Estudio de Operatividad

“Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) para la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) en la C.T. Chilca 1”

Parte 01: Resumen Ejecutivo

2.0	07/03/2023	APROBACIÓN	EEGALOC	EEGALOC	EEGALOC
1.0	15/12/2022	APROBACIÓN	EEGALOC	EEGALOC	EEGALOC
Rev.	**Fecha**	**Emitido Para**	**Por**	**Revisado**	**Aprobado**
Cliente					

Estudio de Operatividad

"Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) para la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) en la C.T. Chilca 1"

Parte 01: Resumen Ejecutivo

Índice General

1. Generalidades 4

1.1. Antecedentes 4

1.2. Ubicación 5

1.3. Características Generales 6

2. Descripción Técnica de las Instalaciones 8

2.1. Configuración del Sistema Eléctrico 8

2.2. Ampliación de la S.E. Chilca 1 9

2.2.1. Descripción de los Equipos de alta tensión 9

2.2.2. Servicios Auxiliares 9

2.2.3. Sistema de Puesta a tierra 9

2.2.4. Sistema de Control 10

2.3. Parámetros Eléctricos de los Equipos 10

2.3.1. Parámetros de las unidades de Generación 10

2.3.2. Parámetros de los transformadores de potencia 11

2.4. Características Técnicas del BESS 11

2.4.1. Banco de Baterías 11

2.4.2. Características técnicas del Inversor 12

2.4.3. Transformador de media tensión 14
2.4.4. Red de media tensión de 22.9 kV 15
2.5. Descripción Técnica 15
2.5.1. Degradación de la batería 15
2.5.2. Arquitectura del Sistema de Control 16
2.5.3. Actuaciones garantizadas 18
2.5.4. Sistema de control de frecuencia 18
2.6. SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL 20
2.6.1. Centro de Control 20
2.6.2. Sistemas de transferencia de datos 20
3. Conclusiones de los Estudios Eléctricos 21
3.1. Estudio de Flujo de Carga 21
3.2. Estudio de Cortocircuito 23
3.3. Estudio de Estabilidad 24
3.4. Estudio de Transitorios Electromagnéticos 25
3.5. Estudio de Coordinación de Protecciones 25
3.6. Estudio de Armónicos 27

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Área del proyecto BESS 6
Tabla 2. Características del sistema eléctrico – S.E. Chila Uno 6
Tabla 3. Parámetros de las unidades de la C.T. Chilca I 10
Tabla 4. Parámetros del transformador de potencia del BESS de la C.T. Chilca 1 11
Tabla 5. Características Técnicas del inversor de batería FREEMAQ PCSM 14
Tabla 6. Parámetros de los transformadores de BT dos devanados asociados al BESS 14
Tabla 7. Características de los cables de media tensión (22.9 kV) 15
Tabla 8. Tolerancia mínima de frecuencia establecida en el PR N° 20 20

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Proyecto 5
Figura 2. Área para las instalaciones del sistema BESS 6
Figura 3. Diagrama unifilar del Proyecto 8
Figura 4. Estante de batería 12
Figura 5. Sistema de bastidor de batería 12
Figura 6. Degradación de las baterías 16
Figura 7. Arquitectura PEMS HW para el sistema BESS 17
Figura 8. Curva de estatismo y lazo de control de respuesta solicitado al fabricante del BESS 19

Estudio de Operatividad

"Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) para la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) en la C.T. Chilca 1"

Parte 01: Resumen Ejecutivo

1. Generalidades

1.1. Antecedentes

ENGIE Energía Perú S.A. (EEP) es una empresa de generación y comercialización de energía eléctrica que forma parte del Grupo ENGIE (antes GDF SUEZ), uno de los proveedores de energía y servicios energéticos líderes en el mundo con presencia en más de 70 países.

La central térmica de ciclo combinado Chilca 1 está ubicada a 40 msnm en el distrito de Chilca, provincia de Cañete y departamento de Lima. La central térmica cuenta con 3 turbinas a Gas + 1 Turbina de Vapor, con tres calderas de recuperación. La central permite optimizar el uso del gas de Camisea para la generación eléctrica, mediante el aprovechamiento de la energía térmica remanente de los gases de combustión de las turbinas a gas de la CT Chilca 1, obteniendo un mejor rendimiento.

El Proyecto consiste en la implementación de un sistema de almacenamiento de energía con baterías de iones de litio (BESS), con una potencia total de 26.5 MW y capacidad de

almacenamiento de 13.25 MWh, como equipo dedicado para proporcionar la regulación primaria de frecuencia (RPF) de la C.T Chilca 1.

El sistema BESS se construirá dentro de las instalaciones de la C.T. Chilca 1 y se conectará al SEIN a través de la S.E. Chilca 1 mediante un transformador elevador de 220/22.9 kV.

La fecha de operación comercial del proyecto está prevista para el segundo semestre del 2023. La puesta en servicio se iniciará con la energización del transformador 220/22.9 kV prevista para el mes de abril 2023.

1.2. Ubicación

El Proyecto del sistema BESS se construirá dentro de las instalaciones de la C.T. Chilca 1, dicha central térmica se encuentra ubicada en el distrito Chilca, provincia de Cañete, departamento de Lima, 63 km del sur de Lima (ver Figura 1).

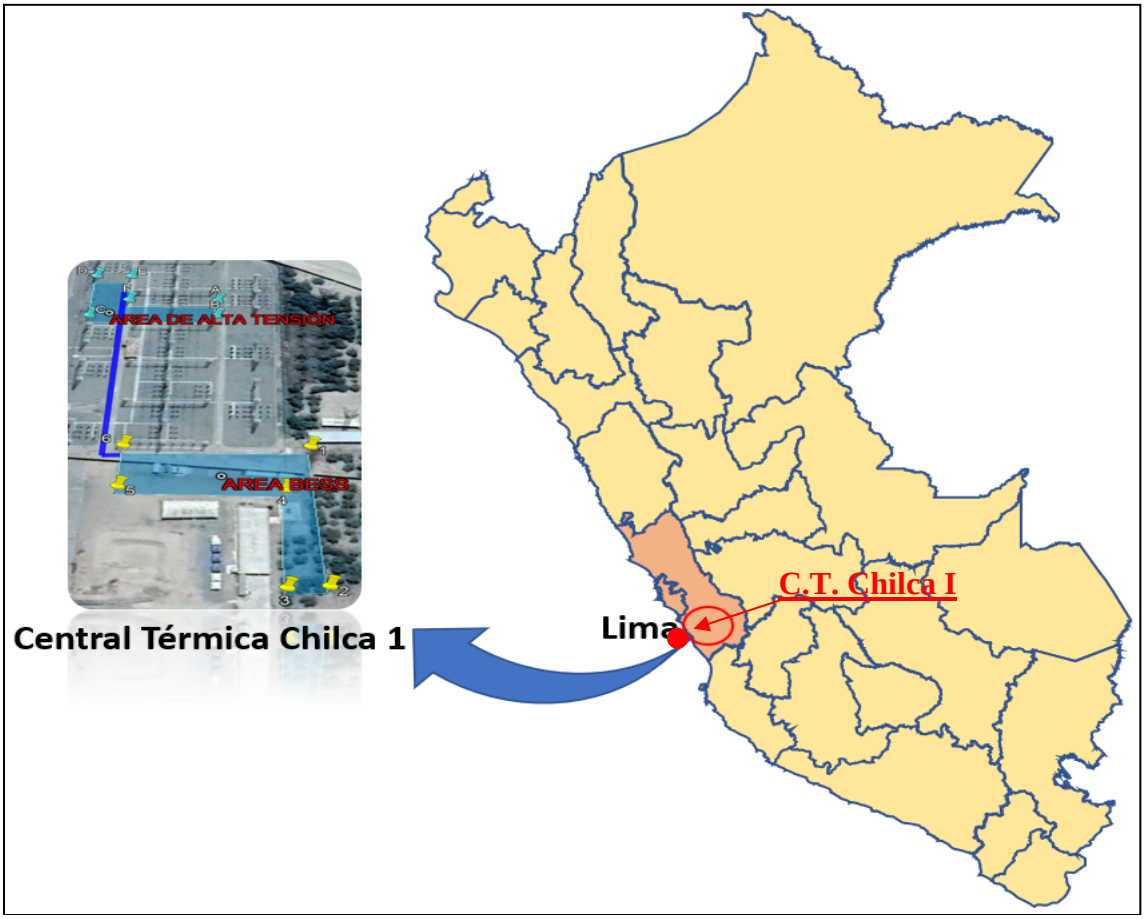

Figura 1. Ubicación geográfica del Proyecto

El área de ubicación del proyecto queda definida por los vértices que se muestran en la siguiente Tabla 1, con coordenadas UTM. En la figura 2 se muestra la vista de planta de la Central Térmica Chilca.

Tabla 1. Área del proyecto BESS

Área BESS			**Área de la concesión eléctrica en alta tensión**		
Cuadro de Coordenadas UTM WGS84-ZONA 18L			**Cuadro de Coordenadas UTM WGS84-ZONA 18L**		
Vértice	**Este (m)**	**Sur (m)**	**Vértice**	**Este (m)**	**Sur (m)**
1	312197.02	5617062.07	A	312264.86	8617176.35
2	312132.16	8616997.02	B	312253.54	8617166.03
3	312121.62	5617007.98	C	312214.78	8617208.58
4	312167.72	5617096.98	D	312214.78	8617235.47
5	312125.26	9617096.6	E	312255.36	8617223.34
6	312147.19	8617116.58	F	312237.16	8617206.76
ÁREA = 3069.68 m² (0.3070 Ha) Perímetro = 262.17 m			área = 1285.51 m² (0.1286 Ha) Perímetro = 153.83 m		

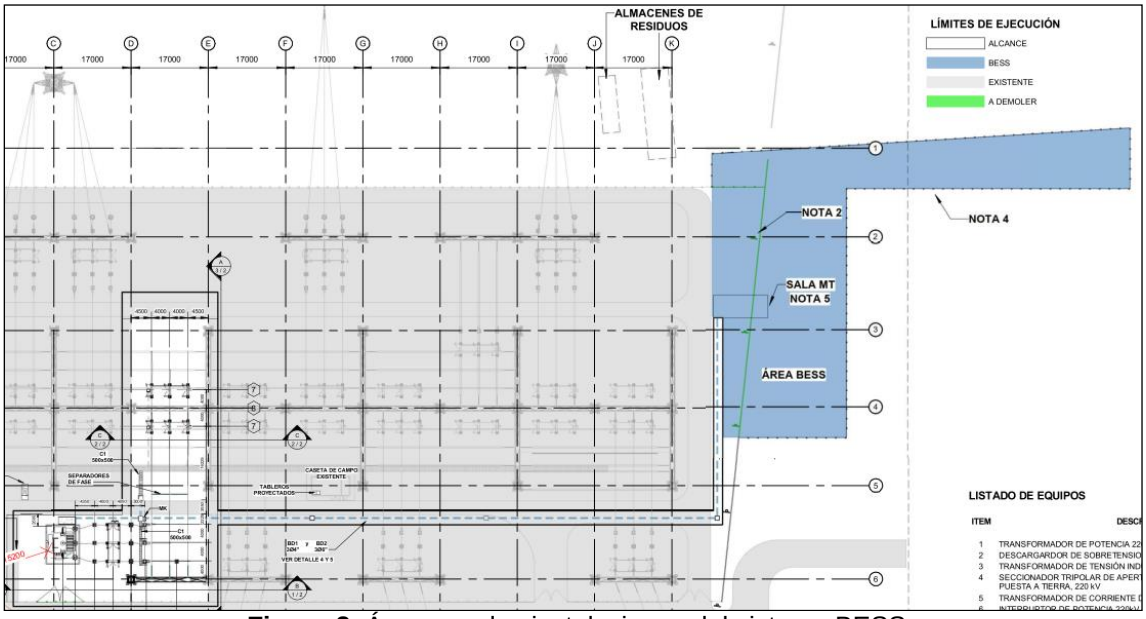

Figura 2. Área para las instalaciones del sistema BESS

1.3. Características Generales

Las características eléctricas generales del proyecto se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Características del sistema eléctrico – S.E. Chila Uno

Parámetros	**Unidad**	**Valor**	
a. Tensión de operación del sistema	kV	220	22.9
b. Tensión máxima del equipo.	kV	245	24
c. Frecuencia asignada.	Hz	60	60

Parámetros	Unidad	Valor	
d. Nivel de aislamiento:			
• Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo, a nivel de instalación (Up).	kV	1050	170
e. Corriente de corta duración admisible asignada.			
• Para especificación de equipos	kA	40	25
• Para diseño de la instalación	kA	40	25
f. Identificación de fases.	R, S, T	R, S, T	R, S, T

1.4. Cronograma Estimado de Ingreso del proyecto

A continuación, se muestra el cronograma de implementación estimado del Proyecto:

Nombre de Tarea	Duración	Inicio	Fin
Grid Connection and Energization	- dias	09/04/2023	09/04/2023
Cold commissioning of Power Islands	31 dias	10/04/2023	14/05/2023
Hot commissioning of Power Islands	26 dias	22/04/2023	18/05/2023
Commissioning of the whole system	6 dias	18/05/2023	24/05/2023
SAT	6 dias	24/05/2023	30/05/2023
Trial Run tests	7 dias	30/05/2023	06/06/2023
Pruebas Finales	9 dias	06/06/2023	13/06/2023
COD (Operación Comercial)	-	13/06/2023	13/06/2023

2. Descripción Técnica de las Instalaciones

Se describe la configuración Actual, Proyectada y las Características de los Equipos.

2.1. Configuración del Sistema Eléctrico

La central Térmica Chilca 1 comprende 3 Turbinas a Gas con calderas de recuperación de calor (CRC), 1 Turbina de Vapor, Sistema de Enfriamiento, Plantas de Agua, Subestación Eléctrica y Líneas de Transmisión. La central Térmica Chilca 1 tiene una potencia instalada de 862 MW. En la Figura se muestra el diagrama unifilar de la conexión del Proyecto.

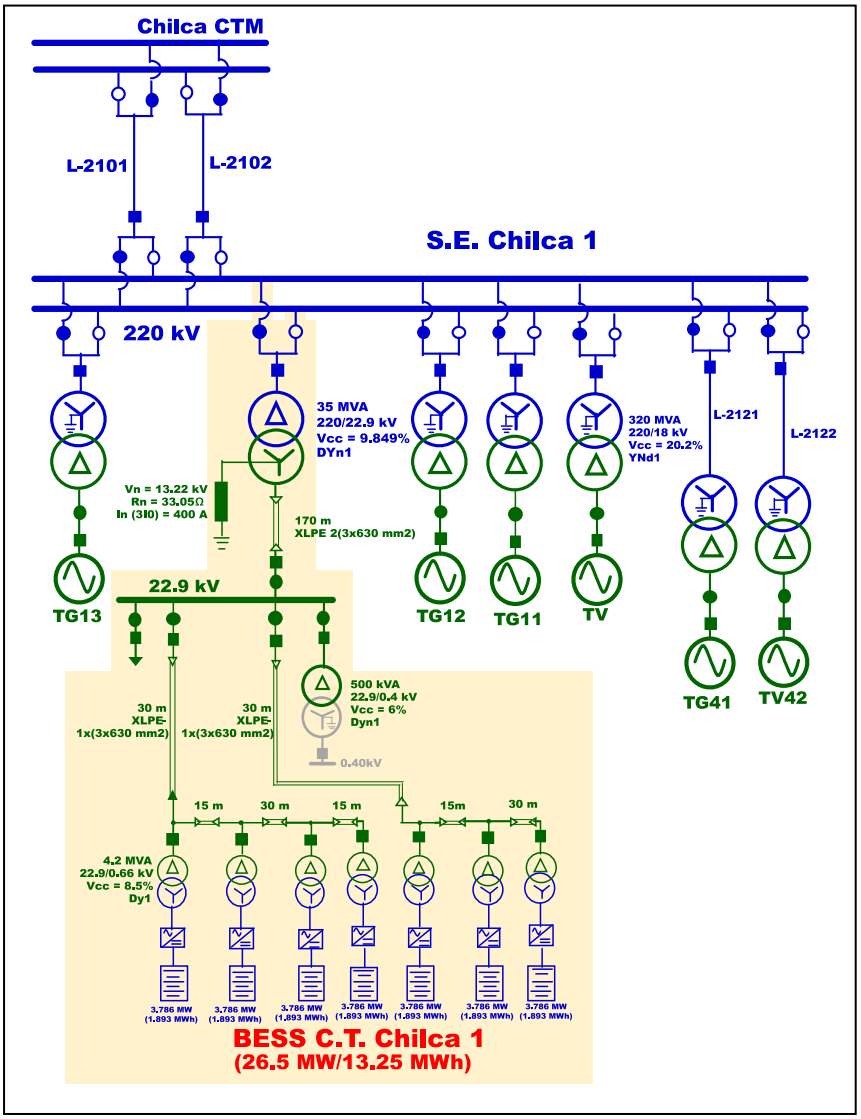

Figura 3. Diagrama unifilar del Proyecto

2.2. Ampliación de la S.E. Chilca 1

El sistema BESS se construirá dentro de las instalaciones de la C.T. Chilca 1 y se conectará al SEIN a través de la barra de 220 kV de la S.E. Chilca 1 mediante un transformador elevador de 220±2x2.5%/22.9 kV.

2.2.1. Descripción de los Equipos de alta tensión

El Proyecto incluye el equipamiento y adecuaciones de una celda de reserva en 220 kV de la S.E. Chilca 1, con los siguientes equipos:

- Pararrayos : Ur = 198 kV, Uc = 158 kV, In = 20 kA, Cl. 4
- Seccionadores de barra : 245 kV, 1600A, 40 kA, 1050 kV-BIL
- Seccionador de línea : 245 kV, 1600A, 40 kA, 1050 kV-BIL
- Interruptor : Ur =245 kV, 2500A, 40 kA, 1050 kV-BIL
- Transformador de corriente : 300-600/1/1/1/1A, 3x30VA-5P30, 1x10VA -cl 0.2s; 1050 kV (BIL)
- Transformador de tensión : 220:√3/0.11:√3/0.11:√3 kV, 1x10 VA-Cl 0.2/10VA-3P, 1050 kV (BIL)
- Conexión al transformador de potencia 35 MVA (ONAN), 220±2x2.5%/22.9 kV, Dyn1.

Todos los equipos de alta tensión serán 40 kA de cortocircuito nominal según sea el caso. La malla a tierra de la ampliación es parte de la malla a tierra actual.

2.2.2. Servicios Auxiliares

La nueva celda de 220 kV se instalará en un espacio de reserva de la S.E. Chilca 1 y utilizará los servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua existentes de la S.E. Chilca 1.

2.2.3. Sistema de Puesta a tierra

Las instalaciones de alta tensión del Proyecto se conectarán al sistema de puesta a tierra de la S.E. Chilca 1. Para la conexión de las instalaciones en media y baja tensión se implementará una malla de puesta a tierra local que se conectará a la tierra profunda de la SE Chilca 1 en varios puntos para asegurar su equipotencialidad y garantizar que todos los dispositivos de protección funcionarán dentro del tiempo nominal del sistema y de tal

manera que los valores de tensión de toque y paso no se acerquen a los valores peligrosos, cumpliendo con los estándares peruanos.

Adicionalmente, todas las partes metálicas, sistema de apoyo y cerco perimetral que se implementará con el Proyecto estarán conectados eléctricamente entre sí de tal manera que permitan una fácil conexión a tierra del sistema.

2.2.4. Sistema de Control

Los paneles de control, protección y medición estarán ubicados al interior de la caseta existente en la subestación Chilca 1. Además, el control y operación de la nueva celda se realizará desde el sistema SCADA existente de la subestación, al cual será integrado.

2.3. Parámetros Eléctricos de los Equipos

Se presenta los parámetros técnicos de los transformadores de potencia y líneas de transmisión. Los parámetros eléctricos utilizados para el análisis de flujo de potencia y cálculo de cortocircuito del SEIN son suministrados por el COES (www.coes.org.pe) a través de la base de datos del software DigSILENT, publicado para la elaboración de los Estudios de Operatividad para el año 2022.

Los parámetros de los equipos que forman parte del Proyecto son suministrados por el fabricante.

2.3.1. Parámetros de las unidades de Generación

En la tabla se muestra el resumen de las características de las unidades de generación del área de influencia.

Tabla 3. Parámetros de las unidades de la C.T. Chilca I

Parámetro	Unidad			
	TG1	TG2	TG3	TV
Potencia aparente (MVA)	201	201	200	352
Tensión nominal (kV)	16	16	16.5	18
Factor de potencia	0.90	0.90	0.90	0.85
Corriente nominal (A)	7252.96	7252.96	6998.19	11290.41
PN (MW)	180.90	180.90	180.00	299.20
QN (MVAr)	87.61	87.61	87.18	185.43
Potencia Efectiva (MW)	173.52817	170.56483	191.2182	268.07184
Potencia Mínima (MW)	62	62	68	124

(*): Calculado por diferencia considerando la potencia efectiva de TG1+TG2+TG3+TV = 803.38304 MW

2.3.2. Parámetros de los transformadores de potencia

En las tablas se muestra los parámetros eléctricos de los transformadores de dos y tres devanados del Proyecto.

Tabla 4. Parámetros del transformador de potencia del BESS de la C.T. Chilca 1

Ubicación	Rel. de Transformación y Potencia					Regulación de Tensión				Impedancias (%)	
	Prim.	Sec.	Grupo	S (MVA)		Tipo	Variación Tap (%)	T. Máx.	T. Mín.		
	(kV)	(kV)	Conexión	ONAN	ONAF1					Vcc(+/-)	Vcc(0)
S.E. Chilca 1	220	22.9	Dyn1	35	--	En vacío	2.5	2	-2	9.849%	9.357%

Resistencia de neutro

Para la puesta a tierra del transformador de 220/22.9 kV en el neutro del lado de 22.9 kV se instalará una resistencia de puesta a tierra con las siguientes características:

- Rn = 33.05 Ohm
- Vn = 13.22 kV
- In = 400 A, t = 10 segundos.

2.4. Características Técnicas del BESS

2.4.1. Banco de Baterías

Es el elemento funcional del sistema BESS, y además es el componente más caro del sistema, por lo que representa un gran porcentaje de la inversión. Estas baterías están compuestas de celdas conectadas en arreglo serie y paralelo para formar un módulo con una tensión y capacidad determinada.

El arreglo de las baterías del BESS contiene módulos con una tensión de 1500 VDC y 400 A, según se muestra en el documento "E201009_529_TD_SYS_r04_PI SLD.pdf" que se adjunta en la carpeta "12 Informacion Confidencial\Inversor".

El bastidor de batería consta de 8 módulos de batería y una caja de control, enfriador, protección contra incendios, etc. La celda de batería es la unidad de batería más básica. El BMS (Battery Management System) está compuesto por el CSC (Current Source Converter) y el SBMU (Slave Battery Management Unit). El BMS recopila datos de estado de la celda, el módulo y el bastidor, e intercambia información con otros componentes.

El módulo de batería consta de una celda de batería 1P52S y un CSC. Respuestas de la Caja de Control para el control de la línea eléctrica principal.

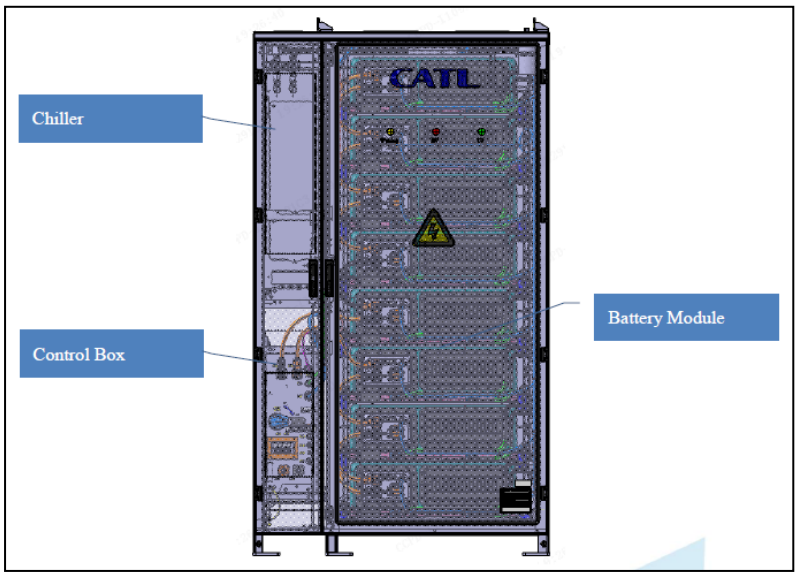

Figura 4. Estante de batería

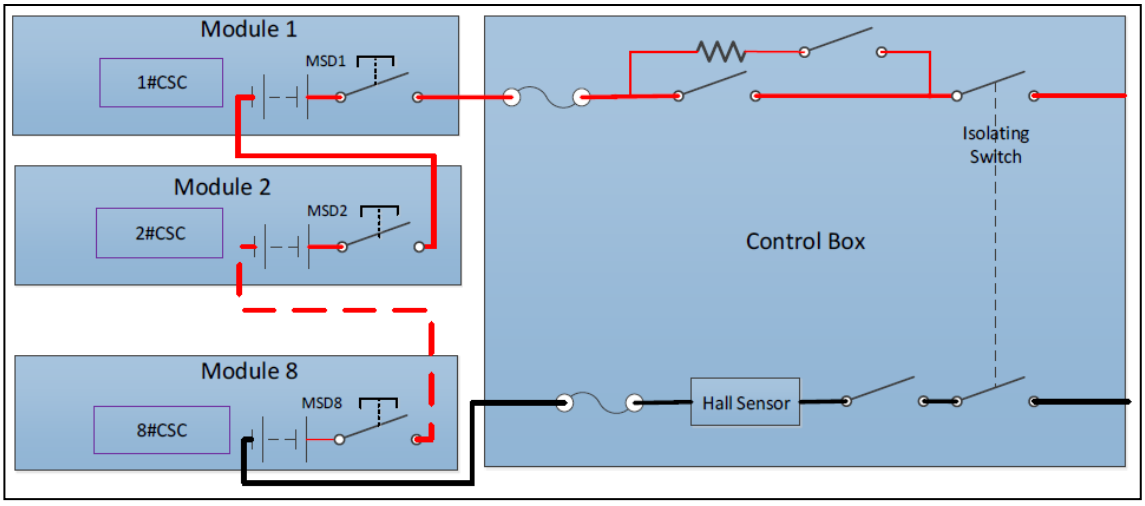

Figura 5. Sistema de bastidor de batería

2.4.2. Características técnicas del Inversor

Se utilizará un inversor bidireccional con operación completa en cuatro cuadrantes diseñados específicamente para sistemas de almacenamiento de energía a gran escala. Su diseño modular permitirá una excelente integración del contenedor, por lo que aumenta la confiabilidad del sistema y reduce el espacio ocupado y los costos generales.

Debido al amplio rango de funcionamiento de la tensión de CC, se pueden incorporar diferentes tipos de baterías.

Se absorbe energía del sistema eléctrico para cargar las baterías y entrega energía eléctrica cuando esta sea requerida. Bajo esta premisa se implementará e instalará cumpliendo con las exigencias establecidas en los procedimientos técnicos del COES Nro. 20 y 21 (PR-20 y PR-21).

El inversor del BESS elegido para este proyecto tendrá las características principales:

- ✓ Inversor de conversión de Energía.
- ✓ Unidades Reemplazables en Campo.
- ✓ Diseño modular, compacto y de fácil mantenimiento.
- ✓ Sistema de Refrigeración Innovador.
- ✓ Sistema Activo de Calefacción.
- ✓ Fácil de Monitorear

Además, se tiene las principales aplicaciones de almacenamiento de energía:

- ✓ Nivelación de carga.
- ✓ Integración Renovable.
- ✓ Regulación de Máxima Potencia.
- ✓ Sistema de Regulación de Frecuencia (a implementarse en el Proyecto).

Tabla 5. Características Técnicas del inversor de batería FREEMAQ PCSM

TECHNICAL CHARACTERISTICS — **FREEMAQ PCSM**

REFERENCES		FP4201M
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C [1]	4200
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C [1]	4075
	Operating Grid Voltage (kV)	22.9kV ±10%
	Operating Grid Frequency (Hz)	60Hz
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519
	Power Factor (cosine phi) [2]	0.5 leading ... 0.5 lagging
	Reactive Power Compensation	Four quadrant operation
DC	DC Voltage Range [3]	934V - 1500V
	Maximum DC Voltage	1500V
	DC Voltage Ripple	< 3%
	Max. DC Continuous Current (A)	4590
	Battery Technology	All type of batteries (BMS required)
EFFICIENCY & AUX. SUPPLY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	97.80% including MV transformer
	Euroeta (η) (preliminary)	97.51% including MV transformer
CABINET	Dimensions [WxDxH] (ft)	21.3 x 6.5 x 7.2
	Dimensions [WxDxH] (m)	6.5 x 2.0 x 2.2
	Weight (lbs)	30865
	Weight (kg)	14000
	Type of Ventilation	Forced air cooling
ENVIRONMENT	Degree of Protection	NEMA 3R
	Permissible Ambient Temperature [4]	-25°C to +60°C, >50°C / Active Power derating
	Relative Humidity	4% to 100% non-condensing
	Max. Altitude (above sea level) [5]	2000m
CONTROL INTERFACE	Communication Protocol	Modbus TCP
	Power Plant Controller	Optional. Third party SCADA systems supported.
	Keyed ON/OFF Switch	Standard
PROTECTIONS	Ground Fault Protection	Insulation monitoring device
	Humidity Control	Active heating
	General AC Protection & Disconn.	MV switchgear (20 or 25 kA)
	General DC Protection & Disconn.	DC switch-disconnectors [6]
	Overvoltage Protection	Type 2 protection for AC and DC (optionally, Type 1+2 for DC side)
CERTIFICATIONS & STANDARDS	Safety	UL 1741 / CSA 22.2 No.107.1-16
	Utility Interconnect [7]	IEEE 1547:2018 / UL 1741 SB

2.4.3. Transformador de media tensión

Se instalarán siete (7) transformadores de dos devanados para el Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS), cada una con las siguientes características:

Tabla 6. Parámetros de los transformadores de BT dos devanados asociados al BESS

Ubicación	Nivel de tensión			Potencia	Regulación de tensión				Impedancia [%]	
	Prim. [kV]	Sec. [kV]	Grupo de conexión	S [MVA-ONAN]	Tipo	Variación [%]	T. Max	T. Min	Vcc [+/-]	Vcc [0]
S.E. Chilca 1	22.9	0.66	Dy1	4.2 MVA	en vacío	2.5	2	-2	8.501023%	8.501023%

2.4.4. Red de media tensión de 22.9 kV

La energía será evacuada por los conductores XLPE subterráneos canalizados de forma compacta hasta el transformador de potencia (220/22.9 kV) que se encuentra ubicado en el patio de llaves, y así conectarse a la doble barra de la subestación Chilca 1 de 220 kV.

Se instalará una red colectora de media tensión en 22.9 kV que interconectará cada estación transformadora con la S.E. Chilca 1. Los conductores de la red de media tensión entre los módulos del banco de baterías estarán dispuestos en zanjas directamente enterrados. Todos los cables llevarán una etiqueta con el número para su identificación en los diagramas y planos.

Cables de media tensión de 22.9 kV

La red de media tensión se conectará a las posiciones de entrada y salida de las celdas de media tensión situadas en los centros de transformación de los módulos del BESS. Cada uno de los circuitos de media tensión estará conectado a una de las celdas de protección de línea de la subestación.

Los cables que constituyen la red colectora de 22.9 kV del sistema de almacenamiento de energía con baterías (BESS) tendrán las siguientes características:

Tabla 7. Características de los cables de media tensión (22.9 kV)

Tensión nominal del cable (Uo/U)	19/33 kV
Conductor	Aluminio
Secciones del conductor adoptadas	1 x 630 mm²
Aislamiento	XLPE
Cubierta	LLDPE-UV
Pantalla / Neutro concéntrico	Cobre H16 mm²

2.5. Descripción Técnica

2.5.1. Degradación de la batería

El envejecimiento de la batería de iones de litio suele ser una función de:

- **Envejecimiento del ciclo:** Afectado por los períodos de utilización de la batería (ciclos, tanto de carga como de descarga) y el modo de utilización de la batería resultante.
- **Calendario de envejecimiento:** Provocado por la autodescarga de la batería, cuyas tasas varían en función de las condiciones de almacenamiento (temperatura, estado de carga en reposo ("SoC"), etc.).

Para evaluar el envejecimiento del ciclo y del calendario, se deben considerar varios parámetros:

- **Tasa C de carga:** Un promedio ponderado en el tiempo de la señal de potencia de carga en la región de potencia distinta de cero dividida por la capacidad BoL.
- **Tasa C de descarga:** Un promedio ponderado en el tiempo de la señal de potencia de descarga en la región de potencia distinta de cero dividido por la capacidad BoL.
- **Temperatura:** Un promedio ponderado en el tiempo de la temperatura medida por los sensores de temperatura instalados en EnergyHouse; Ciclos equivalentes: la relación entre la energía acumulada de CC utilizada durante la vida útil y la capacidad de la batería de CC multiplicada por dos.

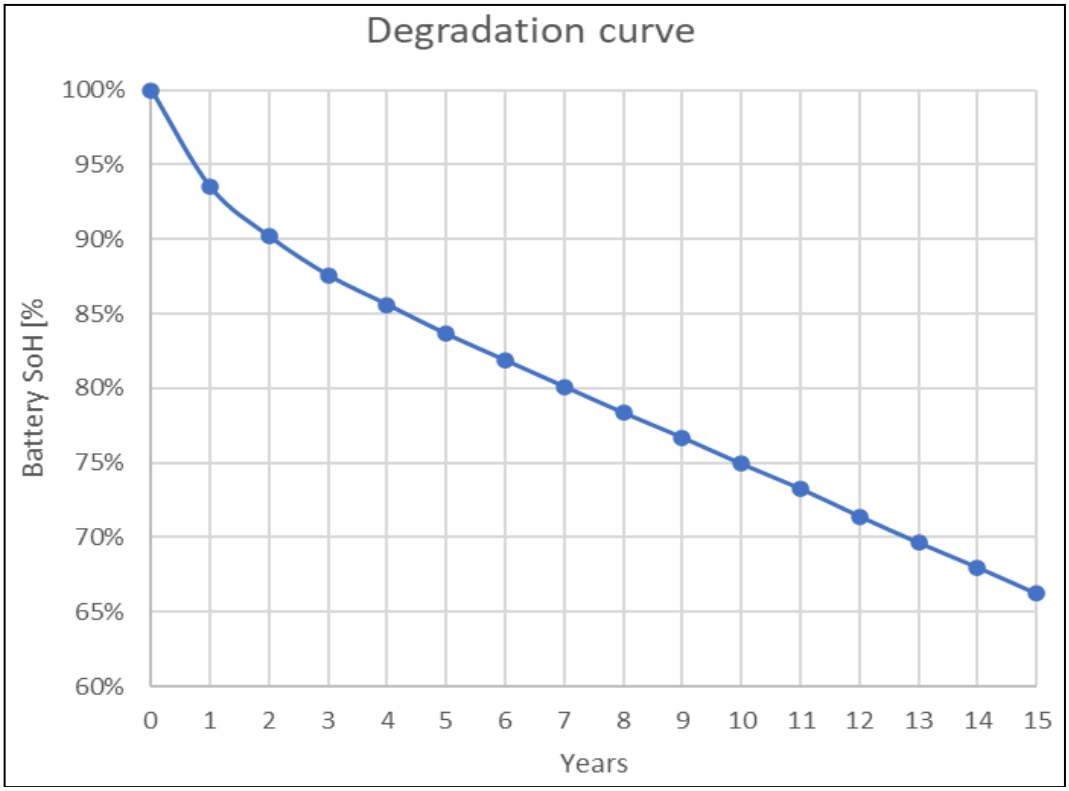

Figura 6. Degradación de las baterías

2.5.2. Arquitectura del Sistema de Control

En la siguiente figura se muestra la arquitectura de HW de control para el sistema BESS.

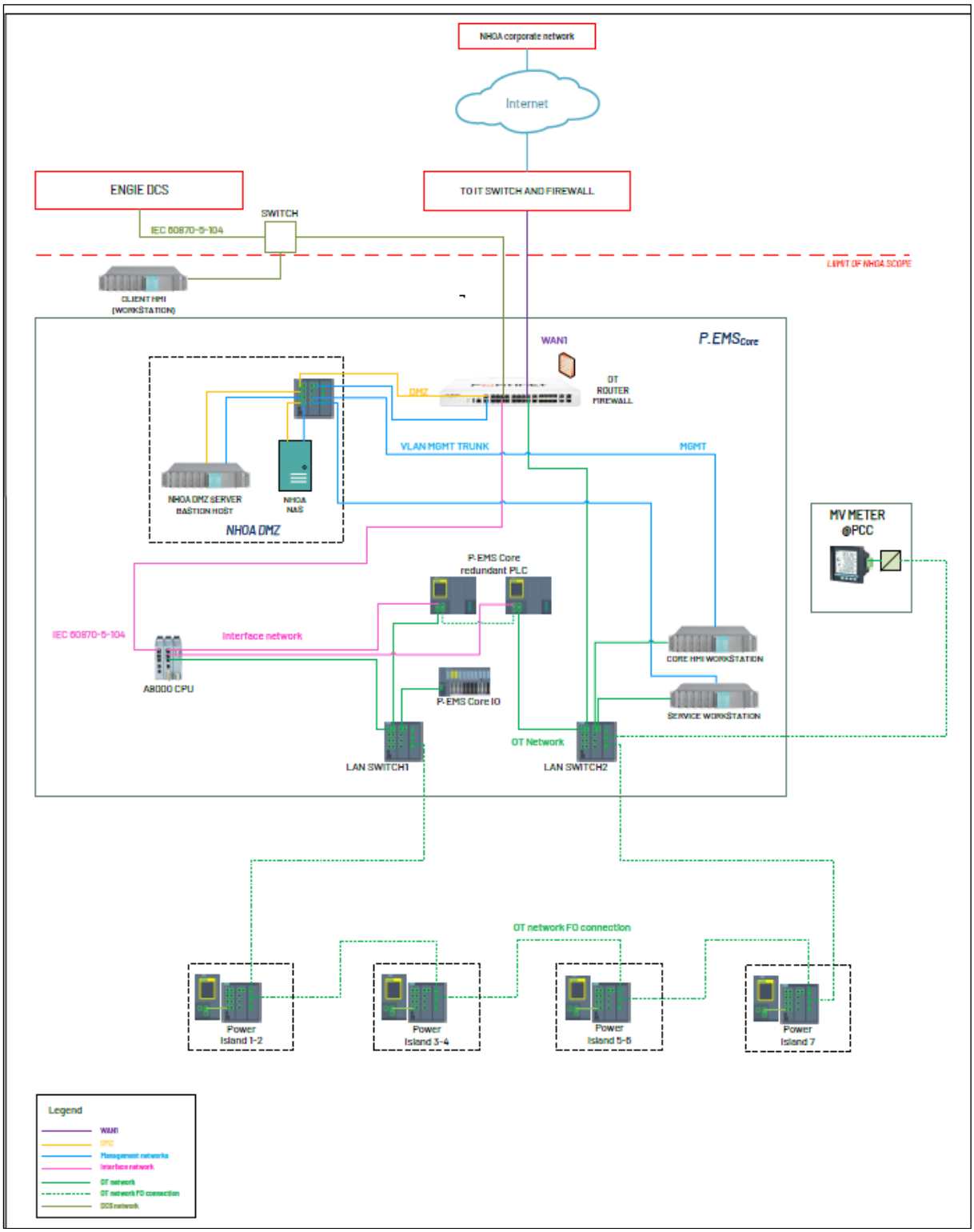

Figura 7. Arquitectura PEMS HW para el sistema BESS

2.5.3. Actuaciones garantizadas

Potencia Garantizada: 26.5 MW en el punto de entrega medida en el lado AT del transformador elevador.

Capacidad Garantizada: 13.25 MWh de capacidad de energía por ciclo descargado en el punto de entrega medida en el lado HV del Transformador Elevador.

Eficiencia de ida y vuelta garantizada: 89% de eficiencia de ida y vuelta del alcance de suministro de NHOA (BESS asumiendo auxiliares proporcionados por una línea externa) en el punto de entrega medido en los terminales de MT del transformador elevador de MT/BT BOL. En EOL del proyecto (después de 15 años) RTE es superior al 85%;

Respuesta RPF garantizada: El tiempo de respuesta, el perfil y la metodología para la evaluación serán de acuerdo con lo establecido en el procedimiento técnico COES número PR-21.

Disponibilidad garantizada: Disponibilidad anual del 99% evaluada de acuerdo con la fórmula informada.

2.5.4. Sistema de control de frecuencia

La función del control de frecuencia permite al BESS a contribuir con la estabilidad de frecuencia del SEIN. Para ello, se calcula una referencia de potencia activa mediante el control de frecuencia de acuerdo con una caída o punto de ajuste predefinido y la diferencia entre la frecuencia de red medida y la frecuencia de referencia.

El controlador de frecuencia permite operar al BESS responder a desviaciones de frecuencia ascendente y descendente entre la red y la frecuencia de referencia con respecto a la potencia disponible.

En general el sistema de control del BESS cumplirá con lo establecido en el Capítulo 4 del Anexo 1 del PR-20 para este tipo de instalaciones. Además, el lazo de control del BESS cumplirá con la exigencia del PR-21 del COES en la cual se establece una respuesta en menos de 60 segundos, tal como se muestra en las siguientes figuras.

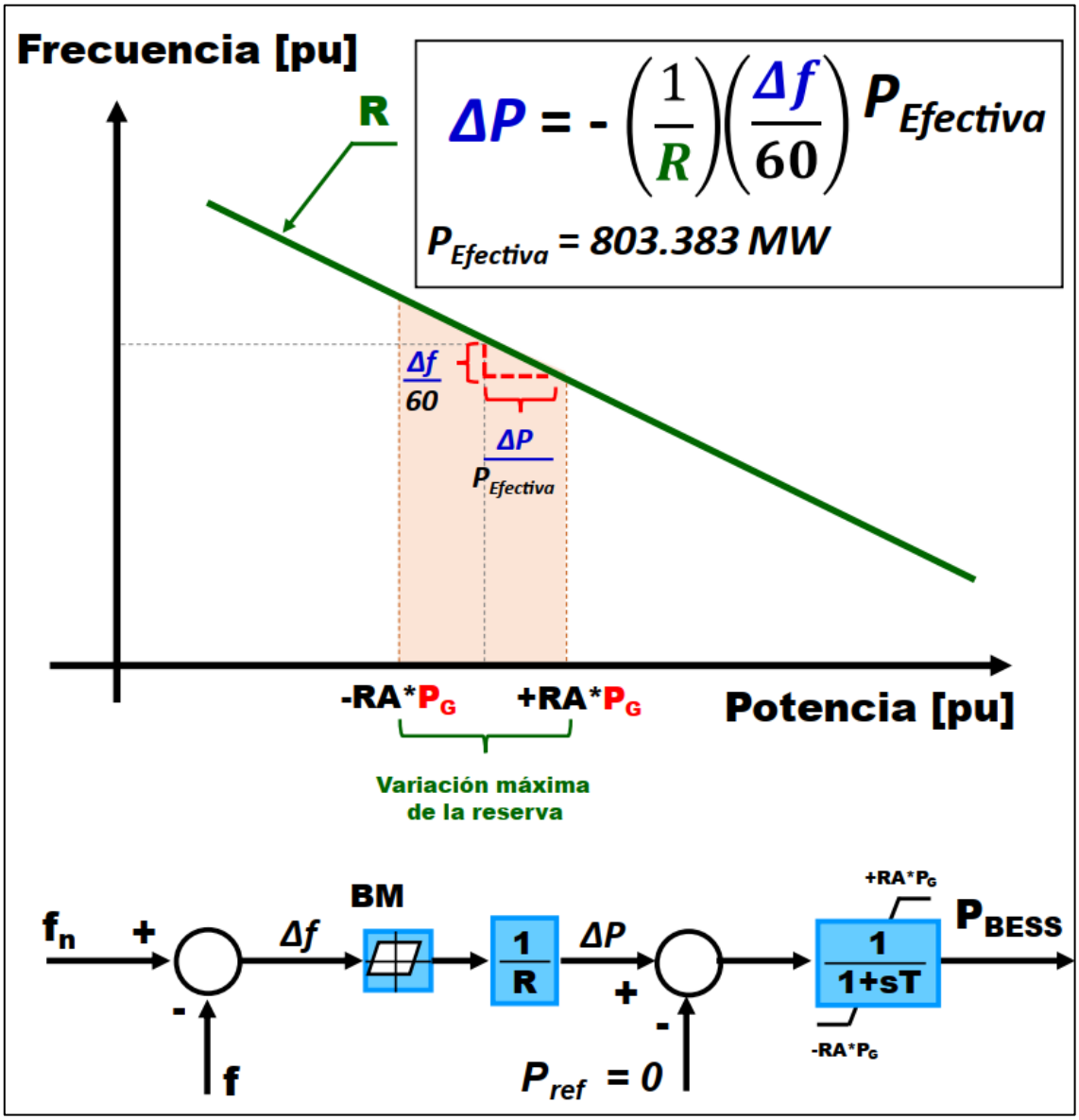

Figura 8. Curva de estatismo y lazo de control de respuesta solicitado al fabricante del BESS

Dónde:

f_n	:	*Frecuencia nominal (60 Hz)*
f	:	*Frecuencia de red (Hz)*
$\Delta f = f - f_n$	:	*Variación de la frecuencia (Hz)*
BM	:	*Banda muerta (Hz)*
R	:	*Estatismo*
P_{ref}	:	*En caso de regulador del BESS será igual a 0 (MW)*
P_G	:	*Potencia total de generación de la C.T. Chilca 1 (MW)*
T	:	*Constante de tiempo (seg.)*
RA	:	*Reserva asignada*
P_{BESS}	:	*Potencia de salida del BESS (MW).*

Teniendo en cuenta la ecuación y la banda muerta incluida en la Figura. La respuesta esperada del BESS será mediante la siguiente ecuación:

$$P_{BESS} = \Delta P = -\left(\frac{1}{R}\right)\left(\frac{f - f_n \pm BM}{60}\right) P_{Efectiva}$$

De acuerdo al PR N° 20 del COES, esta instalación debe permanecer conectado al SEIN cuando la frecuencia oscila entre 57 y 62 Hz, tal como se muestra la Tabla 8. En la Figura 10 se muestra las respuestas que debe tener el BESS ante la caída de frecuencia (requisitos establecidos en el PR-21). El inversor bidireccional utilizado operará de acuerdo a los requerimientos mínimos solicitados. Para ello, los ajustes de protección y control se ajustarán en cumplimiento a la exigencia establecida.

Tabla 8. Tolerancia mínima de frecuencia establecida en el PR N° 20

Frecuencia	Tiempo mínimo sin disparo (segundos)
f ≤ 57 Hz	0,30 segundos
57 Hz ≤ f < 57.8 Hz	10 segundos
57,8 Hz ≤ f < 58.4 Hz	30 segundos
58,4 Hz ≤ f < 59.4 Hz	30 minutos
59,4 Hz < f ≤ 60.6 Hz	Operación continua
60,6 Hz < f ≤ 61.6 Hz	30 minutos
61,6 Hz < f ≤ 62,0 Hz	30 segundos
f > 62,0 Hz	0,3 segundos

2.6. SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

2.6.1. Centro de Control

ENGIE dispone de un Centro de Control (CC) para sus Centrales de Generación Convencional (CGC) y sus Centrales de Generación No Convencional (CGNC) a donde se integrará el Proyecto, cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados (NTCOTR).

2.6.2. Sistemas de transferencia de datos

El sistema de control del BESS, cumplirá con lo señalado en la Norma de Intercambio de Información en Tiempo Real para la operación del SEIN (NTIITR), en la cual contará con un sistema de comunicación que permita enviar en tiempo real al COES la información que señala la NTCOTR.

3. Conclusiones de los Estudios Eléctricos

3.1. Estudio de Flujo de Carga

El análisis de Flujo de Carga en operación normal y contingencia realizado en el presente Estudio tiene por finalidad evaluar el impacto que genera el **"Proyecto BESS para la RPF de la C.T. Chilca 1"** en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), así como validar las características de los equipos que se instalará con el Proyecto. Como resultado se tiene las siguientes conclusiones:

De los análisis del comportamiento del sistema en operación normal y en contingencia para los diferentes escenarios de los periodos de Estiaje para el año 2023 y avenida para el año 2024, se concluye que el ingreso del Proyecto no afectará en forma negativa a la operación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), por los siguientes motivos:

Operación Normal (Caso Base):

- La tensión en las barras para los casos Sin Proyecto y Con Proyecto se encuentran dentro de los valores admisibles de operación en barras de 220 y 500 kV (±2.5% de la tensión nominal). En ambos casos el perfil de tensión en la barra de 220 kV de la S.E. Chilca UNO se encuentra entre los valores 0.984 p. u y 1.013 p.u. Por tal motivo, el proyecto no tiene un impacto negativo en las barras del sistema.
- La cargabilidad de las líneas de transmisión en los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, no sobrepasa el 100% de su capacidad.
- La cargabilidad por los transformadores en los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, no sobrepasa el 100% de su capacidad.

Operación En Contingencia (Caso Base):

Para las 13 contingencias analizadas se obtienen los siguientes resultados:

Contingencia	Descripción	Código
C01	Desconexión de LT Chilca 1 - Chilca CTM de 220 kV	L-2101
C02	Desconexión de LT Chilca CTM - Las Flores de 220 kV	L-2111
C03	Desconexión de LT Chilca REP - Desierto de 220 kV	L-2091
C04	Desconexión de LT Chilca REP - Asia de 220 kV	L-2090

Contingencia	Descripción	Código
C05	Desconexión de LT Chilca REP - San Juan de 220 kV	L-2094
C06	Desconexión de LT Chilca CTM - La Planicie de 500 kV	L-5002
C07	Desconexión de LT Chilca REP - Alto Pradera de 220 kV	L-2088
C08	Desconexión de LT Chilca - Carapongo de 500 kV	L-5001
C09	Desconexión de LT Poroma - Chilca de 500 kV	L-5032
C10	Desconexión de LT Chilca CTM - Fénix de 500 kV	L-5011
C11	Desconexión de LT Chilca CTM - Olleros de 500 kV	L-5013
C12	Desconexión del Reactor Chilca de 220 kV	R-26
C13	Desconexión del Autotransformador Chilca de 500/220 kV	AT72-523

- **Tensión por las barras:**

  En todas las contingencias analizadas, la tensión en las barras de 220 y 500 kV para los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, se encuentran dentro de los valores admisibles de operación en contingencia (+7.5 / -10 % de la tensión nominal).

- **Cargabilidad por las líneas:**

  Para todas las contingencias, la cargabilidad de las líneas de transmisión en los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, no sobrepasa el 120% de su capacidad. Asimismo, se evidenció para la contingencia **C08,** sobrecargas no permitidas superior al 120% de su capacidad por diferentes líneas de transmisión. Sin embargo, para esta contingencia ya se encontraba sobrecargada estas líneas antes del ingreso del Proyecto. Por lo tanto, no influye directamente al área de influencia del sistema eléctrico.

- **Cargabilidad por los transformadores:**

  Para todas las contingencias la cargabilidad por los transformadores en los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, no sobrepasa el 100% de su capacidad. Sin embargo, para las contingencias **C12 y C13** la cargabilidad sobrepasa el 100% de su capacidad, tal y como se muestran en el informe. Pero, es importante resaltar que con el ingreso del Proyecto el incremento es ligeramente a la sobrecarga existente del caso sin Proyecto.

  Por otro lado, de acuerdo con el Estudio de Operatividad del proyecto de Ciclo Combinado de la C.T. La Flores se dispone de un esquema de reducción automática

de generación de la C.T. Las Flores con el cual se mitiga las sobrecargas en las líneas L-2103, L-2104. Por otro lado, las sobrecargas de los Autotransformadores de la S.E. Chilca CTM se evitarán con la implementación del "***ESQUEMA DE REDUCCIÓN Y RECHAZO AUTOMÁTICO DE GENERACIÓN"*** que será implementado por KALLPA según lo definido en el "***ESTUDIO DE PRE-OPERATIVIDAD PARA LA CONEXIÓN DE LA TURBINA A VAPOR DE LA C.T. LAS FLORES***". Por lo tanto, las sobrecargas registradas se mitigarán con el esquema implementado o a implementar.

Operación Normal y Contingencia (Caso Adicional):

No se registra transgresiones en la tensión, asimismo, la cargabilidad por las líneas de transmisión y transformadores se encuentran dentro del margen permitido, tanto para operación normal y en contingencia.

3.2. Estudio de Cortocircuito

1. El análisis de cortocircuito realizado en el presente Estudio tiene por finalidad evaluar el impacto que generara el "Proyecto BESS para la RPF de la C.T. Chilca 1", así como validar las características de los nuevos equipos que se instalarán con el Proyecto.
2. Los cálculos de corriente de cortocircuito sirven para verificar el correcto dimensionamiento de los equipos de la subestación del Proyecto.
   - En la barra de 220 kV de la S.E. Chilca Uno la máxima corriente de cortocircuito para el caso Sin Proyecto es 33.54 kA por fase y 33.59 kA por tierra. Asimismo, para el caso Con Proyecto resulta 39.75 kA por fase y 39.82 kA por tierra.
   - La máxima corriente de cortocircuito para la barra de 22.9 kV de la S.E. Chilca Uno es 9.37 kA por fase y 0.40 kA por tierra.
   - La máxima corriente de cortocircuito para la barra de 0.66 kV de la S.E. Chilca Uno, asociado al BESS, es 42.17 kA por fase y 0 kA por tierra por ser un sistema aislado. Cabe mencionar que el nivel de cortocircuito es muy dependiente de la resistencia de falla.
   - La máxima corriente de cortocircuito para la barra de 0.40 kV de la S.E. Chilca Uno, asociado al BESS, es 12.59 kA por fase y 11.92 kA por tierra.
3. Se verifico la capacidad para soportar las corrientes de cortocircuitos de los equipos instalados y los que se instalarán con el Proyecto en los niveles de 220 kV y 22.9kV,

los cuales siguen manteniéndose por encima de los niveles de corrientes de cortocircuito obtenidos en el horizonte de análisis.

4. Los TCs de las subestaciones Chilca se desempeñarán adecuadamente con los niveles de cortocircuito.

3.3. Estudio de Estabilidad

Del análisis de estabilidad se concluye lo siguiente:

1. Con el ingreso del BESS de la C.T. Chilca 1 se reduce el tiempo de respuesta del RPF en comparación a los tiempos de respuesta de las unidades de generación para la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF).
2. Con el ingreso del BESS se controla con mayor precisión el aporte de potencia asignado para la RPF en comparación con la respuesta de los generadores síncronos.
3. Con el ingreso del BESS no se desplaza las unidades de generación debido a que en operación normal no inyecta o absorbe potencia activa. Por lo tanto, la inercia del sistema no se ve afectada.
4. Con el ingreso del BESS se tiene un mejor control de la inyección de potencia activa asignada para la Regulación Primaria de Frecuencia (RPF).
5. El Tiempo crítico de despeje de falla en la barra de 220 kV de la S.E. Chica 1 es de 200 ms que se registraría en mínima demanda en el periodo de estiaje el cual es coherente con el sistema de protección disponible en la subestación que garantiza un despeje de falla en tiempos menores a 100 ms.
6. De acuerdo con el análisis realizado, en eventos con disminución e incremento de frecuencia, el BESS responde dentro de los tiempos y magnitud asignada, tal como se resumen en la tabla.

Caso	Generación [MW]	f0 [Hz]	Carga [MW]		Comportamiento en el evento según simulación				ΔP BESS [MW]		Reserva RPF	Estatismo		Exceso del Cumplimiento
			Conexión	Desconexión	MW inicial	F_{min}/F_{max} [Hz]	MW final	F_{final} [Hz]	Diferencia en la celda totalizadora de 22.9 kV	Bornes de inversores	ΔP[MW]	ΔP [MW]	ΔP[MW]	
1	316.000	60	10 MW	--	-0.413	59.371	8.848	59.559	9.261	9.569	8.848	104.708	14.958	4.67%
2	400.000	60	10 MW	--	-0.412	59.395	9.097	59.914	9.509	9.569	11.200	9.641	1.377	-1.37%
3	559.692	60	20 MW	--	-0.410	58.120	15.673	58.237	16.083	16.170	15.671	458.732	65.533	2.63%
4	803.383	60	30 MW	--	-0.408	56.889	22.497	58.096	22.905	23.086	22.495	496.491	70.927	1.82%
5	803.383	60	--	30 MW	-0.444	60.986	-22.492	60.438	-22.048	21.924	-22.495	-103.904	-14.843	-1.99%
7	316.000	60	10 MW	--	-0.412	59.371	9.215	59.914	9.627	9.660	11.060	9.641	1.377	-0.14%
8	803.383	60	20 MW	--	-0.409	58.424	17.523	59.883	17.932	18.074	28.118	17.942	2.563	-0.06%

7. Con el ingreso del Proyecto se dispondrá recursos para cumplir con la RPF el cual debe ser evaluado en el marco de la ampliación del PR-21 del COES y no presente estudio.
8. El ingreso del Proyecto no afecta de forma negativa la operación del SEIN. Por lo contrario, mejora la operación del sistema eléctrico ante un desbalance de Carga – Generación.

3.4. Estudio de Transitorios Electromagnéticos

1. De las 200 energizaciones estadística realizadas del transformador 220±2x2.5%/22.9 kV de 35 MVA de la S.E. Chilca 1, la máxima corriente registrado es igual a 705,10 A (5,428 veces la corriente nominal), estimada con la curva de saturación suministrada por el fabricante.
2. Durante la energización, el transformador absorberá una potencia reactiva de 66.993 Mvar, el cual será suministrado por el sistema y las unidades de generación de la C.T. Chilca 1 y C.T. Chilca 2. El nivel de potencia reactiva no afectará la operación de las unidades de generación.
3. La energía absorbida de los descargadores de sobretensión (pararrayos), durante las maniobras del transformador, es menor al 5% de su capacidad nominal de absorción de energía.
4. La energización del transformador **sin mando sincronizado** no originará efectos negativos que afecten la operación del área de influencia. A pesar de ello, por estandarización de los interruptores de 220 kV, el Proyecto considera la instalación de relés para el mando sincronizado.

3.5. Estudio de Coordinación de Protecciones

4.1. El transformador de potencia de 220/22.9 kV estará protegido con dos relés Siemens modelo 7UT86 en las cuales se habilitarán las funciones 87T, 87N y sobrecorrientes de los dos devanados 22.9 y 220 kV.

4.2. En el neutro del devanado de 22.9 kV el transformador del BESS de la C.T. Chilca 1 dispone de una resistencia de 33.05 ohms el cual limita la corriente de tierra (3I0) a niveles de 400 A. *Para medir la señal de corriente del neutro se dispone de un transformador de corriente que se conectará a los relés Siemes 7UT86* con la cual se habilitará ló la función 51N cuya activación desconectará el transformador.

4.3. Los ajustes para implementar en los relés de sobrecorriente del transformador 35±2x2.5%/622.9 kV de 16 MVA del BESS de la C.T. Chilca 1 se muestra en la siguiente Tabla.

S.E.	Equipo	Tensión (kV)	TC (A)	TT (kV)	Relé	Función	Curva 1			Curva 2		
							I> (A)	Curva	TMS	I>> (A)	Curva	t>> (s)
BESS de la C.T. Chilca 1	**Transformador** 35 MVA 220±2x2.5%/22.9 kV DYn1	220	600/1 A	--	Siemens/ 7UT86 (PT1 y PT2)	50/51	114 A-prim (0.19 A-sec)	IEC NI	0.24	2100 A (3.50 A-sec)	TD	0.05
						50N/ 51N	30A-prim (0.05 A-sec)	IEC NI	0.26	1800A (3.00 A-sec)	TD	0.05
		22.9	750/1 A (Bushing del TR)	--	Siemens/ 7UT86 (PT1)	50/51	1056A (1.4 A-sec)	IEC NI	0.16	--	--	--
			50/1 A (TC neutro TR)	--	Siemens/ 7UT86 (PT1 y PT2)	50N/51N	25 A-prim (0.50 A-sec)	IEC NI	0.32	320 A-prim (6.4 A-sec)	TD	0.65
			1200/1 A (Llegada a la barra 22.9 kV)	--	REF620 y PT2	50/51	1056 A-prim (0.88 A-sec)	IEC NI	0.16	--	--	--
			50/1 A (Tipo toroide llegada a la barra de 22.9 kV)	--	ABB/ REF620	50N/51N	25 A-prim (0.50 A-sec)	IEC NI	0.23	300 A-prim (6.0 A-sec)	TD	0.45

4.4. Los ajustes para implementar en los relés de sobrecorriente de los alimentadores de 22.9 kV del BESS se muestran en la siguiente tabla:

S.E.	Equipo	Relé	Tensión (kV)	TT (kV)	TC (A)	Función	Curva 1			Curva 2		
							I> (A)	Curva	t I> (S)	I>>(A)	Curva	t I>> (S)
BESS C.T. Chilca 1	Alimentadores BESS	ABB/ REF620	22.9	22.9/0.11	600/1 A	50	552 A (0.14 A-sec)	IEC NI	0.14	2520 A (4.20 A-sec)	TD	0.25
					50/1 A	50N	25 A (0.50 A-sec)	IEC NI	0.16	250 A (5.00 A-sec)	TD	0.25

4.5. Los ajustes para implementar en el relé de sobrecorriente del alimentador de 22.9 kV perteneciente al transformador de SSAA del BESS de la C.T. Chilca 1 se muestra en la siguiente tabla.

S.E.	Equipo	Relé	Tensión (kV)	TT (kV)	TC (A)	Función	Curva 1			Curva 2		
							I> (A)	Curva	t I> (S)	I>>(A)	Curva	t I>> (S)
BESS C.T. Chilca 1	TR SSAA	ABB/ REF620	22.9	--	100/1 A	50	25 A (0.25 A-sec)	IEC VI	0.50	700 A (7.00 A-sec)	TD	0.05
					50/1A	50N	25 A (0.50 A-sec)	IEC NI	0.16	100 A (2.00 A-sec)	TD	0.05

4.6. Los ajustes de sobrecorriente a implementar en los transformadores de 22.9/0.66 kV de 4.2 MVA se muestran en la tabla.

S.E.	Equipo	Relé	Tensión (kV)	TT (kV)	TC (A)	Función	Curva 1			Curva 2		
							I> (A)	Curva	t I> (S)	I>>(A)	Curva	t I>> (S)
BESS C.T. Chilca 1	Celdas Ornazabal	EKOR. RPA	22.9	--	300/1 A	50	138 A (0.46 A-sec)	IEC VI	0.44	2100 A (7.00 A-sec)	TD	0.05

S.E.	Equipo	Relé	Tensión (kV)	TT (kV)	TC (A)	Función	Curva 1			Curva 2		
							I> (A)	Curva	t I> (S)	I>>(A)	Curva	t I>> (S)
						50N	18 A (0.06 A-sec)	IEC NI	0.10	210 A (0.70 A-sec)	TD	0.05

4.7. Con los ajustes recomendados en el presente estudio no será necesario modificar los ajustes del sistema de protección del área de influencia.

3.6. Estudio de Armónicos

1. Para la evaluación se dispone de mediciones de las barras de 220 kV de la S.E. Chilca 1 desde las 14:30 h del 11.11.2022 hasta las 14:25 h del 18.11.2022.
2. Los armónicos presentes en la barra de 220 kV de la S.E. Chilca 1 que presentan mayor magnitud son el 5to y 7mo cuyo promedio en la fase "R" es de 1.60% del 5to y 0.19% en el 7mo. En el caso del 5to armónico, en la fase R, solo se supera 20 muestras la tolerancia (2%) el cual representa menos del 5% del total de muestras (1009). Por lo tanto, no existe transgresión de la NTCSE.
3. Con el ingreso del Proyecto se observa que los niveles del 5to y 7mo armónico se mantienen. Por lo tanto, con el ingreso del Proyecto no implicará los niveles de armónicos que originen transgresión a la NTCSE.