

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un sistema BESS para la regulación primaria
de frecuencia - Central Hidroeléctrica 8 de Agosto,
Tingo María, 2023**

Darwin David Silva Ipanaque
Bruce Bellamy Navarro Meza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : David Jacob Checa Cervantes
Asesor de trabajo de Investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 27 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

"DISEÑO DE UN SISTEMA BESS PARA LA REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA - CENTRAL HIDROELÉCTRICA B DE AGOSTO, TINGO MARÍA 2023"

Autor:

1. Darwin David Silva Ipanaque – EAP. Ingeniería Eléctrica
2. Bruce Belamy Navarro Meza – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (18): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de contenidos	iv
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	xi
Capítulo I	xii
Planteamiento del estudio	xii
1.1. Planteamiento y formulación del problema	xii
1.1.1. Problema general	xiii
1.1.2. Problemas específicos	xiii
1.2. Objetivos	xiii
1.2.1. Objetivo general.....	xiii
1.2.2. Objetivos específicos	xiii
1.3. Justificación e importancia.....	xiv
1.3.1. Justificación teórica	xiv
1.3.2. Justificación metodológica.....	xiv
1.3.3. Justificación práctica.....	xiv
1.3.4. Importancia	xiv
1.4. Hipótesis y variables	xiv
1.4.1. Hipótesis general.....	xiv
1.4.2. Hipótesis específicas	xiv
1.4.3. Variables	xv
Capítulo II	17
Marco teórico	17
2.1. Antecedentes del problema	17
2.1.1. Antecedentes internacionales	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	18
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Sistema BESS	19
2.2.2. Convertidor de sistema de energía (PCS)	20
2.2.3. Transformador	21
2.2.4. Inversor	21
2.2.5. Controlador (Scada).....	21
2.2.6. Protecciones CA y CC	21

2.2.7. Battery Management System o BMS.....	21
2.3. Información técnica.....	21
2.3.1. Transformadores de potencia.....	21
2.3.2. Cabinas de media tensión.....	22
2.3.3. Celdas de media tensión.....	22
2.3.4. Celda de medida y protección en barras	22
2.3.5. Celda del transformador de SS. AA.....	22
2.3.6. Celdas de acometida	22
2.3.7. Transformador de servicios auxiliares	22
2.3.8. Cuadros de BT en CA.....	23
2.3.9. Cuadros de BT en CC	23
2.3.10. Inversor.....	23
2.3.11. Cableado de potencia.....	23
2.3.12. Cable de BT.....	24
2.3.13. Instalaciones de control, protección y comunicaciones.....	24
Capítulo III.....	25
Metodología	25
3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Diseño de la investigación	25
3.3. Enfoque	25
3.4. Nivel de investigación.....	25
3.5. Población.....	26
3.6. Muestra.....	26
3.7. Técnicas para recolección de datos	26
3.8. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	27
3.9. Procedimiento	27
3.10. Métodos de análisis de datos	28
Capítulo IV	29
Resultados y discusión	29
4.1. Cálculo de la energía eléctrica promedio, además de la máxima demanda	29
4.1.1. Energía eléctrica promedio	31
4.1.2. Máxima demanda.....	31
4.2. Cálculo de la compensación de frecuencia con el PR 21	31
4.2.1. Procedimiento técnico del COES – PR21.....	31
4.2.2. Resolución de consejo directivo de Osinergmin.....	32
4.2.3. Regulación primaria de frecuencia	35
4.2.3.1. Eventos de variación de frecuencia	35

4.3. Elaboración de los planos de ubicación, recorrido de línea y armado básico	40
4.3.1. Mapa de ubicación de la central hidroeléctrica.....	40
4.3.2. Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica 8 de Agosto	44
4.3.3. Capacidad de los equipos.....	45
4.3.3.1. Inversor.....	45
4.3.3.2. Transformador	47
4.4. Desarrollo de la evaluación económica del proyecto que permita establecer su viabilidad	50
4.4.1. Inversión	50
4.4.2. Costos.....	51
4.4.3. Flujo de caja.....	53
4.5. Prueba de hipótesis.....	56
4.5.1. Procedimiento técnico de la prueba de hipótesis	56
4.6. Discusiones	57
Conclusiones	59
Recomendaciones	61
Referencias	62
Anexos	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema BESS	20
Figura 2. Mapa de la red de transmisión eléctrica del Perú – Huánuco.....	30
Figura 3. Leyenda de la transmisión eléctrica.....	30
Figura 4. Variación de frecuencias del primer evento	37
Figura 5. Variación de frecuencias del segundo evento.....	38
Figura 6. Variación de frecuencias del tercer evento.....	40
Figura 7. Ubicación del departamento de Huánuco.....	41
Figura 8. Ubicación de la central hidroeléctrica 8 de Agosto en Huánuco.....	42
Figura 9. Sistema eléctrico interconectado a nivel nacional (COES)	43
Figura 10. Diagrama unifilar de las relaciones de transformaciones de la central hidroeléctrica 8 de Agosto.....	44
Figura 11. Componentes usados en el sistema BESS	45
Figura 12. Plano del sistema BESS de la central hidroeléctrica 8 de Agosto.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Datos generales de la central hidroeléctrica 8 de Agosto.....	29
Tabla 3. Características de los generadores eléctricos de la central hidroeléctrica 8 de Agosto	29
Tabla 4. Características de las turbinas de la central hidroeléctrica 8 de Agosto	30
Tabla 5. Margen de reserva para RPF de la central hidroeléctrica 8 de Agosto	33
Tabla 6. Margen de reserva con diferentes regulaciones	33
Tabla 7. Margen de reserva con diferentes capacidades	34
Tabla 8. Margen de reserva con diferentes capacidades y tolerancia adicional.....	34
Tabla 9. Primer evento relevante de variación de frecuencia	36
Tabla 10. Segundo evento relevante de variación de frecuencia	37
Tabla 11. Tercer evento relevante de variación de frecuencia.....	39
Tabla 12. Inversión de los suministros y materiales del sistema BESS	50
Tabla 13. Inversión de las construcciones – tercerizado.....	51
Tabla 14. Costo del Recurso Humano para las instalaciones del sistema BESS	51
Tabla 15. Costo del mantenimiento y reposición del sistema BESS	52
Tabla 16. Costos de penalización de RPF proyectados – COES	52
Tabla 17. Costos proyectados por regularización RSF	52
Tabla 18. Flujo de caja.....	53
Tabla 19. Indicadores económicos.....	56

RESUMEN

Las fuentes de electricidad en Perú generalmente se originan en centrales hidroeléctricas. Este estudio se basa en el análisis específico de las características técnicas que se ubican en la central hidroeléctrica 8 de Agosto, en el departamento de Huánuco. El objetivo es diseñar un sistema que pueda resguardar energía eléctrica en equipos, específicamente el sistema deseado se denomina BESS o Sistema de Almacenamiento de Energía por Baterías, esto con el objetivo de ejecutar la Regulación Primaria de Frecuencia o por sus siglas RPF. La investigación dispone de una metodología básica, de enfoque cuantitativo y un nivel de investigación exploratorio. Según el análisis, esta central hidráulica tiene una potencia efectiva de 20 MW aproximadamente y una producción de 119 GWh en 2022, resultando en un factor de potencia de 60,15291. Esto indica una óptima viabilidad en su construcción y mantenimiento. Asimismo, el sistema BESS propuesto contribuirá en la optimización de estabilizar las redes de electricidad mediante la RPF. Esto involucra detectar variaciones pequeñas en la frecuencia del sistema interconectado y tener el restablecimiento adecuado para el balance de esta energía. La tecnología BESS utiliza baterías para almacenar electricidad y liberarla cuando sea necesario para regular la frecuencia. Presenta ventajas como rapidez de respuesta y menor impacto ambiental respecto a centrales térmicas. Su implementación apoyaría la transición energética del Perú hacia fuentes renovables.

Palabras claves: almacenamiento, central hidroeléctrica, frecuencia, regulación.

ABSTRACT

Sources of electricity in Peru originate from hydroelectric plants. This study is based on the specific analysis of the technical characteristics located in the 8 de Agosto hydroelectric plant, in the department of Huánuco. The objective is to design a system that can protect electrical energy in equipment, specifically the desired system is called BESS or Battery Energy Storage System, this with the objective of executing Primary Frequency Regulation or by its acronym RPF. The research has a basic methodology, a quantitative approach, and an exploratory level of research. According to the analysis, this hydraulic plant has an effective power of approximately 20 MW and a production of 119 GWh in 2022, resulting in a power factor of 60.15291. This indicates optimal viability in its construction and maintenance. Likewise, the proposed BESS system will contribute to the optimization of stabilizing electricity networks through RPF. This involves detecting small variations in the frequency of the interconnected system and having the appropriate restoration to balance this energy. BESS technology uses batteries to store electricity and release it when needed to regulate frequency. It has advantages such as speed of response and lower environmental impact compared to thermal power plants. Its implementation would support Peru's energy transition towards renewable sources.

Keywords: frequency, hydroelectric plant, regulation, storage.

INTRODUCCIÓN

La investigación es importante, ya que sus resultados demuestran la efectividad del sistema de almacenamiento de energía para regular la frecuencia primaria en la central 8 de Agosto. Específicamente, los hallazgos señalan que el sistema BESS logra responder de manera rápida y precisa a las variaciones de frecuencia del sistema eléctrico.

Considerando estos resultados relevantes, el estudio tiene esta organización:

Capítulo I: Se inicia indicando la formulación del problema investigado mostrando las preguntas tanto generales como específicas. Así mismo, se muestran los objetivos del trabajo. Por último, se presentan hipótesis que responderán a los objetivos planteados, Se destaca la importancia de investigar esta temática y se discute brevemente la naturaleza tanto teórica como práctica del estudio dentro del contexto actual.

Capítulo II: Se presentan los antecedentes del problema abordado, considerando investigaciones previas tanto a nivel nacional como internacional. Se presentan aspectos de bases teóricas para fundamentar la investigación, incorporando las teorías, conceptos y perspectivas más relevantes desde las cuales se analiza la temática.

Capítulo III: Se indica el método de investigación, señalando cuáles son sus características específicas como tipo, enfoque, diseño, etc. Asimismo, se define la población y la muestra seleccionada, sustentando su pertinencia con los objetivos planteados. Finalmente se hace conocimiento de cuáles son las técnicas y los instrumentos que usan para el análisis de información.

Capítulo IV: Se dan a conocer los resultados del estudio, derivados del análisis de datos adquiridos por instrumentos indicados en la investigación. Así mismo, se incorpora las discusiones de autores con base en los resultados que tuvo la investigación, contrastándolos con los planteamientos iniciales y con investigaciones previas relevantes para el tema.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como, las referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Hoy en día, el servicio eléctrico es un rubro de mucha importancia, le permite realizar diversas actividades que generan valor agregado en la sociedad, sin embargo, es importante conocer que para ello se necesita que este servicio mantenga su funcionamiento de manera continua, caso contrario impactaría en forma negativa en las actividades que realizan las personas, estas prestaciones eléctricas deben estar sujetas a los estándares eléctricos inscritos para poder hacer un correcto uso de activos físicos que requieren de electricidad.

En Estados Unidos las tarifas eléctricas son muy elevadas, esto es por las costumbres incorrectas en cuanto al uso que afectan los sistemas distribuidores de electricidad, lo que desencadena una demanda diaria inestable, para ello, como una solución práctica se puede reubicar los horarios de consumo de periodos donde hay menos demanda para así poder ahorrar energía (1).

En el Perú, se tiene una alta demanda de energía eléctrica que no se satisface completamente porque hay zonas rurales que carecen de este servicio; entidades que brindan energía eléctrica, son las que estadísticamente indican mayores pérdidas eléctricas, mostrando un 9 % de recurso mal usado o perdido (2).

La central indicada en Huánuco, es una compañía que genera electricidad y la administra en la región, tiene compromisos con múltiples requerimientos operativos, uno de los reguladores de estos compromisos es el COES, entidad que opera y mantiene la seguridad de

todos los sistemas eléctricos que están conectados en el Perú, que a través de normas y estándares garantiza que todas las centrales en el país sepan cumplir con dichos lineamientos, entre estos tantos, se detalla el proceso PR21, que se centra en la regulación de frecuencia primaria, base de esta investigación.

Por tal motivo, los sistemas BESS son la opción más asequible que puede brindar ventajas a esta red eléctrica, estabilizando las variaciones del suministro eléctrico, optimizando la confiabilidad de los activos para cumplir con las entregas de electricidad.

1.1.1. Problema general

¿Cómo se realizará el diseño de un sistema BESS para la regulación primaria de frecuencia de la central hidroeléctrica 8 de Agosto, Tingo María, 2023?

1.1.2. Problemas específicos

- PE1 ¿Cómo calcular la energía eléctrica promedio diaria requerida y la máxima demanda para optimizar el diseño del sistema BESS?
- PE2 ¿Cómo compensar la fluctuación de frecuencia en el sistema con el diseño de la BESS?
- PE3 ¿Cómo se puede elaborar los planos de ubicación, recorrido de línea y armados básicos para mejorar el diseño del sistema BESS?
- PE4 ¿Cómo se puede realizar una evaluación técnica y económica del proyecto para determinar la viabilidad del sistema eléctrico y su implementación exitosa en la central hidroeléctrica 8 de agosto, Tingo María 2022?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema BESS para la regulación primaria de frecuencia de la central hidroeléctrica 8 de Agosto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Calcular la energía eléctrica promedio, así como, su máxima demanda.
- Calcular la compensación de frecuencia de acuerdo con el PR21.
- Elaborar planos de ubicación, recorrido de línea y de armado básico.
- Desarrollar una evaluación económica del proyecto, que permita establecer su viabilidad.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

Este análisis se respalda en que no solo aporta fundamentos al tema en cuestión, sino que también genera un flujo de conocimientos para investigaciones futuras y será materia de consulta para otros investigadores. Se elabora una guía metodológica del diseño del subsistema de compensación de frecuencia aportada desde un sistema BESS.

1.3.2. Justificación metodológica

La justificación metodológica de este estudio radica en la generación de nuevos conocimientos sobre un mejor diseño de los sistemas BESS en la RPF de la central indicada.

1.3.3. Justificación práctica

La investigación se fundamenta en la práctica, ya que permite identificar de manera objetiva y veraz el cálculo de la demanda máxima, la compensación de frecuencia, para realizar el diseño del sistema BESS, las especificaciones técnicas de los equipos, la memoria descriptiva, la memoria de cálculo, el montaje de los equipos y materiales, cumpliendo con estándares adecuados.

1.3.4. Importancia

La investigación cobra importancia porque es significativo para el avance para la compensación en la frecuencia en el sistema interconectado mediante un sistema BESS, ya que permite añadir valor agregado mediante experiencias con tecnologías alternativas para tener fuentes energéticas mucho más eficientes.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

El diseño de un sistema BESS permitirá una adecuada regulación primaria de frecuencia en la central hidroeléctrica 8 de Agosto.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El cálculo preciso de la energía eléctrica promedio y la máxima demanda es fundamental para el correcto dimensionamiento del sistema BESS.
- La compensación de frecuencia calculada de acuerdo con el PR21 determina los requerimientos técnicos del sistema BESS.
- La elaboración de planos de ubicación, recorrido de línea y armado básico facilita la implementación adecuada del sistema BESS.

- Una evaluación económica favorable del proyecto demuestra la viabilidad de la implementación del sistema BESS para la regulación primaria de frecuencia.

1.4.3. Variables

Página siguiente

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
<p>X: Variable independiente</p> <p>Diseño de un sistema BESS</p>	<p>Los sistemas que almacenan electricidad mediante baterías están integrados por distintos elementos y componentes para así poder controlar y almacenar la energía eléctrica para sus posteriores usos. La interacción de estos se da mediante soluciones electroquímicas, porque trabajan con baterías de iones de litio que se encargan del almacenaje de energía que puede provenir de diversas fuentes, dentro de sus principales características además de guardar la energía, está la de eliminar las intermitencias en redes eléctricas (3).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energía • Potencia nominal • Capacidad de las baterías • Variaciones de frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de energía requerida en kWh. • Cálculo de capacidad máxima de potencia en Watts • Cantidad de Amperios/Hora de las baterías
<p>Y: Variable dependiente</p> <p>Regulación de frecuencia primaria</p>	<p>Se entiende como una acción automática en los reguladores para velocidad de los generadores con el objetivo de subsanar las variaciones o desbalances que puede haber entre generador y carga. Dichas variaciones pueden tener presencia en la frecuencia en diversas situaciones. Es decir, ante un desbalance entre la potencia eléctrica generada y consumida, los RPF deben estabilizar la generación con la carga, esto causa una variación en la frecuencia del sistema durante unos 2 a 30 segundos (4).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Control de Voltaje • Reserva de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Reguladores de voltaje para control. • Capacidad de almacenaje en kilovatios-hora.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Datta (5) en su estudio «Battery energy storage system for renewable energy integrated power system stability enhancement» tuvo como finalidad diseñar un sistema BESS para optimizar las capacidades de recepción, además de ser eficientes en su estabilización en sus redes con gran presencia de fuentes renovables no tan comunes. En esta investigación se usó un enfoque de tipo cuantitativo, además de ser no experimental. Como consecuencia, se obtuvo que un sistema de almacenamiento mediante baterías es muy eficaz ya que no generó sobrecarga en los activos como el transformador, esto se debe a que hay un sistema de control que muestra las capacidades máximas de dicho dispositivo. Se concluyó que el esquema para el sistema presentado tiene un óptimo rendimiento aumentando incluso la rentabilidad de la planta.

Para Sánchez (6) en su estudio «Aplicación y dimensionamiento de equipos de un sistema BESS en una central térmica» tuvo como finalidad realizar el diseño de un BESS para una central de energía térmica. En la investigación se usa un enfoque de tipo cuantitativo, además de ser un diseño no experimental. El resultado es una mejora en la respuesta que da el sistema, mostrando que el 50 % de los equipos pertenecientes a la red mejoran en su respuesta. Se concluyó que se ahorrará en el mantenimiento de las turbinas y generadores aumentando la rentabilidad de la empresa en 20 % en el primer año.

Lo que indica Parada (7) en su estudio «Aplicaciones técnicas y económicas de sistemas BESS en parques eólicos y fotovoltaicos en el sistema eléctrico chileno tuvo como

finalidad ejecutar un proceso de datos para buscar una rentabilidad en aspectos técnicos y económicos en un sistema BESS en una planta eléctrica. Para este estudio se usó un enfoque cuantitativo, además de un diseño no experimental. El resultado que muestra es óptimo en cuanto al almacenamiento de energía. El resultado mostrado es una correcta operación técnica del sistema de almacenamiento, además que es factible el proyecto en el plano económico. Se concluyó que habrá una disminución en el mantenimiento de los equipos en el corto plazo aproximadamente 30 % produciendo un aumento de la rentabilidad de la planta eléctrica.

Para Gómez (8) en su estudio «Planeamiento de la expansión usando sistemas de almacenamiento de energía BESS» tiene como finalidad analizar una expresión matemática para programación lineal que pueda solucionar la extensión de redes que distribuyan electricidad con un menor gasto, para ello se emplea sistemas BESS. Este estudio se analizó mediante un enfoque cuantitativo, aparte de ser un diseño no experimental. El resultado es que mediante indicadores de sensibilidad se pueden indicar aspectos contingentes que afecten al sistema general, para ello se desea restar el tiempo de ejecución encontrando a su vez una manera de solucionar al modelo de plan usando el sistema BESS. Se concluyó que el sistema BESS usa electricidad de manera óptima.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según Maza y Pérez (9) en su estudio «Almacenamiento de energía eléctrica en la central fotovoltaica de Moquegua y su inyección en horas de máxima demanda del SEIN» tuvo como finalidad realizar el dimensionamiento del sistema BESS para así estimar la operatividad de inserción en el sistema interconectado nacional. La investigación mediante un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental tuvo como resultados que el sistema mencionado desde valores respecto a 113.77 MWh con 20 MW de energía en su potencia y 138.88 MWh, lo que dicta realizarse en su documento firmado en su segunda subasta RER con inserción de energía limitada de 80 MWh teniendo una variación en su frecuencia de 0,23 % o, por otro lado, si la inserción es equivalente a 113.77 MWh la desviación será de 0,35 %, en este caso se debe aumentar la potencia en el transformador en 10 MVA. Las conclusiones indican que para ambos casos existe una recuperación en parámetros de frecuencia, considerando así al sistema BESS como una alternativa óptima cuando se trata de volúmenes altos de energía.

Lo que menciona Medina (10) en su estudio «Sistema de almacenamiento de energía en batería (BESS) y su influencia en la demanda eléctrica diaria del sistema de distribución SE0062 (Huancayo)» tuvo como finalidad indicar las particularidades de los requerimientos de energía eléctrica en las centrales de Huancayo, esto para reducir las máximas potencias analizadas en las horas pico, a su vez indicaron cómo el sistema BESS se integra en la red

eléctrica. Empleando un método de diseño no experimental con un enfoque cuantitativo, se demostró que el sistema BESS mejora las partes técnicas de la central, mejoran valores como factores de carga, estabilizando también mínimas y máximas demandas, solucionando cuellos de botella en el suministro de energía. Finalmente, se concluye que el proyecto también tiene una ventaja económica.

Lo que indica Arce (11) en su estudio «Evaluación técnica y económica de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de frecuencia en una central hidroeléctrica con embalse del sistema eléctrico peruano» tuvo como finalidad realizar la comparación en una central hidroeléctrica con el sistema BESS y sin el sistema BESS mostrando las ventajas y desventajas. Para este estudio, se usa un diseño no experimental. Como obtención de esta comparativa se muestra indicadores de VAN con montos aproximados de S/ 2.66 millones. Finalmente, las conclusiones indican que los sistemas BESS generan aumentos económicos en las centrales debido al correcto almacenamiento de este recurso de energía.

Según Estrada (12) en su estudio «Diagnóstico, análisis y evaluación de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de frecuencia en una central de ciclo combinado del sistema eléctrico peruano» tuvieron como finalidad realizar el análisis en aspectos técnicos y económicos del sistema de almacenamiento BESS, para poder regular la frecuencia primaria en una central de energía térmica. Para ello se diseñaron simulaciones que puedan regular dicha frecuencia. Usando un diseño no experimental, los entregables de la investigación indicaron que las baterías óptimas para una máxima mejora son de material ion-litio, ya que cumplen con una correcta regulación de frecuencia. Por lo que se concluyó que el sistema BESS es mucho más rentable y, sobre todo, que es una tecnología superior a otras.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema BESS

El valor de la frecuencia debe ubicarse en un cierto intervalo determinado, por lo que se requiere un sistema para regular esas desviaciones para que sean lo menor posible, dicha regulación se obtiene controlando el voltaje proporcionado al generador en función a la demanda de la potencia, la cual se componen de dos lazos: en el primario se compensa las pequeñas perturbaciones habituales variando la apertura del distribuidor, y por lo tanto también a la potencia de la turbina; mientras que en el secundario se eliminan las diferencias de la frecuencia lo más posible realizando su ajuste fino (6).

Un sistema de almacenamiento de energía eléctrica mediante el uso de baterías usa comúnmente dispositivos de ion y litio, estos son diseñados para poder soportar y almacenar electricidad de manera química y distribuirla a la red cuando sea requerida. Los sistemas BESS son los que más flexibilidad disponen respecto a las cargas y descargas de energía (13).

El sistema BESS, está compuesto por baterías, PCS y controles de sistemas. Un subsistema compuesto por BMS y contenedores para las baterías. El subsistema es manipulado a partir del mismo sistema general y realiza el paso de energía por los PCS. En su totalidad así se compone un BESS, con una distribución energética de manera bidireccional, permitiendo cargas y descargas (14).

Lo que lo hace idóneo el sistema BESS, es su larga vida útil además de su flexibilidad para regular la velocidad y por ende la frecuencia, ya que solo tarda milisegundos en retornar a su frecuencia habitual una vez detectada dicha variación de frecuencia (6).

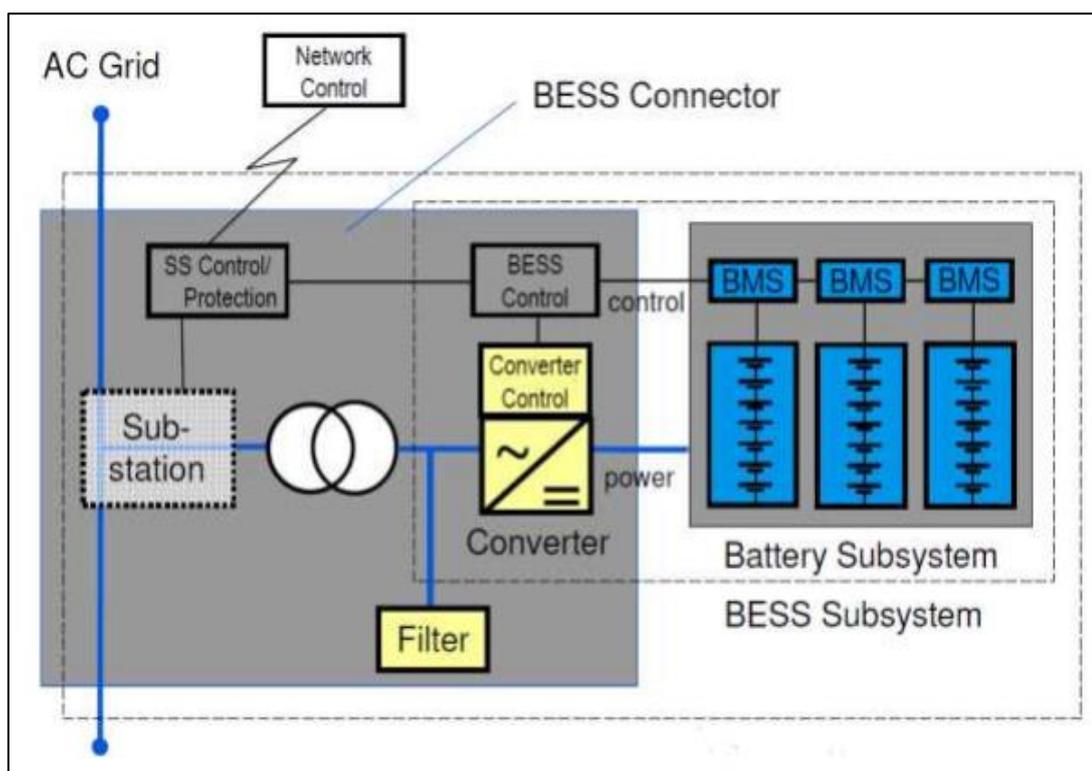


Figura 1. Sistema BESS

2.2.2. Convertidor de sistema de energía (PCS)

Es un sistema que convierte potencia y control. Usualmente son componentes que integran partes internas de un activo o máquina, sin embargo, también pueden ser hallados de manera externa, ello dependerá de los fabricantes (16).

2.2.3. Transformador

La importancia de este dispositivo es crucial para los sistemas BESS, ya que permite aumentar voltajes en las salidas de los equipos inversores que van conectados a la red de distribución de electricidad (17).

2.2.4. Inversor

Este equipo modifica la naturaleza de una corriente, usualmente convirtiéndola de corriente alterna a corriente continua, además permite que el movimiento de electricidad sea dirigido hacia la batería para realizar su carga o su descarga. Usualmente aceptan tensiones equivalentes a los 400 V (18).

2.2.5. Controlador (Scada)

El sistema Scada es una herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar sistemas completos como un sistema BESS, además puede generar comunicación entre este último con sistemas externos, pero pertenecientes a la misma central. Los sistemas Scada tienen interfaces hombre-máquina que permiten operar a los trabajadores de manera manual las diversas acciones para los que está diseñado (18).

2.2.6. Protecciones CA y CC

Constituido por dispositivos encargados de las interrupciones, así como, los transformadores y relés usados para protección del sistema BESS (19).

2.2.7. *Battery Management System* o BMS

Dispositivo fundamental de un sistema BESS, permitiendo la comunicación con otros sistemas. Su función principal es la de medir parámetros en las baterías y realizar acciones diseñadas para cada indicador mostrados de manera óptima. Esta comunicación se da a través de los sistemas Scada previamente mencionados (19).

2.3. Información técnica

2.3.1. Transformadores de potencia

Debido a factores de seguridad en la correcta función de un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías, se utilizan comúnmente dos transformadores similares, funcionando de manera independiente para evitar valores redundantes. Con la condición de que cada transformador pueda trabajar con la potencia total que hay en el sistema de almacenamiento BESS (15).

2.3.2. Cabinas de media tensión

Dispuesta en una agrupación de celdas que están conectadas a la vez, conformando una barra de 20 kV. Se hallan en los cables de media tensión y pueden distribuirse en 4 tipos de celdas (15).

2.3.3. Celdas de media tensión

Su función es distribuir de energía a los contenedores PH que vienen desde los transformadores de la potencia de la central. Son básicamente celdas que alimentan a contenedores de energía (15).

2.3.4. Celda de medida y protección en barras

Son sistemas de celdas auxiliares para ser usados en casos de emergencia por el sistema BESS (15).

2.3.5. Celda del transformador de SS. AA.

Funciona como protección de un transformador que sirve de manera auxiliar. Esta va conectada a la barra de 20 kV. Dispone de transformadores alternativos para distribuir al BESS y realizar funciones de seguridad con la energía que circula (21).

2.3.6. Celdas de acometida

Los transformadores de potencia auxiliares de la central se integrarán con las barras de 20 kV del conjunto de celdas, con el fin de suministrarles energía eléctrica. Dichas celdas estarán equipadas con dispositivos de control para regular la inyección de energía del sistema BESS hacia la central, así como, protecciones para salvaguardar la integridad del sistema. Dadas las características mencionadas, se instalarán dos celdas de este tipo, una por cada transformador auxiliar de la central. Estas acometidas estarán enclavadas eléctricamente, impidiendo la inserción simultánea de ambos interruptores (15).

2.3.7. Transformador de servicios auxiliares

Un transformador adicional, ubicado en el edificio de control del BESS y alimentado desde el embarrado de media tensión existente entre los transformadores principales y los contenedores del BESS, se encargará de suministrar energía a las cargas auxiliares del parque de baterías, tales como equipos de climatización, iluminación y tomas de corriente presentes (18).

2.3.8. Cuadros de BT en CA

En caso de que el transformador de servicios auxiliares alimentara previamente las cargas auxiliares situadas en el parque de baterías, el cuadro de control y protección tendrá a su cargo la gestión de estas cargas. Deberá existir selectividad con las protecciones aguas arriba, es decir, con la celda de media tensión que alimenta al transformador de servicios auxiliares, para que en caso de falla actúen las protecciones adecuadas. En otras palabras, si ocurre una falta en alguna carga auxiliar, deben actuar las protecciones del cuadro inmediatamente aguas arriba de la carga, y no las del embarrado de media tensión. Se instalarán dos cuadros de baja tensión (CBT): el CBT que alimentará las acometidas en CA de los contenedores, la fuerza y el alumbrado tanto del parque como del edificio de control; y el cuadro de servicios vitales (CSV) que alimentará los servicios críticos de los contenedores, como la climatización y la comunicación con el PLC. Ambos cuadros serán alimentados desde posiciones distintas, pero existirá una conmutación para garantizar una alimentación ininterrumpida, principalmente para los servicios vitales, en caso de falta en alguno de los transformadores aguas arriba (15).

2.3.9. Cuadros de BT en CC

Al igual que el cuadro para la corriente alterna, el cuadro de corriente continua se encargará de la protección de las cargas en CC situadas en los contenedores. Estas cargas serán alimentadas directamente desde la central a una distancia aproximada de 400 metros. Además, este cuadro protegerá también al Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS), ubicado en el mismo edificio de control, así como, los relés de protección de las celdas de media tensión desde las cuales salen las líneas hacia los contenedores (15).

2.3.10. Inversor

El Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS) realizará funciones similares a una Unidad de Suministro Ininterrumpido convencional, pero en lugar de llevar baterías incorporadas, recibirá una alimentación en corriente continua proveniente de la central térmica. También conocido como SAI, este equipo tiene como función principal proteger los datos de los sistemas electrónicos en caso de corte de suministro. Por lo tanto, el UPS se encargará de brindar protección a los equipos críticos del sistema BESS, como los equipos de refrigeración de las baterías, el Scada, etc. Este inversor alimentará a un cuadro de baja tensión denominado UPS/inversor (18).

2.3.11. Cableado de potencia

Cables de MT, son los conductores de media tensión que conectarán los transformadores de cada contenedor *PowerHub* con los nuevos transformadores auxiliares

instalados para esta ocasión en la planta térmica, pasando por el edificio de control del BESS (18).

2.3.12. Cable de BT

Se emplearán dos tipos de cables: en corriente alterna y en corriente continua. Los conductores de baja tensión en CA se encargarán de alimentar los servicios auxiliares de los contenedores, la fuerza y el alumbrado exterior del parque de baterías y del edificio de control. Por otro lado, los cables en CC alimentarán los servicios vitales en continua de los contenedores y el rectificador/UPS (18).

2.3.13. Instalaciones de control, protección y comunicaciones

En este apartado, se distinguirán tres niveles en las instalaciones, de menor a mayor nivel de importancia en las comunicaciones:

- Nivel de contenedores: Comunicaciones para cada contenedor y sistema de emergencia para cada contenedor (19).
- Nivel de sistema BESS: Comunicaciones y control de todo el sistema de baterías según las distintas medidas tomadas y las consignas enviadas desde la central (19).
- Nivel de la central térmica: Se tratan las comunicaciones entre el sistema BESS y la central térmica (19).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicado, ya que los resultados del estudio están en la búsqueda de soluciones para un problema mediante el desarrollo de diversas tecnologías, como es el caso de un sistema BESS para regular la frecuencia primaria.

3.2. Diseño de la investigación

Es diseño no experimental, como afirma Carrasco (23) no se manipulan deliberadamente las variables investigadas, el investigador no interviene sobre los fenómenos analizados para modificarlos, por el contrario, se observan situaciones ya existentes para su posterior análisis.

3.3. Enfoque

Este estudio fue de enfoque cuantitativo. Según Carrasco (24) este método usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.4. Nivel de investigación

El estudio se basa en una investigación de nivel descriptivo. Según Hernández y Mendoza (22), este tipo de investigación se centra en describir fenómenos o situaciones. La información fue recolectada tal y como se presenta en el entorno sin la manipulación o alteración de las variables.

3.5. Población

La población, de acuerdo con Hernández et al. (25), se define como el conjunto de individuos que comparten similitudes o especificaciones. Para este estudio la población estuvo conformada por las centrales hidroeléctricas de energía renovable en el Perú que funcionen bajo este modelo de recursos energéticos renovables.

3.6. Muestra

Según Namakforosh (26), una muestra es un subconjunto de la población total que se compone por las unidades de análisis. Para este caso la muestra será la Central Hidroeléctrica 8 de Agosto, lugar donde se desea establecer la regulación de frecuencia primaria.

3.7. Técnicas para recolección de datos

La técnica que se utilizó en la investigación fue el análisis de documentos. Esta técnica consiste en la revisión y evaluación sistemática de documentos escritos relevantes, como informes, publicaciones, datos técnicos, etc. que van directamente relacionados con el tema de estudio.

Para esta investigación, se revisaron y analizaron de forma exhaustiva y crítica los siguientes documentos:

- **Documento acerca del procedimiento técnico del Comité de Operación Económica del Sistema (COES) - PR21:** Este documento proporciona información técnica sobre los procedimientos de operación del sistema eléctrico.
- **Datos generales y fichas técnicas proporcionados por el COES sobre los generadores de la central hidroeléctrica 8 de Agosto:** Estos datos brindan detalles específicos sobre la capacidad, características y desempeño de los generadores de esta central.
- **Documento del COES presentado a Osinergmin sobre el margen de reserva rotante para la regulación primaria de frecuencia en el 2022:** Este documento indica los valores de margen de reserva establecidos por el organismo regulador, información relevante para diseñar adecuadamente el sistema BESS.

3.8. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos para utilizar en la investigación constan de la aplicación integrada de mediciones y cálculos, simulaciones computacionales y análisis costo-beneficio, los cuales se detallan de la siguiente manera:

- **Mediciones y cálculos:** Se realizan mediciones y cálculos precisos para obtener datos cuantitativos sobre la capacidad de potencia requerida y la potencia de reserva necesaria para la regulación primaria de frecuencia (RPF). Esto permite dimensionar adecuadamente los componentes del sistema BESS.
- **Análisis de datos de variaciones de frecuencia:** Se realiza un análisis exhaustivo de los datos de variaciones de frecuencia registrados por el COES en la central hidroeléctrica 8 de Agosto. Estos datos incluyen información detallada sobre eventos destacados de fluctuaciones de frecuencia, magnitudes, tiempos, etc.
- **Simulación por software:** Se emplean programas de diseño para modelar los diagramas unifilares del sistema BESS bajo diferentes configuraciones.
- **Análisis de costo-beneficio:** Utilizando herramientas como Microsoft Excel, se realizan análisis cuantitativos de costo-beneficio para evaluar la viabilidad económica de diferentes opciones de diseño.

3.9. Procedimiento

El procedimiento para la recolección de datos se lleva a cabo de la siguiente manera:

- **Identificación de medidores:** Se identifica los medidores de donde se extrae la información de frecuencia/potencia requerida para el estudio.
- **Conexión del cable serial:** Se conecta el cable serial de la computadora al medidor ION 8650 desde la laptop que cuenta con el *software* PME (*Power Monitoring Expert*) el cual permite dar seguimiento en tiempo real y remoto a las condiciones de un sistema de energía proporcionando reportes y data que se requiera.
- **Descarga de la información:** Se procede a la descarga de la información del medidor ION 8650 a la computadora mediante el *software* de conexión PME.
- **Almacenamiento de los datos:** La información obtenida se almacena en una hoja de cálculo en Excel, donde se registra la fecha y hora de la extracción de los datos.

- **Validación de los datos:** Se realiza una validación de los datos obtenidos para verificar que sean coherentes y precisos. En caso de haber discrepancias, se procede a realizar una nueva extracción de datos.
- **Análisis de los datos:** Se emplean técnicas estadísticas para el análisis de los datos obtenidos, donde se evalúa el comportamiento de las unidades de generación y se identifican posibles problemas o fallas en el sistema.
- **Interpretación de los resultados:** Una vez realizados los análisis correspondientes, se interpretan los resultados obtenidos y se realizan las conclusiones pertinentes para cumplir con los objetivos específicos del estudio.
- **Descarga de información del COES:** se descarga la información relacionada con las centrales hidroeléctricas del tipo RER a nivel nacional desde la página del Centro de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES).

3.10. Métodos de análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizan diversos métodos, entre los cuales se incluyen:

- **Análisis estadístico:** Se realiza un análisis estadístico de los datos recolectados, con el fin de identificar patrones y tendencias en la información obtenida.
- **Evaluación de datos mediante *software* especializado:** Se emplea *software* especializado PME (*Power Monitoring Expert*) que es un *software* de gestión y monitoreo de energía, esto servirá para el análisis de los datos recolectados, con el fin de realizar un análisis más detallado y riguroso.
- **Análisis de tendencias:** Se identifican tendencias a partir del análisis de los datos, lo que permite evaluar el comportamiento y desempeño de las centrales hidroeléctricas del tipo RER.
- **Análisis de correlación:** Se realiza un análisis de correlación entre las diferentes variables del estudio, con el fin de identificar relaciones entre ellas.
- **Análisis de sensibilidad:** Se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de diferentes escenarios en el desempeño de las centrales hidroeléctricas del tipo RER.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cálculo de la energía eléctrica promedio, además de la máxima demanda

A continuación, se indica la tabla con los datos generales de la central hidroeléctrica 8 de Agosto, y las respectivas fichas técnicas de los generadores y turbinas de dicha central. Esta información fue obtenida mediante la base de datos del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES).

Tabla 2. Datos generales de la central hidroeléctrica 8 de Agosto en el 2022

Características generales		
Tipo de Central	Unidad	Hidráulica
Potencia efectiva de la central	[MW]	19
Consumo de servicios auxiliares	[MW]	0.01882
Rendimiento a potencia efectiva	[MW/m ³ /s]	1.17269
Potencia garantizada	[MW]	4.917
Potencia mínima	[MW]	4.00
Producción en el 2022	[GWh]	119

Nota. La tabla muestra los valores de potencia emitidos en la central en el 2022

También, se indican las tablas 3 y 4 que contienen las características técnicas de los generadores y turbinas de la central 8 de Agosto, respectivamente.

Tabla 3. Características de los generadores eléctricos de la central hidroeléctrica 8 de Agosto

Características de los generadores eléctricos			
Característica	Generador 1	Generador 2	Unidad
Potencia efectiva	10.010807	8.989193	[MW]
Potencia instalada	11.637	11.637	[MW]
Potencia mínima	4.00	4.00	[MW]
Potencia aparente	12.93	12.93	[MVA]
Numero de polos	10	10	

Nota. La tabla muestra las particularidades de los dos generadores de la central.

Tabla 4. Características de las turbinas de la central hidroeléctrica 8 de Agosto

Características de las turbinas		
Característica	Turbina 1	Turbina 2
Tipo	Francis	Francis
Fabricante	Andritz Hydro	Andritz Hydro
Modelo	Horizontal	Horizontal
Serie	1028930044	1028930046
Caudal máximo turbinable	9.5	9.5

Nota. La tabla muestra las particularidades de las dos turbinas de la central

Adicionalmente, se presenta un diagrama con la red nacional de transmisión eléctrica, haciendo énfasis en la región Huánuco donde se localiza la central hidroeléctrica 8 de Agosto. Este mapa detalla las interconexiones entre las principales centrales de generación energética del país, líneas de transmisión en alta tensión y equipos asociados.



Figura 2. Mapa de la red de transmisión eléctrica del Perú – Huánuco

DESCRIPCIÓN	EXISTENTES
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 500 KV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 220 KV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 138 KV	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 33-50-60-66 KV	
SUB ESTACIÓN	
CENTRAL HIDROELÉCTRICA	
CENTRAL TERMOELÉCTRICA	
CENTRAL DE RESERVA FRÍA	
NODO ENERGÉTICO DEL SUR	
CENTRAL SOLAR	
CENTRAL EÓLICA	
CAPITAL DE DEPARTAMENTO	

Figura 3. Leyenda de la transmisión eléctrica

Por lo tanto, según las figuras 2 y 3, se puede indicar que la central hidroeléctrica 8 de Agosto, proporciona una línea de transmisión de 138 kV, lo que proporciona una adecuada capacidad de transmisión de energía.

4.1.1. Energía eléctrica promedio

Se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Energía Eléctrica Promedio [MWh]} = \text{Potencia Efectiva [MW]} \times \text{Horas de Operación [h]}$$

Considerando un régimen de operación continua de 24 horas diarias, la energía eléctrica promedio generada sería:

$$\text{Energía Eléctrica Promedio} = 19 \text{ MW} \times 24 \text{ h} = 456 \text{ MWh/día}$$

Por lo tanto, bajo las condiciones presentadas y asumiendo un factor de planta unitario, se estima que la central 8 de Agosto tendría una generación eléctrica promedio diaria de 456 MWh.

4.1.2. Máxima demanda

Esto indica el máximo valor de potencia que la central hidroeléctrica podría suministrar instantáneamente. Con una potencia efectiva instalada de 19 MW dividida entre dos generadores, la máxima demanda estaría limitada por la capacidad nominal de cada generador. Si ambos operaran al 100 % de su capacidad nominal, la máxima demanda atendible sería de 19 MW. Sin embargo, los generadores rara vez operan al 100 % de su capacidad debido a factores técnicos como la reserva rodante y limitaciones operativas propias de cada unidad de generación.

4.2. Cálculo de la compensación de frecuencia con el PR 21

4.2.1. Procedimiento técnico del COES – PR21

El Procedimiento Técnico del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (SEIN) - PR21, constituye un instrumento normativo de carácter técnico que establece los criterios y lineamientos para la adecuada asignación, programación, evaluación y desempeño de la Reserva Rotante asociada al servicio complementario de Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) en el SEIN.

En el numeral 7.1, inciso a) de dicho procedimiento, se estipula que el Comité de Operación Económica del SEIN (COES) debe proponer anualmente al Organismo Supervisor

de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin), la magnitud de Regulación Primaria de Frecuencia requerida para el adecuado funcionamiento del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Esta propuesta se fundamenta en un informe técnico que considera aspectos operativos, de seguridad y económicos, a fin de determinar los requerimientos óptimos de dicho servicio complementario indispensable.

Este mecanismo regulatorio busca garantizar que la magnitud de Reserva Rotante asignada para la prestación del servicio de RPF sea la apropiada y suficiente para asegurar una respuesta oportuna y efectiva ante contingencias que pudieran afectar la estabilidad de frecuencia en el SEIN, salvaguardando así la confiabilidad, calidad y continuidad del suministro eléctrico a nivel nacional.

El procedimiento técnico del Comité de Operación Económica del Sistema – PR21 es un documento que establece los criterios para realizar la asignación, programación, evaluación y desempeño de la Reserva Rotante del SEIN asociada a la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) (27).

En el procedimiento técnico PR21, numeral 7.1. inciso a. se indica que el COES propone anualmente al Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin) una magnitud de RPF necesaria y requerida por el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional SEIN mediante un informe que considera aspectos técnicos y económicos (27).

4.2.2. Resolución de consejo directivo de Osinermin

El 28 de octubre de 2021, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) presentó al Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin) la Carta N.º COES/D-1188-2021, en la cual se propone el valor de la magnitud de reserva rotante destinada al servicio complementario de Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) requerida para el 2022.

En el Artículo 1 de dicha carta, correspondiente a la «Fijación del margen de reserva rotante para la regulación primaria de frecuencia», se establece que el valor de regulación primaria por considerarse durante el 2022 será del 2,8 % de la máxima demanda anual proyectada para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (28).

Esta propuesta se enmarca en los lineamientos establecidos en el Procedimiento Técnico PR21 del COES, en el cual se contempla la determinación anual del requerimiento de

reserva rotante para RPF, tomando en consideración aspectos técnicos y económicos que permitan garantizar una adecuada regulación de frecuencia y, por consiguiente, un suministro eléctrico confiable, seguro y de calidad en el ámbito nacional (28).

Por lo tanto:

- Según resolución, el 2022 se fija en el margen de 2,8 %.
- Extraída de la tabla 2 - Datos generales de la central 8 de Agosto – Potencia efectiva de la central equivalente a 19 MW.

Tabla 5. Margen de reserva para RPF de la central hidroeléctrica 8 de Agosto

Empresa	Central hidroeléctrica	Potencia efectiva	Margen de reserva para RPF
Andina SAC	8 de Agosto	19 MW	532 kW

Nota. Según la resolución emitida por COES se fija el margen en 2,8 % en el 2022.

Si se consideran diferentes valores para regular la frecuencia primaria:

Tabla 6. Margen de reserva con diferentes regulaciones

Potencia efectiva	Valor de regulación	Margen de reserva
19 MW	2,4 %	456 kW
19 MW	2,5 %	475 kW
19 MW	2,6 %	494 kW
19 MW	2,7 %	513 kW
19 MW	2,8 %	532 kW
19 MW	2,9 %	551 kW
19 MW	3,1 %	570 kW
19 MW	3,2 %	608 kW
19 MW	3,3 %	627 kW
19 MW	3,4 %	646 kW

Nota. Los valores de regulación indican un margen mayor al indicado en la tabla 5.

Como se indicó en la Tabla 6, la central hidroeléctrica tiene un diseño de 19 MW de capacidad instalada. Sin embargo, debido a la implementación continua de innovaciones e iniciativas de repotenciación, la potencia máxima actual de la central puede llegar a considerarse a 21 MW.

Además, según las fichas técnicas de los generadores instalados, cada unidad cuenta con una potencia mínima operable de 4 MW. Al existir dos generadores acoplados a las turbinas hidráulicas, la potencia combinada mínima que puede producir la central hidroeléctrica funcionando en su rango técnico permisible es de 8MW, valor que corresponde a la contribución de ambos generadores trabajando a su carga base mínima estable.

Por lo anterior, considerando una variación de valores de capacidad y considerando el valor de 2,8 % como valor de regulación en el 2022, se tiene:

Tabla 7. Margen de reserva con diferentes capacidades

Valor de regulación en el 2022	Capacidad de la central hidroeléctrica (mín. y máx. permisible)	Margen de reserva para RPF
2,8 %	8 MW	224 kW
2,8 %	9 MW	252 kW
2,8 %	10 MW	280 kW
2,8 %	11 MW	308 kW
2,8 %	12 MW	336 kW
2,8 %	13 MW	364 kW
2,8 %	14 MW	392 kW
2,8 %	15 MW	420 kW
2,8 %	16 MW	448 kW
2,8 %	17 MW	476 kW
2,8 %	18 MW	504 kW
2,8 %	19 MW	532 kW
2,8 %	20 MW	560 kW
2,8 %	21 MW	588 kW

Nota. Lo ideal es la planta de 19 MW, ya que indica la cantidad de capacidad observada en la tabla

Sin embargo, se puede considerar un margen adicional del 0,5 % sobre la potencia nominal de operación, como tolerancia para que los equipos no funcionen en el límite máximo de su capacidad en forma sostenida. Este factor permite cierto rango de sobreexcitación transitoria ante variaciones del sistema, a la vez que contribuye con alargar su funcionalidad.

Por lo tanto:

Tabla 8. Margen de reserva con diferentes capacidades y tolerancia adicional

Valor de regulación en el 2022 adicionado con tolerancia del 0,5 %	Capacidad de la central hidroeléctrica (mín. y máx. permisible)	Margen de reserva para RPF
2,8 % + 0,5 %	8 MW	264 kW
2,8 % + 0,5 %	9 MW	297 kW
2,8 % + 0,5 %	10 MW	330 kW
2,8 % + 0,5 %	11 MW	363 kW
2,8 % + 0,5 %	12 MW	396 kW
2,8 % + 0,5 %	13 MW	429 kW
2,8 % + 0,5 %	14 MW	462 kW
2,8 % + 0,5 %	15 MW	495 kW
2,8 % + 0,5 %	16 MW	528 kW
2,8 % + 0,5 %	17 MW	561 kW
2,8 % + 0,5 %	18 MW	594 kW
2,8 % + 0,5 %	19 MW	627 kW
2,8 % + 0,5 %	20 MW	660 kW
2,8 % + 0,5 %	21 MW	693 kW

Nota. Se observa que el valor de 19 MW al trabajar con dicha tolerancia tendrá un margen de reserva de 627 kW

Buscando una mayor optimización de trabajo, se considera tener un margen de trabajo de 627 kW.

4.2.3. Regulación primaria de frecuencia

La Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) es un servicio complementario de carácter obligatorio e indispensable para el adecuado funcionamiento del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, por lo que no está sujeto a compensación económica alguna. Todas las centrales de generación eléctrica cuya potencia instalada sea superior a 10 MW se encuentran en la obligación técnica y normativa de prestar dicho servicio.

La RPF consiste en la acción automática e inmediata ejercida por los reguladores de velocidad de las unidades generadoras ante variaciones repentinas en la frecuencia del sistema. Estos dispositivos detectan dichas desviaciones de frecuencia y ajustan la potencia de salida del generador con la finalidad de restablecer el equilibrio entre generación y demanda, contribuyendo así a la estabilización de la red y el mantenimiento de la frecuencia dentro de los rangos operativos admisibles.

Es un mecanismo de respuesta rápida fundamental para garantizar la seguridad y calidad del suministro eléctrico, al mitigar los efectos negativos que podrían derivarse de las fluctuaciones bruscas de frecuencia sobre los equipos y el correcto funcionamiento del sistema de potencia (29).

La respuesta de los generadores debe darse entre los 10 – 15 segundos posteriores al evento de variación de frecuencia, sosteniéndose en hasta 30 segundos luego del mismo, mientras entra en acción la regulación secundaria, es así como, se puede controlar la frecuencia ante posibles perturbaciones (29).

4.2.3.1. Eventos de variación de frecuencia

Según los datos proporcionados por el COES, los eventos más destacados en cuanto a variaciones de frecuencia que afectaron a las centrales hidroeléctricas durante el 2022 son:

A. Primer evento

Descripción del evento: Se registró la desconexión imprevista de las líneas de transmisión L-2150 y L-2151 a 220 kV entre las subestaciones Paragsha 2 y Chaglla debido a una avería en el sistema.

El primer evento más destacado en Tingo María en cuanto a variación de frecuencia durante 2022 ocurrió el 20 de enero a las 13:30, cuando se registró que:

Tabla 9. Primer evento relevante de variación de frecuencia

Fecha	2022	1	20	
Empresa	Andina SAC	Andina SAC	Andina SAC	Andina SAC
Central	central	central	central	central
Equipo	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8
Fecha hora	de Agosto	de Agosto	de Agosto	de Agosto
	G1	G1	G2	G2
	MW	Frecuencia	MW	Frecuencia
13:30:35	9.32025781	59.966797	7.8907041	59.966743
13:30:36	9.32781445	59.967567	7.89375488	59.967529
13:30:37	9.3227002	59.973644	7.86997412	59.973637
13:30:38	9.31668848	59.979729	7.88482764	59.97974
13:30:39	9.32502148	59.98687	7.86995801	59.986877
13:30:40	9.3128877	59.992558	7.89108496	59.992455
13:30:41	9.3172832	60.000317	7.86593604	60.000305
13:30:42	9.31469824	60.007988	7.87872607	60.007984
13:30:43	9.26456934	60.006706	7.81852393	60.00441
13:30:44	9.48169141	59.897602	8.03473682	59.900295
13:30:45	9.43647949	59.725594	7.98378955	59.72546
13:30:46	9.43542969	59.550858	7.98418604	59.549931
13:30:47	9.42045313	59.407166	7.98141357	59.406479
13:30:48	9.42339258	59.314823	7.92964648	59.314514
13:30:49	9.38971289	59.272015	7.89147607	59.271938
13:30:50	9.37304102	59.274475	7.86377051	59.274487
13:30:51	9.35401758	59.300827	7.84699707	59.300861
13:30:52	9.33274805	59.348076	7.85287891	59.348259
13:30:53	9.3412627	59.404213	7.84124512	59.404617
13:30:54	9.33486328	59.45237	7.85292285	59.45245

Nota. La tabla muestra las variaciones de frecuencia más relevantes ocurridas en enero en la hora específica de dicho suceso

- Se registra una bajada de frecuencia relevante a las 13:30:49, indicando que el generador 1 trabajó con una bajada de 59,272015 Hz y el generador 2 con una bajada de 59,271938 Hz.
- Se puede observar en la siguiente gráfica la variación de frecuencia en el horario indicado.

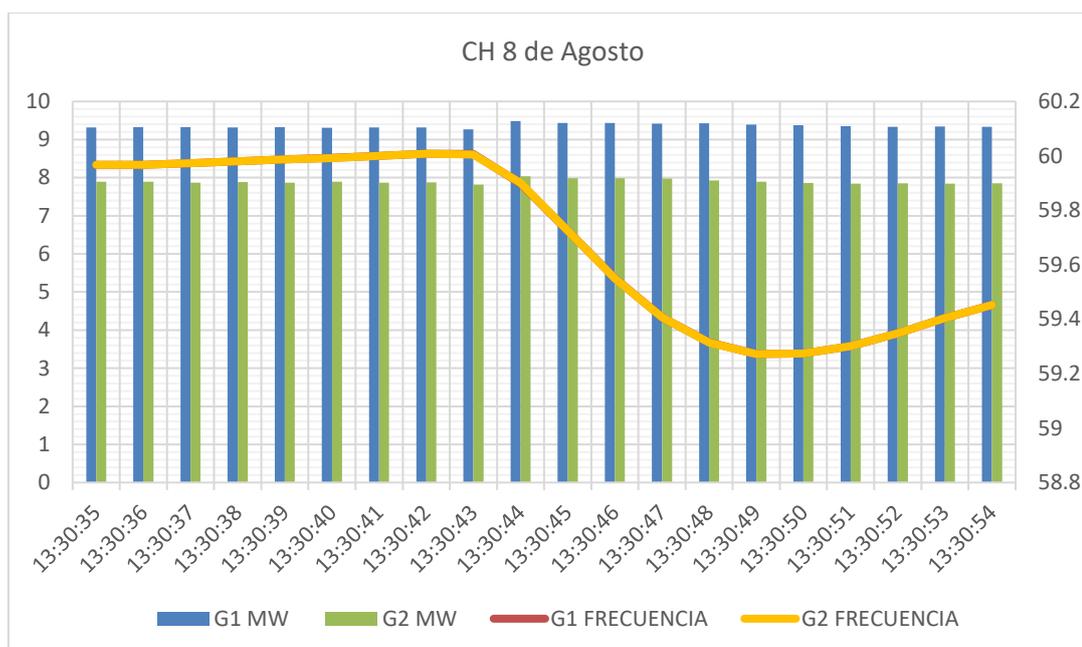


Figura 4. Variación de frecuencias del primer evento

B. Segundo evento

Descripción de evento: Desconectaron las líneas L-2150, L-2151 y la central hidroeléctrica Chaglla por falla.

El segundo evento más destacado en Tingo María en cuanto a variación de frecuencia durante 2022 ocurrió el 21 de febrero a las 14:32, cuando se registró que:

Tabla 10. Segundo evento relevante de variación de frecuencia

Fecha	2022	2	21	
Empresa	Andina SAC	Andina SAC	Andina SAC	Andina SAC
Central	central	central	central	central
Equipo	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8	hidroeléctrica 8
Fecha hora	de Agosto	de Agosto	de Agosto	de Agosto
	G1	G1	G2	G2
	MW	Frecuencia	MW	Frecuencia
14:32:00	9.1921709	60.038525	9.24733398	60.036713
14:32:01	9.19492578	60.035259	9.23891895	60.037945
14:32:02	9.18967188	60.034851	9.23566406	60.03529
14:32:03	9.19677148	60.034069	9.24062598	60.035099
14:32:04	9.18803613	60.035484	9.24265918	60.033474
14:32:05	9.18975684	60.039566	9.24124512	60.036091
14:32:06	9.18585742	60.040546	9.24669043	60.039738
14:32:07	9.19772559	60.024902	9.24333984	60.040558
14:32:08	9.18872852	59.899197	9.24790625	60.024162
14:32:09	9.19626563	59.62505	9.25747168	59.860222
14:32:10	9.19253516	59.346596	9.25611719	59.578205
14:32:11	9.19461133	59.131748	9.25146582	59.302582
14:32:12	9.18358398	59.038147	9.24016992	59.110413

14:32:13	9.20017676	59.015255	9.25459375	59.030365
14:32:14	9.19331543	59.084629	9.24553027	59.019875
14:32:15	9.19342969	59.182766	9.23502148	59.100143
14:32:16	9.19517285	59.294415	9.24380664	59.199081
14:32:17	9.19259375	59.403645	9.24622559	59.311802
14:32:18	9.19479395	59.507137	9.25147754	59.419292
14:32:19	9.19671387	59.607456	9.24624316	59.521786
14:32:20	9.19806152	60.038525	9.24874707	60.036713

Nota. La tabla muestra las variaciones de frecuencia más relevantes ocurridas en febrero en la hora específica de dicho suceso

- Se registra una bajada de frecuencia relevante a las 14:32:13, indicando que el generador 1 trabajo con una bajada de 59,015255 Hz y el generador 2 con una bajada de 59,030365 Hz.
- Se puede observar en la siguiente gráfica la variación de frecuencia en el horario indicado.

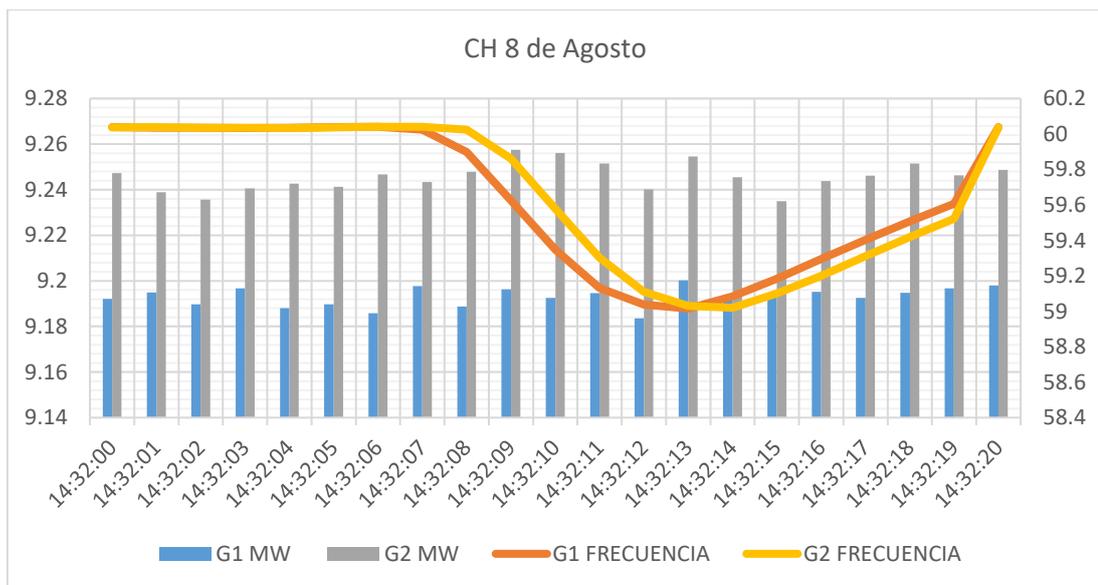


Figura 5. Variación de frecuencias del segundo evento

C. Tercer evento

Descripción del evento: Rechazo manual de carga por sobrecarga de la línea L-1122 (Aucayacu - Tocache) de 138 kV debido a indisponibilidad de la l-2194 (Cáclic - Belaunde Terry) de 220 kV.

El tercer evento más destacado en Tingo María en cuanto a variación de frecuencia durante 2022 ocurrió el 1 de junio entre las 07:38 y 08:22, cuando se registró que:

Tabla 11. Tercer evento relevante de variación de frecuencia

Fecha Empresa Central Equipo Fecha hora	2022 Andina SAC central hidroeléctrica 8 de Agosto G1 MW	1 Andina SAC central hidroeléctrica 8 de Agosto G1 Frecuencia	6 Andina SAC central hidroeléctrica 8 de Agosto G2 MW	Andina SAC central hidroeléctrica 8 de Agosto G2 Frecuencia
08:17:28	5.102689941	60.012737	5.311583008	60.004063
08:17:29	5.139166504	59.990334	5.324396973	59.982323
08:17:30	5.143043457	59.963669	5.314595703	59.953495
08:17:31	5.155272461	59.931618	5.314597656	59.923351
08:17:32	5.158492188	5.990696	5.312102051	59.898323
08:17:33	5.144616211	59.886688	5.290570801	59.884644
08:17:34	5.097803711	59.884293	5.317308594	59.887127
08:17:35	5.05801416	59.902969	5.32857666	59.908978
08:17:36	5.04196582	59.91444	5.288436035	59.916912
08:17:37	5.045541504	59.92292	5.313038086	59.926559
08:17:38	5.056482422	59.935291	5.292408203	59.93745
08:17:39	5.097212402	59.93956	5.303617676	59.940746
08:17:40	5.094633301	59.943142	5.302189453	59.945175
08:17:41	5.082960938	59.948685	5.304244141	59.95039
08:17:42	5.086327148	59.956814	5.28907666	59.961323
08:17:43	5.074632324	59.96777	5.285382324	59.971272
08:17:44	5.108772949	59.978436	5.282725586	59.979706
08:17:45	5.115302734	59.983967	5.287250977	59.985119
08:17:46	5.096907227	59.989239	5.29309375	59.98946
08:17:47	5.100535645	59.991348	5.311091797	59.991413

Nota. La tabla muestra las variaciones de frecuencia más relevantes ocurridas en junio en la hora específica de dicho suceso

- Se registra una bajada de frecuencia relevante a las 08:17:34, indicando que el generador 1 trabajó con una bajada de 59,884293 Hz y el generador 2 con una bajada de 59,884644 Hz.
- Se puede observar en la siguiente gráfica la variación de frecuencia en el horario indicado.

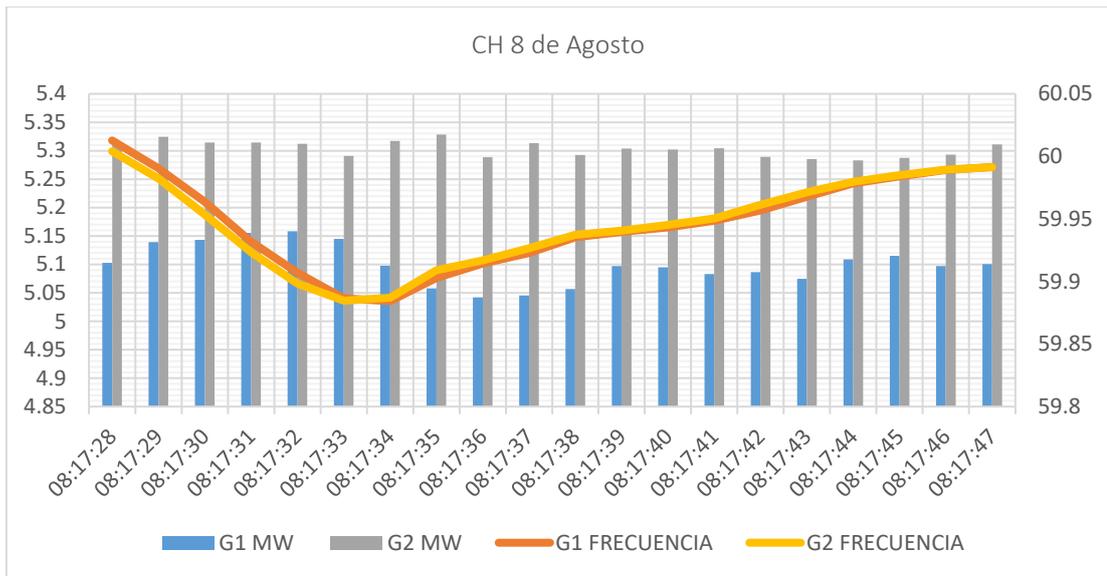


Figura 6. Variación de frecuencias del tercer evento

4.3. Elaboración de los planos de ubicación, recorrido de línea y armado básico

La central hidroeléctrica 8 de Agosto se localiza en el distrito de Monzón, perteneciente a la provincia de Huamalíes, en la región Huánuco, República del Perú. Se halla emplazada a una altitud de 1165 metros sobre el nivel del mar.

En la figura 4 se ilustra la ubicación geográfica de la región Huánuco dentro del territorio peruano. Por otro lado, en la figura 5 se aprecia con precisión el emplazamiento de la mencionada central hidroeléctrica en el contexto regional de Huánuco.

La localización de esta importante infraestructura energética en las coordenadas geográficas señaladas responde a criterios técnicos y estratégicos que permiten el aprovechamiento de los recursos hídricos de la zona para la generación de energía hidroeléctrica, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la región y del país.

4.3.1. Mapa de ubicación de la central hidroeléctrica

A continuación, se indica la ubicación de la central hidroeléctrica 8 de Agosto, activo natural del Sistema Eléctrico Nacional con una capacidad instalada de entre 19 MW - 21 MW distribuidos en dos unidades generadoras dotadas de sistemas de regulación modernos que le permiten contribuir al servicio de control de frecuencia. Su localización exacta es el distrito de Monzón, en la provincia de Huamalíes, región Huánuco.

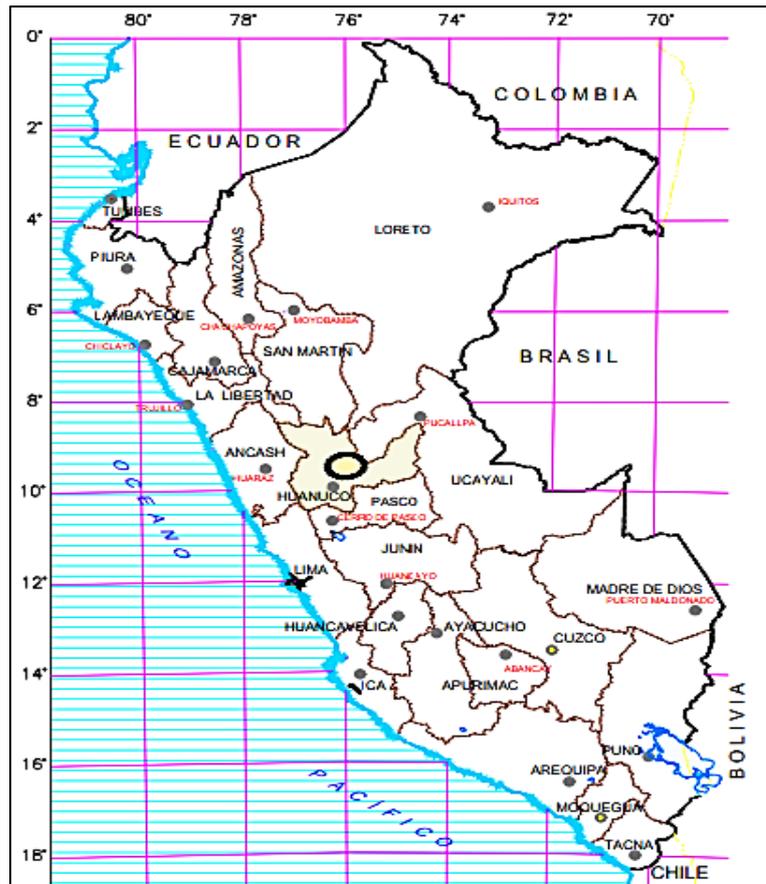


Figura 7. Ubicación del departamento de Huánuco

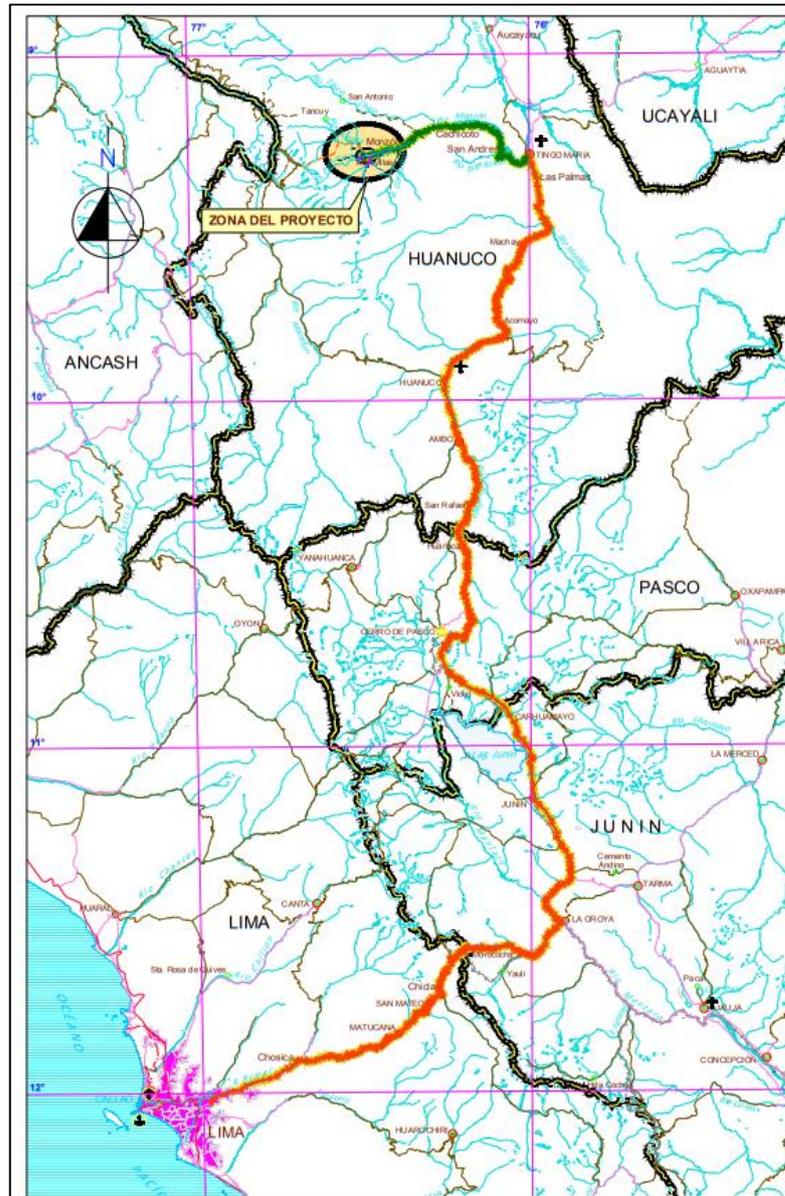


Figura 8. Ubicación de la central hidroeléctrica 8 de Agosto en Huánuco

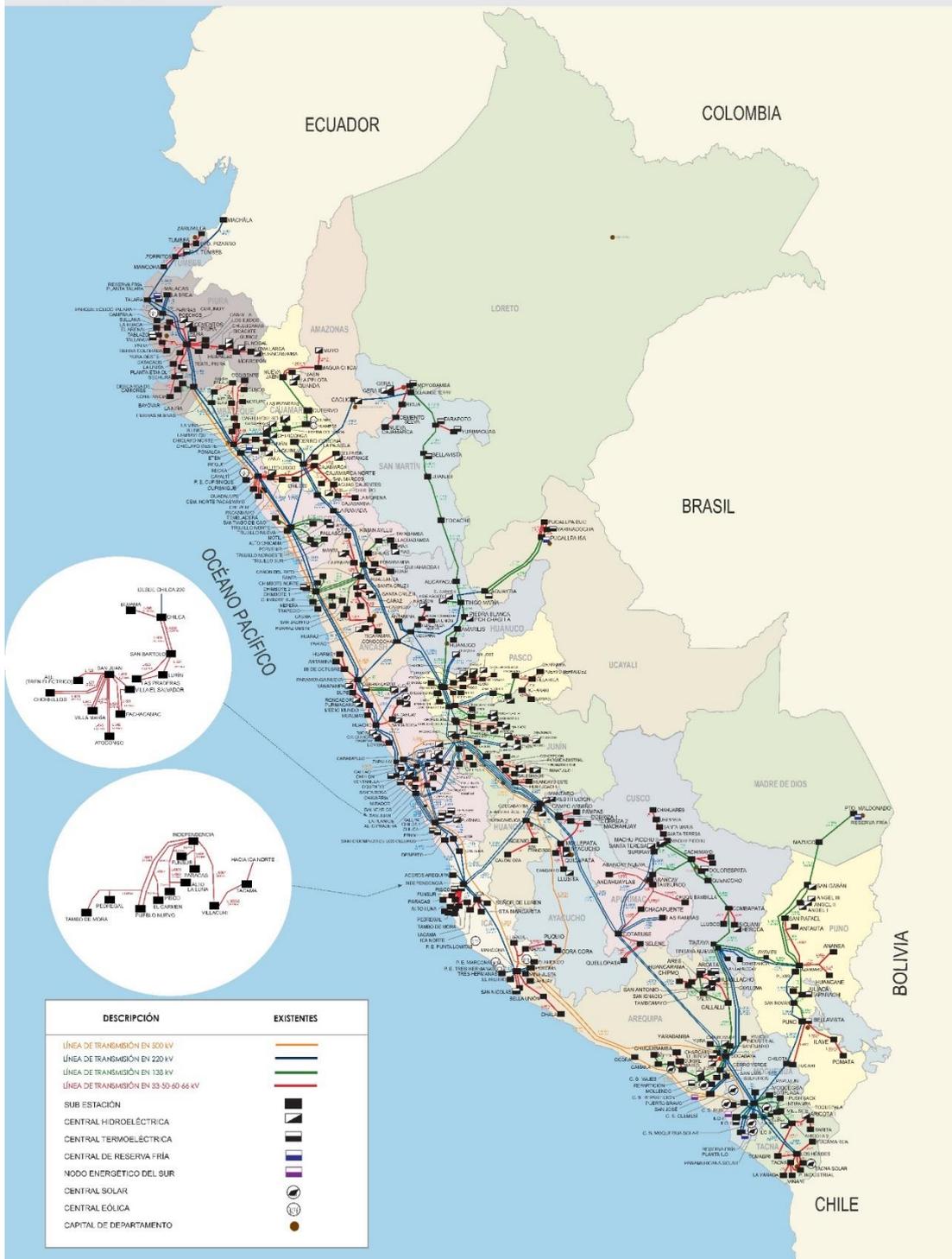


Figura 9. Sistema eléctrico interconectado a nivel nacional (COES)

4.3.2. Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica 8 de Agosto

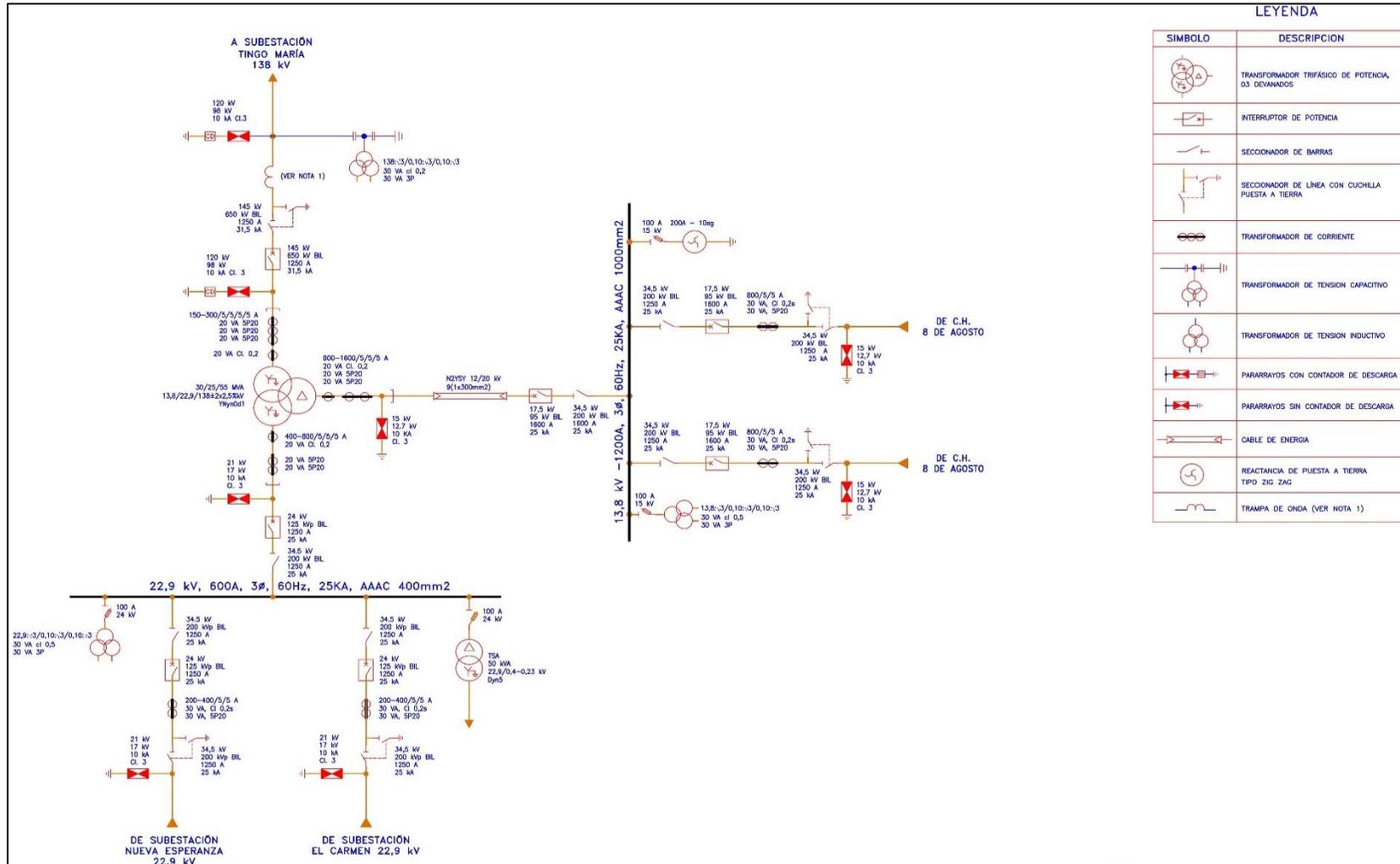


Figura 10. Diagrama unifilar de las relaciones de transformaciones de la central hidroeléctrica 8 de Agosto



Figura 11. Componentes usados en el sistema BESS

4.3.3. Capacidad de los equipos

4.3.3.1. Inversor

El propósito principal de un inversor en un sistema BESS instalado en la central 8 de Agosto, que tiene acoplamiento con un transformador, además de convertir la corriente continua en corriente alterna. De esta manera, la electricidad proveniente de las baterías puede ser inyectada de forma sincronizada a la red eléctrica de la central hidroeléctrica.

Funciones específicas

- Convertir la DC proveniente de las baterías en AC con las mismas características de la red como el voltaje, frecuencia o forma de onda.
- La energía en AC es entregada al transformador para acondicionar los niveles de voltaje.
- El inversor puede regular la potencia de descarga de las baterías, para optimizar su disponibilidad.

Para hallar la capacidad del inversor:

1.º Determinar la potencia activa máxima (kW) que se requiere invertir. Para el caso del sistema BESS, será 627 kW.

2.º Estimar el factor de potencia al que operará el inversor, según Bressan et al. (30) para inversores y sistemas BESS este toma el valor próximo de 0,9.

3.º Calcular la potencia aparente en kVA:

$$\text{Potencia aparente (kVA)} = \frac{\text{Potencia activa (kW)}}{F.P.}$$

Donde:

- Potencia activa: 627 kW
- Factor de potencia: F.P. = 0.9

$$\text{Potencia aparente (kVA)} = \frac{627 \text{ kW}}{0.9}$$

$$\text{Potencia aparente (kVA)} = 696,7 \text{ kVA}$$

4.º Determinar la corriente máxima en el lado AC:

$$I_{AC-max} = \frac{\text{Potencia aparente (kVA)}}{1.73 * V_{AC}}$$

Donde:

- Potencia aparente: 696,7 kVA
- Conversión de línea a fase en trifásicos: $\sqrt{3} = 1.73$
- Tensión de línea en el lado AC: $V_{AC} = 13,8 \text{ V}$

$$I_{AC-max} = \frac{697,7 \text{ kVA}}{1.73 * 1,38 \text{ V}}$$

$$I_{AC-max} = 292.24 \text{ A}$$

Por lo tanto, el inversor por utilizar debe estar dentro de los siguientes márgenes:

- El inversor debe ser mayor o igual a 697,7 kVA y una corriente mayor igual a 292,24 A en su salida AC.
- Es decir, la potencia aparente mínima del inversor sería 698 kVA.

4.3.3.2. Transformador

La función principal de un transformador en un sistema BESS (sistema de almacenamiento en baterías) instalado en la central hidroeléctrica 8 de Agosto es adaptar los niveles de voltaje entre el sistema de baterías (lado de baja tensión) y el punto de la red eléctrica de la central (lado de alta tensión) donde será conectado.

De la tabla 8, respecto a la potencia del sistema BESS se indica:

2,8 % + 0,5 %	19 MW	627 kW
---------------	-------	--------

Teniendo una potencia de 627 kW en el sistema BESS, para calcular la capacidad del transformador se debe tener en cuenta:

- Elegir la potencia kVA del transformador entre un 15-25 % mayor que la potencia kW para tener un margen ante cualquier incremento futuro de la demanda o para compensar posibles pérdidas (31).

Con un 15 %: *Capacidad:* $627 \text{ kW} * 1,15 = 722 \text{ kVA}$

Con un 25 %: *Capacidad:* $627 \text{ kW} * 1,25 = 784 \text{ kVA}$

Se podría considerar entonces un transformador con una capacidad de 750 kVA, este valor es óptimo, ya que al ser mayor que la potencia kW podrá tener un margen ante cualquier incremento futuro de la demanda o para compensar posibles pérdidas.

- Relación de transformación:

Se indica que la función del transformador será de reducir un voltaje primaria de 627 V AC a 13,8 V AC.

$$n = \frac{\text{Voltaje alto}}{\text{Voltaje bajo}}$$

$$n = \frac{627}{13,8} = 45,4$$

Se puede considerar una relación de transformación de 45:1 en el sistema.

- Cálculo de corriente:

Corriente primaria:

$$I_{primaria} = \frac{Potencia (kVA)}{\sqrt{3} * V_{primaria}}$$

$$I_{primaria} = \frac{750}{\sqrt{3} * 627}$$

$$I_{primaria} = 0,69 A$$

Corriente secundaria:

$$I_{primaria} = \frac{Potencia (kVA)}{V_{secundaria}}$$

$$I_{primaria} = \frac{750}{13.8}$$

$$I_{primaria} = 54.35 A$$

Por lo tanto, el sistema necesita de un transformador de 750 kVA, donde la corriente primaria sea de 0,69 A y la corriente secundaria de 54,35. Además de mantener la relación de transformación de 45:1 y el resto de los parámetros.

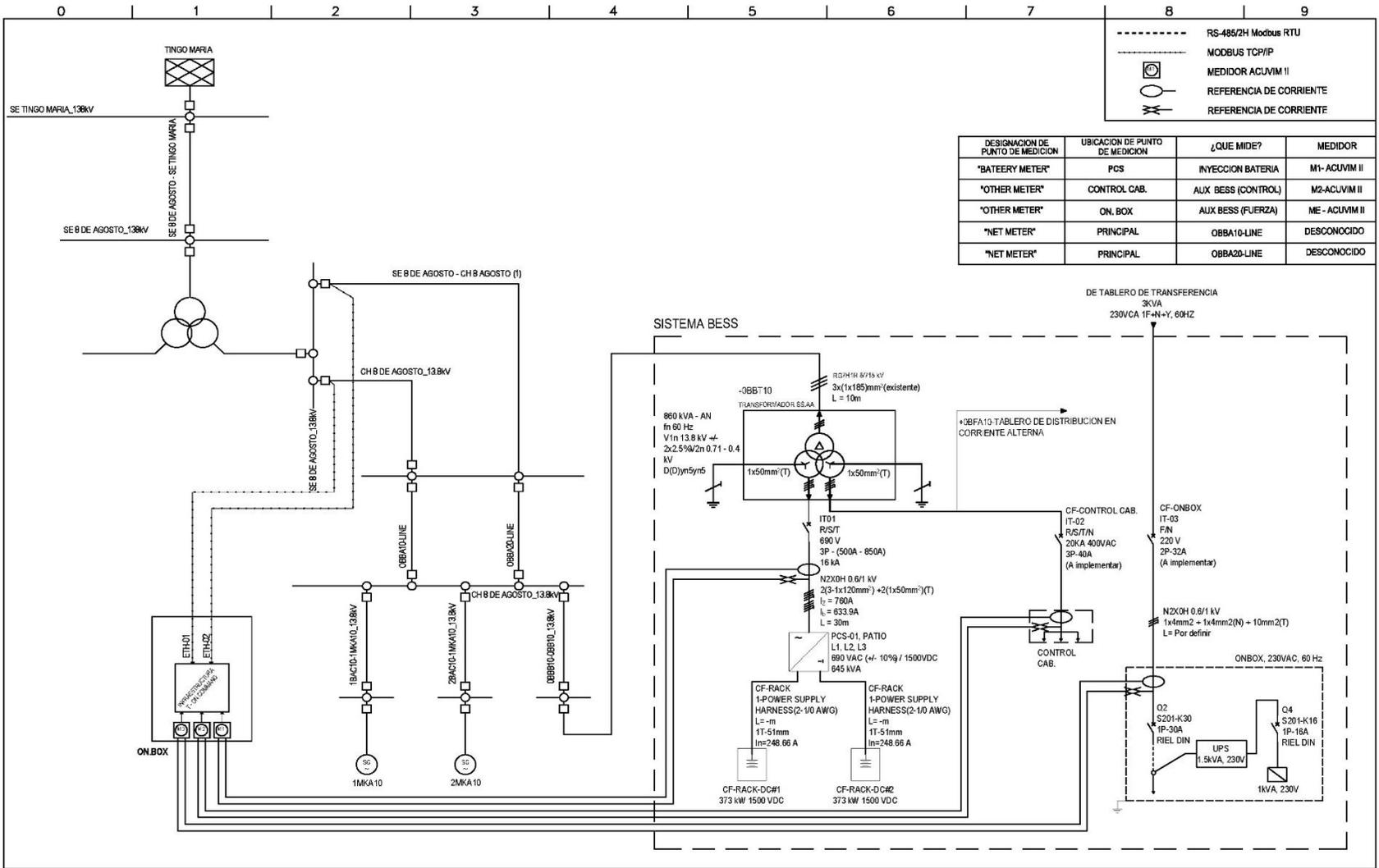


Figura 12. Plano del sistema BESS de la central hidroeléctrica 8 de Agosto

4.4. Desarrollo de la evaluación económica del proyecto que permita establecer su viabilidad

En este segmento se muestra el resultado del análisis de viabilidad y rentabilidad que tendrá el diseño de un sistema BESS.

4.4.1. Inversión

La inversión consistirá en detallar los costos de los suministros, equipos, materiales y el apoyo tercerizado de la parte civil, necesitan el proyecto de elaboración del sistema de almacenamiento de energía eléctrica en baterías para la central en Huánuco.

Como primer paso para obtener el total de inversión, se determinó qué tipo de suministros y materiales son necesarios para el proyecto, los cuales fueron identificados en la tabla 12 con un total de inversión de S/ 470 269. Asimismo, se rescata que los costos de inversión provenientes de la Protección CA y CC (corriente alterna y continua), provienen de la compra de interruptores (700 V – 220 V), tableros de protección, terminales RJ45 para cable, categoría 5; varillas de cobre 3/4 x 2 m y relés para el arranque de generador automático, obteniéndose un total de S/ 33 777. De igual manera, el costo de inversión del sistema de conexión y cableado provienen de la compra de cables de fuerza, cables AWG, alambre de cobre, terminales para cable, determinándose un monto de S/ 26 110.

Tabla 12. Inversión de los suministros y materiales del sistema BESS

Suministros, equipos y materiales del proyecto	Unidad	Cantidad	Precio c/u	Precio total
Power Converter System (PCS) AC 645 kVA	Unid.	1	92263	92263
Protecciones CA y CC (corriente alterna y continua)	Unid.	1	33777	33777
Battery Management System o BMS	Unid.	1	10649	10649
Sistema de control distribuido DCS	Unid.	1	15000	15000
Bancos de batería para el sistema de control	Unid.	2	18000	36000
Racks de baterías - Potencia nominal 630 kW	Unid.	2	15000	30000
Tablero de Control y comunicación	Unid.	1	50000	50000
Tablero e interruptor de 3 X 600 amp.	Unid.	1	22800	22800
UPS de 6 kVA	Unid.	2	49587	99175
Medidor de energía	Unid.	1	9168	9168
Transformadores de medición	Unid.	3	3209	9628
Sistema de conexión y cableado	Unid.	1	26110	26110
Sistema contra incendios	Unid.	1	15000	15000
Sistema de refrigeración de baterías	Unid.	1	20000	20000
Terragel	Unid.	10	70	700
Subtotal				470269

Fuente: Arce (11)

Como segundo paso, se determinó el costo de inversión del sistema BESS proveniente de las actividades tercerizadas que harán posible la construcción y envío de herramientas e instrumentos indispensables para este proyecto. Estos dos puntos se toman en cuenta en la siguiente tabla.

Tabla 13. Inversión de las construcciones – tercerizado

	Forma de trabajar	Costo unitario	Total
Transporte de equipos y materiales	Tercerizado	9600	9600
Grúa	Tercerizado	1500	1500
Obra Civil	Tercerizado		16667
Obras metálicas	Tercerizado		10150
Subtotal			37917

Fuente: Estrada et al. (12)

Tomando el subtotal de la tabla 12 y tabla 13, se pudo obtener que la inversión necesaria para establecer un sistema BESS que regule la frecuencia en la locación eléctrica es S/ 508 186.

4.4.2. Costos

El proyecto del sistema BESS tendrá dos costos durante toda su vida útil, el primero son los costos del proyecto, en el que se toma en cuenta el recurso humano utilizado para las instalaciones y montaje. Por otra parte, estarán los costos de penalización y regularización, el cual se espera que con la mejora realizada disminuya drásticamente.

Costos por proyecto

Los costos del proyecto hacen referencia al costo del recurso humano necesario para las instalaciones y montaje del sistema Bess, así como, para la instalación hidráulica. Por otra parte, describen los costos de mantenimiento y reposición, así como, los costos de capacitación y presupuestos documentarios. Estos costos del proyecto se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 14. Costo del Recurso Humano para las instalaciones del sistema BESS

Recurso humano	Costo Total
Instalaciones de control, protección y comunicaciones (Sistema Bess)	800
Instalaciones hidráulicas	700
Montaje y puestas en servicios de equipos y materiales	12000
Subtotal	13500

Fuente: Arce (11)

El costo total del recurso humano detallado en la tabla 14 que se necesitará para el proyecto es de S/ 13 500. Por otro lado, en la tabla 15 se establecen los costos por el mantenimiento, reposición, viáticos y costo de capacitaciones que se necesita para realizar el sistema BESS.

Tabla 15. Costo del mantenimiento y reposición del sistema BESS

Costo por operaciones	Actividad	Total
Costos de mantenimiento preventivo (semestralmente = 2 veces x año)	Mantenimiento	800
Reposición de equipos de SAA	Reposición y mantenimiento	1000
Banco de baterías	Reposición y compra	12000
Permisos – viáticos – documentos		1500
Capacitación a persona de planta (semestral = 2 veces al año)		3000
Total		18300

Fuente: Arce (11)

Tomando en cuenta las tablas 14 y 15 se determina que el costo total del proyecto, por recurso humano, mantenimiento, reposición, capacitación y documentación es de S/ 31 800.

Costos por penalización y regularización

Como se mencionó anteriormente, los costos del sistema BESS se descomponen en dos, siendo uno de ellos los costos por penalización establecidos por el COES al momento de salirse del rango establecido en contrato y los costos por regularización. Estos costos se detallan en las siguientes tablas, tomando en cuenta la data histórica de los 3 últimos años.

Tabla 16. Costos de penalización de RPF proyectados – COES

	Año	Egresos COES	%
Datos históricos	2020	S/ 153 001,46	
	2021	S/ 222 563,84	45
	2022	S/ 319 805,45	44
	2023	S/ 223 863,81	30
Proyección de pagos por incumplimiento a RPF - COES	2024	S/ 183 568	-18
	2025	S/ 141 348	-23
	2026	S/ 104 597	-26
	2027	S/ 74 264	-29
	2028	S/ 52 727	-29

Fuente: COES (32)

Tabla 17. Costos proyectados por regularización RSF

	Año	Egresos reguladores – históricos	%
Datos históricos	2020	-S/ 118 223,04	
	2021	-S/ 162 519,08	37
	2022	-S/ 271 542,51	67
	2023	-S/ 407 313,76	50
Proyección de pagos RSF - reguladores	2024	-S/ 203 657	-37
	2025	-S/ 75 353	-39
	2026	-S/ 29 388	-41

2027	-S/ 12 049	-46
2028	-S/ 5543	-41

Fuente: COES (32)

4.4.3. Flujo de caja

Aquí se determinó primero que el porcentaje de ingresos por utilizar para el proyecto del sistema BESS, será solo el 1 % del total de ingresos generados por la central, esto permitirá que el plan pueda hacer frente al total de costos anuales del proyecto. A razón de esto, se estableció proyectando inversiones en 5 años siguientes, considerando el periodo 2023 como año cero, ya que es el tiempo donde se ejecutará dicha inversión. Asimismo, los egresos proyectados provienen de la suma total de los costos del proyecto (RR. HH., mantenimiento y reposición) y los costos por penalización y regulaciones, los cuales se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Flujo de caja

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		458 821	444 065	537 230	649 942	786 300
Total, de egresos		419 025	248 501	165 785	95 606	91 660
EBIT (ganancias antes de intereses e impuestos)		39 796	195 565	371 446	554 337	694 640
Impuesto a la renta		-11 143	-54 758	-104 005	-155 214	-194 499
Flujo de caja económica operativa		28 653	140 807	267 441	399 122	500 141
Inversión	-508 186					
Flujo de caja económica	-508 186	28 653	140 807	267 441	399 122	500 141
Flujo de caja acumulada		28 653	169 459	436 900	836 022	1 336 163

Por otra parte, antes de determinar los indicadores económicos, se estableció el costo de oportunidad (COK). En otras palabras, la rentabilidad mínima a la que el proyecto debe aspirar para ser rentable en el mercado. El COK determinado para el proyecto es de 17 %, el cual deberá ser superado por la rentabilidad de proyecto para poder establecer la viabilidad requerida.

El COK se basa en obtener un rendimiento mayor ofrecido por los activos de libre riesgo (R_f), como el bono de gobierno. A esto se le suma una prima de riesgo asumido, representado por la diferencia del rendimiento del mercado y el rendimiento libre de riesgo ($R_m - R_f$). Esta prima está determinada por la sensibilidad del activo ante las fluctuaciones del mercado, medida mediante una índice beta (B) según el sector del mercado al que pertenece.

$$COK = R_f + B * (R_m - R_f) + Riesgo país$$

$$COK = 7,31 \% + 1,36 * (12,74 \% - 7,31 \%) + 1,98 \%$$

$$\text{COK} = 17 \%$$

Donde:

- Rf = rendimiento esperado de los bonos
- Rm = rendimiento del mercado
- B = beta
- Prima = (Rm-Rf)

Según la información anterior, se determinó que el COK del proyecto es de 17 %, el cual deberá ser superado por la rentabilidad de proyecto para poder establecer que el proyecto es viable. Por otra parte, el VAN sirve para poder hacer una estimación de la inversión y que este monto tendrá un mayor valor a un periodo largo. Por tal motivo, el valor actual resulta como sumatoria de los flujos de dinero de cada periodo (F1) sobre la sumatoria de uno más la tasa de descuento o también conocida como el costo de oportunidad (k), el resultado será elevado a la cantidad de periodo que corresponde.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

$$VAN = -508.186 + \left(\frac{28.653}{(1+0.1667)^1} + \frac{140.807}{(1+0.1667)^2} + \frac{2674.41}{(1+0.1667)^3} + \frac{399.122}{(1+0.1667)^4} + \frac{500.141}{(1+0.1667)^5} \right)$$

$$VAN = -508.186 + (24.559 + 103.446 + 168.408 + 215.419 + 231.374)$$

$$VAN = -508.186 + (743.206)$$

$$VAN = 235.020$$

Por otra parte, para obtener la tasa interna de retorno (TIR) se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} = 0$$

$$0 = -508.186 + \left(\frac{28.653}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{140.807}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{2674.41}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{399.122}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{500.141}{(1+\text{TIR})^5} \right)$$

Reemplazando:

$$(1 + TIR) = X$$

$$508.186 = +\left(\frac{28.653}{(X)^1} + \frac{140.807}{(X)^2} + \frac{2674.41}{(X)^3} + \frac{399.122}{(X)^4} + \frac{500.141}{(X)^5}\right)$$

Luego de obtener la ecuación se establece una tasa de costo de oportunidad referencial (i_2) por encima de la existente (17 %), con el objetivo de establecer el proceso de interpolación. Esta tasa referencial permitirá determinar el TIR. Este proceso consiste en la diferencia de las tasas existentes y referencial, así como, la diferencia del valor actual neto obtenido con ambas tasas de oportunidad.

$$\frac{i_1 - i_2}{i_1 - TIR} = \frac{VAN > 0 - VAN < 0}{VAN > 0 - (0)}$$

Después de desarrollar el proceso de interpolación se calculó que la tasa interna de retorno (TIR) es de 30 %.

El beneficio costo (B/C) es una herramienta que permite establecer la viabilidad de un proyecto. Si el resultado es igual o mayor a uno, el proyecto es viable, de ser menor, se indica que los costos superan a los beneficios por lo que no existe ningún margen de ganancia que sustente que el proyecto mantenga una rentabilidad positiva.

$$B/C = \text{Valor actual de los ingresos totales} / \text{Inversión}$$

$$\text{Valor actual de los ingresos totales} = \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor actual de los ingresos total} = & \left(\frac{28.653}{(1+0.1667)^1} + \frac{140.807}{(1+0.1667)^2} + \right. \\ & \frac{2674.41}{(1+0.1667)^3} + \frac{399.122}{(1+0.1667)^4} \\ & \left. + \frac{500.141}{(1+0.1667)^5} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Valor actual de los ingresos total} = 743.206$$

$$\text{Inversión} = 508.186$$

$$B/C = 1,46$$

En función a los obtenibles, la tabla mostrada a continuación presenta los indicadores económicos:

Tabla 19. Indicadores económicos

COK	17 %
TIRE	30 %
VANE (S/)	235 020
B/C (S/)	1,46
Periodo de recuperación: 3 años, 2 meses y 4 días	

Fuente: COES (32)

Finalmente, según los indicadores económicos del proyecto (tabla 19), se puede observar que la rentabilidad es superior al COK, siendo 30 % y su valor actual neto económico (VANE) es positivo y superior a cero, por lo que se puede decir que el sistema BESS será viable y rentable para la central. Igualmente, se establece que, considerando 1 sol de inversión, genera ganancias de 1.46 soles; recuperando todo lo invertido en 3 años, 2 meses y 4 días.

4.5. Prueba de hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Esta hipótesis plantea que la implementación del proyecto no tendrá un impacto significativo en la frecuencia ni estabilizando el sistema. Esto significa que, después de instalar el BESS, las variables relacionadas con la frecuencia y la estabilidad del sistema permanecerán iguales o no presentarán cambios estadísticamente significativos en comparación con los valores antes de la implementación.

Hipótesis alterna (H_1): Establece que, al realizar la ejecución real del sistema de almacenamiento en la central indicada, habrá una mejora evidente en regular la frecuencia primaria y la estabilidad sistemática. Esto implica que, después de la instalación del BESS, se observarán cambios estadísticamente significativos en las variables relacionadas con la frecuencia y la estabilidad del sistema, en comparación con los valores antes de la implementación.

4.5.1. Procedimiento técnico de la prueba de hipótesis

1. Definir los parámetros de evaluación

En este paso, se deben identificar y seleccionar las variables o parámetros que se utilizarán en el análisis de la frecuencia primaria además de su estabilidad en el sistema. Es crucial elegir variables cuantitativas y medibles que permitan una evaluación objetiva como:

- Desviación de frecuencia
- Tiempo de respuesta ante fluctuaciones

- Calidad de la energía entregada, etc.

2. Recopilar datos antes de la implementación del sistema BESS

Antes de instalar el BESS, se deben recopilar datos sobre los parámetros seleccionados durante un período de tiempo determinado. Este periodo debe ser lo suficientemente largo para obtener una muestra representativa de las condiciones iniciales del sistema sin la influencia del BESS.

3. Instalar el sistema BESS

En este paso, se procede a instalar el sistema BESS en la central 8 de Agosto siguiendo las especificaciones técnicas calculadas, que incluyen un inversor con capacidad superior a 697 kVA y una corriente de salida mayor a 202 A, un transformador de 750 kVA con una relación de transformación de 45:1, y una reserva primaria de frecuencia (RPF) de 627 kW y demás dispositivos específicos.

4. Recopilar datos después de la implementación del sistema BESS

Después de la instalación del BESS, se deben recopilar nuevamente datos sobre los mismos parámetros seleccionados en el paso 1, durante un período de tiempo similar al utilizado antes de la implementación.

5. Realizar pruebas estadísticas

Estadísticamente, se concluirá la existencia de irregularidades o diferencias entre los datos obtenidos una vez implementada el sistema. Estas pruebas permitirán evaluar si los cambios observados en los parámetros son estadísticamente significativos o no.

6. Tomar una decisión sobre la hipótesis

Si los parámetros estadísticos indican que hay mejora en las frecuencias reguladas y en que el sistema presenta una estabilidad luego de la implementación del BESS, se puede despreciar la hipótesis nula y confirmar la aceptación de la primera hipótesis. Caso contrario, si no se observan cambios significativos, se debe aceptar la segunda hipótesis.

4.6. Discusiones

- Los estudios sobre los sistemas BESS muestran que estas no solo pueden recargar su energía de las centrales eléctricas convencionales, además de las renovables. Así mismo, el diseño particular de estos sistemas BESS depende de cómo mitigan el impacto en los transformadores eléctricos, así como, la sobrecarga en los mismos (5).

- Otros estudios sobre sistemas BESS señalan que los equipos que integran una central eléctrica demandan cierta cantidad de energía, la cual puede optimizarse para beneficio de la compañía mediante el uso de BESS por su capacidad de almacenamiento, especialmente si estos sistemas son abastecidos con energías renovables (6).
- En cuanto a los beneficios del uso de sistemas BESS, se puede mencionar también una disminución en la inversión de activos considerando un valor aproximado de 30 %, lo cual representa menos gastos para la empresa.
- Las investigaciones señalan que la implementación de sistemas BESS no se limita a centrales hidroeléctricas, sino que también pueden ejecutarse en sistemas de seguridad a través de indicadores de sensibilidad (7).
- Asimismo, el almacenamiento de energía mediante sistemas BESS puede contribuir a satisfacer la demanda eléctrica que se genera en ciertas horas pico. De igual manera, la acumulación de electricidad a través de BESS puede asistir en cubrir los picos de requerimiento energético que ocurren en determinados momentos del día (8).
- Los estudios sobre los sistemas BESS señalan que su funcionamiento se basa en procesos fisicoquímicos (10).

CONCLUSIONES

- Se concluye que, la central 8 de Agosto ubicada en Tingo María tiene una potencia efectiva instalada de 19 MW, dividida entre dos generadores. Su energía eléctrica promedio generada sería de 456 MWh/día, considerando un régimen de operación continua de 24 horas diarias. En cuanto a la máxima demanda, estaría teóricamente limitada a 19 MW si ambos generadores operaran al 100 % de su capacidad nominal. No obstante, debido a factores técnicos y operativos, los generadores rara vez funcionan al máximo, por lo que la máxima demanda real que la central podría atender sería menor a 19 MW.
- Se concluye que, según el procedimiento PR21 del COES, la Reserva Primaria de Frecuencia (RPF) requerida para el 2022 fue fijada en 2,8 %. Considerando la potencia efectiva instalada de 19 MW en la central 8 de Agosto, con una reserva de 532 kW. No obstante, con una posible repotenciación hasta 21 MW, el margen de reserva máximo sería de 588 kW. Alternativamente, aplicando una tolerancia del 0,5 % al margen de reserva y manteniendo la capacidad de 19 MW, se obtiene un valor óptimo de 627 kW de RPF para el sistema BESS.
- Se concluye que, para los planos del BESS en la central 8 de Agosto, se consideró un inversor superior a 697 kVA y 202 A, que convierte corriente continua del BESS a alterna para inyectar a la red. También se determinó un transformador de 750 kVA, relación 45:1, 0,69 A en primario y 54,35 A en secundario para adaptar niveles de tensión. Estos cálculos técnicos se plasmaron en los planos de ubicación, recorrido y armados básicos del BESS para asegurar su correcta instalación y funcionamiento.

- Se concluye que el estudio demostró la viabilidad del diseño para un sistema BESS en cuanto a regular la frecuencia primaria de la central. Su diseño contempla los componentes y capacidades adecuadas adaptadas a las especificaciones de la central.
- Se concluye la viabilidad del proyecto, manteniendo un VAN de S/ 235 020, el cual permitió determinar una rentabilidad del 30 %, superior al costo de oportunidad, el cual fue de 17 %. Además, se establece que el proyecto en su ejecución obtendrá ganancias equivalentes de S/ 1.46 por cada S/ 1, además de recuperar la inversión en 3 años 2 meses y 4 días.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una visita técnica a la central hidroeléctrica 8 de Agosto para obtener datos más precisos, lo cual permitiría lograr resultados de cálculo con mayor exactitud.
- Se recomienda ejecutar oportunamente el presupuesto designado al mantenimiento de los equipos, con el objetivo de prevenir fallas o paradas imprevistas de estos.
- Se recomienda siempre seguir las normativas y reglamentos actualizados emitidos por el COES de manera anual.

REFERENCIAS

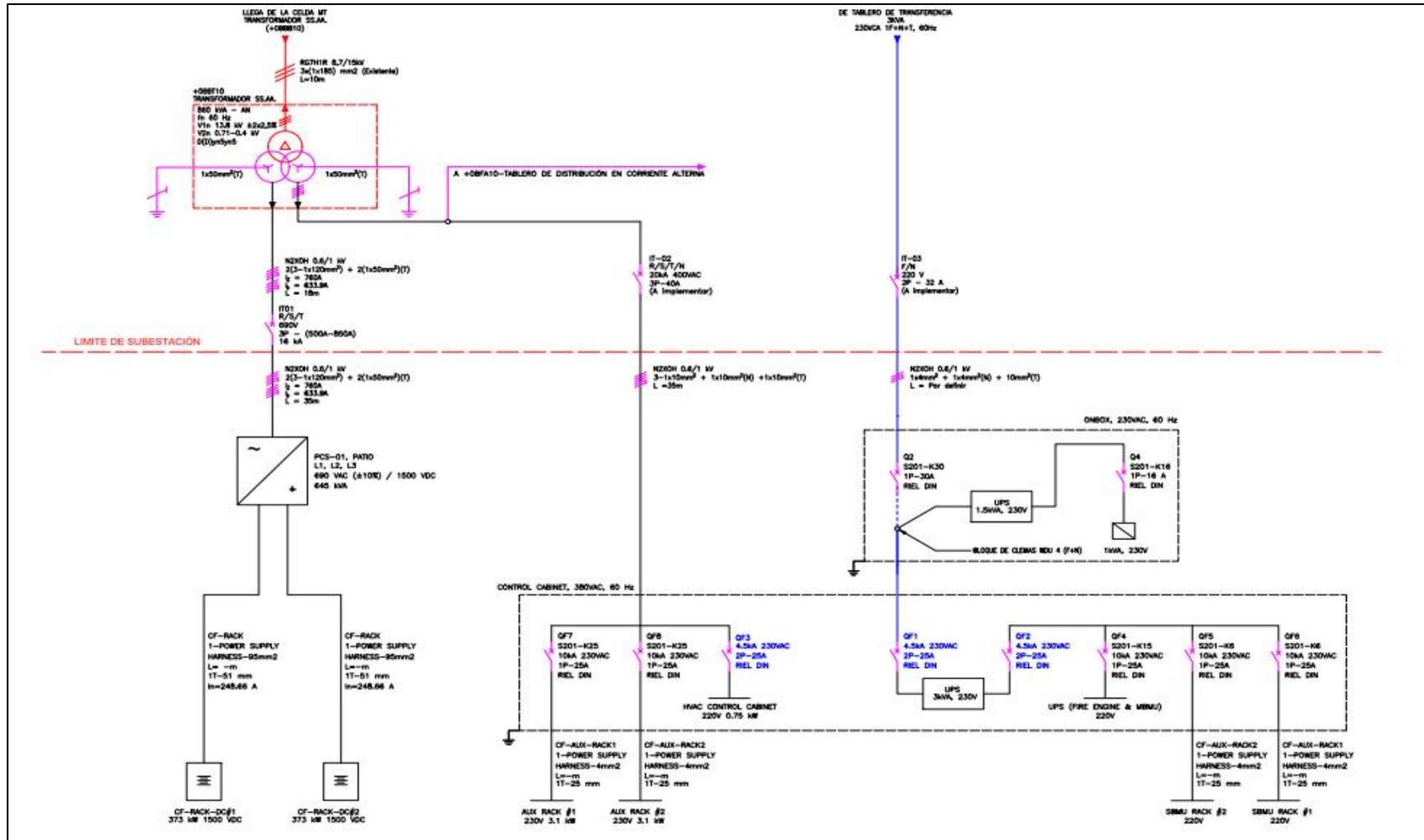
1. **Office de Science.** Inflation Reduction Act Invests in U.S. Science Leadership. [En línea] 2022. <https://www.energy.gov/science/articles/inflation-reduction-act-invests-us-science-leadership>.
2. **Osinermin.** Factores de actualización. [En línea] 2022. <https://www.osinermin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/pliegos-tarifarios/electricidad>.
3. **BRICEÑO, Mailin.** Amper. *Departamento de Ingenieria AMPER Ecuador* . [En línea] 2019. <https://amper-ecuador.com/wp-content/uploads/2021/04/Sistema-de-almacenamiento-de-energia-por-bateria-BESS.pdf>.
4. **Cecacier.** Centroamérica y Caribe - Miembro de la Comisión de Integración Energética. [En línea] www.cecacier.org/wp-content/uploads/2020/09/La-importancia-de-un-mercado-de-servicios-complementarios-en-un-sistema-con-alta-inserción-de-energía-renovable.pdf.
5. **Datta U.** *Battery Energy Storage System for Renewable Energy Integrated Power System Stability Enhancement*. Australia : University Victoria, 2020.
6. **SÁNCHEZ, R.** *Aplicación y dimensionamiento de equipos de un sistema BESS en una central térmica*. España : Universidad de Sevilla, 2018.
7. **PARADA, D.** *Aplicaciones técnicas y económicas de sistemas BESS en parques eólicos y fotovoltaicos en el sistema eléctrico chileno*. Chile : Universidad de Chile, 2018.
8. **GÓMEZ, M.** *Planeamiento de la expansión usando sistemas de almacenamiento de energía BESS*. Colombia : Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.
9. **MAZA, J.; PÉREZ, M.** *Almacenamiento de energía eléctrica en la central fotovoltaica de Moquegua y su inyección en horas de máxima demanda del SEIN*. Arequipa : Universidad Nacional del Santa, 2022.
10. **MEDINA, F.** *Sistema de almacenamiento de energía en batería (BESS) y su influencia en la demanda eléctrica diaria del sistema de distribución SE0062 (Huancaayo)*. Hunacayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.
11. **ARCE, J.** *Evaluación técnica y económica de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de frecuencia en una central hidroeléctrica con embalse del sistema eléctrico peruano*. Lima : Universidad Tecnológica del Perú, 2021.
12. **ESTRADA, L., y otros.** *Diagnóstico, análisis y evaluación de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de*

- frecuencia en una central de ciclo combinado del sistema eléctrico peruano.* Lima : Universidad ESAN, 2019.
13. **ARCOS VARGAS, A.** *The Role of the Electric Vehicle in the Energy Transition.* 2021.
 14. **CAI, J., y otros.** *Optimal configuration of battery energy storage system considering comprehensive benefits in power systems.* 2016.
 15. **RANCILIO, G., y otros.** *BESS modeling: investigating the role of auxiliary system consumption in efficiency derating.* 2020.
 16. **HU, Z.** *Energy Storage for Power System Planning and Operation.* China : Wiley, 2020.
 17. **KERSTING, W.** *Distribution System Modeling and Analysis.* Usa : CRC Press, 2017.
 18. **BALTENSERGER, D., y otros.** *Optimal Integration of Battery Energy Storage Systems and Control of Active Power Curtailment for Distribution Generation * *The authors acknowledge the CTI - Commission for Technology and Innovation (CH), and the SCCER-FURIES - Swiss Competence Center fo.* 2017.
 19. **MENG, Y., y otros.** *A Cost Benefit Study of using Energy Storage to Provide Regulation Services.* 2019.
 20. **NENUYK, V.; MARUSHCHENKO, S.; MARUSHCHENKO, D.** *Development of Electronic Device for Reducing Electrical Network Peak Load.* 2020.
 21. **TER-GAZARIAN, A.** *Energy Storage for Power.* Inglaterra : IET, 2020.
 22. **HERNANDEZ, R.; MENDOZA, C.** *Metodología de la Investigación.* México : MC Graw Hill, 2018.
 23. **CARRASCO, D.** *Metodología de la Investigación.* México : MC Graw Hill, 2016.
 24. **CARRASCO, Sergio.** *Metodología de la investigación.* Lima : San Marcos E.I.R.L, 2016.
 25. **HERNANDEZ, R.; FERNANDEZ, C.; BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación.* México : McGrawll-Hill, 2010.
 26. **NAMAKFOROSH, M.** *metodología de la investigación .* México : Limusa, 2005.
 27. **COES.** Comité de operación económica del SEIN. *COES SINAC.* [En línea] 2021. <https://www.coes.org.pe/Portal/browser/download?url=Marco%20Normativo/Procedimientos/Tecnicos/21%20Reserva%20Rotante%20para%20Regulaci%C3%B3n%20Primaria%20de%20Frecuencia.pdf>.
 28. **El Peruano.** Fijan el Margen de Reserva Rotante para la Regulación Primaria de Frecuencia del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano .* 2021.
 29. **ESTRADA, Luis.** *Diagnóstico, Análisis y Evaluación de los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías para su aplicación en la regulación primaria de recuencia en una Central de Ciclo Combinado del Sistema Eléctrico Peruano .* 2019.
 30. **BRESSAN, F.; TOMASIN, P.; CAVALLUCCI, L.; BETTINI, S.; DELLA GIUSTINA.** *Tand-alone hybrid PV-hydrogen system integration: Modeling and size*

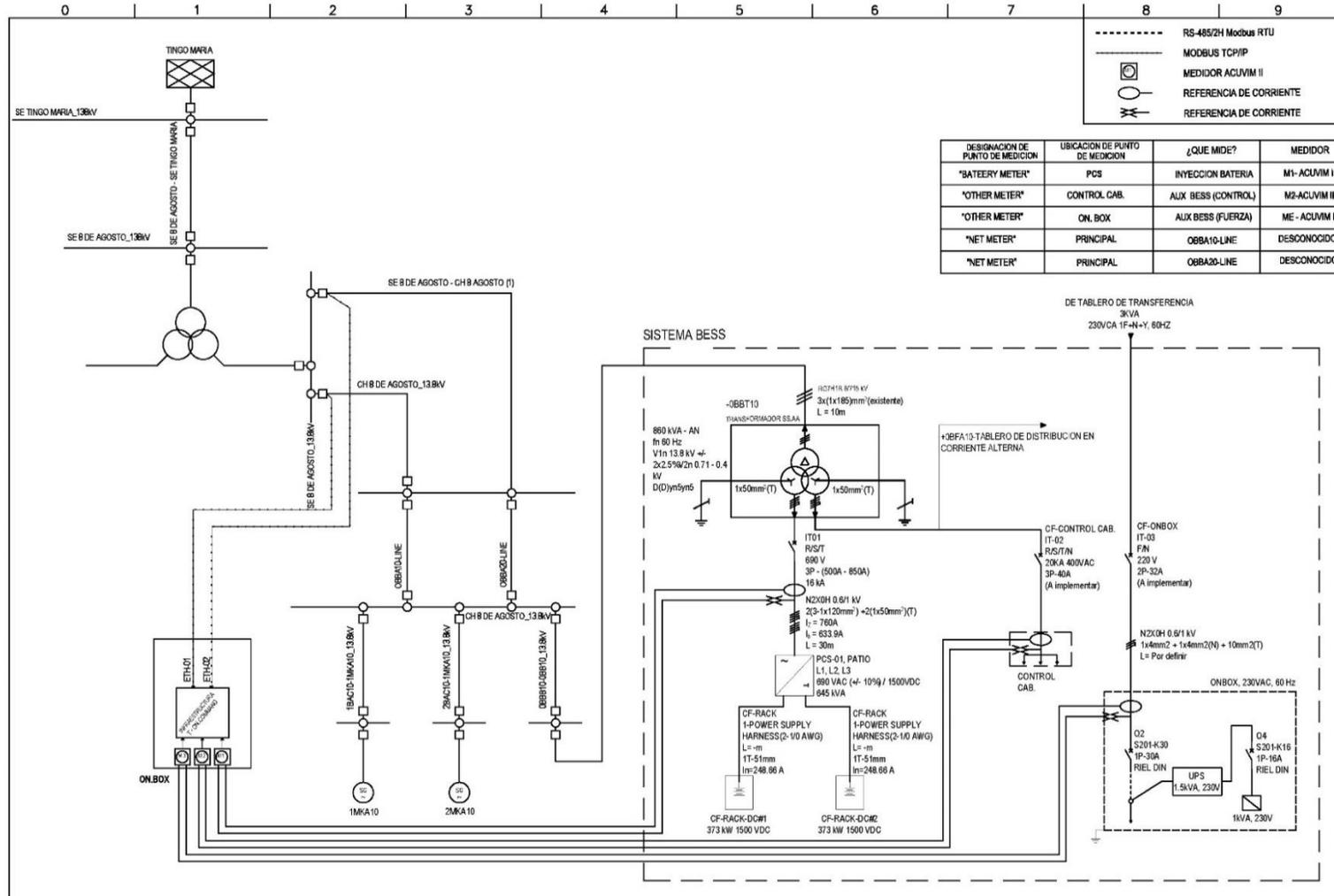
- optimization for different technologies, control strategies, and locations*. s.l. : International Journal of Hydrogen Energy, 2020.
31. **SNYDER, Andrew.** *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing*. s.l. : CRC Press, 2021.
 32. **COES.** Ficha técnica de la central hidroeléctrica 8 de Agosto. [En línea] 2023. <https://www.coes.org.pe/Portal/equipamiento/fichatecnica/IndexDetalle?idFicha=1&idElemento=20581>.
 33. **PEDROSA, J.** *Economipedia*. [En línea] 2015. <https://economipedia.com/definiciones/coste-de-oportunidad.html>.

ANEXOS

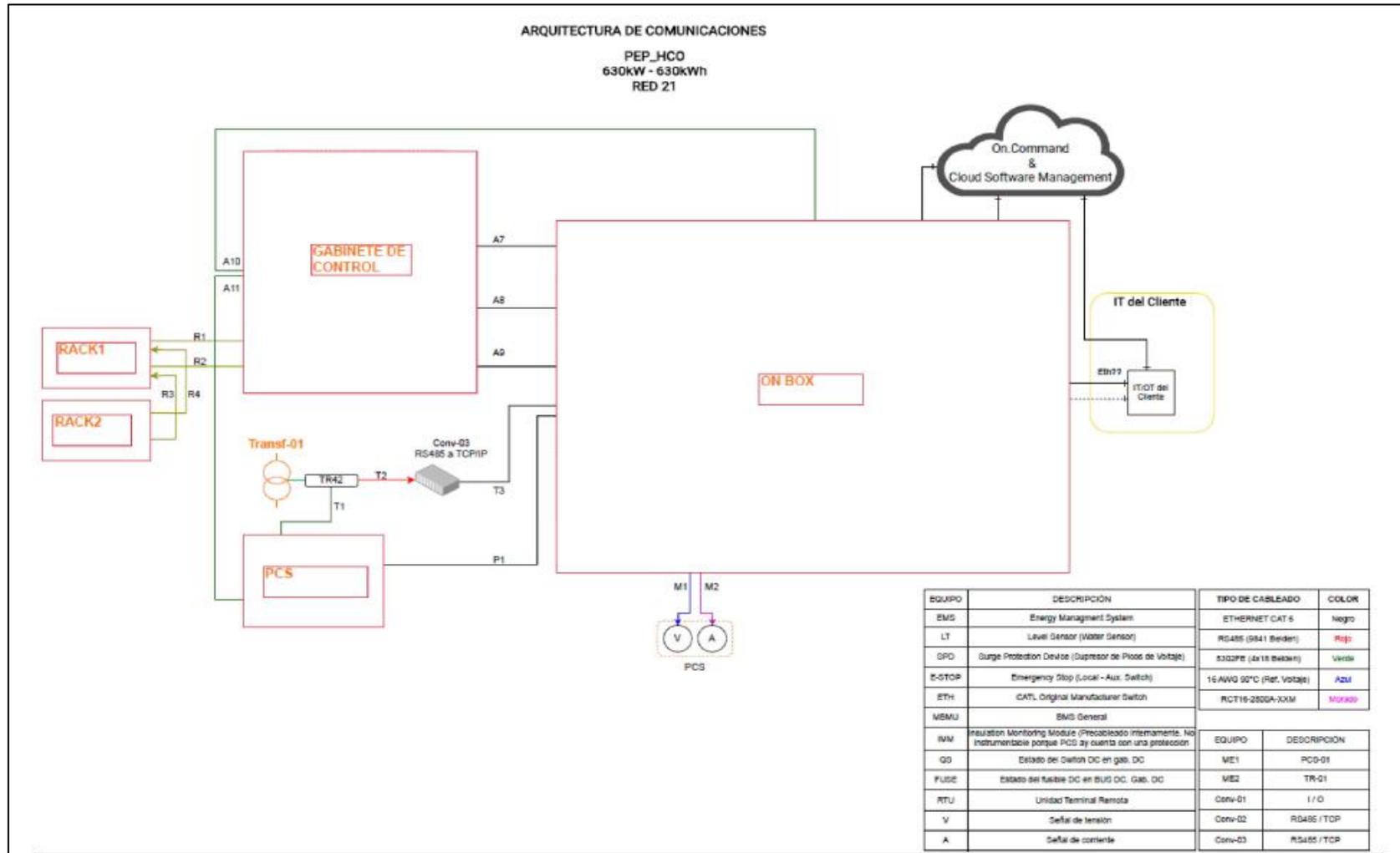
Anexo 1. Diagrama unifilar del sistema BESS



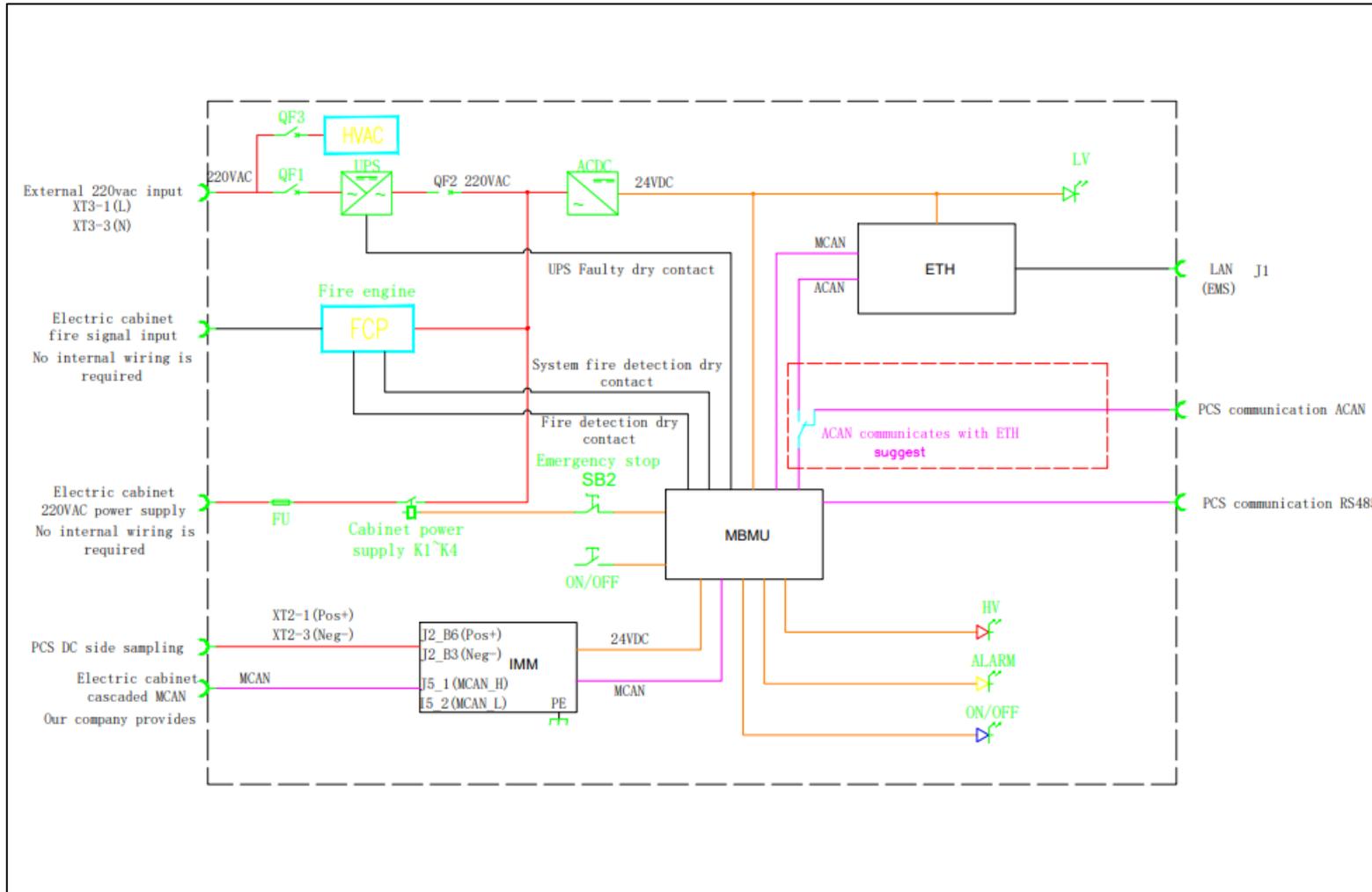
Anexo 2. Diagrama unifilar simplificado del sistema BESS



Anexo 3. Arquitectura de comunicación del sistema BESS



Anexo 4. Conexiones del tablero de control del sistema BESS



Anexo 5. Catálogo de un sistema de conversión de energía

Converter System (PCS) AC 645 KVA	DWE3110-EV- US	DWE4150-EV- US	
645 V	Marco 1	Marco 2	Marco 3
Referencias	FP2055K	FP3080 K	FP4105K
Potencia de salida de CA (kVA/kW) @40°C	2055	3080	4105
Potencia de salida de CA (kVA/kW) @50°C	1905	2855	3810
Voltaje de red operativo (VAC)	645 V± 10 %		
Rango de voltaje de CC-CC	913V-1500V		
Voltaje máximo de CC	1500V		
EFICIENCIA (Máx.)	98.78 %	98.81 %	98.87 %
Europea	98.40 %	98.43 %	98.60 %
Precio \$	25844		
Tipo de cambio	3.57		
Precio S/	92263		

Anexo 6. Catálogo de Conexiones

Conexión	DWE3110-EV-US	DWE4150-EV-US
Conexión CA		
Potencia CA (40°C / 50°C) @ FP=1, 600Vac	3117 kVA / 2805 kVA	4156 kVA / 3741 kVA
Corriente CA Máxima IAC, máx. (40°C / 50°C)	3000A / 2700A	4000A / 3600A
Distorsión Armónica Total Máxima	< 3 % a carga completa	
Voltaje CA Nominal	600 V	
Frecuencia de Potencia CA	60 Hz	
Factor de Potencia (dependiendo del voltaje)	0 to 1 leading or lagging	
Rendimiento		
Eficiencia Máxima (3)	98.4 %	
Eficiencia CEC	98 %	
Pérdida en Modo de Espera (4)	< 350 W	
Protección		
Lado de Entrada CC	Interruptor CC + fusibles	
Lado de Salida CA	Interruptor de circuito de CA	
Sobretensión CC	Pararrayos, clase II	
Sobretensión CA	Pararrayos, clase II	
Protección contra Ingresos	Type 4X	
Precio \$	9461	
Tipo de cambio	3.57	
Precio S/	33777	

Anexo 7. Catálogo de un sistema de gestión de baterías

Battery Management System o BMS	Características
Modelo	HX-4S-A20
Dimensiones	35 x 35 x 3 mm
Rango de sobrevoltaje	4.25-4.35v±0.05v
Rango de voltaje de sobre descarga	2.3-3.0v±0.05v
Corriente Máxima Permanente	10A
Temperatura de Trabajo	.-40 ~ +50Deg.C
Corriente Máxima Instantánea	20A
Temperatura de Almacenamiento	.-40~+80 Deg.C
Corriente en reposo	menos de 30uA
Vida útil	más de 50,000 horas
Resistencia Interna	menos de 100mohm
Protección contra cortocircuito	si
Voltaje de carga	16.8V-17V
Precio \$	2983
Tipo de cambio	3.57
Precio S/	10649.31

Anexo 8. Catálogo de un medidor de energía de 600Vac

Medidor De Energía 0-600vac Con Display Kwh Voltaje	Características
Marca	Meatrol
Modelo	ME237
Voltaje	220V
Tipo de medido de electricidad	Digital
Uso recomendado	Industrial
Fase eléctrica	Trifásico
Corriente mínima - Corriente externa	0A -5 A
Frecuencia	60HZ
Con capacidad de comunicación externa	SI
Precio \$	2568
Tipo de cambio	3.57
Precio S/	9167.76

Anexo 9. Catálogo de un transformador de corriente

Transformador de corriente de medición Dixsen, 100/5a, 2.5va	Características
Marca	Dixsen
Modelo	MES-62/30
Voltaje de entrada	100
Voltajes de salida	5
Frecuencia	60
Largo x Ancho x Altura	8 cm x 3.5 cm x 6.3 cm
Precio \$	899
Tipo de cambio	3.57
Precio S/	3209

Anexo 10. Catálogo de un sistema de tablero e interruptor

Tablero e interruptor de	Características
Marca	Chint
Línea	3
Modelo	NM1-400H/3300
Número de polos	3
Corriente nominal In	400 A
Tensión nominal de aislamiento máxima Ue	690V
Curva de disparo	C
Tipo de unidad de control	De caja moldeada
Tipo de producto	De caja moldeada
Precio \$	6387
Tipo de cambio	3.57
Precio S/	22800