CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EL ALTO 76.2 MW

ESTUDIO DE PRE-OPERATIVIDAD
VOLUMEN I

RESUMEN EJECUTIVO

Informe: CSFEA-EPO-REE-REV2

Preparado para:

EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA RIOLITA S.A.C.

Control de Versiones		
Revisión	**Detalles**	**Fecha**
0	Emisión Inicial	08/08/2025
1	Revisión 01	30/10/2025
2	Revisión 02	23/12/2025

Elaboración - Revisión - Aprobación			
Revisión	**Elaborado por:**	**Revisado por**	**Aprobado por**
0	L. Gutierrez P. Hanco	L. Gutierrez P. Hanco	R. Méndez
1	L. Gutierrez P. Hanco	L. Gutierrez P. Hanco	R. Méndez
2	L. Gutierrez P. Hanco	L. Gutierrez P. Hanco	R. Méndez

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN **7**

2 GENERALIDADES **7**

3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA **8**

3.1 RECURSO SOLAR Y DISEÑO . . . 10
3.1.1 Recurso Solar . . . 10
3.2 DISEÑO DE LA POTENCIA ESTIMADA SEGÚN TECNOLOGÍA . . . 11

4 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN **12**

5 INGENIERÍA DEL PROYECTO **13**

5.1 RESUMEN DE LA INGENIERÍA DEL PROYECTO . . . 13
5.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CENTRAL . . . 13
5.3 SUBESTACIONES . . . 14
5.3.1 Niveles de tensión . . . 14
5.3.2 Niveles de corriente de cortocircuito . . . 15
5.3.3 Subestación El Alto 138/33 kV . . . 15
5.3.3.1 Equipamiento El Alto 138/33 kV . . . 15
5.3.3.2 Conductor de barras la S.E. El Alto 138 KV . . . 16
5.3.3.3 Servicios auxiliares . . . 16
5.3.3.4 Protecciones El Alto 138/33 kV . . . 17
5.3.3.5 Sistema de control . . . 18
5.3.4 Subestación Moquegua 138 kV . . . 19
5.3.4.1 Equipamiento Moquegua 138 kV . . . 19
5.3.4.2 Conductores y barras . . . 20
5.3.4.3 Sistema de Control, Protección, Medición, Señalización y supervisión 138 KV . . . 20
5.3.5 Transformador elevador . . . 20
5.3.6 Línea de transmisión SE. El Alto – SE. Moquegua . . . 21
5.3.6.1 Nivel de tensión . . . 23
5.3.6.2 Tipo de conductor . . . 23
5.3.6.3 Cable de guarda (OPWG) . . . 23
5.3.7 Telecomunicación y control . . . 24
5.3.8 Sistemas de transferencia de datos . . . 24
5.3.9 Cumplimiento del PR-20 . . . 24

6 LISTA DE EQUIPAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS **25**

7 CONCLUSIONES **28**

7.1 ANÁLISIS DE CONTROL DE POTENCIA REACTIVA . . . 28
7.2 ANÁLISIS DE FLUJO DE POTENCIA . . . 28
7.3 VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BARRA . . . 29
7.4 ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO . . . 29
7.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD . . . 30
7.6 VERIFICACIÓN DE INERCIA . . . 30
7.7 ESTABILIDAD DE FRECUENCIA . . . 30
7.8 TIEMPO CRITICO DE DESPEJE DE FALLA . . . 30
7.9 ERAG . . . 30
7.10 ARMÓNICOS . . . 31
7.11 GENERALES . . . 31

8 DIAGRAMA UNIFILAR **32**

9 ANEXOS **33**

Anexo Nº1 - Lista de Equipamiento EPO EL ALTO **33**

FIGURAS

1 Ubicación geográfica del proyecto CSF El Alto 76.2 MW 9
2 Información del Proyecto – CSF. El Alto – Localización Proyecto 10
3 CSF El Alto – Horizonte y trayectoria solar en el sitio 10
4 CSF. El Alto – Duración del Día – Ángulo Cenital Solar 11
5 Diagrama uniflar SE El Alto 138/33 kV 19
6 Diagrama uniflar SE Moquegua 138/33 kV 21
7 Diagrama uniflar CSF El Alto 32

TABLAS

1 Coordenadas S.E. El Alto 8
2 Coordenadas de la S.E. Moquegua 8
3 Coordenadas de la CSF El Alto 9
4 Características Generales CSF. Radiante El Alto 76.2 MW 11
5 Cronograma de Implementación 12
6 Características técnicas de los paneles fotovoltaicos 13
7 Características técnicas de los inversores 13
8 Características técnicas - trasformadores BT/MT 14
9 Niveles de Tensión en el Proyecto CSF. El Alto 14
10 Niveles de Corriente Cortocircuito Proyecto CSF. EL ALTO 15
11 Características técnicas - trasformadores MT/AT 21
12 Trazado Preliminar S.E. MOQUEGUA – S.E. EL ALTO 22

ESTUDIO DE PRE-OPERATIVIDAD
RESUMEN EJECUTIVO CSF EL ALTO
76.2 MW

1. INTRODUCCIÓN

La **EMPRESA DE GENERACIÓN RIOLITA S.A.C.** ha proyectado implementar en el sur del país una Central Eléctrica fotovoltiaca el Alto de 76.2 MW (En adelante CSF El Alto), la cual tiene previsto que ingrese en operación comercial en diciembre del año 2030 y cuya conexión al SEIN será en la barra de 138 kV de la S.E. Moquegua.

Debido a que la central de generación es del tipo CGNC, por utilizar Recursos Energéticos Renovables (RER – Solar), y considerando que su punto de conexión corresponde al sistema de transmisión, afectando a otros agentes del SEIN, es necesario presentar al COES y al titular de la Subestación Moquegua el correspondiente Estudio de Pre-Operatividad, de acuerdo con los lineamientos, parámetros e indicaciones establecidos en el Procedimiento Técnico del COES N.° 20 "Ingreso, Modificación y Retiro de las Instalaciones del SEIN" (PR-20)

El presente informe contiene un resumen detallado de las características técnicas de la central eléctrica solar El Alto 76.2 MW.

De acuerdo con el PR-20, el Estudio de Pre-Operatividad debe incluir los siguientes documentos:

1. Resumen Ejecutivo del Proyecto
2. Características Técnicas de la Central
3. Ingeniería de la Transmisión
4. Estudios Eléctricos
5. Información Confidencial

El presente documento abarca lo correspondiente al numeral **Resumen Ejecutivo** del Proyecto.

2. GENERALIDADES

El proyecto central solar fotovoltaico El Alto 76.2 MW consiste en una Central de Generación Fotovoltaica con una potencia nominal de 76.2 MWac, con fecha prevista de inicio de operaciones en diciembre del 2030.

El Proyecto para la conexión de la Central Solar Fotovoltaica El Alto incluye la implementación de una (01) subestación de potencia en 138 kV y la adición de una nueva celda de línea en 138 kV en la S.E. Moquegua en 138 kV, ubicada a una distancia de 15.1 km. Esto permitirá el acceso y llegada de la nueva línea de transmisión en 138 kV proveniente del proyecto.

La nueva subestación se denominará S.E. El Alto, la cual estará ubicada al interior de la central solar fotovoltaica El Alto, elevando el nivel de tensión de generación de 33 kV a 138 kV para transmitir la potencia generada e inyectarla al SEIN.

El cumplimiento del requerimiento de Regulación Primaria de Frecuencia (RPF), establecido en la normativa vigente para centrales de generación mayores a 10 MW, será atendido considerando los mecanismos permitidos por el marco regulatorio aplicable. Asimismo, la central solar fotovoltaica El Alto contará con sistemas de control que le permitan prestar de manera efectiva el servicio de Regulación Primaria de Frecuencia (RPF), conforme a los procedimientos técnicos del COES y la normativa vigente. En ese sentido, se evaluará la incorporación de los equipamientos, sistemas de control y/o mecanismos permitidos por el marco regulatorio aplicable, tales como la implementación de un sistema de almacenamiento de energía (BESS) o formar parte de un mercado de SSC. La definición del mecanismo a implementar será determinada en el Estudio de Operatividad (EO), en concordancia con los procedimientos técnicos del COES y la normativa vigente del MINEM.

3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto Central Solar Fotovoltaica El Alto está ubicado en el Departamento de Moquegua, en el extremo sur de Perú, a 1322 km al sur de la Ciudad de Lima, lindando con los departamentos de Tacna, Puno y Arequipa.

Detalles de ubicación:

- **Departamento:** Moquegua.
- **Provincia:** Mariscal Nieto.
- **Distrito:** Moquegua.

El parque de generación El Alto se ubicará en el distrito de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto. La línea de transmisión de 138 kV iniciará su recorrido dentro del área proyectada de dicho parque de generación y se conectará a la S.E. Moquegua.

Las coordenadas aproximadas para la ubicación de la S.E. El Alto son las siguientes:

A continuación, se presentan las coordenadas aproximadas para la ubicación de la S.E. El Alto, que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Coordenadas S.E. El Alto

Vértices	Zona	Este	Norte
SE. EL ALTO	19K	303641	8091051

A continuación, se presentan las coordenadas aproximadas para la ubicación de la S.E. Moquegua, que se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2: Coordenadas de la S.E. Moquegua

Vértices	Zona	Este	Norte
SE. MOQUEGUA	19K	290976	8095582

Las coordenadas aproximadas de la Central Solar El Alto se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3: Coordenadas de la CSF El Alto

Vértices	Este	Norte
1	303659	8091104
2	302815	8090901
3	302966	8090829
4	302532	8090659
5	302446	8090732
6	302359	8090691
7	302419	8090575
8	302237	8090458
9	302297	8090345
10	302036	8090194
11	302112	8090107
12	302269	8090192
13	302303	8090115
14	302545	8090207
15	302570	8090129
16	302319	8089934
17	302369	8089814
18	302723	8089902

Vértices	Este	Norte
19	302783	8089923
20	301224	8089113
21	301356	8089001
22	301024	8088954
23	300634	8088774
24	300522	8088648
25	300876	8088584
26	301898	8088972
27	302312	8089312
28	302407	8089190
29	302284	8089110
30	302097	8088784
31	302236	8088746
32	302553	8088963
33	302761	8089050
34	302841	8089387
35	303475	8090207
36	303580	8090752

El área destinada para la instalación de los paneles solares tiene una extensión aproximada de 240 hectáreas y se ubica en la provincia de Mariscal Nieto, en el departamento de Moquegua.

En esta misma zona se encuentra la subestación Moquegua, una infraestructura clave para acompañar el crecimiento de proyectos, especialmente solares.

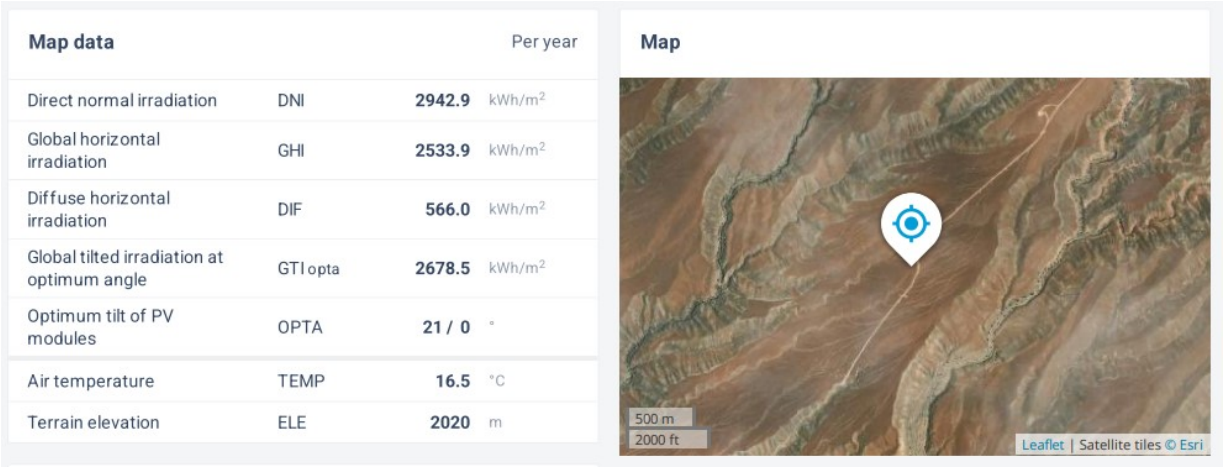
Desde la centtral solar fotovolataica El Alto se ha previsto el tendido de una línea de transmisión de 138 kV, la cual recorrerá el área del proyecto y se conectará con la subestación Moquegua. La ubicación del proyecto y el recorrido de la linea de transmisión se muestran en la Figura 1.

Figura 1: Ubicación geográfica del proyecto CSF El Alto 76.2 MW

3.1. RECURSO SOLAR Y DISEÑO

3.1.1. Recurso Solar

Para la estimación de energía producible por el proyecto Fotovoltaico El Alto se ha hecho uso del software SOLARGIS, el mismo que permite una estimación del potencial de la energía solar.



Map data — Per year

Direct normal irradiation	DNI	2942.9	kWh/m²
Global horizontal irradiation	GHI	2533.9	kWh/m²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	566.0	kWh/m²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	2678.5	kWh/m²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	21 / 0	°
Air temperature	TEMP	16.5	°C
Terrain elevation	ELE	2020	m

Figura 2: Información del Proyecto – CSF. El Alto – Localización Proyecto

Proyección de la generación de energía en la central fotovoltaica, de manera mensual y horaria.

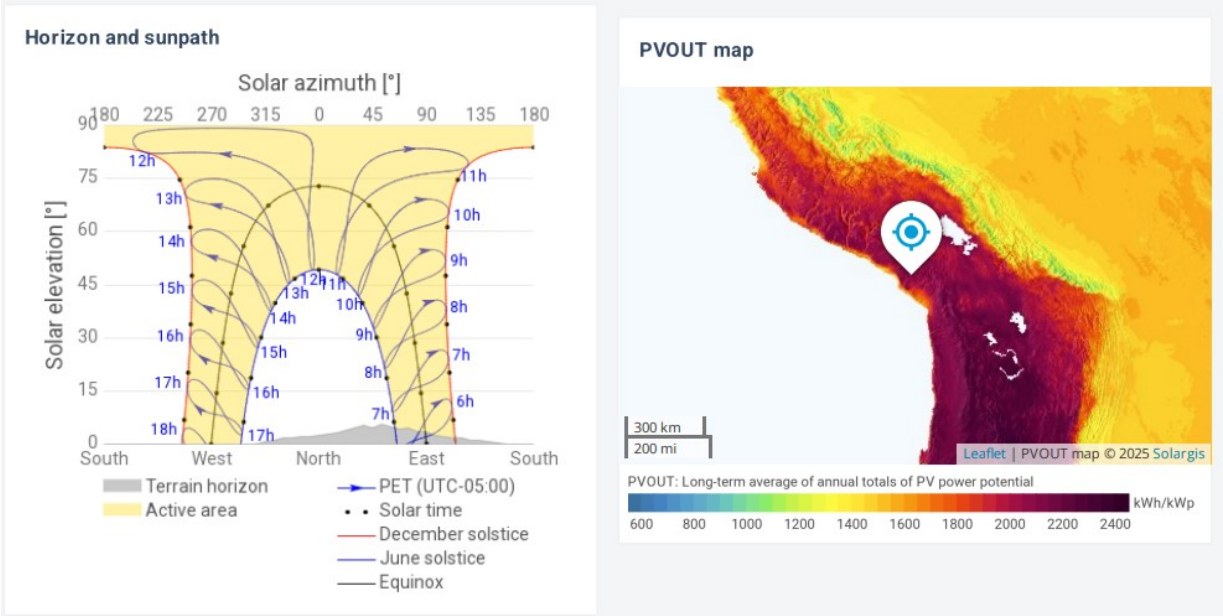


Figura 3: CSF El Alto – Horizonte y trayectoria solar en el sitio

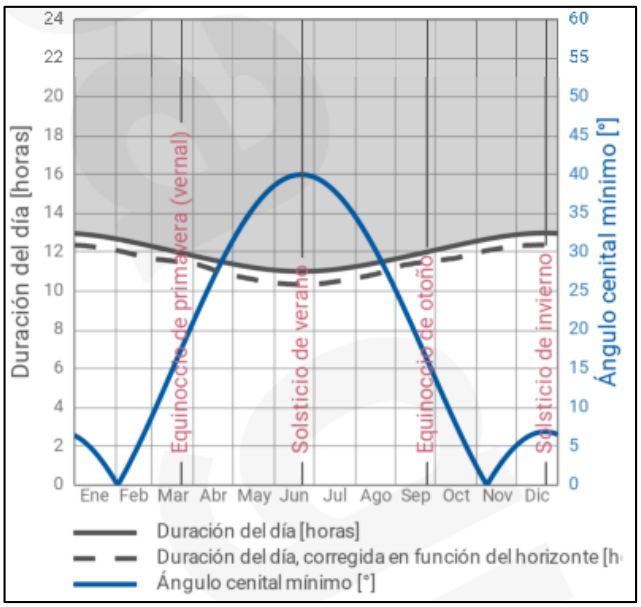


Figura 4: CSF. El Alto – Duración del Día – Ángulo Cenital Solar

La instalación fotovoltaica será de gran escala y se ubicará en un terreno nivelado. Los módulos fotovoltaicos estarán montados en seguidores con un eje horizontal alineado en dirección Norte-Sur, permitiendo un rango de rotación de -60 grados Este a 60 grados Oeste. Para minimizar las pérdidas por sombras entre filas en momentos de bajo ángulo solar, se empleará el algoritmo de *backtracking*. Además, los módulos estarán bien ventilados.

Este tipo de instalación fotovoltaica estará conectada a una red de media tensión a través de un inversor y un transformador de distribución. En caso de ser necesario, podría incluirse un transformador adicional. No se contempla el almacenamiento de energía.

Como referencia, se muestran las proyecciones gráficas de la generación energética y las condiciones solares del proyecto en Figura 2, Figura 3 y Figura 4.

3.2. DISEÑO DE LA POTENCIA ESTIMADA SEGÚN TECNOLOGÍA

El número de módulos fotovoltaicos instalable en el área identificada es igual a 130 761 para una potencia de 76.2 MW. Cada módulo dispone de una potencia en condiciones estándar de 635 Wp, en la siguiente se muestra las características generales de la central fotovoltaica:

Tabla 4: Características Generales CSF. Radiante El Alto 76.2 MW

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Potencia Total (AC)	MW	76,2
Área de Terreno	Ha	240
Módulo Fotovoltaico	Wp	635
Cantidad Tracker	unid.	2043
Cantidad de Módulos Fotovoltaicos por Tracker	unid.	64
Cantidad de Módulos Fotovoltaicos	unid.	130761
Potencia de cada Inversor	kVA	350
Cantidad de Inversores	unid.	221
Cantidad de Centros de Transformación	unid.	15

4. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

La construcción de la central solar y de la interconexión al SEIN se estima demandará 16 meses. En el cronograma no está incluido los tiempos para la gestión de permisos ambientales (DIA, CIRA, etc.) ni gestión de servidumbres. En la siguiente figura se muestra un detalle del cronograma estimado de obra:

Tabla 5: Cronograma de Implementación

Cronograma de Ejecución del Proyecto Solar El Alto	MESES															
	Set-29	Oct-29	Nov-29	Dic-29	Ene-30	Feb-30	Mar-30	Abr-30	May-30	Jun-30	Jul-30	Ago-30	Set-30	Oct-30	Nov-30	Dic-30
Central Solar Fotovoltaica																
Movilización de, instalaciones, temporales, actividades preliminares, acceso																
Movimiento de Tierras (Excavaciones / Rellenos)																
Caminos internos																
Cimentaciones (centros de transformación, cunetas, plataformas, etc)																
Obras Eléctricas (Canalizaciones, Media Tensión, BoS)																
Montajes de Componentes de la Central (hincas, trackers, inversores, paneles, etc)																
Pruebas y puesta en servicio																
Subestación El Alto																
Movilización de, instalaciones, temporales, actividades preliminares, acceso																
Obras civiles																
Obras electromecánicas																
Pruebas y puesta en servicio																
Conexión Subestación Moquegua 138 kV																
Movilización de, instalaciones, temporales, actividades preliminares, acceso																
Obras civiles																
Obras electromecánicas																
Pruebas y puesta en servicio																
Línea de Transmisión																
Movilización de, instalaciones, temporales, actividades preliminares, acceso																
Obras civiles																
Obras electromecánicas																
Pruebas y puesta en servicio																

5. INGENIERÍA DEL PROYECTO

5.1. RESUMEN DE LA INGENIERÍA DEL PROYECTO

El equipamiento eléctrico para el presente proyecto en estudio abarca lo siguiente:

- **C.S.F. El Alto:** formado por 635 módulos conversores de 0.350 MVA cada uno, interconectados mediante una red de 33 kV, totalizando al final 06 circuitos en 33 kV que llegan a la subestación El Alto.
- **Subestación El Alto:** con celdas 138 kV independientes para línea y transformador con equipos convencionales al exterior; transformador de potencia de 138±10x1 %/33 kV, YNd5, 90 MVA, ONAN y celdas en 33 kV para uso interior.
- **Línea de Transmisión 138 kV:** en simple terna, un conductor por fase, con una longitud aproximada de 15.1 km.
- **Conexión a la S.E. Moquegua 138 kV:** conformada por equipos de patio convencionales de características similares a los ya instalados.

5.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CENTRAL

La producción de energía de los paneles solares se realizará a 0.8 kV, y será convertida a corriente alterna mediante los inversores. Posteriormente, la energía será transformada a un nivel de 33 kV, para su distribución a las barras principales a través de cables subterráneos. Las características técnicas de los paneles solares y los inversores se muestran en la Tabla 6 y la Tabla 7, respectivamente.

Tabla 6: Características técnicas de los paneles fotovoltaicos

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Fabricante	-	Trina Solar
Cantidad	-	130761
Modelo	-	TSM-635DEG21C.20
Tensión de circuito abierto	Voc/V	44,9
Corriente de cortocircuito	Isc/A	18,21
Tensión a potencia máxima	Vmp/V	36,9
Corriente a potencia máxima	Imp/A	17,29

Tabla 7: Características técnicas de los inversores

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Fabricante	-	Sungrow
Cantidad	-	221
Modelo	-	SG350HX
Estrategia de control	-	Maximum power point tracking (MPPT)
Tensión DC (min MPP)	V	500/550
Max. DC short-circuit current perMPPT	A	60
Potencia aparente AC	kVA	350
Frecuencia nominal	Hz	60
Corriente AC (máx.)	A	254
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	-	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Distorsión armónica	%	<3

Los transformadores conectados a los inversores en 0.8/33 kV con una capacidad de 6 MVA. Las características técnicas de los trasformadores elevadores BT/MT se muestra en la Tabla 8

Tabla 8: Características técnicas - trasformadores BT/MT

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Refrigeración	-	ONAN
Potencia nominal	MVA	6
Cantidad	-	15
Frecuencia	Hz	60
Relación de Transformación	kV	33/0.8
Grupo de conexión	-	Dyn11
Tensión de cortocircuito	%	7
Cambiador de tomas		±2x 2.5 %,

5.3. SUBESTACIONES

La Subestación de la Central Solar Fotovoltaica El Alto ha sido proyectada al exterior en 138 kV y al interior en 33 kV. Tendrá una configuración de simple barra en ambos niveles de tensión.

5.3.1. Niveles de tensión

El nivel de tensión lo determina el nivel de tensión del punto de conexión con el SEIN, 138 kV y la tensión de salida de las máquinas instaladas 33 kV.

Tabla 9: Niveles de Tensión en el Proyecto CSF. El Alto

Descripción	Unidad	S.E El Alto		S.E Moquegua
		138 kV	33 kV	138kV
Tensión nominal del sistema	kV	138	33	138
Tensión máxima del sistema	kV	145	36	145
Tensión asignada soportada a la frecuencia industrial	kV	325	70	325
Corriente de cortocircuito	kA	31,5	25	31,5
Tensión asignada al impulso tipo rayo	kV	750	170	750
Frecuencia asignada	Hz	60	60	60
Puesta a Tierra	-	Neutro sólidamente aterrizado	Delta	Neutro sólidamente aterrizado

5.3.2. Niveles de corriente de cortocircuito

Los niveles de intensidad de cortocircuito de diseño de las instalaciones se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 10: Niveles de Corriente Cortocircuito Proyecto CSF. EL ALTO

Subestación/Barra	33 kV	138 kV
S.E. Moquegua	-	31,5
S.E. El Alto	25	31,5

5.3.3. Subestación El Alto 138/33 kV

El equipamiento eléctrico para la S.E. El Alto está conforme a las características propias de la instalación, para la correcta operación tanto en condiciones normales como en situaciones de funcionamiento anormal.

La disposición espacial de los equipos se realiza de acuerdo con la reglamentación vigente y a otras consideraciones prácticas con objeto de facilitar las operaciones requeridas durante el montaje y mantenimiento.

La Subestación El Alto ha sido proyectada al exterior en 138 kV y al interior en 33 kV, tendrá una configuración simple barra en ambos niveles de tensión.

5.3.3.1. Equipamiento El Alto 138/33 kV

Se contará con las siguientes celdas en 138 kV:

a) **Una (01) celda de línea en 138 kV hacia la futura S.E. Moquegua**, cada una equipada con:

- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc con contador de descargas.
- Tres (03) transformadores de tensión capacitivos.
- Un (01) seccionador tripolar de línea con cuchilla de puesta a tierra.
- Tres (03) transformadores de corriente de 4 núcleos.
- Un (01) seccionador tripolar de barras.
- Dos (02) aisladores de soporte de 138 kV.

b) **Una celda (01) celda de transformador en 138 kV**, cada una equipada con:

- Un (01) transformador trifásico de 02 devanados en 138± 10x1 %/33 kV. YNd5, 90 MVA (ONAN)) con regulación bajo carga.
- Tres (01) seccionador tripolar de barras.
- Tres (03) Transformadores de corriente de 4 núcleos.
- Un (01) interruptor de accionamiento uni-tripolar con dispositivo de mando sincronizado.
- Tres (03) transformadores de tensión capacitivo.
- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc.

c) **Tres (03) transformadores de tensión capacitivos de 2 devanados (en barra).**

Se contará con las siguientes celdas de media tensión en 33 kV:

a) **Una (01) celda de media tensión de transformador en 33 kV**, equipadas con:

- Un (01) seccionador con cuchilla de puesta a tierra.
  (01) interruptor extraíble de accionamiento tripolar.
- Tres (03) transformadores de corriente de 4 núcleos.
- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc.

b) **Seis (06) circuitos en 33 kV**, cada uno compuesto por:

- Un (01) seccionador tripolar de barra con cuchilla de puesta a tierra.
- Un (01) interruptor extraíble de accionamiento tripolar.
- Tres (03) transformadores de corriente de 2 núcleos secundarios.
- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc.

c) **Una (01) celda de servicios auxiliares**, cada una compuesta por:

- Un (01) transformador Zigzag en 33 kV.
- Un (01) seccionador con cuchilla de puesta a tierra.
- Un (01) interruptor extraíble de accionamiento tripolar.
- Tres (03) transformadores de corriente de 2 núcleos.
- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc.

d) **Una (01) celda de transformador Zig Zag**, cada una compuesta por:

- Un (01) transformador Zigzag en 33 kV.
- Un (01) seccionador con cuchilla de puesta a tierra.
- Un (01) interruptor extraíble de accionamiento tripolar.
- Tres (03) transformadores de corriente de 01 núcleo.
- Tres (03) descargadores de sobretensión de óxido de zinc.

e) **Tres (03) transformadores de tensión inductivos**, de 3 devanados (en barra).

5.3.3.2. Conductor de barras la S.E. El Alto 138 KV

Se empleará un (01) conductor flexible por fase del tipo AAC 954 MCM en las conexiones de equipos, barras y templas superiores. Ver cálculo en documento CSFEA-SUB-MC-005 “Conductores y Barras”.

5.3.3.3. Servicios auxiliares

Para alimentar los sistemas de protección, control y mando de los equipos de la subestación, se deberá implementar en el edificio de control un gabinete de servicios auxiliares en 380/220 Vca, y un gabinete en 110 Vdc.

Se implementará dos (02) bancos de baterías de igual capacidad (200 A.h) que trabajen uno como respaldo del otro, mejorando la confiabilidad del sistema. Se implementará dos (02) tableros cargadores-rectificadores independientes y redundantes gestionables de manera remota.

Los servicios auxiliares serán alimentados de la barra de 33 kV de la subestación, por medio de un transformador de servicios auxiliares de 150 kVA, 33/0,38-0,22 kV. El transformador de servicios auxiliares, será de montaje al exterior, trifásico, del tipo de inmersión en aceite y refrigeración natural de aire, además deberá estar provisto de tomas de regulación en vacío en el lado de alta tensión.

Como respaldo, se implementará un grupo electrógeno cuya potencia será definida en la ingeniería de detalle en función a las cargas esenciales AC.

5.3.3.4. Protecciones El Alto 138/33 kV

Para el presente proyecto se implementará el siguiente sistema de control:

a) **La protección propia del transformador de Potencia estará compuesta por:**

- Relé Buchholz: alarma y desenganche (63).
- Relé de imagen térmica (49).
- Relé de nivel de aceite (71).
- Termómetros indicadores, con contactos de alarma y disparo (23) (26).
- Sensores y monitores para detectar presencia de humedad, gases.

b) **La protección externa del transformador de Potencia**

De acuerdo al PR-20, los requisitos mínimos de protección de transformadores grandes son los que se muestran en su plano RP-SE-03. Según esto, se ha previsto la instalación de dos relés digitales redundantes con función principal basada en protección diferencial (87T), con funciones de sobrecorriente de respaldo para cada devanado. Las funciones de protección para cada relé redundante son las siguientes:

- Protección diferencial del transformador (87T).
- Protección de Sobrecorriente Instantánea (50).
- Protección de Sobrecorriente temporizada (51).
- Protección de Sobrecorriente a tierra Instantánea (50N).
- Protección de Sobrecorriente a tierra temporizada (51N).
- Protección de Sobretensión (59).
- Protección de subtensión (27).
- Protección térmica (49).
- Protección de corriente de secuencia negativa (46).

c) **Para la protección de la línea (hacia S.E. Moquegua 138 kV)**

De acuerdo al PR-20, los requisitos mínimos de protección de líneas de transmisión consideradas cortas con tensión de 138 kV, son los que se muestran en su plano RP-LT-02. Según esto, se ha previsto la instalación de dos relés digitales redundantes con funciones principales basadas en protección diferencial (87L) y protección distancia (21/21N) y con funciones de sobrecorriente de respaldo. Las funciones de protección para cada relé redundante son las siguientes:

- Protección diferencial de línea (87L).
- Protección distancia falla entre fases (21).
- Protección distancia falla entre fases a tierra (21N).
- Protección direccional de sobrecorriente de tierra (67N).
- Dispositivo de verificación de sincronismo (25).

- Bloqueo contra la oscilación de potencia (68).
- Protección por fallas del interruptor (50BF).
- Función de recierre (79).
- Esquema de teleprotección POTT.
- Esquema de teleprotección 67NCD.
- Esquema de teleprotección DDT.

d) **Para la protección de barras**

Se deberá suministrar protección diferencial de barras centralizada 138 kV, con la capacidad de integrar las celdas del proyecto, el cual deberá incluir la protección de falla de interruptor (50BF).

5.3.3.5. Sistema de control

El criterio para el diseño del Sistema de Control de Subestaciones, considerando que será una subestación automatizada basada en la norma IEC 61850, teniendo un control local y uno remoto es el de un sistema de control con topología en anillo, unida mediante una red LAN y/o red de campo con protocolo abierto.

- El nivel 0 lo conforman los equipos convencionales del patio de llaves.
- El nivel 1 lo conforman los dispositivos electrónicos controladores inteligentes (IEDs) distribuidos según su función para las celdas de 138 kV y 33 kV ubicados en los gabinetes de control correspondientes instalados en el edificio de control.
- El nivel 2 lo conforma un gabinete de control SAS el cual tendrá un sistema central de supervisión general de la subestación desde el edificio de control de la subestación. Estará conformado por dos (2) unidades centrales controladoras de subestación y dos (2) computadores de interfaz de usuario (IHM), que constituyen el sistema de supervisión y control remoto en tiempo real de la subestación.
- El nivel 3 está constituido por la comunicación entre el centro de control empresarial de la Empresa de Generación Eléctrica Riolita y el centro del COES.

Para el intercambio de información con el centro del control del COES se contratará el servicio de un proveedor de comunicaciones vía satélite para la comunicación desde el centro de control empresarial de la Empresa de Generación Eléctrica Riolita en la S.E. El Alto y el centro de control del COES mediante dos vías diferentes (principal y de respaldo).

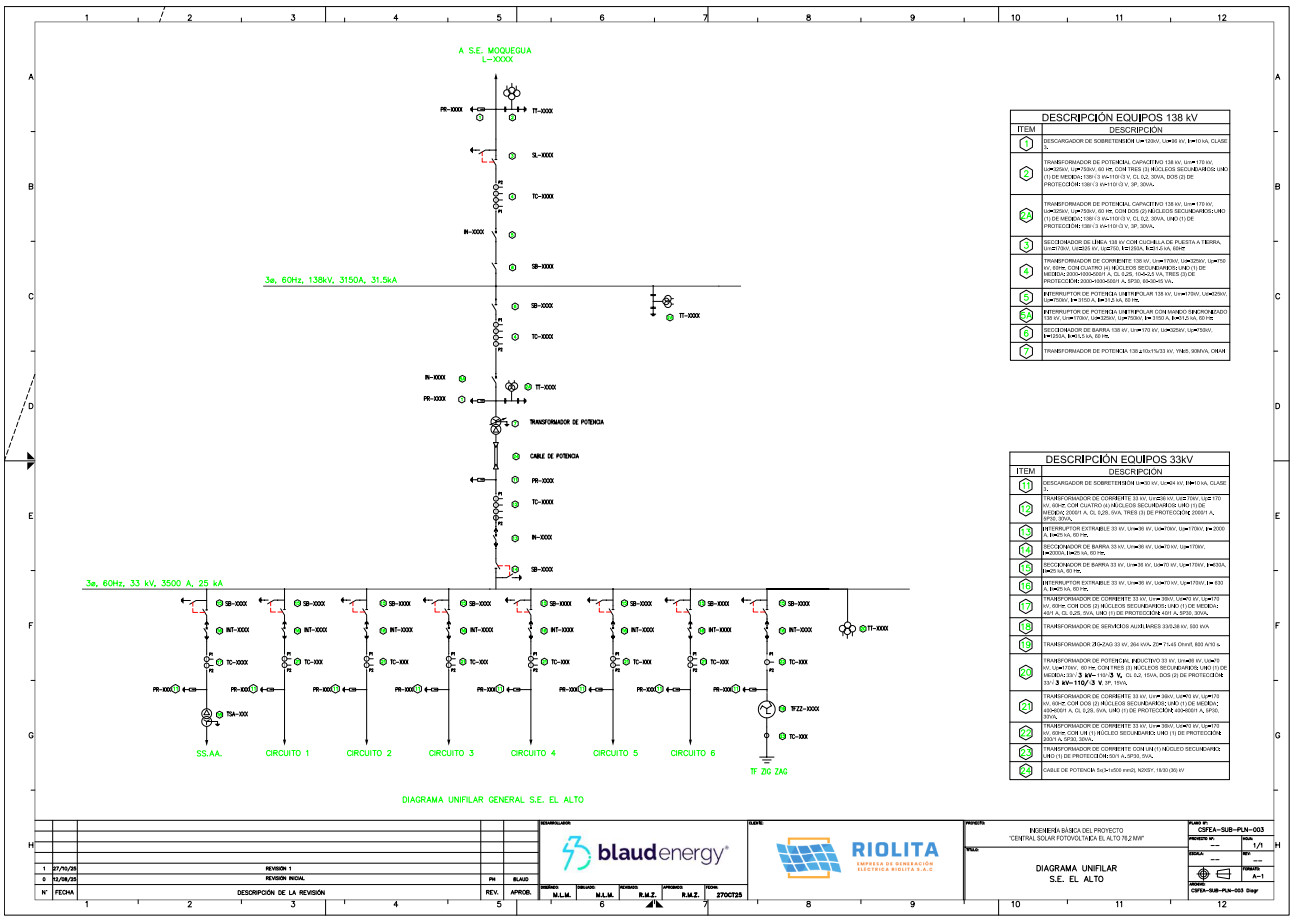


Figura 5: Diagrama uniflar SE El Alto 138/33 kV

5.3.4. Subestación Moquegua 138 kV

Comprenderá la instalación de una celda de línea en 138 kV, la cual se ubicará entre la futura celda de línea del proyecto CC. HH Moquegua 1 y 3 y la futura celda de línea del proyecto L.T. 138 kV Moquegua – Alto Zapata. El sistema existente en 138 kV cuenta con una configuración de barra doble.

El pórtico y barras en la ampliación de la S.E. Moquegua 138 kV serán implementados por el proyecto CC.HH. Moquegua 1 y 3. En caso el proyecto CC. HH Moquegua 1 y 3 no entre en operación en la fecha esperada, el Proyecto C.S.F. El Alto asumirá la construcción de pórticos y ampliación de barras.

5.3.4.1. Equipamiento Moquegua 138 kV

a) **La celda de línea 138 kV a SE Moquegua comprenderán el siguiente equipamiento:**

- Tres (03) pararrayos de óxido de zinc con contadores de descarga.
- Tres (03) transformadores de tensión capacitivos.
- Un (01) seccionador tripolar de línea, tipo apertura central, con cuchilla de puesta a tierra.
- Tres (03) transformadores de corriente de 4 núcleos.
- Un (01) interruptor de potencia uni-tripolar.
- Dos (02) seccionador tripolar de barra.

b) **La subestación contará además con las siguientes celdas en 138 kV:**

- Una (01) celda de línea futura en 138 kV del proyecto CC.HH. Moquegua 1 y 3.

- Una (01) celda de línea futura en 138 kV del proyecto L.T. 138 kV Moquegua – Alto Zapata.
- Una (01) celda de línea en 138 kV (L-1382) hacia S.E Botiflaca 2 (E1).
- Una (01) celda de transformación en 138 kV/220 kV/10 kV hacia MT2 (E2).
- Una (01) celda de línea en 138 kV (L-1381) hacia S.E Botiflaca 1 (E3).
- Una (01) celda de transformación en 138 kV/10kV hacia ET1(E4).
- Una (01) celda de acoplamiento de barras en 138 kV (E5).
- Una (01) celda de línea en 138 kV (L-1384) hacia S.E. Intipampa (E6)
  (01) celda de transformación en 138 kV/220 kV/10 kV hacia MT1 (E7).
- Una (01) celda de línea futura en 138 kV (L-1025) de REP S.E. Toquepala (E8).
- Una (01) celda de línea en 138 kV (L-1383) hacia S.E. Ilo 1 (E9).

5.3.4.2. Conductores y barras

Se empleará un conductor flexible por fase del tipo MAGNOLIA AAC 954 MCM, que será empleado en las conexiones entre equipos y templas de la celda de línea a la SE. Moquegua 138 kV. Ver cálculo en documento CSFEA-SUB-MC-006 “Memoria de selección de conductores y barras SE. Moquegua 138 kV”.

Cabe indicar, en el desarrollo del estudio de Operatividad y/o Ingeniería de detalle se realizará la verificación del correcto funcionamiento de la protección diferencial de barras, como resultado de las conclusiones de los estudios y en caso COES solicite el cambio de la protección de barras existente, el proyecto Central Solar Fotovoltaica El Alto se compromete a cambiar el relé diferencial de barras de la S.E. Moquegua y realizar las adecuaciones necesarias con los involucrados de la misma.

Las características técnicas de los equipos se pueden observar en el Anexo N° 01: Diagrama Unifilar Proyecto – S.E. Radiante El Alto y Anexo N° 02: Diagrama Unifilar Proyecto – S.E. Moquegua.

5.3.4.3. Sistema de Control, Protección, Medición, Señalización y supervisión 138 KV

La Empresa de Generación Eléctrica Riolita, implementará una caseta de campo, la cual albergará a los equipos de los sistemas de protección, control y mando de la celda de línea.

Los relés de protección a emplearse serán del tipo digital, multifunción.

Además, en la S.E. Moquegua se habilitará la función PMU en los relés de protección de la línea. Se propone la comunicación de los respectivos relés al PDC actual de la subestación Moquegua, teniendo en cuenta que los datos, esquemas y consideraciones presentadas en dichos documentos son solo referenciales y podrán ser modificados durante la etapa de ingeniería de detalle.

5.3.5. Transformador elevador

Los transformadores serán trifásicos de dos devanados, para servicio exterior, inmersos en aceite, con cambiador de Taps bajo carga en el lado primario, dispondrán de un colector de aceite, el mismo que será canalizado hacia un foso debajo del transformador de potencia. La capacidad del foso será el equivalente al volumen de aceite del transformador y siguiendo las recomendaciones del estándar IEC 61936-1 y IEEE Std 980- 1994 (R2001).

La Sección 6 muestra las características técnicas de los transformadores de potencia.

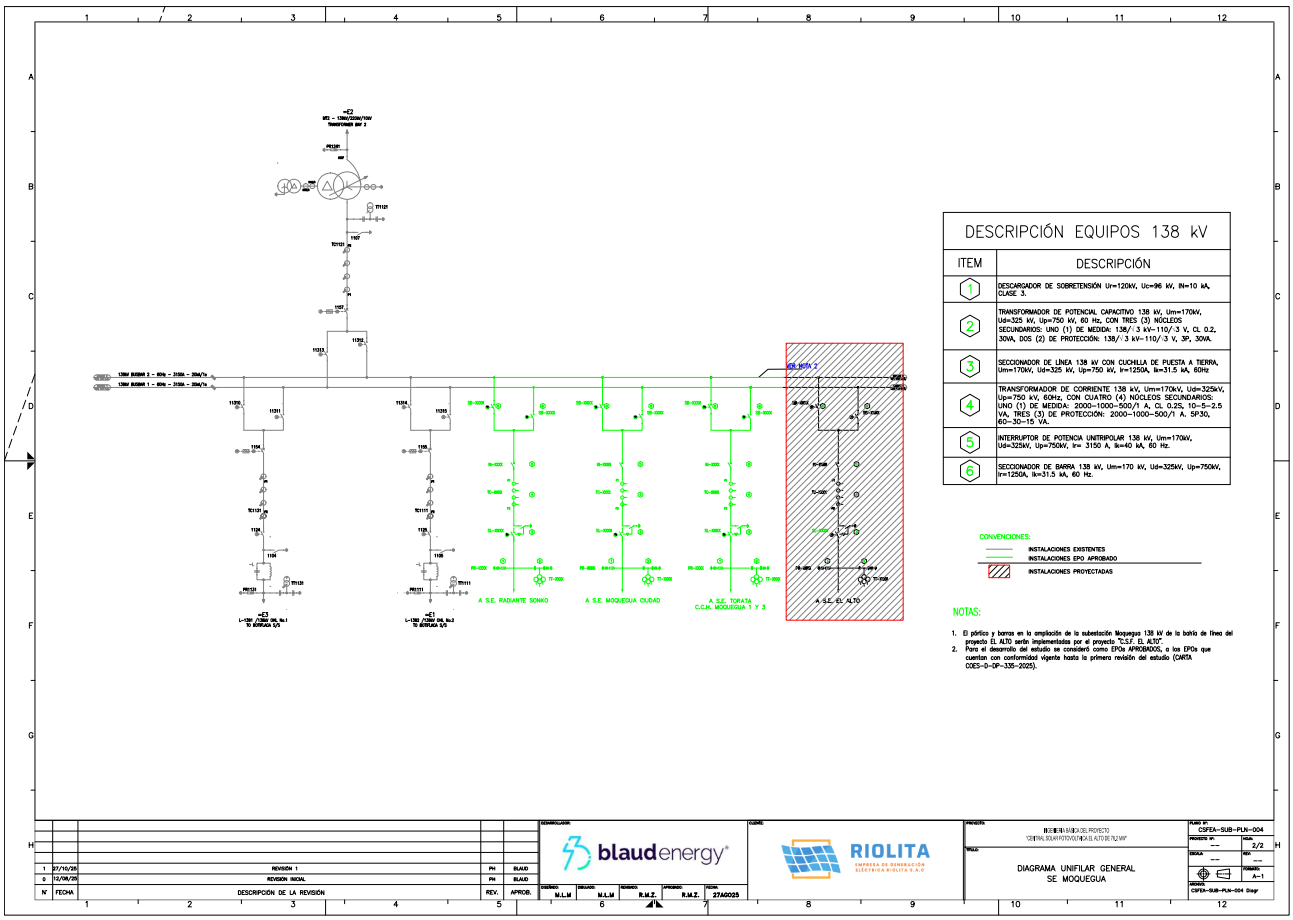


Figura 6: Diagrama uniflar SE Moquegua 138/33 kV

Tabla 11: Características técnicas - trasformadores MT/AT

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Tipo de unidad	--	Trifásico
Instalación	--	Exterior
Cantidad	Unid.	1
Numero de devanados	--	2
Refrigeración	--	ONAN
Potencia Nominal	MVA	90
Tensión Nominal (HV/MV)	kV	138/33
Regulación lado AT	--	±10x1%
N° de tomas	--	21
Clase de aislamiento	--	Aceite mineral
Grupo de Conexión	--	YNd5
Tipo de Regulación de Tensión	--	Bajo carga
Tipo de conexión de neutro	--	Sólido a Tierra
Impedancia de cortocircuito AT-MT (ONAF)	%	12,5

5.3.6. Línea de transmisión SE. El Alto – SE. Moquegua

El trazado de la línea de transmisión (S.E. El Alto – S.E. Moquegua) está conformado por 24 vértices necesarios para orientar el trazado de la ruta hacia el punto de conexión con el SEIN (S.E. Moquegua 138 kV).

El trazado de la línea se inicia frente a la subestación Moquegua 138 kV, ubicada en la provincia de Mariscal Nieto, departamento Moquegua. Este punto de inicio vendría a ser el Pórtico vértice SE. El Alto.

A partir del Pórtico SE. El Alto, el eje de la línea recorre un tramo de 15.1 km hasta llegar al Pórtico SE. Moquegua 138 kV, el cual se ubica frente a la nueva subestación denominada S.E. El Alto 138/33 kV, próximo al pórtico previsto para su ingreso.

Coordenadas de los vértices del trazado preliminar de la línea de transmisión: Los vértices de la línea del Proyecto C.S.F. El Alto, se presenta en la siguiente tabla en coordenadas UTM WGS-84 huso 19K.

Tabla 12: Trazado Preliminar S.E. MOQUEGUA – S.E. EL ALTO

Ítem	Descripción	Este (m)	Sur (m)
1	PÓRTICO SE. MOQUEGUA 138 kV	290976	8095582
2	V-1	291066	8095532
3	V-2	291139	8095621
4	V-3	291311	8095613
5	V-4	291316	8095521
6	V-5	291228	8095340
7	V-6	291199	8095260
8	V-7	291162	8095234
9	V-8	291150	8095184
10	V-9	291373	8094891
11	V-10	291650	8094763
12	V-11	291871	8094787
13	V-12	292077	8094489
14	V-13	292522	8093442
15	V-14	293799	8093265
16	V-15	294649	8093263
17	V-16	295479	8092928
18	V-17	296138	8092524
19	V-18	296654	8092481
20	V-19	297819	8092437
21	V-20	298781	8092088
22	V-21	299958	8091488
23	V-22	300389	8091788
24	V-23	303254	8091483
25	V-24	303695	8091095
26	PÓRTICO SE. EL ALTO 138 kV	303641	8091051

5.3.6.1. Nivel de tensión

El nivel de tensión del punto de conexión con el SEIN, que es 138 kV.

Características de la LT SE. EL ALTO – SE. MOQUEGUA

Las características de la línea de transmisión son las siguientes:

• **Tensión**	:	138 kV
• **Potencia de Diseño:**	:	100 MVA por terna
• **Número de ternas**	:	1
• **Disposición conductores**	:	Triangular
• **Frecuencia**	:	60 Hz.
• **Longitud promedio**	:	15.1 km
• **Conductor Activo**	:	AAAC 559.5 MCM
• **Estructuras**	:	Torres Autosoportadas
• **Material**	:	Metálicas, Acero Galvanizado
• **Configuración de la estructura**	:	Pino
• **Cable de guarda**	:	OPGW – 158.96 mm^2, 36 fibras
• **Aisladores**	:	Porcelanato tipo Standar
• **Cable de guarda**	:	120 kN (Suspensión)

5.3.6.2. Tipo de conductor

El conductor para utilizar para la conexión entre la Nueva S.E EL ALTO 138/33 kV y la SE MOQUEGUA 138 kV tiene las siguientes características:

• **Sección Total**	:	559.5 MCM
• **Tipo de conductor**	:	AAAC
• **Diámetro exterior**	:	21.79 mm
• **Peso Unitario del conductor**	:	0,777 kg/m
• **UTS**	:	8 523 kg
• **Módulo de elasticidad final**	:	5891.51 kg/mm^2
• **Coeficiente de dilatación térmica**	:	23×10^{-6} 1/°C
• **Resistencia en DC, a 20°C**	:	0,118 Ohm/km

5.3.6.3. Cable de guarda (OPWG)

Cable de fibra óptica de 36 fibras de 17.5 mm de diámetro que cumple con la capacidad mecánica necesaria y la estabilidad térmica al corto circuito. Las características principales son:

• **Número de fibras**	:	36
• **Sección Total**	:	158.96 mm^2
• **Diámetro exterior**	:	17,5 mm
• **Peso Unitario del conductor**	:	0,692 kg/m
• **Módulo de elasticidad final**	:	9 421 kg/mm^2
• **Coeficiente de dilatación térmica**	:	17×10^{-6} 1/°C
• **Corriente de cortocircuito**	:	212 kA^2 seg
• **Resistencia en DC, a 20°C**		0.262 ohm/km

5.3.7. Telecomunicación y control

El proyecto contará con un centro de control centralizado (CC-CGNC) que cumpla con la Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados (NT-COTR). El centro de control de las instalaciones del proyecto (subestación Moquegua, subestación El Alto y de generación solar de la Central Solar El Alto) se realizará el control desde El Centro de Control empresarial de la EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA RIOLITA (CC-CGNC). Este centro se encontrará dentro de un edificio ubicado dentro de la subestación El Alto, independientemente de la sala de control de la S.E. El Alto.

Se contratarán los servicios de un proveedor de comunicaciones vía satélite para la comunicación desde el centro de control empresarial de la EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA RIOLITA (CC-CGNC) en la S.E. EL ALTO hasta el centro de control del COES, mediante dos vías diferentes. El protocolo de transmisión de datos entre el Centro de Control de la empresa integrante de la RIS y los Centros de Control del COES deberá cumplir con lo especificado en la NTIITR. Asimismo, se considerará el envío de señales de estado de los equipos de patio y mediciones (MW, Mvar, A, kV, etc.) en 138 kV, mediciones de radiación solar y temperatura de las células.

5.3.8. Sistemas de transferencia de datos

El sistema de control de la Central Solar cumplirá con lo señalado en la Norma de Intercambio de Información en Tiempo Real para la operación del SEIN (NTIITR) a fin de contar con un sistema de comunicación que permita enviar en tiempo real al COES la información que señala la NTCOTR. Adicionalmente, se enviará la siguiente información:

- Radiación solar
- Temperatura de las células

5.3.9. Cumplimiento del PR-20

Para el proyecto solar se tiene previsto instalar módulos fotovoltaicos de última generación, adecuados al régimen de radiación solar existente en la zona, incorporando elementos que permitirán garantizar el cumplimiento de todos los requerimientos del PR-20 del COES, en lo referido al control de potencia activa, control de potencia reactiva, control de frecuencia, control de tensión y continuidad de suministro ante contingencias severas (numerales 2, 3, 4, 5 y 6 del capítulo 4 del Anexo 1 “Criterios Mínimos de Diseño de Instalaciones Eléctricas” del PR-20).

6. LISTA DE EQUIPAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

1. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

1.1 Línea de Transmisión 138 kV Moquegua - El Alto

1.0	Longitud +- 10%	15.1 km
2.0	Número de ternas	01
3.0	Tensión nominal	138 kV
4.0	Tensión máxima	145 kV
5.0	Potencia de diseño	100 MVA
6.0	Longitud mínima de la cadena de aisladores (distancia de arco seco)	2.19 mm2
7.0	Conductores por fase por terna (tipo y sección)	AAAC 283. 5 mm2
8.0	Cable de guarda y/o de comunicación	Un (01) cable de fibra óptica OPGW de 36 hilos
9.0	Silueta de la estructura de suspensión	Plano N° CSFEA-LTR-PLN-006 (*)

(*) Solo se aprueba el diseño eléctrico de la silueta de estructura, que corresponde a la disposición geométrica de fases, distancias fase - tierra y distancias fase-fase

2. SUBESTACIONES

2.1 Ampliación Subestación Moquegua 138 kV

1.0	Tensión nominal del equipamiento	138 kV
2.0	Tecnología	AIS (Air Insulated Substation)
3.0	Tensión máxima del equipo	170 kV
4.0	Tensión de sostenimiento al impulso atmosférico	750 kVp
5.0	Corriente nominal	Interruptor: 3150 A Seccionador: 1250 A Transformador de corriente: 500 - 1000 -2000 /1/1/1/1 A
6.0	Capacidad de ruptura de cortocircuito trifásico	40 kA
7.0	Configuración de barras	Doble Barra
8.0	Numero de Celdas	
8.1	De línea	01
9.0	Diagramas unifilares del equipamiento de protección y medición	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-006 (ver **Nota**)
10.0	Esquema de comunicaciones y teleprotección	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-011
11.0	Arquitectura del sistema de automatización y control	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-010

Nota:

El cambio de la protección diferencial de barra existente tipo centralizado por el tipo distribuido, será realizado por aquel proyecto que afecte el correcto funcionamiento de la protección diferencial de barra existente, según se identifique en su Estudio de Operatividad.

2.2 Subestación El Alto 138/33 kV

1.0	Tensión nominal del equipamiento	138 kV
2.0	Tecnología	AIS (Air Insulated Substation)
3.0	Tensión máxima del equipo	170 kV
4.0	Tensión de sostenimiento al impulso atmosférico	750 kVp
5.0	Corriente nominal	Celda de linea: Interruptor: 3150 A Seccionador: 1250 A Transformador de corriente: 500-1000-2000 /1/1/1/1 A Celda de transformación: Interruptor: 3150 A Seccionador: 1250 A Transformador de corriente: 500-1000-2000 /1/1/1/1 A
6.0	Capacidad de ruptura de cortocircuito trifásico	31.5 kA
7.0	Configuración de barras	Simple barra
8.0	Número de Celdas	(*)
8.1	De línea	01
8.2	De transformación	01
9.0	Transformador de potencia	01
9.1	Potencia Nominal	90 MVA (ONAN)
9.2	Transformador de corriente en bushings	138 kV: 500- 1A (**) 33 kV: 2000 - 1A (**)
9.3	Relación de transformación	138+- 10x1.0% / 33kV
9.4	Grupo de Conexión	YNd5
9.5	Tipo de Regulación de tomas	Bajo carga
9.6	Mando sincronizando	Si
10.0	Diagramas unifilares del equipamiento de protección y medición	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-005
11.0	Esquema de comunicaciones y teleprotección	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-011
12.0	Arquitectura del sistema de automatización y control	Plano N° CSFEA-SUB-PLN-009

(*) La lista no incluye el equipamiento en 33 kV ya que podría estar sujeto de modificación por parte del Titular del Proyecto, lo cual no condiciona la conformidad del EPO.

(**) La relación final de los transformadores de corriente en los bushings del transformador de potencia que serán usados para la conexión de las protecciones propias del transformador serán definidos por el fabricante.

3 CENTRAL DE GENERACIÓN

3.1 Central Solar Fotovoltaico El Alto

1.0	Características técnicas de la Central	
1.1	Potencia Nominal	76.2 MW (ver **Nota 1**)
1.2	Tecnología del inversor	A ser verificados cuando se confirme el fabricante y modelo del inversor a fin de cumplir con los requisitos técnicos del Cap.4 Anexo 1 del PR-20.
1.3	Equipo de compensación reactiva	No (ver **Nota 2**)
1.4	Esquema de Control y Protección para Reducción de Generación	Plano N° CSFEA-76.2-EACG-001 (ver **Nota 3**)

Nota:

1. La potencia que se aprueba no podrá incrementarse en otras etapas de gestión del presente proyecto (EPO, EO).

2. Las características técnicas de los equipos de compensación reactiva, considerados para el cumplimiento del factor de potencia (requisito del Cap. 4, Anexo 1 del PR-20) en el punto de conexión, deberán ser verificados cuando se confirme el fabricante y modelo de los inversores y su respectiva curva de capabilidad. Las características que resulten serán sustentadas en el Estudio de Operatividad.

3. El proyecto incluirá el equipamiento y medios de comunicación necesarios para implementar un Esquema de Control y Protección que reducirá automáticamente la generación de la C.S.F. El Alto (en el orden de milisegundos, inclusive), ante la sobrecarga y/o transgresiones de tensión (en operación normal o contingencia) de los siguientes equipos:

   - L-5037_2 (L.T. 500 kV Montalvo - San José).
   - L-2029_2 (L.T. 220 kV Los Héroes - Montalvo).
   - L-2026 (L.T. 220 kV Moquegua - Socabaya).
   - L-2025 (L.T. 220 kV Moquegua - Socabaya).
   - L-2030_a (L.T. 220 kV Lupi - Chilota).
   - L-1392 (L.T. 138 kV Ilo 3 – Ilo ELS).

   El Esquema de Control y Protección de la C.S.F. El Alto tendrá la capacidad de operar tanto de manera independiente como conectado al Esquema Centralizado que coordine este esquema con otros similares, pertenecientes a otros proyectos y que operen monitoreando los mismos equipos de transmisión.

   Asimismo, el esquema de Control y Protección de la C.S.F. El Alto deberá actuar lo suficientemente rápido (en el orden de milisegundos, inclusive), para evitar la desconexión de estos equipos por la actuación de sus protecciones, en casos de contingencias, y para mitigar la aparición de oscilaciones no amortiguadas. De otro lado, la lógica de control de generación del esquema deberá ser tal que la actuación ante contingencias no provoque la activación del Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia (ERACMF).

Notas Generales:

El estudio de armónicos presentado en la etapa de Estudio de Pre-Operatividad es de naturaleza preliminar; en este sentido, se volverá a verificar en la etapa de Estudio Operatividad cuando se confirme el fabricante y el modelo de los inversores.

7. CONCLUSIONES

7.1. ANÁLISIS DE CONTROL DE POTENCIA REACTIVA

- Para el análisis del cumplimiento del factor de potencia, se verificó el cumplimiento de lo exigido por el procedimiento técnico PR-20 del COES sin la necesidad de instalar un elemento de compensación reactiva (capacitivo/inductivo).
- La evaluación se realizó para los niveles de tensión de 0.95, 1.00 y 1.05 en p.u. De esta forma, se exigió a nuestro proyecto tener la capacidad para operar en modo de exportación/importación de potencia reactiva. Por lo tanto, la CSF El Alto 76.2 MW resulta beneficiosa al proporcionar la capacidad de control de potencia reactiva y, como consecuencia, en ciertos niveles, el control de la tensión.
- Los resultados indicados en el análisis de requerimiento de potencia reactiva indica el cumplimiento del numeral 3.1 del capítulo 4 del Anexo 1 del PR-20. Sin embargo, estos resultados serán ratificados en un posterior Estudio de Operatividad.

7.2. ANÁLISIS DE FLUJO DE POTENCIA

- El escenario de máxima generación (MG) se identificaron sobrecargas en el sistema atribuibles a la alta inyección de potencia de las CGNC. Para lograr la convergencia del flujo de carga, fue necesario aplicar reducciones de generación entre el 51 % y 78 % (Zona 4) en el caso base, y entre el 20 % y 50 % (Zona 4) en el escenario de caso Adicional, evidenciando la necesidad de medidas operativas para mantener la seguridad del sistema.
- Del análisis de contingencias realizado en los escenarios de media demanda, se concluye que existen elementos del sistema que superan la cargabilidad límite establecida por el PR-20, principalmente ante las contingencias 01, 02, 07, 09, 10 y 11. La condición más crítica se presentó de forma reiterada en las líneas L-2025 y L-2026, lo que evidencia una sensibilidad estructural relevante que ya se encontraba presente en el escenario sin proyecto. En este sentido, el ingreso del proyecto no representa un impacto adicional significativo bajo condición de contingencia. Se recomienda el monitoreo permanente de los elementos que han presentado mayor sensibilidad operativa, tales como: L-2030_a (LUPI 220 - CHILOTA 220B), L-2026 (MOQUEGUA 220A - SOCABAYA 220A) , L-2025 (MOQUEGUA 220A - SOCABAYA 220A) , L-5037_2 (SAN JOSE 500 – MONTALVO 500), L-2029_2 (LOS HEROES 220 – MONTALVO 220), L-1392 (ILO3 138 – ILO ELS 138), L-1383 (ILO1 138 – MOQUEGUA 138), con el fin de garantizar una operación segura y confiable del sistema. Asimismo, los perfiles de tensión correspondientes a todas las contingencias evaluadas, tanto en el escenario “Sin Proyecto” como “Con Proyecto RG”, se mantuvieron dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por el PR-20, conforme se detalla en el Anexo B del presente estudio.
- Se verifica que la puesta en servicio del proyecto “CSF EL ALTO 76.2 MW” al SEIN es técnicamente viable desde el punto de vista del estudio de flujo de carga, ya que se han cumplido las exigencias establecidos por el PR-20..

7.3. VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BARRA

- El análisis de capacidad de barra se concluye que, en estado estacionario, el ingreso del proyecto genera una variación de 3 % en la corriente respecto al escenario sin proyecto. En condiciones de falla trifásica la situación más crítica, el incremento es de aproximadamente 1 %. Por lo tanto, se concluye que la incorporación del proyecto CSF El Alto (76.2 MW) no compromete ni la capacidad de conducción ni la capacidad de ruptura de la barra de Moquegua 138 kV.

7.4. ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO

Cortocircuito normal

- En condiciones normales de operación, el análisis de cortocircuito en la subestación Moquegua 138 kV muestra que la falla más crítica corresponde al escenario proyectado para el año 2031 Avenida con demanda media, en condición de falla bifásica, alcanzando una corriente máxima de 21.64 kA con proyecto frente a 25.48 kA sin proyecto, lo que representa un incremento de 3.9 %. En todos los casos evaluados, las corrientes en las barras de 33 kV y 138 kV se mantienen por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores asociados.

Cortocircuito máxima generación

- Bajo condiciones de máxima generación,el análisis de cortocircuito en la subestación Moquegua 138 kV muestra que la falla más crítica se presenta igualmente en el escenario proyectado para el año 2031 Avenida con demanda media, pero en este caso para la condición de falla bifásica, alcanzando una corriente máxima de 22.57 kA con proyecto frente a 23.39 kA sin proyecto, lo que implica un incremento de 3.6 %. Al igual que en condiciones normales, las corrientes registradas en todas las barras permanecen por debajo de los valores nominales de interrupción de los equipos, garantizando la seguridad operativa.

Corriente de retorno por tierra 3xI0

- El análisis de la corriente homopolar $3 \times I_0$ en condición de falla bifásica a tierra, considerando la capacidad de diseño de 40 kA de la subestación Moquegua 138 kV, muestra que en el caso base no se presentan transgresiones en ninguna barra de la zona de influencia, excepto la barra de Montalvo 220 que presenta valores elevados asociados principalmente a la presencia de proyectos en su área. La comparación entre escenarios con y sin el proyecto CSF El Alto (76.2 MW) evidencia un incremento máximo de aproximadamente 0.55 kA (1.2 %), considerado mínimo. Por lo tanto, la incorporación del proyecto contribuye de forma marginal al aumento de la corriente homopolar, no obstante, como medida de mitigación, se propone la implementación de una resitencia de 50 Ω en el neutro del transformador elevador del proyecto, cuya necesidad de instalación y características técnicas serán verificadas mediante un eventual Estudio de Operatividad.

Generales

- En conclusión, la incorporación del proyecto produce incrementos marginales en las corrientes de cortocircuito, sin comprometer la capacidad de maniobra ni la protección de los interruptores existentes, tanto en condiciones normales como en escenarios de máxima generación. Técnicamente, el proyecto resulta viable de acuerdo con los análisis de cortocircuito realizados.

7.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

- Los resultados de las pruebas ante fallas monofásicas al 50 % evidencian que no se producen interrupciones en el suministro eléctrico gracias al exitoso recierre de los enlaces de transmisión cercanos al proyecto. Se observa una pronta recuperación de las principales variables operativas al término de la falla, permitiendo que el sistema se estabilice dentro de los márgenes permisibles y asegurando la continuidad operativa del área de análisis.
- En el caso de fallas trifásicas al 50 % y con la apertura definitiva de los interruptores en las líneas de transmisión próximas al proyecto, se confirma igualmente la ausencia de inconvenientes en el suministro eléctrico. Las variables operativas clave presentan una rápida recuperación tras la eliminación de la falla, lo que permite al sistema adoptar un nuevo punto de operación dentro de los márgenes establecidos, garantizando así la continuidad operativa del área evaluada.

7.6. VERIFICACIÓN DE INERCIA

- Los resultados muestran que la incorporación del proyecto no ocasiona una variación significativa en la inercia equivalente del SEIN. Las reducciones observadas, 0.06 % en condición de avenida media y 0.67 % en condición de estiaje medio para el año 2031, son marginales y no comprometen la estabilidad del sistema eléctrico. Esta disminución se explica por la salida de ciertas centrales de generación que aportan potencia e inercia al sistema, lo cual varía en función de los distintos periodos hidrológicos y del nuevo despacho definido por el costo variable de generación.

7.7. ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

- El análisis de estabilidad de frecuencia, realizado para los escenarios con y sin proyecto en los casos Base y Adicional 1 para todos los escenarios, y considerando la inercia equivalente del sistema, evidencia que la incorporación de la CSF EL ALTO 76.2 MW al SEIN no produce un impacto significativo en la inercia total. Los porcentajes de disminución observados son mínimos, por lo que no se aprecia una variación relevante en el comportamiento global del SEIN.

7.8. TIEMPO CRITICO DE DESPEJE DE FALLA

- El análisis del tiempo crítico de despeje de falla demuestra que, para todos los eventos evaluados, el sistema logra recuperar un estado operativo estable, con estabilización de los ángulos de los generadores y sin pérdida de sincronismo. Esto confirma que el sistema operará de forma satisfactoria ante los fallos considerados. Asimismo, los resultados muestran que los tiempos críticos máximos de despeje de falla trifásica en la subestación cumplen con los indicadores de desempeño establecidos por el COES, ya que en todos los casos superan el valor mínimo de 100 ms requerido para la actuación de las protecciones principales.

7.9. ERAG

- El análisis de las contingencias evaluadas (L-5037, L-5035, L-2036 y L-2025) evidencia que la aplicación del Esquema de Rechazo Automático de Generación (ERAG) es efectiva para mitigar las sobrecargas en las líneas limitantes asociadas (L-2025, L-2030, L-2026, L-5037 y L-2029). Su actuación permite mantener la cargabilidad por debajo del 120 % de la capacidad nominal o restablecer las condiciones observadas en el escenario sin proyecto.
- En todos los casos, la intervención del ERAG, con desconexiones específicas de potencia en las zonas afectadas, permitió que el sistema operara dentro de los límites establecidos por el PR-20, evitando así la activación del Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia

(ERACMF). Las frecuencias mínimas registradas en las simulaciones, tanto en los escenarios base como adicionales, y para los distintos años y condiciones hidráulicas, se mantuvieron muy cercanas a 60 Hz, sin comprometer la estabilidad operativa.

7.10. ARMÓNICOS

- Se confirma que la puesta en servicio del proyecto "CSF El Alto 76.2 MW" al SEIN es técnicamente viable desde el punto de vista del estudio de flujo de carga armónica, ya que las distorsiones armónicas individuales y totales, tanto de tensión como de corriente, se mantienen dentro de los límites establecidos por la NTCSE y la norma IEEE Std. 519-2022, respectivamente.
- Asimismo, se verifica que el proyecto no introduce contenido armónico significativo que pueda excitar las frecuencias de resonancia identificadas en la futura S.E. Moquegua 138 kV, dado que la distorsión armónica de corriente se encuentra muy por debajo de los límites definidos por la IEEE Std. 519-2022. Por lo tanto, no se atribuye al proyecto la capacidad de inducir condiciones de resonancia en el sistema.

7.11. GENERALES

- Dado que el proyecto CSF El Alto prevé su conexión al SEIN en el año 2030, resulta obligatorio el cumplimiento del requerimiento de capacidad de aporte de inercia establecido en el PR-20. En ese sentido, se concluye que el proyecto contempla adecuadamente la incorporación de tecnologías como sistemas BESS, inversores grid forming o volantes de inercia, alineándose con las disposiciones normativas vigentes. Los detalles técnicos serán evaluados y definidos en el Estudio de Operatividad, asegurando la conformidad con los parámetros establecidos por OSINERGMIN y el COES.
- El análisis preliminar evidencia que la variabilidad rápida de la irradiancia, ocasionada por el paso de nubes, representa un desafío operativo relevante para plantas solares de gran escala. En respuesta, el proyecto ha previsto medidas de mitigación como el control de rampa de salida, la predicción de irradiancia y/o el uso potencial de inversores grid forming, las cuales contribuirán a reducir el impacto de esta intermitencia sobre la estabilidad de tensión y frecuencia del sistema. Estas estrategias serán validadas en detalle en el Estudio de Operatividad específico de la Central Fotovoltaica El Alto.
- Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica del ingreso al SEIN de las instalaciones del proyecto CSF El Alto, con una capacidad de 76.2 MW, en términos de estabilidad transitoria y estabilidad de frecuencia. Asimismo, se ha verificado el cumplimiento satisfactorio de los indicadores de desempeño exigidos por el procedimiento PR-20.

8. DIAGRAMA UNIFILAR

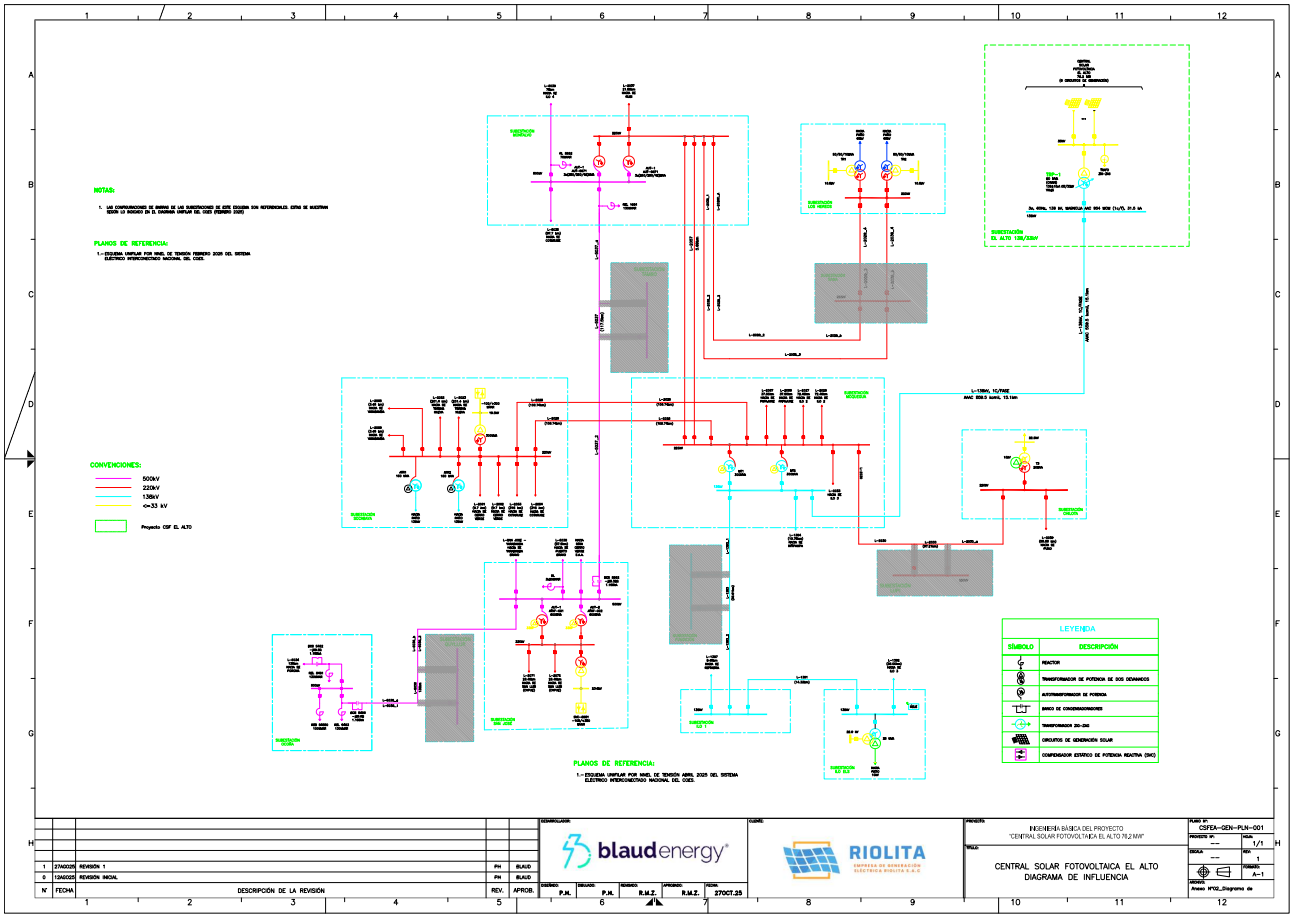


Figura 7: Diagrama uniflar CSF El Alto

9. ANEXOS

Anexo Nº1 - Lista de Equipamiento EPO EL ALTO

Anexo Nº2 - Diagrama de Influencia EA Rev1.dwg