act.No. of Step: 10	Actual Reactive Power: 9.599999 Mvar
Short-Circuit VDE/IEC	Shunt Controller: →	
Short-Circuit Complete	<input type="checkbox"/> Switchable	
Short-Circuit ANSI		
Short-Circuit IEC 61363		
Short-Circuit DC		
Simulation RMS		
Simulation EMT		
Power Quality/Harmonics		
Reliability		
Hosting Capacity Analysis		
Optimal Power Flow		
Unit Commitment		

(b) Datos de los taps para el cálculo de flujo de potencia.

3.1.5 Proyección de la demanda

En el presente estudio, se ha considerado escenario de demanda mínima, media, y máxima para los despachos hidrológicos de avenida y estiaje establecidos por el COES.

Antes de presentar la proyección de la demanda, es importante entender el relativismo que existe al nombrar los escenarios de demanda, por ejemplo, para el COES el escenario de máxima demanda se presenta en el horario entre las 19:00 H y las 04:00 H conforme se presenta en la Tabla 10, mientras que para la Unidad Minera Catalina Huanca se presenta en el horario entre las 04:00 H y las 12:00 H, es decir, el horario de demanda mínima del COES corresponde al horario de demanda máxima para la Unidad Minera Catalina Huanca, esto se verifica en la Tabla 11 y Tabla 13.

Tabla 10

Bloque de Demandas en los escenarios del COES.

Escenario COES	HORA DE MÁXIMA DEMANDA EN EL SISTEMA
Demanda Mínima	04:00H - 12:00H
Demanda Media	12:00H - 19:00H
Demanda Máxima	19:00H - 04:00H

Se consideró como base las proyecciones de demanda suministrada por la Unidad Minera Catalina Huanca, los resultados se presentan desde la Tabla 11 a la Tabla 13. Se verifica que se tienen tablas ajustadas en demanda, esto debido a que las demandas para el año proyectado son muy grandes y no se consigue la convergencia, por lo tanto, se realizó un ajuste de estas demandas.

Tabla 11

Demanda Catalina Huanca – Año 2023 – Proyectada.

Carga	Demanda máxima [MW]	Demanda media [MW]	Demanda mínima [MW]
Catalina Huanca	11,6	12,0	12,8

Tabla 12*Demanda Catalina Huanca – Año 2023 – Ajustada para simulación.*

Carga	Demanda máxima [MW]	Demanda media [MW]	Demanda mínima [MW]
Bolívar	5,2	5,8	6,3
San Jerónimo	4,0	4,3	4,8
Catalina Huanca	9,2	10,1	11,1

Tabla 13*Demanda Catalina Huanca – Año 2026 – Proyectada.*

Carga	Demanda máxima [MW]	Demanda media [MW]	Demanda mínima [MW]
Catalina Huanca	15,2	15,6	16,7

Tabla 14*Demanda Catalina Huanca – Año 2026 – Ajustada para simulación.*

Carga	Demanda máxima [MW]	Demanda media [MW]	Demanda mínima [MW]
Bolívar	5,8	5,73	6,4
San Jerónimo	4,4	4,38	4,8
Catalina Huanca	10,2	10,11	11,2

3.2 Escenarios de análisis del proyecto

En la sección 3.1.5 se observa que la máxima demanda proyectada para los años 2023 y 2026 de la unidad minera catalina huanca se presenta en el escenario de demanda mínima dada por el COES.

A continuación, se presenta los escenarios de operación en análisis para este trabajo y la operación de la CSF en estos escenarios.

3.2.1 Avenida Máxima

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda mínima por parte de Catalina Huanca, en este escenario la CSF no se encuentra en operación.

3.2.2 Avenida Media

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda media de Catalina Huanca, en este escenario se considera a la CSF en operación.

3.2.3 Avenida Mínima

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda máxima de Catalina Huanca, en este escenario no se considera en operación a la CSF.

3.2.4 Estiaje Máxima

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda mínima de Catalina Huanca, en este escenario la CSF no se encuentra en operación.

3.2.5 Estiaje Media

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda media de Catalina Huanca, en este escenario se considera a la CSF en operación.

3.2.6 Estiaje Mínima

Este escenario de operación dado por el COES considera el bloque de demanda máxima de Catalina Huanca, en este escenario no se considera en operación a la CSF.

En la sección 3.4.2 se presenta la operación del SBESS en los diferentes escenarios de operación en análisis.

3.3 Conexión del Proyecto

Se evaluará la conexión de la CSF con SBESS y la conexión de un BC a la red de la Unidad Minera Catalina Huanca en niveles de 33 kV con operación comercial para el

año 2023. El objetivo es evaluar el impacto de los flujos de potencia dado por el proyecto y su influencia en las variables de estado, principalmente en la tensión, todo ello bajo los diferentes escenarios de operación que presenta el sistema.

La topología de conexión se describe a continuación:

3.3.1 Alternativa 0

O también llamado caso base, representa la red Catalina Huanca sin considerar la conexión de la CSF, el SBESS y sin considerar la conexión del BC como se presenta en la Figura 21 .

3.3.2 Alternativa 1

La CSF Pampahuasi se conecta en 33 kV a la S.E. San Jerónimo, a través de un conductor de 3,94 km de longitud, el cual lo llamamos "San Jeronimo-Pampahuasi". El SBESS 1 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV como se presenta en la Figura 22.

3.3.3 Alternativa 2

La CSF ubicada en Pampahuasi se conecta en 33 kV a la S.E. San Jerónimo, a través de un conductor de 3,94 km de longitud, el cual lo llamamos "San Jeronimo-Pampahuasi". El SBESS 1 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. San Jerónimo en 33 kV como se presenta en la Figura 23.

3.3.4 Alternativa 3

La CSF ubicada en Pampahuasi se conecta en 33 kV a la S.E. Bolívar, a través de un conductor de 4,65 km de longitud, el cual lo llamamos "Bolivar-Pampahuasi". El SBESS

2 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar en 33 kV como se presenta en la Figura 24.

3.3.5 Alternativa 4

La CSF ubicada en Pampahuasi se conecta en 33 kV a la S.E. Bolívar, a través de un conductor de 4,65 km de longitud, el cual lo llamamos "Bolívar-Pampahuasi". El SBESS 2 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Jeronimo en 33 kV como se presenta en la Figura 25.

3.3.6 Alternativa 5

La CSF ubicada en Acolla se conecta en 33 kV a la S.E. Bolívar, a través de un conductor de 1,48 km de longitud, el cual lo llamamos "Bolívar-Acolla". El SBESS 2 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Bolívar como se presenta en la Figura 26.

3.3.7 Alternativa 6

La CSF ubicada en Acolla se conecta en 33 kV a la S.E. Bolívar, a través de un conductor de 1,48 km de longitud, el cual lo llamamos "Bolívar-Acolla". El SBESS 2 (2 MW de descarga y 1 MW de carga) se conecta a la S.E. Jeronimo en 33 kV como se presenta en la Figura 27.

3.3.8 Alternativa 7

El BC de 10 Mvar se conecta a la S.E. Jeronimo en 33 kV como se presenta en la Figura 28, la elección de S.E. para la conexión para el BC se presenta en la sección 3.4.1.

Figura 21
Diagrama unifilar – Alternativa 0.

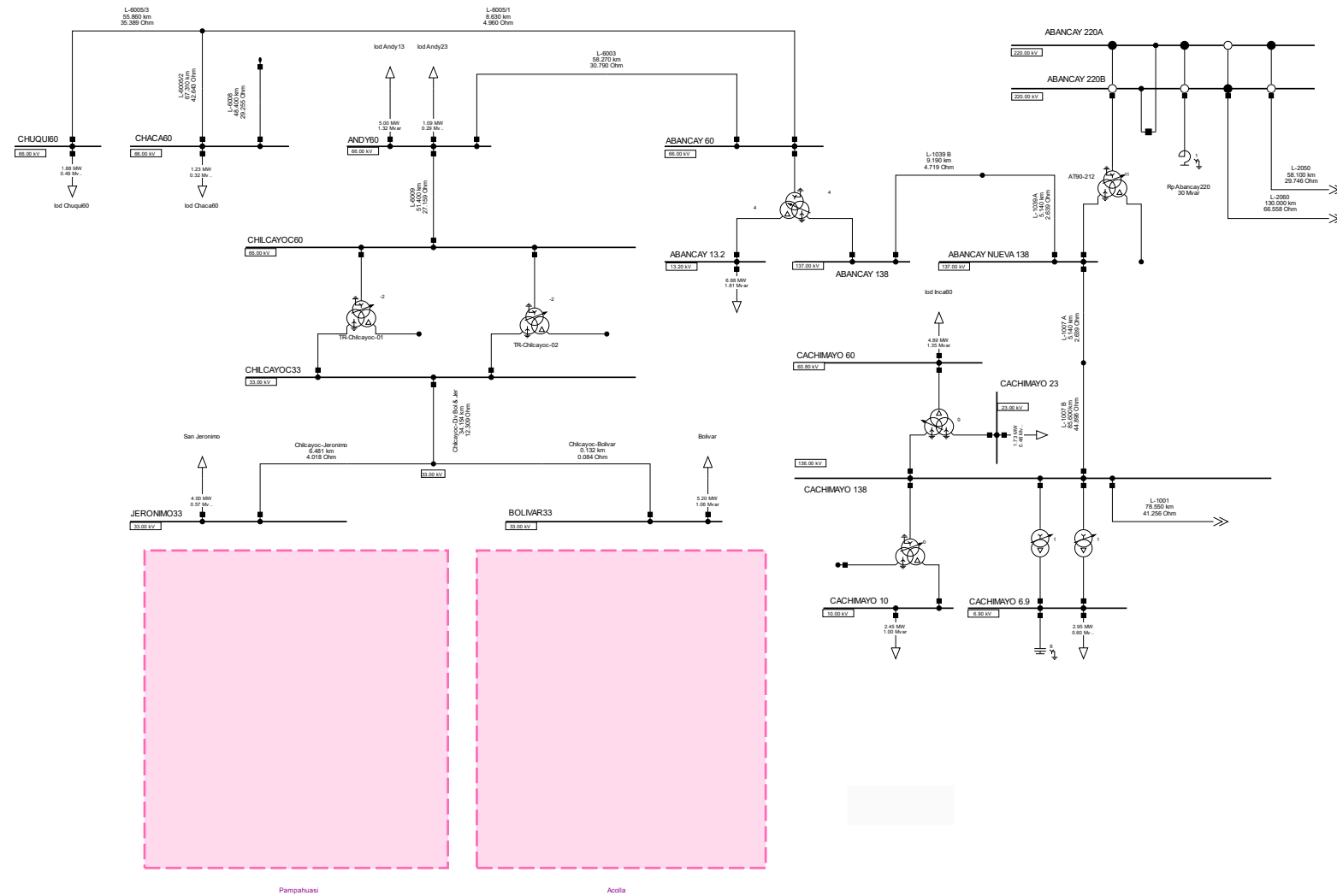


Figura 22
Diagrama unifilar – Alternativa 1.

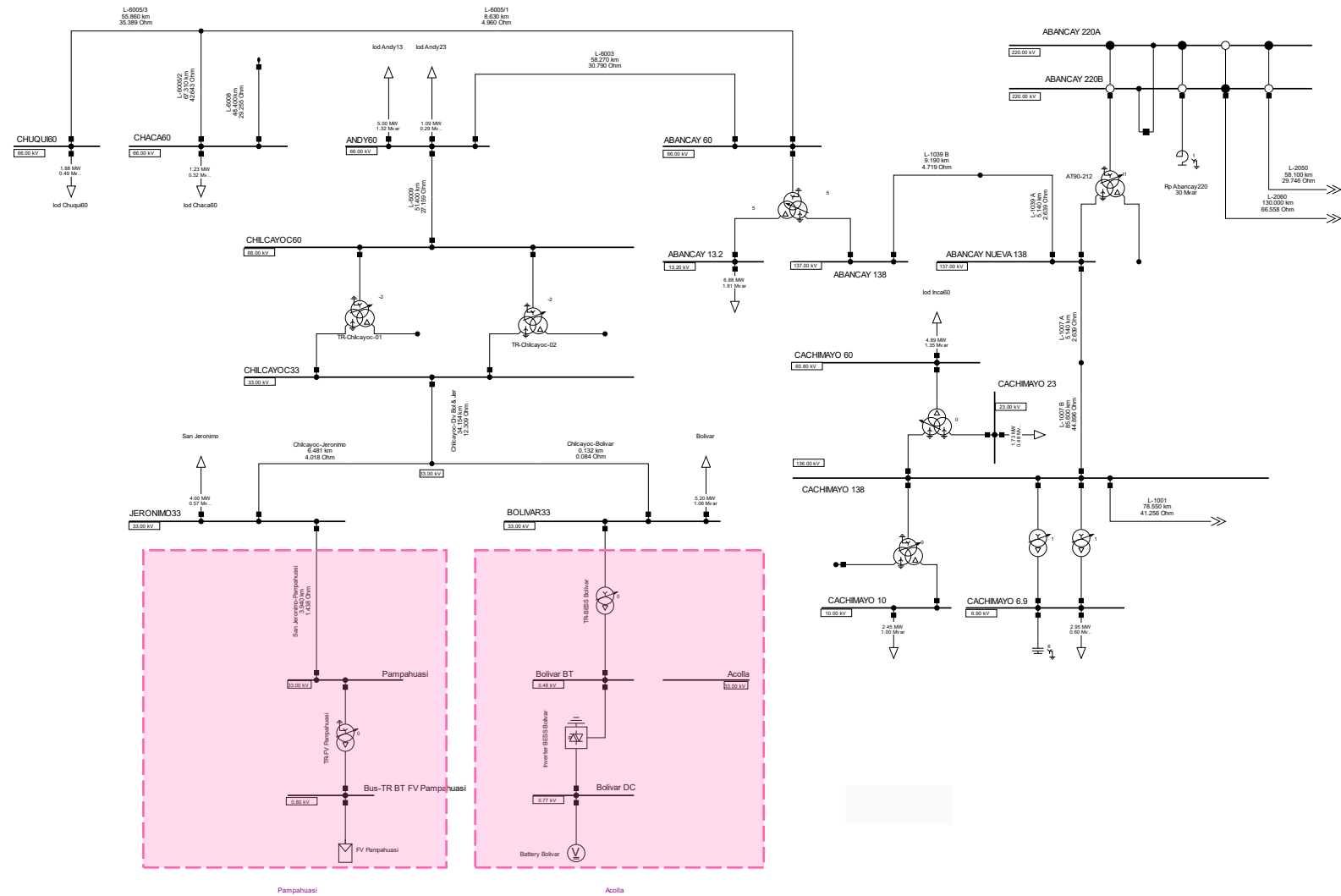


Figura 23
Diagrama unifilar – Alternativa 2.

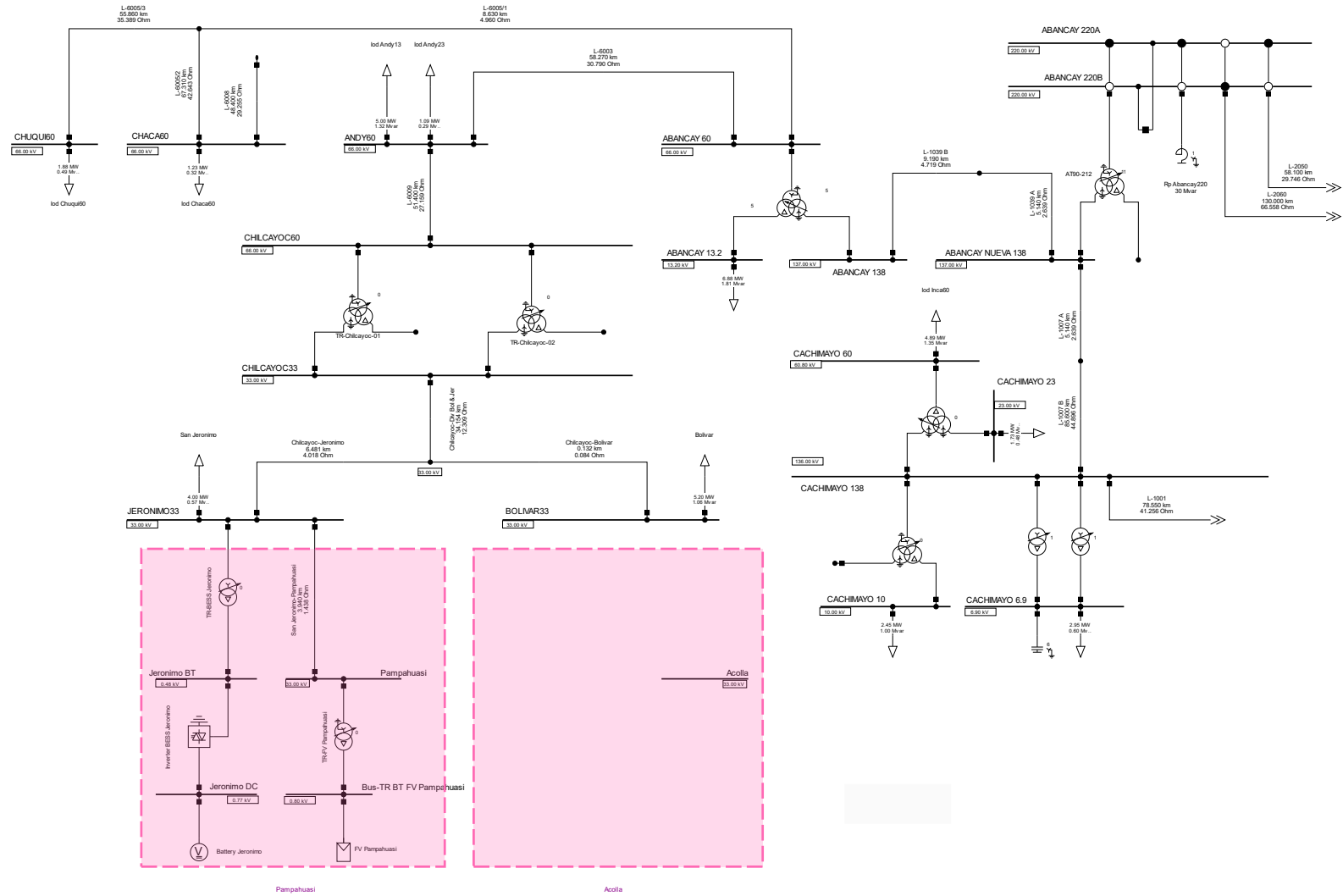


Diagrama unifilar – Alternativa 3.

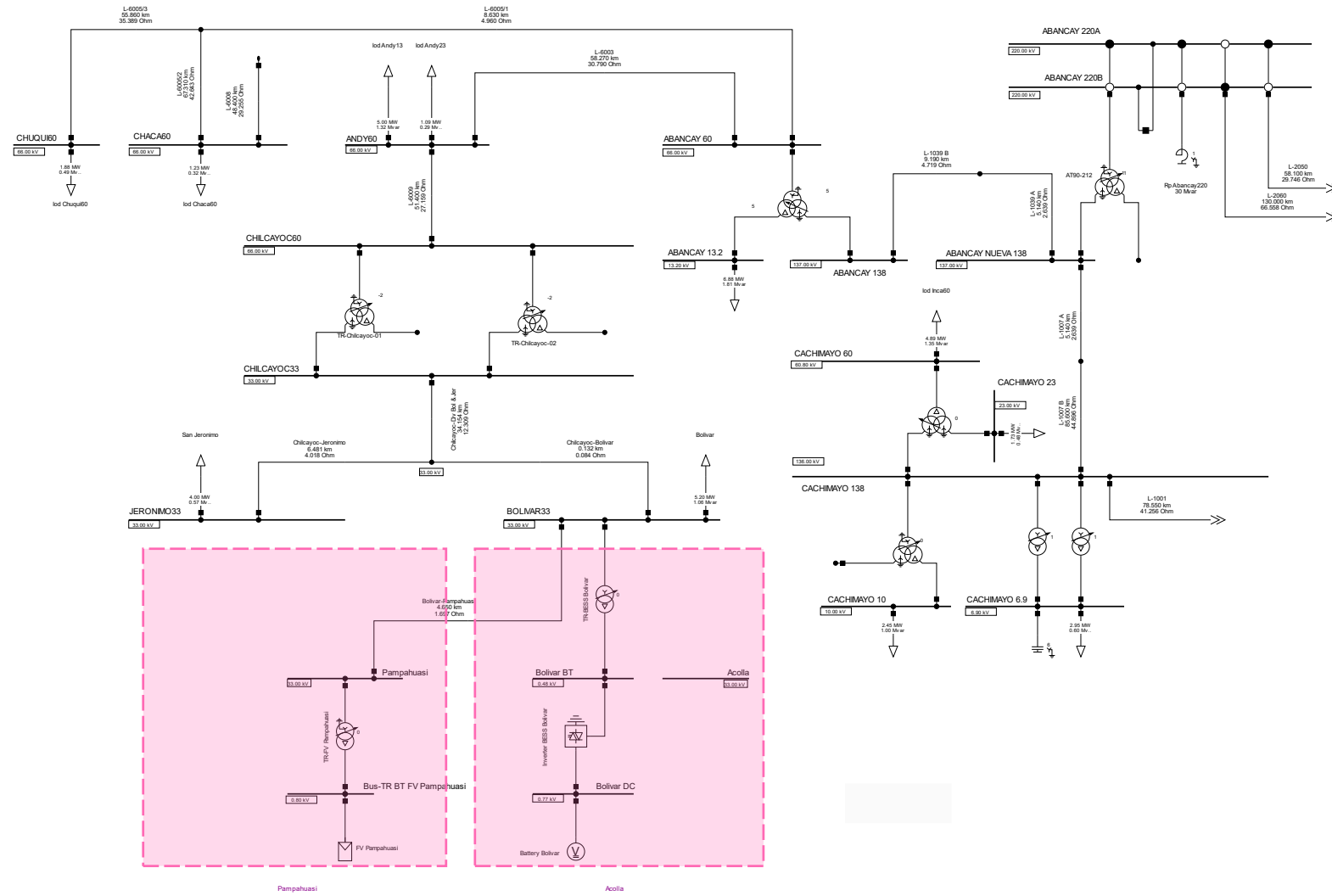


Figura 25
Diagrama unifilar – Alternativa 4.

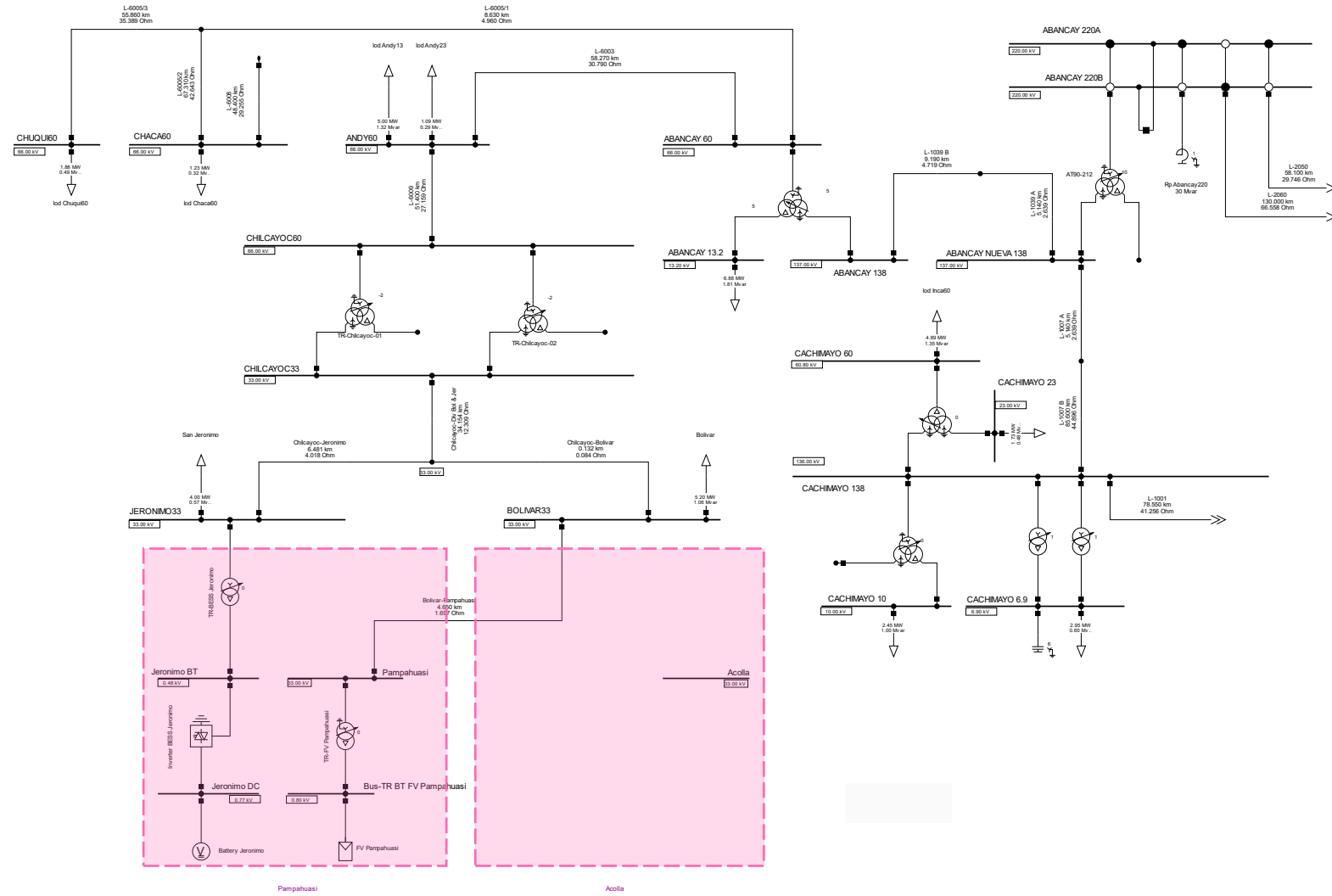


Diagrama unifilar – Alternativa 5.

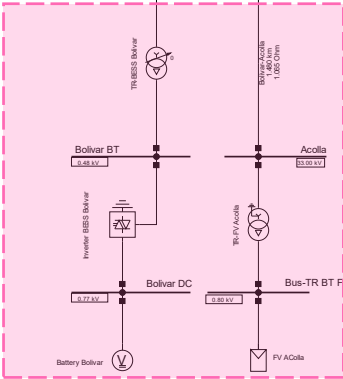


Figura 27
Diagrama unifilar – Alternativa 6

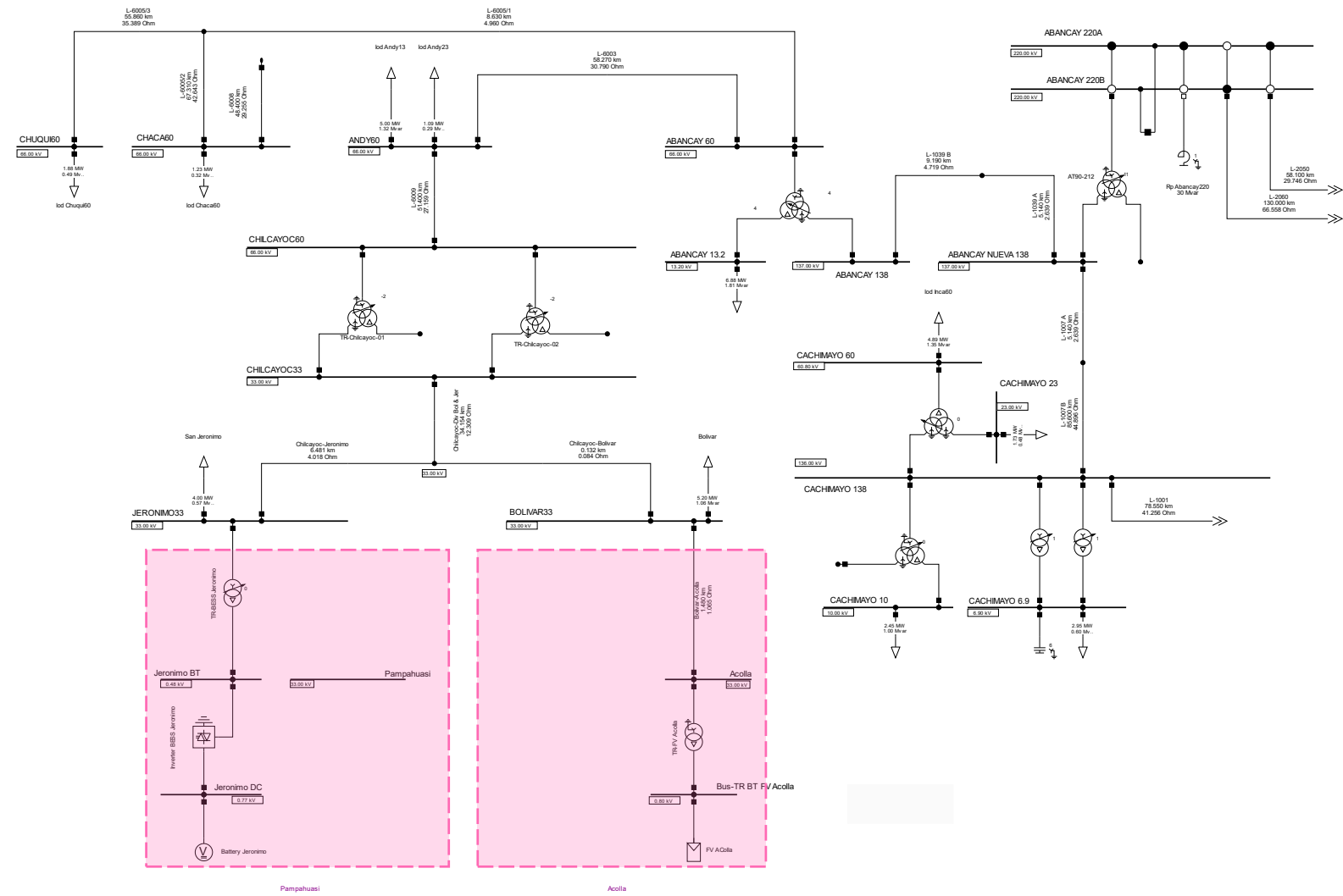
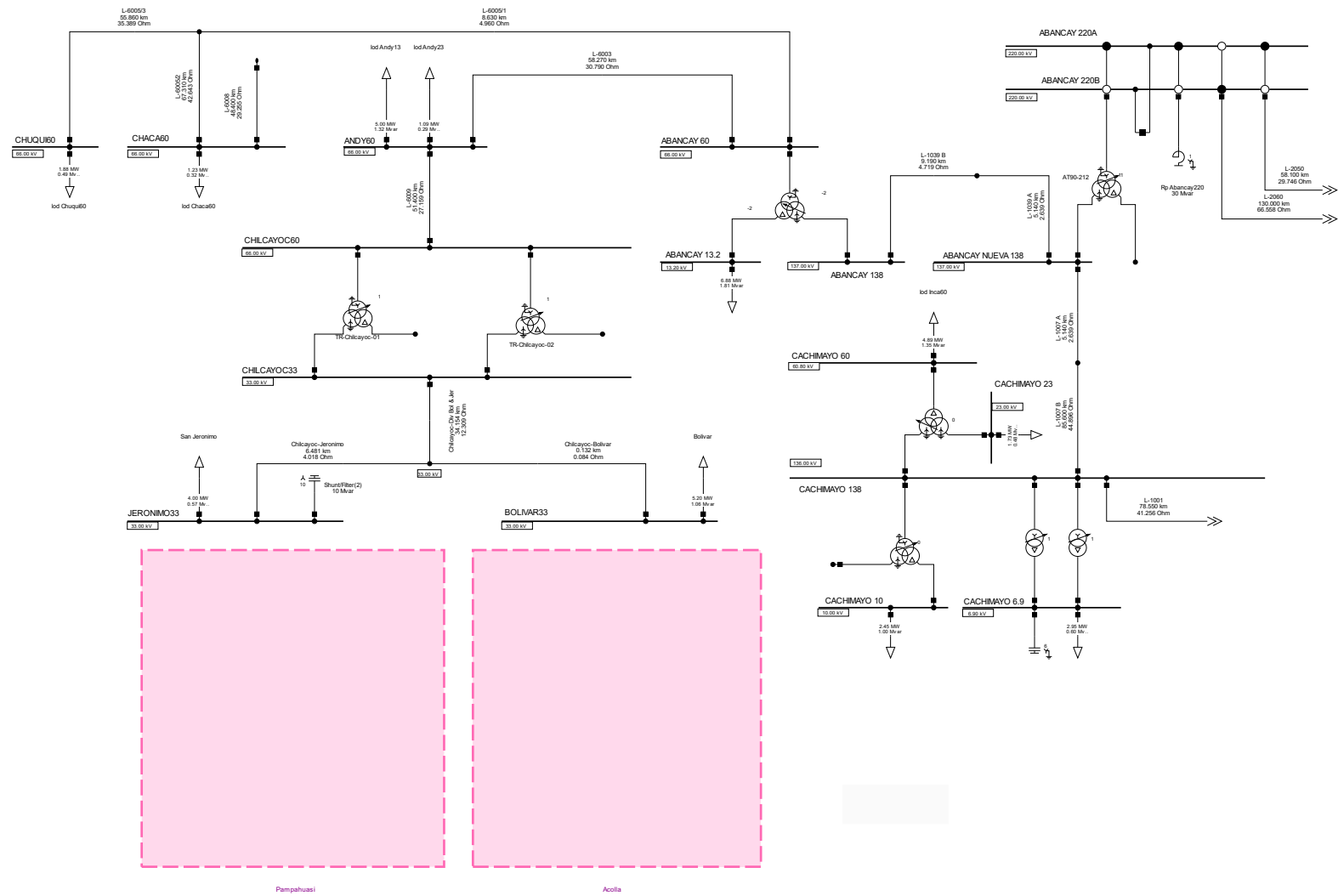


Figura 28
Diagrama unifilar – Alternativa 7.



3.4 Premisas para los estudios eléctricos

A continuación, en la sección 3.4.1 se evaluará la S.E. de conexión del banco de capacitores y en la sección 3.4.2 se evalúa el escenario de operación del SBESS.

3.4.1 Elección de conexión para el BC

En la sección 2.1.4 se demostró que cuando aumenta la longitud en la línea de transmisión, la tensión cae drásticamente, además, se demostró que cuando aumenta la potencia de la carga conectada en el extremo de la línea, entonces, las curvas de tensión vs longitud de línea presentan mayores pendientes.

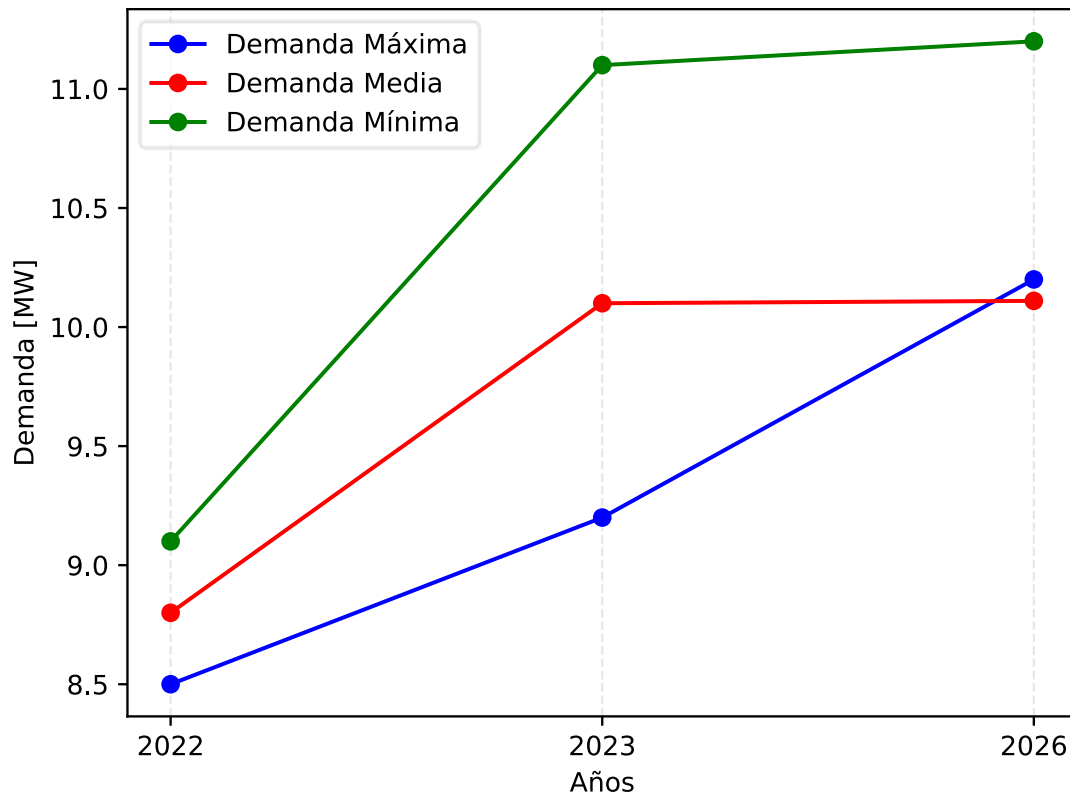
Por lo tanto, la mejor ubicación para la conexión del BC se presenta en la S.E. más alejada, siendo esta la S.E. llamada "JERONIMO33". Además, en esta S.E. se presenta un incremento de demanda conforme se presentó en la sección 3.1.5.

3.4.2 Escenario de operación del SBESS

Para la elección del escenario de operación del SBESS, primeramente, se verifica cuál es el escenario de operación más crítico y el menos crítico, este comportamiento de demanda se presenta a continuación en la Figura 29.

Figura 29

Escenarios de operación de demanda ajustada para la Unidad minera Catalina Huanca.



De la Figura 29 se verifica que el escenario de operación “demanda mínima” es el escenario que necesita más MW de generación, por lo tanto, se decide que en este escenario de operación el SBESS operará como “Descarga”.

De la Figura 29 se verifica que el escenario de operación “demanda máxima” es donde menos MW de generación se necesita, por lo tanto, el SBESS operará como “Carga” en este escenario de operación.

3.4.3 Elementos eléctricos en análisis

Como variables eléctricas en evaluación para el estudio de flujo de potencia, se presentan los resultados de tensiones en S.E. y porcentajes de cargabilidades en líneas y transformadores.

Dicho entonces, los elementos eléctricos a analizar serán S.E., líneas y transformadores, estos han sido seleccionados conforme se presenta en la Figura 30, los cuales se describen a continuación en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 15

Subestaciones en análisis.

Código	Nombre	[kV] Nominal
ABANCAY 138	ABANCAY 138	137,0
ABANCAY NUEVA 138	ABANCAY NUEVA 138	137,0
ABANCAY 60	ABANCAY 60	66,0
ANDY60	ANDY60	66,0
CHILCAYOC60	CHILCAYOC60	66,0
CHACA60	CHACA60	66,0
CHUQUI60	CHUQUI60	66,0
BOLIVAR33	BOLIVAR33	33,0
CHILCAYOC33	CHILCAYOC33	33,0
JERONIMO33	JERONIMO33	33,0

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Conductores en análisis.

Código	S.E. Inicial	S.E. Final	Nombre	Capacidad [kA]
L-6003	ABANCAY 60	ANDY60	ABANCAY 60-ANDY60	0,41
L-6009	ANDY60	CHILCAYOC60	ANDY60-CHILCAYOC60	0,41
Chilcayoc-Div Bol & Jer	CHILCAYOC33	Nodo Derivación	CHILCAYOC33-Nodo Derivación	0,3
Chilcayoc-Bolivar	Nodo Derivación	BOLIVAR33	Nodo Derivación-BOLIVAR33	0,235
Chilcayoc-Jeronimo	Nodo Derivación	JERONIMO33	Nodo Derivación-JERONIMO33	0,235

Nota: Elaboración propia.

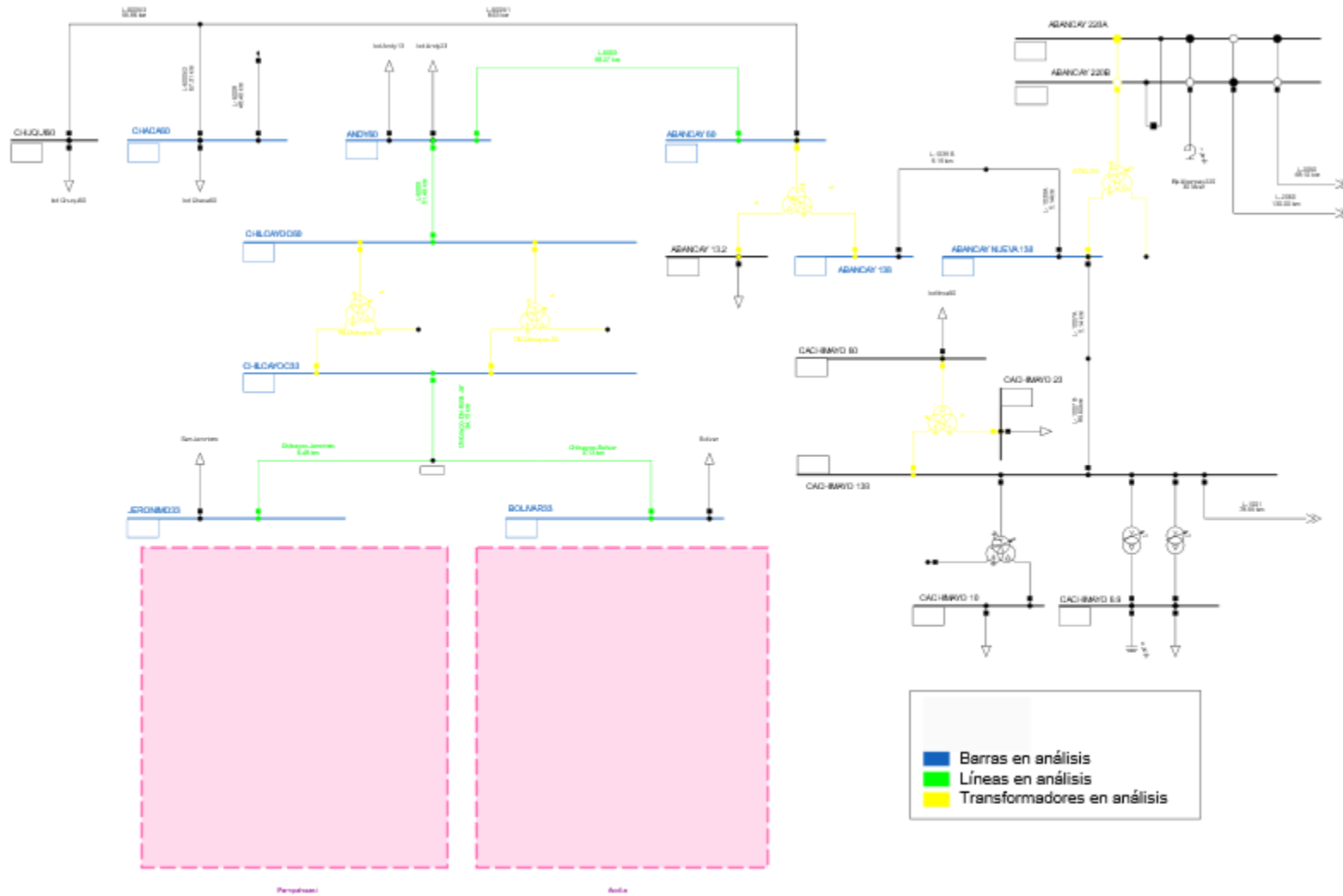
Tabla 17

Transformadores en análisis.

Código	S.E. A.T.	S.E. B.T.	Nombre	Capacidad [MVA]
TR-Chilcayoc-01	CHILCAYOC60	CHILCAYOC33	TR-CHILCAYOC60-01	8,5
TR-Chilcayoc-02	CHILCAYOC60	CHILCAYOC33	TR-CHILCAYOC60-02	8,5
tr3 abanc_8001	ABANCAY 138	ABANCAY 60	TR-ABANCAY 138	50
AT90-212	ABANCAY 220A	ABANCAY NUEVA 138	TR-ABANCAY 220A	120
T3(1)	CACHIMAYO 138	CACHIMAYO 60	TR-CACHIMAYO 138	20

Nota: Elaboración propia.

Figura 30
Elementos eléctricos en análisis.



Además, de las secciones 3.4.1, 3.4.2 y del horario del recurso solar se tiene que:

- El banco de capacitores se conectará en la subestación San Jerónimo.
- El SBESS operará como “Carga” en el escenario de operación “Demanda Máxima” y como “Descarga” en el escenario de operación de “Demanda Mínima”.
- La CSF inyectará potencia al sistema en el escenario de operación de “Demanda Media” por ser el escenario donde el recurso solar se encuentra disponible.

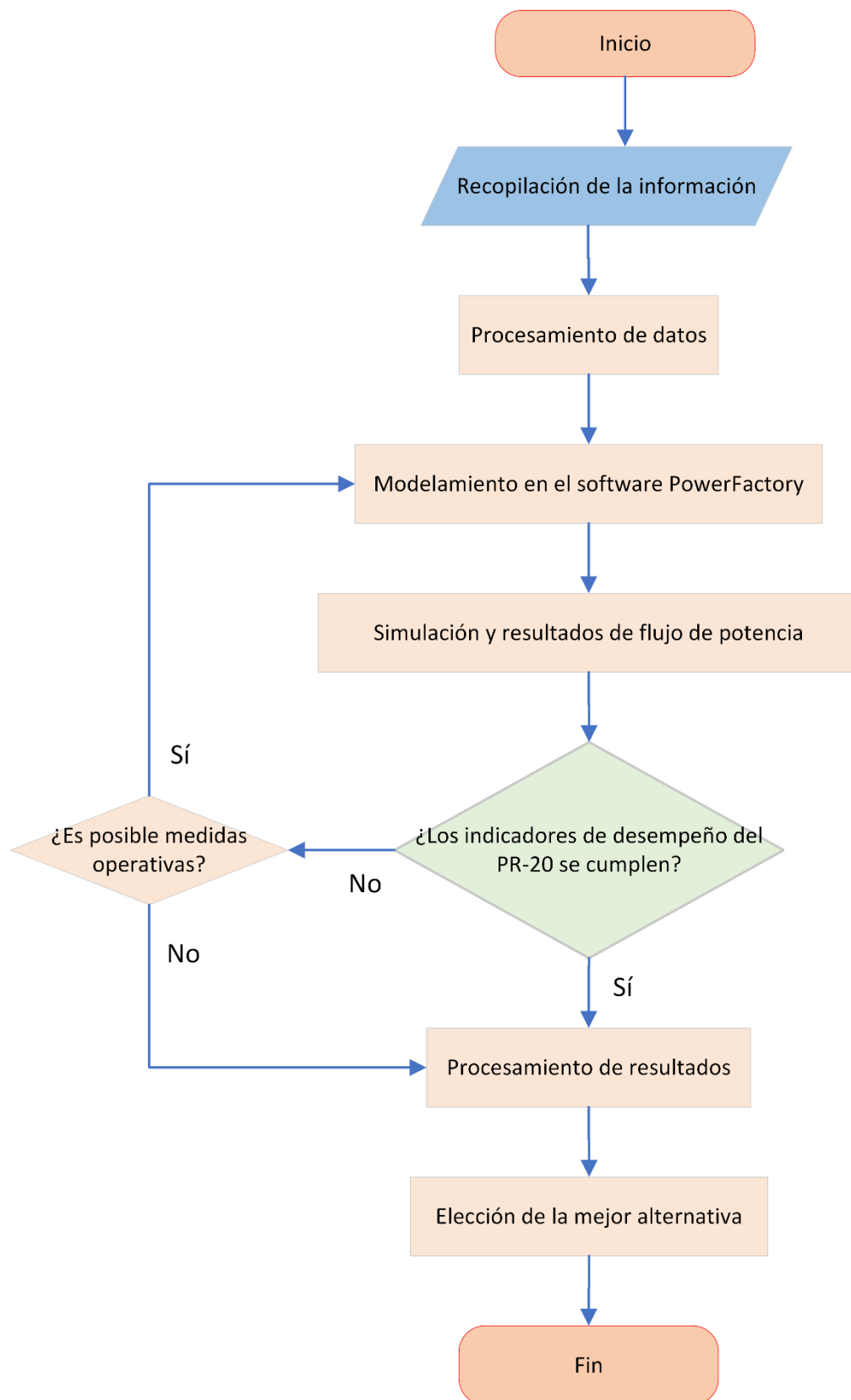
3.4.4 Herramienta computacional

Para el desarrollo del modelamiento del trabajo de suficiencia profesional se utilizó el *software* computacional PowerFactory DigSILENT – Versión 2022.

3.4.5 Flujograma de la metodología

A continuación, en la Figura 31 se presenta el Flujograma de la metodología empleada para la elección de la mejor alternativa con el objetivo de obtener el cumplimiento de los indicadores de desempeño exigidos por el PR-20.

Figura 31
Flujograma de la metodología.



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de flujo de carga

En esta sección se analiza los resultados de cálculos de flujo de potencia para las diferentes alternativas de conexión de la CSF con SBESS (Alternativas 1 al 6). Además, se evaluará una alternativa adicional (Alternativa 7) utilizando un BC.

A continuación, se presentan las alternativas en análisis con sus respectivos resultados de tensión en barras, y cargabilidades en líneas y transformadores.

4.1.1 Alternativa 0

La unidad minera con sus actuales instalaciones, sin considerar los proyectos de CSF con SBESS ni BC, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 respectivamente.

Tabla 18

Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,98	0,98	0,98	0,99	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,99
ABANCAY NUEVA 138	137	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,97	0,98	0,98	0,97	1,00
ABANCAY 60	66	1,01	1,00	1,00	1,01	0,99	0,99	1,01	1,00	1,00	0,99	1,00	1,03
ANDY60	66	0,90	0,90	0,90	0,90	0,88	0,87	0,88	0,89	0,89	0,85	0,89	0,92
CHILCAYOC60	66	0,85	0,83	0,82	0,84	0,81	0,78	0,81	0,82	0,80	0,77	0,82	0,85
CHACA60	66	1,01	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	1,01	1,01	1,01	0,99	1,00	1,03
BOLIVAR33	33	0,80	0,76	0,73	0,79	0,73	0,67	0,73	0,75	0,70	0,68	0,75	0,77
CHILCAYOC33	33	0,88	0,87	0,85	0,88	0,84	0,81	0,84	0,86	0,83	0,80	0,85	0,88
JERONIMO33	33	0,78	0,74	0,71	0,77	0,72	0,65	0,72	0,73	0,68	0,66	0,73	0,75

Tabla 19*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	26,50	30,45	35,17	26,74	31,59	38,06	31,93	31,00	36,79	34,70	31,12	33,60
L-6003	40,92	39,68	40,01	43,29	41,24	43,65	48,03	41,23	42,19	53,73	41,64	39,42
Chilcayoc-Jeronimo	38,53	43,42	51,05	38,88	45,06	55,38	46,17	44,99	52,99	50,29	45,17	48,27
Chilcayoc-Div Bol & Jer	69,05	79,31	91,55	69,66	82,25	99,07	83,14	80,72	95,77	90,34	81,04	87,48
Chilcayoc-Bolivar	49,67	57,88	65,87	50,10	59,98	71,13	60,01	58,10	69,32	65,08	58,33	63,46

Tabla 20*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 0.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	52,47	48,67	49,05	57,71	52,19	54,67	60,40	50,50	51,55	69,60	52,77	50,13
TR-Chilcayoc-02	73,07	83,96	96,95	73,73	87,08	104,93	88,03	85,46	101,43	95,67	85,80	92,63
TR-Chilcayoc-01	73,07	83,96	96,95	73,73	87,08	104,93	88,03	85,46	101,43	95,67	85,80	92,63
T3(1)	34,12	21,18	16,62	38,10	22,11	18,18	37,33	23,33	18,29	42,27	24,31	19,72
AT90-212	32,41	29,87	24,32	40,38	33,94	28,68	34,11	28,96	23,04	45,77	35,12	29,31

4.1.2 Alternativa 1

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 respectivamente.

Tabla 21*Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.*

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99	0,97	1,00
ABANCAY NUEVA 138	137	0,98	0,99	1,00	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	1,00	0,98	1,00
ABANCAY 60	66	1,01	1,03	1,02	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
ANDY60	66	0,90	0,97	0,95	0,89	0,93	0,94	0,89	0,94	1,00	0,96	0,94	0,95
CHILCAYOC60	66	0,83	0,94	0,89	0,82	0,88	0,88	0,81	0,89	0,99	0,94	0,88	0,89
CHACA60	66	1,01	1,04	1,03	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03
BOLIVAR33	33	0,76	0,90	0,82	0,75	0,81	0,83	0,72	0,85	1,00	0,98	0,78	0,81
CHILCAYOC33	33	0,86	0,96	0,91	0,85	0,89	0,92	0,84	0,93	1,00	0,99	0,87	0,91
JERONIMO33	33	0,74	0,90	0,80	0,73	0,80	0,82	0,71	0,84	1,00	0,98	0,77	0,80

Tabla 22*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	30,68	17,22	25,15	31,11	24,80	25,29	35,52	24,19	24,11	29,57	24,93	25,52
L-6003	45,19	25,73	29,73	47,79	33,89	30,50	51,36	33,82	28,64	45,62	34,87	31,18
Chilcayoc-Jeronimo	40,36	10,47	45,07	40,94	30,15	44,16	46,91	29,31	63,55	61,66	31,85	45,24
Chilcayoc-Div Bol & Jer	79,88	46,06	67,30	81,00	66,34	65,95	92,45	63,05	64,24	75,74	68,39	68,28
Chilcayoc-Bolivar	61,65	48,77	41,14	62,49	54,57	40,34	71,14	51,21	34,45	52,60	55,48	42,22

Tabla 23*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 1.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	57,02	33,73	37,82	62,52	43,93	40,32	63,80	42,28	39,67	62,64	45,10	41,13
TR-Chilcayoc-02	84,59	47,47	69,34	85,77	68,38	69,74	97,92	66,68	64,80	80,42	68,73	70,35
TR-Chilcayoc-01	84,59	47,47	69,34	85,77	68,38	69,74	97,92	66,68	64,80	80,42	68,73	70,35
T3(1)	34,16	21,11	16,59	38,16	22,07	18,12	37,37	23,29	18,15	41,96	24,27	19,69
AT90-212	33,71	26,27	21,74	41,64	32,32	25,83	35,37	27,24	20,95	44,78	33,60	27,14

4.1.3 Alternativa 2

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 respectivamente.

Tabla 24

Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,97	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	0,97	0,97	1,00
ABANCAY NUEVA 138	137	0,98	0,99	1,00	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00
ABANCAY 60	66	1,00	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02	1,03	1,01	1,03	1,04	1,01	1,05
ANDY60	66	0,87	0,95	0,95	0,90	0,95	0,94	0,88	0,92	0,95	0,89	0,92	0,97
CHILCAYOC60	66	0,79	0,91	0,89	0,82	0,89	0,89	0,80	0,87	0,90	0,81	0,87	0,92
CHACA60	66	1,00	1,03	1,03	1,02	1,04	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,05
BOLIVAR33	33	0,65	0,83	0,79	0,70	0,79	0,84	0,70	0,82	0,85	0,72	0,82	0,88
CHILCAYOC33	33	0,77	0,91	0,88	0,81	0,88	0,93	0,83	0,91	0,94	0,84	0,91	0,96
JERONIMO33	33	0,63	0,83	0,78	0,68	0,77	0,83	0,68	0,81	0,84	0,70	0,81	0,87

Tabla 25

Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	34,56	18,67	25,21	31,93	24,62	24,94	36,73	24,99	24,92	35,97	25,04	24,05
L-6003	49,37	27,29	29,78	48,38	33,54	30,14	52,68	34,85	29,99	54,06	35,16	29,58
Chilcayoc-Jeronimo	59,96	13,69	27,85	55,26	31,02	26,11	59,46	30,30	25,79	58,20	30,36	24,86
Chilcayoc-Div Bol & Jer	94,67	51,35	69,16	87,49	68,22	65,04	95,60	65,15	64,99	93,62	65,27	62,72
Chilcayoc-Bolivar	60,96	52,77	60,55	56,50	56,10	57,02	62,64	52,90	57,26	61,39	52,99	55,29

Tabla 26

Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 2.

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	61,42	34,86	37,85	62,89	43,36	39,96	65,22	43,49	38,32	69,44	45,61	39,38
TR-Chilcayoc-02	95,27	51,48	69,49	88,03	65,58	68,77	101,25	68,91	68,71	99,16	69,04	66,30
TR-Chilcayoc-01	95,27	51,48	69,49	88,03	85,70	68,77	101,25	68,91	68,71	99,16	69,04	66,30
T3(1)	34,21	21,13	16,59	38,17	22,07	18,12	37,39	23,29	18,23	42,28	24,27	19,68
AT90-212	34,56	26,47	21,74	41,89	32,33	25,77	35,68	27,36	20,27	46,54	33,57	26,93

4.1.4 Alternativa 3

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 respectivamente.

Tabla 27

Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,97	0,97	1,00
ABANCAY NUEVA 138	137	0,98	0,99	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00
ABANCAY 60	66	1,01	1,02	1,03	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02	1,05	1,03	1,03
ANDY60	66	0,90	0,95	0,95	0,89	0,93	0,92	0,89	0,94	0,95	0,91	0,94	0,95
CHILCAYOC60	66	0,83	0,91	0,90	0,82	0,88	0,83	0,81	0,89	0,89	0,83	0,89	0,90
CHACA60	66	1,01	1,03	1,03	1,01	1,02	1,04	1,03	1,04	1,03	1,05	1,03	1,03
BOLIVAR33	33	0,76	0,83	0,85	0,75	0,84	0,73	0,72	0,85	0,84	0,69	0,85	0,85
CHILCAYOC33	33	0,86	0,90	0,94	0,85	0,92	0,86	0,84	0,93	0,93	0,82	0,93	0,94
JERONIMO33	33	0,75	0,81	0,84	0,73	0,82	0,71	0,71	0,83	0,83	0,67	0,83	0,83

Tabla 28*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	30,65	18,99	24,75	31,10	24,64	38,15	35,50	24,36	25,25	35,51	24,40	25,10
L-6003	45,15	27,63	29,33	47,78	33,71	43,44	51,34	34,01	30,32	53,18	34,31	30,76
Chilcayoc-Jeronimo	40,34	39,70	43,23	40,94	39,34	50,95	46,90	39,58	43,63	49,46	39,65	43,36
Chilcayoc-Div Bol & Jer	79,81	52,23	64,54	80,97	64,23	99,30	92,40	63,52	65,84	97,29	63,62	65,45
Chilcayoc-Bolivar	61,57	27,86	39,44	62,45	42,78	75,85	71,08	41,63	40,69	74,76	41,69	40,45

Tabla 29*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 3.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	56,99	35,20	37,45	62,51	43,77	54,15	63,78	42,48	38,65	68,22	44,54	40,72
TR-Chilcayoc-02	84,51	52,37	68,24	85,74	67,93	105,19	97,87	67,17	69,61	97,90	67,28	69,20
TR-Chilcayoc-01	84,51	52,37	68,24	85,74	67,93	105,19	97,87	67,17	69,61	97,90	67,28	69,20
T3(1)	34,16	21,13	16,58	38,16	22,07	18,18	37,37	23,29	18,23	42,27	24,26	19,68
AT90-212	33,66	26,64	21,67	41,64	32,29	29,27	35,37	27,28	20,33	46,50	33,51	27,07

4.1.5 Alternativa 4

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 respectivamente.

Tabla 30*Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.*

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	1,01	0,98	1,01
ABANCAY NUEVA 138	137	0,99	0,99	1,00	0,99	0,98	1,00	0,98	0,98	0,98	1,02	0,99	1,02
ABANCAY 60	66	1,02	1,02	1,03	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02
ANDY60	66	0,91	0,95	0,95	0,89	0,93	0,95	0,89	0,94	0,95	0,88	0,93	0,94
CHILCAYOC60	66	0,84	0,91	0,90	0,81	0,88	0,90	0,80	0,89	0,90	0,79	0,88	0,88
CHACA60	66	1,02	1,03	1,03	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02
BOLIVAR33	33	0,78	0,86	0,86	0,74	0,84	0,85	0,70	0,85	0,85	0,69	0,83	0,83
CHILCAYOC33	33	0,88	0,93	0,94	0,85	0,92	0,94	0,83	0,93	0,94	0,82	0,92	0,92
JERONIMO33	33	0,76	0,85	0,85	0,72	0,82	0,84	0,68	0,83	0,84	0,67	0,82	0,82

Tabla 31*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	30,16	18,76	24,44	31,62	24,64	24,52	36,70	24,36	24,92	37,27	24,78	25,46
L-6003	44,47	27,38	29,01	48,35	33,71	29,65	52,65	34,01	29,98	55,59	34,78	31,22
Chilcayoc-Jeronimo	49,47	38,26	25,60	51,92	39,34	25,68	59,44	39,58	25,83	60,39	40,26	26,41
Chilcayoc-Div Bol & Jer	78,54	50,32	63,72	82,33	64,23	63,93	95,52	63,52	64,97	97,00	64,58	66,39
Chilcayoc-Bolivar	50,85	26,80	55,85	53,24	42,78	56,03	62,57	41,63	57,22	63,50	42,32	58,45

Tabla 32*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 4.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	56,17	34,97	37,14	63,13	43,77	39,38	65,18	42,48	38,31	71,16	45,12	41,33
TR-Chilcayoc-02	83,15	51,73	67,37	87,18	67,93	67,59	101,18	67,17	68,70	102,75	68,31	70,20
TR-Chilcayoc-01	83,15	51,73	67,37	87,18	67,93	67,59	101,18	67,17	68,70	102,75	68,31	70,20
T3(1)	34,05	21,13	16,58	38,17	22,07	18,07	37,39	23,29	18,23	41,70	24,20	19,58
AT90-212	34,37	26,50	21,60	41,76	32,29	26,26	35,67	27,28	20,27	52,03	34,23	28,41

4.1.6 Alternativa 5

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35 respectivamente.

Tabla 33

Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,99	1,00	0,99	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,02
ABANCAY NUEVA 138	137	1,00	1,01	1,00	0,99	0,98	0,99	1,01	1,00	1,00	0,99	1,00	1,02
ABANCAY 60	66	1,02	1,02	1,01	1,01	1,02	1,02	1,05	1,02	1,03	1,05	1,02	1,03
ANDY60	66	0,90	0,93	0,93	0,89	0,93	0,94	0,92	0,94	0,95	0,92	0,94	0,96
CHILCAYOC60	66	0,83	0,88	0,88	0,82	0,88	0,88	0,85	0,88	0,90	0,84	0,88	0,90
CHACA60	66	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	1,02	1,05	1,03	1,03	1,05	1,03	1,04
BOLIVAR33	33	0,77	0,83	0,82	0,75	0,83	0,83	0,77	0,84	0,85	0,77	0,84	0,86
CHILCAYOC33	33	0,87	0,92	0,91	0,85	0,92	0,92	0,88	0,92	0,94	0,88	0,92	0,94
JERONIMO33	33	0,75	0,81	0,81	0,73	0,82	0,82	0,75	0,82	0,83	0,75	0,82	0,84

Tabla 34

Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	30,31	25,00	25,60	31,15	24,89	25,32	33,30	24,77	25,08	33,42	24,81	24,92
L-6003	44,73	33,88	30,27	47,83	33,98	30,52	48,70	34,47	30,12	51,04	34,78	30,55
Chilcayoc-Jeronimo	39,88	39,72	44,70	41,00	39,55	44,21	43,93	40,05	43,31	44,09	40,12	43,04
Chilcayoc-Div Bol & Jer	78,93	65,16	66,74	81,10	64,89	66,02	86,70	64,56	65,39	87,01	64,69	64,99
Chilcayoc-Bolivar	60,91	43,60	40,79	62,55	43,42	40,36	66,79	42,52	40,44	67,02	42,60	40,20

Tabla 35

Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 5.

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	56,49	42,26	38,52	62,57	44,04	40,34	60,82	42,98	38,41	66,05	45,07	40,47
TR-Chilcayoc-02	83,58	68,91	70,57	85,87	68,62	69,81	91,82	68,28	69,14	92,14	68,41	68,71
TR-Chilcayoc-01	83,58	68,91	70,57	85,87	68,62	69,81	91,82	68,28	69,14	92,14	68,41	68,71
T3(1)	33,86	20,97	16,59	38,16	22,07	18,12	36,90	23,02	18,07	42,11	23,98	19,51
AT90-212	34,18	29,06	21,77	41,65	32,34	25,84	36,46	28,74	20,69	46,82	34,75	27,48

4.1.7 Alternativa 6

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando los proyectos de CSF con SBESS, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38 respectivamente.

Tabla 36

Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	1,02
ABANCAY NUEVA 138	137	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	1,02
ABANCAY 60	66	1,01	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02	1,03	1,04	1,02	1,03
ANDY60	66	0,90	0,95	0,95	0,90	0,93	0,94	0,90	0,93	0,95	0,90	0,92	0,96
CHILCAYOC60	66	0,83	0,89	0,90	0,83	0,88	0,89	0,82	0,87	0,90	0,81	0,87	0,90
CHACA60	66	1,02	1,04	1,03	1,02	1,03	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,04
BOLIVAR33	33	0,76	0,85	0,86	0,77	0,81	0,84	0,73	0,82	0,85	0,72	0,82	0,86
CHILCAYOC33	33	0,87	0,93	0,94	0,87	0,90	0,93	0,85	0,91	0,94	0,85	0,91	0,95
JERONIMO33	33	0,74	0,83	0,85	0,75	0,79	0,83	0,70	0,81	0,84	0,70	0,81	0,85

Tabla 37*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	30,73	24,38	24,47	30,59	25,06	24,97	35,56	25,24	24,95	35,63	25,29	24,61
L-6003	45,17	33,11	29,04	47,04	34,13	30,17	51,32	35,06	30,01	53,65	35,39	30,23
Chilcayoc-Jeronimo	50,42	38,73	25,62	50,18	40,89	26,16	57,53	40,82	25,85	57,65	40,91	25,49
Chilcayoc-Div Bol & Jer	80,02	63,56	63,80	79,65	67,05	65,11	92,57	65,79	65,05	92,76	65,93	64,18
Chilcayoc-Bolivar	51,80	42,55	55,93	51,56	44,85	57,05	60,71	43,32	57,30	60,83	43,41	56,53

Tabla 38*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 6.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	56,96	41,37	37,16	61,60	44,14	39,98	63,71	43,67	38,34	68,98	45,80	40,15
TR-Chilcayoc-02	84,72	67,21	67,45	84,33	69,10	68,84	98,04	69,58	68,78	98,24	69,74	67,85
TR-Chilcayoc-01	84,72	67,21	67,45	84,33	69,10	68,84	98,04	69,58	68,78	98,24	69,74	67,85
T3(1)	33,86	21,15	16,58	38,04	21,88	18,12	37,03	23,09	18,23	42,03	24,06	19,51
AT90-212	34,29	28,28	21,60	42,36	32,90	25,77	36,09	28,00	20,27	48,31	34,04	27,41

4.1.8 Alternativa 7

La unidad minera con sus actuales instalaciones, considerando el proyecto de BC conectado en la subestación San Jerónimo en 33 kV, obtiene los resultados de tensión en barras, cargabilidad en líneas y transformadores como se presenta en la Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41 respectivamente.

Tabla 39*Resultados de tensiones [p.u.] en S.E. para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.*

Subestación	V _{nom} [kV]	2023						2026					
		AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
ABANCAY 138	137	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	1,01
ABANCAY NUEVA 138	137	1,00	1,00	1,01	1,01	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	1,01
ABANCAY 60	66	1,03	1,03	1,02	1,03	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02	1,03
ANDY60	66	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00	0,97	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99
CHILCAYOC60	66	1,00	0,98	0,98	0,99	0,98	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98
CHACA60	66	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,03
BOLIVAR33	33	1,01	0,99	1,00	1,00	0,99	1,01	0,99	1,00	0,98	1,00	0,99	0,99
CHILCAYOC33	33	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
JERONIMO33	33	1,02	1,00	1,01	1,02	1,00	1,02	1,00	1,01	1,00	1,01	1,01	1,00

Tabla 40*Resultados de cargabilidad [%] en líneas para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
L-6009	26,87	27,26	30,01	26,84	28,19	29,99	28,74	28,62	30,18	28,74	28,62	30,16
L-6003	38,01	34,28	34,21	39,63	35,24	34,55	41,83	36,14	34,79	43,51	36,35	35,20
Chilcayoc-Jeronimo	74,97	68,05	75,91	74,71	74,43	76,53	74,52	75,02	75,34	75,02	74,89	75,68
Chilcayoc-Div Bol & Jer	72,97	72,83	80,38	72,94	76,34	80,25	76,76	76,35	80,96	76,71	76,36	80,86
Chilcayoc-Bolivar	39,22	44,46	48,10	39,39	44,58	47,55	44,68	43,71	49,40	44,28	43,81	49,07

Tabla 41*Resultados de cargabilidad [%] en transformadores para los años 2023 y 2026, Alternativa 7.*

Subestación	2023						2026					
	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin	AvMax	AvMed	AvMin	EsMax	EsMed	EsMin
tr3 abanc_8001	51,89	45,47	45,91	55,86	47,99	47,51	56,30	47,77	46,61	60,55	49,41	48,38
TR-Chilcayoc-02	73,60	73,46	81,08	73,57	98,88	80,95	77,42	77,02	81,66	77,38	77,02	81,56
TR-Chilcayoc-01	73,60	73,46	81,08	73,57	68,82	80,95	77,42	77,02	81,66	77,38	77,02	81,56
T3(1)	33,91	21,05	16,51	37,86	21,96	18,04	37,08	23,17	18,15	41,88	24,14	19,60
AT90-212	32,19	28,95	23,71	40,19	33,47	28,19	33,01	28,39	22,73	44,03	34,75	29,14

4.1.9 Resumen de resultados

Los resultados presentados en las tablas desde la sección 4.1.1 a la sección 4.1.8 son resumidos en esta sección en forma gráfica.

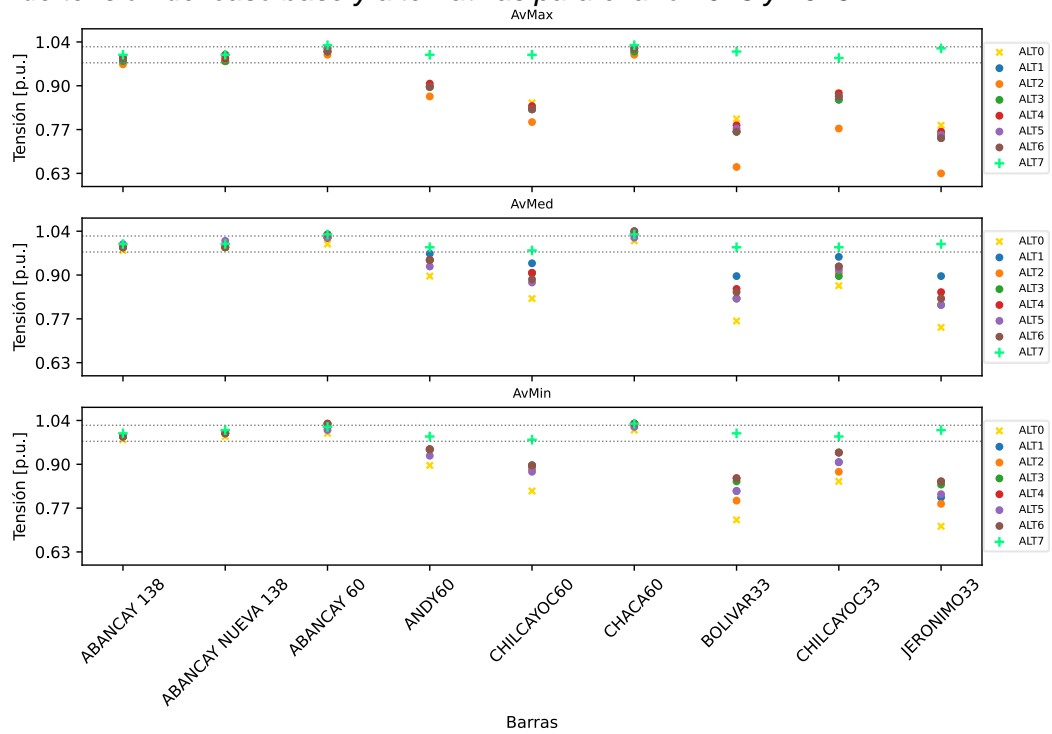
El resumen de las tensiones para los años en análisis 2023 y 2026 se presenta en la Figura 32, aquí se presenta el perfil de tensiones para todas las alternativas y todos los escenarios de operación analizados.

El resumen de las cargabilidades en líneas para los años en análisis 2023 y 2026 se presenta en la Figura 33, aquí se presenta los resultados para todas las alternativas y todos los escenarios de operación analizados.

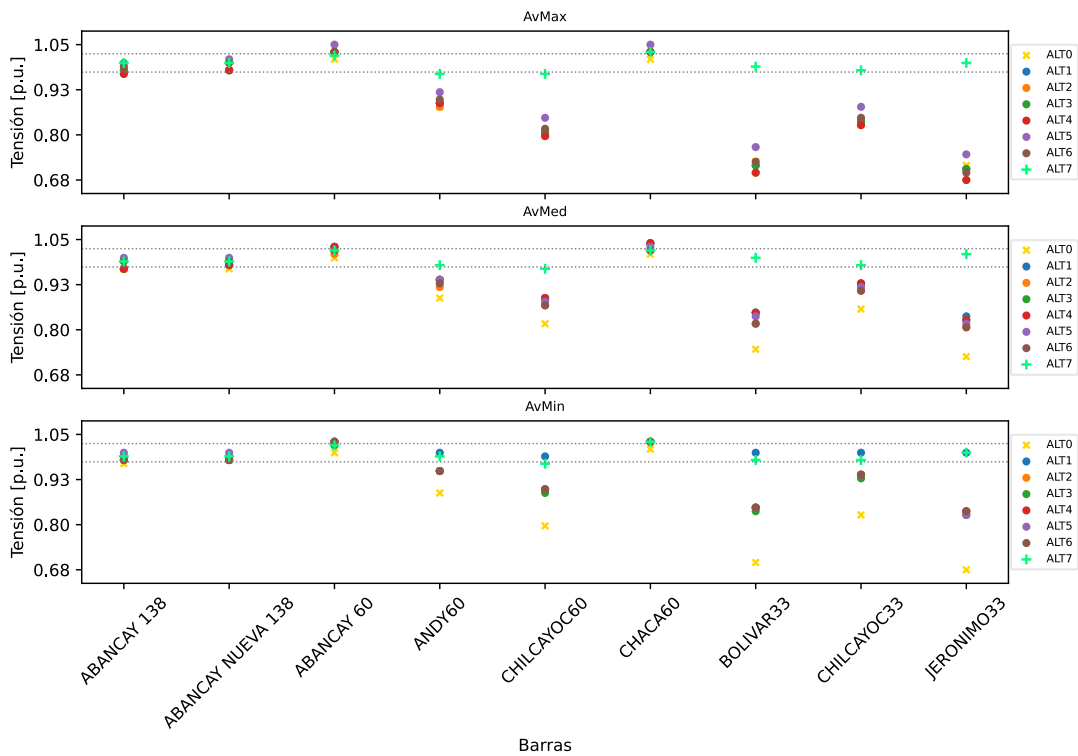
El resumen de las cargabilidades en transformadores para los años en análisis 2023 y 2026 se presenta en la Figura 34, aquí se presenta los resultados para todas las alternativas y todos los escenarios de operación analizados.

De la Figura 32 se verifica que para los años 2023 y 2026, la alternativa 7 (conexión de un BC) es la que presenta mejores resultados en tensión.

Figura 32
Perfil de tensión del caso base y alternativas para el año 2023 y 2026.



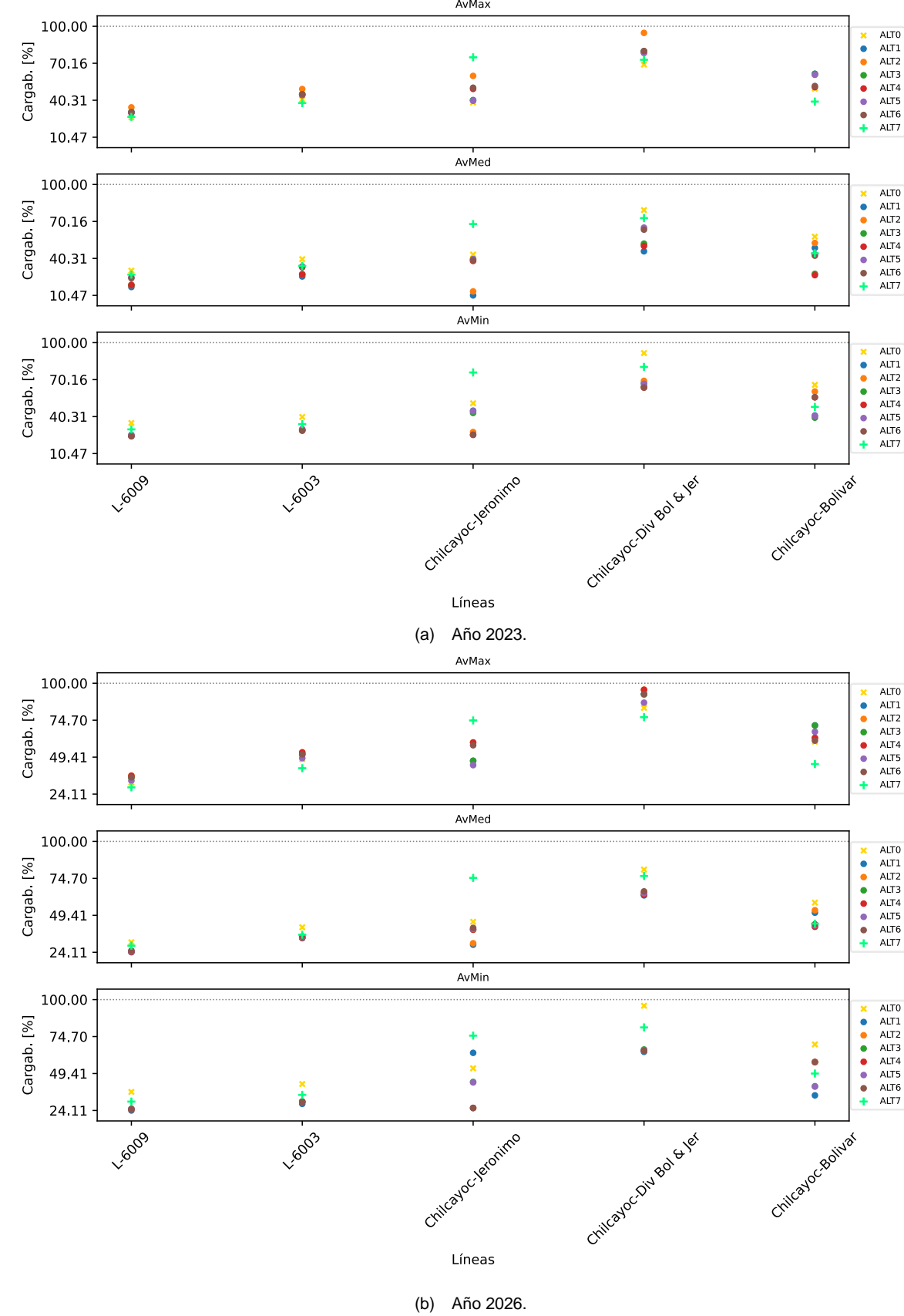
(a) Año 2023.



(b) Año 2026.

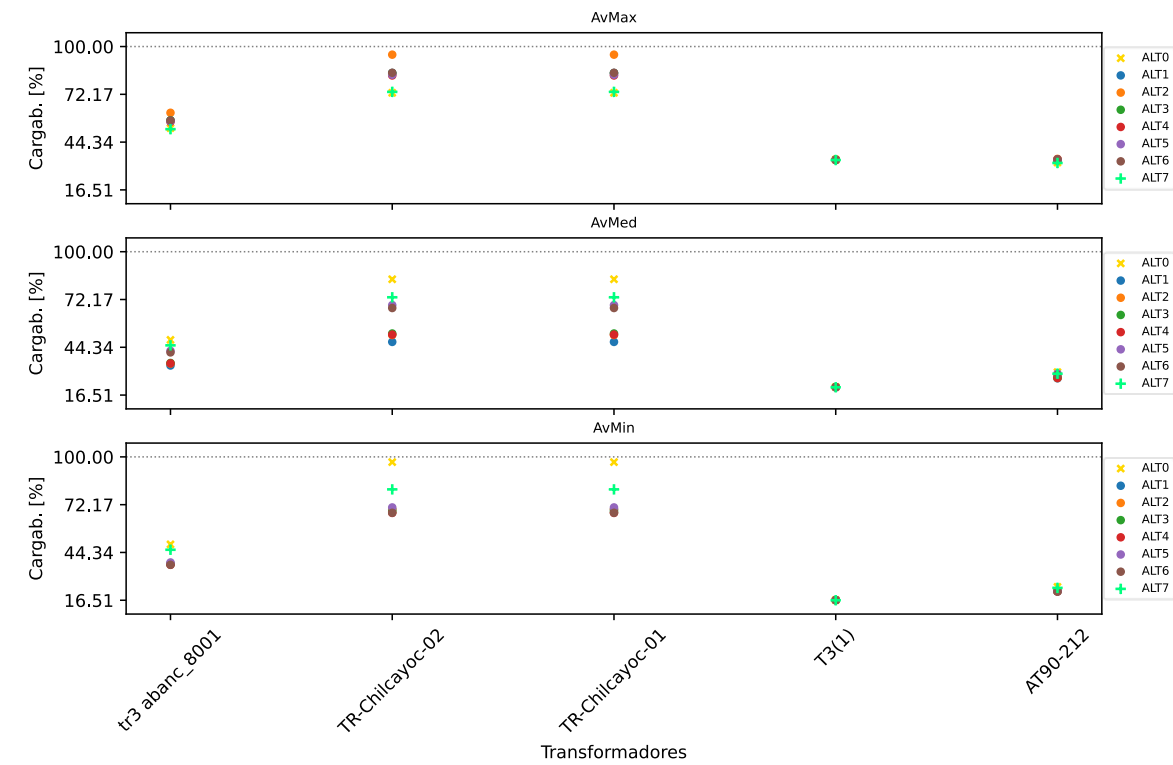
Nota: fuente propio autor.

Figura 33
Cargabilidad en líneas del caso base y alternativas para el año 2023 y 2026.

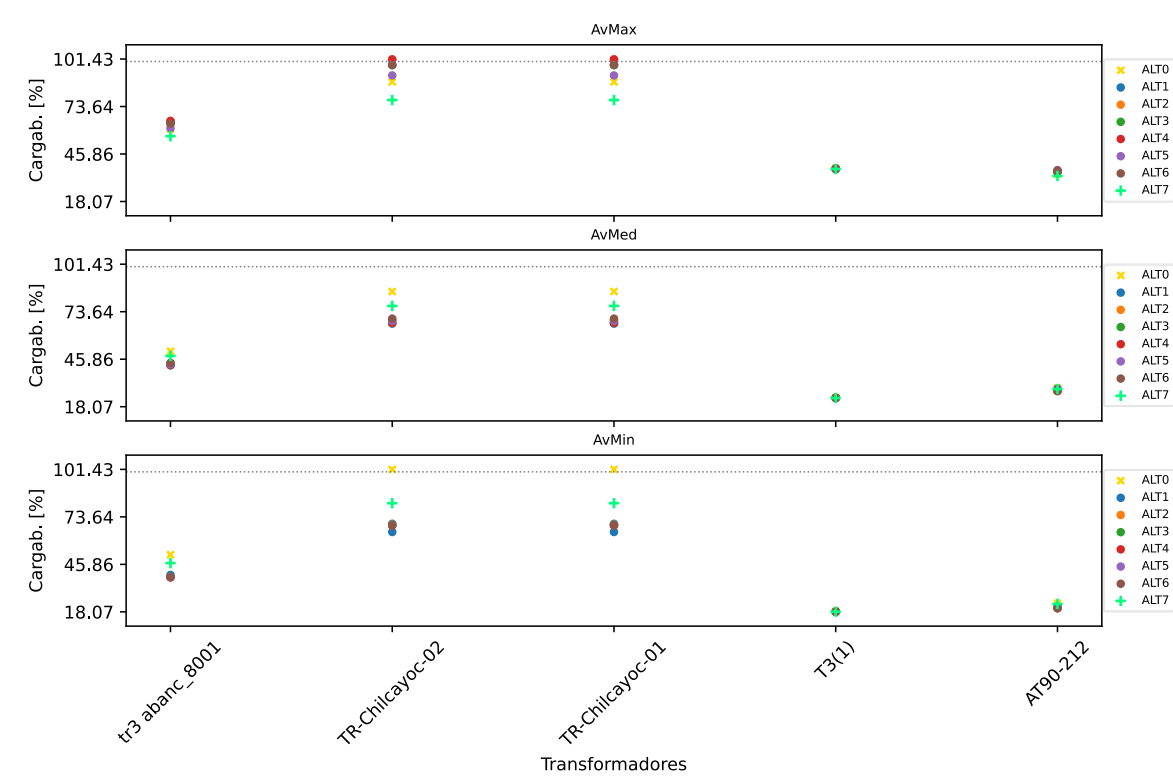


Nota: fuente propio autor.

Figura 34
Cargabilidad en transformadores del caso base y alternativas para el año 2023 y 2026.



(a) Año 2023.



(b) Año 2026.

Nota: fuente propio autor.

4.1.10 Discusión de resultados

Se verifica que la alternativa de solución más adecuada es la propuesta con banco de capacitores. Las alternativas propuestas con CSF y SBESS no ofrecen una respuesta adecuada en cumplimiento al PR-20.

Por las condiciones operativas de funcionamiento de la CSF y SBESS, el escenario de operación de máxima demanda en todos los casos analizados se ve críticamente afectado. Este inconveniente no se presenta en la alternativa 7 (conexión de BC), esto porque el BC puede operar de manera continua en todos los escenarios de operación existentes, esto a diferencia de la CSF y SBESS.

La propuesta de solución con BC no ofrece una restricción en potencia, solamente en costos, sin embargo, la propuesta de CSF ofrece una restricción con el recurso solar disponible, el SBESS, aunque no ofrece la restricción de un recurso solar, depende de la “carga” del mismo, siendo así que se debe añadir esta “carga” en ciertas horas del día, lo cual no es recomendable en este tipo de demanda, pues la carga de la minera es aproximadamente plana.

Se verifica que las alternativas 2, 4 y 6 al estar conectado el SBESS en la S.E. JERONIMO33, y al funcionar este como “carga”, se tiene condiciones de desempeño críticas, debido a que eléctricamente es la subestación más alejada del proyecto y se prevé caídas más críticas de tensión en esta subestación como se demuestra en la sección 2.1.4.

La alternativa 0 o caso base, presenta condiciones operativas desfavorables donde no se cumple con los criterios de desempeño exigidos por el PR-20 del COES, en estas condiciones de operación se ha verificado que las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca no tiene la capacidad para abastecer la carga de esta minera.

Conclusiones

A continuación, se presenta las conclusiones del trabajo:

- Se ha evaluado seis alternativas para la conexión de una CSF con SBESS para mejorar los niveles de tensión en la unidad minera Catalina Huanca y una alternativa con conexión de un BC, se ha demostrado que técnicamente, solo es posible conectar la demanda proyectada de la unidad minera Catalina Huanca con la ayuda de equipos que compensen potencia, se ha demostrado principalmente la necesidad de compensación de potencia reactiva, siendo esta última la mejor alternativa encontrada.
- Se verifica que para la opción de conexión de una CSF con SBESS, la Alternativa 1 (CSF conectada en la S.E. Jerónimo en 33 kV y SBESS conectado en la S.E. Bolívar en 33 kV) es la que presenta mejor desempeño, esto con relación a mejorar los niveles de tensión. Sin embargo, debido a que la unidad minera Catalina Huanca no presenta su mayor consumo en demanda media, la conexión de una CSF no resulta en una óptima solución para mejorar los niveles de tensión, es por este motivo que la CSF necesita de un equipamiento adicional, el SBESS.
- Se presentó que el mejor horario de funcionamiento para el SBESS ha sido en demanda mínima para "descarga" y demanda máxima para "carga", sin embargo, como la demanda de la unidad minera Catalina Huanca es prácticamente plana (sin fluctuaciones significativas en la cantidad de energía demandada), se observa que la solución de un SBESS resulta muy desfavorable para su operación de "carga", esto en demanda máxima.
- Se verificó que el BC debe estar conectado en la S.E. Jerónimo en 33 kV para su mejor desempeño.

- Se verifica que la alternativa 7 (conexión de un BC) es la que mejor desempeño presenta ante la mejora de la tensión, pues la potencia total de la CSF queda restringida por la disponibilidad del recurso solar, además, de la necesaria conexión de un SBESS para cubrir la mayor demanda por parte del proyecto donde no está disponible el recurso solar (demanda mínima), es importante resaltar que el recurso solar es variable, por las distintas situaciones climatológicas en el día, todas estas dificultades no se presentan al considerar la conexión de un BC. Por lo tanto, se verifica que solo la alternativa 7 (conexión de un BC) consigue mantener los niveles de tensión exigidos por el PR-20, además, no se presentaron sobrecargas en líneas ni transformadores que incumplan con el PR-20.

Recomendaciones

Debido a que parte del área de influencia donde se conecta el proyecto es radial, se recomienda evaluar un enlace entre dos subestaciones o entre una subestación y derivación en una línea, por ejemplo, entre la S.E. Chilcayoc 60 kV y la derivación de la línea Cotaruse – Campo Armiño en 220 kV, obteniendo así un enlace más, con el objetivo de tener un sistema eléctricamente más robusto en el área de influencia del proyecto.

Debido a la poca disponibilidad del recurso solar, se recomienda evaluar el potencial eólico en la zona del proyecto, el hecho de instalar un proyecto eólico dispondría de energía eléctrica en el horario de demanda mínima (escenario de operación donde existe el mayor consumo de potencia por parte del proyecto y donde el recurso solar no está disponible).

Debido a que parte del sistema en análisis es radial, se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar soluciones típicas en los sistemas de distribución (sistemas radiales), por ejemplo, reguladores de tensión.

Aunque el conjunto CSF con SBESS no es una adecuada solución para mejorar los niveles de tensión en las S.E. de las instalaciones de la unidad minera Catalina Huanca, sí es una excelente opción para disminuir los costos de consumo de energía eléctrica, por lo tanto, se recomienda evaluar un análisis en conjunto de CSF con SBESS y BC.

Debido a que las líneas de transmisión en análisis son de larga longitud, aproximadamente 109 km, desde la subestación ABANCAY 60 hasta la subestación CHILCAYOC60, no es recomendable que se transmita la energía en niveles de 60 kV, sino en niveles de mayor tensión, como por ejemplo en 220 kV, para ello se recomienda realizar una evaluación técnico – económica.

Considerar una reevaluación del periodo para la demanda máxima de la Unidad Minera Catalina Huanca, esto es, evaluar que el consumo máximo se de en el periodo del día, donde se tenga el recurso solar disponible, de esta forma no sería necesario un SBESS.

Referencias bibliográficas

- Bass, R. B., Carr, J., Aguilar, J., & Whitener, K. (2016). Determining the Power and Energy Capacities of a Battery Energy Storage System to Accommodate High Photovoltaic Penetration on a Distribution Feeder. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 3(3), 119–127. <https://doi.org/10.1109/jpets.2016.2586072>
- COES. (n.d.). *Procedimiento PR-20. Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN*.
- Gevorgian, V., Koralewicz, P., Shah, S., Mendiola, E., Wallen, R., & Villegas Pico, H. (2013). *Photovoltaic Plant and Battery Energy Storage System Integration at NREL's Flatirons Campus With collaboration from First Solar*. www.nrel.gov/publications.
- Kasim, N. K., & Hussain, H. H. (2020). *Performance Improvement of CIGS PV Solar Grid Tied System Using Planer Concentrators, Case Study: Baghdad*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33172.73604>
- Kouro, S., Leon, J. I., Vinnikov, D., & Franquelo, L. G. (2015). Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging PV converter technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9(1), 47–61. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2376976>
- Li, Y., & Wu, J. (2022). Optimum Integration of Solar Energy with Battery Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(3), 697–707. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2971246>
- Luque, A. (Antonio), & Hegedus, Steven. (2003). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Wiley.

Ministerio de Energía y Minas. (2019, November 13). *Informe final de evaluación de la Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera “Catalina Huanca” presentado por Catalina Huanca Sociedad Minera SAC.*

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (n.d.). *SUPERVISIÓN DE LA NORMA TÉCNICA URBANA NTCSE*. Retrieved June 6, 2024, from <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSE#:~:text=La%20Norma%20T%C3%A9cnica%20de%20Calidad%20de%20los%20Servicios,Ley%20de%20Concesiones%20El%C3%A9ctricas%2C%20Decreto%20Ley%20N%C2%BA%2025844>.

OSINERGMIN. (2023, November 27). *Mapa Energético Minero*. <https://gisem.osinergmin.gob.pe/menergetico/>.

Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. R. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(5), 1198–1208. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2013862>

Wang, L., Bai, F., Yan, R., & Saha, T. K. (2018). Real-Time Coordinated Voltage Control of PV Inverters and Energy Storage for Weak Networks with High PV Penetration. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(3), 3383–3395. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2789897>

Anexos

Anexo 1: Nomenclatura para nombres de diagramas unifilares	1
Anexo 2: Modelo computacional	2

Anexo 1: Nomenclatura para nombres de diagramas unifilares

Para la enumeración de las figuras de los diagramas unifilares se utilizó la estructura AA-BB-CCCC-DDDD-EEEE con la siguiente terminología de esta nomenclatura.22

Terminología usada en nomenclatura para los nombres de los diagramas unifilares.

AA	Indica el régimen de operación: EE: Estado Estacionario
BB	Indica el estudio en análisis: FC: Flujo de carga
CCCC	Indica el año en análisis: 2022: Año 2022 2023: Año 2023 2026: Año 2026
DDDD	Indica la alternativa en análisis: ALT0: Alternativa 0 ALT1: Alternativa 1 ALT2: Alternativa 2 ALT3: Alternativa 3 ALT4: Alternativa 4 ALT5: Alternativa 5 ALT6: Alternativa 6 ALT7: Alternativa 7
EEEE	Indica el escenario de operación en análisis: AvMax: para Avenida Máxima AvMed: para Avenida Media AvMin: para Avenida Mínima EsMax: para Estiaje Máxima EsMed: para Estiaje Media EsMin: para Estiaje Mínima

Anexo 2: Modelo computacional

El modelo computacional desarrollado en el *software* PowerFactory DigSILENT se encuentra en la carpeta Anexo 3 con el nombre TSP23-EE-CATHUA-V22.