

Empresa: EIFFAGE ENERGIA

País: Chile

Proyecto: PFV Sol de los Andes - NUP 849

Descripción: Estudio de Flujos de Potencia

Código de proyecto: EE-2020-065

Código de informe: EE-ES-2021-0353

Revisión: 0



30 jul. 21



Este documento EE-ES-2021-0353-R0 fue preparado para EIFFAGE ENERGIA por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. José Cornejo
Departamento de Estudios
jose.cornejo@estudios-electricos.com

Ing. Nicolás Turturici
Departamento de Estudios
nicolas.turturici@estudios-electricos.com

Ing. Javier Vives
Coordinador Dpto. Estudios
javier.vives@estudios-electricos.com

Ing. Alejandro Musto
Gerente Dpto. Estudios
alejandro.musto@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 108 páginas y ha sido guardado por última vez el 30/07/21 por Nicolás Turturici; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	16.03.2021	Primera emisión para Eiffage Energía.	JoC/NiT	JaV	AIM
B	07.05.2021	Acorde a comentarios Eiffage Energía.	NiT	JaV	AIM
0	30.07.2021	Acorde a comentarios del Coordinador.	NiT	JaV	AIM

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos;
<http://www.estudios-electricos.com/certificados>



ÍNDICE

1	IDENTIFICACIÓN	5
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	5
3	RESUMEN EJECUTIVO	5
4	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
4.1	Descripción general.....	9
4.2	Seccionamiento LT Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos 2x110kV.....	10
4.3	Red interna.....	11
5	MODELADO DEL PROYECTO.....	13
5.1	Tramo SE Río Salado – EST. E-66 1x110kV	13
5.1.1	Conductor de fase	15
5.1.2	Cables de guardia	16
5.1.3	Estructura más representativa	17
5.1.4	Modelo Digsilent	19
5.2	Tramo SE Río Salado – EST. E-68 1x110kV	22
5.2.1	Conductor de fase	24
5.2.2	Cables de guardia	25
5.2.3	Estructura más representativa	26
5.2.1	Modelo Digsilent	27
5.3	Línea 1x110kV SE Sol de los Andes – Río Salado.....	31
5.3.1	Conductor de fase	33
5.3.2	Cables de guardia	34
5.3.3	Estructura más representativa	36
5.3.4	Modelo Digsilent	38
5.1	Tramos EST. E-68 – Tap off Llanta 1x110kV y Diego de Almagro – EST. E-66 1x110kV	39
5.1.1	Características generales.....	39
5.1.2	Conductor de fase	39
5.1.3	Estructura más representativa	41
5.1.4	Modelo Digsilent	43
5.2	Transformador 110/33kV 100MVA.....	45
5.1	Transformador ZIG-ZAG	48
5.1	Transformador de SSAA	49



5.2	Sistema de cables de media tensión	51
5.3	Transformador de Bloque	56
5.4	Inversores.....	58
6	ACONDICIONAMIENTO BASE DATOS	60
6.1	Base de datos de partida.....	60
6.2	Principales fuentes de información.....	60
6.1	Escalamiento demanda	60
6.2	Proyección de la transmisión	61
6.3	Proyecto de generación	61
6.4	Sistema de transmisión en la zona de interés.....	63
6.4.1	Líneas derivadas del seccionamiento en SE Río Salado.....	63
6.4.2	Circuito 2 de Línea 2x110kV Diego de Almagro – Llanta – Potrerillos.....	66
6.4.3	Circuito 1 y 2 de Línea 2x110kV Llanta – El Salvador	68
6.4.4	Línea 1x110kV Diego de Almagro – Tap Salvador – El Salvador	70
6.4.5	Transformadores de corriente en SE Diego de Almagro	72
6.4.1	Transformadores de corriente en SE El Salvador	74
6.4.1	Transformadores de corriente en SE Potrerillos	76
6.1	Límites de transmisión de la zona	78
6.2	Zona de Influencia	78
7	ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE OPERACIÓN	80
7.1	Definición de Escenarios de Operación.....	80
7.2	Restricciones de generación ERNC.....	81
8	ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA	86
8.1	Análisis de operación normal.....	86
8.2	Análisis de operación post-contingencia	90
8.2.1	Resultados generales	91
8.2.2	Análisis Operación normal en 110kV	93
8.2.3	Análisis Topología 3.....	98
9	CONCLUSIONES.....	102
10	REFERENCIAS.....	105
10.1	Uso general	105
10.2	Información de la zona de estudio.....	105



10.3 Información del proyecto.....	106
------------------------------------	-----

1 IDENTIFICACIÓN

PFV Sol de los Andes - NUP 849 de la empresa Austrian Solar Chile Uno SpA.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente Estudio de Flujo de Potencia, tiene por objetivo cuantificar el impacto del ingreso del PFV Sol de los Andes - NUP 849, propiedad de Austrian Solar Chile Uno SpA, al SEN en términos de niveles de tensión en barras y niveles de carga de líneas de transmisión y transformadores de la zona de influencia del Proyecto, con el fin de verificar el cumplimiento de los estándares definidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio vigente.

3 RESUMEN EJECUTIVO

Austrian Solar Uno SpA está desarrollando el proyecto “Parque Fotovoltaico Sol de los Andes” (NUP 849). Este proyecto se ubicará en la Región de Atacama (Chile), específicamente en la comuna de Diego de Almagro, en la provincia de Chañaral. El proyecto consta de 39 inversores, contemplando una inyección a la red de 89,4 MW nominales y prevé su entrada en operación para septiembre de 2021. La interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) contempla la construcción de la subestación elevadora Sol de los Andes y la subestación seccionadora Río Salado, que seccionará, además, el circuito 1 de la línea de transmisión existente 2x110kV Diego de Almagro – El Salvador - Potrerillos, agregando un tramo de aproximadamente 0,233km entre la subestación seccionadora y la torre EST. E-66 en dirección a la S/E Diego de Almagro, y de aproximadamente 0,269km entre la subestación seccionadora y la torre EST. E-68 en dirección al Tap off Llanta. Además, se contempla la construcción de una línea de simple circuito de aproximadamente 1,8km que conecte el parque Sol de los Andes con la subestación seccionadora Río Salado. De esta manera, la energía generada por la planta fotovoltaica será evacuada a través del anillo que conecta las subestaciones Diego de Almagro, El Salvador y Potrerillos, derivando posteriormente a la red de 220kV a través de los transformadores ubicados en la SE Diego de Almagro.

En este contexto, Estudios Eléctricos se encuentra desarrollando los estudios de interconexión definidos en la Carta de Escenarios Mínimos de 05215-20 (en adelante, CEM) para evaluar el impacto en el SEN debido a la incorporación del Parque Fotovoltaico Sol de los Andes. Lo anterior, con el propósito de verificar el cumplimiento de los estándares definidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (en adelante, NTSyCS) [1] y validar el correcto diseño y dimensionamiento de las instalaciones.

En consideración de lo anterior, el presente documento corresponde al “**Estudio de Flujos de Potencia**”, mediante el cual se evalúa el impacto del ingreso del Proyecto a fin de identificar posibles problemas de sobrecargas y regulación de tensión en la zona de influencia. Las principales características del Proyecto, así



como también la descripción global de los desarrollos presentados en este documento, se encuentran en el Capítulo 4.

Generalidades

Para la ejecución de este estudio se consideró la información dispuesta en las fichas del portal de Infotécnica del Coordinador Eléctrico Nacional, en conjunto con sus anexos. A partir de esto se modelaron los límites de transmisión en líneas, transformadores de poder y transformadores de corriente en los paños de las principales subestaciones en la zona de interés.

Siguiendo los lineamientos dispuestos en la CEM [2] se elaboraron 16 escenarios, considerando demanda alta y baja, 4 topologías de estudio y 2 temperaturas de operación, los cuales se resumen a continuación

Nomenclatura	Demanda	Topología	Temperatura ambiente
E01_T01_DA_25	Alta	T01: Base	25°C
E02_T02_DA_25	Alta	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	25°C
E03_T03_DA_25	Alta	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	25°C
E04_T04_DA_25	Alta	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	25°C
E05_T01_DB_25	Baja	T01: Base	25°C
E06_T02_DB_25	Baja	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	25°C
E07_T03_DB_25	Baja	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	25°C
E08_T04_DB_25	Baja	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	25°C
E09_T01_DA_35	Alta	T01: Base	35°C
E10_T02_DA_35	Alta	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	35°C
E11_T03_DA_35	Alta	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	35°C
E12_T04_DA_35	Alta	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	35°C
E13_T01_DB_35	Baja	T01: Base	35°C
E14_T02_DB_35	Baja	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	35°C
E15_T03_DB_35	Baja	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	35°C
E16_T04_DB_35	Baja	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	35°C

Se detallan las 4 topologías de operación contempladas en la zona de interés:

- **Condición de operación T01:** Sistema de transmisión normal, con las líneas 2x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos, 1x110 kV Diego de Almagro - El Salvador y sus interconexiones de 110 kV en servicio, con ambos transformadores 220/110 kV de S/E Diego de Almagro y tres circuitos conectados en 220 kV en los tramos comprendidos entre las SS/EE Cardones y Diego de Almagro. Centrales térmicas Taltal, San Lorenzo, Diego de Almagro y Emelda fuera de servicio. En particular, la central fotovoltaica Sol de Los Andes a plena carga.
- **Condición de operación T02:** Condición de operación 1, pero con un transformador 220/110 kV de S/E Diego de Almagro fuera de servicio.
- **Condición de operación T03:** Condición de operación 1, pero con el circuito N°2 de la línea 2x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos desconectado y aterrizado.



- **Condición de operación T04:** Condición de operación 1, pero en una hidrología muy seca, con las centrales Taltal y Diego de Almagro (1U) en servicio.

Para el análisis de flujos en red N-1 se consideraron las siguientes contingencias:

- 1) Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Río Salado - Elevadora Sol de Los Andes.
- 2) Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Diego de Almagro - Río Salado.
- 3) Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Río Salado - El Salvador - Potrerillos.
- 4) Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos (ex circuito N°2) (salvo CO3).
- 5) Barra de 110 kV de S/E Potrerillos.
- 6) Barra de 110 kV de S/E El Salvador.

Los principales resultados y conclusiones se encuentran en el **Capítulo 9** y se resumen a continuación:

Análisis de la zona de estudio

Al analizar la zona de estudio, considerando al proyecto PFV Sol de los Andes en servicio, se encuentra que, en condiciones de plena generación de todos los proyectos renovables que se conectan en la red de 110kV al norte de Diego de Almagro, se presentan casos de sobrecarga en los elementos serie en condición de red N-1. En función de esto, para los fines del armado de los escenarios de estudio, se restringió la generación de la zona para evitar dichos sobrepasos. Esto se detalla a continuación:

1. Sobrecargas en un transformador 220/110kV de la SE Diego de Almagro ante la falla del paralelo.
La problemática está asociada a toda la generación emplazada en 110kV. Para el armado de escenarios, se restringió toda la generación salvo al PFV Sol de los Andes en estudio.
2. Sobrecargas en la línea 1x110kV Salvador – Diego de Almagro (tramo Tap Salvador - Diego de Almagro), ante falla en la línea Río Salado – Diego de Almagro.
La problemática está asociada a los proyectos emplazados en el anillo Diego de Almagro – Salvador – Potrerillos 110kV (PFV RTS, PFV El Salvador y PFV Sol de los Andes). Para el armado de escenarios, se restringió la generación en estos proyectos salvo al PFV Sol de los Andes en estudio.

El detalle de estas reducciones se encuentra en el apartado 7.2.

Análisis de escenarios de estudio y conclusiones

- La incorporación del PFV Sol de los Andes resulta factible desde la perspectiva de flujos de potencia. No se encuentran problemas en los perfiles de tensión de la zona sin distinción de niveles de demanda, temperatura, topología o contingencia de estudio.
- En condiciones de operación normal el parque no genera sobrecargas en líneas o transformadores de poder de la zona. A pesar de esto se presenta la sobrecarga del transformador de corriente del paño H2



(110kV) en la subestación Diego de Almagro (300A). Se recomienda la modificación de la relación de este TC con la entrada del proyecto, a 600 A primarios.

- En condiciones de operación Red N-1 en la zona se observan sobrecargas leves en las líneas 110kV Río Salado – Diego de Almagro (hasta 2% respecto a la capacidad de conductor para temperatura ambiente de 35°C), en el tramo Llanta - El Salvador de la línea Río Salado – Salvador – Potrerillos (hasta 7% respecto a la capacidad de conductor para temperatura ambiente de 35°C), y en el transformador de corriente (35%) de la S/E El Salvador 110kV, paño H2 (200A).

El proyecto contempla la implementación de un Esquema de Reducción/Desconexión Automática de Generación (ERAG/EDAG) asociado al PV Sol de los Andes que responda ante la desconexión de la Línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV, permitiendo suprimir las sobrecargas encontradas.

Vale destacar que el EDAG permitiría solucionar también las restricciones del anillo de 110kV por eventuales sobrecargas en N-1 de la línea Tap Salvador – Diego de Almagro.

- En condiciones de indisponibilidad del vínculo Diego de Almagro – Salvador - Potrerillos pueden presentarse problemáticas adicionales ante la desconexión de la Línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV, que también son solucionables con el EDAG propuesto.



4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Descripción general

Austrian Solar Chile Uno SpA se encuentra desarrollando el proyecto de generación “Parque Fotovoltaico Sol de los Andes” (NUP 849) [6]. Este proyecto se ubicará en la Región de Atacama (Chile), al interior de la provincia de Chañaral, en la comuna de Diego de Almagro.

La potencia del parque será de 89,4MW y se prevé una fecha de entrada en operación para septiembre de 2021. El parque se vinculará al SEN mediante el seccionamiento de un circuito de la línea Diego de Almagro – Llanta 110kV, contemplando para esto la construcción de la S/E Río Salado 110kV (seccionadora) y una línea de transmisión en 110kV hasta la S/E Sol de los Andes 110kV (elevadora), en su punto de emplazamiento.

De esta manera, la energía generada por la planta fotovoltaica será evacuada desde la subestación elevadora Río Salado y a través del anillo resultante entre las subestaciones Diego de Almagro, El Salvador y Potrerillos, en dirección a la red de 220kV desde la subestación Diego de Almagro. En la figura a continuación se muestra a modo de referencia la zona actual donde se ubicará el proyecto.



Figura 4-1: Zona de interconexión



4.2 Seccionamiento LT Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos 2x110kV

Como se menciona anteriormente, el proyecto contempla una nueva subestación que seccionará un circuito de la existente línea de transmisión Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos 2x110kV. Esta línea de transmisión permite la evacuación de la energía generada por los parques fotovoltaicos RTS y el Salvador, además de la alimentación de los consumos en las SSEE El Salvador 110kV y Potrerillos 110kV. Tiene una longitud aproximada de 85,85km y se bifurca desde Diego de Almagro hacia Potrerillos 110kV y El Salvador 110kV por medio del Tap Off Llanta 110kV. La capacidad actual de la línea de transmisión es de 200MVA¹.

Para realizar el seccionamiento de esta línea, se construirá un tramo de línea de una longitud aproximada de 0,233km (hacia Diego de Almagro) y 0,269km (hacia Tap-off Llanta), el que se conectará al circuito 1 de la línea Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos 2x110kV en sus torres (o estructuras) 66 y 68, constituyendo así los nuevos tramos “Estructura 66 – Río Salado” y “Río Salado – Estructura 68”. Los nuevos tramos irán tenidos en torres de circuito simple y utilizarán conductores tipo AAAC Cairo y dos cables de guardia Alumoweld. En la figura a continuación se presenta el punto de seccionamiento del circuito 1 de la línea Diego de Almagro – El Salvador – potrerillos 2x110kV, incluyendo el nuevo tramo de línea del proyecto.

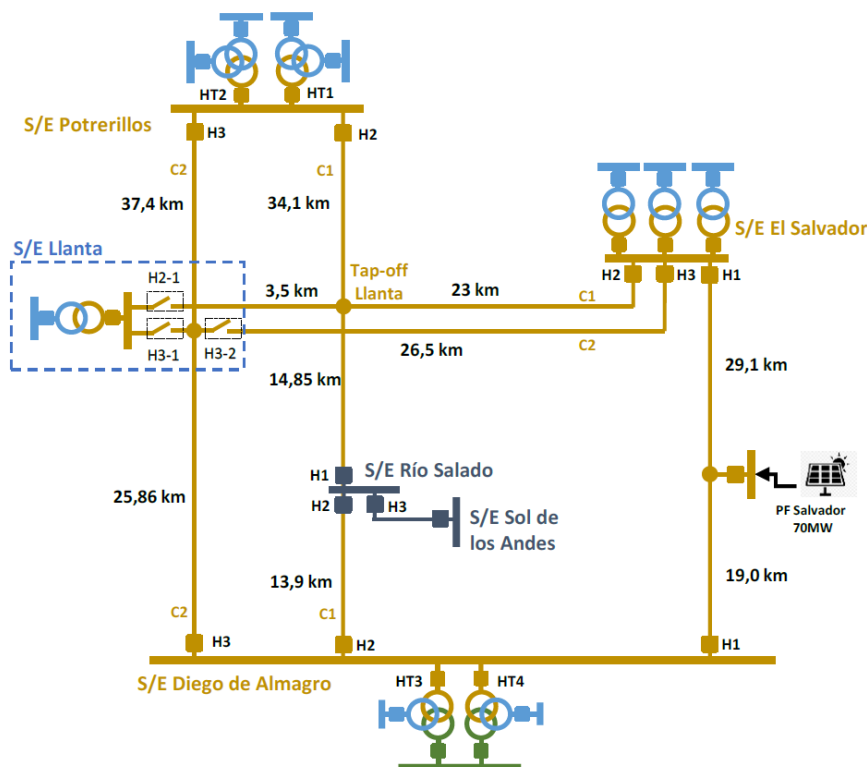


Figura 4-2: Diagrama de seccionamiento en zona de interés.

¹ Se considera como capacidad de la línea, la capacidad del tramo más restrictivo a 35°C.

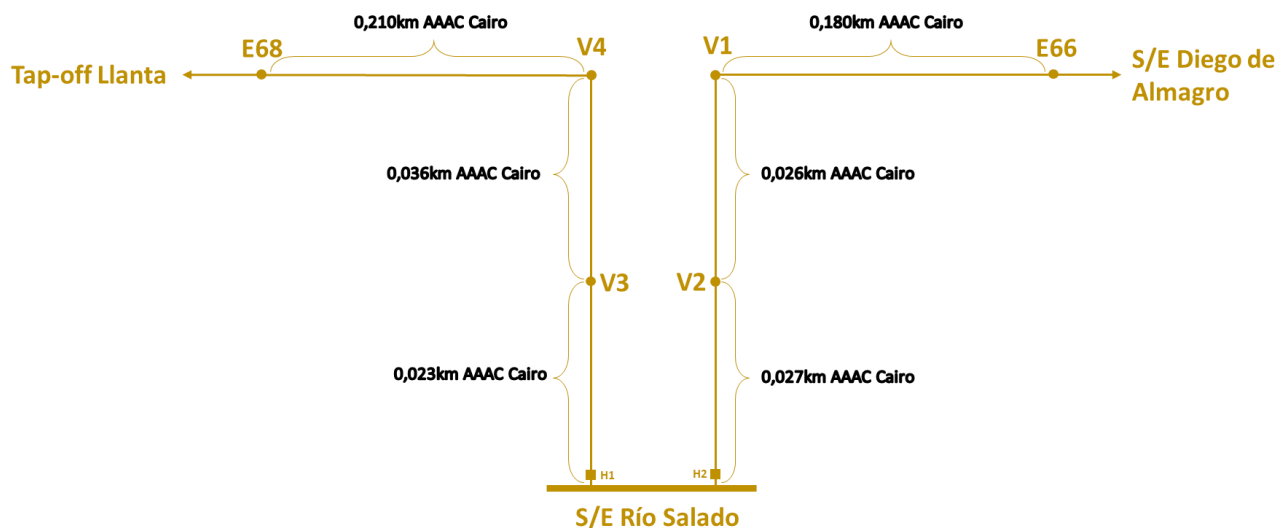


Figura 4-3: Punto de seccionamiento circuito 1 línea Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos.

4.3 Red interna

El parque contará con 39 inversores de capacidad nominal de 2,550MVA @ 40°C distribuidos en 20 centros de transformación. En la tabla a continuación se presenta el resumen de estaciones inversoras y cantidad de inversores de la planta.

	Temperatura máxima del emplazamiento	Cantidad de inversores	Potencia Estaciones Inversores @40°C [MVA]	Potencia nominal declarada [MW]
PFV Sol de los Andes	40°C	39	2,55	89,4

Tabla 4-1: Características generales.

La siguiente figura presenta las principales instalaciones del proyecto modeladas en DigSILENT.

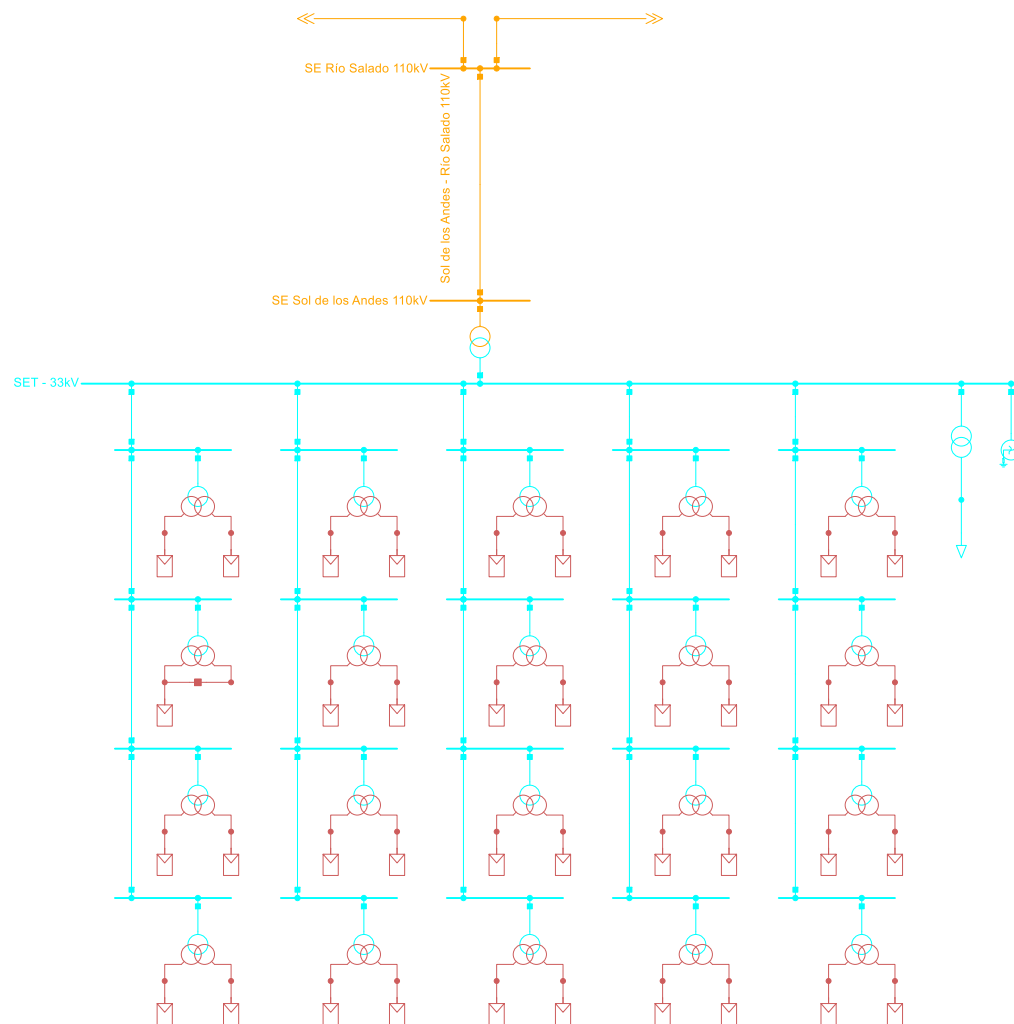


Figura 4-4: Modelado de Red Interna del PFV Sol de los Andes en PowerFactory DigSILENT.



5 MODELADO DEL PROYECTO

En los siguientes apartados se presenta el modelado en DigSILENT de cada uno de los elementos que forman parte del proyecto PFV Sol de los Andes, dentro de los cuales se encuentran la red interna del parque, las SSEE Sol de los Andes 33/110kV y Río Salado 110kV y el seccionamiento del circuito 1 de la línea 2x110kV Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos.

5.1 Tramo SE Río Salado – EST. E-66 1x110kV

Para realizar el seccionamiento del circuito 1 de la línea de transmisión 2x110kV Diego de Almagro – Salvador - Potrerillos, se construirá un tramo de línea de aproximadamente 0,233km de longitud, el que se conectará al tramo existente entre la S/E Diego de Almagro y el Tap-off Llanta en su torre (o estructura) EST. E—66, constituyendo así el nuevo tramo Diego de Almagro – Río Salado 1x110kV.

Cabe destacar que el tramo entre la SE Río Salado y EST. E-66 se encuentra tendido en una estructura distinta a la existente. A diferencia de la suspensión actual ésta cuenta con 2 cables de guardia, los cuales llegarán hasta la estructura V1 como se ve en la Figura 5-1. En esta misma se puede ver que existe una transposición de conductores al llegar a la EST. E-66.

En las secciones a continuación se presentan las características principales del tipo de conductor de fase y cable de guardia, y la torre más representativa para ser utilizados en el modelado de los nuevos tramos en DigSILENT.

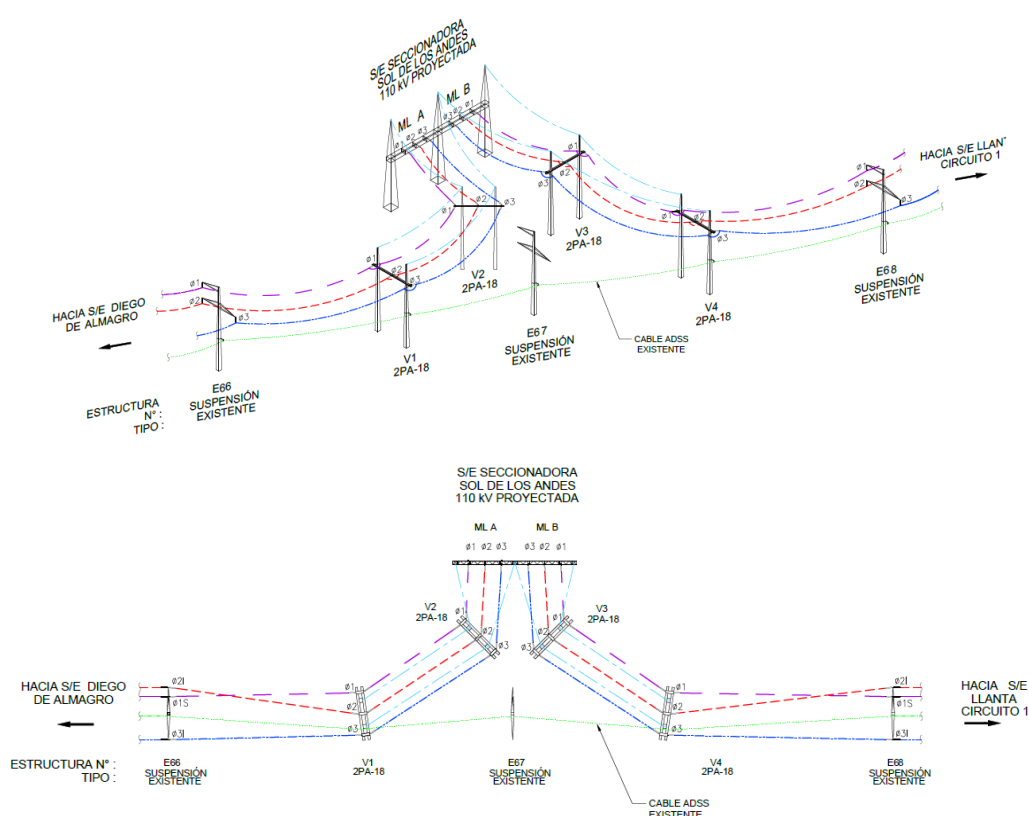


Figura 5-1: Abatimiento y secuencia de fase [26].



En la siguiente figura se muestra el perfil longitudinal del nuevo tramo Río Salado – EST. E-66 1x110kV [28].

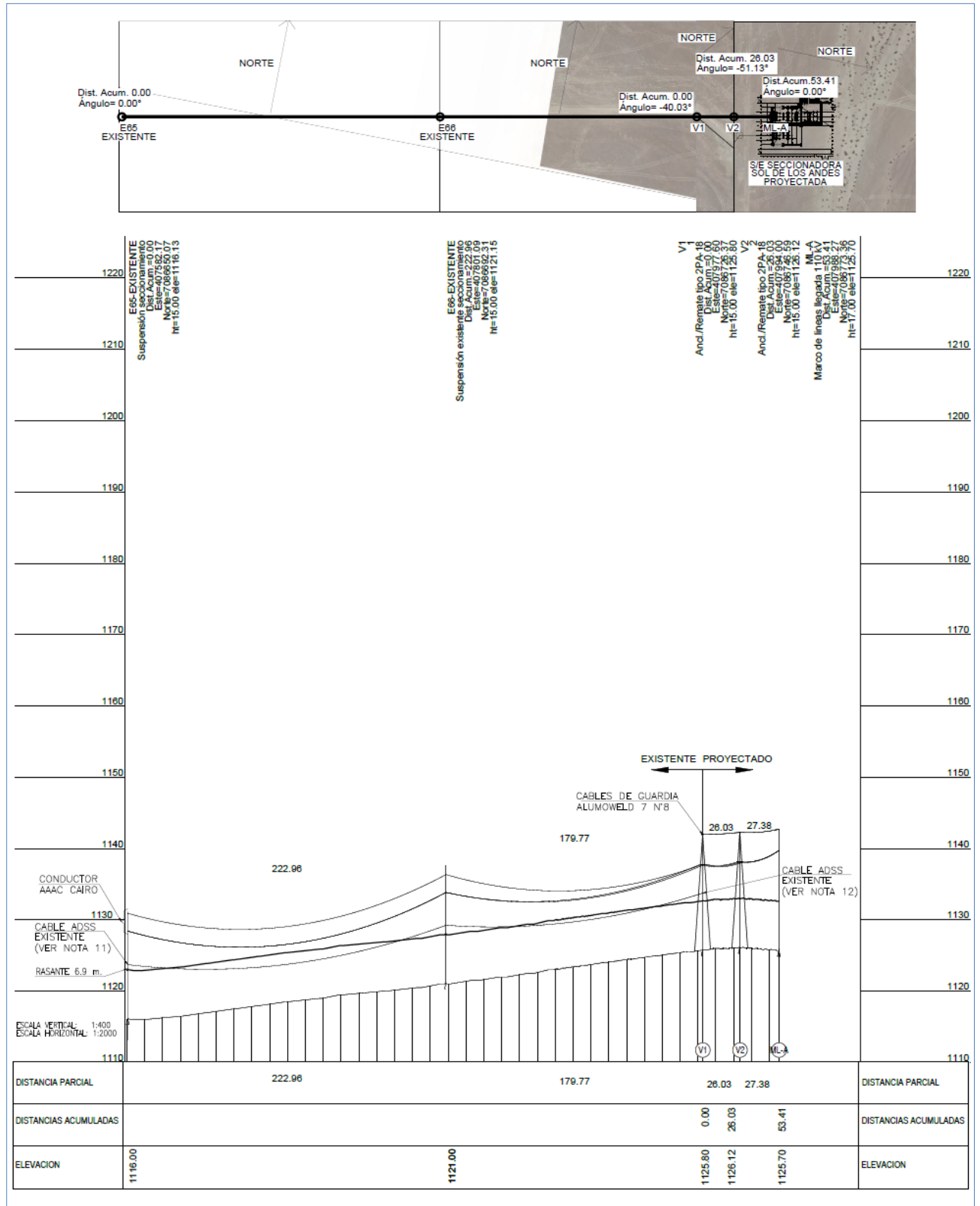


Figura 5-2: Perfil longitudinal del nuevo tramo Río Salado – EST. E-66 1x110KV [28].



5.1.1 Conductor de fase

Se observa que el tramo 1x110kV Río Salado – EST. E-66 posee un conductor de tipo AAAC Cairo. Sus principales características se obtienen de [32] y se resumen a continuación:

Parámetros del conductor		RIO SALADO - Est. E66 110kV
Tipo	-	AAAC Cairo
Número de subconductores por fase	-	1
Diametro	mm	19,88
Diametro alma	mm	-
Resistencia de DC (20°)	Ω/km	0,1417
RMG	mm	7,53
Masa por unidad de longitud	Kg/km	650,0

Tabla 5-1: Características principales conductor de fase.

El modelo del conductor se muestra en la figura a continuación.

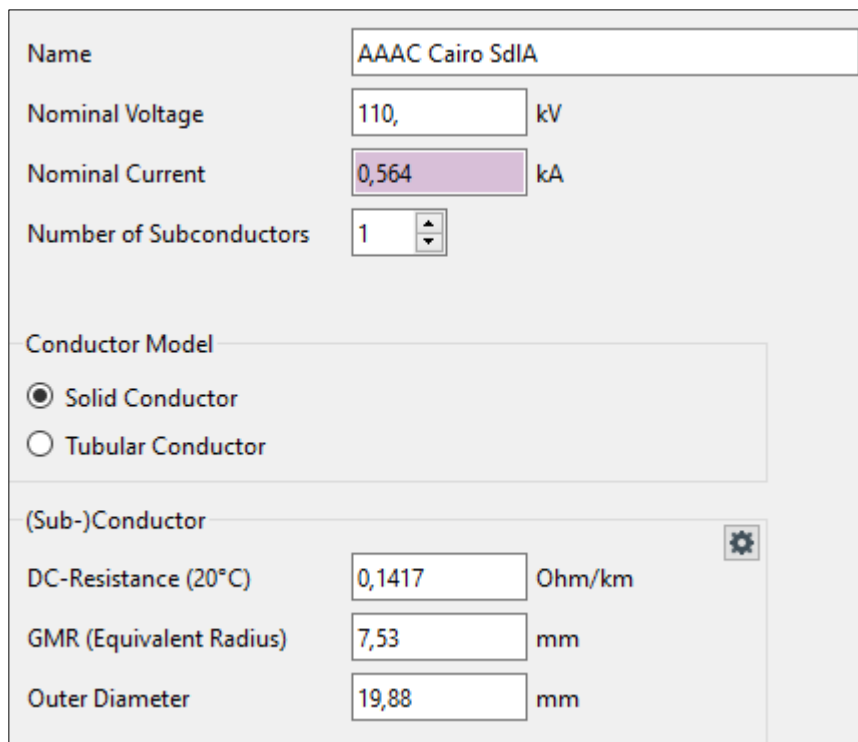


Figura 5-3: Modelo conductor de fase AAAC Cairo.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.



Parameter	SdIA - Río Salado 110kV
Scale	Characteristics\Scale\T° PFV SdIA
Values	
25	0,564
35	0,494

Figura 5-4: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.

5.1.2 Cables de guardia

Las características del conductor del cable de guardia se obtienen de [30] donde se muestran los parámetros técnicos y eléctricos que se resumen a continuación.

Parámetros del hilo de guardia 1		
Tipo	-	Alumoweld 7
Diametro	mm	9,78
Resistencia de DC (20°)	Ω/km	1,463
RMG	mm	3,8083
Parámetros del hilo de guardia 2		
Tipo	-	Alumoweld 7
Diametro	mm	9,78
Resistencia de DC (20°)	Ω/km	1,463
RMG	mm	3,8083

Tabla 5-2: Características principales de los cables de guardia.

Name	Alumoweld 7 n8
Nominal Voltage	110, kV
Nominal Current	1, kA
Number of Subconductors	1
Conductor Model	
<input checked="" type="radio"/> Solid Conductor <input type="radio"/> Tubular Conductor	
(Sub-)Conductor	
DC-Resistance (20°C)	1,463 Ohm/km
GMR (Equivalent Radius)	3,8083 mm
Outer Diameter	9,78 mm

Figura 5-5: Modelo del cable de guardia en DigSILENT.



5.1.3 Estructura más representativa

El proyecto contempla la instalación de las estructuras de anclaje V1 y V2 tipo 2PA-18 [27] entre la SE Río Salado y la torre existente EST. E-66, su estructura más representativa y las medidas relevantes para el modelado de la torre se presentan a continuación.

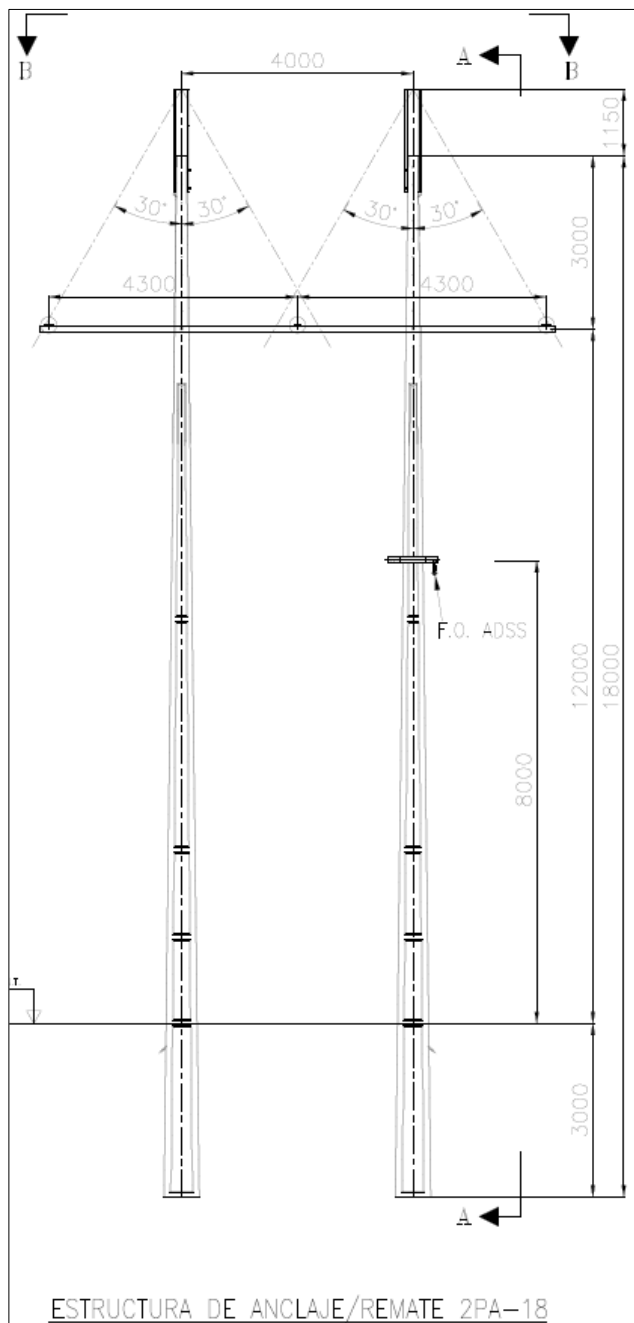


Figura 5-6: Estructura de anclaje/remate 2PA-18.

Tomando en cuenta las distancias de la estructura, se procede a calcular la altura promedio de los conductores considerando la fórmula siguiente, donde la flecha promedio de los conductores de fase es de 3,72m.

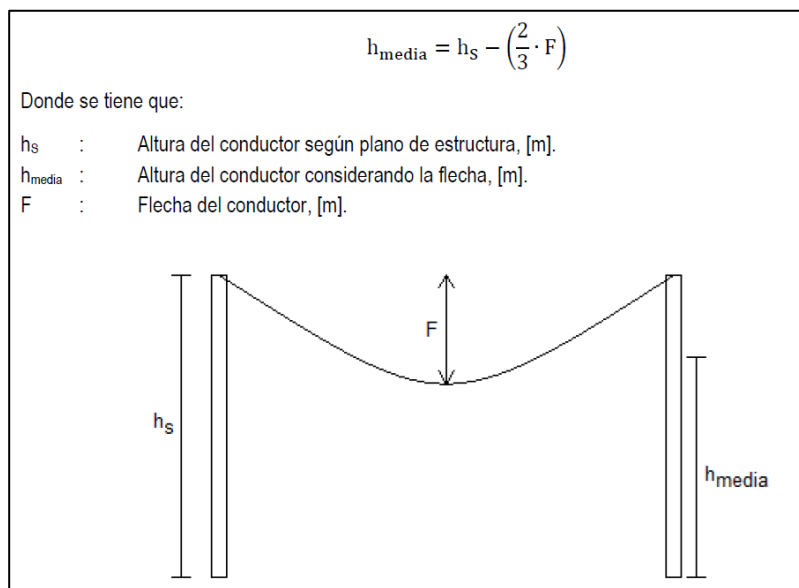


Figura 5-7: Altura media considerando la flecha del conductor.

El resumen de las alturas para los conductores se muestra en la tabla a continuación.

Río Salado - E66 110kV	Posición conductores de Fase [m]						Hilo de guardia [m]			
	x1	x2	x3	y1	y2	y3	x4	x5	y4	y5
Crucetas	-4,3	0	4,3	12	12	12	-2	2	16,15	16,15
Aisladores				0	0	0				0
Punto sujeción				12	12	12				16,15
Flecha prom.				3,72	3,72	3,72				0,04
Posición Eq.	-4,3	0	4,3	9,52	9,52	9,52	-2	2	16,12	16,12

Tabla 5-3: Coordenadas geométricas de conductores.

En consideración de todo lo anterior, a continuación, se muestra las coordenadas de o conductores de los tramos en DigSILENT.

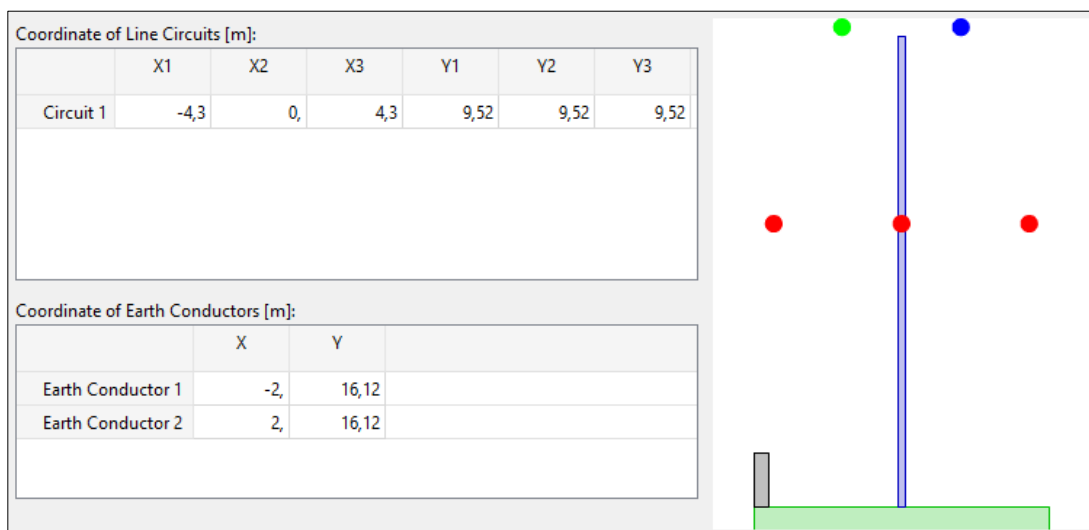


Figura 5-8: Modelo DigSILENT Río Salado – EST. E-66 1x110kV.



5.1.4 Modelo Digsilent

Es importante destacar que esta sección de línea se modeló en 2 tramos para incluir la transposición de conductores ya mencionada. A continuación, se presenta dicho modelado en Powerfactory DigSILENT.

Name
Torre ID3944_a

Route

☐ Out of Service

Line Model

☒ Lumped Parameter (PI)
☐ Distributed Parameter

Number of Overhead Line Systems
1

Geometries:

	Type TypTow, TypGeo	Distance m
G1	Rio Salado - Est E-66	0,

Earth Wires:

	Type TypCon	Max.Sag m
G1/E1	Alumoweld 7 n8	0,
G1/E2	Alumoweld 7 n8	0,

Line Names:

	Circuit ElmLne, ElmLneroute	Polarity	Type TypCon	Max.S... m	Transposition	Phasing
G1/C1	✓ Río Salado - v1 110kV	Terminal i	AAAC Cairo SdIA	0,	<input type="checkbox"/>	A-B-C

Name
Torre ID3944_b

Route

☐ Out of Service

Line Model

☒ Lumped Parameter (PI)
☐ Distributed Parameter

Number of Overhead Line Systems
1

Geometries:

	Type TypTow, TypGeo	Distance m
G1	Rio Salado - Est E-66	0,

Earth Wires:

	Type TypCon	Max.Sag m
G1/E1	Alumoweld 7 n8	0,
G1/E2	Alumoweld 7 n8	0,

Line Names:

	Circuit ElmLne, ElmLneroute	Polarity	Type TypCon	Max.S... m	Transposition	Phasing
G1/C1	✓ v1 - Est E-66 110kV	Terminal i	AAAC Cairo SdIA	0,	<input type="checkbox"/>	B-A-C

Figura 5-9: Modelado de sección tramo como Line Couplings.



Name	Rio Salado - Est E-66		
System Type	AC		
Nominal Frequency	50,	Hz	
Number of Earth Wires	2		
Number of Line Circuits	1	Transposition	none
Input Mode			
<input checked="" type="radio"/> Geometrical Parameter <input type="radio"/> Electrical Parameter		Earth Resistivity <input type="text" value="48321,7"/> Ohm*m	
Conductor Types of Line Circuits:			
	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
Circuit 1	AAAC Cairo SdIA	3,	<input type="checkbox"/>
Types of Earth Conductors:			
	Conductor Types TypCon		
Earth Conductor 1	Alumoweld 7 n8		
Earth Conductor 2	Alumoweld 7 n8		

Figura 5-10: Modelo de torre entre Río Salado y EST E-66.



Name	Río Salado - v1 110kV		
Line Couplings	→ 01-Atacama\Torre ID3944_a		
Terminal i	▼ →	01-Atacama\SE Río Salado 110kV\Cub_8	SE Río Salado 110kV
Terminal j	▼ →	01-Atacama\Aux RS - E66\Cub_1	Aux RS - E66
Zone	Terminal i ▼	→	
Area	Terminal i ▼	→	
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Number of parallel Lines		1	
Parameters			
Thermal Rating	▼ →		
Length of Line	0,053	km	
Derating Factor	1,		
Resulting Values			
Rated Current (act.)		0,564 kA	
Pos. Seq. Impedance, Z1		0,02316831 Ohm	
Pos. Seq. Impedance, Angle		70,97204 deg	
Pos. Seq. Resistance, R1		0,00755355 Ohm	
Pos. Seq. Reactance, X1		0,02190239 Ohm	
Zero Seq. Resistance, R0		0,03606969 Ohm	
Zero Seq. Reactance, X0		0,07423923 Ohm	
Earth-Fault Current, Ice		0,01892534 A	
Earth Factor, Magnitude		0,8575118	
Earth Factor, Angle		-9,556138 deg	

Name	v1 - Est E-66 110kV		
Line Couplings	→ 01-Atacama\Torre ID3944_b		
Terminal i	▼ →	01-Atacama\Est E-66\Cub_2	Est E-66
Terminal j	▼ →	01-Atacama\Aux RS - E66\Cub_2	Aux RS - E66
Zone	Terminal i ▼	→	
Area	Terminal i ▼	→	
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Number of parallel Lines		1	
Parameters			
Thermal Rating	▼ →		
Length of Line	0,17977	km	
Derating Factor	1,		
Resulting Values			
Rated Current (act.)		0,564 kA	
Pos. Seq. Impedance, Z1		0,07858429 Ohm	
Pos. Seq. Impedance, Angle		70,97204 deg	
Pos. Seq. Resistance, R1		0,0256208 Ohm	
Pos. Seq. Reactance, X1		0,07429041 Ohm	
Zero Seq. Resistance, R0		0,1223443 Ohm	
Zero Seq. Reactance, X0		0,2518111 Ohm	
Earth-Fault Current, Ice		0,06419262 A	
Earth Factor, Magnitude		0,8575118	
Earth Factor, Angle		-9,556138 deg	

Figura 5-11: Modelado LT Río Salado - EST. E-66.



5.2 Tramo SE Río Salado – EST. E-68 1x110kV

Para realizar el seccionamiento del circuito 1 de la línea de transmisión 2x110kV Diego de Almagro – Salvador - Potrerillos, se construirá un tramo de línea de aproximadamente 0,269km de longitud, el que se conectará al tramo existente entre la S/E Diego de Almagro y el Tap-off Llanta en su torre (o estructura) EST. E—68, constituyendo así el nuevo tramo Río Salado – Tap-off Llanta 1x110kV.

Cabe destacar que el tramo entre la SE Río Salado y EST. E-68 se encuentra tendido en una estructura distinta a la existente. A diferencia de la suspensión actual ésta cuenta con 2 cables de guardia, los cuales llegarán hasta la estructura V3 como se ve en la Figura 5-1. En esta misma se puede ver que existe una transposición de conductores al llegar a la EST. E-68.

En las secciones a continuación se presentan las características principales del tipo de conductor de fase y cable de guardia, y la torre más representativa para ser utilizados en el modelado de los nuevos tramos en DigSILENT.

En la siguiente figura se muestra el perfil longitudinal del nuevo tramo Río Salado – EST. E-68 1x110kV [28].

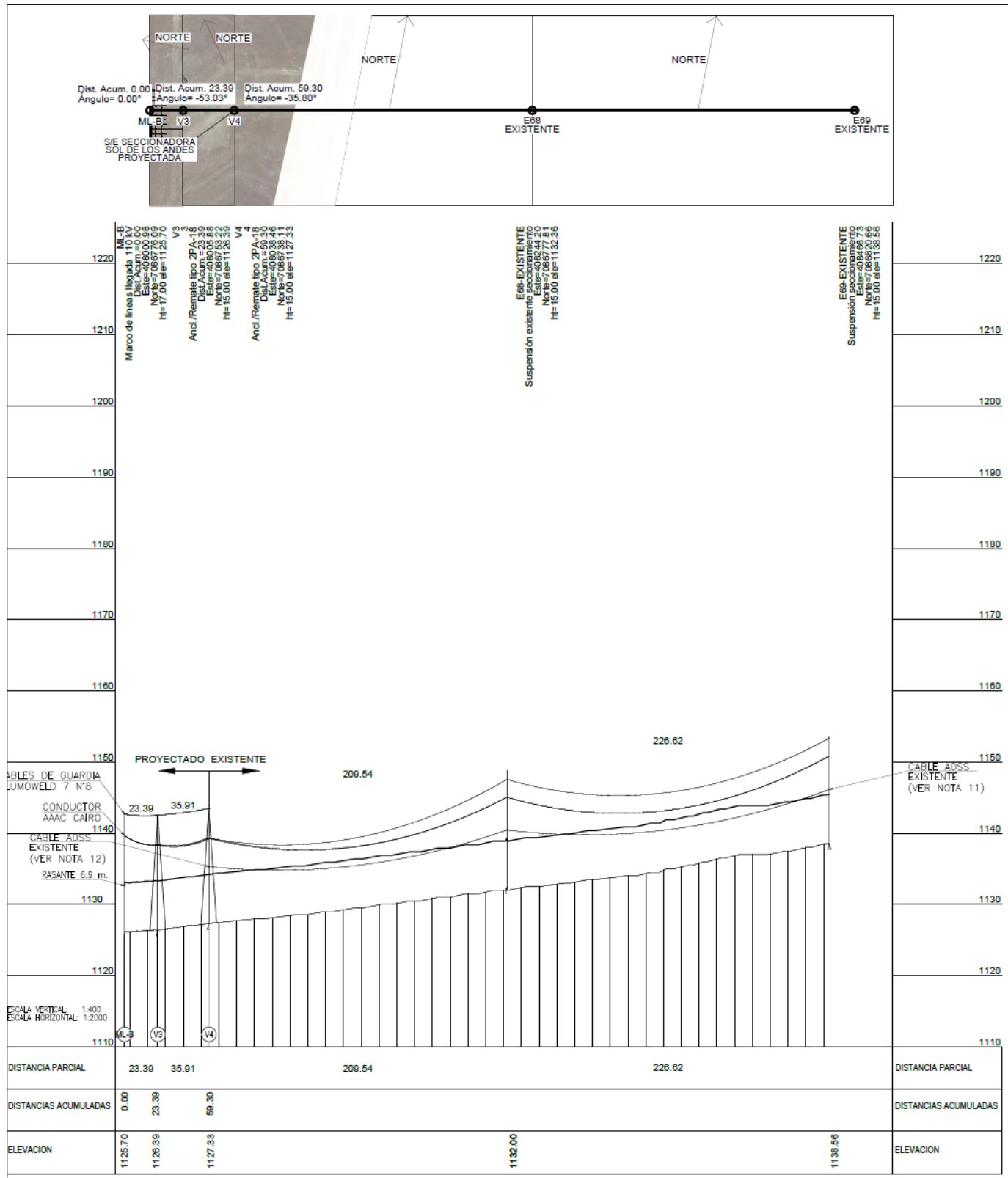


Figura 5-12: Perfil longitudinal del nuevo tramo Río Salado – EST. E-68 1x110KV [28].



5.2.1 Conductor de fase

Se observa que el tramo 1x110kV Río Salado – EST. E-68 posee un conductor de tipo AAAC Cairo. Sus principales características se obtienen de [31] y se resumen a continuación:

RÍO SALADO - Est. E68 110kV	
Parámetros del conductor	
Tipo	- AAAC Cairo
Número de subconductores por fase	- 1
Díametro	mm 19,88
Díametro alma	mm -
Resistencia de DC (20º)	Ω/km 0,1417
RMG	mm 7,53
Masa por unidad de longitud	Kg/km 650,0

Tabla 5-4: Características principales conductor de fase.

El modelo del conductor se muestra en la figura a continuación.

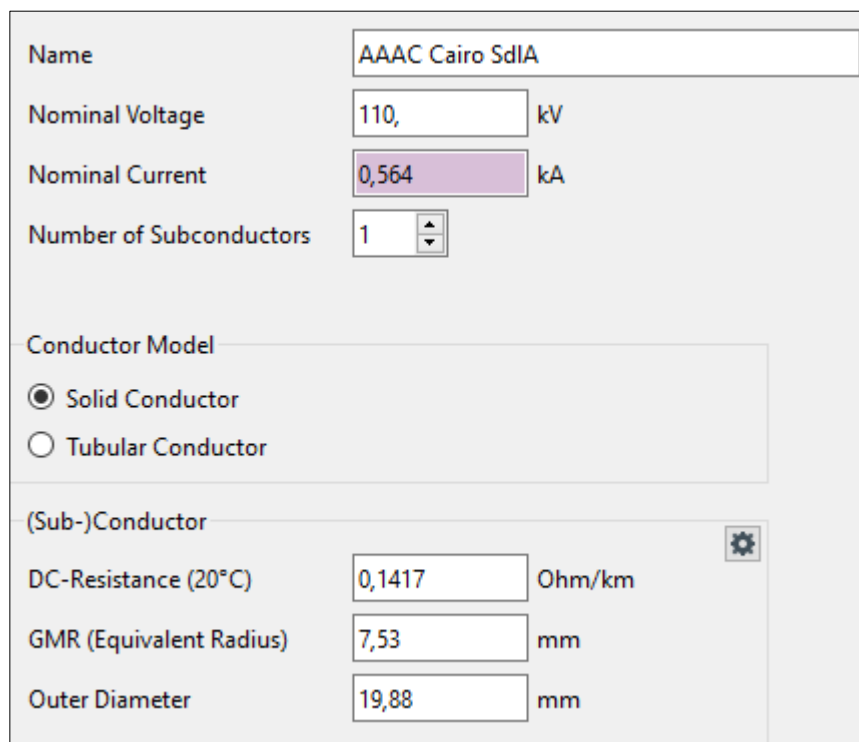


Figura 5-13: Modelo conductor de fase AAAC Cairo.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.



Parameter: SdIA - Río Salado 110kV

Scale: ▼ → Characteristics\Scale\T° PFV SdIA

	Values
25	0,564
35	0,494

Figura 5-14: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.

5.2.2 Cables de guardia

Las características del conductor del cable de guardia se obtienen de [30] donde se muestran los parámetros técnicos y eléctricos que se resumen a continuación.

Parámetros del hilo de guardia 1		
Tipo	-	Alumoweld 7
Diametro	mm	9,78
Resistencia de DC (20º)	Ω/km	1,463
RMG	mm	3,8083
Parámetros del hilo de guardia 2		
Tipo	-	Alumoweld 7
Diametro	mm	9,78
Resistencia de DC (20º)	Ω/km	1,463
RMG	mm	3,8083

Tabla 5-5: Características principales de los cables de guardia.

Name: Alumoweld 7 n8

Nominal Voltage: 110, kV

Nominal Current: 1, kA

Number of Subconductors: 1

Conductor Model:

☒ Solid Conductor

☐ Tubular Conductor

(Sub-)Conductor:

DC-Resistance (20°C): 1,463 Ohm/km

GMR (Equivalent Radius): 3,8083 mm

Outer Diameter: 9,78 mm

Figura 5-15: Modelo del cable de guardia en DigSILENT.



5.2.3 Estructura más representativa

El proyecto contempla la instalación de las estructuras de anclaje V3 y V4 tipo 2PA-18 [27] entre la SE Río Salado y la torre existente EST. E-68, su estructura más representativa y las medidas relevantes para el modelado de la torre se presentan a continuación.

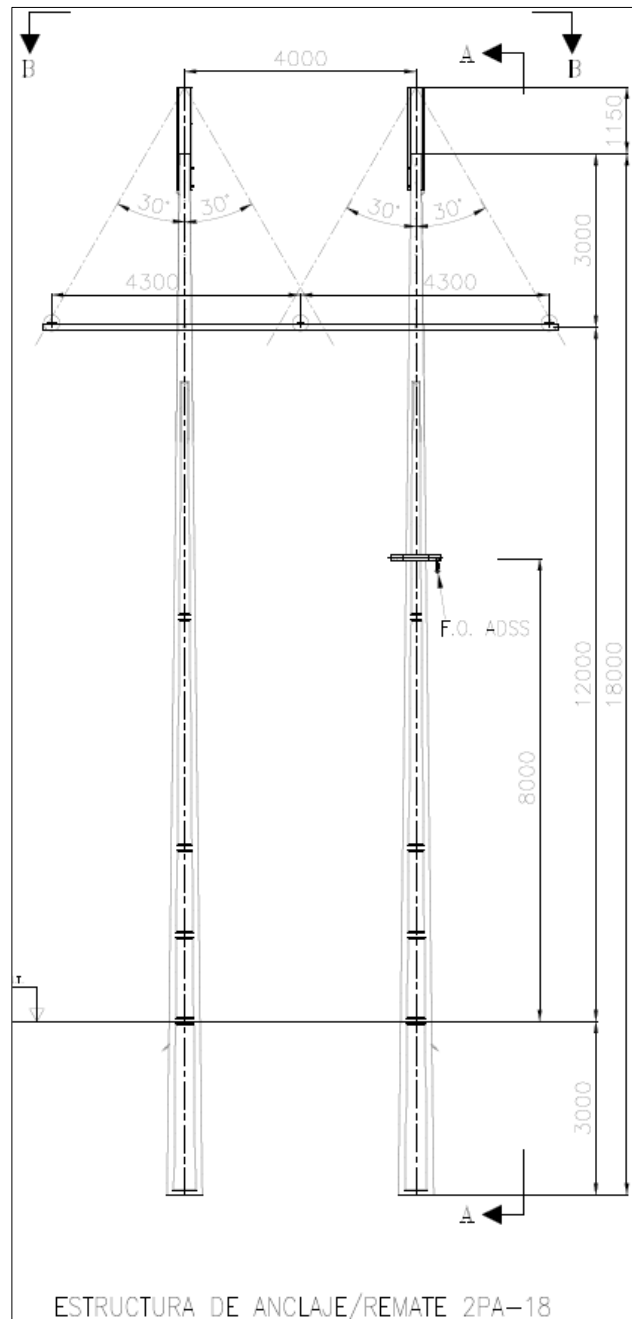


Figura 5-16: Estructura de anclaje/remate 2PA-18.



El resumen de las alturas para los conductores se muestra en la tabla a continuación.

Río Salado - E68 110kV	Posición conductores de Fase [m]						Hilo de guardia [m]			
	x1	x2	x3	y1	y2	y3	x4	x5	y4	y5
Crucetas	-4,3	0	4,3	12	12	12	-2	2	16,15	16,15
Aisladores				0	0	0			0	0
Punto sujeción				12	12	12			16,15	16,15
Flecha prom.				2,71333	2,71333	2,71333			0,07	0,07
Posición Eq.	-4,3	0	4,3	10,19	10,19	10,19	-2	2	16,10	16,10

Tabla 5-6: Coordenadas geométricas de conductores.

En consideración de todo lo anterior, a continuación, se muestra las coordenadas de o conductores de los tramos en DigSILENT.

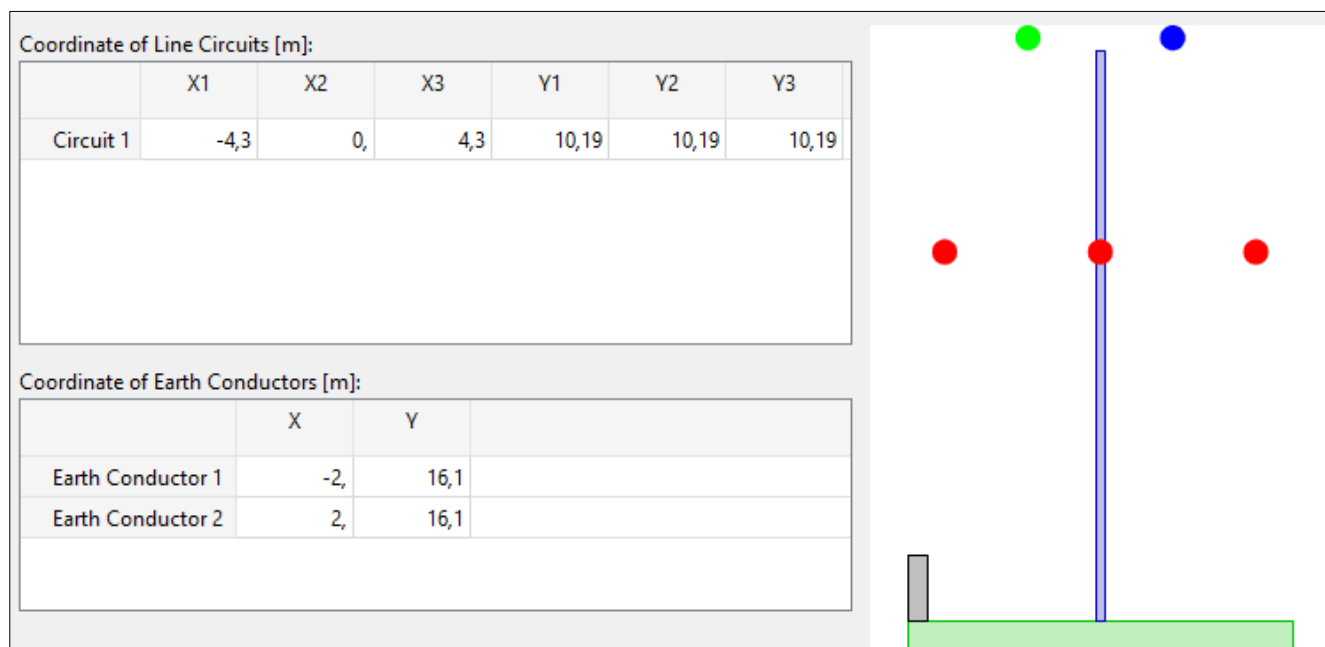


Figura 5-17: Modelo DigSILENT Río Salado – EST. E-66 1x110kV.

5.2.1 Modelo Digsilent

Es importante destacar que esta sección de línea se modeló en 2 tramos para incluir la transposición de conductores ya mencionada. A continuación, se presenta dicho modelado en Powerfactory DigSILENT.



Name
Torre ID3943_a

Route
▼ →

☐ Out of Service

Line Model

☒ Lumped Parameter (PI)
☐ Distributed Parameter

Number of Overhead Line Systems
1

Geometries:

	Type TypTow, TypGeo	Distance m
G1	Rio Salado - Est E-68	0,

Earth Wires:

	Type TypCon	Max.Sag m
G1/E1	Alumoweld 7 n8	0,
G1/E2	Alumoweld 7 n8	0,

Line Names:

	Circuit ElmLne,ElmLneroute	Polarity	Type TypCon	Max.S... m	Transposition	Phasing
G1/C1	✓ Río Salado - v4 110kV	Terminal i	AAAC Cairo SdIA	0,	<input type="checkbox"/>	A-B-C

Name
Torre ID3943_b

Route
▼ →

☐ Out of Service

Line Model

☒ Lumped Parameter (PI)
☐ Distributed Parameter

Number of Overhead Line Systems
1

Geometries:

	Type TypTow, TypGeo	Distance m
G1	Rio Salado - Est E-68	0,

Earth Wires:

	Type TypCon	Max.Sag m
G1/E1	Alumoweld 7 n8	0,
G1/E2	Alumoweld 7 n8	0,

Line Names:

	Circuit ElmLne,ElmLneroute	Polarity	Type TypCon	Max.S... m	Transposition	Phasing
G1/C1	✓ v4 - Est E-68 110kV	Terminal i	AAAC Cairo SdIA	0,	<input type="checkbox"/>	B-A-C

Figura 5-18: Modelado de sección tramo como Line Couplings.



General
Geometry

Name
Rio Salado - Est E-68

System Type
AC

Nominal Frequency
50,
Hz

Number of Earth Wires
2

Number of Line Circuits
1

Transposition
none

Input Mode

☒ Geometrical Parameter
☐ Electrical Parameter

Earth Resistivity
100,
Ohm*m

Conductor Types of Line Circuits:

	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
Circuit 1	AAAC Cairo SdIA	3,	<input type="checkbox"/>

Types of Earth Conductors:

	Conductor Types TypCon
Earth Conductor 1	Alumoweld 7 n8
Earth Conductor 2	Alumoweld 7 n8

Figura 5-19: Modelo de torre entre Río Salado y EST E-66.



Name		Río Salado - v4 110kV	
Line Couplings		→ 01-Atacama\Torre ID3943_a	
Terminal i	→	01-Atacama\SE Río Salado 110kV\Cub_9	SE Río Salado 110kV
Terminal j	→	01-Atacama\Aux RS - E68\Cub_1	Aux RS - E68
Zone	Terminal i	→	
Area	Terminal i	→	
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Number of parallel Lines		1	
Parameters			
Thermal Rating	→		
Length of Line	0,0593	km	
Derating Factor	1,		
Resulting Values			
Rated Current (act.)		0,564 kA	
Pos. Seq. Impedance, Z1		0,02592234 Ohm	
Pos. Seq. Impedance, Angle		70,96551 deg	
Pos. Seq. Resistance, R1		0,00845424 Ohm	
Pos. Seq. Reactance, X1		0,02450497 Ohm	
Zero Seq. Resistance, R0		0,02778698 Ohm	
Zero Seq. Reactance, X0		0,06772203 Ohm	
Earth-Fault Current, Ice		0,02108471 A	
Earth Factor, Magnitude		0,6087946	
Earth Factor, Angle		-5,06641 deg	

Name		v4 - Est E-68 110kV	
Line Couplings		→ 01-Atacama\Torre ID3943_a(1)	
Terminal i	→	01-Atacama\Est E-68\Cub_2	Est E-68
Terminal j	→	01-Atacama\Aux RS - E68\Cub_2	Aux RS - E68
Zone	Terminal i	→	
Area	Terminal i	→	
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Number of parallel Lines		1	
Parameters			
Thermal Rating	→		
Length of Line	0,20954	km	
Derating Factor	1,		
Resulting Values			
Rated Current (act.)		0,564 kA	
Pos. Seq. Impedance, Z1		0,09159812 Ohm	
Pos. Seq. Impedance, Angle		70,96551 deg	
Pos. Seq. Resistance, R1		0,02987356 Ohm	
Pos. Seq. Reactance, X1		0,08658975 Ohm	
Zero Seq. Resistance, R0		0,09818691 Ohm	
Zero Seq. Reactance, X0		0,2392997 Ohm	
Earth-Fault Current, Ice		0,07450406 A	
Earth Factor, Magnitude		0,6087946	
Earth Factor, Angle		-5,06641 deg	

Figura 5-20: Modelado LT Río Salado - EST. E-66.



5.3 Línea 1x110kV SE Sol de los Andes – Río Salado

El PFV Sol de los Andes canaliza su inyección de energía al SEN a través del enlace que conecta la subestación elevadora Sol de los Andes con la subestación seccionadora Río Salado. Esta línea cuenta con un conductor por fase y dos cables de guardia con distintas características. En la Figura 5-21 se puede ver el esquema de abatimiento y secuencia de fases de la línea.

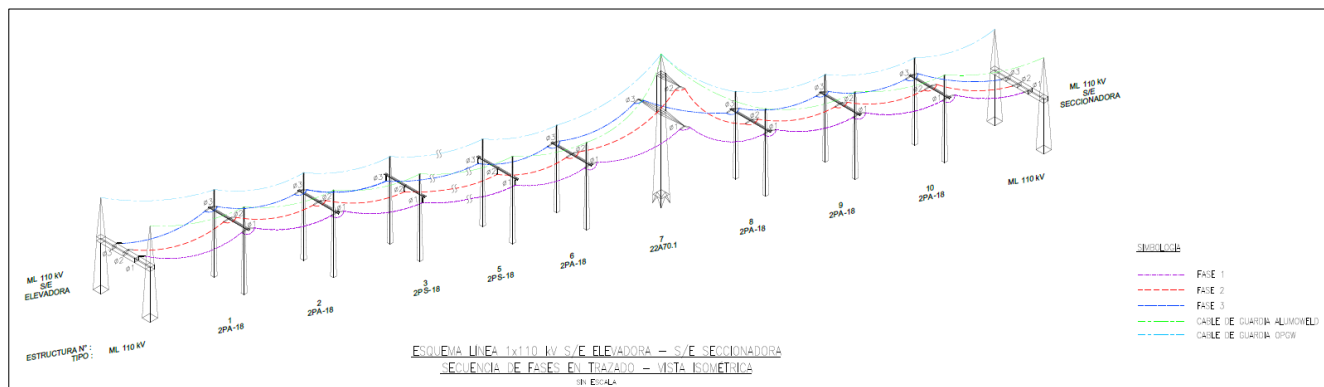


Figura 5-21: Esquema de abatimiento y secuencia de fases 1x110 Sol de los Andes - Río Salado [19].

En las secciones a continuación se presentan las características principales del tipo de conductor de fase y cable de guardia, y la torre más representativa para ser utilizados en el modelado de los nuevos tramos en DigSILENT.

En la siguiente figura se muestra el perfil longitudinal del nuevo tramo 1x110kV Sol de los Andes – Río Salado [21].

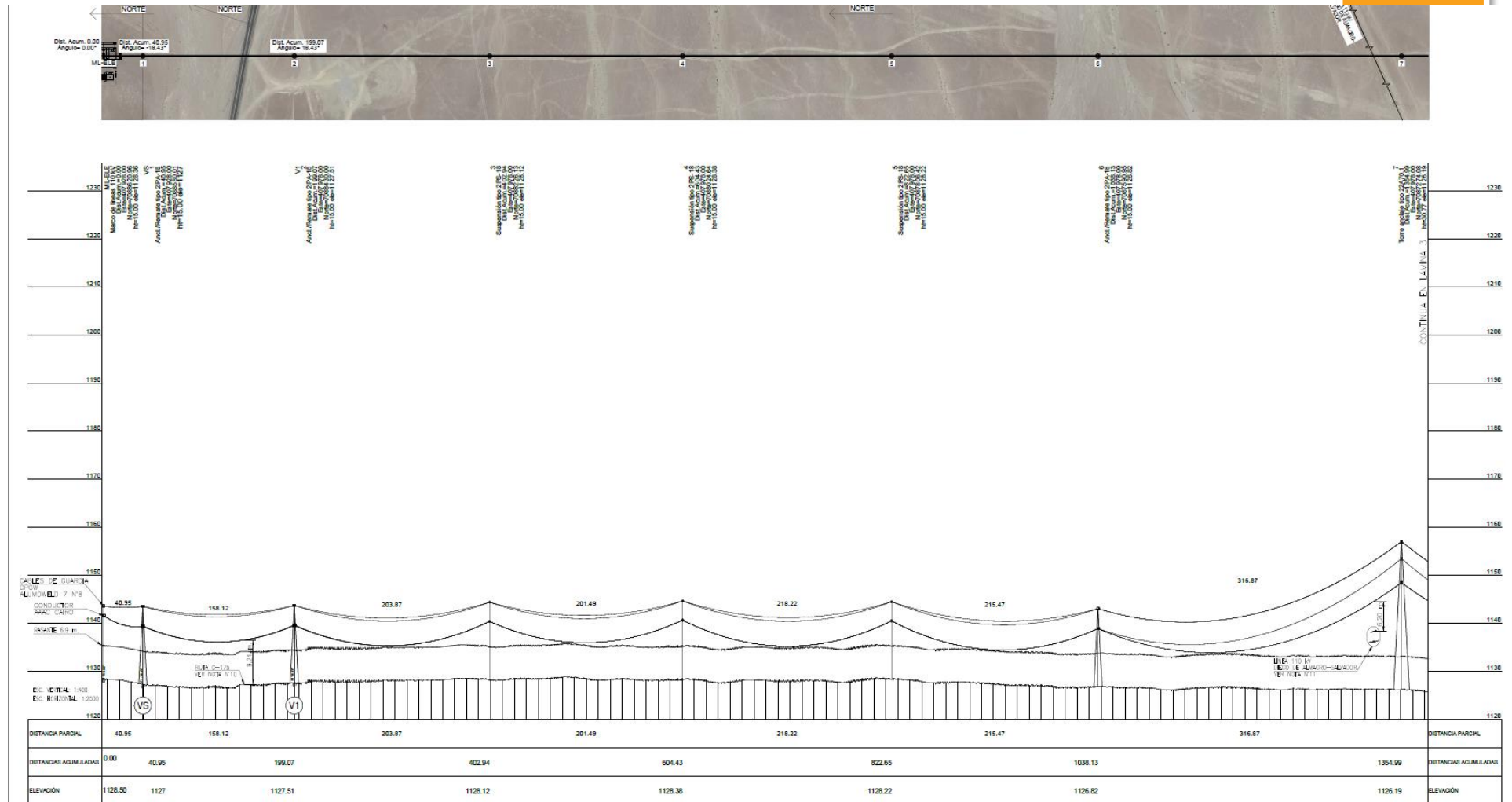


Figura 5-22: Perfil longitudinal 1x110kV Sol de los Andes - Río Salado.



5.3.1 Conductor de fase

Se observa que el tramo 1x110kV Sol de los Andes – Río Salado posee un conductor de tipo AAAC Cairo. Sus principales características se obtienen de [22] y se resumen a continuación.

Parámetros del conductor		SOL DE LOS ANDES - RIO SALADO 110kV
Tipo	-	AAAC Cairo
Número de subconductores por fase	-	1
Diametro	mm	19,88
Diametro alma	mm	-
Resistencia de DC (20º)	Ω/km	0,1417
RMG	mm	7,53
Masa por unidad de longitud	Kg/km	650,0

Tabla 5-7: Características principales conductor de fase.

El modelo del conductor se muestra en la figura a continuación.

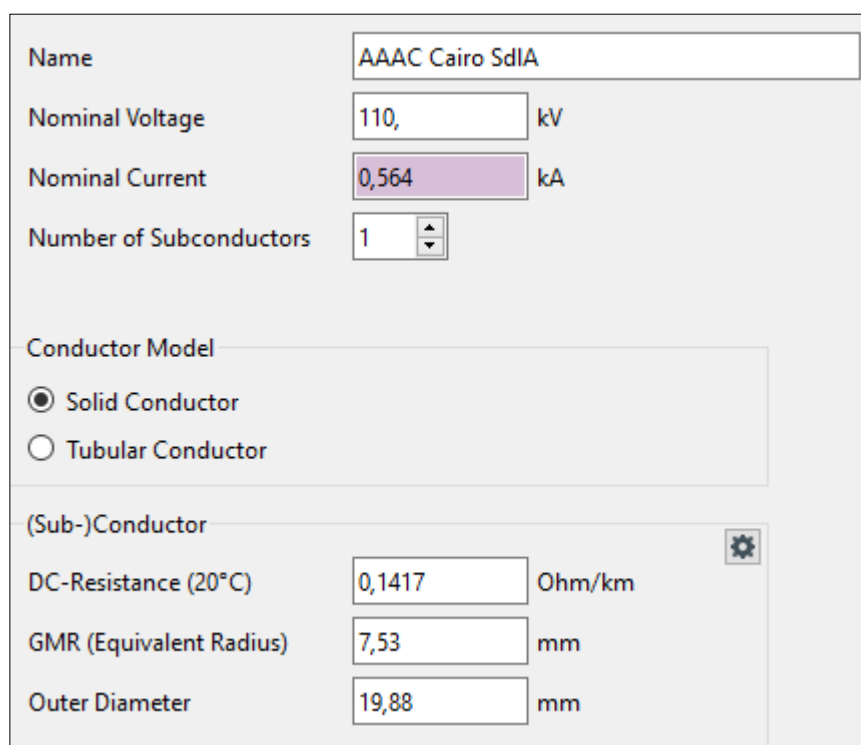


Figura 5-23: Modelo conductor de fase AAAC Cairo.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.



Parameter: SdIA - Río Salado 110kV

Scale: ▼ → Characteristics\Scale\T° PFV SdIA

	Values
25	0,564
35	0,494

Figura 5-24: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.

5.3.2 Cables de guardia

Las características del conductor del cable de guardia se obtienen de [23][24] donde se muestran los parámetros técnicos y eléctricos que se resumen a continuación.

Parámetros del hilo de guardia 1		
Tipo	-	OPGW
Diametro	mm	11,8
Resistencia de DC (20º)	Ω/km	0,788
RMG	mm	4,5949
Parámetros del hilo de guardia 2		
Tipo	-	Alumoweld 7
Diametro	mm	9,78
Resistencia de DC (20º)	Ω/km	1,463
RMG	mm	3,8083

Tabla 5-8: Características principales de los cables de guardia.

Name: OPGW

Nominal Voltage: 110, kV

Nominal Current: 1, kA

Number of Subconductors: 1

Conductor Model:

☒ Solid Conductor

☐ Tubular Conductor

(Sub-)Conductor:

DC-Resistance (20°C): 0,788 Ohm/km

GMR (Equivalent Radius): 4,5949 mm

Outer Diameter: 11,8 mm

Figura 5-25: Modelo del cable de guardia OPGW en DigSILENT.



Name	Alumoweld 7 n8	
Nominal Voltage	110,	kV
Nominal Current	1,	kA
Number of Subconductors	1	
Conductor Model		
<input checked="" type="radio"/> Solid Conductor		
<input type="radio"/> Tubular Conductor		
(Sub-)Conductor		
DC-Resistance (20°C)	1,463	Ohm/km
GMR (Equivalent Radius)	3,8083	mm
Outer Diameter	9,78	mm

Figura 5-26: Modelo del cable de guardia Alumoweld en DigSILENT.



5.3.3 Estructura más representativa

El proyecto contempla la instalación de las torres dispuestas en la Figura 5-21, entre las cuales se elige como más representativa la estructura de anclaje/remate 2PA-18, esto debido a que se abarca una mayor distancia que las demás. A continuación, se presenta su diagrama y las medidas más relevantes para el modelado de la torre [20].

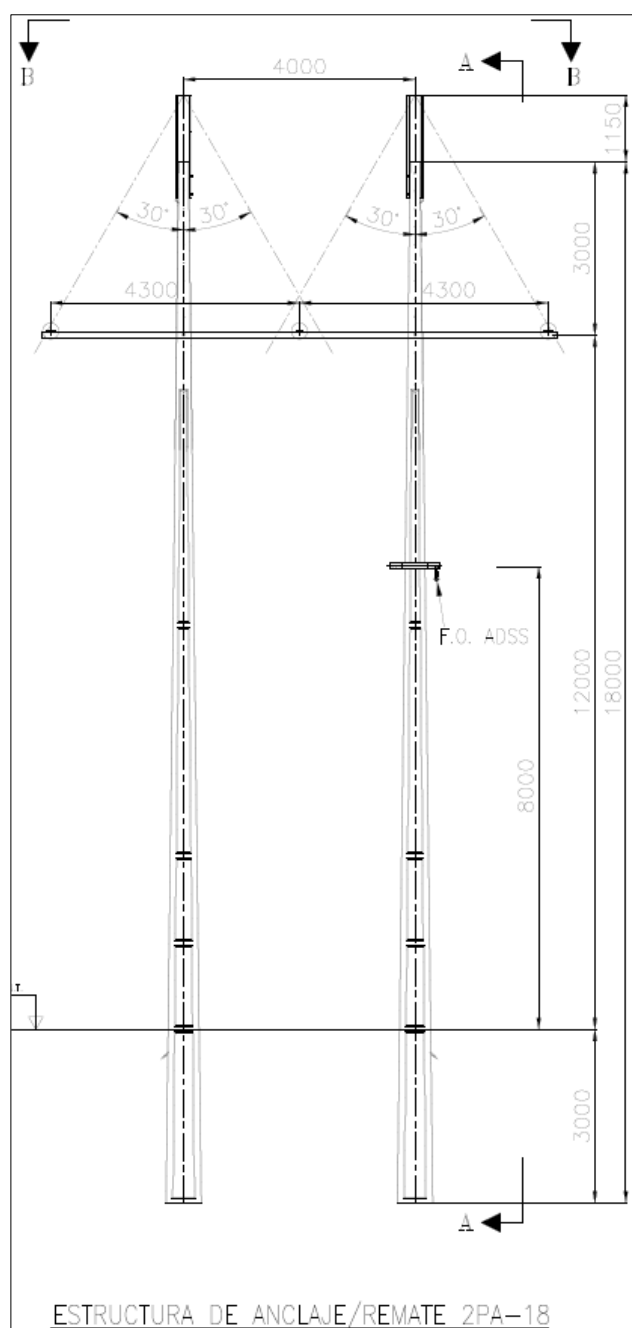


Figura 5-27: Estructura de anclaje/remate 2PA-18.



El resumen de las alturas para los conductores se muestra en la tabla a continuación.

PV SdIA - Río Salado 110kV	Posición conductores de Fase [m]						Hilo de guardia [m]			
	x1	x2	x3	y1	y2	y3	x4	x5	y4	y5
Crucetas	-4,3	0	4,3	12	12	12	-2	2	16,15	16,15
Aisladores				0	0	0				0
Punto sujeción				12	12	12				16,15
Flecha prom.				3,97	3,97	3,97				2,869
Posición Eq.	-4,3	0	4,3	9,35	9,35	9,35	-2	2	14,00	14,24

Tabla 5-9: Coordenadas geométricas de conductores en 1x110kV Sol de los Andes – Río Salado.

En consideración de todo lo anterior, a continuación, se muestra las coordenadas de o conductores de los tramos en DigSILENT.

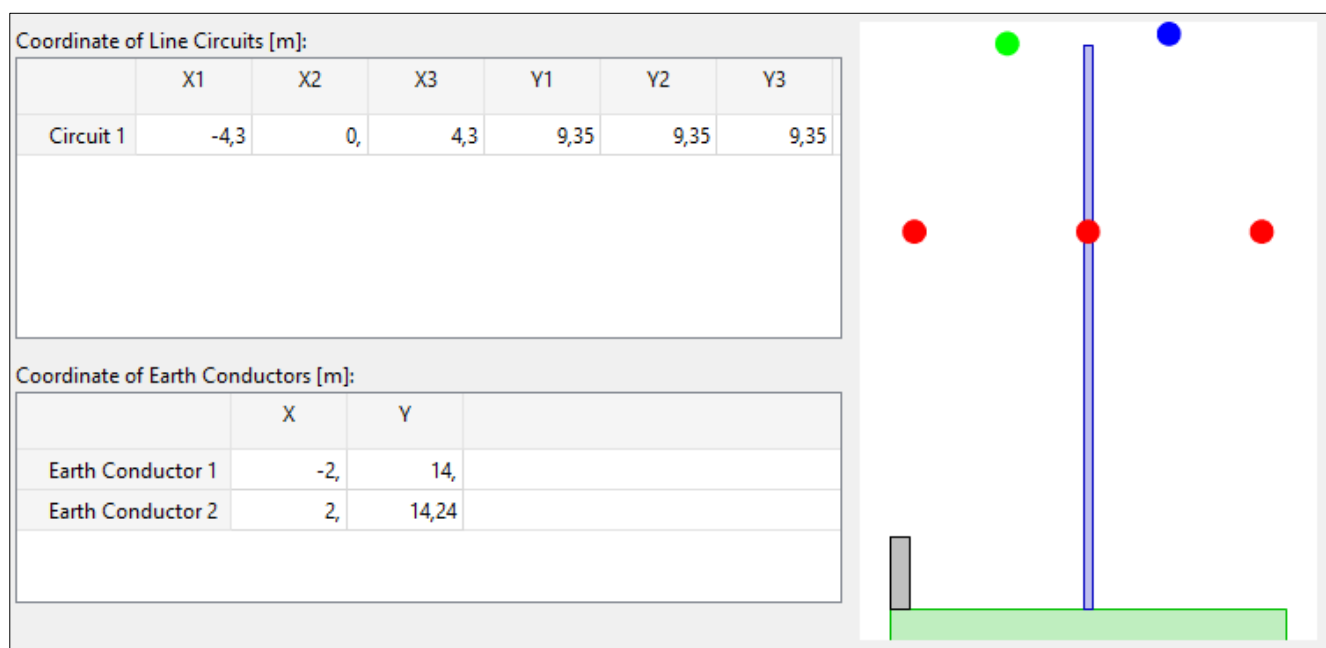


Figura 5-28: Modelo DigSILENT 1x110kV Sol de los Andes – Río Salado.



5.3.4 Modelo Digsilent

Name	Torre Sol de los Andes - Río Salado		
System Type	AC		
Nominal Frequency	50,	Hz	
Number of Earth Wires	2		
Number of Line Circuits	1	Transposition	none
Input Mode			
<input checked="" type="radio"/> Geometrical Parameter <input type="radio"/> Electrical Parameter		Earth Resistivity <input type="text" value="119803,3"/> Ohm*m	
Conductor Types of Line Circuits:			
	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
Circuit 1	AAAC Cairo SdIA	3,	<input type="checkbox"/>
Types of Earth Conductors:			
	Conductor Types TypCon		
Earth Conductor 1	OPGW		
Earth Conductor 2	Alumoweld 7 n8		

Figura 5-29: Modelo de torre entre SSEE Sol de los Andes y Río Salado.



5.1 Tramos EST. E-68 – Tap off Llanta 1x110kV y Diego de Almagro – EST. E-66 1x110kV

La línea que secciona el proyecto corresponde al tramo entre la SE Diego de Almagro y el Tap off Llanta C1, por lo que ambos tramos tienen las mismas características.

En las secciones a continuación se presentan las características principales del tipo de conductor de fase y cable de guardia, y la torre más representativa para ser utilizados en el modelado de los nuevos tramos en DigSILENT.

5.1.1 Características generales

- Nivel de tensión: 110kV
- Cantidad de conductores por fase: 1
- Cantidad de cables de guardia: 0
- Longitud:
 - tramo Diego de Almagro – Est. 66: 13,872 km
 - tramo Est. 68 – Llanta: 14,616 km

5.1.2 Conductor de fase

Se observa que ambos tramos poseen un conductor de tipo AAAC Cairo. Sus principales características se obtienen de [33] y se resumen a continuación:

Parámetro	UM	VALOR
Tensión nominal	[kV]	110
Corriente nominal	[kA]	0.525
Material del conductor		Aleación de aluminio
Numero de subconductores	-	-
Numero de hebras	-	19
Espaciamiento del conjunto de conductores	m	-
Modelo del conductor		CAIRO
Parámetros de subconductores	UM	VALOR
Resistencia DC 20°C	Ohm/km	0.1433
Resistencia DC 30°C	Ohm/km	0.1575
Radio medio geométrico – RMG	mm	7.53
Diámetro externo	mm	19.88
Diámetro interior (si aplica)	mm	-

Tabla 5-10: Características principales conductor de fase.

El modelo del conductor se muestra en la figura a continuación.




Name	AAAC CAIRO DDA	
Nominal Voltage	110,	kV
Nominal Current	0,525	kA
Number of Subconductors	1	
Conductor Model		
<input checked="" type="radio"/> Solid Conductor <input type="radio"/> Tubular Conductor		
(Sub-)Conductor 		
DC-Resistance (20°C)	0,1433	Ohm/km
GMR (Equivalent Radius)	7,53	mm
Outer Diameter	19,88	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Skin effect		

Figura 5-30: Modelo conductor de fase AAAC Cairo.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.

Parameter	DdA-Llanta 110kV 3	
Scale	<div> <div>▼</div> <div>→</div> </div>	Characteristics\Scale\T° PFV SdIA
	Values	
25	0,525	
35	0,456	

Figura 5-31: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.

Cabe destacar que ambos tramos no poseen conductor de guardia por lo que no son modelados.



5.1.3 Estructura más representativa

La estructura más representativa de ambos tramos y las medidas relevantes para el modelado de la torre se presentan a continuación.

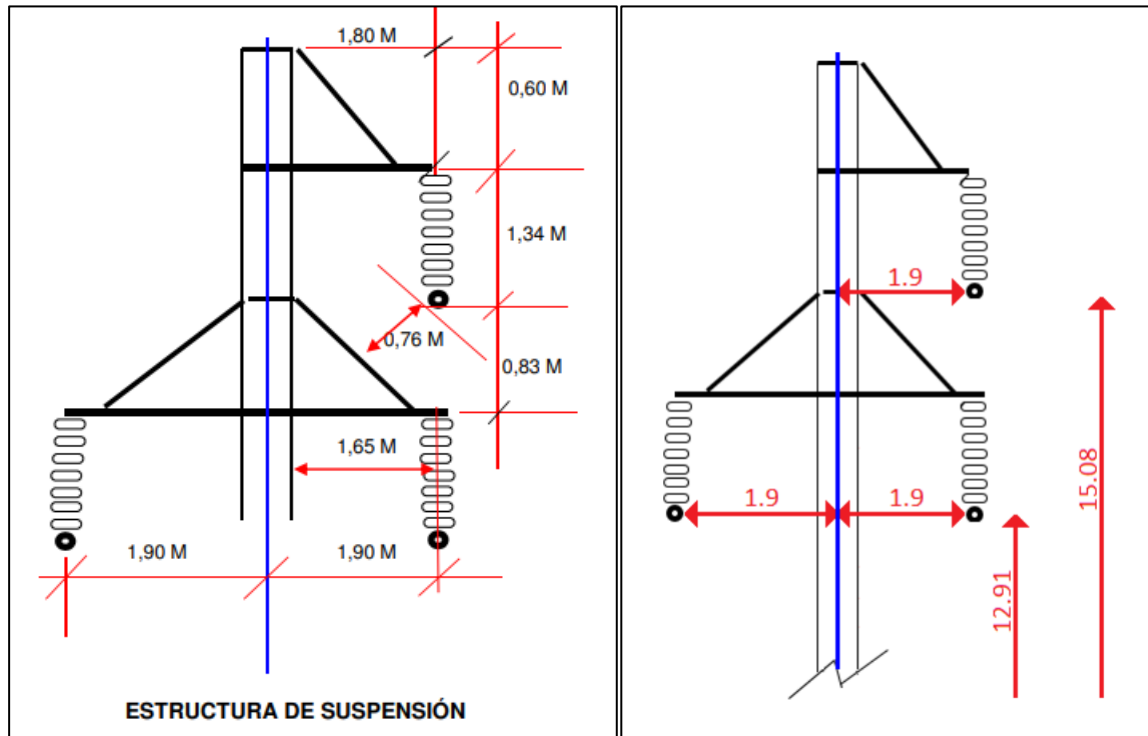


Figura 5-32: Torre representativa

Cabe destacar que la cadena de aisladores tiene una longitud de 1,34 m. Tomando en cuenta esto, se procede a calcular la altura promedio de los conductores considerando la fórmula siguiente, donde la flecha promedio se considera de 2,01m.

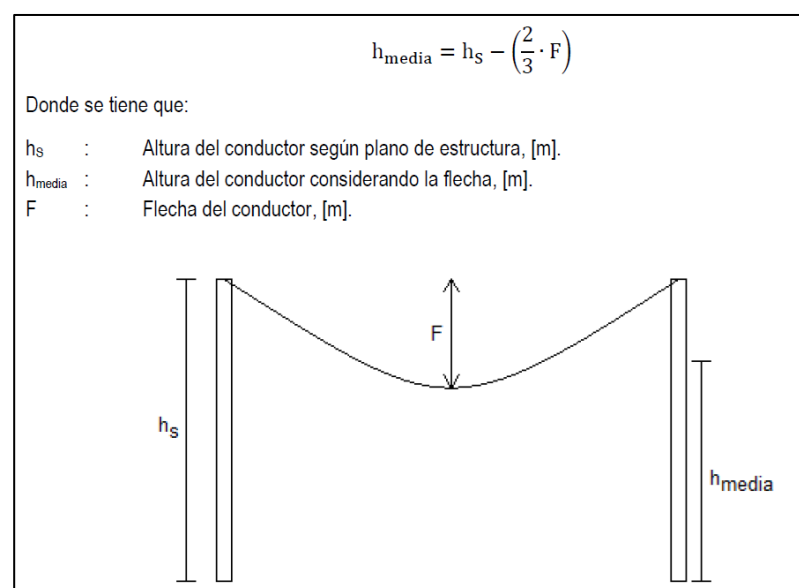


Figura 5-33: Altura media considerando la flecha del conductor.



De esta forma, se calcula la altura de suspensión y la altura media de los conductores, las que se enseñan a continuación

Conductor	Altura en torre [m]	Altura de suspensión [m]	Altura media [m]
Fase A	14,25	12,91	11,57
Fase B	16,42	15,08	13,74
Fase C	14,25	12,91	11,57

Tabla 5-11: Altura de suspensión y promedio de conductores.

En consideración de todo lo anterior, a continuación, se muestra las coordenadas de los conductores de los tramos en DlgSILENT.

COORDENADAS GEOMÉTRICAS DE CONDUCTOR EN TORRE			
CONDUCTOR DE FASE			
CIRCUITO	COORDENADAS EN EL EJE (X,Y)	UM	VALOR
CIRCUITO 1	X1	m	-1,9
	X2	m	-1,9
	X3	m	1,9
	Y1	m	11,57
	Y2	m	13,74
	Y3	m	11,57

Tabla 5-12: Coordenadas geométricas de conductores.

En consideración de todo lo anterior, a continuación, se muestra las coordenadas de o conductores de los tramos en DlgSILENT.

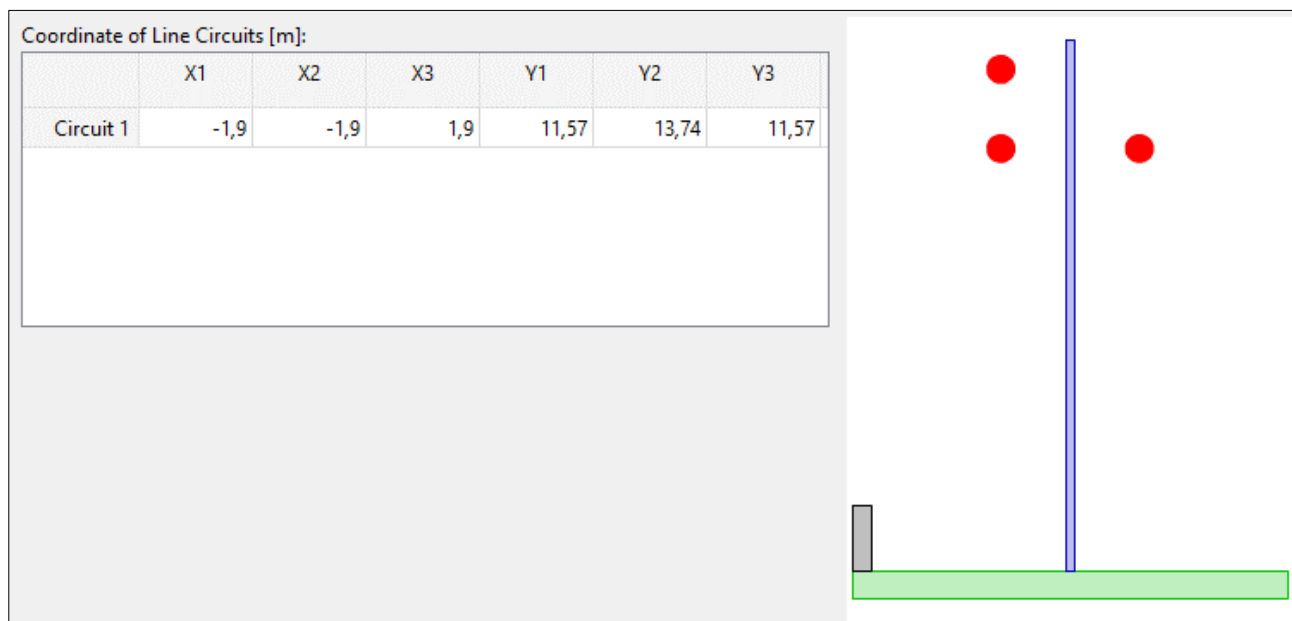


Figura 5-34: Modelo DlgSILENT Torre Diego de Almagro Tap off Llanta



5.1.4 Modelo Digsilent

A continuación, considerando una resistividad de terreno de 10000[Ohm*m] se presenta dicho modelado en Powerfactory DigSILENT.

Name

Tipo Linea 5

System Type

AC

Nominal Frequency

50,

Hz

Number of Earth Wires

0

Number of Line Circuits

1

Transposition

none

Input Mode

☒ Geometrical Parameter
 ☐ Electrical Parameter

Earth Resistivity

10000,

Ohm*m

Conductor Types of Line Circuits:

	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
Circuit 1	AAAC CAIRO DDA	3,	<input type="checkbox"/>

Figura 5-35: Modelo de torre entre Diego de Almagro y Tap off Llanta



Name	Diego de Almagro - Río Salado 110kV	
Type	...Library\Linea Completa\Library\20005\Tipo Linea 5	
Terminal i	01-Atacama\IB\Cub_12	IB
Terminal j	01-Atacama\Est E-66\Cub_4	Est E-66
Zone	Terminal i	
Area	Terminal i	
<input type="checkbox"/> Out of Service		
Number of parallel Lines	1	
Parameters		Resulting Values
Thermal Rating		Rated Current (act.) 0,456 kA
Length of Line 13,872 km		Pos. Seq. Impedance, Z1 5,666184 Ohm
Derating Factor 1,		Pos. Seq. Impedance, Angle 69,35634 deg
		Pos. Seq. Resistance, R1 1,997641 Ohm
		Pos. Seq. Reactance, X1 5,302365 Ohm
		Zero Seq. Resistance, R0 4,045338 Ohm
		Zero Seq. Reactance, X0 26,08149 Ohm
		Earth-Fault Current, Ice 3,90866 A
		Earth Factor, Magnitude 1,228327
		Earth Factor, Angle 15,01557 deg

Figura 5-36: Modelado LT Diego de Almagro Est 66

Name	Río Salado - Llanta 110kV	
Type	...Library\Linea Completa\Library\20005\Tipo Linea 5	
Terminal i	...ego de Almagro - Potrerillos 110(1)\Llanta 1\Cub_4	Llanta 1
Terminal j	01-Atacama\Est E-68\Cub_3	Est E-68
Zone	Terminal i	
Area	Terminal i	
<input type="checkbox"/> Out of Service		
Number of parallel Lines	1	
Parameters		Resulting Values
Thermal Rating		Rated Current (act.) 0,456 kA
Length of Line 14,616 km		Pos. Seq. Impedance, Z1 5,97008 Ohm
Derating Factor 1,		Pos. Seq. Impedance, Angle 69,35634 deg
		Pos. Seq. Resistance, R1 2,104781 Ohm
		Pos. Seq. Reactance, X1 5,586749 Ohm
		Zero Seq. Resistance, R0 4,262303 Ohm
		Zero Seq. Reactance, X0 27,48033 Ohm
		Earth-Fault Current, Ice 4,118294 A
		Earth Factor, Magnitude 1,228327
		Earth Factor, Angle 15,01557 deg

Figura 5-37: Modelado LT Tap off Llanta Est 68



5.2 Transformador 110/33kV 100MVA

La subestación Sol de los Andes cuenta con un transformador de poder trifásico de 110/33kV 80/100MVA ONAN/ONAF, con grupo de conexión estrella aterrizada en el lado de 110 kV y delta en su devanado de media tensión (33 kV), con un sistema de cambiador de taps bajo carga. Las características del transformador se obtienen de sus pruebas FAT [34] y certificados emitidos por el fabricante [35]. En la figura a continuación se presentan un extracto del documento.

8. 空载损耗和空载电流测量(例行试验)/									
Measurement of no-load loss and current(Routine test)									
液体平均温度 Liquid average temperature : 20.1℃									
试验施加电压 (kV) Applied voltage			空载电流(A) No-load current					空载损耗(kW) No-load loss	
百分数(%) Percent	有效值 R. M. S. value	平均值 (有效值刻度) Mean value (R. M.S. scale)	x1	x2	x3	平均值 Mean	I ₀ %	实测值 Measured value	校正值 Corrected value
110	37.894	36.303	6.253	6.544	6.910	6.569	0.38	77.352	73.96
100	33.235	32.997	0.954	1.113	1.358	1.142	0.07	45.688	45.36
90	29.787	29.694	0.638	0.680	0.928	0.749	0.04	34.049	33.94

10. 短路阻抗和负载损耗测量(例行试验)									
Measurement of short-circuit impedance and load loss(Routine test)									
液体平均温度 Liquid average temperature :20.1℃									
测量 绕组 Windings	分接 位置 Tap Position	绕组电流 Current (A)		测量电压 Measured voltage (kV)	短路阻抗 Short-circuit Impedance (75℃)		损耗 Loss (kW)		
		施加 (A) Applied	I/I _r (%)				测量值 Measured Value	校正值 Corrected value	
								额定电流下 Under rated	75 ⁰ C
高压-低压 HV-LV	1	281.652	59.0	9.738	10.91	19.96	97.947	281.109	318.10
	11	328.087	62.5	8.851	10.30	15.58	108.788	278.413	318.28
	21	322.655	55.3	6.961	10.17	12.46	101.699	332.235	382.57

Figura 5-38: Características principales TR Sol de los Andes 110/33kV, 100MVA [34].

El transformador contará con un cambiador de tap bajo carga en lado de 110kV. Este cambiador de tap tendrá 21 pasos, cada uno de 1% de la tensión nominal del transformador (110kV).



HV Lado				
Voltaje (V)	Corriente (A)	Posiciones	Posición de servicio	Selector de grifo
121000	477.1	1	1	1
119900	481.5	2	2	2
118800	486.0	3	3	3
117700	490.5	4	4	4
116600	495.2	5	5	5
115500	499.9	6	6	6
114400	504.7	7	7	7
113300	509.6	8	8	8
112200	514.6	9	9	9
111100	519.7	10	10	10
110000	524.9	11A	11	11
		11B	12	K
		11C	13	1
108900	530.2	12	14	2
107800	535.6	13	15	3
106700	541.1	14	16	4
105600	546.7	15	17	5
104500	552.5	16	18	6
103400	558.4	17	19	7
102300	564.4	18	20	8
101200	570.5	19	21	9
100100	576.8	20	22	10
99000	583.2	21	23	11

Figura 5-39: Cambiador de tap bajo carga [36].



En la figura a continuación se presenta el modelo del transformador en DigSILENT.

Name		Transformador_princ_80/100MVA	
Technology		Three Phase Transformer	
Rated Power		100,	MVA
Nominal Frequency		50,	Hz
Rated Voltage			
HV-Side	110,	kV	
LV-Side	33,	kV	
Positive Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk	10,3	%	
Copper Losses	274,527	kW	
Vector Group			
HV-Side	YN		
LV-Side	D		
Phase Shift		11,	*30deg
Name		YNd11	

<input checked="" type="checkbox"/> Tap Changer 1	
Type	Ratio/Asym. Phase Shifter
at Side	HV
Additional Voltage per Tap	1, %
Phase of du	0, deg
Neutral Position	11
Minimum Position	1
Maximum Position	21

Magnetising Impedance	
No Load Current	0,07 %
No Load Losses	45,36 kW

Figura 5-40: Modelo en DigSILENT de TR de poder en SE Sol de los Andes.



5.1 Transformador ZIG-ZAG

El proyecto considera un transformador zig-zag (también llamado reactor de neutro) en el lado de 33kV para proporcionar una conexión a tierra con corriente de falla a tierra limitada por la impedancia homopolar del transformador. En la siguiente figura se presenta el modelo de DigSILENT para dicho transformador.

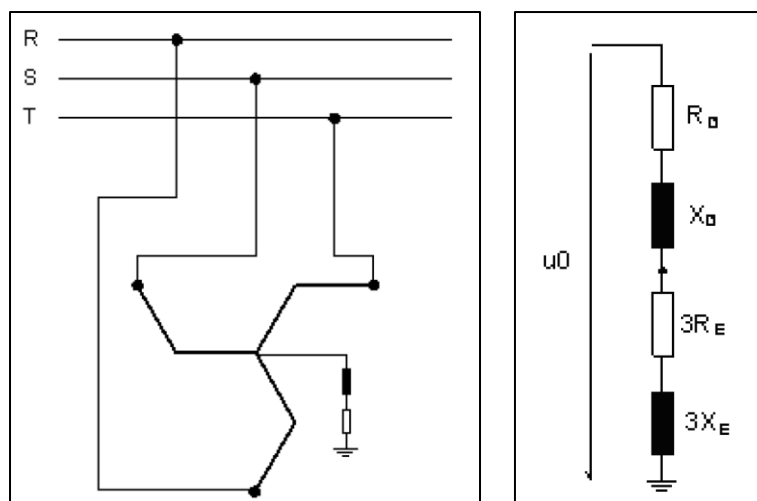


Figura 5-41: Modelo de reactor de neutro en DigSILENT

Los principales parámetros del transformador zig-zag se obtienen de la hoja de datos [45]. En la figura a continuación se presenta un extracto del documento.

1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
MARCA	: SCHAFFNER
NORMAS	: IEEE C57.12.00 y C57.32-2015
POTENCIA ONAN 65°C (kVA)	: 953
FASES	: 3
FRECUENCIA NOMINAL (Hz)	: 50
SERVICIO	: Intemperie
SISTEMA DE CONSERVACIÓN	: Hermético
ALTITUD DE SERVICIO (m.s.n.m.)	: 1200
GRUPO DE CONEXIONES	: Zig-Zag
TENSIÓN NOMINAL (V)	: 33000
DERIVACIONES PRIMARIAS (V)	: N/A
BIL NOMINAL (kVp)	: 200
FLUIDO AISLANTE	: Aceite Mineral
CORRIENTE PERMANENTE (A)	: 16.67 (POR FASE)
CORRIENTE DE FALLA NEUTRO (A)	: 500 por 10 s
IMPEDANCIA SEC. CERO/FASE (Ω)	: 114.3 -0% / +20%
MATERIAL DE LAS BOBINAS	: Cobre
PESOS Y DIMENSIONES	: Ver tabla 1
FACTOR K	: 1

Figura 5-42: Extracto hoja de ensayos reactor de neutro.

Como se puede ver de la figura anterior, la impedancia de secuencia homopolar informada es de 114,31Ω.

En la figura a continuación se presenta el modelo del reactor de neutro.



Name	Zig-zag	
Terminal	01-Atacama\SET - 33kV\Cub_8	SET - 33kV
Zone		
Area		
<input type="checkbox"/> Out of Service		
Rated Voltage	33,	kV
Rated Current ($I_e=3 \cdot I_0$)	0,3	kA
Zero Sequence Resistance	0,	Ohm
Zero Sequence Reactance	114,3	Ohm

Figura 5-43: Modelo del reactor de neutro.

5.1 Transformador de SSAA

La subestación Sol de los Andes considera un transformador de servicios auxiliares de 100KVA con grupo de conexión Dyn11, voltaje primario de 33kV y voltaje secundario de 400-231V.

Los principales parámetros del transformador de SSAA se obtienen del certificado de ensayos [44]. En la figura a continuación se presenta un extracto del documento.

PRUEBAS					
Relacion de Transformación, error máximo	:			< 0.5	%
Resistencia AT derivación nominal	a	29 °C		143.9670000	Ohms
Resistencia BT entre Fases	a	29 °C		0.0165430	Ohms
Resistencia de aislaciones	a	21 °C	AT - M	61,000	Mg
			BT - M	59,000	Mg
			AT - BT	49,000	Mg
Pruebas tensión aplicada durante 1 minuto			AT - BT y M	50	KV
			BT - AT y M	10	KV
Prueba tensión inducida	115 HZ durante	60 Seg.		0.80	KV
Pérdidas en vacío				608	W
Pérdidas en los enrollados	a	75 °C		1,428	W
Pérdidas totales	a	75 °C		2,036	W
Impedancia	a	75 °C		3.94	%
Corriente de excitación				2.70	%
Rigidez dielectrica fluido aislante (IEC 60156)				46	KV
Acidez de fluido aislante (Mg KOH/g)				0.02	
Pruebas de hermeticidad con sobrepresión (Kg/Cm ²)				0.75	
Fluido aislante				Aceite	

Figura 5-44: Extracto del certificado de ensayos.

En la figura a continuación se presenta el modelo del transformador de SSAA.



Name	TRANSFORMADOR DE SS.AA.	
Technology	Three Phase Transformer	
Rated Power	0,1	MVA
Nominal Frequency	50,	Hz
Rated Voltage		
HV-Side	33,	kV
LV-Side	0,4	kV
Positive Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk	3,94	%
Copper Losses	1,428	kW
Zero Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk0	3,	%
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0,	%
Vector Group		
HV-Side	D	
LV-Side	YN	
Phase Shift	11,	*30deg
Name	Dyn11	

Figura 5-45: Modelo del transformador de SSAA



5.2 Sistema de cables de media tensión

La red colectora del parque en 33kV estará compuesta por cables de media tensión NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV de secciones 150 mm², 240 mm², 300 mm² y 500 mm², los cuales se encuentran en una disposición triangular enterrados directamente sobre tierra. Se adopta una distancia de enterramiento de 1m de profundidad. En la siguiente figura se presenta el conductor utilizado, extraído de [38]:

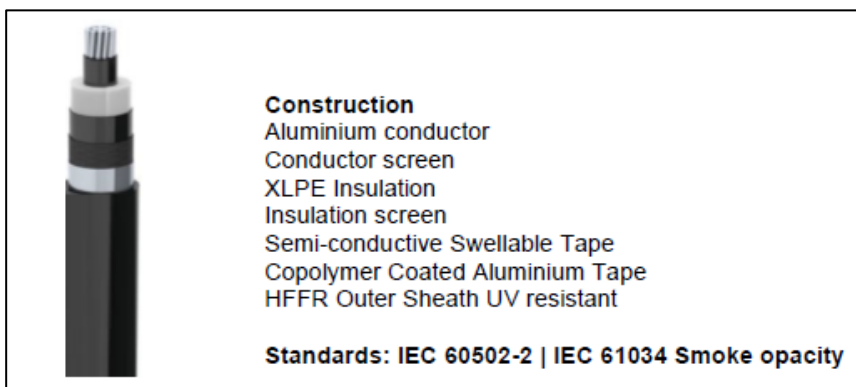


Figura 5-46: Construcción del cable NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV.

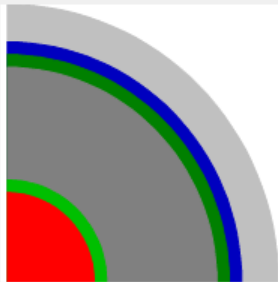
La siguiente tabla resume las distancias y tipo de cable dentro de la red interna del parque.

Circuito	Desde	Hasta	Sección [mm ²]	Longitud [m]
1	CT01	CT02	150	265
	CT02	CT03	240	430
	CT03	CT11	300	1050
	CT11	Barra MT	500	980
2	CT04	CT05	150	370
	CT05	CT06	240	420
	CT06	CT11	300	1080
	CT11	Barra MT	500	1210
3	CT07	CT08	150	1525
	CT08	CT09	240	485
	CT09	CT18	300	1190
	CT18	Barra MT	500	450
4	CT14	CT15	150	200
	CT15	CT16	240	220
	CT16	CT17	300	250
	CT17	Barra MT	500	630
5	CT12	CT13	150	230
	CT13	CT19	240	250
	CT19	CT20	300	905
	CT20	Barra MT	500	450



Finalmente, a continuación, se presenta el modelado de cada una de las secciones de los cables implementados en DigSILENT.

Name: (FL)H_XLPE_HFFR_21/35(42)kV_150mm2
Rated Voltage: 33, kV
Core Shape: Compact
Outer Diameter: 14,3 mm
Frequency Characteristic (Ohm/km):



Conducting Layers:

	Exists	Material	Resistivity (... uOhm*cm	Relative Per...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
Conductor	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,8264	1,	7,15	85,42883	0,206
Sheath	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,84	1,	0,2	100,	1,31014
Armour	<input type="checkbox"/>	Unknown	2,84	1,	1,	100,	0,

Insulation Layers:

	Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm
1 (Insulation)	<input checked="" type="checkbox"/>	XLPE (> 18/30...	0,	3,	9,
2 (Oversheath)	<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)	0,	2,3	3,
3 (Serving)	<input type="checkbox"/>	Unknown	0,02	3,	1,

Semiconducting Layers:

	Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
Core Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,
Ins. Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,

Advanced definition of semi-conducting layers

Overall Cable Diameter: 40,7 mm

Figura 5-47: Modelo en entorno DigSILENT de Cable 150mm2 NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV



Name

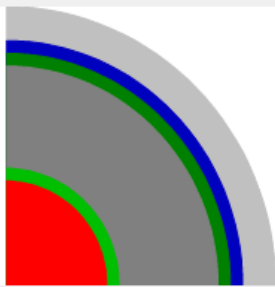
Rated Voltage
 kV

Core

Shape

Outer Diameter
 mm

Frequency Characteristic (Ohm/km)



Conducting Layers:

	Exists	Material	Resistivity (... uOhm*cm	Relative Per...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
Conductor	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,8264	1,	9,15	85,96696	0,125
Sheath	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,84	1,	0,2	100,	1,17402
Armour	<input type="checkbox"/>	Unknown	2,84	1,	1,	100,	0,

Insulation Layers:

	Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm
1 (Insulation)	<input checked="" type="checkbox"/>	XLPE (> 18/30...	0,	3,	9,
2 (Oversheath)	<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)	0,	2,3	3,
3 (Serving)	<input type="checkbox"/>	Unknown	0,02	3,	1,

Semiconducting Layers:

	Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
Core Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,
Ins. Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter
44,7 mm

Figura 5-48: Modelo en entorno DigSILENT de Cable 240mm² NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV



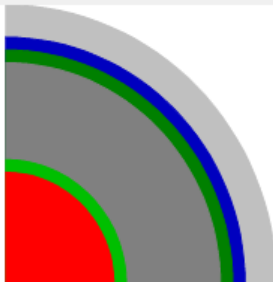
Name: (FL)H_XLPE_HFFR_21/35(42)kV_300mm2

Rated Voltage: 33, kV

Core Shape: Compact

Outer Diameter: 20,8 mm

Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [→]



Conducting Layers:

	Exists	Material	Resistivity (... uOhm*cm	Relative Per...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
Conductor	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,8264	1,	10,4	83,17966	0,1
Sheath	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,84	1,	0,2	100,	1,102433
Armour	<input type="checkbox"/>	Unknown	2,84	1,	1,	100,	0,

Insulation Layers:

	Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm
1 (Insulation)	<input checked="" type="checkbox"/>	XLPE (> 18/30...	0,	3,	9,
2 (Oversheath)	<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)	0,	2,3	3,
3 (Serving)	<input type="checkbox"/>	Unknown	0,02	3,	1,

Semiconducting Layers:

	Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
Core Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,
Ins. Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,

Advanced definition of semi-conducting layers

Overall Cable Diameter: 47,2 mm

Figura 5-49: Modelo en entorno DigSILENT de Cable 300mm2 NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV



Name

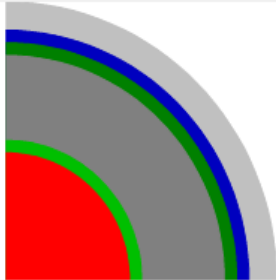
Rated Voltage
 kV

Core

Shape

Outer Diameter
 mm

Frequency Characteristic (Ohm/km)



Conducting Layers:

	Exists	Material	Resistivity (... uOhm*cm	Relative Per...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km
Conductor	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,8264	1,	13,45	63,92336	0,0778
Sheath	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2,84	1,	0,2	100,	0,9596559
Armour	<input type="checkbox"/>	Unknown	2,84	1,	1,	100,	0,

Insulation Layers:

	Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm
1 (Insulation)	<input checked="" type="checkbox"/>	XLPE (> 18/30...	0,	3,	9,
2 (Oversheath)	<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)	0,	2,3	3,
3 (Serving)	<input type="checkbox"/>	Unknown	0,02	3,	1,

Semiconducting Layers:

	Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
Core Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,
Ins. Outer	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1000000	1,	1000,

Advanced definition of semi-conducting layers
Overall Cable Diameter
53,3 mm

Figura 5-50: Modelo en entorno DigSILENT de Cable 500mm2 NA2X(FL) HXLPE HFFR 21/35(42)kV



5.3 Transformador de Bloque

En esta sección se presentan las características eléctricas principales de los transformadores de potencia instalados en los inversores, como así también su modelado en DlgSILENT. Las principales referencias corresponden a las hojas de datos [39] y [40]. En este caso se cuenta con dos tipos de transformadores diferentes: un transformador trifásico de 33/0,6/0,6kV de 5,1MVA grupo de conexión D0yn11yn11 utilizado para 19 de los 20 centros de transformación con un par de inversores, y un transformador trifásico de 33/0,6/0,6kV de 2,55MVA grupo de conexión D0yn11yn11 utilizado en el CT03, el cual cuenta con un solo inversor.

En las siguientes figuras se muestran las principales características de los modelos utilizados en DlgSILENT:

Name		Transformador_inv_5.1 MVA	
Technology		Three Phase Transformer	
Rated Power		Rated Voltage	
HV-Side	5,1 MVA	HV-Side	33, kV
MV-Side	2,55 MVA	MV-Side	0,66 kV
LV-Side	2,55 MVA	LV-Side	0,66 kV
Vector Group		Phase Shift	
HV-Side	D	Phase Shift	0, *30deg
MV-Side	YN	Phase Shift	11, *30deg
LV-Side	YN	Phase Shift	11, *30deg
Name		D0yn11yn11	
Hint: The short-circuit voltages refer to the corresponding min. rated Powers e.g. uk(HV-MV) is referred to the minimum of Sr(HV) and Sr(MV)			
Positive Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk		Copper Losses	
HV-MV	6,5 %	HV-MV	19,36644 kW
MV-LV	12, %	MV-LV	39,91908 kW
LV-HV	6,5 %	LV-HV	19,36644 kW
Zero Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk0		SHC-Voltage, Real Part	
HV-MV	5,525 %	HV-MV	0, %
MV-LV	10,2 %	MV-LV	0, %
LV-HV	5,525 %	LV-HV	0, %

Figura 5-51: Parámetros modelo del transformador de 5,1 MVA



Name		Transformador_inv_2.55 MVA	
Technology		Three Phase Transformer	
Rated Power		Rated Voltage	
HV-Side	2,55 MVA	HV-Side	33, kV
MV-Side	1,275 MVA	MV-Side	0,66 kV
LV-Side	1,275 MVA	LV-Side	0,66 kV
Vector Group		Phase Shift	
HV-Side	D	Phase Shift	0, *30deg
MV-Side	YN	Phase Shift	11, *30deg
LV-Side	YN	Phase Shift	11, *30deg
Name		D0yn11yn11	
<p>Hint: The short-circuit voltages refer to the corresponding min. rated Powers e.g. uk(HV-MV) is referred to the minimum of Sr(HV) and Sr(MV)</p>			
Positive Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk		Copper Losses	
HV-MV	6,5 %	HV-MV	9,683218 kW
MV-LV	12, %	MV-LV	19,95954 kW
LV-HV	6,5 %	LV-HV	9,683218 kW
Zero Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk0		SHC-Voltage, Real Part	
HV-MV	5,525 %	HV-MV	0, %
MV-LV	10,2 %	MV-LV	0, %
LV-HV	5,525 %	LV-HV	0, %

Figura 5-52: Parámetros modelo del transformador de 2,55 MVA

Los valores de potencia, impedancias de secuencia positiva y pérdidas de cobre HV-MV y LV-HV, se obtienen directamente de la información proporcionada por fabricante.

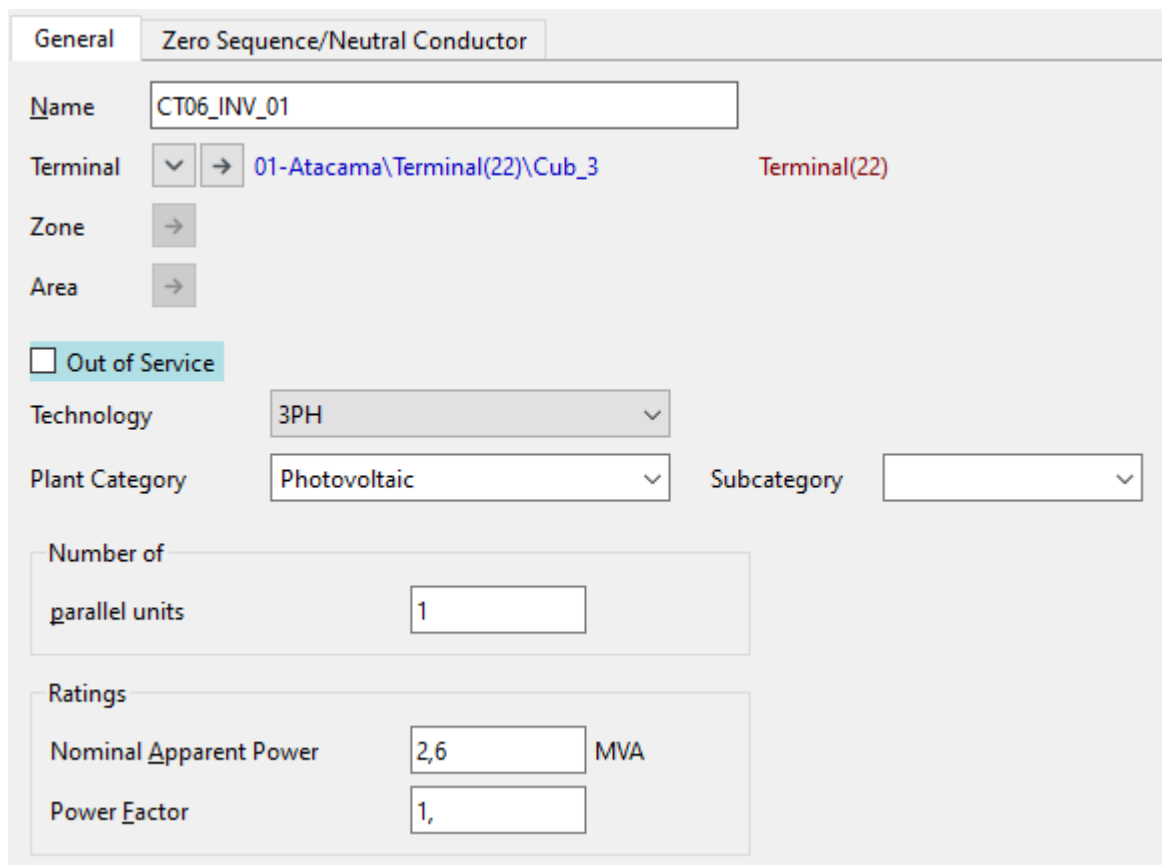
Dado que no se proporcionan valores de impedancia de secuencia cero, los valores de éstas se asumen un 85% de los valores correspondientes a secuencia positiva de acuerdo con [12].

Los transformadores de bloque se encuentran en las estaciones convertidores de la red interna del parque y elevan la tensión de 0,66kV hasta 33kV.



5.4 Inversores

El PF Sol de los Andes cuenta con 39 inversores de 2,58 MVA cada uno. La modelación de los inversores en formato DigSILENT se realiza a través de un generador estático ("ElmGenstat"), tal como se muestra en la Figura 5-53 (ejemplo de un inversor del parque).



The screenshot shows the 'General' tab of a software interface for modeling an inverter. The 'Zero Sequence/Neutral Conductor' sub-tab is also visible. The 'Name' field is set to 'CT06_INV_01'. The 'Terminal' field is set to '01-Atacama\Terminal(22)\Cub_3' with a red label 'Terminal(22)' next to it. The 'Zone' and 'Area' fields are empty. The 'Out of Service' checkbox is unchecked. The 'Technology' dropdown is set to '3PH'. The 'Plant Category' dropdown is set to 'Photovoltaic'. The 'Subcategory' dropdown is empty. The 'Number of parallel units' field is set to '1'. The 'Ratings' section shows 'Nominal Apparent Power' as '2,6 MVA' and 'Power Factor' as '1,'.

Figura 5-53: Modelado de los Inversores.

A continuación, se muestra la curva PQ considerada para los inversores, en función de la información provista por el fabricante.

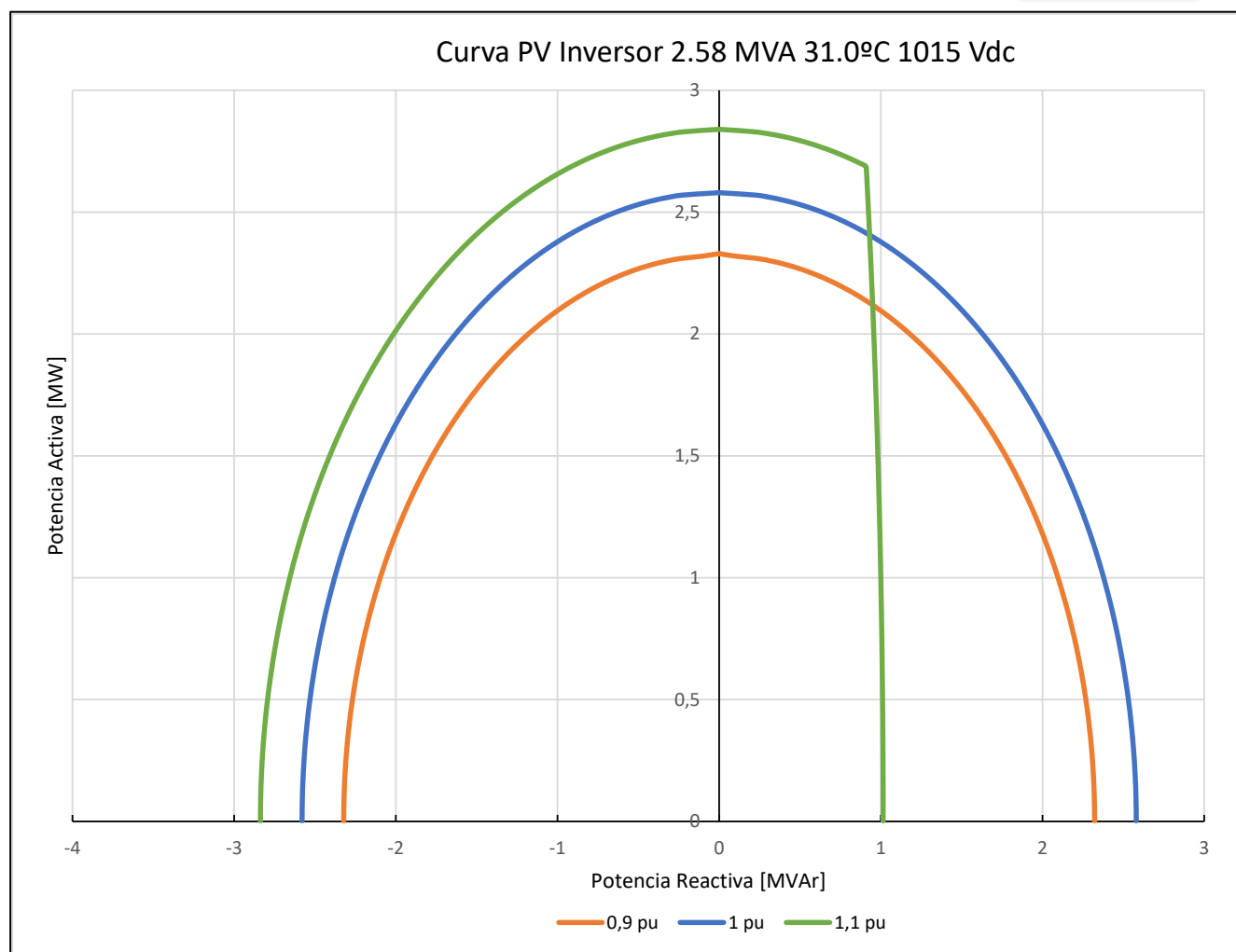


Figura 5-54: Curva P-Q de los inversores del PF Sol de los Andes



6 ACONDICIONAMIENTO BASE DATOS

El acondicionamiento de la base de datos corresponde al modelado de las obras futuras en transmisión, generación y nuevos consumos, sobre una base de datos de partida que representa la condición actual del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

El objetivo es contar con una adecuada representación estática y dinámica del SEN, así como también de disponer del modelado más fidedigno posible de las obras futuras esperadas en el horizonte de estudio, de acuerdo con la información disponible. Sobre la base de datos acondicionada se genera un conjunto de escenarios base y específicos para la realización de los estudios.

6.1 Base de datos de partida

Se utiliza como base de datos de partida la última base de datos del SEN disponible en el sitio web del Coordinador Eléctrico Nacional (en adelante, el Coordinador)[7]. Esta base de datos se acondiciona para representar el estado del SEN a la fecha de conexión del proyecto en estudio (septiembre de 2021).

6.2 Principales fuentes de información

El modelado contempla el plan de obras de transmisión y generación previsto para el SEN en un horizonte de 9 meses (Septiembre de 2021). Para establecer cuáles de todas las obras previstas se consideran en la elaboración de la Base de Datos, se utiliza información de las siguientes fuentes:

- **Base de Datos:** Base de datos oficial del SEN en formato DigSILENT Power Factory, Coordinador Eléctrico Nacional, publicada en enero 2021 [7], que corresponde al SEN modelado a diciembre de 2020 [7].
- **Decretos/resoluciones:** A su vez, se consideran todas las obras (generación/transmisión) aprobadas en los planes de Expansión del Sistema de Transmisión, definidas en la última resolución exenta mensual de la CNE:
Resolución Exenta 34/2021: Declara y actualiza instalaciones de generación y transmisión en construcción. Comisión Nacional de Energía. Enero 2021.
- **ITD Precio de Nudo de Corto Plazo - Primer semestre 2021:** Se modelan aquellas obras declaradas “En Pruebas” o bien “En Construcción” en el área de interés para el estudio. Se consideran además las Tablas Declaración en Construcción a Enero de 2021.
- **Catastro de Proyectos:** Corresponde a un listado de los proyectos construidos y en construcción publicado por el Coordinador.

6.1 Escalamiento demanda

A partir de la información de previsión de demanda y tasas de variación previstas en el Informe Técnico Definitivo para fijación de precio de nudo (ITD) de enero de 2021, se realiza un escalamiento de la demanda hasta la fecha de estudio del proyecto. La siguiente tabla resume las previsiones de demanda utilizadas:



Año	Previsión de demanda [GWh]			Tasas de variación		
	Libre	Regulado	Sistema	Libre	Regulado	Sistema
2020	40.673	27.857	68.531	-	-	-
2021	45.506	28.435	73.941	11,88%	2,07%	7,89%

Tabla 6-1: Tasa de variación anual de demanda.

Finalmente, en la siguiente tabla se obtiene los factores de escalamiento de demanda que se calculan para proyectar la demanda que se encuentran en la base de datos DlgSILENT de diciembre 2020 del Coordinador a la fecha de puesta en servicio del proyecto (Septiembre 2021).

Proyección a Septiembre 2021	
Libre	Regulado
1,04475	1,00857

Tabla 6-2: Factor de escalamiento

6.2 Proyección de la transmisión

Para la proyección del sistema de transmisión del SEN se utiliza específicamente la información contenida en el ITD [5], la información del último catastro [8] y la información de las resoluciones exentas.

En la figura a continuación se muestran los proyectos de transmisión en desarrollo en la zona de influencia del PFV Sol de los Andes y que son contemplados en la adecuación de la base de datos.

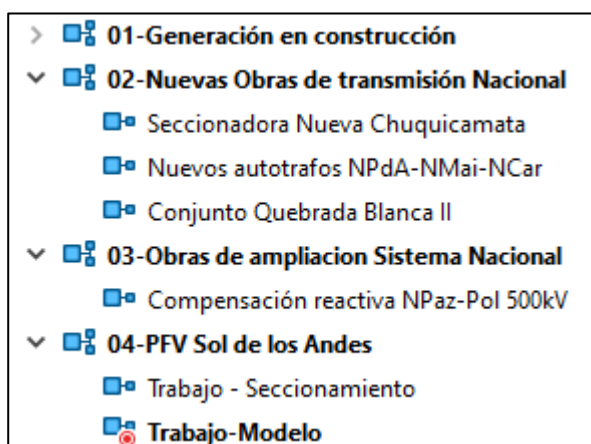


Figura 6-1: Proyectos de transmisión considerados.

6.3 Proyecto de generación

Para la consideración de las nuevas obras de generación que se conectarán al SEN, se utiliza la información contenida en el ITD [5], la información del último catastro [8] y la información de las resoluciones exentas.

Se contemplarán los proyectos que tienen fecha de conexión igual o anterior a Septiembre de 2021. En la figura a continuación se muestran los proyectos de generación en desarrollo en la zona de influencia del PFV Sol de los Andes y que serán contemplados en la adecuación de la base de datos.



■ CT Prime Los Condores 100MW	■ PF Río Escondido 145MW
■ PF Nuevo Quillagua 100MW	■ PF Capricornio 88MW
■ CT Combarbalá 75MW	■ PE Mesamávida 60MW
■ PF San Pedro 106MW	■ PF Valle Escondido 105MW
■ PF Santa Isabel 158MW	■ PF Sol del Desierto Fase I y II
■ PF La Huella 84MW	■ PF Malgarida Fase I y II
■ PE Malleco I 135MW	■ PE Cabo Leones III 110MW
■ CT San Javier 50MW	■ PF Domeyko 186MW
■ PE Cabo Leones II 204MW	■ PE Cabo Leones I Ext. 60MW
■ CT Respaldo Maitencillo 67MW	■ PF Tamaya Solar 114MW
■ PF Atacama Solar II 150MW	■ PF Tamaya Solar
■ PF Campos del Sol 380MW	■ CT Respaldo Maitencillo
■ PE Renaico II 144MW	■ CH Las Lajas 268MW
■ PF Sol de Lila 152MW	■ PE Lomas de Duqueco 57MW
■ PF Azabache 60MW	■ PE Los Olmos 100MW
■ PE Tchama 156MW	■ PE Llanos del Viento 156MW
■ PE Alena 84MW	■ PF Valle del Sol 150MW
■ CT Llanos Blancos 150MW	■ PE Calama 150MW
■ CH Digua 20MW	■ CH Alfalfal II
■ CH El Pinar 11MW	
■ CGT Cerro Pabellón U3 33MW	
■ CH Trupan 20MW	
■ PF La Cruz Solar 50MW	
■ PE Negrete 36MW	
■ PF Finis Terrae Extensión	
■ PE Cerro Tigre 185MW	
■ PE Estrella 50MW	
■ PE Malleco II 138MW	

Figura 6-2: Proyectos de generación en construcción.



6.4 Sistema de transmisión en la zona de interés

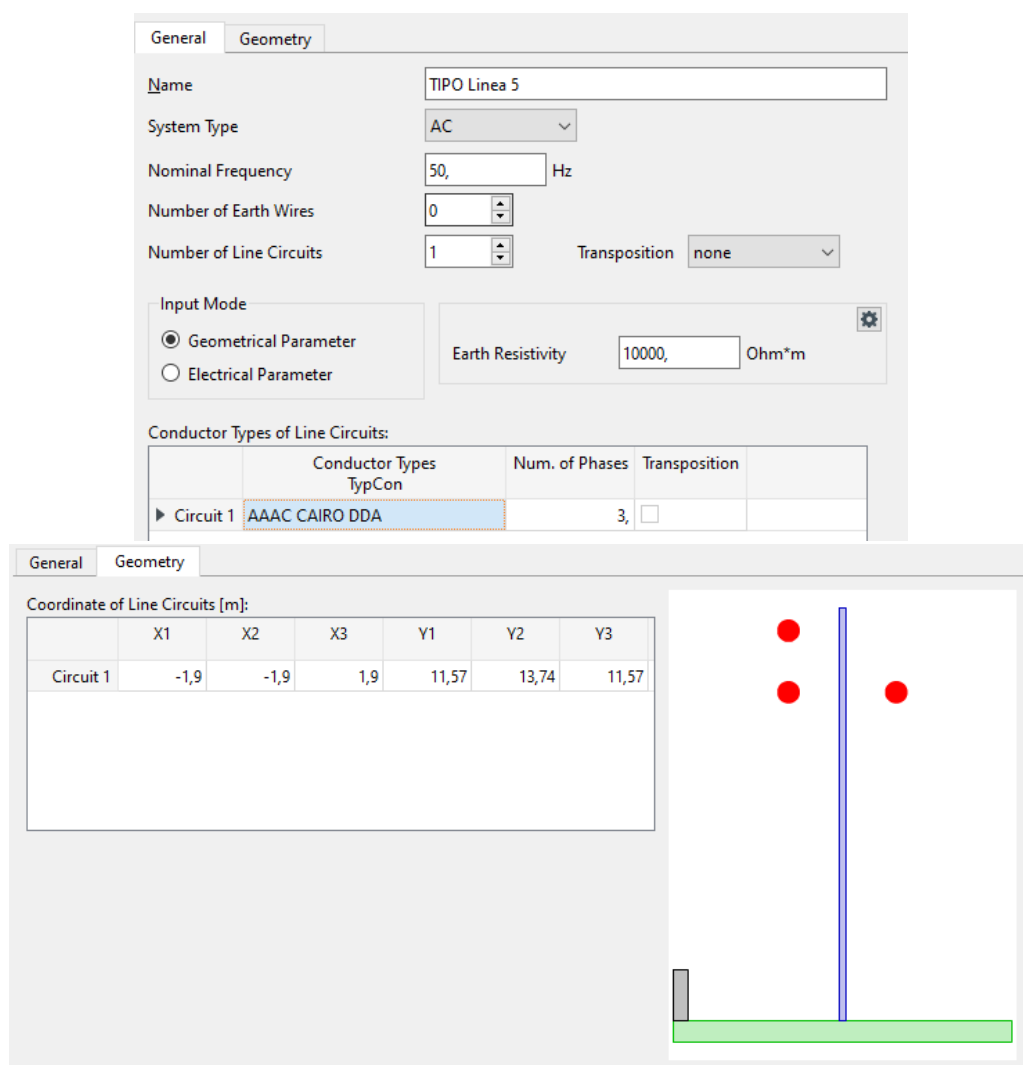
Para el modelado de las líneas de la zona se utiliza la información disponible en la plataforma de Infotécnica por el Coordinador Eléctrico Nacional, la cual en parte se encuentra catalogada como “en uso” y es coincidente con la información dispuesta en la base de datos del CEN. A continuación, se resume el modelamiento de las principales instalaciones en la zona de interés, incluyendo las líneas que componen el anillo Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos y otras instalaciones que puedan ofrecer restricciones al sistema de transmisión.

6.4.1 Líneas derivadas del seccionamiento en SE Río Salado

Estas líneas se modelan siguiendo lo especificado en el documento [16] asociado al cálculo de parámetros eléctricos de las instalaciones mencionadas. Los tramos aquí presentados se corresponden a:

- Est. 68 - Llantá 110kV
- Diego de Almagro – Est. 66 110KV

A continuación, se presenta el detalle del modelado utilizado:



General **Geometry**

Name: TIPO Linea 5

System Type: AC

Nominal Frequency: 50, Hz

Number of Earth Wires: 0

Number of Line Circuits: 1 Transposition: none

Input Mode:

☒ Geometrical Parameter

☐ Electrical Parameter

Earth Resistivity: 10000, Ohm*m

Conductor Types of Line Circuits:

	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
► Circuit 1	AAAC CAIRO DDA	3,	<input type="checkbox"/>

Coordinate of Line Circuits [m]:

	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
Circuit 1	-1,9	-1,9	1,9	11,57	13,74	11,57

Figura 6-3. Modelado - Tipo de Torre (común para ambos tramos)



Name: AAAC CAIRO DDA

Nominal Voltage: 110, kV

Nominal Current: 0,525 kA

Number of Subconductors: 1

Conductor Model

☒ Solid Conductor

☐ Tubular Conductor

(Sub-)Conductor

DC-Resistance (20°C): 0,1433 Ohm/km

GMR (Equivalent Radius): 7,53 mm

Outer Diameter: 19,88 mm

Figura 6-4. Modelado - Tipo de Conductor (común para ambos tramos)

Name: Est 68. V4 - TAPoff Llanta

Type: ...plates\Linea Completa\Library\20005\TIPO Linea 5

Terminal i: Grid\Tap Off LLanta\Cub_4 Tap Off LLanta

Terminal j: Grid\Est 68\Cub_1 Est 68

Zone: Terminal i

Area: Terminal i

☐ Out of Service

Number of parallel Lines: 1

Parameters

Thermal Rating:

Length of Line: 14,616 km

Derating Factor: 1,

Resulting Values

Rated Current (act.)	0,525 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	5,97008 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	69,35634 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	2,104781 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	5,586749 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	4,262303 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	27,48033 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	4,118294 A
Earth Factor, Magnitude	1,228327
Earth Factor, Angle	15,01557 deg

Figura 6-5. Modelado – línea Est. 68 - Llanta 110kV



Name	S/E DDA-Est 66.V1																							
Type	▼ →	...plates\Linea Completa\Library\20005\TIPO Linea 5																						
Terminal i	▼ →	Grid\Terminal(1)\Cub_3 Terminal(1)																						
Terminal j	▼ →	Grid\Est 66\Cub_1 Est 66																						
Zone	Terminal i ▼ →																							
Area	Terminal i ▼ →																							
<input type="checkbox"/> Out of Service																								
Number of parallel Lines	1																							
Parameters																								
Thermal Rating	▼ →																							
Length of Line	13,872	km																						
Derating Factor	1,																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Resulting Values</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rated Current (act.)</td> <td>0,525 kA</td> </tr> <tr> <td>Pos. Seq. Impedance, Z1</td> <td>5,666184 Ohm</td> </tr> <tr> <td>Pos. Seq. Impedance, Angle</td> <td>69,35634 deg</td> </tr> <tr> <td>Pos. Seq. Resistance, R1</td> <td>1,997641 Ohm</td> </tr> <tr> <td>Pos. Seq. Reactance, X1</td> <td>5,302365 Ohm</td> </tr> <tr> <td>Zero Seq. Resistance, R0</td> <td>4,045338 Ohm</td> </tr> <tr> <td>Zero Seq. Reactance, X0</td> <td>26,08149 Ohm</td> </tr> <tr> <td>Earth-Fault Current, Ice</td> <td>3,90866 A</td> </tr> <tr> <td>Earth Factor, Magnitude</td> <td>1,228327</td> </tr> <tr> <td>Earth Factor, Angle</td> <td>15,01557 deg</td> </tr> </tbody> </table>			Resulting Values		Rated Current (act.)	0,525 kA	Pos. Seq. Impedance, Z1	5,666184 Ohm	Pos. Seq. Impedance, Angle	69,35634 deg	Pos. Seq. Resistance, R1	1,997641 Ohm	Pos. Seq. Reactance, X1	5,302365 Ohm	Zero Seq. Resistance, R0	4,045338 Ohm	Zero Seq. Reactance, X0	26,08149 Ohm	Earth-Fault Current, Ice	3,90866 A	Earth Factor, Magnitude	1,228327	Earth Factor, Angle	15,01557 deg
Resulting Values																								
Rated Current (act.)	0,525 kA																							
Pos. Seq. Impedance, Z1	5,666184 Ohm																							
Pos. Seq. Impedance, Angle	69,35634 deg																							
Pos. Seq. Resistance, R1	1,997641 Ohm																							
Pos. Seq. Reactance, X1	5,302365 Ohm																							
Zero Seq. Resistance, R0	4,045338 Ohm																							
Zero Seq. Reactance, X0	26,08149 Ohm																							
Earth-Fault Current, Ice	3,90866 A																							
Earth Factor, Magnitude	1,228327																							
Earth Factor, Angle	15,01557 deg																							
Type of Line	Tower Type																							

Figura 6-6. Modelado – línea Diego de Almagro – Est. 66 110KV

Se aclara que en ambos casos, el conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.

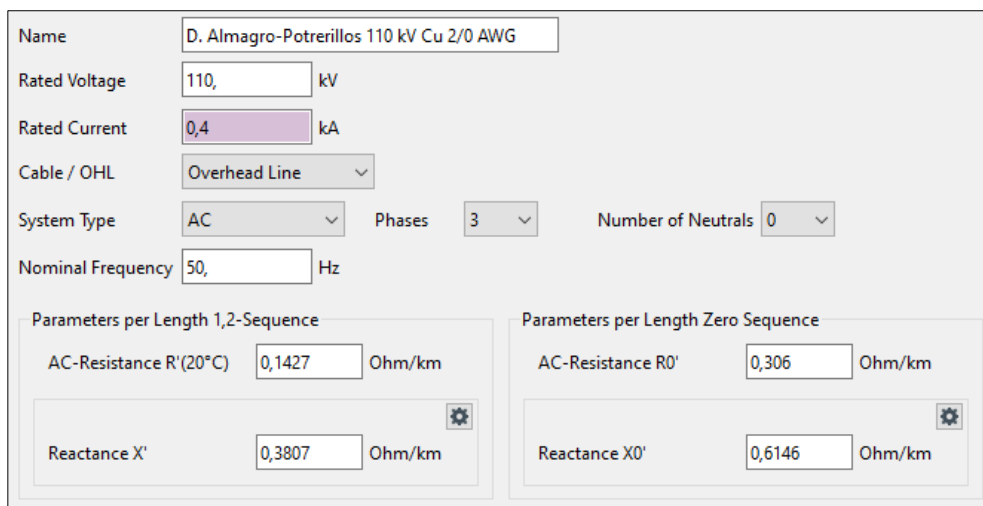
Parameter	DdA-Llanta 110kV
Scale	▼ → Characteristics\Scale\T° PFV SdIA
Values	
25	0,525
35	0,456

Figura 6-7: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.



6.4.2 Circuito 2 de Línea 2x110kV Diego de Almagro – Llanta – Potrerillos

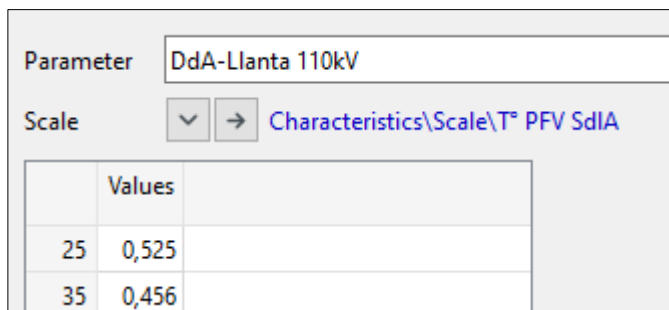
En esta sección se presenta el modelado de la línea Diego de Almagro – Llanta – Potrerillos.



Name	D. Almagro-Potrerillos 110 kV Cu 2/0 AWG		
Rated Voltage	110,	kV	
Rated Current	0,4	kA	
Cable / OHL	Overhead Line		
System Type	AC	Phases	3
		Number of Neutrals	0
Nominal Frequency	50,	Hz	
Parameters per Length 1,2-Sequence			
AC-Resistance R'(20°C)	0,1427	Ohm/km	
Reactance X'	0,3807	Ohm/km	
Parameters per Length Zero Sequence			
AC-Resistance R0'	0,306	Ohm/km	
Reactance X0'	0,6146	Ohm/km	

Figura 6-8: Modelo conductor de fase circuito 2 de la línea 1x110kV Diego de Almagro – Llanta – Potrerillos.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.



Parameter	DdA-Llanta 110kV	
Scale	Characteristics\Scale\T° PFV SdIA	
	Values	
25	0,525	
35	0,456	

Figura 6-9: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.



Name

Type

▼
→

...eas\Codelco\D. Almagro-Potrerillos 110 kV Cu 2_3

Terminal i

▼
→

...ego de Almagro - Potrerillos 110(2)\Llanta 2\Cub_4
Llanta 2

Terminal j

▼
→

01-Atacama\IB\Cub_11
IB

Zone

Terminal i
▼
→

Area

Terminal i
▼
→

☐ Out of Service

Number of parallel Lines

Parameters

Thermal Rating

▼
→

Length of Line
 km

Derating Factor

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,525 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
10,51379 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
69,4522 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
3,690222 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
9,844902 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
7,91316 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
15,89356 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
0, A

Earth Factor, Magnitude
0,2338817

Earth Factor, Angle
-14,37346 deg

Name

Type

▼
→

...eas\Codelco\D. Almagro-Potrerillos 110 kV Cu 2_3

Terminal i

▼
→

...ego de Almagro - Potrerillos 110(2)\Llanta 2\Cub_0
Llanta 2

Terminal j

▼
→

01-Atacama\Potrerillos 110 kV\52H2
Potrerillos 110 kV

Zone

Terminal i
▼
→

Area

Terminal i
▼
→

☐ Out of Service

Number of parallel Lines

Parameters

Thermal Rating

▼
→

Length of Line
 km

Derating Factor

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,525 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
15,20556 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
69,4522 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
5,33698 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
14,23818 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
11,4444 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
22,98604 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
0, A

Earth Factor, Magnitude
0,2338817

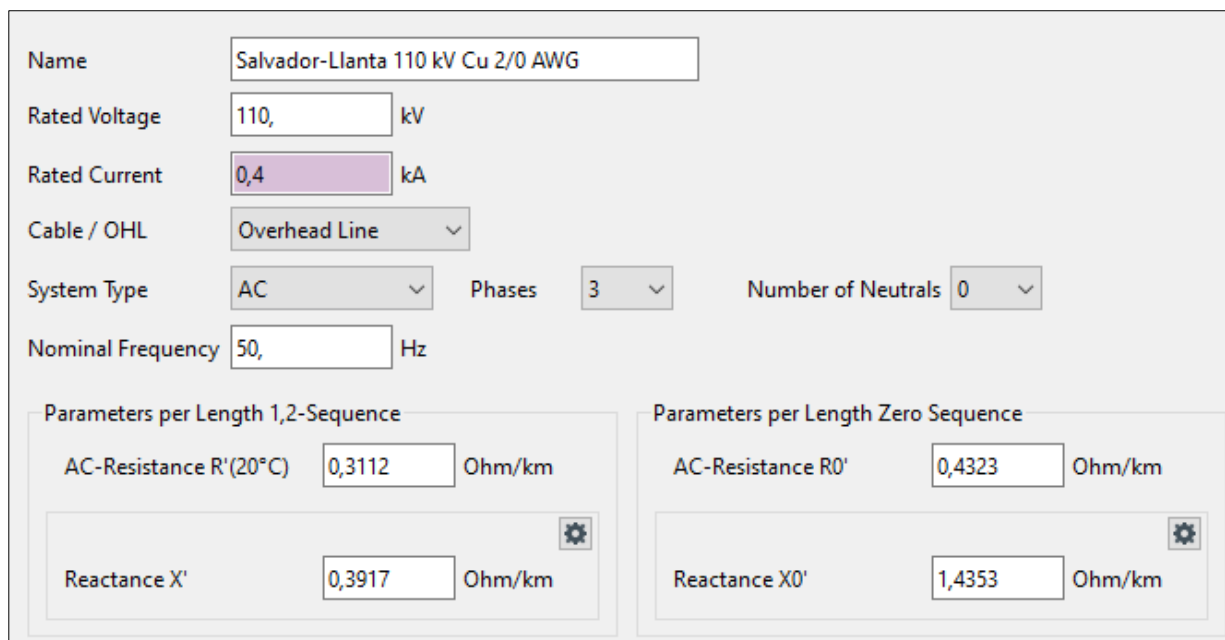
Earth Factor, Angle
-14,37347 deg

Figura 6-10: Modelo de línea 1x110kV Diego de Almagro – Llanta – Potrerillos.



6.4.3 Circuito 1 y 2 de Línea 2x110kV Llanta – El Salvador

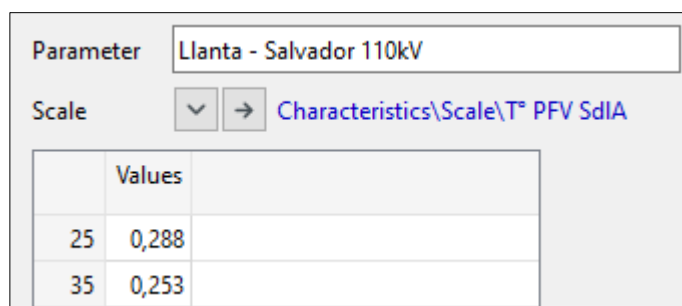
En esta sección se presenta el modelado de la línea Diego de Almagro – EST. E-66



Name	Salvador-Llanta 110 kV Cu 2/0 AWG		
Rated Voltage	110,	kV	
Rated Current	0,4	kA	
Cable / OHL	Overhead Line		
System Type	AC	Phases	3
		Number of Neutrals	0
Nominal Frequency	50,	Hz	
Parameters per Length 1,2-Sequence			
AC-Resistance R' (20°C)	0,3112	Ohm/km	
Reactance X'	0,3917	Ohm/km	
Parameters per Length Zero Sequence			
AC-Resistance R0'	0,4323	Ohm/km	
Reactance X0'	1,4353	Ohm/km	

Figura 6-11: Modelo conductor de fase 1x110kV Diego de Almagro EST. E-66.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.



Parameter	Llanta - Salvador 110kV	
Scale	Characteristics\Scale\T° PFV SdIA	
	Values	
25	0,288	
35	0,253	

Figura 6-12: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.



Name
Llanta - Salvador 110 kV C1

Type
...ineas\Codelco\Salvador-Llanta 110 kV Cu 2/0 AWG

Terminal i
01-Atacama\El Salvador 110 kV\Cub_5
El Salvador 110 kV

Terminal j
...ego de Almagro - Potrerillos 110(1)\Llanta 1\Cub_2
Llanta 1

Zone
Terminal i

Area
Terminal i

☐ Out of Service

Number of parallel Lines
1

Parameters

Thermal Rating

Length of Line
23, km

Derating Factor
1,

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,288 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
11,50631 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
51,53336 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
7,1576 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
9,0091 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
9,9429 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
33,0119 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
0, A

Earth Factor, Magnitude
0,7000178

Earth Factor, Angle
31,8476 deg

Name
Llanta - Salvador 110 kV C2

Type
...ineas\Codelco\Salvador-Llanta 110 kV Cu 2/0 AWG

Terminal i
01-Atacama\El Salvador 110 kV\52H2
El Salvador 110 kV

Terminal j
...ego de Almagro - Potrerillos 110(2)\Llanta 2\Cub_2
Llanta 2

Zone
Terminal i

Area
Terminal i

☐ Out of Service

Number of parallel Lines
1

Parameters

Thermal Rating

Length of Line
26,5 km

Derating Factor
1,

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,288 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
13,25727 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
51,53337 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
8,246799 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
10,38005 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
11,45595 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
38,03545 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
0, A

Earth Factor, Magnitude
0,7000179

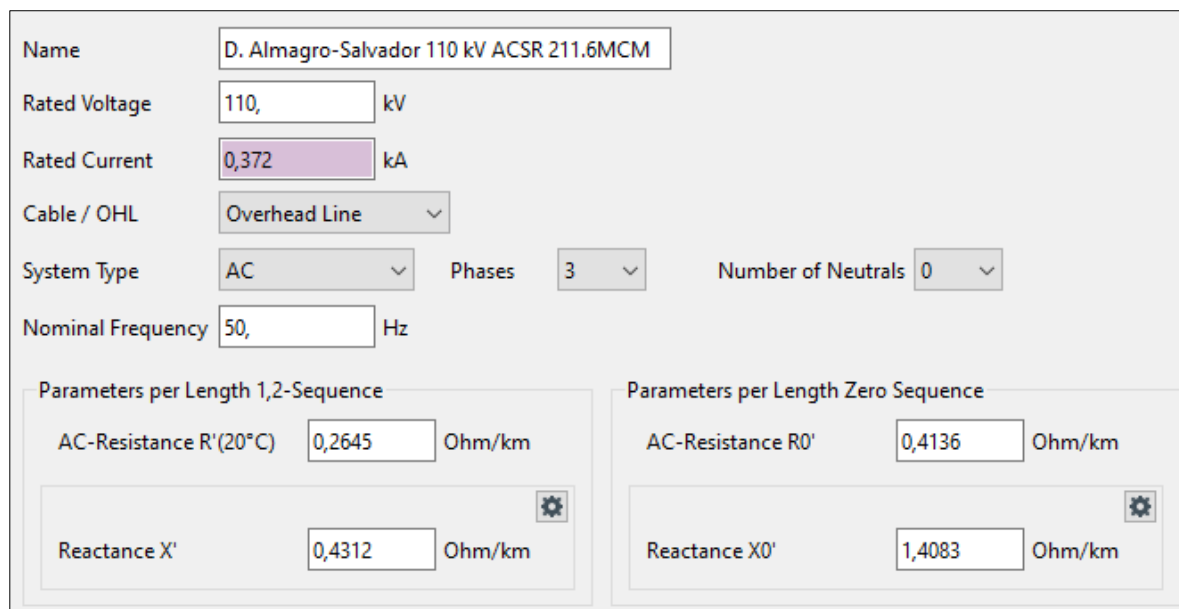
Earth Factor, Angle
31,8476 deg

Figura 6-13: Modelo de línea 2x110kV Llanta – El Salvador.



6.4.4 Línea 1x110kV Diego de Almagro – Tap Salvador – El Salvador

En esta sección se presenta el modelado de la línea Diego de Almagro – Tap Salvador – Salvador.



Name	D. Almagro-Salvador 110 kV ACSR 211.6MCM		
Rated Voltage	110,	kV	
Rated Current	0,372	kA	
Cable / OHL	Overhead Line		
System Type	AC	Phases	3
		Number of Neutrals	0
Nominal Frequency	50,	Hz	
Parameters per Length 1,2-Sequence			
AC-Resistance R'(20°C)	0,2645	Ohm/km	
Reactance X'	0,4312	Ohm/km	
Parameters per Length Zero Sequence			
AC-Resistance R0'	0,4136	Ohm/km	
Reactance X0'	1,4083	Ohm/km	

Figura 6-14: Modelo conductor de fase 1x110kV Diego de Almagro – Tap Salvador – Salvador.

Este conductor fue modelado con una característica de forma que se considere la distinción de temperatura entre 25°C y 35°C, tal y como se muestra a continuación.

Parameter	DdA-Salvador 110kV	
Scale	Characteristics\Scale\T° PFV SdIA	
	Values	
25	0,356	
35	0,312	

Figura 6-15: Capacidad de conductor de fase según temperatura ambiental.



Name
D. de A. - Salvador Tramo 1

Type
...elco\D. Almagro-Salvador 110 kV ACSR 211.6MCM

Line
...ma\Diego de Almagro - Salvador 110 kV

Terminals of Line

Terminal i
01-Atacama\DdA\52H1\52H1

Terminal j
01-Atacama\Tap PV Salvador\Cub_1

Topology

Start of Section
0, km

Length
19,043 km

Derating Factor
1,

Type of Line
Overhead Line

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,356 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
9,63308 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
58,47486 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
5,036873 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
8,211341 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
7,876184 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
26,81826 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
5,449524 A

Name
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV

Terminal i
01-Atacama\Tap PV Salvador\Cub_0
Tap PV Salvador

Terminal j
01-Atacama\EI Salvador 110 kV\52H3
EI Salvador 110 kV

Zone
Terminal i

Area
Terminal i

☐ Out of Service

Number of parallel Lines
1

Parameters

Length of Line
29,1 km

Resulting Values

Rated Current (act.)
0,356 kA

Pos. Seq. Impedance, Z1
14,72051 Ohm

Pos. Seq. Impedance, Angle
58,47486 deg

Pos. Seq. Resistance, R1
7,69695 Ohm

Pos. Seq. Reactance, X1
12,54792 Ohm

Zero Seq. Resistance, R0
12,03576 Ohm

Zero Seq. Reactance, X0
40,98153 Ohm

Earth-Fault Current, Ice
8,32753 A

Earth Factor, Magnitude
0,6513079

Earth Factor, Angle
22,84905 deg

Figura 6-16: Modelo de línea 1x110kV Diego de Almagro – El Salvador.



6.4.5 Transformadores de corriente en SE Diego de Almagro

En la siguiente sección se presentan extractos del diagrama unifilar del patio de 110kV de la subestación Diego de Almagro, en conjunto con el modelado en PowerFactory DigSILENT de los transformadores de corriente en los patios de esta misma.

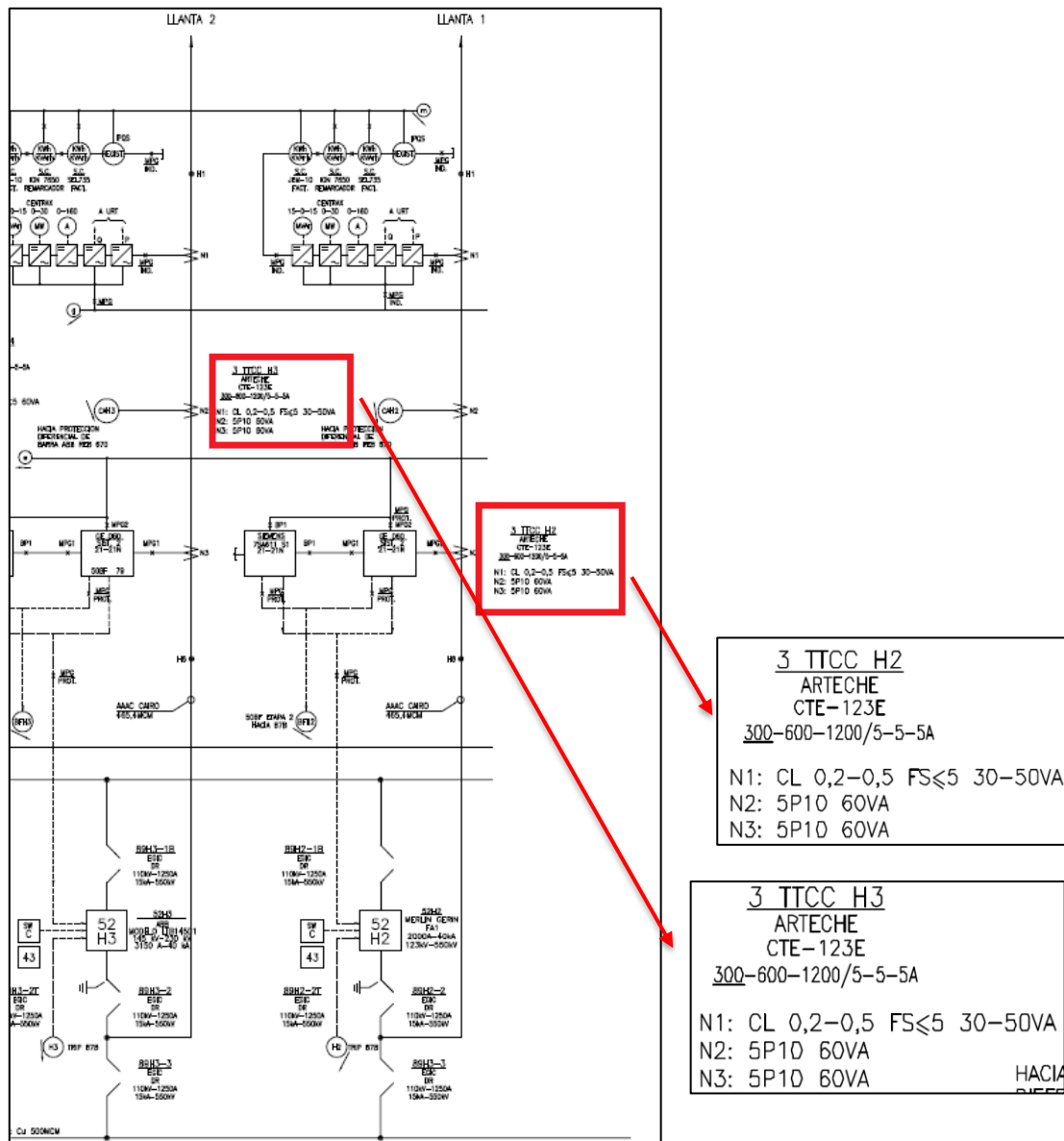


Figura 6-17: Extracto DUF SE Diego de Almagro y TTCC en paños H2 y H3.

Como se puede ver en la Figura 6-17, los TTCC en los paños H2 y H3, a los cuales acometen las líneas 1x110kV Diego de Almagro – Río Salado y 1x110kV Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos, poseen una corriente primaria declarada de 300A. Sin embargo, según este mismo diagrama y la información validada por el Coordinador Eléctrico Nacional, este también cuenta con devanados de 600A y 1200A que le permitirían duplicar o cuadruplicar su corriente primaria declarada actualmente.



Name

Type Equipment Type Library\TC Dda

☐ Out of Service

Location

Reference

Busbar ...a\Diego de Almagro - Potrerillos 110(2)\Llanta 2

Branch 01-Atacama\Diego de Almagro - Llanta 110kV C2

Tap selection

Primary A

Secondary A

Name

Type Equipment Type Library\TC Dda

☐ Out of Service

Location

Reference

Busbar 01-Atacama\IB

Branch ...-Atacama\Diego de Almagro - Río Salado 110kV

Tap selection

Primary A

Secondary A

Figura 6-18: Modelado de TTCC H2 y H3 en SE Diego de Almagro 110kV.



6.4.1 Transformadores de corriente en SE El Salvador

En la siguiente sección se presentan extractos del diagrama unifilar de la subestación El Salvador, en conjunto con el modelado en PowerFactory DigSILENT de los transformadores de corriente en los patios de esta misma.

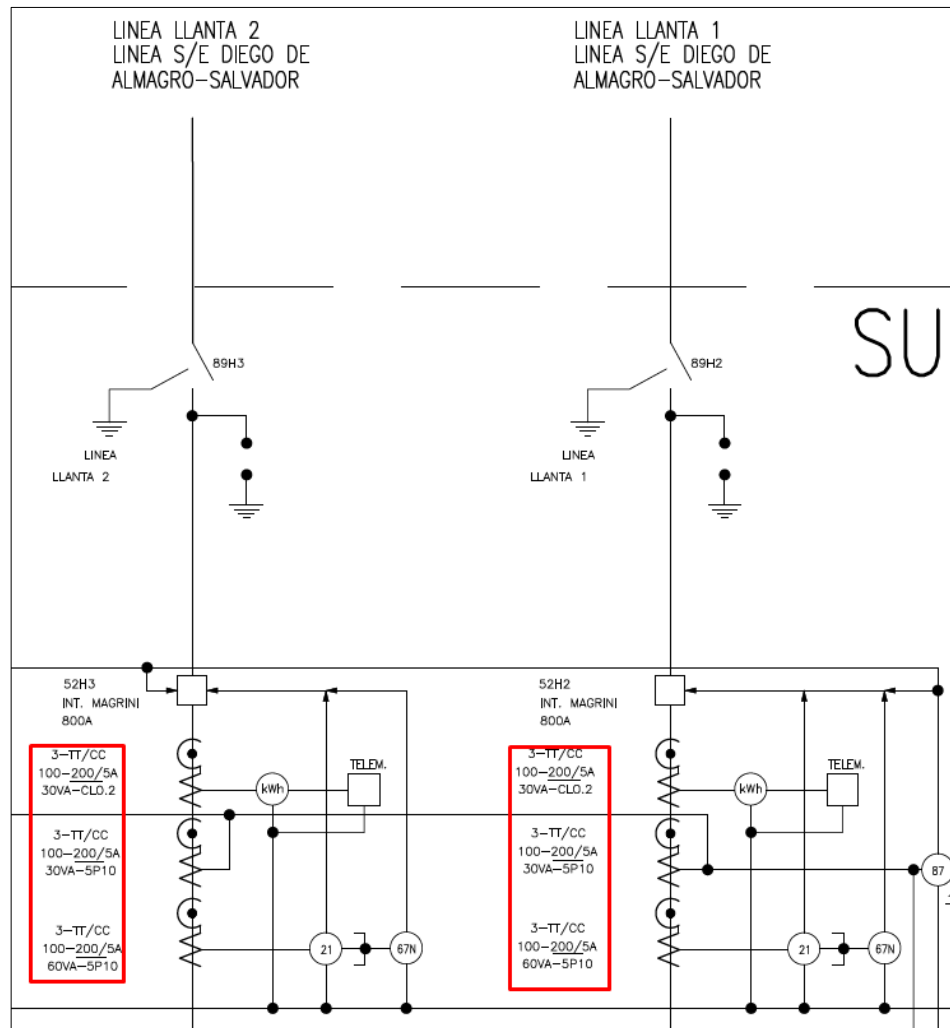


Figura 6-19: Extracto DUF SE El Salvador y TTCC en paños H2 y H3.

Como se puede ver en la Figura 6-19, los TTCC en los paños H2 y H3, a los cuales se conecta la línea 2x110kV Llanta – El Salvador, poseen una corriente primaria declarada de 200A. Estos no poseen un cambiador de topes, por lo que se considera un elemento restrictivo en la red y será considerado en el análisis de este estudio.



Name

TC Salvador H2

Type

▼

→

Equipment Type Library\TC 200/5

☐ Out of Service

Location

Reference

▼

→

Busbar

→

01-Atacama\EI Salvador 110 kV

Branch

→

01-Atacama\Llanta - Salvador 110 kV C1

Tap selection

Primary

200,

▼

A

Secondary

5,

▼

A

Name

TC Salvador H3

Type

▼

→

...pe Library\General SIC\Relays\CTs\CT 100-5000/5A

☐ Out of Service

Location

Reference

▼

→

Busbar

→

01-Atacama\EI Salvador 110 kV

Branch

→

01-Atacama\Llanta - Salvador 110 kV C2

Tap selection

Primary

200,

▼

A

Detect primary tap

Secondary

5,

▼

A

Figura 6-20: Modelado de TTCC H2 y H3 en SE El Salvador 110kV.



6.4.1 Transformadores de corriente en SE Potrerillos

En la siguiente sección se presentan extractos del diagrama unifilar de la subestación Potrerillos, en conjunto con el modelado en PowerFactory DigSILENT de los transformadores de corriente en los patios de esta misma.

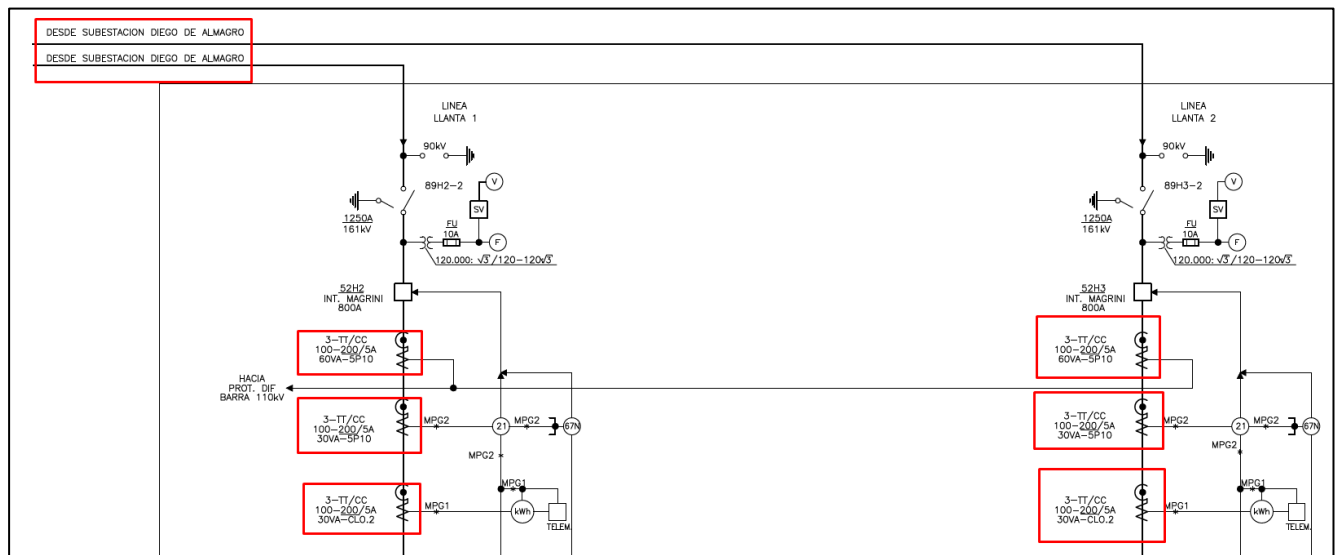


Figura 6-21: Extracto DUF SE Potrerillos y TTCC en paños H2 y H3.

Como se puede ver en la Figura 6-21, los TTCC en los paños H2 y H3, a los cuales se conecta la línea 2x110kV Llanta – El Salvador, poseen una corriente primaria declarada de 200A. Estos no poseen un cambiador de topos, por lo que se considera un elemento restrictivo en la red y será considerado en el análisis de este estudio.



Name

Type ...pe Library\General SIC\Relays\CTs\CT 100-5000/5A

☐ Out of Service

Location

Reference

Busbar 01-Atacama\Potrerillos 110 kV

Branch ... - Potrerillos 110(1)\Llanta - Potrerillos 110kV C1

Tap selection

Primary A

Secondary A

Name

Type ...pe Library\General SIC\Relays\CTs\CT 100-5000/5A

☐ Out of Service

Location

Reference

Busbar 01-Atacama\Potrerillos 110 kV

Branch ... - Potrerillos 110(2)\Llanta - Potrerillos 110kV C2

Tap selection

Primary A

Secondary A

Figura 6-22: Modelado de TTCC H2 y H3 en SE Potrerillos 110kV.



6.1 Límites de transmisión de la zona

Dada la cercanía que tienen con el proyecto bajo estudio, se readecuan las líneas de transmisión desde el punto de conexión del proyecto hasta la subestación Carrera Pinto; incluyendo toda la red de 110kV, 220kV y 500kV. Los datos para su adecuación se obtienen de la web del Coordinador, en Infotécnica [4]. Se corrigen las capacidades de las líneas en función de la temperatura ambiente (25°C y 35°C) y del límite permanente de los TTCC en cada extremo de las líneas.

Tramo de Línea	INFOTÉCNICA 13/11/2020							DEFINITIVO		
	25°C	35°C	TC (ini)	TC (fin)	TT/OO (ini)	TT/OO (fin)	Long,	25°C	35°C	km
	[kA]	[kA]	Ficha	Ficha	Ficha	Ficha	[km]	[kA]	[kA]	[km]
Sol de los Andes - Río Salado 1x110kV	0,564	0,494					1,8	0,564	0,494	1,8
Diego de Almagro - Río Salado 1x110kV	0,525	0,456	0,3				13,9	0,525	0,456	13,9
Río Salado - Llanta 1x110kV	0,525	0,456					14,85	0,525	0,456	14,85
Diego de Almagro - Llanta 2x110kV C2	0,525	0,456	0,3				25,86	0,525	0,456	25,86
Llanta - Potrerillos 2x110kV C1	0,525	0,456		0,2			34,05	0,525	0,456	34,05
Llanta - Potrerillos 2x110kV C2	0,525	0,456		0,2			37,04	0,525	0,456	37,04
Llanta - Salvador 2x110kV C1	0,288	0,253		0,2			23	0,288	0,253	23
Llanta - Salvador 2x110kV C2	0,288	0,253		0,2			23	0,288	0,253	23
Diego de Almagro - Tap Salvador 1x110kV	0,356	0,312	0,3				19,043	0,3	0,3	19,043
Tap Salvador - Salvador 1x110kV	0,356	0,312	0,2				29,065	0,2	0,2	29,065
Diego de Almagro - Andes Generación 1x110kV	0,447	0,392	0,3-0,6				1	0,447	0,392	1
Diego de Almagro - Tap Chañares 1x110kV	0,524	0,439	0,6				4,5423	0,524	0,439	4,5423
Tap Chañares - El Salado 1x110kV	0,524	0,439					25,0805	0,524	0,439	25,0805
Diego de Almagro - Emelda 1x110kV	0,59	0,498	0,5				2,88	0,5	0,498	2,88
Diego de Almagro - Javiera 1x110kV	0,277	0,2104	0,3				26,36	0,277	0,2104	26,36
Diego de Almagro - Illapa 220KV C3 (Transelec)	1,2114	1,0598	1,2		1,25		28,54	1,2	1,0598	28,54
Diego de Almagro - Illapa 220KV C1 (Eletrans)	1,2114	1,0598	0,8	2			N/A	0,8	0,8	27,95
Diego de Almagro - Illapa 220KV C2 (Eletrans)	1,2114	1,0598	0,8	2			N/A	0,8	0,8	27,95
Diego de Almagro - Francisco 1x220kV	0,748	0,449	0,6	1,5	1,25		113,6811	0,6	0,449	113,681
Diego de Almagro - Cachiuyul 1x220kV	0,748	0,449	0,6	1,5	1,25		113,6811	0,6	0,449	113,681
Illapa - Cumbre C1 220kV	1,84	1,58	2	2			52,13	1,84	1,58	52,13
Illapa - Cumbre C2 220kV	1,84	1,58	2	2			52,13	1,84	1,58	52,13
Illapa - Carrera Pinto 220kV C3 (Transelec)	1,2114	1,0598	2	1,2	1,25		49,34	1,2	1,0598	49,34
Illapa - Carrera Pinto 220kV C1 (Eletrans)	1,2114	1,0598	2	1,6	2		N/A	1,2114	1,0598	51,1
Illapa - Carrera Pinto 220kV C2 (Eletrans)	1,2114	1,0598	2	1,6	2		N/A	1,2114	1,0598	51,1

Tabla 6-3: Capacidad de las líneas de transmisión de la zona de Influencia.

6.2 Zona de Influencia

En la siguiente imagen se muestra la zona de influencia del proyecto modelada en Powerfactory DigSILENT.

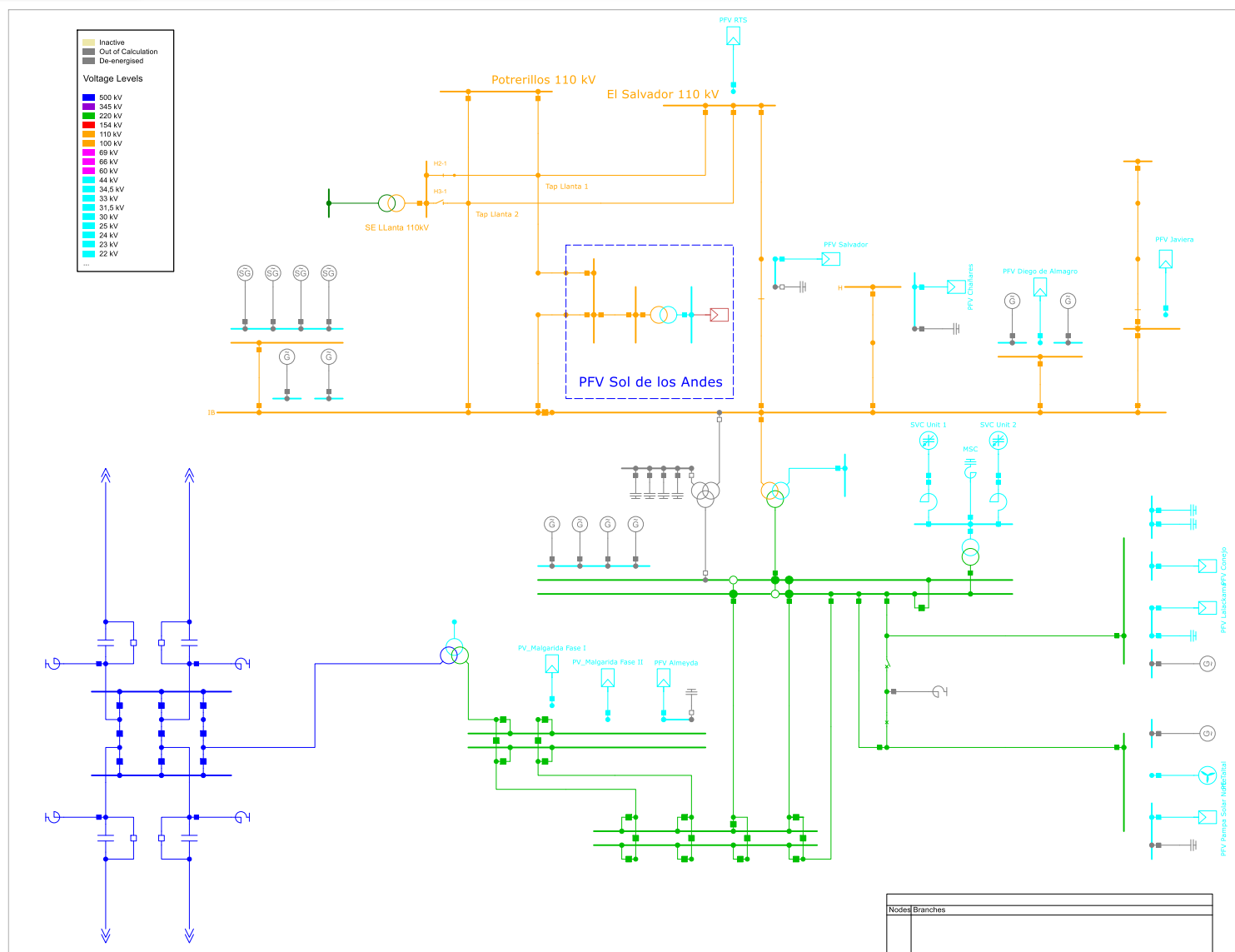


Figura 6-23: Zona de Influencia del proyecto PFV Sol de los Andes.



7 ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE OPERACIÓN

Para el desarrollo del estudio, se construyen distintos escenarios de operación, los que permiten evaluar el impacto en el sistema debido a la conexión del PFV Sol de los Andes. La elaboración de estos escenarios considera el respeto de los límites de transferencias operacionales que tienen las líneas y transformadores de la zona, así como también los rangos de tensión permitidos.

7.1 Definición de Escenarios de Operación

En función con los requerimientos del Coordinador mediante la carta de escenarios mínimos [2] para la ejecución del estudio de flujo de carga, se contemplan escenarios de demanda alta diurna y demanda baja en la zona Norte Chico del SEN (con alta generación de centrales ERNC fotovoltaicas). Para el análisis se consideran las siguientes 3 condiciones:

- **Condición de operación T01:** Sistema de transmisión normal, con las líneas 2x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos, 1x110 kV Diego de Almagro - El Salvador y sus interconexiones de 110 kV en servicio, con ambos transformadores 220/110 kV de S/E Diego de Almagro y tres circuitos conectados en 220 kV en los tramos comprendidos entre las SS/EE Cardones y Diego de Almagro. Centrales térmicas Taltal, San Lorenzo, Diego de Almagro y Emelda fuera de servicio. En particular, la central fotovoltaica Sol de Los Andes a plena carga.
- **Condición de operación T02:** Condición de operación 1, pero con un transformador 220/110 kV de S/E Diego de Almagro fuera de servicio.
- **Condición de operación T03:** Condición de operación 1, pero con el circuito N°2 de la línea 2x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos desconectado y aterrizado.
- **Condición de operación T04:** Condición de operación 1, pero en una hidrología muy seca, con las centrales Taltal y Diego de Almagro (1U) en servicio.

El análisis de flujo de potencia se hace tanto para una temperatura ambiente de 25°C, como ante una temperatura ambiente de 35°C, lo que origina un total 16 escenarios de estudio. En todos los escenarios planteados se considera el PFV Sol de los Andes generando una potencia neta de 89,4 MW al sistema. A continuación, se enseña una tabla resumen con los escenarios confeccionados.



Nomenclatura	Demanda	Topología	Temperatura ambiente
E01_T01_DA_25	Alta	T01: Base	25°C
E02_T02_DA_25	Alta	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	25°C
E03_T03_DA_25	Alta	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	25°C
E04_T04_DA_25	Alta	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	25°C
E05_T01_DB_25	Baja	T01: Base	25°C
E06_T02_DB_25	Baja	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	25°C
E07_T03_DB_25	Baja	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	25°C
E08_T04_DB_25	Baja	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	25°C
E09_T01_DA_35	Alta	T01: Base	35°C
E10_T02_DA_35	Alta	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	35°C
E11_T03_DA_35	Alta	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	35°C
E12_T04_DA_35	Alta	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	35°C
E13_T01_DB_35	Baja	T01: Base	35°C
E14_T02_DB_35	Baja	T02: TR S/E Diego de Almagro 220/110 kV F/S	35°C
E15_T03_DB_35	Baja	T03: Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos C1 F/S	35°C
E16_T04_DB_35	Baja	T04: Taltal y Diego de Almagro (U1) E/S	35°C

Figura 7-1: Resumen Escenarios de operación.

7.2 Restricciones de generación ERNC

Tal como ha sido solicitado por el coordinador [2], “La elaboración de estos escenarios debe considerar el respeto de los límites de transferencia operacional que tienen las líneas de transmisión y los transformadores de poder de la zona”. Para dar cumplimiento a este requerimiento se realiza a continuación el análisis del estado de las transferencias en la zona con el fin de verificar que en todos los escenarios la red opere dentro de los límites definidos para 25°C y 35°C.

Como se ve en las siguientes figuras, en la S/E Diego de Almagro se encuentran los parques fotovoltaicos RTS, Salvador, Chañares, Diego de Almagro, Javiera y Conejo, los que totalizan aproximadamente 206 MW de capacidad. Por otra parte, en la S/E Paposo se encuentra el Parque Eólico Taltal y los parques fotovoltaicos Lalackama, Conejo y Pampa Solar, además de la CT Taltal.

Restricción anillo 110kV Diego de Almagro – Salvador – Potrerillos

A partir de un análisis realizado con los 3 proyectos del interior del anillo a plena potencia (PFV RTS, PFV Salvador y PFV Sol de los Andes), se encuentra que, para la topología de operación normal, ante la desconexión de la línea 1x110kV Diego de Almagro – Río Salado se presentan sobrecargas en la línea (capacidad de conductor) Salvador – Diego de Almagro 110kV, entre el Tap Salvador y Diego de Almagro:

- De 7% considerando temperatura de ambiente de 25°C
- De 24% considerando temperatura ambiente de 35°C.

Con el fin de respetar los límites de transmisión en la zona, se realiza una reducción en la generación del anillo, que a fines del estudio se aplica particularmente a los parques fotovoltaicos RTS y Salvador.

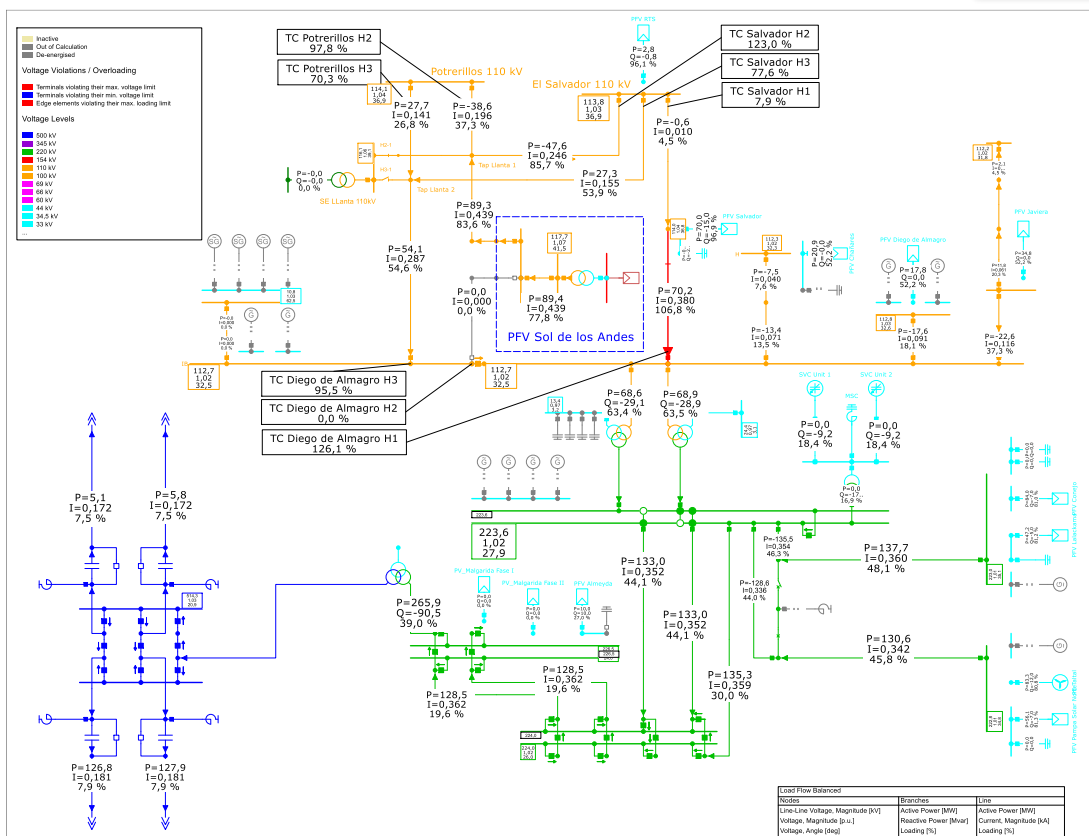


Figura 7-2: Restricciones de transmisión durante escenario de demanda baja 25°C.

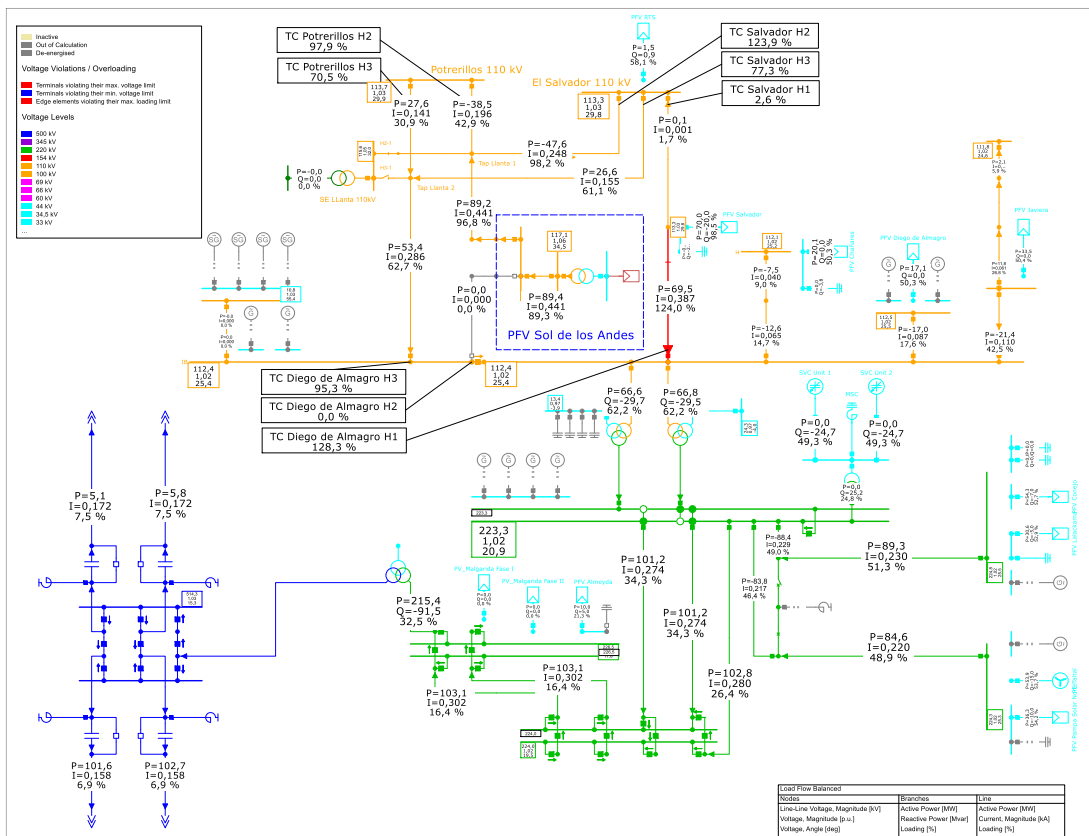


Figura 7-3: Restricciones de transmisión durante escenario de demanda baja 35°C.

Restricción transformación 220/110kV Diego de Almagro

En las siguientes figuras se muestran escenarios de demanda baja, para 25°C y 35°C, con toda la generación emplazada en 110kV en servicio, más la generación térmica considerada para el caso de hidrología seca. Se observa que en estas condiciones se presentan leves sobrecargas en red completa, que derivan en sobrecargas considerables ante la falla de uno de estos equipos. En función de esto, para el armado de los escenarios de estudio se reduce la generación emplazada en 110kV (salvo la del PV Sol de los Andes) a fin de cumplir con criterio N-1 en los transformadores 220/110kV de Diego de Almagro.

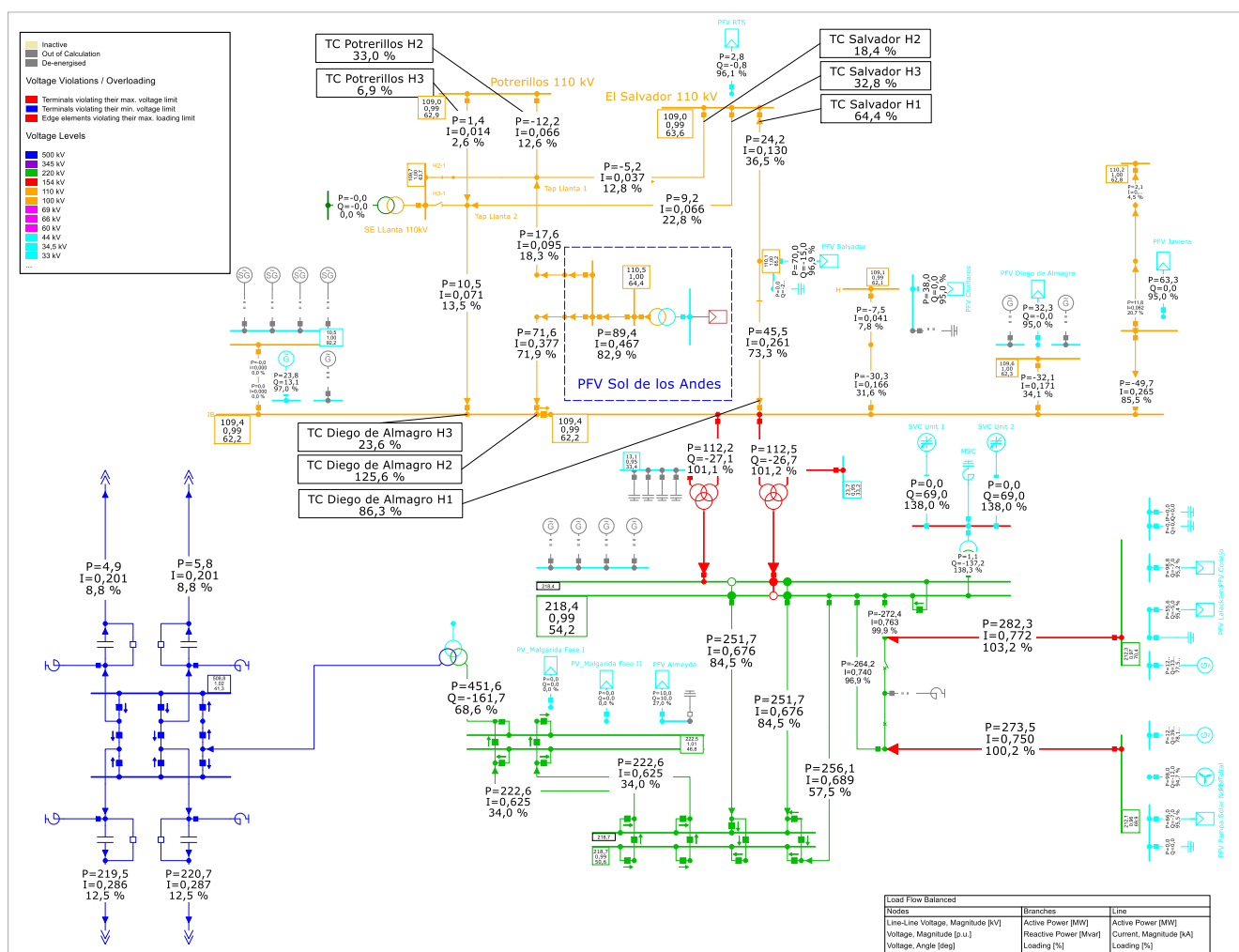


Figura 7-4: Restricciones de transmisión durante escenario de demanda baja 25°C.

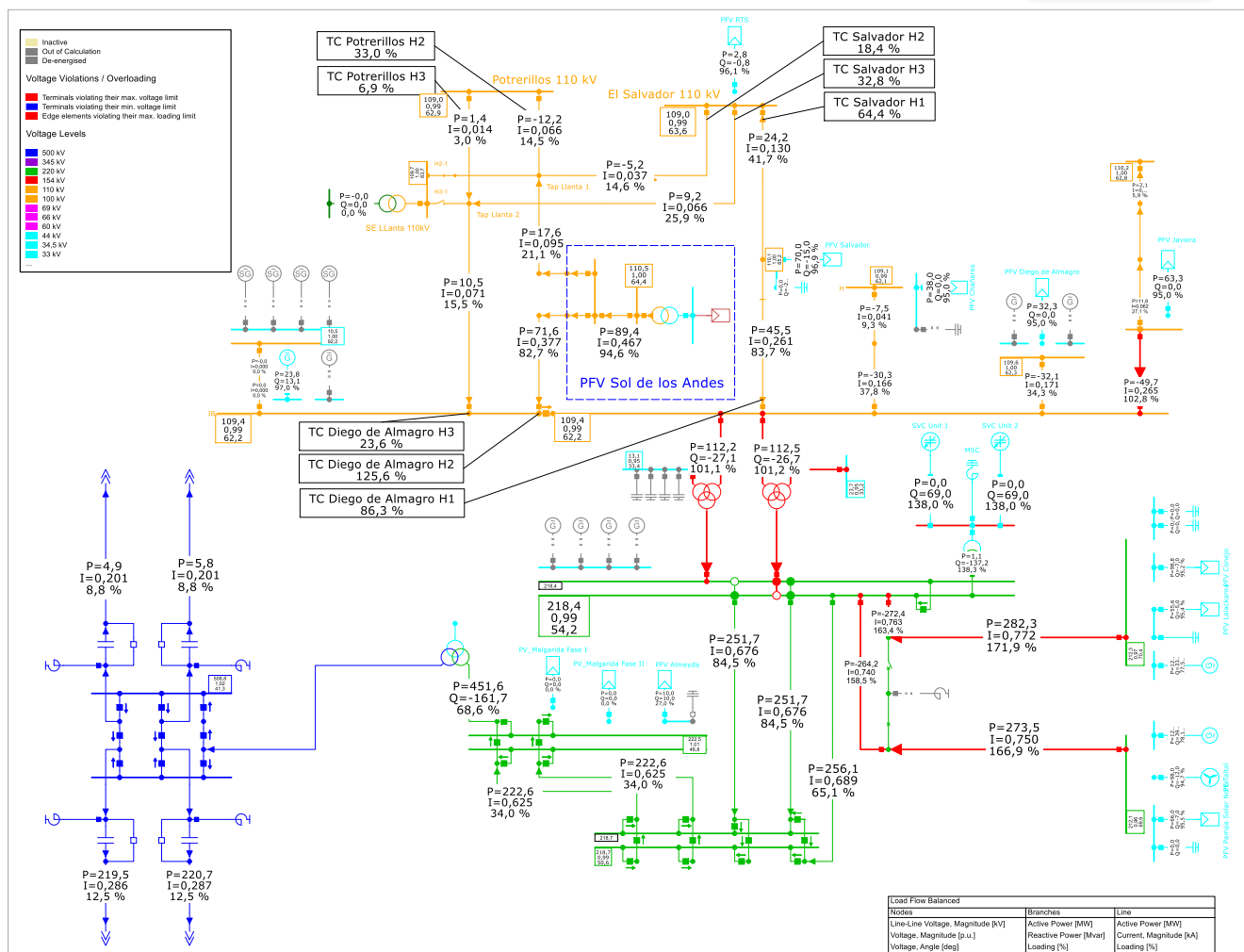


Figura 7-5: Restricciones de transmisión durante escenario de demanda baja 35°C.

Vale destacar que estas restricciones serían mayores a las derivadas del anillo de 110kV Diego de Almagro – Salvador – Potrerillos en los escenarios de operación normal. Sin embargo, para la topología 3 (C2 2x110kV Diego de Almagro – El Salvador – Potrerillos desconectado y aterrizado) las restricciones en el anillo resultan mayores a las del transformador de poder.

Restricciones Paposo – Diego de Almagro 110kV

De igual manera, en la Figura 7-4 y Figura 7-5 se ve que no es posible generar toda la potencia instalada (solar + térmica) en la S/E Paposo, debido a las restricciones de transmisión dictadas por la capacidad de los circuitos que la vinculan con la S/E Diego de Almagro. Debido a esto, se contempla en los escenarios de estudio limitaciones en la generación de este nodo, en función de la topología de estudio evaluada.

Resumen de restricciones sobre escenarios de estudio

La siguiente tabla resume las condiciones de despacho en cada zona dependiente de los escenarios, estos valores son porcentajes del despacho máximo que cada instalación puede entregar.



	Zona de Interés 110kV	Motivo limitante	Anillo DdA - Potrerillos - El Salvador 110kV	Motivo limitante	Zona de Interés 220kV	Central TalTal	Motivo limitante
E01_T01_DA	65%	Transformadores DdA	65%	Transformadores DdA	80%	0%	Paposo - DdA 2x220kV
E02_T02_DA	57%		57%	Transformadores DdA	80%	0%	
E03_T03_DA	65%		28%	Anillo 110kV	80%	0%	
E04_T04_DA	57%		57%	Transformadores DdA	21%	83%	
E05_T01_DB	55%		55%	Transformadores DdA	85%	0%	
E06_T02_DB	47%		47%	Transformadores DdA	85%	0%	
E07_T03_DB	54%		20%	Anillo 110kV	79%	0%	
E08_T04_DB	45%		45%	Transformadores DdA	16%	83%	
E09_T01_DA	65%		65%	Transformadores DdA	55%	0%	
E10_T02_DA	57%		57%	Transformadores DdA	55%	0%	
E11_T03_DA	65%		12%	Anillo 110kV	55%	0%	
E12_T04_DA	57%		57%	Transformadores DdA	0%	70%	
E13_T01_DB	53%		53%	Transformadores DdA	55%	0%	
E14_T02_DB	45%		45%	Transformadores DdA	55%	0%	
E15_T03_DB	53%		1%	Anillo 110kV	55%	0%	
E16_T04_DB	43%		43%	Transformadores DdA	0%	70%	

Tabla 7-1: Reducción de despacho en la zona de interés según topología, nivel de demanda y temperatura.



8 ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA

8.1 Análisis de operación normal

Esta sección presenta los resultados y análisis del estudio de flujo de carga en red completa y ante la indisponibilidad de alguna instalación del sistema en la zona de influencia del proyecto sobre los escenarios definidos en la sección 7.1. Para la evaluación del impacto asociado a la conexión del proyecto se monitorea en cada una de las simulaciones, las tensiones en las barras y niveles de carga por líneas y transformadores en la zona de influencia.

Para el análisis en red N, y la elaboración de los escenarios, se considera que las tensiones en barra se encuentren dentro de los límites establecidos en el artículo 5-19 de la NTSyCS, para Estado Normal de operación:

- 0,97 pu y 1,03 pu, para barras con tensión nominal igual o superior a 500 kV.
- 0,95 pu y 1,05 pu, para barras con tensión nominal igual o superior a 200 kV e inferior a 500 kV.
- 0,93 pu y 1,07 pu, para barras con tensión nominal inferior a 200 kV.

En la Figura 8-1 se presenta el perfil de tensión del área sobre los distintos escenarios, pudiéndose notar que, en general, se presentan tensiones elevadas, verificándose que en todos los casos éstas se encuentran dentro de los rangos admisibles de operación.

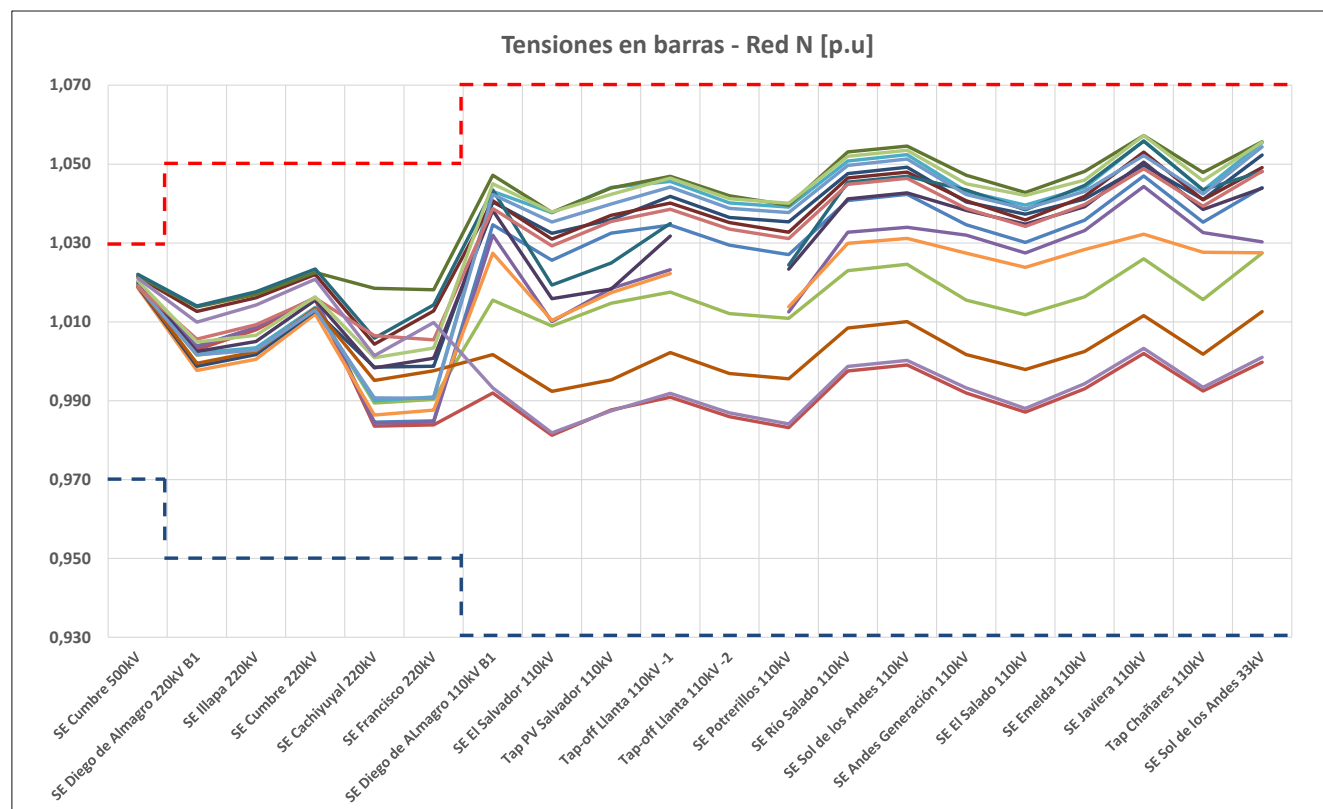


Figura 8-1: Perfil de tensiones – Operación Normal.

La Tabla 8-1 registra las tensiones de las principales barras de la zona de interés respecto a su respectiva tensión de servicio.



BARRA	Tension de Servicio [kV]	TENSIÓN [p.u.]																NTSyCS
		25°C Temperatura ambiente								35°C Temperatura ambiente								
		E01_T01_DA	E02_T02_DA	E03_T03_DA	E04_T04_DA	E05_T01_DB	E06_T02_DB	E07_T03_DB	E08_T04_DB	E09_T01_DA	E10_T02_DA	E11_T03_DA	E12_T04_DA	E13_T01_DB	E14_T02_DB	E15_T03_DB	E16_T04_DB	
SE Cumbre 500kV	505	1,019	1,019	1,019	1,019	1,019	1,019	1,019	1,019	1,019	1,021	1,022	1,020	1,020	1,021	1,022	1,019	✓
SE Diego de Almagro 220kV B1	224	1,004	1,003	1,002	1,004	1,002	1,006	1,002	0,998	0,999	1,013	1,014	1,002	1,005	1,010	1,014	0,999	✓
SE Illapa 220kV	224	1,008	1,008	1,003	1,009	1,003	1,009	1,003	1,000	1,002	1,016	1,017	1,005	1,007	1,014	1,018	1,002	✓
SE Cumbre 220kV	224	1,016	1,016	1,014	1,016	1,013	1,016	1,014	1,012	1,013	1,022	1,023	1,015	1,016	1,021	1,023	1,013	✓
SE Cachiuyayal 220kV	226	0,985	0,984	0,989	0,984	0,991	1,007	0,990	0,986	0,999	1,004	1,019	0,998	1,001	1,001	1,006	0,995	✓
SE Francisco 220kV	226	0,985	0,984	0,990	0,985	0,991	1,005	0,991	0,988	0,999	1,013	1,018	1,001	1,003	1,010	1,014	0,998	✓
SE Diego de Almagro 110kV B1	110	1,035	0,992	1,015	1,032	1,042	1,039	1,043	1,027	1,040	1,041	1,047	1,038	1,045	0,993	1,043	1,002	✓
SE El Salvador 110kV	110	1,026	0,981	1,009	1,010	1,035	1,029	1,038	1,010	1,032	1,031	1,038	1,016	1,038	0,982	1,019	0,992	✓
Tap PV Salvador 110kV	110	1,033	0,988	1,015	1,018	1,040	1,035	1,044	1,017	1,036	1,037	1,044	1,018	1,042	0,987	1,025	0,995	✓
Tap-off Llanta 110kV -1	110	1,035	0,991	1,018	1,023	1,044	1,039	1,046	1,022	1,042	1,040	1,047	1,032	1,046	0,992	1,035	1,002	✓
Tap-off Llanta 110kV -2	110	1,029	0,986	1,012		1,039	1,034	1,040		1,036	1,035	1,042		1,041	0,987		0,997	✓
SE Potrerillos 110kV	110	1,027	0,983	1,011	1,013	1,038	1,031	1,039	1,014	1,035	1,033	1,040	1,023	1,040	0,984	1,024	0,996	✓
SE Río Salado 110kV	110	1,041	0,998	1,023	1,033	1,050	1,045	1,051	1,030	1,048	1,046	1,053	1,041	1,052	0,999	1,045	1,008	✓
SE Sol de los Andes 110kV	110	1,042	0,999	1,025	1,034	1,051	1,046	1,052	1,031	1,049	1,048	1,055	1,043	1,054	1,000	1,047	1,010	✓
SE Andes Generación 110kV	110	1,035	0,992	1,015	1,032	1,042	1,039	1,043	1,027	1,040	1,041	1,047	1,038	1,045	0,993	1,043	1,002	✓
SE El Salado 110kV	110	1,030	0,987	1,012	1,027	1,039	1,034	1,040	1,024	1,037	1,036	1,043	1,035	1,042	0,988	1,038	0,998	✓
SE Emelda 110kV	110	1,036	0,993	1,016	1,033	1,043	1,040	1,044	1,028	1,041	1,042	1,048	1,039	1,046	0,994	1,045	1,002	✓
SE Javiera 110kV	110	1,047	1,002	1,026	1,044	1,052	1,049	1,056	1,032	1,050	1,053	1,057	1,051	1,057	1,003	1,056	1,012	✓
Tap Chañares 110kV	110	1,035	0,992	1,016	1,033	1,042	1,039	1,043	1,028	1,041	1,041	1,048	1,038	1,046	0,993	1,043	1,002	✓
SE Sol de los Andes 33kV	33	1,044	1,000	1,027	1,030	1,054	1,048	1,055	1,027	1,052	1,049	1,056	1,044	1,056	1,001	1,048	1,013	✓

Tabla 8-1: Tensiones en por unidad – Operación Normal.

Cabe destacar que la zona del Norte Chico se caracteriza por la definición de las tensiones de servicio no coincidentes con la nominal para las subestaciones sobre 220kV, incluyendo las barras de 500kV de S/E Cumbre que cuentan con tensiones de servicio de 505kV.

En la Tabla 8-2 se muestran los resultados correspondientes a los niveles de carga encontrados sobre los principales elementos de la zona para cada uno de los escenarios de estudio, para una temperatura de ambiente de 25°C y de 35°C.



ELEMENTO	NIVEL DE CARGA [%]															
	25°C Temperatura ambiente								35°C Temperatura ambiente							
	E01_C01_DA	E02_C02_DA	E03_C03_DA	E04_C04_DA	E05_C01_DB	E06_C02_DB	E07_C03_DB	E08_C04_DB	E09_C01_DA	E10_C02_DA	E11_C03_DA	E12_C04_DA	E13_C01_DB	E14_C02_DB	E15_C03_DB	E16_C04_DB
Línea																
Cumbre - Nva Cardones 500kV C2	30,5	30,3	30,2	31,0	7,6	7,4	7,2	7,8	29,5	29,3	29,0	29,5	6,6	6,4	6,2	6,6
Los Changos - Cumbre 500kV C2	25,8	25,8	25,8	25,8	7,4	7,4	7,5	7,4	25,7	25,7	25,6	25,7	7,3	7,4	7,3	7,4
Diego de Almagro - El Salado 110kV	13,8	11,3	13,8	10,8	13,3	10,7	13,1	9,6	16,9	14,1	17,4	12,8	14,4	12,0	15,0	10,2
Diego de Almagro - Illapa 220kV C2 (Ele)	39,2	37,7	36,6	42,9	41,0	39,3	36,8	43,0	30,3	29,1	26,4	30,6	30,7	29,6	27,1	31,4
Diego de Almagro - Illapa 220kV C1 (Ele)	39,2	37,7	36,6	42,9	41,0	39,3	36,8	43,0	30,3	29,1	26,4	30,6	30,7	29,6	27,1	31,4
Diego de Almagro - Cachiuyul 220kV	43,7	43,8	43,7	48,1	45,6	45,6	42,5	49,3	48,6	48,7	48,5	48,3	48,5	48,8	48,6	48,7
Diego de Almagro - Emelda 110kV	21,2	19,4	21,3	18,5	17,8	15,6	17,7	14,6	21,2	19,4	21,1	18,4	17,2	15,2	17,3	14,0
Diego de Almagro - Francisco 220kV	45,9	46,0	45,9	48,7	47,9	47,9	44,7	49,7	50,4	50,5	50,3	48,2	50,8	51,1	51,0	48,7
Diego de Almagro - Illapa 220kV C3 (Tra)	26,6	25,6	24,9	29,1	27,9	26,7	25,0	29,3	23,3	22,4	20,3	23,6	23,6	22,8	20,9	24,2
Diego de Almagro - Javiera 110 kV	40,4	33,7	40,5	32,1	36,7	29,4	40,4	26,8	48,3	40,4	48,1	38,3	41,6	33,3	41,9	29,8
Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	8,2	8,6	-	7,7	7,7	7,4	-	7,2	9,9	10,3	-	8,8	9,5	9,9	-	8,6
Diego de Almagro - Río Salado 110kV	61,9	63,9	59,3	60,7	63,2	64,0	63,1	62,1	71,0	73,5	62,8	69,4	72,7	74,8	67,1	71,5
Diego de Almagro - Salvador 110 kV	46,8	44,2	31,9	41,5	39,2	35,4	25,3	34,5	54,8	52,2	34,6	46,9	46,7	45,6	34,8	40,2
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV	27,2	25,8	16,4	24,6	20,4	18,4	10,8	17,6	31,3	29,8	13,9	27,8	23,4	22,0	5,9	19,9
Llanta - Potrerillos 110kV C1	14,3	14,9	16,2	14,2	11,8	12,1	11,6	11,8	16,3	17,1	18,4	16,2	13,6	14,1	13,3	13,6
Llanta - Potrerillos 110kV C2	2,7	2,9	-	2,7	2,4	2,4	-	2,3	3,1	3,3	-	3,1	2,8	2,9	-	2,7
Llanta - Salvador 110 kV C1	20,3	22,7	29,4	21,8	19,7	21,9	28,7	22,0	23,3	26,2	39,9	24,6	23,2	26,5	41,3	25,8
Llanta - Salvador 110 kV C2	15,7	15,7	-	14,6	13,3	12,8	-	12,8	18,6	18,6	-	16,5	16,5	17,1	-	15,2
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C1	14,4	13,9	13,5	15,6	18,5	18,0	17,3	19,2	11,3	10,9	9,9	11,3	15,0	14,9	14,0	15,5
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C2	14,4	13,9	13,5	15,6	18,5	18,0	17,3	19,2	11,3	10,9	9,9	11,3	15,0	14,9	14,0	15,5
Río Salado - Llanta 110kV	24,8	26,8	31,6	25,6	22,2	23,7	26,7	23,4	28,5	30,9	39,7	29,2	25,9	28,2	35,3	27,3
Río Salado - Est E-66 110kV	57,6	59,4	55,2	56,5	58,8	59,6	58,7	57,8	65,6	67,8	57,9	64,1	67,1	69,0	61,9	66,0
Río Salado - Est E-68 110kV	23,0	24,9	29,2	23,8	20,6	22,0	24,7	21,7	26,2	28,4	36,5	26,9	23,8	25,9	32,4	25,1
Sol de los Andes - Río Salado 110kV	79,9	83,5	81,0	79,6	79,1	81,3	81,2	79,2	90,8	95,2	90,9	90,2	90,2	94,1	91,2	90,6
ATR																
D.de Almagro 220_110kV - 120MVA T4	47,3	87,2	39,2	49,3	49,0	87,2	42,8	50,4	48,2	89,6	35,2	49,0	47,5	88,1	35,1	48,6
SVC Plus 220_13.9kV_100MVA	10,4	5,8	9,1	19,0	1,6	1,1	20,5	0,8	29,8	30,2	29,6	29,6	31,0	31,9	31,4	32,0
Transformador 110/33kV SE SLDA	85,9	89,7	87,0	85,6	85,0	87,4	87,3	85,1	85,5	89,6	85,6	85,0	85,0	88,6	85,9	85,3
Cumbre 500_220 kV 750 MVA	29,3	28,3	27,5	31,9	36,7	35,6	34,0	38,2	23,1	22,2	20,3	23,3	29,8	29,2	27,4	30,5
TTCC																
TC Diego de Almagro H3	12,6	13,3	-	11,6	12,0	11,4	-	11,0	13,2	14,0	-	11,5	13,0	13,5	-	11,4
TC Diego de Almagro H2	108,2	111,6	103,5	106,1	110,5	112,0	110,1	108,7	107,8	111,6	95,1	105,4	110,3	113,5	101,8	108,5
TC Diego de Almagro H1	54,5	51,5	36,4	48,3	45,7	41,1	28,5	40,0	56,0	53,3	34,3	47,8	47,5	46,3	34,5	40,7
TC Potrerillos H2	37,5	39,0	42,5	37,2	31,0	31,7	30,5	30,9	37,2	38,9	42,0	36,9	30,9	32,2	30,3	31,0
TC Potrerillos H3	7,0	7,6	-	7,0	6,2	6,4	-	6,2	7,0	7,6	-	7,0	6,4	6,7	-	6,2
TC Salvador H3	22,6	22,6	-	21,1	19,2	18,4	-	18,4	23,5	23,6	-	20,9	20,9	21,6	-	19,3
TC Salvador H2	29,3	32,7	42,3	31,4	28,3	31,5	41,3	31,6	29,5	33,1	50,4	31,1	29,4	33,5	52,2	32,6
TC Salvador H1	47,8	45,3	29,3	43,1	35,9	32,4	19,3	30,7	48,1	45,8	21,8	42,7	35,7	33,4	9,3	30,3

Tabla 8-2: Niveles de carga para cada escenario en condición de operación normal

Como puede verse, todas las líneas y transformadores de poder monitoreados se encuentran operando en condiciones admisibles, cumpliendo con los límites del sistema de transmisión. También se aprecia que el transformador de corriente vinculado al paño H2 (asociado a la nueva línea Diego de Almagro – Río Salado 1x110kV) en la S/E Diego de Almagro presenta una sobrecarga permanente frente a la operación a plena capacidad del PFV Sol de los Andes. Sin embargo, según la información dispuesta en el portal de Infotécnica [4] este transformador cuenta con otras relaciones primarias de transformación, pudiendo modificarse la capacidad primaria de 300A a 600A, eliminando la sobrecarga.

Se presenta a modo de referencia el diagrama unifilar de la zona de influencia del PFV Sol de los Andes para el escenario de demanda baja, para la condición 2 y para una temperatura ambiente de 35°C (E14_T02_DB) en la figura a continuación:

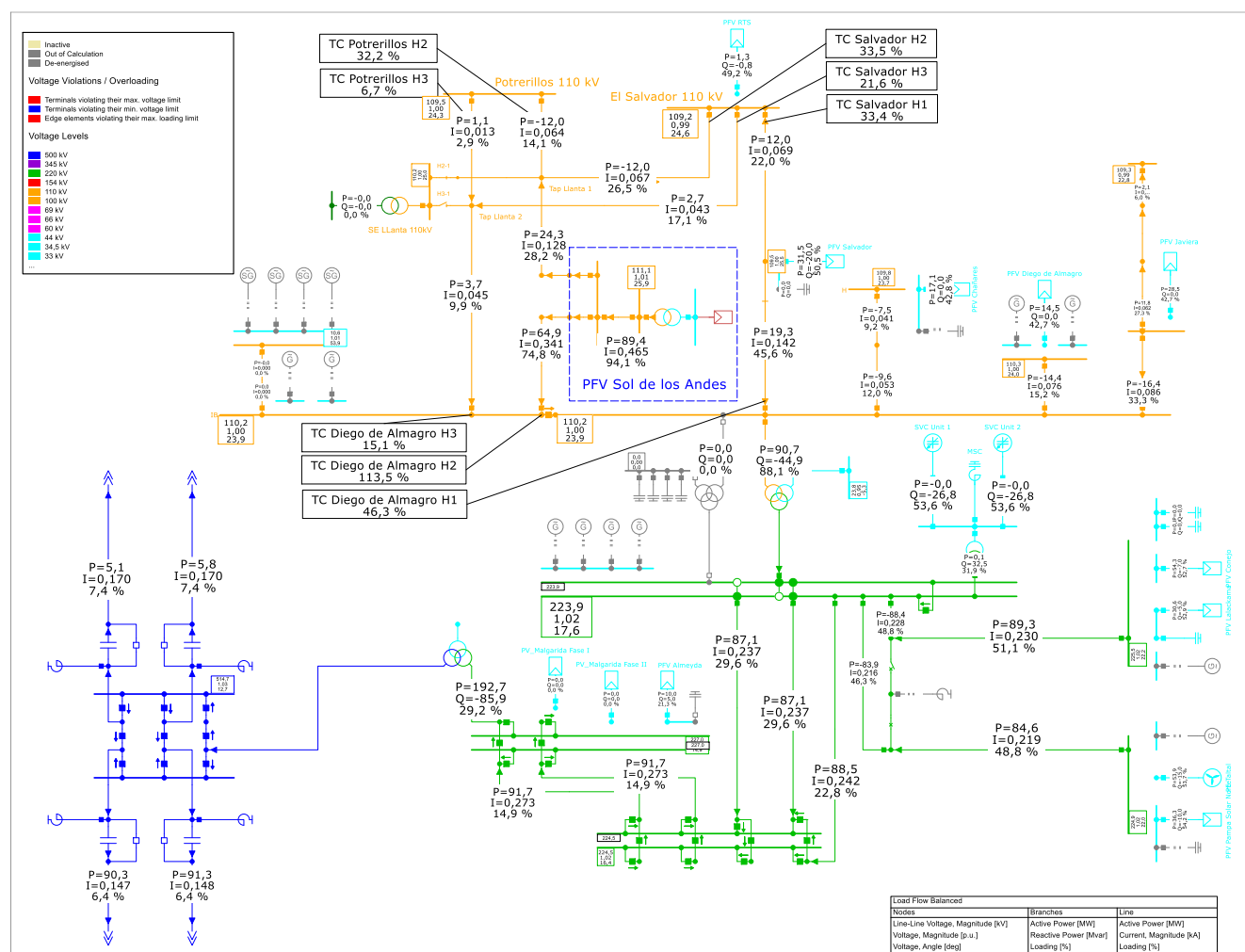


Figura 8-2: Diagrama unifilar escenario E14 T02 DB.



8.2 Análisis de operación post-contingencia

En esta sección se presentan los resultados y análisis del estudio de flujos de potencia en condición post-contingencia (red N-1), es decir, luego de ocurrida la conexión/desconexión intempestiva de un elemento en la zona de influencia del proyecto. El principal objetivo de este análisis es evaluar el impacto del ingreso del proyecto PFV Sol de los Andes en condiciones post-contingencia e identificar posibles problemáticas, para lo cual se analizará para cada escenario el cumplimiento de los límites de tensión y niveles de carga ante la pérdida no simultánea da alguno de los elementos en la zona de influencia.

Limitaciones

- Tensiones en barras: deben encontrarse dentro de las bandas estipuladas en la NTSyCS para Estado de Emergencia, según lo indicado en el Artículo 5-23 de la NTSyCS:
 - a) 0,93 pu y 1,05 pu, para barras con tensión nominal superior o igual a 500 kV.
 - b) 0,90 pu y 1,10 pu, para barras con tensión nominal igual o superior a 200 kV e inferior a 500 kV
 - c) 0,90 pu y 1,10 pu, para barras con tensión nominal inferior a 200 kV
- Niveles de carga por líneas y transformadores: deben encontrarse con una carga inferior a su capacidad nominal.

Contingencias de estudio

De acuerdo con lo señalado en la CEM [2], se indican las contingencias no simultáneas que se evalúan:

- **C1:** Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Río Salado - Elevadora Sol de Los Andes.
- **C2:** Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Diego de Almagro - Río Salado.
- **C3:** Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Río Salado - El Salvador - Potrerillos.
- **C4:** Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos (ex circuito N°2) (salvo CO3).
- **C5:** Barra de 110 kV de S/E Potrerillos.
- **C6:** Barra de 110 kV de S/E El Salvador.



8.2.1 Resultados generales

La siguiente figura muestra el perfil de tensiones en las barras monitoreadas ante el total de contingencias y escenarios analizados, destacándose los valores máximos y mínimos registrados en cada nodo y su comparación con el nivel admisible.

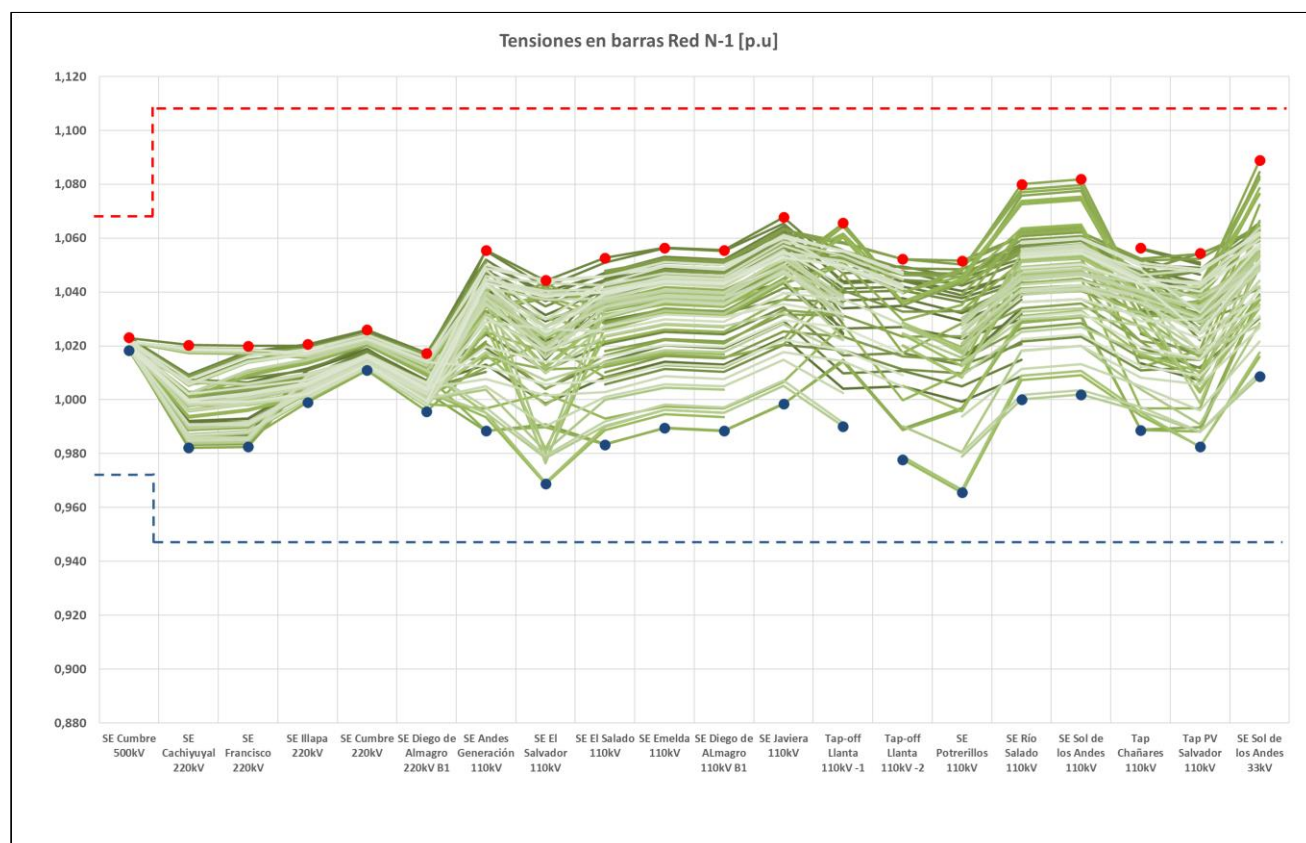


Figura 8-3: Perfil de tensiones – Red N-1.

Asimismo, en las tablas a continuación se presentan las máximas tensiones en p.u. respecto de las tensiones de servicio en las principales barras de la zona de influencia para las contingencias evaluadas, indicando el cumplimiento o no de los límites normativos.



BARRA	Tensión de Servicio [kV]	CONTINGENCIA						NTSycs
		C1: Sol de los Andes - Río Salado 110kV	C2: Diego de Almagro - Río Salado 110kV	C3: Río Salado - El Salvador Potrerillos 110kV	C4: Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	C5: SE Potrerillos 110kV	C6: SE El Salvador 110kV	
SE Cumbre 500kV	505	1,023	1,021	1,022	1,022	1,022	1,022	✓
SE Cachiyuyal 220kV	226	1,020	1,017	1,018	1,018	1,019	1,019	✓
SE Francisco 220kV	226	1,020	1,017	1,017	1,018	1,019	1,019	✓
SE Illapa 220kV	224	1,021	1,016	1,017	1,018	1,019	1,019	✓
SE Cumbre 220kV	224	1,026	1,022	1,023	1,023	1,024	1,024	✓
SE Diego de Almagro 220kV B1	224	1,017	1,012	1,013	1,014	1,016	1,017	✓
SE Andes Generación 110kV	110	1,056	1,041	1,043	1,044	1,050	1,052	✓
SE El Salvador 110kV	110	1,045	1,044	1,022	1,030	1,045		✓
SE El Salado 110kV	110	1,053	1,036	1,039	1,040	1,047	1,049	✓
SE Emelda 110kV	110	1,057	1,042	1,044	1,045	1,051	1,053	✓
SE Diego de Almagro 110kV B1	110	1,056	1,041	1,043	1,044	1,050	1,052	✓
SE Javiera 110kV	110	1,068	1,051	1,055	1,056	1,062	1,064	✓
Tap-off Llanta 110kV -1	110	1,049	1,066		1,039	1,056	1,059	✓
Tap-off Llanta 110kV -2	110	1,050	1,040	1,029		1,047	1,053	✓
SE Potrerillos 110kV	110	1,046	1,049	1,019	1,031		1,052	✓
SE Río Salado 110kV	110	1,053	1,078	1,055	1,047	1,059	1,061	✓
SE Sol de los Andes 110kV	110		1,080	1,056	1,049	1,060	1,063	✓
Tap Chañares 110kV	110	1,057	1,042	1,044	1,045	1,051	1,052	✓
Tap PV Salvador 110kV	110	1,052	1,043	1,035	1,039	1,048	1,054	✓
SE Sol de los Andes 33kV	33		1,083	1,057	1,051	1,062	1,065	✓

Tabla 8-3: Tensiones máximas en por unidad – Red N-1.

Se puede observar que en todos los casos las tensiones se encuentran dentro de los rangos admisibles de operación para condiciones de Red N-1.



8.2.2 Análisis Operación normal en 110kV

A continuación, se muestran los niveles de carga encontrados para todas las contingencias derivadas de condiciones de operación normal a nivel de 110kV, es decir, para las topologías 01, 02 y 04.

ELEMENTO	CONTINGENCIA					
	C1: Sol de los Andes - Río Salado 110kV	C2: Diego de Almagro - Río Salado 110kV	C3: Río Salado - El Salvador - Potrerillos 110kV	C4: Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	C5: SE Potrerillos 110kV	C6: SE El Salvador 110kV
Cumbre - Nva Cardones 500kV C2	30	31	31	31	31	31
Los Changos - Cumbre 500kV C2	26	26	26	26	26	26
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C1	16	19	19	19	20	20
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C2	16	19	19	19	20	20
Diego de Almagro - El Salado 110kV	17	17	17	17	17	17
Diego de Almagro - Illapa 220kV C2 (Ele)	34	43	43	43	44	45
Diego de Almagro - Illapa 220kV C1 (Ele)	34	43	43	43	44	45
Diego de Almagro - Cachiyuyal 220kV	49	49	49	49	49	49
Diego de Almagro - Emelda 110kV	21	21	21	21	21	21
Diego de Almagro - Francisco 220kV	51	51	51	51	51	51
Diego de Almagro - Illapa 220kV C3 (Tra)	23	29	29	29	30	31
Diego de Almagro - Javiera 110 kV	48	49	49	48	48	48
Diego de Almagro - Salvador 110 kV	45	92	49	61	57	83
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV	41	18	44	28	28	2
Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	14	53	26	0	10	5
Llanta - Potrerillos 110kV C2	9	29	20	0	2	6
Llanta - Salvador 110 kV C2	15	50	24	0	22	2
Diego de Almagro - Río Salado 110kV	13	0	104	80	84	83
Río Salado - Est E-66 110kV	12	0	96	73	77	77
Llanta - Potrerillos 110kV C1	9	44	0	20	2	20
Llanta - Salvador 110 kV C1	15	107	0	28	35	2
Río Salado - Llanta 110kV	13	102	0	33	19	20
Río Salado - Est E-68 110kV	12	94	0	30	17	19
Sol de los Andes - Río Salado 110kV	0	94	96	96	94	94
D.de Almagro 220_110kV - 120MVA T4	43	94	93	93	98	103
SVC Plus 220_13.9kV_100MVA	32	32	31	31	32	32
Transformador 110/33kV SE SLDA	0	89	90	91	89	89
Cumbre 500_220 kV 750 MVA	32	38	38	38	39	40
TC Diego de Almagro H3	20	81	38	0	14	8
TC Diego de Almagro H2	19	0	157	121	127	126
TC Diego de Almagro H1	46	95	49	63	59	85
TC Potrerillos H2	22	101	0	45	0	47
TC Potrerillos H3	21	67	45	0	0	14
TC Salvador H3	19	63	30	0	27	0
TC Salvador H2	19	135	0	35	44	0
TC Salvador H1	64	29	68	44	42	0

Tabla 8-4: Nivel de carga | Red N-1 | Todos los escenarios y contingencias. Topologías 01, 02 y 04



A continuación, se analizan las fallas que derivan en incumplimientos específicos.

Vale destacar que las sobrecargas en el TC de Diego de Almagro H2 fueron identificadas en red completa y de modificar su relación de transformación se eliminarían, por lo que no se analizan en el resto de los casos.

Desconexión de barra SE Potrerillos

Estas sobrecargas se presentan sólo para la topología 02, y son debidas a que, al operar con 1 solo transformador en servicio, a máxima carga, la pérdida de demanda deriva en un incremento de las transferencias por el mismo, por sobre su capacidad. Debido a la baja probabilidad de la falla, y a lo leve de la sobrecarga, no se ve necesario operar con menores transferencias en caso de indisponibilidad de uno de los transformadores.

Desconexión línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV

La tabla siguiente muestra los niveles de carga para esta contingencia en todos los escenarios de las 3 topologías aquí analizadas.

ELEMENTO	CONTINGENCIA 2: Diego de Almagro - Río Salado 110kV											
	25°C						35°C					
	E01_T01_DA	E02_T02_DA	E04_T04_DA	E05_T01_DB	E06_T02_DB	E08_T04_DB	E09_T01_DA	E10_T02_DA	E12_T04_DA	E13_T01_DB	E14_T02_DB	E16_T04_DB
Cumbre - Nva Cardones 500kV C2	31	30	31	8	7	8	29	29	29	7	6	7
Los Changos - Cumbre 500kV C2	26	26	26	7	7	7	26	26	26	7	7	7
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C1	14	14	16	18	18	19	11	11	11	15	15	15
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C2	14	14	16	18	18	19	11	11	11	15	15	15
Diego de Almagro - El Salado 110kV	14	12	11	13	11	10	17	14	13	15	12	10
Diego de Almagro - Illapa 220kV C2 (Ele)	39	37	43	41	39	43	30	29	30	31	29	31
Diego de Almagro - Illapa 220kV C1 (Ele)	39	37	43	41	39	43	30	29	30	31	29	31
Diego de Almagro - Cachiuyul 220kV	44	44	48	46	46	49	49	49	48	49	49	49
Diego de Almagro - Emelda 110kV	21	20	19	18	16	15	21	20	19	17	15	14
Diego de Almagro - Francisco 220kV	46	46	49	48	48	50	51	51	48	51	51	49
Diego de Almagro - Illapa 220kV C3 (Tra)	26	25	29	28	27	29	23	22	23	24	23	24
Diego de Almagro - Javiera 110 kV	41	34	32	37	30	27	49	41	39	42	34	30
Diego de Almagro - Salvador 110 kV	79	78	73	72	69	66	92	91	83	84	84	76
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV	7	10	9	14	16	16	8	10	10	15	18	18
Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	43	44	41	45	45	43	50	52	47	52	58	50
Llanta - Potrerillos 110kV C2	22	23	21	24	25	24	25	26	25	28	29	28
Llanta - Salvador 110 kV C2	42	43	40	41	41	39	49	50	46	48	49	45
Diego de Almagro - Río Salado 110kV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Río Salado - Est E-66 110kV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Llanta - Potrerillos 110kV C1	37	38	36	35	35	34	42	44	42	40	42	39
Llanta - Salvador 110 kV C1	87	92	87	89	92	90	99	105	99	102	107	103
Río Salado - Llanta 110kV	84	89	84	83	86	83	97	102	96	96	100	96
Río Salado - Est E-68 110kV	78	83	78	77	80	77	89	94	89	89	93	88
Sol de los Andes - Río Salado 110kV	78	83	78	77	80	77	89	94	89	89	93	88
D.de Almagro 220_110kV - 120MVA T4	48	91	49	49	88	50	49	94	49	48	90	48
SVC Plus 220_13.9kV_100MVA	5	1	15	4	7	5	30	27	30	32	27	29
Transformador 110/33kV SE SLDA	84	89	84	83	86	83	84	89	83	83	87	83
Cumbre 500_220 kV 750 MVA	29	28	32	37	35	38	23	22	23	30	29	30
TC Diego de Almagro H3	75	77	71	78	78	75	75	78	71	79	81	75
TC Diego de Almagro H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TC Diego de Almagro H1	93	92	85	85	81	78	95	94	85	87	86	78
TC Potrerillos H2	97	101	95	91	93	90	97	101	95	91	95	90
TC Potrerillos H3	57	60	56	64	65	63	58	60	56	64	67	63
TC Salvador H3	61	62	58	59	58	56	62	63	58	61	62	57
TC Salvador H2	125	133	125	128	133	129	125	133	125	128	135	129
TC Salvador H1	12	17	15	25	29	28	12	16	16	24	28	28

Tabla 8-5: Nivel de carga | Red N-1 | Todos los escenarios y contingencias de topologías 01-02-04



De las mismas se encuentran los siguientes resultados:

- Se presentan sobrecargas leves (de hasta ~ 7%) en la línea Río Salado – Salvador – Potrerillos 110kV respecto a la capacidad del conductor para una temperatura ambiente de 35°C. El tramo más exigido resulta Tap Llanta 1 – Salvador; en el tramo Río Salado y Tap Llanta 1 las sobrecargas no superan el 2%, y el tramo Tap Llanta 1 – Potrerillos no presenta incumplimientos.
- También se aprecia que existen cargas de hasta ~ 35% por sobre la capacidad nominal en el TC del paño H2 de la SE Salvador, el cual cuenta con una capacidad de 200A sin acceso a un tope de mayor capacidad. Cabe destacar que esta sobrecarga en el transformador de corriente se presenta en todos los escenarios de topología base, independiente de su nivel de demanda o temperatura ambiente.
- Al mismo tiempo el TC de la SE Potrerillos paño H2 queda operando al límite de su capacidad luego de esta contingencia en todos los escenarios.

A continuación, se muestran los resultados de la contingencia para el escenario E14.

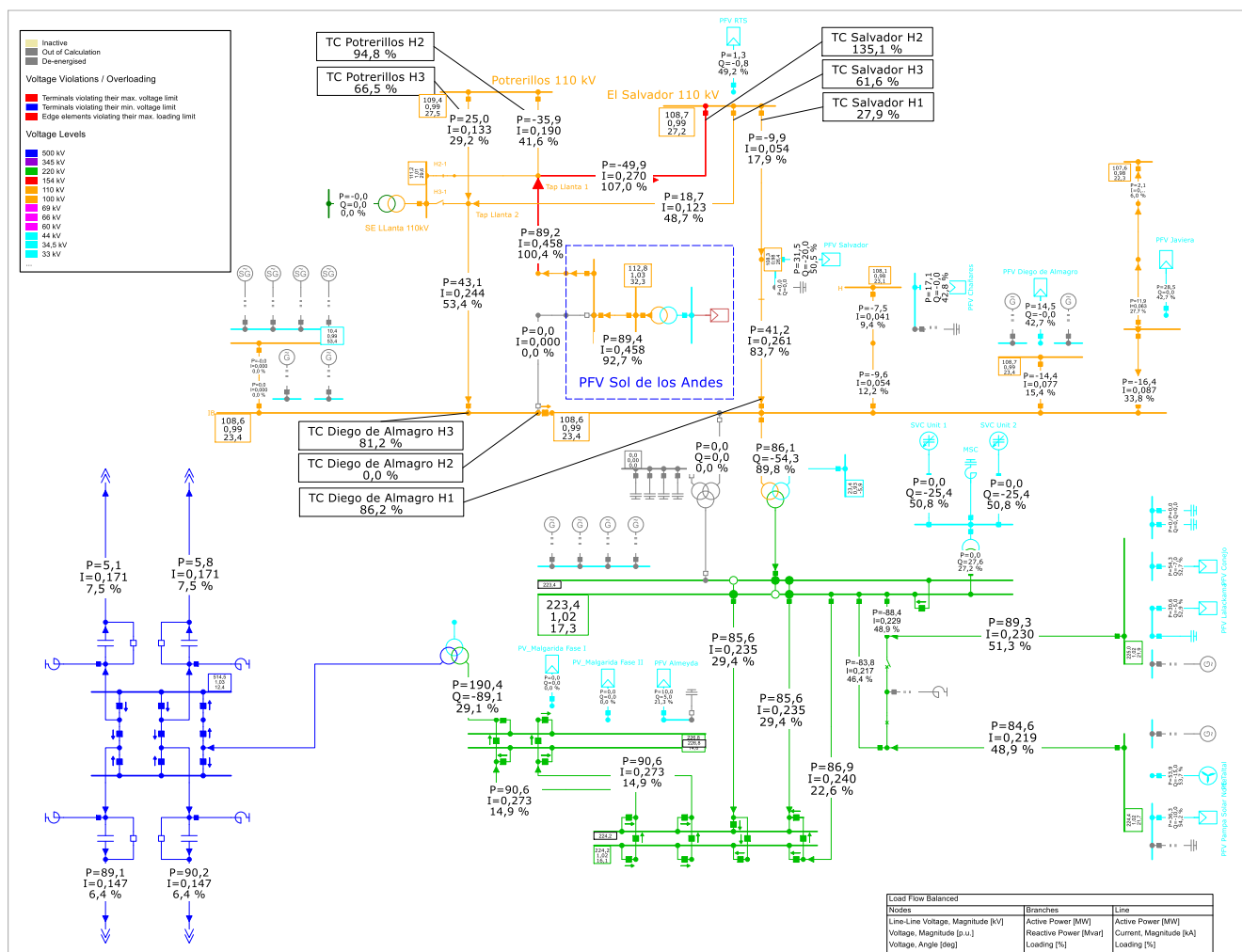


Figura 8-4: Flujo de potencia en zona de influencia ante pérdida de LT Diego de Almagro – Río Salado 1x110kV | E14_T02_DB-35°C.



En atención a estos resultados, el proyecto contempla la implementación de un Esquema de Reducción/Desconexión Automática de Generación (ERAG/EDAG) que responda ante la desconexión de la Línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV, permitiendo suprimir las sobrecargas encontradas sobre las líneas (35°C) y sobre los TTCC. Este automatismo gatillaría una reducción en las inyecciones del PFV Sol de los Andes hasta eliminar los niveles de carga por sobre la capacidad nominal en las instalaciones de la zona.

La figura siguiente muestra el resultado en donde se observa que, en el caso más exigente, con una reducción del proyecto a 68MW se eliminan las sobrecargas.

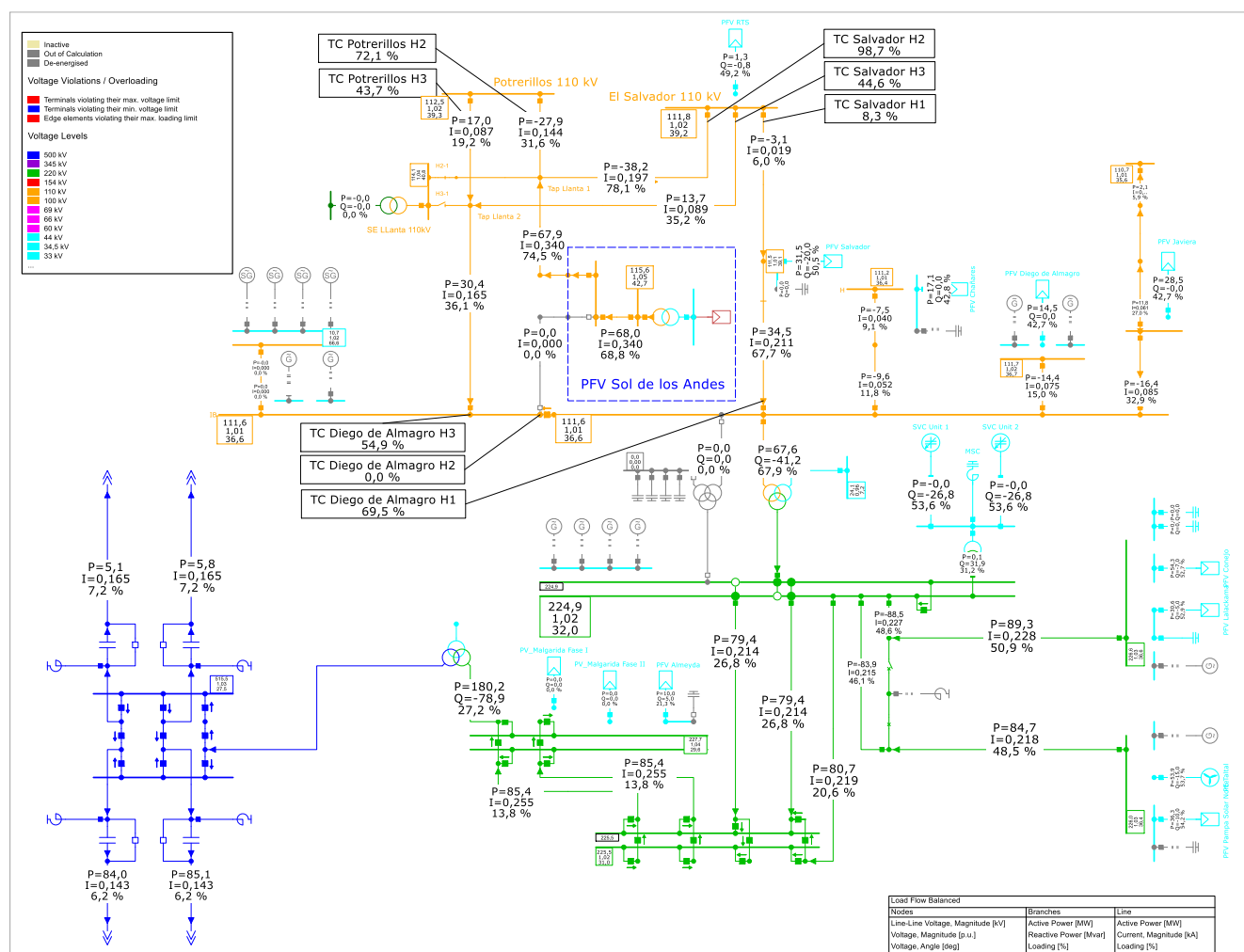


Figura 8-5: Flujo de potencia ante pérdida de LT Diego de Almagro – Río Salado 1x110kV | E14_T02_DB-35°C | Reducción de Potencia PV Sol de los Andes



Desconexión línea Río Salado - El Salvador - Potrerillos 110kV

Se observa que pueden presentarse leves sobrecargas de hasta 2% (4% para topología 2) en la línea 1x110kV Diego de Almagro - Río Salado ante la falla en la línea 1x110 kV Río Salado – El Salvador – Potrerillos para una temperatura ambiente de 35°C. Esto se debe a que en dichas condiciones este enlace se convierte en el único medio por el cual se evacúa la energía generada en el PFV Sol de los Andes. Para solucionar esta problemática se podrá realizar reducción manual en el despacho del parque post-contingencia (utilizando la capacidad transitoria de corta duración de la línea), sin implementar automatismos o aplicar restricciones en la operación normal

Vale destacar que, debido a las elevadas tensiones de operación en la barra de 110kV de Diego de Almagro (1.04pu), dicha sobrecarga no se evidencia en los resultados para las topologías 1 y 4. En la figura siguiente se presenta el diagrama de la zona de influencia para el escenario E010_T02_DB posterior a la contingencia 2.

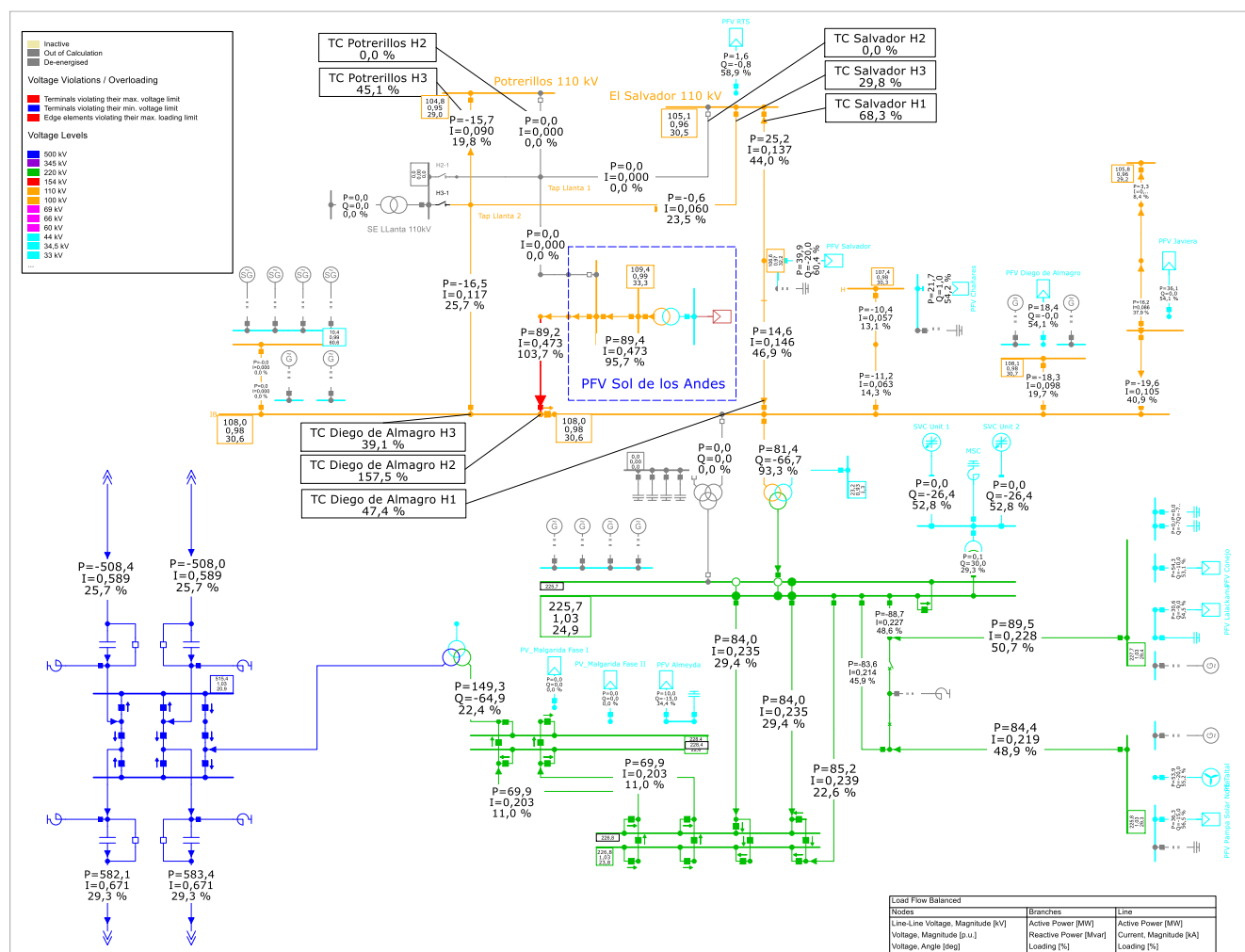


Figura 8-6: Flujo de potencia en zona de influencia ante pérdida de LT Río Salado – El Salvador - Potrerillos 1x110kV / E10_T02_DB-35



8.2.3 Análisis Topología 3

A continuación, se muestran los máximos niveles de carga encontrados para todas las contingencias derivadas, en todos los escenarios, para la topología 03, con la línea Diego de Almagro - El Salvador – Potrerillos 110kV desconectada y aterrizada.

ELEMENTO	CONTINGENCIA					
	C1: Sol de los Andes - Río Salado 110kV	C2: Diego de Almagro - Río Salado 110kV	C3: Río Salado - El Salvador - Potrerillos 110kV	C4: Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	C5: SE Potrerillos 110kV	C6: SE El Salvador 110kV
Cumbre - Nva Cardones 500kV C2	29	30	30	30	30	31
Los Changos - Cumbre 500kV C2	26	26	26	26	26	26
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C1	14	17	18	17	18	18
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C2	14	17	18	17	18	18
Diego de Almagro - El Salvador 110kV	17	18	17	17	17	17
Diego de Almagro - Illapa 220kV C2 (Ele)	28	36	38	37	38	39
Diego de Almagro - Illapa 220kV C1 (Ele)	28	36	38	37	38	39
Diego de Almagro - Cachiyuyal 220kV	48	49	49	49	48	48
Diego de Almagro - Emelda 110kV	21	21	21	21	21	21
Diego de Almagro - Francisco 220kV	51	51	51	51	51	51
Diego de Almagro - Illapa 220kV C3 (Tra)	19	25	26	25	26	27
Diego de Almagro - Javiera 110 kV	48	49	48	48	48	48
Diego de Almagro - Salvador 110 kV	37	114	61	35	34	38
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV	30	92	48	16	11	2
Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	0	0	0	0	0	0
Llanta - Potrerillos 110kV C2	0	0	0	0	0	0
Llanta - Salvador 110 kV C2	0	0	0	0	0	0
Diego de Almagro - Río Salado 110kV	30	0	98	67	75	86
Río Salado - Est E-66 110kV	28	0	91	62	69	79
Llanta - Potrerillos 110kV C1	18	18	0	18	2	18
Llanta - Salvador 110 kV C1	27	154	0	41	47	2
Río Salado - Llanta 110kV	31	97	0	40	25	17
Río Salado - Est E-68 110kV	28	89	0	36	23	16
Sol de los Andes - Río Salado 110kV	0	89	91	91	91	90
D.de Almagro 220_110kV - 120MVA T4	24	44	47	43	46	49
SVC Plus 220_13.9kV_100MVA	31	31	32	31	31	31
Transformador 110/33kV SE SLDA	0	86	87	87	87	87
Cumbre 500_220 kV 750 MVA	28	34	35	34	35	36
TC Diego de Almagro H3	0	0	0	0	0	0
TC Diego de Almagro H2	46	0	152	110	122	133
TC Diego de Almagro H1	37	135	62	36	38	44
TC Potrerillos H2	42	42	0	42	0	42
TC Potrerillos H3	0	0	0	0	0	0
TC Salvador H3	0	0	0	0	0	0
TC Salvador H2	34	198	0	52	59	0
TC Salvador H1	53	152	74	29	19	0

Tabla 8-6: Nivel de carga | Red N-1 | Todos los escenarios y contingencias. Topología 03



Salvando los problemas asociados a TC H2 de Diego de Almagro, ya abordados, solo se presentan incumplimientos ante la falla 02 (Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Diego de Almagro - Río Salado).

En la Tabla 8-7 se muestran los máximos niveles de carga registrados para la contingencia 02. De esta se encuentra que para todos los escenarios se aprecian sobrecargas en:

- Los TTCC de los paños H1 y H2 de la SE Salvador de hasta 98%, los cuales cuentan con una capacidad de 200A sin acceso a un tope de mayor capacidad.
- La línea Río Salado – Salvador – Potrerillos 110kV, en el tramo entre Tap Llanta y SE El Salvador, de hasta 54% de la capacidad del conductor.
- La línea que conecta el Tap PV Salvador con la SE Diego de Almagro, de hasta 14%.
- El TC del paño H1 de la SE Diego de Almagro de hasta 31%, los cuales cuentan con una capacidad de 300A y posibilidad de ampliación a 600A.

ELEMENTO	CONTINGENCIA 2: Diego de Almagro - Río Salado 110kV			
	25°C		35°C	
	E03_T03_DA	E07_T03_DB	E11_T03_DA	E15_T03_DB
Cumbre - Nva Cardones 500kV C2	30	7	29	6
Los Changos - Cumbre 500kV C2	26	8	26	7
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C1	13	17	10	14
Línea 220 kV Illapa - Cumbre C2	13	17	10	14
Diego de Almagro - El Salado 110kV	14	13	18	15
Diego de Almagro - Illapa 220kV C2 (Ele)	36	36	26	27
Diego de Almagro - Illapa 220kV C1 (Ele)	36	36	26	27
Diego de Almagro - Cachiyuyal 220kV	44	43	49	49
Diego de Almagro - Emelda 110kV	21	18	21	18
Diego de Almagro - Francisco 220kV	46	45	51	51
Diego de Almagro - Illapa 220kV C3 (Tra)	25	25	20	21
Diego de Almagro - Javiera 110 kV	41	41	49	42
Diego de Almagro - Salvador 110 kV	114	112	111	112
Diego de Almagro - Tap Salvador 110 kV	75	85	80	92
Diego de Almagro - Llanta 110kV C2	0	0	0	0
Llanta - Potrerillos 110kV C2	0	0	0	0
Llanta - Salvador 110 kV C2	0	0	0	0
Diego de Almagro - Río Salado 110kV	0	0	0	0
Río Salado - Est E-66 110kV	0	0	0	0
Llanta - Potrerillos 110kV C1	16	11	18	13
Llanta - Salvador 110 kV C1	131	138	145	154
Río Salado - Llanta 110kV	86	85	97	97
Río Salado - Est E-68 110kV	80	80	89	89
Sol de los Andes - Río Salado 110kV	80	80	89	89
D.de Almagro 220_110kV - 120MVA T4	41	44	37	36
SVC Plus 220_13.9kV_100MVA	0	31	30	30
Transformador 110/33kV SE SLDA	86	86	84	84
Cumbre 500_220 kV 750 MVA	27	34	20	27
TC Diego de Almagro H3	0	0	0	0
TC Diego de Almagro H2	0	0	0	0
TC Diego de Almagro H1	135	132	114	116
TC Potrerillos H2	42	30	41	30
TC Potrerillos H3	0	0	0	0
TC Salvador H3	0	0	0	0
TC Salvador H2	188	198	182	194
TC Salvador H1	134	152	124	144

Tabla 8-7: Nivel de carga | Red N-1 | Contingencia C2 | Topología 3.

En la Figura 8-7 se presenta el diagrama unifilar de la zona de influencia del PFV Sol de los Andes para el escenario E015_T03_DB posterior a la contingencia 2, con una temperatura de 35°C.

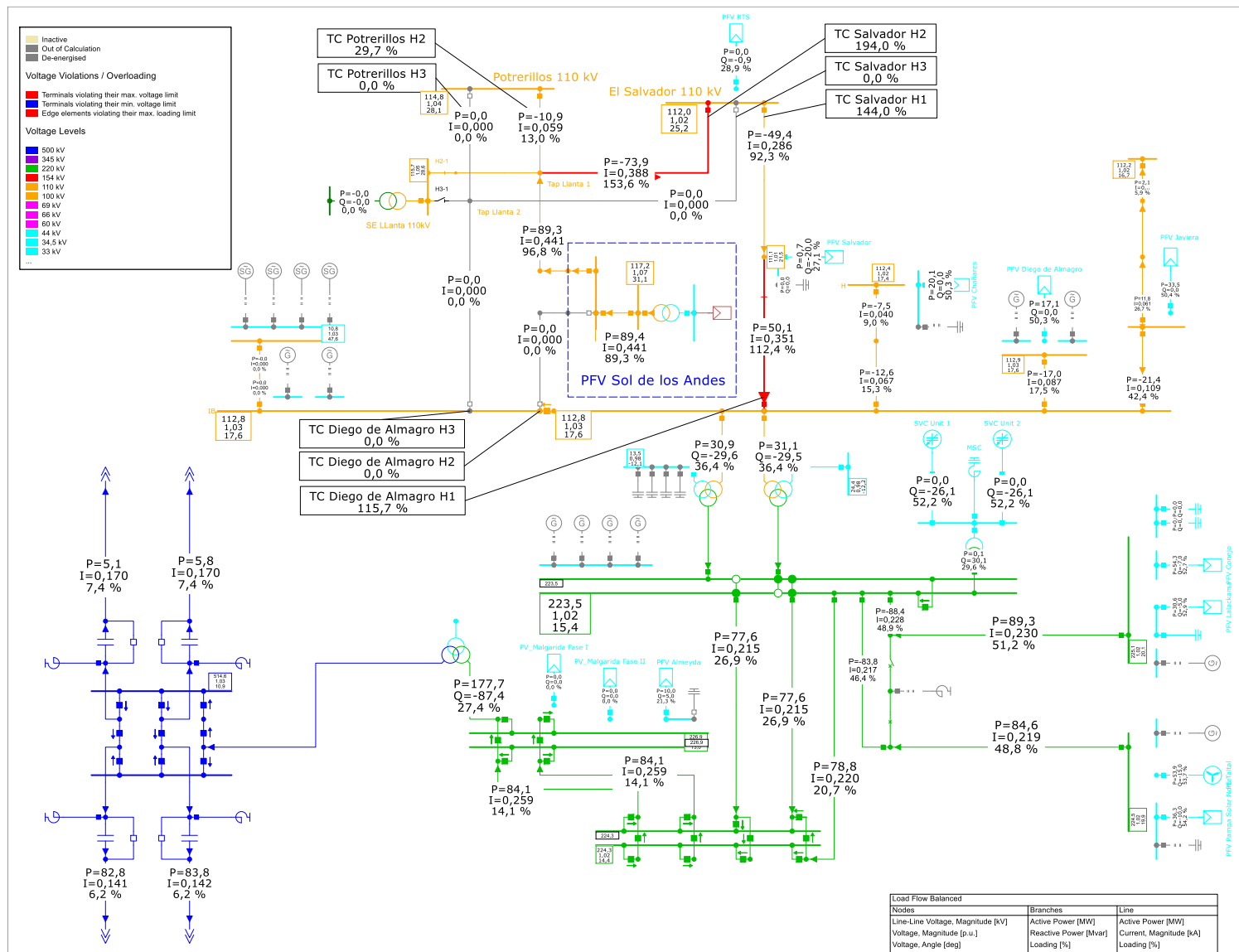
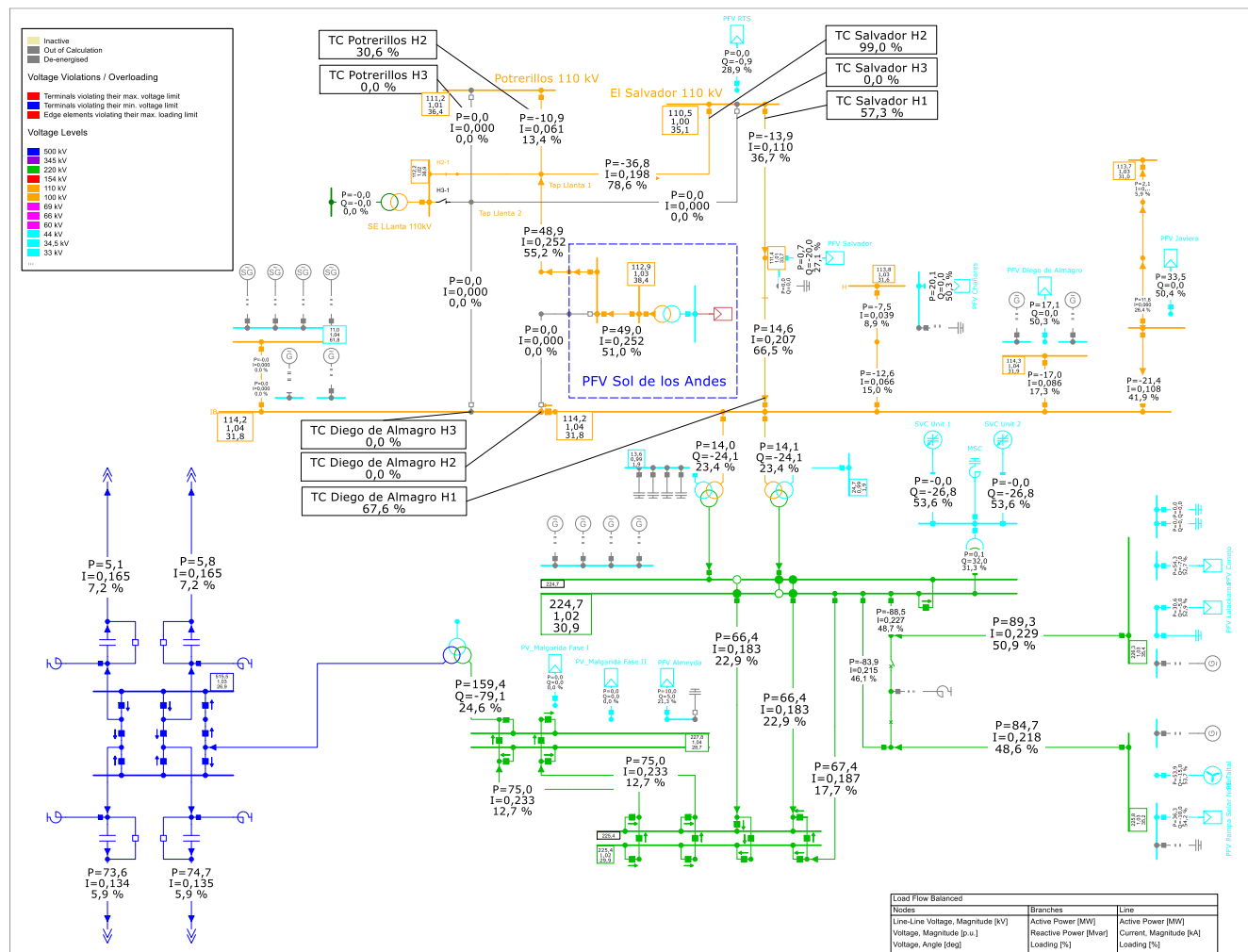


Figura 8-7: Flujo de potencia en zona de influencia ante pérdida de LT Diego de Almagro – Río Salado 1x110kV | E015_T03_DB-35.



Contemplando que para esta contingencia ya se prevén sobrecargas en condiciones normales, la implementación del EDAG por parte del proyecto podrá atender de manera satisfactoria también a estas condiciones particulares de operación.

En este caso, con la reducción del parque a una potencia de 49MW se eliminan las sobrecargas.



Cabe aclarar que las condiciones aquí presentadas (combinación de indisponibilidad de vínculo + falla en vínculo paralelo) resultan de baja probabilidad.



9 CONCLUSIONES

En este Capítulo se presentan los principales resultados y conclusiones del estudio. Estos se encuentran segmentados en dos secciones. La primera considera las condiciones de operación T01, T02 y T04. La segunda contempla la condición T03, que se refiere a la operación de la red con la línea 2x110 kV Diego de Almagro - El Salvador - Potrerillos desconectado y aterrizado.

Condiciones de operación T01, T02 y T04

Se describen los resultados para estas topologías que no contemplan indisponibilidad de vínculos.

Condición Red N

- Las tensiones en barras se encuentran dentro de los rangos admisibles en todos los Escenarios.
- Al mismo tiempo, en todos los casos se presentan niveles de transferencias admisibles en los conductores de líneas y transformadores de la zona.
- Se aprecia una sobrecarga de 11% en el transformador de corriente del paño H2 (110kV) de la subestación Diego de Almagro (paño al cual se conecta la línea 1x110kV Diego de Almagro – Río Salado), el cual cuenta con una capacidad declarada de 300A (aprox. 57MW). Este equipo cuenta con un cambiador de topes lo cual permitiría duplicar su capacidad (600A, aprox. 114MW), evitando así estas sobrecargas. Se recomienda la modificación de la relación de este TC con la entrada del proyecto, a 600 A primarios.

Condición Red N-1

- Las tensiones en barras se encuentran dentro de los rangos admisibles en todos los Escenarios.
- Se observa que frente a la contingencia 3 (Desconexión intempestiva de la línea 1x110 kV Río Salado - El Salvador - Potrerillos) pueden presentarse sobrecargas leves de 2% en la línea 1x110kV Diego de Almagro - Río Salado cuando se tiene una temperatura ambiente de 35°C. Esta sobrecarga se debe a que en dichas condiciones este enlace se convierte en el único medio por el cual se evacúa la energía generada en el PFV Sol de los Andes, y a dicha temperatura tiene una capacidad de 87MW (<89.4MW). Considerando la magnitud de esta sobrecarga, es plausible realizar una reducción en el despacho manual del parque post-contingencia ante estas condiciones (utilizando la capacidad transitoria de corta duración de la línea), sin implementar automatismos o aplicar restricciones en la operación normal.
- Se observa que frente a la desconexión intempestiva de la línea 1x110kV Diego de Almagro – Río Salado, se producen sobrecargas hasta 7% en la línea Río Salado – Salvador – Potrerillos 110kV respecto a la capacidad del conductor para una temperatura ambiente de 35°C (tramo Llanta – El Salvador 110kV). De igual forma se aprecian sobrecargas de hasta 35% en el TC del paño H2 de SE El Salvador (200A).

Considerando lo anterior, el proyecto contempla la implementación de un Esquema de Reducción/Desconexión Automática de Generación (ERAG/EDAG) que responda ante la desconexión de la Línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV, permitiendo suprimir las sobrecargas encontradas. Se encuentra que, en el caso más exigente, una reducción del proyecto a 68MW (~20MW de reducción) se eliminan las sobrecargas.



Se aclara que este esquema permite además eliminar las restricciones aplicadas a la generación emplazada en el anillo Diego de Almagro – Río Salado – Potrerillos – Salvador 110kV, por sobrecargas en la línea 110kV Diego de Almagro - Tap Salvador indicadas en el apartado 7.2.

Condición de operación T03

Se describen los resultados obtenidos para estas topologías en donde la LAT Diego de Almagro – El Salvador - Potrerillos 1x110kV se encuentra fuera de servicio (indisponible).

Condición Red N

- Tanto las tensiones en barras, como los niveles de carga en líneas y transformadores de potencia se encuentran dentro de los rangos admisibles en todos los Escenarios.
- Del mismo modo que para el resto de las topologías, se presenta la sobrecarga en el transformador de corriente en el paño H2 (110kV) de la subestación Diego de Almagro, de 10% en este caso. La modificación de la relación de transformación recomendada resulta suficiente solución.

RED N-1

- Las tensiones en barras se encuentran dentro de los rangos admisibles en todos los Escenarios.
- Se observa que frente a la desconexión intempestiva de la línea 1x110kV Diego de Almagro – Río Salado, se presentan sobrecargas en:
 - Los TTCC de los paños H1 y H2 de la SE Salvador de hasta 98% (200A sin otra relación primaria).
 - La línea Río Salado – Salvador – Potrerillos 110kV, en el tramo entre Tap Llanta y SE El Salvador, de hasta 54% de la capacidad del conductor.
 - La línea que conecta el Tap PV Salvador con la SE Diego de Almagro, de hasta 14%.
 - El TC del paño H1 de la SE Diego de Almagro de hasta 31%, los cuales cuentan con una capacidad de 300A y posibilidad de ampliación a 600A.
- Contemplando que para esta contingencia ya se prevén sobrecargas en condiciones normales, la implementación del EDAG por parte del proyecto podrá atender de manera satisfactoria también a estas condiciones particulares de operación.

CONCLUSIONES

- La incorporación del PFV Sol de los Andes resulta factible desde la perspectiva de flujos de potencia. No se encuentran problemas en los perfiles de tensión de la zona sin distinción de niveles de demanda, temperatura, topología o contingencia de estudio.
- En condiciones de operación normal el parque no genera sobrecargas en líneas o transformadores de poder de la zona. A pesar de esto se presenta la sobrecarga del transformador de corriente del paño H2 (110kV) en la subestación Diego de Almagro (300A). Se recomienda la modificación de la relación de este TC con la entrada del proyecto, a 600 A primarios.



- En condiciones de operación Red N-1 en la zona se observan sobrecargas leves en la línea 110kV Río Salado – Diego de Almagro (4%), en el tramo Llanta - El Salvador de la línea Río Salado – Salvador – Potrerillos (7%), y en el transformador de corriente (35%) de la S/E El Salvador 110kV, paño H2 (200A).
El proyecto contempla la implementación de un Esquema de Reducción/Desconexión Automática de Generación (ERAG/EDAG) asociado al PV Sol de los Andes que responda ante la desconexión de la Línea Diego de Almagro – Río Salado 110kV, permitiendo suprimir las sobrecargas encontradas.
Vale destacar que el EDAG permitiría solucionar también las restricciones del anillo de 110kV por eventuales sobrecargas en N-1 de la línea Tap Salvador – Diego de Almagro.
- En condiciones de indisponibilidad de vínculos de la zona pueden presentarse problemáticas adicionales que son solucionables con el EDAG propuesto.



10 REFERENCIAS

10.1 Uso general

- [1] NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO. Comisión Nacional de Energía. septiembre 2020.
- [2] Carta de Escenarios Mínimos de 05215-20 Central Fotovoltaica Sol de los Andes. Coordinador Eléctrico Nacional.
- [3] Especificación General de Estudios de Interconexión para la Revisión de Ingeniería. Coordinador Eléctrico Nacional.
- [4] Plataforma de Información Técnica (INFOTÉCNICA): <https://infotecnica.coordinador.cl/>
- [5] FIJACIÓN DE PRECIOS DE NUDO DE CORTO PLAZO. INFORME TÉCNICO DEFINITIVO ENERO 2021. Comisión Nacional de Energía.
- [6] Plataforma de Gestión de Proyectos (PGP) <https://pgp.coordinador.cl/irequests>
- [7] Base de datos del SEN: <https://www.coordinador.cl/operacion/documentos/modelacion-del-sen/modelos-digsilent/base-de-datos-digsilent/>
- [8] [Proyectos en gestión de Conexión Declarados en Construcción](#)
- [9] ANEXO TÉCNICO: Cálculo de Nivel Máximo de Cortocircuito. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA.
- [10] INTERNATIONAL STANDARD IEC 6090910 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents
- [11] IEC 62271-100 High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers.
- [12] IEC 60076-8 Power transformers – Application guide

10.2 Información de la zona de estudio

SE Diego de Almagro

- [13] Diagrama Unifilar Funcional – SE Diego de Almagro 110kV << DDA-10-CP-PL-0203-L0002_Unilineal 110 kV DDA_revB.pdf >>

SE El Salvador

- [14] Diagrama Unifilar Funcional – SE El Salvador 110kV << Diagrama Unilineal SE Salvador.pdf >>

SE Potrerillos

- [15] Diagrama Unifilar Funcional – SE Potrerillos 110kV << Diagrama Unilineal SE Potrerillos.pdf >>

Líneas Diego de Almagro – Río Salado 110kV | Río Salado – Llanta – Potrerillos 110kV

- [16] EE-MI-2021-2373-RA_Parametros electricos



10.3 Información del proyecto

SE Sol de los Andes

- [17] Diagrama Unifilar Funcional – SE Sol de los Andes 110/33kV << 20005-03-EE-DU-001_R3 Diagrama Unilineal SE Sol de Los Andes 11033 kV.pdf >>

SE Río Salado

- [18] Diagrama Unifilar Funcional – SE Río Salado 110kV << 20005-02-EE-DU-001_R3 Diagrama Unilineal SE Río Salado 110 kV.pdf >>

LT Sol de los Andes – Río Salado

- [19] Plano de abatimiento y secuencia de fase << 20005-04-EE-DP-003_R0 Abatimiento y Secuencia de Fases.pdf >>
- [20] Esquema General – Tipo de Anclaje 2PA-18 << 20005-04-EE-DP-001_R0 Geometría de Estructuras.pdf >>
- [21] Perfil longitudinal LT Sol de los Andes – Río Salado << 20005-04-EE-PF-001_R0 Perfil Longitudinal Línea.pdf >>
- [22] Hoja de Datos Característicos conductor de fase << ET CAIRO APROBADO.pdf >>
- [23] Hoja de datos cable de guardia OPGW << ZTT OPGW 19-89685-48---1.24 aprobado.pdf >>
- [24] Hoja de datos cable de guardia Alumoweld << Cable Alumoweld.pdf >>
- [25] Memoria de cálculo de parámetro eléctricos 1x110kV Sol de los Andes – Río Salado << EE-MI-2020-2369-RA_Cálculo parámetros de línea_ID-3941.pdf >>

LT Río Salado – EST. E-66 y LT Río Salado – EST. E-68

- [26] Plano de abatimiento y secuencia de fase << 20005-05-EE-DP-003_R0 Abatimiento y secuencia de fases a SSEE.pdf >>
- [27] Esquema General – Tipo de Anclaje 2PA-18 << 20005-05-EE-DP-001_R0 Geometría de Estructuras.pdf >>
- [28] Perfil longitudinal Seccionamiento Río Salado << 20005-05-EE-PF-003_RB Perfil Longitudinal Seccionamiento Línea.pdf >>
- [29] Hoja de Datos Característicos conductor de fase << ET CAIRO APROBADO.pdf >>
- [30] Hoja de datos cable de guardia Alumoweld << Cable Alumoweld.pdf >>
- [31] Memoria de cálculo de parámetro eléctricos 1x110kV Río Salado – EST. E-66 << EE-MI-2020-2371-RA_Cálculo parámetros de línea_ID-3943.pdf >>



- [32] Memoria de cálculo de parámetro eléctricos 1x110kV Río Salado – EST. E-68 << EE-MI-2020-2372-RA_Cálculo parámetros de linea_ID-3944.pdf >>
- [33] Memoria de cálculo de parámetros eléctricos 1x110kV Diego de Almagro – Tap off Llanta C1 <<EE-MI-2021-2373-RA_Parametros electricos .pdf

Transformador de poder 110/33kV 120MVA

- [34] Certificado Pruebas FAT TR 110/33 Sol de los Andes << FAT report.pdf >>
- [35] Pérdidas en cobre TR 110/33 Sol de los Andes << DC resistance loss calculation report >>
- [36] Placa de Datos TR 110/33 Sol de los Andes << 2.Nameplate Drawing_rev.04 >>

Sistemas de cables red interna

- [37] Diagrama Unifilar Funcional – SE Sol de los Andes Red Interna 33kV << SDLA-EIF-EL-D-1624.00 Esquema Unifilar Media Tensión>>
- [38] Hoja de datos NA2X(FL)H XLPE HFFR 21/35(42)kV << SDLA-EIF-I-1902.00 Datasheet Cable MT.pdf >>

Transformadores de bloque

- [39] Hoja de datos TR tipo 1 << WTO00584_A_datasheet_ENG.pdf >>
- [40] Hoja de datos TR tipo 2 << WTO00585_A_datasheet_ENG.pdf >>

Inversores

- [41] Hoja de Datos Característicos << Gamesa Electric PV 2X series_PV Inverters.pdf >>
- [42] Curva PQ << PV2600_CurvaPQ.pdf >>
- [43] Estudio de Compensación Reactiva << EE-ES-2020-2175-RB_PV Sol de los Andes_ECR.pdf >>

Transformador de SSAA

- [44] Certificado de ensayos del transformador SSAA << Certificado ensayos TR SSAA - SE Sol de los Andes.pdf>>

Transformador de Zigzag

- [45] Hoja de datos del transformador Zigzag << AT_T200905_EIFFAGE.pdf >>



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco