ESTUDIOS ELÉCTRICOS DE OPERATIVIDAD PROYECTO YANA

PROYECTO YANA – ETAPA 1

RESUMEN EJECUTIVO

DOCUMENTO PE-YANA-EONYA-S-01-D0445

REVISIÓN No. 3

Revisión	Modificaciones	Fecha
1	Emisión inicial	2025-06-06
2	Atención comentarios COES	2026-02-13
3	Atención comentarios COES	2026-02-17

Elaboración – Revisión – Aprobación

Revisión	Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
1	NGR		SVO		MAS	
2	JCA		SVO		MAS	
3	JCA		SVO		MAS	

Los derechos de autor de este documento son de HMV INGENIEROS LTDA., quien queda exonerada de toda responsabilidad si este documento es alterado o modificado. No se autoriza su empleo o reproducción total o parcial con fines diferentes al contratado.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 5
2 OBJETIVO 5
3 INFORMACIÓN DEL PROYECTO 5
3.1 CRONOGRAMA 5
3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 7
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 7
3.4 ALCANCE ETAPA 1 8
4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA 11
4.1 CONFIGURACIÓN DE LAS SUBESTACIONES 11
4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN 17
4.3 SISTEMA CONTRAINCENDIOS 19
4.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO 20
4.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN. 21
5 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE EQUIPAMIENTO 21
5.1 SUBESTACIÓN YUNGAS 220 KV. 21
5.2 AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CHAGLLA 220 KV 26
5.3 AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN TINGO MARÍA 220 kV 29
6 SISTEMA DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y REGISTRO DE FALLAS 33
6.1 SUBESTACIÓN YUNGAS 220 KV 33
6.2 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN CHAGLLA 220 KV 36
6.3 SUBESTACIÓN TINGO MARÍA 220 kV 38
6.4 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN VIZCARRA 220 kV 40
6.5 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN ANTAMINA 220 kV 41
7 PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE SECUENCIA, LÍNEAS DEL PROYECTO 42
8 ESTUDIOS ELÉCTRICOS 42
8.1 ESTUDIOS DE ESTADO ESTACIONARIO 42
8.2 ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA 50
8.3 ESQUEMA REDUCCIÓN GENERACIÓN 53
8.4 ESTUDIOS DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS 57
8.5 ESTUDIOS DE COORDINACIÓN Y AJUSTES DE PROTECCIONES 59
9 REFERENCIAS 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción Proyecto YANA 1 ... 8
Tabla 2. Coordenadas UTM WGS84 - subestaciones del proyecto ... 10
Tabla 3. Coordenadas vértices - Tingo María – Chaglla 220 kV ... 10
Tabla 4. Coordenadas UTM WGS84 de las Variantes ... 11
Tabla 5. Parámetros Ambientales – SE Yungas ... 12
Tabla 6. Nivel de Aislamiento – SE Yungas ... 13
Tabla 7. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Yungas ... 14
Tabla 8. Parámetros Ambientales – SE Chaglla ... 14
Tabla 9. Nivel de Aislamiento – SE Chaglla ... 15
Tabla 10. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Chaglla ... 15
Tabla 11. Parámetros Ambientales – SE Tingo María ... 16
Tabla 12. Nivel de Aislamiento – SE Tingo María ... 16
Tabla 13. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Tingo María ... 17
Tabla 14. Requisitos mínimos de líneas anexo N° 1 del Contrato de Concesión ... 17
Tabla 15. Número de conductores por fase de las líneas ... 18
Tabla 16. Resumen de conductores obtenidos y criterios de selección ... 18
Tabla 17. Requisitos mínimos de líneas anexo N° 1 del Contrato de Concesión ... 19
Tabla 18. BIL corregido de la cadena de aisladores ... 19
Tabla 19. Sistema Contraincendios ... 20
Tabla 20. Características GIS –Yungas 220 kV ... 22
Tabla 21. Características de transformador de tensión ... 24
Tabla 22. Características de los descargadores de sobretensión ... 24
Tabla 23. Características de la trampa de onda ... 25
Tabla 24. Características de los aisladores de vidrio templado ... 25
Tabla 25. Características de interruptores ... 26
Tabla 26. Características de seccionadores ... 26
Tabla 27. Características de transformador de corriente ... 27
Tabla 28. Características de transformador de tensión ... 27
Tabla 29. Características de los descargadores de sobretensión ... 28
Tabla 30. Características de la trampa de onda. ... 28
Tabla 31. Características de los aisladores tipo poste ... 28
Tabla 32. Características de los aisladores de vidrio templado. ... 29
Tabla 33. Características del equipamiento hibrido ... 29
Tabla 34. Características de seccionadores ... 31
Tabla 35. Características de transformador de tensión ... 31
Tabla 36. Características de los descargadores de sobretensión ... 32
Tabla 37. Características de la trampa de onda ... 32
Tabla 38. Características de los aisladores de vidrio templado ... 32
Tabla 39. Parámetros eléctricos de secuencia, líneas del proyecto ... 42
Tabla 40. Sensibilidades para Caso Base y Caso Adicional 1 ... 43
Tabla 41. Resumen de máximas sobretensiones de frente lento ... 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cronograma del Proyecto Yana – Etapa 1 ... 6

Figura 2. Alcance Geográfico del Proyecto 7
Figura 3. Obras Etapa 1 – Proyecto YANA..... 9

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de interconexión "Enlace Nueva YANAngo - Nueva Huánuco y subestaciones asociadas" en adelante YANA, involucra la construcción y modificación de líneas y subestaciones a nivel de 138 kV, 220 kV y 500 kV en las redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Las instalaciones proyectadas serán parte del Sistema de Transmisión Local.

El Consorcio Transmantaro (ISA-CTM) ha recibido la aprobación del Estudio de Pre Operatividad del proyecto de interconexión "Enlace 500 kV Nueva YANAngo - Nueva Huánuco y subestaciones asociadas, (Proyecto YANA)" el 10 de febrero de 2025 mediante la carta COES/D/DP-117-2025 [1]. Es por esto, que se realizan los estudios eléctricos para el Estudio de Operatividad del Proyecto YANA en su etapa 1, que proyecta ser conectada al SEIN entre los meses de mayo a diciembre del año 2026.

2 OBJETIVO

El presente documento tiene por objetivo describir las principales características del proyecto de interconexión YANA para la etapa 1 y los resultados más relevantes de los estudios eléctricos realizados.

3 INFORMACIÓN DEL PROYECTO

A lo largo de este documento se realizan los análisis asociados a la primera etapa del proyecto "Enlace Nueva YANAngo - Nueva Huánuco y subestaciones asociadas" (YANA), presentado por el COES en el plan de transmisión 2021 -2030 en su anexo 8 [2]. Las obras de este proyecto tienen como objeto reforzar el sistema eléctrico interconectado, enmallando la red a nivel de 220 kV, incrementando la confiabilidad y las transferencias de potencias Centro – Norte y Centro - Sur en el país.

A continuación, se describen diferentes aspectos técnicos y eléctricos del Proyecto:

3.1 CRONOGRAMA

En la Figura 1 se presenta el cronograma de todas las obras asociadas al proyecto YANA. Cabe aclarar que el presente estudio de operatividad se centra en el ingreso de la etapa 1. En el Anexo A, se encuentra el archivo original del cronograma.

	Task Mode	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish
1		**PE-YANA-Proyecto Nueva Yaros**	**1,519 days**	**Mon 5/1/23**	**Mon 6/28/27**
2		**Líneas de transmisión**	**925 days**	**Sat 9/30/23**	**Sun 4/12/26**
3		Permisos	641 days	Sat 6/1/24	Wed 3/4/26
4		Diseño	306 days	Sat 9/30/23	Thu 8/1/24
5		Bienes	476 days	Thu 8/1/24	Thu 11/20/25
6		Construcción	571 days	Wed 9/18/24	Sun 4/12/26
7		**Subestaciones**	**1,298 days**	**Mon 5/1/23**	**Thu 11/19/26**
8		Permisos y gestiones	717 days	Mon 5/1/23	Thu 4/17/25
9		Estudios	916 days	Mon 4/1/24	Sun 10/4/26
10		**Ejecución SE Yaros**	**1,146 days**	**Sat 9/30/23**	**Thu 11/19/26**
11		Diseño SE Yaros	398 days	Sat 9/30/23	Fri 11/1/24
12		Contratación servicios	107 days	Fri 11/1/24	Sun 2/16/25
13		Bienes	418 days	Fri 11/1/24	Wed 12/24/25
14		**Construcción SE Yaros**	**560 days**	**Thu 5/8/25**	**Thu 11/19/26**
15		Obras Civiles	555 days	Thu 5/8/25	Sat 11/14/26
16		Montaje Primario	330 days	Wed 12/24/25	Thu 11/19/26
17		Montaje Sistema Secundario	80 days	Tue 7/7/26	Fri 9/25/26
18		Pruebas Sistema Secundario	45 days	Fri 9/25/26	Mon 11/9/26
19		**Pruebas de verificación, integración, PES y POE**	**399 days**	**Mon 5/25/26**	**Mon 6/28/27**
20		**PES (Secuencia de energización)**	**399 days**	**Mon 5/25/26**	**Mon 6/28/27**
21		**Etapa 1 (Secuencia de energización)**	**196 days**	**Mon 5/25/26**	**Mon 12/7/26**
22		Energización Tingo María - Chaglla (L-2154)	7 days	Mon 5/25/26	Mon 6/1/26
23		Energización Vizcarra - Yungas (L-2159)	7 days	Mon 11/23/26	Mon 11/30/26
24		Energización Yungas - Antamina (L-2286)	7 days	Mon 11/30/26	Mon 12/7/26
25		**Etapa 2 (Secuencia de energización)**	**63 days**	**Mon 4/26/27**	**Mon 6/28/27**

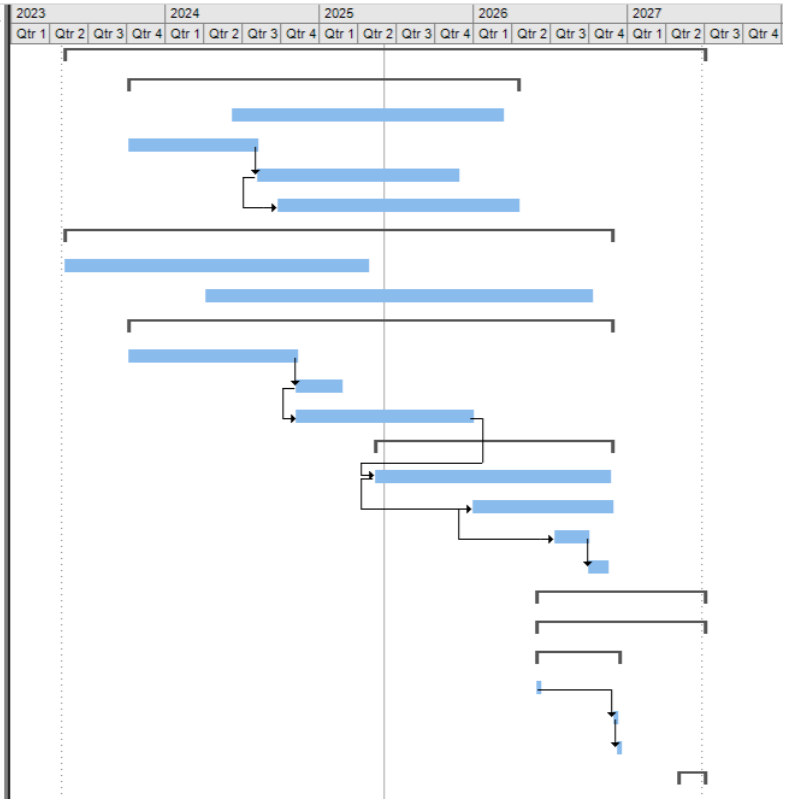


Figura 1. Cronograma del Proyecto Yana – Etapa 1

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las instalaciones del Proyecto YANA en su etapa 1, tienen un amplio alcance geográfico, involucrando diferentes provincias y departamentos de la zona Centro y selva del país, en especial recorriendo las regiones Ancash y Huánuco.

La etapa 1 del proyecto YANA, involucra las siguientes subestaciones:

- Subestación existente Vizcarra 220 kV, provincia Bolognesi en la región Áncash.
- Subestación existente Antamina 220 kV, provincia de Huari en la región Áncash.
- Nueva subestación Yungas 220 kV, provincia Bolognesi en la región Áncash.
- Subestación existente Tingo María 220 kV, provincia de Leoncio Prado en la región Huánuco.
- Subestación existente Chaglla 220 kV, provincia de Pachitea en la región Huánuco.

En la Figura 2, se puede apreciar la ubicación aproximada de las diferentes subestaciones.

Figura 2. Alcance Geográfico del Proyecto

3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La Etapa 1 del Proyecto YANA involucra la entrada en operación de nuevas subestaciones, enlaces y ampliaciones a nivel de 220 kV en la zona Centro de Perú. La puesta en servicio de las diferentes obras de la etapa 1 está estimada entre los meses de mayo a diciembre del año 2026. Los hitos asociados, se resumen mediante la Tabla 1, y en el numeral 3.4 se describe en mayor detalle los equipos y obras.

Tabla 1. Descripción Proyecto YANA 1

Equipo	Código COES	Capacidad [MVA]	Puesta en Servicio
LT Vizcarra - Yungas 220 kV	L-2159	180	Año 2026
LT Yungas - Antamina 220 kV	L-2286(1)	180	
LT Chaglla - Tingo María 220 kV	L-2154	450	
Ampliación SE Tingo María 220 kV	---	---	
Ampliación SE Chaglla 220 kV	---	---	

Notas:

(1) La capacidad actual de la línea L-2286 es 180 MVA por lo que los estudios en el presente documento son realizados considerando dicha capacidad; sin embargo, se tiene previsto que la capacidad aumente hasta 450 MVA en el futuro, condición que es más favorable para el sistema.

3.4 ALCANCE ETAPA 1

En la primera etapa del proyecto YANA, se realiza reconfiguración de algunas líneas de transmisión existentes, la construcción de nuevas obras como subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, esta etapa se desarrolla cronológicamente como se presenta a continuación:

Mayo de 2026

Se inicia con la conexión del nuevo enlace a nivel de 220 kV (L-2154) de 39,09 km que conecta Tingo María con Chaglla, mediante la ampliación de las subestaciones Tingo María, cuya configuración es anillo, y Chaglla cuya configuración es barra simple con barra de transferencia.

Además, se realiza la integración de la nueva subestación Yungas 220 kV en configuración doble barra más seccionador de transferencia, mediante la apertura de la línea existente Antamina – Vizcarra 220 kV (L-2286) a los 40,70 km de la SE Antamina y a 11,50 km de la SE Vizcarra, creando así los nuevos circuitos:

- Antamina – Yungas 220 kV (L-2286) con una longitud de 41,10 km, de los cuales 40,70 km corresponden a la línea existente y se construyen 0,40 km para la interconexión con la nueva subestación.

- Yungas – Vizcarra 220 kV (L-2159) con una longitud de 12,01 km, de los cuales 11,50 km corresponden a la línea existente y se construyen 0,51 km para la interconexión con la nueva subestación.

En la Figura 3 se ilustran las diferentes modificaciones descritas para la Etapa 1 del Proyecto.

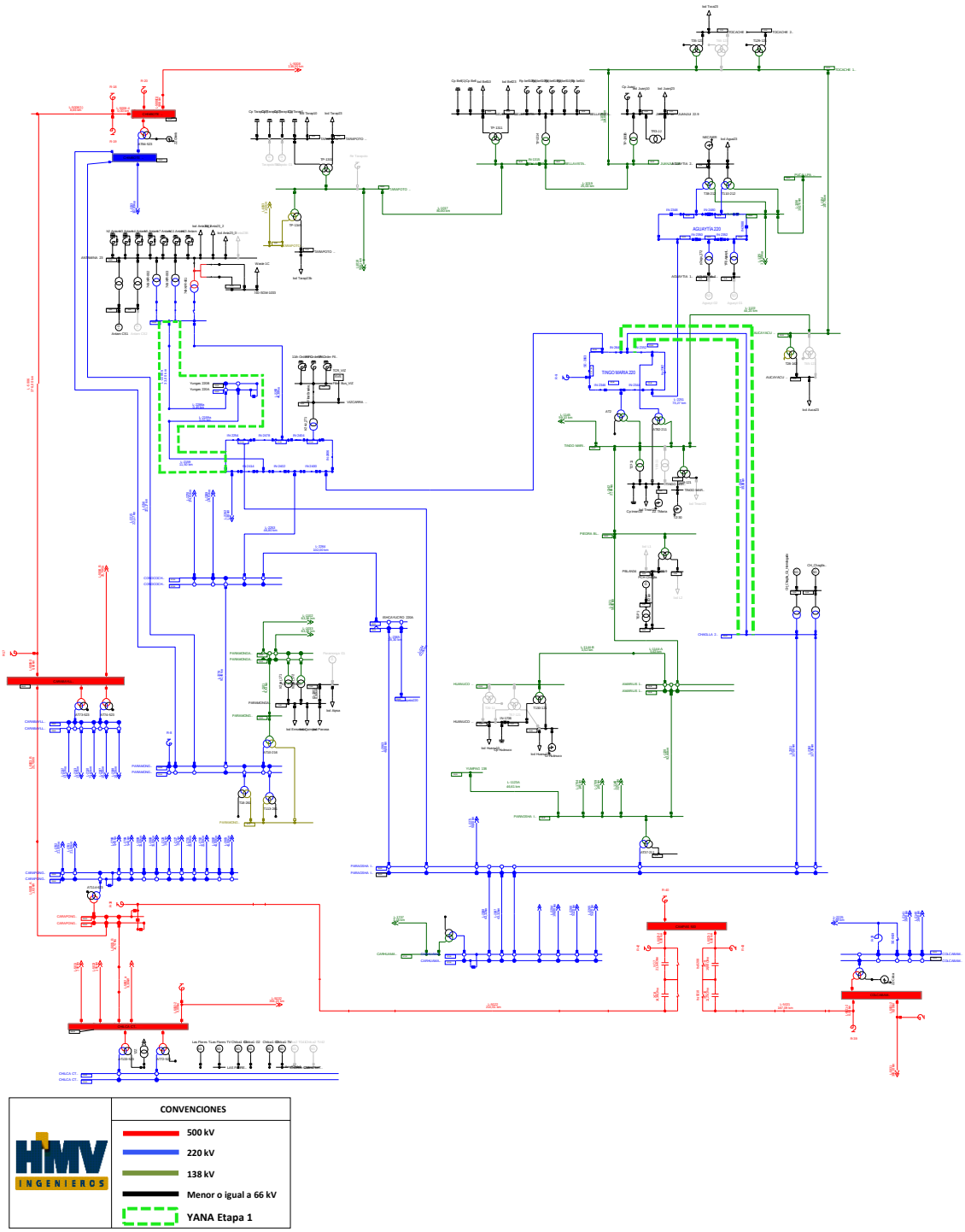


Figura 3. Obras Etapa 1 – Proyecto YANA

En la Tabla 2 se presentan las coordenadas UTM WGS84 de la ubicación de la nueva subestación Yungas y las subestaciones que serán ampliadas en la etapa 1 del Proyecto.

Tabla 2. Coordenadas UTM WGS84 - subestaciones del proyecto

Localización geográfica	Coordenadas UTM WGS84		
	S.E. CHAGLLA	S.E. TINGO MARÍA	S.E. YUNGAS
Zona.	18 L	18 L	18 L
Este (m)	402 813	391 001	291 865
Norte (m)	8 938 485	8 972 970	8 910 790

En la Tabla 3 se presentan las coordenadas UTM WGS84 de la ubicación de los vértices de la línea Tingo María – Chaglla 220 kV asociada a la etapa 1 del proyecto YANA.

Tabla 3. Coordenadas vértices - Tingo María – Chaglla 220 kV

Vértice	WGS84 / UTM ZONA 18 SUR		
	Este	Norte	Cota
Pórtico	391085.29	8972915.41	667
TICH01AV	391116.16	8972909.15	672.8
TICH02A	391111	8972847	683.4
TICH02B	391272857	8972781574	704.6
TICH03NN	391432	8972652	697.8
TICH03VANNNN	391622.31	8972628.86	695.4
TICH03VBNNN	391844.78	8972748.61	719.8
TICH03VBANNN	392022.13	8972917.38	734.3
TICH04VN	392261.82	8973071.15	709.6
TICH04VAN	392461	8972941	678.5
TICH05VNN	392475	8972519	730.3
TICH05VA	392544.02	8972000.99	789.4
TICH05VB	393198.23	8971196.83	720.8
TICH06NN	393342	8970934	724.8
TICH07N	394787	8966478	1100.4
TICH08N	395737	8964635	1123.2
TICH09N	395623	8962584	1125.2
TICH10N	395813.99	8957778	1337.5
TICH11N	395482	8953486	1262.2
TICH12N	396053	8952361	1208.7
TICH13N	397104	8950044	1135.9
TICH14N	397894	8948726	938.4
TICH15N	398469	8947605	1057.3
TICH16N	398931	8946290.99	1161
TICH17N	399556	8945256	1314.1
TICH18N	401155	8941967	1209.4
TICH18A	401391.94	8941608.22	1147.5
TICH18B	401758.83	8940905.29	1094.5

Vértice	WGS84 / UTM ZONA 18 SUR		
	Este	Norte	Cota
TICH19NN	402025874	8940436528	1102.1
TICH20NN	402530076	8939362707	1078.3
TICH21VN	402431645	8938550676	1135.9
TICH22VN	402529.54	8938357.36	1170.9
TICH22VANN	402775478	8938305403	1010.4
TICH22B	402813.88	8938399.68	930
Pórtico	402788.2	8938434.33	924.4

En la Tabla 4 se presentan las coordenadas UTM WGS84 de la ubicación de los vértices del tramo de la variante Vizcarra – Antamina 220 kV asociada a la etapa 1 del proyecto YANA.

Tabla 4. Coordenadas UTM WGS84 de las Variantes

Vértice	WGS84 / UTM ZONA 18 SUR		Cota
	Este	Norte	
T30 Existente	292312.901	8910521.686	-
T1_VY	292096.405	8910674.115	3800.279
T2_VYN	291965.248	8910713.402	3802.354
Pórtico Entrada de Vizcarra	291875.264	8910763.863	-
Pórtico Salida a Antamina	291865.971	8910790.262	-
T1-YANN	291806.43	8910825.05	3804.32
T2_YA	291667.548	8910976.076	3810.22
T32 Existente	291563.926	8911049.038	-

4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

4.1 CONFIGURACIÓN DE LAS SUBESTACIONES

El presente capítulo describe la estructura de la etapa 1 del proyecto YANA y las configuraciones planteadas para la construcción de la nueva subestación Yungas 220 kV y las ampliaciones de las subestaciones de Chaglla 220 kV y Tingo María 220 kV. Cabe mencionar que lo relacionado con la SE Yaros hace parte de la etapa 2 del proyecto YANA.

- **S.E. Yungas 220 kV**

La subestación Yungas 220 kV, es una subestación totalmente nueva en tecnología GIS que contempla implementar lo siguiente:

- Instalación de una (1) celda de salida de línea para la conexión de la línea hacia la subestación Antamina (L-2286).
- Instalación de una (1) celda de salida de línea para la conexión de la línea hacia la subestación Vizcarra (L-2159).
- Instalación de una (1) celda para la conexión de la línea hacia la subestación Yaros (L-2158).
- Instalación de tres (3) transformadores de tensión para cada barra, los cuales se

conectarán a las barras “A” y “B” de la subestación.

- Implementación de una (1) celda de acoplamiento.
- Instalación de nueve (9) descargadores de sobretensión, acorde a lo indicado en el diagrama unifilar de 220 kV (PE-YANA-13Z01-S-03-K2401).
- Instalación de nueve (9) transformadores de tensión del tipo capacitivo, 245 kV, de relación 230:V3/0.11:V3 kV, tres (3) devanados de medida y protección.
- Instalación de tres (3) transformadores de tensión del tipo inductivo, 245 kV, de 100 kVA.
- Instalación de cuatro (4) trampas de onda, 220 kV, corriente nominal a frecuencia industrial 2500 Arms, frecuencia nominal 60 Hz, inductancia nominal @100kHz 0.5 mH, banda de bloqueo 115-500 kHz, impedancia mínima de bloqueo 600 ohmios, a ser instaladas de la siguiente manera: dos (2) en cada una de las salidas de líneas hacia las subestaciones de Yaros y Antamina.
- Instalación de un (1) transformador de servicios auxiliares 22.9/038-0.22 kV – 200 kVA, alimentado desde la red primaria de 10 kV existente en la localidad de Huallanca.
- Instalación de dos (2) grupos electrógenos de 216 kVA, 380-220 V, 60 Hz.
- Construcción de una (1) edificio de control para el control a nivel 2 de las nuevas instalaciones, además que en esta sala se dispondrá de un ambiente para la instalación de los sistemas de comunicaciones del Ministerio de Energía y Minas.
- Construcción de una (1) caseta de campo que albergará a los sistemas de medida, protección y control a nivel 1 de las celdas de salidas de línea y de la celda de acople, además de los sistemas de comunicación y servicios auxiliares.
- Espacio disponible para ocho (8) celdas futuras. No está previsto la implementación de un transformador de potencia.

Las conexiones superiores y de entradas de circuitos serán realizadas en pórticos, conformados por columnas y vigas en estructuras metálicas tipo celosía. Los soportes de los equipos de las celdas de llegada de línea también serán en estructuras tipo celosía.

Se dispondrá de accesos para el mantenimiento de los equipos y las diferentes áreas en las que se ubiquen los equipos del patio de llaves pertenecientes a la ampliación de la subestación.

Los planos de disposición física de la subestación muestran en detalle la conformación de los patios de llaves previstos para la ampliación de la subestación Yungas 220 kV.

Para la energización de la subestación Yungas es necesario tener energizada la bahía de conexión de la línea hacia Yaros (sin la línea) ya que se requiere tener en servicio el PT Cargable para alimentación de los SSAA.

Parámetros Ambientales

Tabla 5. Parámetros Ambientales – SE Yungas

Características Ambientales Del Sitio	Unidad	S.E. Yungas
a. Altura sobre el nivel del mar.	m.s.n.m.	3 804
b. Temperatura.		
· Mínima promedio anual.	°C	- 0,7
· Media anual.	°C	12,4

Características Ambientales Del Sitio	Unidad	S.E. Yungas
· Máxima normal anual.	°C	24,8
c. Nivel ceráunico.	días/año	12
d. Velocidad viento máximo.	km/h	104
e. Radiación solar.	kWh/m^2/día	7,5
f. Características sísmicas.		
· Factor de zona sísmica “Z”		0,35
· Aceleración horizontal.	g	0,5
· Aceleración vertical.	g	0,3
g. Humedad relativa.		
· Humedad relativa mínima.	%	46,4
· Humedad relativa media.	%	76,7
· Humedad relativa máxima.	%	89,7
h. Grado de severidad de contaminación		Pesado 25 mm/kV

Nivel de Aislamiento

El nivel de aislamiento, para la altura de instalación de las subestaciones del proyecto, se determina con base al estudio de coordinación de aislamiento. Los principales niveles de aislamiento se muestran a continuación:

Tabla 6. Nivel de Aislamiento – SE Yungas

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión de operación del sistema.	kV	220
b. Tensión máxima de operación.	kV	245
c. Frecuencia asignada.	Hz	60
d. Nivel de aislamiento:		
· Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up). Externo	kV	≥1 300
· Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up). Interno	kV	1 050
· Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial AIS (Ud). Externo	kV	≥595
· Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud). Interno	kV	460
· Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us).	kV	≥1050
e. Corriente de corta duración admisible asignada.		
· Para especificación de equipos.	kA	40
· Para diseño de la instalación.	kA	40

Distancias Mínimas de Seguridad

Se indica a continuación los valores de las distancias mínimas y de seguridad, determinados para el nivel de tensión de las subestaciones, se determina con base al estudio de coordinación de aislamiento.

Tabla 7. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Yungas

Tensión Nominal [kV]	Tensión Máxima de Operación [kV]	Distancia mínima (según IEC) (mm)			
		Fase -tierra		Fase - fase	
		Punta estructura	Conductor estructura	Punta conductor	Conductor conductor
220	245	2 100 2 100	1 900 1 900	2 100 2 272	2 100 2 272

- **S.E. Chaglla 220 kV**

Las ampliaciones de la subestación Chaglla 220 kV, se realizarán con equipamiento tipo convencional, con niveles de conexión y distancias eléctricas conforme al nivel de aislamiento y según las instalaciones existentes.

- Ampliación del área existente de la subestación.
- Ampliación del sistema de barras de 220 kV en configuración de barra principal más barra de transferencia.
- Implementación de una (01) celda línea 220 kV hacia la S.E. Tingo María 220 kV.
- Sistemas complementarios: puesta a tierra, pórticos y barras, obras civiles, etc.

Parámetros Ambientales

Tabla 8. Parámetros Ambientales – SE Chaglla

Características Ambientales Del Sitio	Unidad	S.E. Chaglla
a. Altura sobre el nivel del mar.	m.s.n.m.	925
b. Temperatura.		
· Mínima promedio anual.	°C	18
· Media anual.	°C	26
· Máxima normal anual.	°C	35
c. Nivel ceráunico.	días/año	67
d. Velocidad viento promedio	km/h	94
e. Radiación solar.	kWh/m^2/día	7,2
f. Características sísmicas.		
· Aceleración horizontal.	g	0,5
· Aceleración vertical.	g	0,3
g. Nivel de Contaminación Ambiental		Pesado 25 mm/kV

Nivel de Aislamiento

El nivel de aislamiento, para la altura de instalación de las subestaciones del proyecto, se determina con base al estudio de coordinación de aislamiento. Los principales niveles de aislamiento se muestran a continuación:

Tabla 9. Nivel de Aislamiento – SE Chaglla

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión de operación del sistema.	kV	220
b. Tensión máxima de operación.	kV	245
c. Frecuencia asignada.	Hz	60
d. Nivel de aislamiento:		
· Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up).	kV	1 050
· Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud).	kV	460
· Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us).	kV	-
e. Corriente de corta duración admisible asignada.		
· Para especificación de equipos.	kA	40
· Para diseño de la instalación.	kA	40

Distancias Mínimas de Seguridad

Se indica a continuación los valores de las distancias mínimas y de seguridad, determinados para el nivel de tensión de las subestaciones, se determina con base al estudio de coordinación de aislamiento.

Tabla 10. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Chaglla

Tensión Nominal [kV]	Tensión Máxima de Operación [kV]	Distancia mínima (según IEC) (mm)			
		Fase -tierra		Fase - fase	
		Punta estructura	Conductor estructura	Punta conductor	Conductor conductor
220	245	2 100	2 100	2 100	2 100

- **S.E. Tingo María 220 kV**

Las ampliaciones de las subestación Tingo María 220 kV, se realizarán con equipamiento tipo convencional, con niveles de conexión y distancias eléctricas conforme al nivel de aislamiento y según las instalaciones existentes.

- Adecuación del sistema de barras de 220 kV en configuración de anillo.
- Implementación de una (01) celda línea 220 kV hacia la S.E. Chaglla 220 kV.
- Instalación de dos seccionadores de línea para las celdas de línea 220 kV existentes, hacia la subestación Aguaytía L-2251 y la subestación Yaros (actual línea L-2252 Tingo María-Vizcarra).
- Instalación de un seccionador de barras para la celda del autotransformador existente T-01.
- Sistemas complementarios: puesta a tierra, pórticos y barras, obras civiles, etc.

Parámetros Ambientales

Tabla 11. Parámetros Ambientales – SE Tingo María

Características Ambientales Del Sitio	Unidad	S.E. Tingo María
a. Altura sobre el nivel del mar.	m.s.n.m.	665
b. Temperatura.		
· Mínima promedio anual.	°C	18
· Media anual.	°C	26
· Máxima normal anual.	°C	35
c. Nivel ceráunico.	días/año	73
d. Velocidad viento promedio	km/h	94
e. Radiación solar.	$kWh/m^2/día$	7,2
f. Características sísmicas.		
· Aceleración horizontal.	g	0,5
· Aceleración vertical.	g	0,3
g. Nivel de Contaminación Ambiental		Pesado 25 mm/kV

Nivel de Aislamiento

El nivel de aislamiento, para la altura de instalación de las subestaciones del proyecto, se determina con base al estudio coordinación de aislamiento. Los principales niveles de aislamiento

Tabla 12. Nivel de Aislamiento – SE Tingo María

Descripción	Unidad	220 kV
a. Tensión de operación del sistema.	kV	220
b. Tensión máxima de operación.	kV	245
c. Frecuencia asignada.	Hz	60
d. Nivel de aislamiento:		
• Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up). (*)	kV	1 050
• Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud). (*)	kV	460
• Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us). (*)	kV	-
e. Corriente de corta duración admisible asignada.		
• Para especificación de equipos.	kA	40
• Para diseño de la instalación.	kA	40

Distancias Mínimas de Seguridad

Se indica a continuación los valores de las distancias mínimas y de seguridad, determinados para el nivel de tensión de la subestación.

Tabla 13. Distancias Mínimas de Seguridad – SE Tingo María

Tensión Nominal [kV]	Tensión Máxima de Operación [kV]	Distancia mínima (según IEC) (mm)			
		Fase -tierra		Fase - fase	
		Punta estructura	Conductor estructura	Punta conductor	Conductor conductor
220	245	2 100	2 100	2 100	2 100

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

El proyecto consiste en realizar la ingeniería de detalle del Enlace Nueva Yanango - Nueva Huánuco y Subestaciones asociadas y de los cuales hacen parte las siguientes líneas en las que se realizó la actividad de replanteo:

Línea de Transmisión	Long (km)
L.T. 220 kV Tingo María – Chaglla (TICH)	39,09
Variante L.T. 220 kV Vizcarra – Yungas (VYUA_1)	12,01
Variante L.T. 220 kV Yungas – Antamina (VYUA_2)	41,10
Total	92,20

- Línea de Transmisión 220 kV Tingo María - Chaglla, tendrá una longitud de 39.09 km Desde la subestación existente de Tingo María a la subestación existente de Chaglla.
- Variante de la Línea de Transmisión de 220 kV Vizcarra – Antamina (L-2286), tendrá una longitud de 0.9 km. Desde la torre existente T30 a la nueva subestación de Yungas y desde ésta a la torre existente T32.

Notas:

*Las longitudes anteriormente relacionadas corresponden a la longitud del plantillado de diseño final para cada Línea de Transmisión que han sido entregados a ISA- REP.

Capacidad de Transmisión

La Tabla 14 muestra los niveles de capacidad mínima de transmisión por límite térmico (75°C) y bajo condición de emergencia a considerar para el desarrollo de la ingeniería.

Tabla 14. Requisitos mínimos de líneas anexo N° 1 del Contrato de Concesión

Línea de Transmisión	Tipo	No. de Ternas	Cond. Por Fase	Nivel de Tensión [kV]	Capacidad Mínima de Transmisión por Límite Térmico [MVA]	Capacidad de Transmisión en Condición de Emergencia [MVA]
L.T. 220 kV Tingo María – Chaglla	STTR	1	2	220	450	585
Variante L.T. 220 kV Vizcarra – Antamina	STTR	2	1	220	(Ver nota)	-

Nota: Igual a la potencia de diseño de las líneas existentes.

(*) Similar al considerado en el diseño de la línea existente (L-2286) Vizcarra – Antamina. Se resalta que la línea existente L-2286 actualmente tiene una capacidad de 180 MVA por lo que el diseño de la línea de transmisión entregado por ISA- REP también será de 180 MVA para esta primera instancia del proyecto. No obstante, se tienen previsto a futuro que la capacidad de la línea existente L-2286 sea de 450 MVA, por lo que el conductor de la línea de transmisión entregado por ISA- REP ha sido seleccionado con el fin de llevar la capacidad a un valor similar a los 450 MVA a futuro.

Número de Conductores por Fase

De acuerdo con los requerimientos de capacidad de transmisión, las líneas del proyecto se implementarán con la cantidad de subconductores por fase indicadas en la Tabla 15.

Tabla 15. Número de conductores por fase de las líneas

Línea de Transmisión	Número de conductores por fase
L.T. 220 kV Tingo María – Chaglla	2
Variante L.T. 220 kV Vizcarra – Antamina (L-2286)	1

Tipo, Material y Sección de los Conductores

A continuación, se presenta el resumen de conductores obtenidos y criterios de selección:

Tabla 16. Resumen de conductores obtenidos y criterios de selección

Sector Altitud [m.s.n.m.]	Tipo Conductor	Criterio de Selección	Vano regulador máximo [m] (*)
L.T. 220 kV Tingo María – Chaglla			
0 – 2000	2 x ACAR 850	Capacidad de Transmisión	2000
Variante L.T. 220kV Vizcarra – Antamina (L-2286)			
3000 – 4000	1 x ACSR 1033.5	Similar a la Línea Existente L-2286	2000

Se verificó que el conductor seleccionado cumple con los requerimientos del contrato de concesión, referidos particularmente a los límites de pérdidas Joule, los niveles de gradiente superficial y los límites de radiaciones no ionizantes, lo cual se demuestra en el informe de diseño electromecánico.

Nivel de Aislamiento a 60 Hz Y BIL Corregidos por Altura

De acuerdo con el anexo N° 1 del Contrato de Concesión, el equipamiento de las líneas en 220 kV, deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

Tabla 17. Requisitos mínimos de líneas anexo N° 1 del Contrato de Concesión.

LT 220 kV	
Tensión de operación nominal	220 kV
Tensión máxima de operación	245 kV
Tensión de sostenimiento al impulso atmosférico	1050 kV_{pico}
Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial (60 Hz)	460 kV

En la Tabla 18 se presentan los niveles básicos de aislamiento (BIL) corregidos por altitud frente a descargas atmosféricas.

Tabla 18. BIL corregido de la cadena de aisladores

Línea	**Cota máxima [m]**	**Densidad Relativa del Aire (*) δ**	**BILcorregido [kV_{pico}]**
LT 220 kV CS y DC cotas hasta 2000 msnm	2000	0,79	1325,3
LT 220 kV CS y DC cotas hasta 3000 msnm	3000	0,71	1488,9
LT 220 kV CS y DC cotas hasta 4000 msnm	4000	0,63	1672,7
LT 220 kV CS y DC cotas hasta 4500 msnm	4500	0,59	1773,0
Nota: (*) δ=e-A/8.59. Sección 2.6 Insulation Cordination for Power Systems - Hileman			

Tasa de Falla Esperada de Salida de Servicio

El diseño de aislamiento, de las distancias de seguridad, las puestas a tierra, el uso de materiales apropiados, así como la correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento, entre otros aspectos, deberán ser tales que la tasa de salida de servicio de la línea no exceda de “2 salidas/ (100 km·año)” para el nivel de 220 kV. Para las fallas de blindaje de las líneas 220 kV se considerará una tasa máxima de 0,01 por fallas de blindaje/100 km·año.

Tipo de Estructuras

- Para líneas de circuito sencillo a 220 kV, en los segmentos de variante se tendrán en cuenta las siguientes 2 familias de estructuras:

  Estructuras para zona costa y sierra con altitud hasta 3,000 msnm
  Estructuras para zona de sierra con altitud entre 3,000 msnm y 4,000 msnm

Características de los Cables de Guarda

A continuación, se presenta los cables de guarda que utilizarán las Líneas de Transmisión:

- L.T. 220 kV Tingo María – Chaglla

  0 -2000 msnm 1 x ACSR Dotterel y 1 x OPGW 108 mm^2 (81kA^2)

- Variante L.T. 220kV Vizcarra – Antamina (L-2286)

  3000 – 4000 msnm 1 x EHS 7/16’’ y 1 x OPGW 108 mm^2 (81kA^2)

4.3 SISTEMA CONTRAINCENDIOS

El sistema de detección contraincendios estará compuesto por un panel básico de alarmas, el mismo que será instalado en la sala de control.

Asimismo, se ha previsto la instalación de extintores manuales y rodantes localizados estratégicamente entre las instalaciones de la sala de control, casetas de campo, área de las celdas GIS respectivas y al exterior; especialmente en los sitios de mayor riesgo.

La ubicación y tipo de extintor a utilizarse de muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19. Sistema Contraincendios

Descripción	Localización
Extintor manual de CO_2, 15 lb.	En el exterior de la sala de baterías del edificio de control.
	En el interior de la sala de gabinetes del edificio de control.
	En el exterior de la sala de baterías y sala de gabinetes de la caseta de control.
Extintor manual de polvo químico seco (PQS), 20 lb.	En el exterior del almacén de productos químicos del edificio de control.
	En el exterior del depósito del edificio de control.
Extintor rodante de polvo químico seco (PQS), 125 lb.	En zona de grupo electrógeno y tanque de combustible.
	En zona de banco de autotransformadores de potencia.
	En zona de banco de reactores de línea y barra.

En el interior de las salas de baterías se ha considerado la implementación de lavaojos portátiles.

4.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO

El cálculo de la corriente de diseño se efectuará empleando el método recomendado por la norma IEEE Std 80-2013 “Guide for Safety in AC Substation Grounding” realizando estudios de distribución de corriente y determinando la condición de falla que produzca la mayor circulación de corriente por la malla y realizando mediciones de la resistividad eléctrica en el lote de la subestación.

La malla a tierra para la ampliación de la subestación se conectará a la malla existente, y para el diseño de la malla nueva se considerará un valor de resistencia objetivo, menor o igual a 1 ohmio, incluirá la retícula principal y conexiones a equipos y estructuras, en el cual se construirá la red enterrada en el patio de equipos y las colas de conexión a equipos, el mínimo calibre recomendado para el conductor de la malla de puesta a tierra es de 107 mm2 (4/0 AWG). Se incluirán también las varillas de cobre de 2,4 m y diámetro de 16 mm necesarias para puesta a tierra de los cables de guarda y pararrayos. Se utilizará una capa

de grava mínimo de 10 cm de espesor para cubrir el patio de conexiones en las zonas de instalación de equipos.

El apantallamiento del patio de llaves correspondiente a la ampliación de la subestación efectuará empleando el método de la norma IEEE Std 998-2012 “Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations”, instalando cables de guarda entre las diferentes columnas que conforman los pórticos nuevos y existentes, para lo cual se dispondrán en ellas los castilletes requeridos.

El cable de guarda correspondiente a la celda de línea se conectará a la malla de tierra de la subestación. En el patio se conectarán todas las estructuras metálicas de equipos, las estructuras de soporte de barras y demás elementos metálicos.

4.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Las nuevas instalaciones de iluminación exterior en el patio de las instalaciones en 220 kV en la nueva subestación Yungas será equipada acorde con los lineamientos establecidos en la tabla 111-2, CNE Suministro.

Las nuevas instalaciones de iluminación interior para las subestaciones citadas en párrafo anterior serán equipadas acorde con los lineamientos establecidos en CNE de suministro y utilización.

Asimismo, se tomará en consideración las especificaciones técnicas y el manual de ingeniería de ISA.

5 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE EQUIPAMIENTO

El equipamiento que se instalará en las subestaciones correspondiente al alcance del proyecto YANA será en tecnología GIS y en una menor proporción en tecnología convencional, como es el caso de los transformadores de tensión capacitivos, los descargadores de sobretensión y las celdas de conexión a los bancos de reactores; seleccionado con una distancia de fuga específica de 25 mm/kV, para tener en cuenta las condiciones ambientales presentes en el sitio de la subestación.

5.1 SUBESTACIÓN YUNGAS 220 KV.

Características equipamiento GIS

El equipamiento GIS tendrá un sistema neutral sólidamente aterrado. Las principales características se indican a continuación:

Tabla 20. Características GIS –Yungas 220 kV

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Características eléctricas		
Medio de extinción	-	SF_6
Máxima tensión de operación	kV	245
Frecuencia	Hz	60
Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up).	kV	1050
Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us).	kV	N.A.
Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud).	kV	460
Rata de fuga del SF6	%	≤ 0,5
Tipo de instalación	-	Exterior
b. Interruptor		
Medio de extinción.	-	SF_6
Máxima tensión de operación.	kV	245
Corriente asignada en servicio continúo.	A	2 500
Corriente de cortocircuito.	kA	40
Duración del cortocircuito asignada.	s	1
Tiempo de apertura.	ms	33 ± 3
Secuencia de operación.		O-0,3s-CO-3min-CO
Mando.	-	Unipolar
c. Seccionador		
Tipo de accionamiento	-	Tripolar
Corriente asignada en servicio continúo.	A	2500
Poder de corte asignado en cortocircuito.	kA	40
Tiempo de operación	s	1
d. Transformador de corriente		
Corriente asignada en servicio continúo.	A	2500-1250-625
Corriente secundaria asignada.	A	1
Corriente de cortocircuito térmica.	kA	40
Características núcleos de medida.		
• Cantidad		1
• Clase de precisión.		0,2 S
• Carga de precisión.		
• 625/1 (1S1-1S2)	VA	15
• 1250/1 (1S1-1S3)	VA	15
• 2500/1 (1S1-1S4)	VA	15
• Factor de seguridad.		≤ 10
Características de núcleos de protección.		

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
• Cantidad.		3
• Clase de precisión.		5P
• Factor límite de precisión.		20
• Carga de precisión.		
• 625/1 (3S1-3S2)	VA	15
• 1250/1 (3S1-3S3)	VA	30
• 2500/1 (3S1-3S4)	VA	60
e. Transformador de potencial		
Número de devanados secundarios.		3
Tensión primaria para el sistema.	kV	$220/\sqrt{3}$
Tensión secundaria para el sistema.	V	$110/\sqrt{3}$
Clase de precisión entre el 25 % y el 100 % de la carga de precisión.		
• Entre el 5 % y el 80 % de la tensión asignada.		3P
• Entre el 80 % y el 120 % de la tensión asignada.		0,2
• Entre el 120 % y el 150 % de la tensión asignada.		3P
- Carga de precisión.		
• Devanado 1.	VA	5
• Devanado 2.	VA	5
• Devanado 3.	VA	5
• Simultanea	VA	15
f. Bujes		
Tensión asignada.	kV	245
Corriente nominal.	A	2 500
Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up).	kV	1050 kV (a 3 800 msnm)
Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us).	kV	N.A.
Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud).	kV	460 kV (a 3800 msnm)

Características del transformador de tensión

Los transformadores de tensión serán del tipo capacitivo, inmersos en aceite. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 21. Características de transformador de tensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Número de devanados secundarios.		3
b. Tensión primaria para el sistema.	kV	$220/\sqrt{3}$
c. Tensión secundaria para el sistema.	V	$110/\sqrt{3}$
d. Clase de precisión entre el 25 % y el 100 % de la carga de precisión.		
- Entre el 5 % y el 80 % de la tensión asignada.		3P
- Entre el 80 % y el 120 % de la tensión asignada.		0,2
- Entre el 120 % y el 150 % de la tensión asignada.		3P
e. Carga de precisión.		
- Devanado 1.	VA	5
- Devanado 2.	VA	5
- Devanado 3.	VA	5
- Simultánea	VA	15
f. Factor de tensión asignado		
- Permanente		1,2
- Durante 30 s		1,5
g. Distancia mínima de fuga	mm	17050

Características de los descargadores de sobretensión

Los descargadores de sobretensión serán de ZnO, a instalar con contadores de descarga. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 22. Características de los descargadores de sobretensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión más elevada del sistema	kV	245
b. Tensión asignada.	kV	192
c. Tensión continúa de operación.	kV	154
d. Corriente de descarga asignada.	kA	20
e. Corriente asignada del dispositivo de alivio de presión.	kA	65
f. Clase de descarga de línea.	-	4
g. Tensión residual soportada al impulso tipo corriente de escalón	kV	538,1@20kA
h. Tensión residual al impulso tipo maniobra		
- Para 250 A	kV	341,4@125A
- Para 500 A	kV	358,7
- Para 1000 A	kV	369,4
- Para 2000 A	kV	380,2

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
i. Tensión residual al impulso tipo rayo		
- 5 kA	kV	408,2
- 10 kA	kV	432
- 20 kA	kV	471
j. Capacidad mínima de disipación de energía	kJ	≥10
k. Distancia mínima de fuga	mm	8834

Características de la trampa de onda

La trampa de onda tendrá las siguientes características principales:

Tabla 23. Características de la trampa de onda

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Tensión asignada.	kV	220
Frecuencia asignada.	Hz	60
Corriente asignada en servicio continúo.	A	2500
Corriente de corta duración admisible asignada.	kA	40
Ancho de banda (f_2 - f_1).	kHz	115-500

Características de los aisladores

Las cadenas de aisladores son conformadas por unidades de vidrio templado clase IEC-U120BP.

Tabla 24. Características de los aisladores de vidrio templado

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Longitud mínima de fuga	mm	445
Longitud de paso	mm	146
Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo.	kV	125
Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en húmedo.	kV	50
Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en seco.	kV	80
Carga mecánica nominal	kN	120
Número de aisladores en la cadena	Un	25

5.2 AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CHAGLLA 220 KV

Características de los interruptores

Los interruptores que se instalarán serán del tipo tanque vivo, con extinción del arco en SF6, accionamiento monopolar, con mando local y/o remoto. Los equipos tendrán las siguientes características generales:

Tabla 25. Características de interruptores

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Medio de extinción		SF6
Numero de polos		3
Tensión asignada	kV	245
Corriente asignada en servicio continuo	A	3150
Corriente de cortocircuito	kA	40
Duración del cortocircuito asignada	s	1
Tiempo total de apertura	ms	17 ± 2
Secuencia de operación		CO-15 s-CO O-0,3s-CO-3min-CO

Características de los seccionadores

Los seccionadores serán tipo rotación central y para salidas de las líneas se emplearán tipo rotación central con cuchilla de puesta a tierra, motorizados con mando local y remoto, sus características generales son las siguientes

Tabla 26. Características de seccionadores

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Tipo de ejecución		Exterior
Corriente asignada en servicio continuo	A	2500
Poder de corte asignado en cortocircuito	kA	50
Duración del cortocircuito asignada	s	1

Características del transformador de corriente

Los transformadores de corriente tendrán las siguientes características principales:

Tabla 27. Características de transformador de corriente

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Corriente asignada en servicio continuo	A	2500-1250-625
Corriente secundaria asignada	A	1
Corriente de cortocircuito térmica	kA	40
Duración del cortocircuito asignada	s	1
Características núcleos de medida		
a) Cantidad		1
b) Clase de precisión		0,2S
c) Carga de precisión	VA	15
d) Factor de seguridad		10
Características de núcleos de protección		
a) Cantidad		3
b) Carga de precisión	VA	15/30/60
c) Clase de precisión		5P
d) Factor límite de precisión		30

Características del transformador de tensión

Los transformadores de tensión serán del tipo capacitivo, inmersos en aceite. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 28. Características de transformador de tensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Número de devanados secundarios.		3
Tensión primaria para el sistema.	kV	220/√3
Tensión secundaria para el sistema.	V	110/√3
Clase de precisión entre el 25 % y el 100 % de la carga de precisión.		
− Entre el 5 % y el 80 % de la tensión asignada.		3P
− Entre el 80 % y el 120 % de la tensión asignada.		0,2
− Entre el 120 % y el 150 % de la tensión asignada.		3P
e. Carga de precisión.		
− Devanado 1.	VA	5
− Devanado 2.	VA	5
− Devanado 3.	VA	5

Características de los descargadores de sobretensión

Los descargadores de sobretensión serán de ZnO, a instalar con contadores de descarga. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 29. Características de los descargadores de sobretensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión asignada.	kV	192
b. Tensión continúa de operación.	kV	154
c. Corriente de descarga asignada.	kA	20
d. Corriente asignada del dispositivo de alivio de presión.	kA	65
e. Clase de descarga de línea.	-	4

Características de la trampa de onda

La trampa de onda tendrá las siguientes características principales:

Tabla 30. Características de la trampa de onda.

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión asignada.	kV	220
b. Frecuencia asignada.	Hz	60
c. Corriente asignada en servicio continúo.	A	2500
d. Corriente de corta duración admisible asignada.	kA	40
e. Ancho de banda (f_2 - f_1).	kHz	115-500

Características de los aisladores

Los aisladores de soporte tipo poste serán de porcelana con el nivel de aislamiento definido teniendo en cuenta las características del sistema y la altura de instalación, determinándose los esfuerzos electromecánicos según los datos de viento, sismo y cortocircuito de cada sitio. Los aisladores de soporte tipo poste tienen las siguientes características principales:

Tabla 31. Características de los aisladores tipo poste.

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión máxima de equipo.	kV	245

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
b. Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo, a nivel de instalación (Up).	kV	1 050
c. Tensión asignada de soportabilidad de maniobra (Us).	kV	N.A.
d. Tensión asignada soportada a frecuencia industrial (Ud).	kV	460
e. Resistencia en cantiléver.	kN	8

Las cadenas de aisladores son conformadas por unidades de vidrio templado clase IECU120B.

Tabla 32. Características de los aisladores de vidrio templado.

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Longitud mínima de fuga	mm	320
b. Longitud de paso	mm	146
c. Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo.	kV	100
d. Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en húmedo.	kV	40
e. Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en seco.	kV	70
f. Carga mecánica nominal	kN	120

5.3 AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN TINGO MARÍA 220 kV

Características equipamiento hibrido

Las principales características se indican a continuación:

Tabla 33. Características del equipamiento hibrido

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Características eléctricas		
Medio de extinción	-	SF6
Máxima tensión de operación	kV	245
Frecuencia	Hz	60
Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up).	kV	1050
Tensión asignada de soportabilidad a	kV	460
Frecuencia industrial (Ud).		
b. Interruptor		
Tensión asignada	kV	245

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Corriente asignada en servicio continuo	A	3150
Corriente de cortocircuito	kA	40
Duración del cortocircuito asignada	s	1
Tiempo total de apertura	ms	≤ 40
Secuencia de operación		O-0,3s-CO-3min-CO
c. Seccionador		
Tipo de accionamiento		Tripolar
Corriente asignada en servicio continuo	A	3150
Poder de corte asignado en cortocircuito	kA	40
Duración del cortocircuito asignada	s	1
d. Transformador de corriente		
Corriente asignada en servicio continuo	A	2 500 - 1250 - 625
Corriente secundaria asignada	A	1
Corriente de cortocircuito térmica	kA	40
Duración del cortocircuito asignada	s	1
Características núcleos de medida		
Cantidad		1
Clase de precisión		0,2S
Carga de precisión	VA	15
Factor de seguridad		≤ 10
Características de núcleos de protección		
Cantidad		3
Carga de precisión	VA	30
Clase de precisión		5P20
Factor límite de precisión		30
e. Bujes		
Tensión asignada.	kV	245
Corriente nominal.	A	2500
Tensión asignada de soportabilidad al impulso tipo rayo (Up).	kV	1050
Tensión asignada de soportabilidad a frecuencia industrial (Ud).	kV	460

Características de los seccionadores

Los seccionadores serán tipo rotación central y para salidas de las líneas se emplearán tipo rotación central con cuchilla de puesta a tierra, motorizados con mando local y remoto, sus características generales son las siguientes:

Tabla 34. Características de seccionadores

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
Tipo de ejecución		Exterior
Corriente asignada en servicio continuo	A	2500
Poder de corte asignado en cortocircuito	kA	50
Duración del cortocircuito asignada	s	1

Características del transformador de tensión

Los transformadores de tensión serán del tipo capacitivo, inmersos en aceite. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 35. Características de transformador de tensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Número de devanados secundarios.		3
b. Tensión primaria para el sistema.	kV	220/√3
c. Tensión secundaria para el sistema.	V	110/√3
d. Clase de precisión entre el 25 % y el 100 % de la carga de precisión.		
− Entre el 5 % y el 80 % de la tensión asignada.		3P
− Entre el 80 % y el 120 % de la tensión asignada.		0,2
− Entre el 120 % y el 150 % de la tensión asignada.		3P
e. Carga de precisión.		
− Devanado 1.	VA	5
− Devanado 2.	VA	5
− Devanado 3.	VA	5

Características de los descargadores de sobretensión

Los descargadores de sobretensión serán de ZnO, a instalar con contadores de descarga. Las características principales se indican a continuación:

Tabla 36. Características de los descargadores de sobretensión

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión asignada.	kV	192
b. Tensión continúa de operación.	kV	154
c. Corriente de descarga asignada.	kA	20
d. Corriente asignada del dispositivo de alivio de presión.	kA	65
e. Clase de descarga de línea.	-	4

Características de la trampa de onda

La trampa de onda tendrá las siguientes características principales:

Tabla 37. Características de la trampa de onda

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
a. Tensión asignada.	kV	220
b. Frecuencia asignada.	Hz	60
c. Corriente asignada en servicio continúo.	A	2500
d. Corriente de corta duración admisible asignada.	kA	40
e. Ancho de banda (f_2 - f_1).	kHz	115-500

Características de los aisladores

Las cadenas de aisladores son conformadas por unidades de vidrio templado clase IECU120B.

Tabla 38. Características de los aisladores de vidrio templado

Descripción	Unidad	Valor
		220 kV
g. Longitud mínima de fuga	mm	320
h. Longitud de paso	mm	146
i. Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo.	kV	100
j. Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en húmedo.	kV	40
k. Tensión asignada soportada a frecuencia industrial en seco.	kV	70
l. Carga mecánica nominal	kN	120

6 SISTEMA DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y REGISTRO DE FALLAS

Se considera el diseño, ingeniería de interfaz e integración, suministro, montaje, pruebas, puesta en servicio de los sistemas de control, protección, medición y telecomunicaciones de las subestaciones de este proyecto de acuerdo con la descripción de cada subestación descritas a continuación:

6.1 SUBESTACIÓN YUNGAS 220 KV

Sistema de Control de la Subestación

Se implementará un sistema de automatización (SAS) y estará basado en la norma IEC 61850. El sistema de control para la subestación estará conformado de la siguiente manera:

- **Nivel 0:** Constituido por los gabinetes de mando y control local de la GIS. (selectores, pulsadores) de los equipos de maniobra.
- **Nivel 1:** Constituido por un controlador de bahía 6MD85 y un mímico de emergencia para los mandos de cierre y apertura solo para los interruptores de 220 kV, ubicados en los gabinetes de control correspondiente a la caseta de control. Además, los controladores, IED's de protección, registradores de fallas, medidores y equipos de supervisión de servicios auxiliares estarán conectados a los switches, que llevarán información a los niveles 2 y 3 de control, ubicados en cada caseta de control.
- **Nivel 2:** Un sistema central de supervisión general de la subestación desde el edificio de control de la subestación está conformado por dos (2) unidades centrales controladoras de subestación SICAM PAS que están conectados con los dos (2) switches que a su vez están conectados a los switches de nivel 1 y dos (2) computadores de interfaz de usuario (IHM), que constituyen el sistema de supervisión y control remoto en tiempo real de la subestación.
- **Nivel 3**: El sistema de supervisión y control remoto en tiempo real de la subestación desde los Centros de Control de Planicie y San Juan, a través de los dos (2) router/firewall, ubicados en el gabinete controlador de subestación del edificio de control de la subestación.

Además, se implementará una (1) PC de gestión para los equipos de medición, registradores de fallas, relés de protección y controladores de bahía y una (1) PC de ingeniería.

A través de enlaces de datos de telecontrol, el SAS intercambia con el centro de control, toda la información operativa necesaria para operar remotamente la subestación, de esta manera el operador del centro de control puede maniobrar interruptores y seccionadores, reponer las protecciones, y ejecutar otros comandos.

Sistemas de Protección de Líneas 220 kV

Cada bahía de línea contará con el siguiente equipamiento de protección:

- **Protección principal:** GE L90 para las líneas a la S.E. Vizcarra y a la S.E. Antamina con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N),

sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP) y la función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.

- **Protección secundaria:** GE L90 para las líneas a la S.E. Vizcarra y a la S.E. Antamina con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP) y la función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.
- **Registrador de Fallas:** Registrador de fallas 7KE85 para cada línea de 220 kV, con su respectivo bloque de pruebas.

SISTEMA DE PROTECCIÓN DE BARRAS 220 kV y FALLA INTERRUPTOR

La protección diferencial de barras será del tipo distribuida, por lo que se tendrá un (1) relé multifunción 7SS52 unidad central y un (1) relé multifunción 7SS52 unidad de bahía por cada bahía de la subestación.

Relé multifunción 7SS52 con protección diferencial de barras (87B) y falla de interruptor (50BF). Cada unidad de bahía cuenta con su respectivo bloque de prueba para.

SISTEMA DE MEDICIÓN PARA 220 kV

Medidor contador de energía ION 8650 con capacidad de medición y registro de las variables eléctricas por fase y trifásicas de energía activa (MWh), energía reactiva (Mvarh), potencia activa (MW), potencia reactiva (Mvar), demanda máxima y mínima de potencia activa y reactiva, corriente (A), tensión (V), factor de potencia y frecuencia dentro de la clase de precisión especificada.

Sistema de Telecomunicaciones

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Yungas - S.E. Vizcarra se implementarán dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal sobre la fibra existente, para la protección diferencial de línea redundante que será de doble

conexión punto a punto del relé principal, esto de acuerdo con el esquema de protección existente.

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio respaldo sobre óptica nueva para la protección diferencial de línea y las teleprotecciones del relé secundario, también se tendrá un (1) equipo router para los servicios de datos.

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Yungas - S.E. Antamina se implementará dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal sobre fibra óptica existente, para la protección diferencial de línea redundante que será de doble conexión punto a punto del relé principal, esto de acuerdo con el esquema de protección existente. Asimismo, para el servicio de datos se utilizará la fibra óptica nueva y el router del enlace Yungas-Vizcarra, y la fibra óptica existente del enlace Vizcarra-Antamina, es decir para los datos se tendrá un enlace Yungas-Vizcarra-Antamina.
- Un sistema de telecomunicaciones por onda portadora como medio de respaldo, por lo que se tendrá un (1) equipo PLP, con teleprotección integrada para los servicios de voz, datos y para la teleprotección del relé secundario.

Adicionalmente la subestación Yungas contará con un sistema de telecomunicación satelital como medio de emergencia con servicios de voz y datos para la comunicación con los centros de control de Planicie y San Juan

SISTEMA DE CCTV

Esta subestación contará con un sistema de vigilancia perimetral mediante CCTV cuyo detalle puede observarse en los siguientes documentos:

Arquitectura Telecomunicaciones	PE-YANA-13Z01-S-00-K7718
Memoria de Diseño sistema de vigilancia CCTV:	PE-YANA-13Z01-S-04-D7725.

SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES

Para la alimentación principal del sistema de servicios auxiliares de la subestación Yungas se instalarán tres (3) transformadores inductivos cargables. La alimentación de respaldo será desde un grupo electrógeno 1 de 216 kVA de capacidad.

La alimentación de emergencia será provista por el grupo electrógeno 2 de 216 kVA de capacidad.

Por lo que se contará con transferencia automática de carga a través del controlador de servicios auxiliares 6MD85.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente alterna, será 380-220 Vca, trifásico cuatro hilos. Se instalará un gabinete de distribución de corriente alterna

380/220 Vca que alimentará a las cargas de la subestación y a la caseta de control que cuenta con su propio gabinete de distribución de corriente alterna para las cargas de la caseta.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente continua será de 125 Vcc dos hilos. Se instalará un gabinete de distribución de corriente continua 125 Vcc que estará alimentado por un sistema doble de cargador rectificador (sistema redundante) con su correspondiente banco de baterías 125 Vcc, para alimentar las cargas del edificio de control. Además, en la caseta de control tendrá su propio sistema de cargador rectificador, banco de baterías y gabinete de distribución de corriente continua 125 Vcc para las cargas de la caseta.

Para la supervisión de los servicios auxiliares de las casetas de control se contará con un (1) controlador 7SJ85, ubicado en el gabinete de distribución de servicios auxiliares de corriente alterna, en la caseta de control.

Para la energización de la subestación Yungas es necesario tener energizada la bahía de conexión de la línea hacia Yaros (sin la línea) ya que se requiere tener en servicio el PT Cargable para alimentación de los SSAA.

6.2 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN CHAGLLA 220 KV

Sistema de Control

Se implementará un sistema de automatización (SAS) y estará basado en la norma IEC 61850. El sistema de control para la subestación estará conformado de la siguiente manera:

- **Nivel 0**: Constituido por los gabinetes de mando y control local del AIS. (selectores, pulsadores) de los equipos de maniobra.
- **Nivel 1**: Constituido por un controlador de bahía 6MD85 y un mímico de emergencia para los mandos de cierre y apertura solo para el interruptor de 220 kV, ubicado en el gabinete de control correspondiente a la caseta de control. Además, el controlador, IED's de protección, registrador de fallas, medidor y equipos de supervisión de servicios auxiliares estarán conectados a los switches, que llevarán información a los niveles 2 y 3 de control, ubicados en cada caseta de control.
- **Nivel 2:** Un sistema central de supervisión general de la subestación ubicado en la caseta de relés de la subestación y estará conformado por una (1) unidad central controlador de subestación SICAM PAS con interfaz de usuario (IHM) que a su vez está conectado a los switches de nivel 1, que constituyen el sistema de supervisión y control remoto en tiempo real de la subestación.
- **Nivel 3:** El sistema de supervisión y control remoto en tiempo real de la subestación desde los Centros de Control de Planicie y San Juan, a través de un (1) switch router/firewall, ubicado en el gabinete controlador de subestación del edificio de control de la subestación.

A través de enlaces de datos de telecontrol, el SAS intercambia con el centro de control, toda la información operativa necesaria para operar remotamente la subestación, de esta manera el operador del centro de control puede maniobrar interruptores y seccionadores, reponer las protecciones, y ejecutar otros comandos.

Sistema de Protección y Registros de Fallas de Líneas 220 kV

Las bahías nuevas de líneas contarán con el siguiente equipamiento de protección:

- **Protección principal:** Relé multifunción 7SL87 con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP) y función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.
- **Protección secundaria:** Relé multifunción 7SL87 con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP) y función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.
- **Registrador de Fallas:** Registrador de fallas 7KE85 para la bahía de línea de 220 kV, con su respectivo bloque de pruebas.

Sistema de Protección de Barras 220 kV y Falla Interruptor

La protección diferencial de barras y falla interruptor existente es del tipo centralizado, referencia P746 marca ALSTOM. Por lo que la nueva bahía se integrará a esta protección diferencial, incluyendo su ajuste respectivo de la función ANSI 50BF.

Sistema de Medición para 220 kV

Medidor contador de energía ION 8650 con capacidad de medición y registro de las variables eléctricas por fase y trifásicas de energía activa (MWh), energía reactiva (Mvarh), potencia activa (MW), potencia reactiva (Mvar), demanda máxima y mínima de potencia activa y reactiva, corriente (A), tensión (V), factor de potencia y frecuencia dentro de la clase de precisión especificada.

Sistema de Telecomunicaciones

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Chaglla - S.E. Tingo María se implementarán dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal sobre fibra óptica nueva para las protecciones diferencial de línea punto a punto para los relés principal y secundario. Además, se tendrá un (1) equipo multiplexor SDH para los servicios de Ethernet, voz y datos y para la teleprotección del relé principal.

- Un sistema de telecomunicaciones por onda portadora como medio de respaldo, por lo que se tendrá un (1) equipo PLP, con teleprotección integrada para los servicios de voz, datos y teleprotección del relé secundario.

Sistema de Servicios Auxiliares

La alimentación principal de corriente alterna será tomada del gabinete de distribución existente a través de un nuevo transformador trifásico 460/380 V. La alimentación de respaldo proviene del grupo electrógeno de 460 V de la subestación.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente alterna existente, es de 460/270 V, trifásico cuatro hilos. Se instalará un gabinete de distribución de corriente alterna, el cual alimentará las cargas de la nueva bahía.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente continua será de 125 Vcc dos hilos. Se instalará un gabinete de distribución de corriente continua 125 Vcc que será alimentado por un sistema de cargador rectificador con su correspondiente banco de baterías 125 Vcc, para alimentar las cargas de la nueva bahía de línea.

Para la supervisión de los servicios auxiliares de la caseta de control contará con un (1) controlador 7SJ85, ubicado en el gabinete de distribución de servicios auxiliares de corriente alterna.

6.3 SUBESTACIÓN TINGO MARÍA 220 kV

SISTEMA DE CONTROL DE LA SUBESTACIÓN

Para la nueva línea Tingo María – Chaglla, se tiene contemplado instalar el sistema de control de nivel 1 para la nueva bahía, constituido por un controlador de bahía 6MD85 y un mímico de emergencia para los mandos de cierre y apertura solo para el interruptor de 220 kV, ubicado en el gabinete de control correspondiente al edificio de control.

Además, el controlador, IED’s de protección, registrador de fallas y medidor estarán conectados a un switch, que se integrará al sistema de automatización (SAS) existente basado en la norma IEC 61850.

SISTEMA DE PROTECCIÓN Y REGISTROS DE FALLAS DE LÍNEA 220 kV

La bahía nueva de línea cuenta con el siguiente equipamiento de protección:

- **Protección principal:** Relé multifunción 7SL87 con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP), función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85), función tramo de línea (STUB). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.
- **Protección secundaria**: Relé multifunción 7SL87 para la línea hacia la S.E. Chaglla con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), protección de recierre (79), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), verificación de sincronismo (25), localización de fallas (LF), unidad de medición fasorial (PMU), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP), función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85), función tramo de línea (STUB). El equipo cuenta con su respectivo bloque de pruebas.
- **Registrador de Fallas:** Registrador de fallas 7KE85 para la bahía de línea de 220 kV, con su respectivo bloque de pruebas.

SISTEMA DE MEDICIÓN PARA 220 kV

Medidor contador de energía ION 8650 con capacidad de medición y registro de las variables eléctricas por fase y trifásicas de energía activa (MWh), energía reactiva (MVArh), potencia activa (MW), potencia reactiva (MVAr), demanda máxima y mínima de potencia activa y reactiva, corriente (A), tensión (V), factor de potencia y frecuencia dentro de la clase de precisión especificada.

SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Tingo María - Chaglla se implementará dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal, para las protecciones diferencial de línea punto a punto para los relés principal y secundario. Además, se tendrá un (1) equipo multiplexor SDH, para los servicios ethernet, voz y datos y para la teleprotección del relé principal.

- Un sistema de telecomunicaciones por onda portadora como medio de respaldo, por lo que se tendrá un (1) equipo PLP, con teleprotección integrada para los servicios de voz, datos y teleprotección del relé secundario.

SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES

La alimentación de corriente alterna será tomada del gabinete de distribución existente. La alimentación principal del sistema de SS.AA. de la subestación Tingo María es tomada de un (1) transformador trifásico de servicios auxiliares. La alimentación de respaldo proviene por el grupo electrógeno 380-220 Vca de la subestación.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente alterna existente, es de 380/220 Vca, trifásico cuatro hilos, que tiene un gabinete de distribución de corriente alterna, el cual alimentará las cargas de la nueva bahía.

El sistema de distribución de servicios auxiliares en corriente continua existente es de 220 Vcc dos hilos, que tiene un gabinete de distribución de corriente continua 220 Vcc alimentado por un sistema de cargador rectificador con su correspondiente banco de baterías 220 Vcc, para alimentar las cargas del edificio de control existente y de la nueva bahía de línea.

6.4 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN VIZCARRA 220 kV

Sistema de Control

Para la línea L-2159 hacia la subestación Yungas se mantendrá el relé principal marca GE modelo L90 y se cambiará el relé de protección secundario de la marca GE modelo D60 por otro que tenga la función de protección diferencial de línea de la marca GE modelo L90.

Los equipos nuevos se integrarán al sistema de automatización (SAS) existente manteniendo la filosofía actual de integración de señales.

Sistema de Protección y Registros de Fallas de Líneas 220 kV

- **Protección secundaria**: Relé multifunción L90 con protecciones diferencial de línea (87L), de distancia (21/21N), bloqueo contra oscilaciones de potencia (68), protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N), sobrecorriente de fase y tierra instantánea y temporizada (50/50N y 51/51N), supervisión de circuito de disparo (74), protección de sobre y baja tensión (59/27), localización de fallas (LF), cierre sobre falla (SOFT), registro de fallas (RF), discrepancia de polos (DP) y la función de envío y recibo de disparo directo transferido y teleprotección (85) y función tramo de línea (STUB).

Sistema de Medición para 220 kV

Se mantendrá el sistema de medición existente el cual no sufre cambios.

Sistema de Telecomunicaciones

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Vizcarra - S.E. Yungas se implementará dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal sobre la fibra existente, para la protección diferencial de línea que será de doble conexión punto a punto. Además, se tendrá un (1) equipo multiplexor SDH, para los servicios de ethernet, voz, datos y la teleprotección del relé principal existente.
- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio respaldo sobre fibra óptica nueva para la protección diferencial de línea y las teleprotecciones del relé secundario, también se tendrá un (1) equipo router para los servicios de datos.

6.5 ADECUACIÓN SUBESTACIÓN ANTAMINA 220 kV

Sistema de Control de la Subestación

Se mantendrán los relés de protección principal y secundaria existentes para la línea L2286 hacia la S.E. Yungas.

Los equipos existentes quedan integrados al sistema de automatización (SAS) existente tal y como se encuentran actualmente.

Se implementarán relés de protección principal y secundaria marca GE modelo L90 en el lado de la subestación Yungas para la línea L-2286 con funciones de protección de acuerdo con el esquema existente.

Sistema de Telecomunicaciones

Para la línea de 220 kV entre la S.E. Antamina – S.E. Yungas se implementará dos sistemas de telecomunicaciones:

- Un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica como medio principal sobre fibra óptica existente para la protección diferencial de línea redundante que será de doble conexión punto a punto del relé principal, esto de acuerdo con el esquema de protección existente. Asimismo, para el servicio de datos se utilizará la fibra óptica nueva y el router del enlace Yungas-Vizcarra, y la fibra óptica existente del enlace Vizcarra-Antamina, es decir para los datos se tendrá un enlace Yungas-Vizcarra-Antamina.
- Un sistema de telecomunicaciones por onda portadora como medio de respaldo, por lo que se tendrá un (1) equipo PLP con teleprotección integrada para los servicios de voz, datos y para la teleprotección del relé secundario.

7 PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE SECUENCIA, LÍNEAS DEL PROYECTO

Con la información presentada en el estudio de transitorios electromagnéticos y mediante el software DIgSILENT PowerFactory se calculan los parámetros eléctricos de las líneas del proyecto YANA en su etapa 1.

En la Tabla 39 se presentan los parámetros eléctricos definitivos de las líneas de transmisión del proyecto, es decir, los parámetros eléctricos correspondientes a toda la longitud de las líneas analizadas para esto se hizo un promedio ponderado de los diferentes tipos de tramos que conforman la línea de transmisión.

Tabla 39. Parámetros eléctricos de secuencia, líneas del proyecto

Línea de transmisión / Enlace	Distancia [km]	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	B0 [µS/km]	B1 [µS/km]
Línea Yungas – Antamina 220 kV	41,10	0,38	1,61	0,06	0,51	2,34	3,28
Línea Yungas – Vizcarra 220 kV	12,01	0,39	1,68	0,06	0,51	2,37	3,27
Línea Chaglla – Tingo María 220 kV	39,09	0,22	1,03	0,04	0,38	2,49	4,33

8 ESTUDIOS ELÉCTRICOS

En este numeral se describen las conclusiones y recomendaciones presentadas en cada uno de los estudios eléctricos realizados para el estudio de operatividad de la Etapa 1 del proyecto YANA, garantizando la confiabilidad y la calidad de las condiciones operativas que se requieren para la puesta en servicio del Proyecto.

8.1 ESTUDIOS DE ESTADO ESTACIONARIO

Se ha realizado un análisis de estado estacionario del sistema y en especial de la zona cercana a las obras asociadas al proyecto YANA 1, ejecutando estudios de cortocircuito y de flujo de potencia en operación normal y en contingencia (N-1 y N-2).

De acuerdo con la metodología COES, los diferentes estudios se realizan considerando de manera comparativa, los Casos 0 y 1, Sin Proyecto y Con Proyecto respectivamente, que varían en sus condiciones operativas de acuerdo a las reducciones de generación referenciales que puede requerir la zona de impacto del Proyecto, desde el Caso Sin Proyecto. Se describe de manera breve, los casos considerados para el desarrollo del presente estudio:

- **Caso base:** Se considera la operación los proyectos “L.T. 220 kV Ishcayucro – Raurapata y Subestaciones Asociadas” y “Ampliación del sistema eléctrico de la S.E. Antamina – Etapa 1 (W1 Mineral)”.
- **Caso adicional 1:** Tomando como referencia el Caso Base, considerar la operación en anillo abierto del enlace en 138 kV Bellavista – Tarapoto.
- **Caso Adicional 2:** Tomando como referencia el Caso Base, considerar la operación de la SE Tingo María 220 kV en anillo abierto, con los interruptores que acoplan la nueva bahía de conexión de la línea Tingo María – Chaglla 220 kV fuera de servicio.

Para el Caso Base y el Caso Adicional 1, se consideran además del Escenario Base inicial, ocho Sensibilidades que varían el despacho de las unidades de las centrales Aguaytia y Chaglla como se especifica en la Tabla 40.

Tabla 40. Sensibilidades para Caso Base y Caso Adicional 1

Sensibilidad	CT Aguaytia [# unidades despachadas]	CH Chaglla [# unidades despachadas]
1	2	2
2	2	1
3	1	2
4	1	1
5	0	2
6	2	0
7	0	1
8	1	0

Estos análisis se realizan con el fin de observar el impacto que se presenta en el sistema al cambiar el despacho de las unidades de generación de las centrales Aguaytia y Chaglla.

Respecto a los problemas identificados para el caso Con Proyecto, se presentó en el informe de Esquema de Reducción de Generación, donde se propuso un Esquema con el ingreso del proyecto YANA 1 y se verifica la actuación de los esquemas especiales de protección de la zona con el fin de mitigar las problemáticas encontradas.

Flujo de potencia en operación normal

Caso Base y Caso Adicional 1

En general, los resultados para el Proyecto indican que en el Escenario Base y las ocho Sensibilidades, tanto de Caso Base como del Caso Adicional 1, los perfiles de tensión en la mayoría de las subestaciones no superan los límites de ±2,5 % respecto a la tensión de operación o nominal, según corresponda.

Sin embargo, las subestaciones Carhuamayo ATN 138 kV, Paragsha II 138 kV, Chaglla 220 kV y Tocache 138 kV si presentan valores de tensión por fuera de los rangos permitidos, pero las problemáticas en Carhuamayo ATN 138 kV y Paragsha II 138 kV se presentan desde el caso Sin Proyecto, por lo que no se atribuyen a la entrada en operación del proyecto si no a una limitación propia de la red. Por otro lado, las problemáticas en Chaglla 220 kV y Tocache 138 kV si se presentan solo para el Caso Con Proyecto, pero solo para Sensibilidades específicas, que consideran despachos que causan diversas problemáticas en el sistema. La subestación Chaglla 220 kV presenta dichas problemáticas ante las Sensibilidades 6 y 8, las cuales consideran no despachar ninguna de las unidades de generación de la CH Chaglla, por tanto, hay poca circulación de potencia activa por las líneas que conectan las subestaciones Paragsha II, Chaglla y Tingo María 220 kV, así que dichas líneas se encuentran descargadas y con una alta capacitancia, lo cual hace que se genere potencia reactiva y se eleve el perfil de tensión de la subestación Chaglla 220 kV. No obstante, esta problemática puede ser mitigada operando los taps de los transformadores y las compensaciones de la zona.

Por otro lado, la subestación Tocache 138 kV solo presenta problemáticas en la Sensibilidad 1 de Caso Base, donde se considera un despacho de generación muy alto, que no logra ser evacuado adecuadamente por el sistema; sin embargo, la problemática en la subestación Tocache 138 kV no se presenta para el Caso Adicional 1, lo que quiere decir que la condición operativa allí considerada, soluciona esta problemática.

Además de los problemas anteriores, algunas subestaciones también evidencian valores de tensión por fuera de los rangos, como es el caso de la subestación Yungas 220 kV que presenta un perfil de tensión por encima del límite superior permitido debido a que refleja la tensión dada por el SVC en Vizcarra 220 kV, que actualmente cuenta con una tensión de operación de 227 kV; del mismo modo, la subestación Ishcayucro 220 kV presenta sobretensiones debido a la cercanía con subestaciones que presentan tensiones de operación más altas. Por consiguiente, se sugiere reevaluar la tensión de operación de Yungas, Ishcayucro y Vizcarra, y se recomienda que las tres tengan un valor de 225 kV, el cual es un valor más adecuado. Cabe mencionar que la tensión de operación actual en Vizcarra 220 kV (227 kV) también eleva el perfil de tensión de las demás subestaciones de la zona, como ocurre con Antamina 220 kV, al punto de presentar valores por encima del límite permitido. Cabe aclarar, que una vez integrada la Etapa 2 de YANA, es necesario reevaluar las tensiones de operación de las subestaciones del proyecto.

En cuanto a los resultados asociados a los transformadores en la zona de influencia del proyecto, se observa que todos operan por debajo de su capacidad máxima de transporte, con excepción del transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV, que presenta sobrecarga únicamente en los escenarios del Caso Sin Proyecto, debido a una configuración de despacho poco favorable. En estos escenarios, dicho transformador alcanza niveles de cargabilidad cercanos al 100% durante todo el horizonte de análisis, lo que representa una limitación estructural del sistema. No obstante, esta condición se ve mitigada con el ingreso del proyecto, ya que habilita una nueva ruta para la exportación de la potencia generada por la CH Chaglla.

Por otro lado, los resultados de las líneas de transmisión evidencian que la mayoría cuenta con una cargabilidad menor a su máxima capacidad de transporte; sin embargo, se presentan algunas problemáticas que difieren entre el Caso Base y el Caso Adicional 1.

Para Caso Base, se evidencian problemáticas de cargabilidad en los enlaces entre Tingo María – Aucayacu – Tocache – Juanjui a nivel de 138 kV desde el caso Sin Proyecto, mientras que dichas problemáticas no se evidencian en el Caso Adicional 1, por lo que la apertura del interruptor del enlace Bellavista – Tarapoto 138 kV soluciona estas problemáticas.

La problemática de sobrecarga en la línea L-2259 Carhuamayo Nva - Oroya Nva 220 kV se presenta únicamente en la Sensibilidad 1, debido a la alta inyección de generación considerada en esta condición, lo que genera diversos inconvenientes. Esta sobrecarga ocurre solo cuando no se considera el proyecto en el escenario base, pero mejora significativamente cuando el proyecto está en operación, tanto en el caso base como en el adicional. Es importante destacar que esta situación no se atribuye a la entrada en operación del proyecto; por el contrario, el proyecto contribuye a mitigarla.

La línea L-1121 Piedra Blanca - Amarilis 138 kV presenta sobrecargas en la Sensibilidad 5 del Caso Base sin la implementación del proyecto. Esto se debe al elevado flujo de potencia

que debe evacuar hacia Tingo María 138 kV, sin el apoyo de la línea L-2154 Tingo María - Chaglla 220 kV, la cual entra en operación únicamente con el proyecto YANA 1. Con el proyecto, la L-1121 muestra problemas de cargabilidad únicamente en la Sensibilidad 1 del Caso Adicional 1, una condición crítica y poco probable que contempla el despacho simultáneo máximo de la central térmica Aguaytía y la central hidroeléctrica Chaglla, sin considerar restricciones hidrológicas.

Asimismo, la línea L-1142 Tingo María - Piedra Blanca 138 kV también presenta sobrecarga solo en el Caso Base sin proyecto, lo que refuerza que estas limitaciones no son atribuibles al ingreso del proyecto. En cambio, su operación contribuye a mejorar la distribución del flujo de potencia, descargando elementos cercanos a la subestación Paragsha II 220 kV que, en el escenario sin proyecto, operaban con alta cargabilidad.

Sin embargo, persisten limitaciones en los enlaces de 138 kV entre Tingo María y Paragsha II, así como entre Tingo María y Tarapoto, tanto en el escenario sin proyecto como con él. Las restricciones en el enlace Tingo María – Paragsha II están relacionadas, nuevamente, con la Sensibilidad 1, por lo que también son poco probables. En contraste, las problemáticas del enlace hacia Tarapoto son más relevantes, pero se ven mitigadas bajo la condición operativa del Caso Adicional 1. Por lo tanto, se concluye que este último representa la alternativa más favorable para el sistema, ya que soluciona la mayoría de las limitaciones presentes en el Caso Base.

Caso Adicional 2

Para este caso, solo se analizan los casos Con Proyecto, y no se evidencian problemáticas de cargabilidad en líneas y transformadores, pero si se evidencian problemáticas de tensión iguales a las registradas para el caso Sin Proyecto del Caso Base. Esto se debe a que la configuración topológica evaluada para el Caso Adicional 2, es muy similar al caso Sin Proyecto de Caso Base. En base a estos resultados, se concluye que la operación en anillo abierto de la subestación Tingo María 220 kV, que evidencia la condición temporal previa a la puesta en servicio de la línea Tingo María – Chaglla 220 kV, no ocasiona problemáticas adicionales a las registradas en Caso Base.

Flujo de potencia en contingencia

Caso Base y Caso Adicional 1

El transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV, se ha identificado como un elemento crítico que presenta problemáticas ante casi todas las contingencias para el caso Sin Proyecto, tanto en Caso Base como en el Caso Adicional 1. Este elemento presento problemáticas para el caso Sin Proyecto desde operación normal y es reincidente para operación en contingencia, dado que debe transportar un alto flujo de potencia para evacuar la alta generación inyectada en la subestación Paragsha II 220 kV por parte de la CH Chaglla, en especial para el caso Sin Proyecto, donde dicha generación no puede ser evacuada hacia Tingo María 220 kV. Para el caso Con Proyecto, se presentan problemáticas ante pocas contingencias, que además se presentan desde el Caso Sin Proyecto, por lo que se concluye que la problemática asociada al transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV es mitigada en el caso Con proyecto, para la mayoría de las contingencias, gracias a que la línea L-2154 Tingo María - Chaglla 220 kV del proyecto YANA 1 es un camino adyacente de evacuación para la potencia inyectada por la CH Chaglla, lo cual alivia a todos los elementos cercanos a Paragsha II 220 kV.

Para Caso Base, se evidencia que las líneas L-1122 Tingo María - Aucayacu 138 kV y L-1124 Tocache - Aucayacu 138 kV son elementos críticos, que presentan problemáticas de cargabilidad ante la ocurrencia de casi todas las contingencias desde el caso Sin Proyecto, pero en mayor medida para el Caso Con Proyecto, en el Escenario Base y las ocho Sensibilidades; esto se debe a que el ingreso de la línea L-2154 Tingo María – Chaglla 220 kV, aumenta la potencia inyectada en Tingo María 220/138 kV, lo cual afecta al enlace a nivel de 138 kV entre Tingo María y Tarapoto. Cabe mencionar que estas líneas presentaban problemáticas desde operación normal y son reincidentes. De modo similar, se identifica que los transformadores de Tingo María 220/138/10 kV también son elementos críticos en Caso Base, puesto que presentan problemáticas ante la ocurrencia de casi todas las contingencias, desde el caso Sin Proyecto pero en mayor medida para el Caso Con Proyecto, dado que como se mencionó anteriormente, se presenta mayor inyección de generación en Tingo María 220 kV para el caso Con Proyecto. Contrario a esta condición, el Caso Adicional 1 no evidencia problemáticas en las líneas L-1122 Tingo María – Aucayacu 138 kV y L-1124 Tocache - Aucayacu 138 kV y muy pocas problemáticas para los transformadores de Tingo María 220/138/10 kV, que además se presentan desde el caso Sin Proyecto; esto quiere decir que la apertura del interruptor del enlace Bellavista – Tarapoto 138 kV ayuda a mitigar las problemáticas mencionadas, puesto que esta consideración, hace que disminuya el flujo de potencia que debe ser transportado por el enlace entre Tingo María y Bellavista 138 kV lo cual alivia a todos los elementos de transmisión incluidos en este enlace y a los transformadores de Tingo María 220/138/10 kV que transportan la potencia hacia dicho enlace. Por las mismas razones, los enlaces entre las subestaciones Tocache – Juanjui – Bellavista – Tarapoto a nivel de 138 kV presentan problemáticas desde el caso Sin Proyecto, ante la ocurrencia de las contingencias 15, 23, 28 y 36 en Caso Base, que son mitigadas en el Caso Adicional 1.

Por otra parte, la línea L-1121 Piedra Blanca - Amarillis 138 kV presenta problemáticas desde el caso Sin proyecto de Caso Base, ante la ocurrencia de algunas contingencias, las cuales tienen en común su cercanía con las subestaciones Tingo María 220/138 kV y Paragsha II 220 kV. Sin embargo, para el Caso Adicional 1, esta línea resulta crítica, dado que presenta valores de cargabilidad por encima de 120% ante la ocurrencia de casi todas las contingencias, en mayor medida para el caso Con Proyecto. Esto se debe a la apertura del interruptor del enlace entre Bellavista y Tarapoto 138 kV, condición operativa que como se vio anteriormente, disminuye el flujo de potencia que debe ser transportado por el enlace entre Tingo María y Bellavista 138 kV pero que en contraste aumenta la potencia por el enlace entre Tingo María y Paragsha II 138 kV. Cabe mencionar que, a excepción de las problemáticas de cargabilidad que se presentan ante la ocurrencia de las contingencias 7 y 28 (1LT y 2LT Chaglla y Paragsha II 220 kV), las problemáticas que presenta la línea L-1121 ante la ocurrencia de otras contingencias, pueden ser mitigadas con la operación de los taps y las compensaciones de la zona, puesto que son valores de cargabilidad cercanos al 120%. Por otro lado, las problemáticas que se presentan ante las contingencias 7 y 28 son evaluadas en el informe de esquema de reducción de generación y se verifica que pueden ser mitigadas por medio de los esquemas especiales de protección de la zona y por el Esquema de reducción de generación propuesto por YANA en dicho documento.

Además, se ha identificado, que las contingencias que desconectan elementos de las subestaciones Tingo María 220/138 kV y Paragsha II 220 kV, en especial, las contingencias 15, 19, 24, 26 y 28, ocasionan diversas problemáticas de cargabilidad y tensión en

elementos a nivel de 138 kV y 220 kV. La potencia inyectada en las subestaciones mencionadas es considerablemente alta debido a la presencia de diversas centrales de generación en la zona, lo cual hace que las contingencias que dificultan la evacuación de dicha potencia, ocasionen problemáticas en los elementos cercanos, que deben transportar un flujo de potencia mayor para suplir el transporte de los elementos en contingencia, lo que ocasiona grandes sobrecargas en elementos de transmisión que a su vez, afectan los perfiles de tensión de las subestaciones conectadas a dichos elementos. A modo general, la contingencia 15 resulta crítica para los elementos cercanos a Tingo María , en especial para el caso Sin Proyecto, mientras que la contingencia 26 resulta critica para los elementos cercanos a Paragsha II 220 kV, en especial para el caso Sin Proyecto. Por otro lado, la contingencia 28, la cual solo ocurre para el caso Con Proyecto, también ocasiona diversas problemáticas en la zona, las cuales serán evaluadas por el esquema de reducción de generación propuesto por el proyecto YANA.

La contingencia 36, también ocasiona diversas problemáticas de cargabilidad y tensión en diversos elementos de la zona durante casi todo el horizonte de análisis, en mayor medida para el caso Sin Proyecto, dado que esta contingencia ocasiona una redistribución de los flujos de potencia y dificulta su evacuación a través del anillo de 500 kV.

Para dar mayor claridad sobre las problemáticas que se presentan exclusivamente para el caso Con Proyecto, a continuación se detalla una tabla resumen de los elementos sobrecargados, que indica si presentan sobrecargas desde Operación normal o solo para Operación en Contingencia y si se presentan para el Caso Base, el Caso Adicional 1 o ambos.

NOMBRE	NIVEL DE TENSIÓN [kV]	NOTA	CASO
TR3_1 Tingo María	220/138/10	N-1	CB y CA1
TR3_2 Tingo María	220/138/10	N-1	CB y CA1
TR3 Paragsha II	220/127/10	N-1	CB y CA1
L-2252 Tingo María - Vizcarra 220 kV	220	N-1	CB y CA1
L-1121 Piedra Blanca - Amarilis 138 kV	138	ON	CB y CA1
L-1142 Tingo María - Piedra Blanca 138 kV	138	N-1	CB y CA1
L-1122 Tingo María - Aucayacu 138 kV	138	ON	CB
L-1124 Tocache 138 - Aucayacu 138 kV	138	ON	CB
L-1016 Juanjui - Tocache 138 kV	138	ON	CB
L-1019 Juanjui - Bellavista 138 kV	138	N-1	CB
L-1120 Amarilis - Paragsha II 138 kV	138	N-1	CB y CA1

Nota:
- ON: presenta sobrecarga desde operación normal y es reincidente para operación en contingencia.
- N-1: solo presenta sobrecarga para operación en contingencia.
- CB: solo presenta sobrecarga en Caso Base.
- CB y CA1: presenta sobrecarga para el Caso Base y el Caso Adicional 1.

Finalmente, al comparar los resultados para el Caso Base y el Caso Adicional 1 en la tabla anterior, se concluye que la mejor condición operativa para el sistema es la considerada en el Caso Adicional 1, puesto que evidencia menos problemáticas en el Escenario Base y todas las Sensibilidades, con respecto a las registradas en Caso Base. Cabe mencionar, que el Caso Adicional 1 evidencia menos problemáticas tanto para el caso Sin Proyecto como para el caso Con proyecto.

Las problemáticas de cargabilidad identificadas se abordan en el informe de Esquema de Reducción de Generación a través de los esquemas especiales de protección propuestos por las centrales de la zona, las cuales están directamente involucradas. Además, ISA propone un esquema de reducción de generación con el ingreso de YANA para ser integrado en la zona y así minimizar el impacto en el sistema ante condiciones críticas, como es el caso de la salida del doble circuito Chaglla - Paragsha 220 kV.

Caso Adicional 2

Para este caso, se presentan problemáticas ante las contingencias 2, 3 y 4 dado que aíslan o consideran fuera de servicio a la línea L-2252, lo cual es una condición crítica para el sistema puesto que el transporte de potencia entre las subestaciones Tingo María y Vizcarra a nivel de 220 kV es muy importante para la evacuación de potencia y la atención de demanda de la zona. Por esta razón, no se logra convergencia en algunos escenarios ante la ocurrencia de las contingencias mencionadas y además, se presentan sobrecargas en los transformadores TR3 Paragsha II 220/127/10 kV y TR3_2 Tingo María 220/138/10 kV.

Según lo anterior, mientras el sistema opera bajo el Caso Adicional 2, se recomienda realizar las maniobras en los escenarios de demanda Mínima, puesto que se ha identificado este escenario como el menos crítico ante la ocurrencia de las contingencias mencionadas.

Finalmente, el ingreso del proyecto YANA 1, mejora algunas condiciones operativas de la zona, en especial a nivel de 220 kV y en los elementos cercanos a Paragsha II 220 kV, pero afecta enlaces a nivel de 138 kV que conectan con la subestación Tingo María. Para solucionar las problemáticas asociadas al enlace entre Tingo María y Tarapoto 138 kV se recomienda la operación en anillo abierto del enlace Bellavista – Tarapoto 138 kV, como se evaluó en el Caso Adicional 1. En cuanto a las problemáticas relacionadas al enlace entre Tingo María y Paragsha II 138 kV, deben ser abordadas con los esquemas especiales de protección de la zona o por el esquema propuesto por YANA en el informe de Esquema de Reducción de Generación; sin embargo, cabe mencionar que el ingreso de la Etapa 2 del proyecto YANA considera aumentar la capacidad de transmisión de este enlace, lo que mitigaría sus problemáticas.

Secuencia de Energización y Condiciones de Cierre

Se analizaron los pasos para la energización de la Etapa 1 del Proyecto YANA que comprende las líneas Vizcarra - Yungas – Antamina 220 kV y Tingo María – Chaglla 220 kV, en los diferentes escenarios operativos de demanda y realizando las posibles secuencias de energización.

Se presentó un buen comportamiento del sistema y adecuadas condiciones de tensión y ángulo para la conexión y sincronización de los elementos que conforman esta etapa del Proyecto.

Se recomienda energizar las líneas Vizcarra – Yungas 220 kV y Yungas - Antamina 220 kV con el orden presentado en secuencia 1, correspondiente a iniciar por la subestación Vizcarra hacia Yungas y finalizando con el cierre de la línea Yungas – Antamina en el extremo de Antamina. La energización de la línea Chaglla – Tingo María 220 kV se sugiere realizarla desde el extremo de Tingo María.

Se analizaron todos los pasos para una correcta energización de la Etapa 1 tanto para el Caso Base como para el Caso Adicional 1 del proyecto y se encontró que ninguna de las

secuencias produce condiciones que impidan la energización y sincronización de los elementos, cumpliendo los criterios ceñidos a la reglamentación establecida por el COES.

Como análisis complementario, se analiza el sincronismo del enlace Tingo María – Belaunde Terry 138 kV para Caso Base, donde se tiene que algunos tramos superan los ajustes establecidos en el AECP del año 2022 en al menos una de las demandas analizadas, como lo son Tingo María – Aucayacu, Aucayacu – Tocache, Tocache – Juanjui y Tarapoto – Belaunde Terry 138 kV. Cabe resaltar que, en la mayoría de los tramos mencionados se presenta el incumplimiento del ajuste establecido desde los escenarios Sin Proyecto.

Debido a que la sincronización en el enlace Tingo María – Belaunde Terry 138 kV presenta problemáticas en cuanto a la superación de los ajustes establecidos para la diferencia angular y de tensión en algunos tramos, se propone una modificación en los ajustes que permiten el cumplimiento del sincronismo.

Línea de Transmisión	Subestación 1 (S1)	Subestación 2 (S2)	Delta de tensión actual [%]		Delta de tensión propuesto [%]		Diferencia angular actual [Δø]		Diferencia angular propuesto [Δø]	
			S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
L-1122	Tingo María	Aucayacu	15	15	15	15	40	40	50	50
L-1124	Aucayacu	Tocache	12	15	12	20	40	30	50	50
L-1016	Tocache	Juanjui	15	10	15	15	30	30	40	35
L-1019	Juanjui	Bellavista	15	10	15	10	30	30	30	30
L-1017	Bellavista	Tarapoto	15	10	15	10	30	30	30	30
L-1018	Tarapoto	Belaunde Terry	10	10	35	30	30	30	40	40

Además, se opta por evaluar el Caso Adicional 1, en el que se considera la operación en anillo abierto del enlace Bellavista – Tarapoto 138 kV. Se realiza la metodología de energización en todos los tramos que comprende el enlace Tingo María – Bellavista y Belaunde Terry – Tarapoto 138 kV y se verifica que para las secuencias analizadas no se generan magnitudes de tensiones que superen la tensión máxima de operación establecida por el COES en la reglamentación vigente.

En la verificación de energización de ambos enlaces, no se encuentra ningún tramo que trasgreda los limites exigidos, es por esto que se recomienda entonces, en caso de ser necesario, energizar con la operación en anillo abierto del enlace Bellavista – Tarapoto 138 kV.

Estudio de Cortocircuito

Se ha realizado un análisis de cortocircuito operativo y de Máxima generación en el área de influencia del Proyecto, evaluando que las corrientes de cortocircuito ante fallas monofásicas, trifásicas, bifásicas aisladas y bifásicas a tierra no superen las capacidades de interrupción de los equipos asociados a las subestaciones que se encuentran cercanas al Proyecto.

Al finalizar el ingreso de la Etapa 1 del Proyecto YANA se tiene un leve aumento en la corriente de cortocircuito para las subestaciones aledañas al Proyecto respecto al análisis previo a su ingreso. Lo anterior permite identificar que el Proyecto tiene un impacto positivo en el sistema, ya que aumenta la capacidad de transmisión, la confiabilidad del sistema y su

fortaleza. La subestación que presenta las mayores corrientes de cortocircuito en la zona de influencia del Proyecto es Chilca CTM 500/220 kV, esto se debe a que son nodos principales para la generación, transmisión y evacuación de la generación Centro - Sur. Con el ingreso del Proyecto, se observa un incremento leve que no supera en ningún momento las capacidades de ruptura de dichas subestaciones.

Se ha realizado la verificación de las corrientes de cortocircuito para las subestaciones asociadas al Proyecto a nivel de 23 kV, 138 kV, 220 kV y 500 kV. Los resultados indican que estas corrientes se encuentran dentro de los límites de capacidad de ruptura, concluyendo así, que la implementación del Proyecto no genera inconvenientes en los componentes asociados a dichas subestaciones. En general, la puesta en servicio de la Etapa 1 del Proyecto YANA no representa un impacto negativo para los elementos de la zona de influencia del Proyecto, por el contrario, fortalece la robustez. Se recomienda tomar como referencia las corrientes identificadas en este análisis para el dimensionamiento de nuevos equipos que quieran ser incluidos en el sistema.

Adicionalmente, se ha realizado el cálculo de la relación de impedancia vista hacia la fuente de una línea (SIR), esto para todas las líneas de transmisión asociadas al Proyecto YANA. El SIR es un factor importante para la definición del esquema de protecciones del sistema. A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada una de las líneas analizadas.

Línea de Transmisión	SIR	Extremo 1	Extremo 2	Clasificación
LT Vizcarra(1) - Yungas(2) 220 kV	SIR_{3ph}	4,36	5,20	Línea Corta
LT Yungas(1) - Antamina(2) 220 kV	SIR_{3ph}	1,53	1,84	Línea Media
LT Chaglla(1) - Tingo María (2) 220 kV	SIR_{3ph}	1,46	1,97	Línea Media

8.2 ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Se ha llevado a cabo un análisis de estabilidad transitoria desde distintos enfoques del comportamiento dinámico del sistema eléctrico en la zona de influencia de las obras asociadas a la primera Etapa del Proyecto YANA. A partir de los resultados obtenidos en los casos base y adicionales se destacan las siguientes conclusiones relevantes.

En general, los casos y eventos evaluados muestran una marcada tendencia a conservar el sincronismo del sistema, un amortiguamiento adecuado de las variables dinámicas y una recuperación efectiva de la frecuencia y la tensión tras el despeje de las perturbaciones, conforme a los criterios de seguridad y calidad establecidos en el Procedimiento Técnico Nº20 (PR 20). Las situaciones que presentan problemas de cargabilidad en elementos de transmisión o desviaciones de tensión en subestaciones reflejan un comportamiento consistente con los resultados del estudio de estado estacionario, reafirmando la validez de los hallazgos bajo distintos enfoques analíticos.

Respecto a los eventos de pérdida de sincronismo, se ha determinado que no están directamente relacionados con la entrada en operación del Proyecto. Estas condiciones ya se manifiestan en los escenarios sin proyecto, y en varios casos, la implementación del Proyecto contribuye a mitigar o eliminar estas problemáticas, lo cual demuestra un impacto positivo en la estabilidad global del sistema.

Asimismo, se ha verificado que la tensión en la subestación Antamina 23 kV presenta una recuperación rápida y sostenida una vez aclarada la falla, manteniéndose dentro de los límites permitidos en todas las simulaciones consideradas. Por tanto, se concluye que la inclusión del Proyecto no representa riesgo alguno para los equipos internos de dicha subestación.

En cuanto al desempeño del SVC Vizcarra, se evidencia que ajusta su aporte de potencia reactiva de forma coherente con la dinámica de la tensión ocasionada por las perturbaciones, mostrando un comportamiento amortiguado y tendiente a la estabilidad. Este desempeño contribuye de manera efectiva al control de tensiones en la zona, reforzando la respuesta del sistema ante contingencias y respaldando el buen comportamiento observado en los perfiles de tensión.

Adicionalmente, durante el régimen transitorio, se observaron oscilaciones breves en la señal de frecuencia asociadas a la duración de las fallas. Estas oscilaciones no comprometen la estabilidad del sistema ni están vinculadas a la implementación del Proyecto, ya que también ocurren en escenarios sin proyecto y obedecen a características propias de la solución numérica y de los controles dinámicos del sistema.

En cuanto a los eventos de rechazo de generación, la mayoría muestran un comportamiento estable del sistema, sin activación del Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia (ERACMF). No obstante, en condiciones de hidrología de avenida, la desconexión de la Central Hidroeléctrica Chaglla puede llegar a activar algunas etapas del esquema debido a su alta participación en el despacho. Esta condición se presenta incluso sin el Proyecto, por lo que se recomienda asegurar una respuesta efectiva de la regulación primaria de frecuencia para mitigar la caída de frecuencia y evitar el accionamiento innecesario de protecciones.

Asimismo, se identificaron eventos que generan sobrecargas en líneas y transformadores de la zona, (L-1120, L-1121, L-1142, L-2252 y TR1–TR2 Tingo María 220/138 kV para el Escenario Base; L-1121, L-1122, L-2151, L-1016, L-1124, L-1142, L-2063 y TR3 Paragsha II 220/138 kV para la Sensibilidad 3), ante los cuales se considera necesaria la verificación de los esquemas de reducción de generación de la zona o la implementación de uno. Dicho esquema ha sido validado en escenarios de sensibilidad con máxima generación, demostrando ser efectivo para aliviar las condiciones de sobrecarga y preservar la seguridad operativa.

Tambien se han identificado a lo largo del presente documento, todos los eventos que generan perdida de estabilidad para el Caso Base y el Caso Adicional 1, asi como las condiciones por las cuales se presenta la inestabilidad. Lo anterior se evidencia a modo de resumen en la tabla a continuacion:

Evento	Descripción	Año	Despacho	Demanda	Presenta inestabilidad		Causa de la inestabilidad
					Sin proyecto (SP)	Con proyecto (CP)	
079	Falla Trifásica LT Paragsha II – Chaglla 220 kV al 99%	2026	Estiaje	Mínima	No	No	Eventos críticos debido a que evalúan la falla de enlaces estratégicos para el transporte de la generación de la zona, por lo que su
				Media	No	No	
				Máxima	No	No	
		2027	Avenida	Mínima	Si	No	
				Media	Si	No	

Evento	Descripción	Año	Despacho	Demanda	Presenta inestabilidad		Causa de la inestabilidad
					Sin proyecto (SP)	Con proyecto (CP)	
				Máxima	Si	No	indisponibilidad genera perdida de sincronismo en las centrales cercanas, al punto de provocar la inestabilidad
081	Falla Trifásica LT Paragsha ll – Chaglla 220 kV (Doble enlace) al 1%	2026	Estiaje	Mínima	No	Si	
				Media	No	Si	
				Máxima	No	Si	
		2027	Avenida	Mínima	No	Si	
				Media	No	Si	
				Máxima	No	Si	
083	Falla Trifásica LT Paragsha ll – Chaglla 220 kV (Doble enlace) al 99%	2026	Estiaje	Mínima	No	Si	
				Media	No	Si	
				Máxima	No	Si	
		2027	Avenida	Mínima	No	Si	
				Media	No	Si	
				Máxima	No	Si	
093	Falla Trifásica LT Tingo María – Vizcarra 220 kV al 1%	2026	Estiaje	Mínima	No	No	Eventos críticos para la evacuación de potencia, cuya ocurrencia genera múltiples sobrecargas en los enlaces cercanos, al punto de provocar la inestabilidad
				Media	No	No	
				Máxima	No	No	
		2027	Avenida	Mínima	No	No	
				Media	Si	No	
				Máxima	Si	No	
095	Falla Trifásica LT Tingo María – Vizcarra 220 kV al 99%	2026	Estiaje	Mínima	No	No	
				Media	No	No	
				Máxima	No	No	
		2027	Avenida	Mínima	No	No	
				Media	Si	No	
				Máxima	Si	No	

Finalmente, se observa que todos los eventos que tienden a la inestabilidad en el caso sin proyecto, mejoran su comportamiento con la inclusión del mismo, esto debido al incremento de la confiabilidad, capacidad de evacuación y flexibilidad operativa del SEIN en la zona de influencia que brinda la línea Tingo María – Chaglla 220 kV para exportar la potencia. El único evento “critico” es la pérdida de la doble terna Paragsha – Chaglla 220 kV, sin embargo, en el esquema propuesto se recomienda una desconexión casi inmediata de una unidad, para evitar la pérdida de sincronismo del sistema.

Análisis de Tiempos Críticos

Los tiempos críticos máximos de despeje de fallas trifásicas en las subestaciones evaluadas cumplen satisfactoriamente con los indicadores de desempeño establecidos por el COES. En todos los casos, los tiempos críticos obtenidos son superiores al umbral mínimo de 100 ms, valor que representa el tiempo máximo permitido para la actuación de las protecciones principales y la desconexión del elemento fallado. Asimismo, se han identificado las centrales cuyas máquinas condicionan el tiempo crítico de despeje de falla en cada subestación,

destacándose entre ellas las centrales hidroeléctricas El Carmen, Marañón, Chaglla, así como la central termoeléctrica Aguaytía.

8.3 ESQUEMA REDUCCIÓN GENERACIÓN

En el presente documento se ha verificado la actuación de los esquemas especiales de protección en la zona de influencia del proyecto YANA 1, para mitigar las sobrecargas del caso Con Proyecto del Caso Adicional 1, identificadas en el estudio de flujo de potencia de Estado Estacionario; además, se ha propuesto un esquema de Reducción de Generación ante el ingreso de la primera etapa del Proyecto YANA (Esquema YANA). Este esquema tiene como finalidad, reducir la generación de la CH Chaglla cuando ocurre la contingencia de la doble terna Chaglla – Paragsha II 220 kV (Contingencia 28) y se presentan sobrecargas en las líneas a nivel de 138 kV, asociadas a la subestación Tingo María. Cabe resaltar que, solo se analizan las sobrecargas para el Caso Adicional 1 dado que desde el estudio de flujo de potencia se ha identificado como la condición operativa con menos problemáticas y por consiguiente, la más acertada para el sistema.

Al analizar los esquemas especiales de protección existentes de la zona y sus condiciones de activación, se ha identificado cuáles de ellos pueden ayudar a mitigar las sobrecargas registradas exclusivamente para el caso Con Proyecto. En la tabla a continuación, se describen las contingencias que generan sobrecargas, los elementos a monitorear y los esquemas existentes que podrían ayudar a mitigar dichas sobrecargas.

Elemento	Contingencia	Esquema	Escenario
L-1142 Tingo María - Piedra Blanca 138 kV	7 (LT Paragsha II – Chaglla 220 kV)	Esquema 1145	Sensibilidad 1
L-1121 Piedra Blanca - Amarillis 138 kV			
TR3 Paragsha II 220/127/10 kV	11 (LT Tingo María – Chaglla 220 kV)	Esquema disparo S.E. Paragsha Nueva	Escenario Base Sensibilidad 1 Sensibilidad 3 Sensibilidad 5 Sensibilidad 7
TR3_1 Tingo María 220/138/10 kV	25 (TR3_2 Tingo María 220/138/1 kV)	Esquema AGR Tingo María	Sensibilidad 1
TR3_1 Tingo María 220/138/10 kV	26 (TR3 Paragsha II 220/138/10 kV)		
TR3_2 Tingo María 220/138/10 kV			
L-1142 Tingo María - Piedra Blanca 138 kV	28 (2LT Paragsha II - Chaglla 220 kV)	Esquema YANA	Escenario Base Sensibilidad 1 Sensibilidad 2 Sensibilidad 3 Sensibilidad 4 Sensibilidad 5 Sensibilidad 7
L-1121 Piedra Blanca - Amarillis 138 kV			
L-1120 Amarillis - Paragsha II 138 kV			
L-2252 Tingo María - Vizcarra 220 kV			
TR3_1 Tingo María 220/138/10 kV			

Elemento	Contingencia	Esquema	Escenario
TR3_2 Tingo María 220/138/10 kV			

Las líneas 1142 y 1121 presentan sobrecargas ante la ocurrencia de la contingencia 7. Estas líneas se han identificado como elementos críticos en el sistema desde Operación Normal y desde el Caso Sin Proyecto, según el estudio de Flujo de Potencia de Estado Estacionario. Para los escenarios del caso Con Proyecto de la contingencia 7 donde dichas líneas presentan sobrecarga, se ha verificado la actuación del Esquema 1145 y se concluye que ayuda a mitigar las sobrecargas registradas para los escenarios del periodo de Avenida, puesto que el Esquema 1145 desconecta la generación de las centrales hidráulicas 8 de Agosto y El Carmen, las cuales solo se encuentran despachadas para este periodo de predominancia hidráulica.

En cuanto a las sobrecargas de los transformadores de Tingo María 220/138/10 kV ante la ocurrencia de las contingencias 25 y 26, se ha identificado que no alcanzan valores de corrientes en el lado de alta, mayores a 240 A en ningún escenario, por lo que nunca ocasionarían la activación del Esquema AGR Tingo María; por otro lado, estas sobrecargas solo se presentan en escenarios de la Sensibilidad 1 que corresponde a un escenario de despacho muy crítico y poco probable, por lo que no representa la realidad operativa del sistema. No obstante, se resalta que las problemáticas ante las contingencias 25 y 26 son mitigadas con el ingreso de la etapa 2 del proyecto YANA, puesto que la entrada en operación de la subestación Yaros y los elementos de transmisión asociados aportan nuevos caminos de evacuación de la potencia inyectada en la zona, aliviando el transporte de potencia a través de los transformadores de Tingo María.

Continuando con los análisis de las problemáticas registradas, se ha identificado desde el estudio de flujo de potencia que la mayoría de las sobrecargas en el transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV son mitigadas con el ingreso del proyecto YANA, la única problemática que se presenta exclusivamente para el caso Con Proyecto ocurre ante la contingencia 11 (L-2154 Tingo María – Chaglla 220 kV), que representa un escenario equivalente al caso Sin Proyecto. Por consiguiente, las medidas de mitigación consideradas antes del ingreso del proyecto YANA etapa 1, serían aplicables para este escenario del caso Con Proyecto; además, se ha identificado que el esquema de disparo de Paragsha Nueva actúa cuando se presenta la sobrecarga del transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV, por lo que si dicho esquema cubre las problemáticas del caso Sin Proyecto, también cubriría las problemáticas registradas ante la contingencia 11 en el caso Con Proyecto. Cabe mencionar que la etapa 2 del proyecto YANA incluye el ingreso de un refuerzo hacia la SE Amarilis a nivel de 138 kV, lo cual aliviaría la potencia que debe ser transportada por el transformador TR3 Paragsha II 220/127/10 kV, mitigando las sobrecargas que se presentan ante la ocurrencia de la contingencia 11.

Según lo anterior, se han abordado y solucionado todas las sobrecargas registradas ante la ocurrencia de las contingencias 7 y 11 con los esquemas existentes de la zona y sin ocasionar la activación del ERACMF ni causar perturbaciones críticas en el sistema que le impidan lograr un nuevo estado estable. En cuanto a las sobrecargas ante la ocurrencia de las contingencias 25 y 26, se ha concluido que solo se presentan en el escenario de despacho de la Sensibilidad 1 que no representa un escenario factible y que además, serían solucionadas con el ingreso de la etapa 2 del proyecto YANA.

Por consiguiente, se ha identificado que los esquemas 1145 y Paragsha Nueva son de utilidad para mitigar las problemáticas registradas, por lo que es recomendable que continúen habilitados y operando bajo la lógica existente. Por el contrario, se ha identificado que los esquemas AGR Tingo María y Disparo S.E. Carhuamayo Nueva no presentan activación en ningún escenario del caso Sin Proyecto ni Con Proyecto durante todo el horizonte de análisis, dado que en la operación actual del sistema no se cumplen las condiciones para que se presente su actuación, por lo que los esquemas AGR Tingo María y Disparo S.E. Carhuamayo Nueva pueden ser deshabilitados.

Esto quiere decir, que las únicas sobrecargas que no han sido mitigadas son las que se presentan ante la ocurrencia de la contingencia 28. Cabe mencionar, que para el caso Sin Proyecto, la contingencia 28 ocasiona la desconexión total de la CH Chaglla, lo cual es una condición crítica para el sistema puesto que representa una pérdida de generación muy alta, haciendo que se activen algunas etapas del ERACMF; por consiguiente, el ingreso de la línea L -2154 Chaglla - Tingo María 220 kV con el proyecto YANA en su etapa 1, representa un alto beneficio para el sistema puesto que impide la desconexión súbita de la CH Chaglla ante la contingencia en cuestión; no obstante, para el caso Con Proyecto se presentan diversas problemáticas de cargabilidad en los elementos de la zona debido al cambio en la evacuación del flujo de potencia por la red existente, por lo que se propone la implementación del Esquema YANA, con el fin de mantener parte de la generación de la CH Chaglla y evitar la activación del ERACMF además de mitigar las problemáticas de cargabilidad de la zona.

Partiendo de simulaciones de flujo de potencia y RMS, se ha verificado la actuación del Esquema YANA de manera independiente, es decir, sin considerar los demás esquemas de la zona que puedan activarse en conjunto, para evaluar la capacidad del esquema YANA para mitigar por si solo las problemáticas identificadas cuando se cumplen sus condiciones de activación. De lo anterior se ha evidenciado que la ocurrencia de la contingencia de la doble terna Chaglla – Paragsha II 220 kV es un escenario crítico para el sistema que ocasiona diversas sobrecargas con valores muy elevados y en varios elementos, en el instante inmediatamente anterior a la activación del esquema YANA; posterior a su activación, todas las sobrecargas son mitigadas y el sistema logra un nuevo estado estable. Cabe mencionar, que si no se presenta la activación del esquema YANA en un tiempo no mayor a 200 ms, las máquinas del sistema tienden a perder sincronismo, por lo tanto, la acción mitigadora del esquema debe ser casi inmediata, lo cual solo se obtiene con la desconexión de una unidad de generación y no con una reducción del despacho.

De lo anterior se concluye que la lógica propuesta para el Esquema YANA, soluciona de manera eficaz todas las sobrecargas registradas. Para los escenarios de despacho evaluados en Caso Base y en las sensibilidades 2, 4, 5, 6, 7 y 8, el sistema requiere la desconexión de solo una unidad de generación de la CH Chaglla para que todas las problemáticas sean mitigadas. Cabe resaltar que, la desconexión de solo una de las unidades de generación de la CH Chaglla, no causa la activación del ERACMF.

En cuanto a las sensibilidades 1 y 3, donde la CH Chaglla se encuentra despachando su potencia nominal y además coincide con el despacho nominal o medio de la CT Aguaytia, es necesario la desconexión de las dos unidades de la CH Chaglla. Por lo anterior, se validó el tiempo de retardo para la desconexión de la segunda unidad de generación, puesto que permite mantener la mitad de la generación en Chaglla en los escenarios donde los valores

de las sobrecargas no son muy elevados y no se requiere la desconexión total de la CH Chaglla. Cabe mencionar que, la desconexión de las dos unidades de la CH Chaglla es una perturbación crítica para el sistema, que ocasiona una caída de frecuencia que puede alcanzar los umbrales de activación de la primera y segunda etapa del ERACMF, esta condición se ha identificado en mayor medida para el periodo de Avenida, pero también se presenta para el periodo de estiaje y desde el caso Sin Proyecto según los Estudios Eléctricos de Estabilidad Transitoria, lo cual se debe a la alta participación de la CH Chaglla en el despacho de la zona. Por consiguiente, es recomendable garantizar una respuesta efectiva de la regulación primaría de frecuencia en las unidades generadoras, lo cual permitiría mitigar la caída de frecuencia y evitar activaciones innecesarias del esquema de rechazo automático de carga.

Lo mencionado en el párrafo anterior aplica al evaluar la actuación del esquema propuesto por YANA de manera independiente; sin embargo, el esquema YANA y el esquema 1145, comparten la sobrecarga de la línea 1142 como una de las condiciones para su activación por lo que se presenta una interacción entre ellos para los escenarios de las sensibilidades 1 y 3 donde la desconexión de una sola unidad de la CH Chaglla por parte del esquema YANA, no es suficiente para mitigar las problemáticas.

Por consiguiente, se ha analizado la interacción entre los esquemas YANA y 1145. De dicho análisis, se ha concluido que los esquemas no se traslapan gracias a los tiempos de retardo considerados para la activación de cada uno de ellos; en cuanto a la interacción de los dos esquemas en cuestión para la mitigación de las sobrecargas registradas, se ha identificado que la actuación del esquema 1145 ayuda a disminuir las problemáticas que no son mitigadas luego del primer disparo del esquema YANA, pero no lo suficiente como para que no se presenten las condiciones para el segundo disparo del esquema YANA que ocasiona la desconexión total de la CH Chaglla, por lo cual, se sigue presentando la activación de etapas del ERACMF a pesar del beneficio proporcionado por el esquema 1145.

Según lo mencionado en el párrafo anterior y en la necesidad de evitar la desconexión total de la CH Chaglla debido a los problemas de frecuencia que podría causar en el sistema, se ha evaluado una propuesta de complemento al esquema YANA, que consiste en considerar la desconexión de una de las unidades de generación de la CT Aguaytia cuando la desconexión de una unidad de la CH Chaglla no es suficiente para mitigar las problemáticas registradas, lo cual solo ocurre para los escenarios de las sensibilidades 1 y 3.

Al evaluar la actuación del esquema YANA en conjunto con el complemento YANA, se ha identificado que el complemento YANA es de gran utilidad para evitar la desconexión de la totalidad de la CH Chaglla en los escenarios de la Sensibilidad 3, puesto que con la actuación del esquema YANA, desconectando solo una de las dos unidades de generación de la CH Chaglla y con la actuación del complemento YANA desconectando una unidad de generación de la CT Aguaytia, es suficiente para mitigar las sobrecargas en los elementos de la zona, sin requerir el segundo disparo del esquema YANA, lo que permite mantener una unidad de la CH Chaglla en servicio y evitar la activación del ERACMF.

No obstante, para la Sensibilidad 1 se evidencia que el complemento YANA no es de utilidad, puesto que posterior al primer disparo del esquema YANA, el complemento YANA ayuda a disminuir las sobrecargas persistentes pero no lo logra mitigarlas por completo, por lo que se siguen cumpliendo las condiciones para la activación del esquema 1145 y posteriormente, para el segundo disparo del esquema YANA, lo que quiere decir que al

considerar la actuación del complemento YANA, se presentaría la desconexión de la totalidad de la CH Chaglla, la mitad de la CT Aguaytia y la generación total proveniente de la línea L-1145, lo cual es una pérdida de generación muy alta que impacta negativamente en la frecuencia. La desconexión de generación que se presenta en este escenario es considerablemente mayor y más crítica a la que se presenta cuando solo actúa el esquema YANA desconectando la totalidad de la CH Chaglla, por lo tanto, se considera más viable considerar la operación del esquema YANA con la lógica actual sin implementar el complemento YANA.

Dado que el esquema de EGH verifica algunas fallas simultáneas en ambas líneas, se ha realizado un análisis adicional del evento “Falla simultánea entre fases en una línea que origina su desconexión y falla a tierra en la otra línea culminando en un recierre exitoso” y se ha concluido que el sistema demuestra un comportamiento estable tras las perturbaciones, confirmando una respuesta adecuada del SEIN frente a este tipo de eventos. También se evidencia que al contar con un enlace sano (como la línea L-2154 que ingresa con YANA 1), se conserva la estabilidad de la central CH Chaglla mientras se ejecuta el recierre monofásico.

Cabe resaltar que, una de las condiciones para que se presente la actuación del Esquema YANA, es que la línea L-2154 Chaglla - Tingo María 220 kV se encuentre en servicio, lo cual evita que se presente su actuación en conjunto con el esquema existente de desconexión de la CH Chaglla, el cual solo actúa cuando la línea L-2154 Chaglla - Tingo María 220 kV se encuentra fuera de servicio. Por consiguiente, el Esquema de desconexión de la CH Chaglla y el Esquema YANA son excluyentes, por lo que ambas lógicas nunca estarán activadas en un mismo instante.

Finalmente, se recomienda la implementación del Esquema YANA propuesto en este documento para el ingreso de la Etapa 1 del proyecto YANA. En etapas posteriores de desarrollo del SEIN debe evaluarse que el funcionamiento siga siendo adecuado. Cabe resaltar que todas las sobrecargas evidenciadas para el caso Con Proyecto, pueden ser mitigadas con el Esquema YANA y los demás esquemas especiales de protección existentes de la zona, además de que la etapa 2 del proyecto YANA aumentaría la capacidad de transmisión de la zona y aliviaría elementos de transmisión que evidenciaron problemáticas en esta etapa 1.

8.4 ESTUDIOS DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS

Se ha realizado un análisis de barrido de frecuencia con la red completa y se ha realizado un análisis de las sobretensiones que se pueden presentar en las subestaciones Yungas 220 kV, Antamina 220 kV, Vizcarra 220 kV, Tingo María 220 kV y Chaglla 220 kV a partir de los siguientes análisis:

- Sobretensiones de frente lento.
- Determinación de la Tensión Transitoria de Recuperación (TTR o TRV).

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes, para cada uno de los análisis realizados:

8.4.1 IMPEDANCIAS EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

Se observa que no hay coincidencia de los polos y ceros de impedancia y los armónicos característicos de un sistema eléctrico (2°, 3°, 5°, 7°, 11°, 13°, 23° y 25°).

El mayor polo de impedancia se presenta en la subestación Chaglla 220 kV para el armónico 11°, en un escenario de demanda media en estiaje del año 2026, correspondiente al Caso Adicional 1 sin proyecto, con un valor de 2124,16 Ω. Para los casos con proyecto, el máximo valor encontrado es 654,43 Ω para el armónico 23° en la subestación Tingo María 220 kV, en un escenario de demanda máxima de avenida del año 2027 del Caso Base.

En general, para los casos evaluados, los valores de impedancia se consideran de baja magnitud, por lo que no representan un riesgo de sobretensiones peligrosas en las subestaciones analizadas debido a la interacción con fuentes armónicas cercanas.

8.4.2 MÁXIMAS SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Se realizaron maniobras de energización, recierre monofásico de líneas y recierre trifásico de líneas, con el fin de determinar las máximas exigencias Fase-Tierra y entre fases, en las subestaciones de interés.

A continuación, se presentan las máximas sobretensiones obtenidas:

Tabla 41. Resumen de máximas sobretensiones de frente lento

Subestación	Sobretensión Máxima fase-tierra [p.u]	Sobretensión Máxima fase-tierra [kVpeak]	Sobretensión Máxima fase-fase [p.u]	Sobretensión Máxima fase-fase [kVpeak]
Antamina	2,12(1)	379,95(1)	2,42(1)	753,31(1)
Yungas	2,04(2)	365,96(2)	2,27(3)	707,26(3)
Vizcarra	2,12(4)	379,95(4)	2,42(4)	752,56(4)
Tingo María	2,02(5)	362,32(5)	2,29(5)	713,33(5)
Chaglla	2,08(6)	373,34(6)	2,35(6)	730,03(6)

Notas:
Los valores en p.u. están referidos a la tensión base peak fase-tierra y fase-fase del sistema de 220 kV.
220 kV: 179,63 kV para fase-tierra y 311,13 kV para fase-fase.

(1) Sobretensión presentada en la línea Yungas - Antamina ante Recierre Trifásico desde el extremo de Yungas 220 kV
(2) Sobretensión presentada en la línea Yungas - Antamina ante Recierre Trifásico desde el extremo de Antamina 220 kV
(3) Sobretensión presentada en la línea Yungas - Vizcarra ante Recierre Trifásico desde el extremo de Vizcarra 220 kV
(4) Sobretensión presentada en la línea Yungas - Vizcarra ante Recierre Trifásico desde el extremo de Yungas 220 kV
(5) Sobretensión presentada en la línea Chaglla – Tingo María ante Recierre Trifásico desde el extremo de Chaglla 220 kV
(6) Sobretensión presentada en la línea Chaglla – Tingo María ante Recierre Trifásico desde el extremo de Tingo María 220 kV

Se verificó que las exigencias de tensión (fase-tierra y fase-fase) en las subestaciones a 220 kV, no superan el nivel de aislamiento normalizado de los equipos.

8.4.3 VERIFICACIÓN DE LAS TENSIONES DE RESTABLECIMIENTO (TRV)

TRV en interruptores de línea

Para los interruptores de las subestaciones del Proyecto YANA Etapa 1 a nivel de 220 kV, se puede concluir que ante ningún tipo de falla, terminal o kilométrica, se excede la característica TRV dada por la IEC 62271-100 [3] ni en valores máximos ni en tasa de crecimiento.

Para los interruptores de la líneas Antamina-Yungas 220 kV, Yungas-Vizcarra 220 kV y Tingo María-Chaglla 220 kV se considera un factor de primer polo (kp=1,3) en las fallas terminales, con excepción del interruptor de Tingo María que considera un factor de primer polo (kpp=1,5), lo anterior de acuerdo a las características técnicas garantizadas de los interruptores del proyecto.

TRV ante un evento de oposición de fases

Para los interruptores de las subestaciones Antamina 220 kV y Yungas 220 kV, se puede concluir que ante un evento de oposición de fases en la línea Antamina-Yungas 220 kV, no se excede su característica TRV ni en valores máximos ni en tasa de crecimiento.

Para los interruptores de las subestaciones Yungas 220 kV y Vizcarra 220 kV, se puede concluir que ante un evento de oposición de fases en la línea Yungas-Vizcarra 220 kV, no se excede su característica TRV ni en valores máximos ni en tasa de crecimiento.

Para los interruptores de las subestaciones Tingo María 220 kV y Chaglla 220 kV, se puede concluir que ante un evento de oposición de fases en la línea Tingo María-Chaglla 220 kV, no se excede su característica TRV ni en valores máximos ni en tasa de crecimiento.

Interrupción de corrientes capacitivas

Para las líneas Antamina-Yungas 220 kV, Yungas-Vizcarra 220 kV y Tingo María-Chaglla 220 kV, las tensiones máximas en bornes de los interruptores y las corrientes a través de estos, no sobrepasan los valores según la norma IEC 62271-100 [3] (tensión inferior a 2,2 p.u. con base en la tensión fase–tierra y corriente inferiores a 125 A r.m.s para U_m 245 kV), para apertura de corrientes capacitivas.

8.5 ESTUDIOS DE COORDINACIÓN Y AJUSTES DE PROTECCIONES

El objeto del estudio consiste en el ajuste y coordinación de los nuevos dispositivos de protección asociados a la puesta en servicio de los elementos de potencia constituyentes de la primera etapa del proyecto YANA (*Proyecto*). A saber:

- Línea Tingo María – Chaglla 220 kV L-2154
- Línea Vizcarra – Yungas 220 kV L-2159
- Línea Antamina – Yungas 220 kV L-2286

Se señala que las nuevas líneas L-2159 y L-2286 surgen del seccionamiento de la línea existente Vizcarra – Antamina 220 kV L-2286 y la construcción de la nueva subestación Yungas 220 kV.

Los relés objetivos del proyecto son:

- Extremo Tingo María L-2154: 2x7SL87 + 7VK8
- Extremo Chaglla L-2154: 2x7SL87
- Extremo Vizcarra L-2159: 2xGE L90
- Extremo Yungas L-2159: 2xGE L90
- Extremo Antamina L-2286: 1xGE L90 + 1xGE D60
- Extremo Yungas L-2286: 2xGE L90

- Barra nueva Yungas 220 kV 7SS5
- Barra existente Chaglla 220 kV RPB ALSTOM P746

Las funciones esenciales analizadas y/o ajustadas y validadas son:

ANSI 21/21N, ANSI 67(en algunos casos)/67N, POTT/67NCD, ANSI 68, SOTF, ANSI 79, ANSI 25, Localizador de fallas, *Fuse Failure*, ANSI 59, ANSI 50BF, STUB, ANSI 50/51/51N/50N (para acople en Yungas 220 kV)

Los análisis de la protección diferencial de línea en las líneas del proyecto permiten concluir que esta presenta un comportamiento satisfactorio o esperado, tanto para fallas internas como externas. Así mismo, los correspondientes a las protecciones diferenciales de barras 7SS5 y ALSTOM P746, de Yungas 220 kV y Chaglla 220 kV, respectivamente.

Las verificaciones de la función distancia permiten concluir una operación selectiva de las diferentes zonas de protección de las líneas del *Proyecto* con las del área de influencia estudiada. También, se valida la no incursión de estas zonas ante fallas en otros niveles de tensión más cercanos eléctricamente al *Proyecto*.

Las validaciones de la función de sobrecorriente arrojan el desempeño esperado entre las del *Proyecto* y las del área de influencia.

Se señala que se ajustan funciones de teleprotección en las líneas del *Proyecto*, teniendo en cuenta la condición de fuente débil de los extremos Yungas de la L-2159 y Antamina de la L-2286.

Se realizan los ajustes correspondientes a la función de oscilación de potencia o ANSI 68 de acuerdo con lo establecido por cada fabricante de los nuevos relés.

Se sugieren los ajustes para las funciones SOTF, recierre, verificación de sincronismo, Localizador de fallas, *Fuse failure*, falla interruptor y STUB, de acuerdo con los criterios previamente establecidos y lineamientos de cada fabricante de los nuevos relés.

En cuanto a la función de sobretensión, no se recomienda ajustes en las líneas del proyecto, toda vez que los esquemas de sobretensión analizados no se ven afectados por el ingreso del *Proyecto.*

Asimismo, se incluye el *Anexo 14: Ajustes registradores de falla* para los nuevos dispositivos del *Proyecto*.

9 REFERENCIAS

[1] Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional COES, Carta COES/D/DP-117-2025 “ALCANCES PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE OPERATIVIDAD PARA LA CONEXIÓN AL SEIN DEL PROYECTO “ENLACE 500 KV NUEVA YANANGO – NUEVA HUÁNUCO Y SUBESTACIONES ASOCIADAS, (PROYECTO YANA)””. Febrero de 2025.

[2] Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional COES. “Actualización del Plan de Transmisión – Periodo 2021 -2030” de Octubre de 2020.

[3] IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-Voltage alternating-current circuit-breakers: IEC, 2024.

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1			**PE-YANA-Proyecto Nueva Yaros**	**1519 días**	**lun 1/05/23**	**lun 28/06/27**
2			**Líneas de transmisión**	**925 días**	**sáb 30/09/23**	**dom 12/04/26**
3			Permisos	641 días	sáb 1/06/24	mié 4/03/26
4			Diseño	306 días	sáb 30/09/23	jue 1/08/24
5			Bienes	476 días	jue 1/08/24	jue 20/11/25
6			Construcción	571 días	mié 18/09/24	dom 12/04/26
7			**Subestaciones**	**1298 días**	**lun 1/05/23**	**jue 19/11/26**
8			Permisos y gestiones	717 días	lun 1/05/23	jue 17/04/25
9			Estudios	916 días	lun 1/04/24	dom 4/10/26
10			**Ejecución SE Yaros**	**1146 días**	**sáb 30/09/23**	**jue 19/11/26**
11			Diseño SE Yaros	398 días	sáb 30/09/23	vie 1/11/24
12			Contratación servicios	107 días	vie 1/11/24	dom 16/02/25
13			Bienes	418 días	vie 1/11/24	mié 24/12/25
14			**Construcción SE Yaros**	**560 días**	**jue 8/05/25**	**jue 19/11/26**
15			Obras Civiles	555 días	jue 8/05/25	sáb 14/11/26
16			Montaje Primario	330 días	mié 24/12/25	jue 19/11/26
17			Montaje Sistema Secundario	80 días	mar 7/07/26	vie 25/09/26
18			Pruebas Sistema Secundario	45 días	vie 25/09/26	lun 9/11/26
19			**Pruebas de verificación, integración, PES y P**	**399 días**	**lun 25/05/26**	**lun 28/06/27**
20			**PES (Secuencia de energización)**	**399 días**	**lun 25/05/26**	**lun 28/06/27**
21			**Etapa 1 (Secuencia de energización)**	**196 días**	**lun 25/05/26**	**lun 7/12/26**
22			Energización Tingo María - Chaglla (L-2	7 días	lun 25/05/26	lun 1/06/26

Proyecto: Cronograma EPO
Fecha: vie 30/05/25

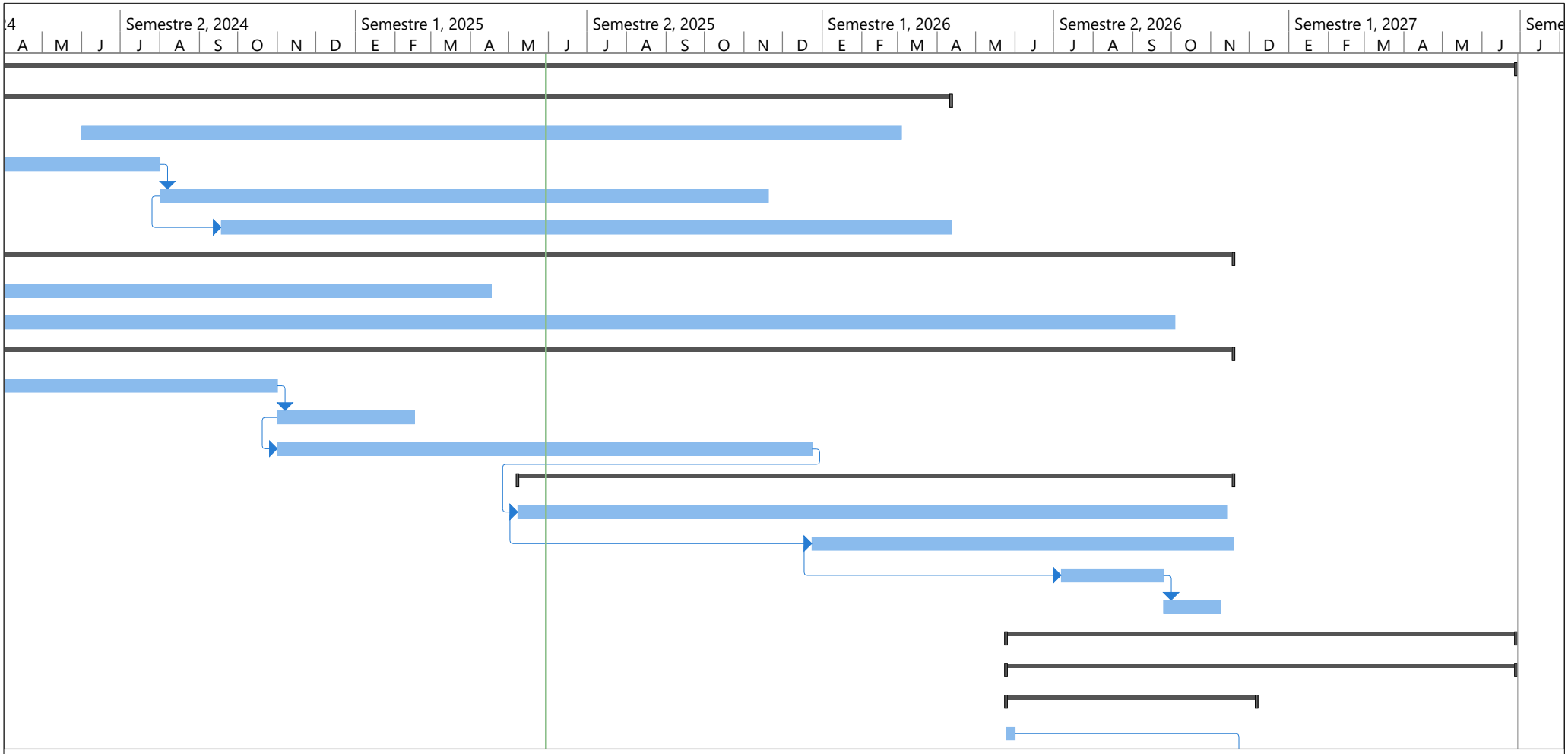
Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
23			Energización Vizcarra - Yungas (L-215	7 días	lun 23/11/26	lun 30/11/26
24			Energización Yungas - Antamina (L-22	7 días	lun 30/11/26	lun 7/12/26
25			**Etapa 2 (Secuencia de energización)**	**63 días**	**lun 26/04/27**	**lun 28/06/27**

23 | Semestre 2, 2023 | Semestre 1, 2024
A M J J A S O N D E F M A

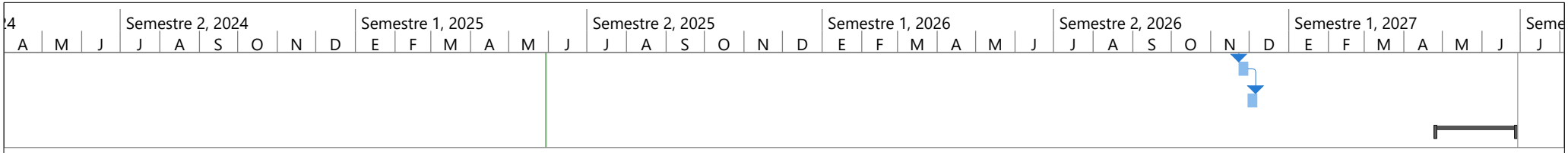
Proyecto: Cronograma EPO
Fecha: vie 30/05/25

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			



Proyecto: Cronograma EPO
Fecha: vie 30/05/25

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			



Proyecto: Cronograma EPO
Fecha: vie 30/05/25

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			