

**Proyecto:** Estudio Protecciones San Andrés - Carrera Pinto

**Descripción:** Estudio de Coordinación de Protecciones

**Empresa:** STN Transmisión

**País:** Chile

**Código de Proyecto:** STN-2024-015

**Código de Informe:** STN-2024-015

**Revisión:** A

Este documento contiene 14 páginas y ha sido guardado por última vez el 08/08/2024 por Sofia Valdivieso Von Teuber; sus versiones y firmantes se indican a continuación:

Rev.	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	08-08-2024	Para revisión.	SV	EmC	

## Índice

1	Resumen Ejecutivo.....	3
2	INTRODUCCIÓN.....	4
3	ANTECEDENTES.....	5
4	ANÁLISIS DE LA FALLA.....	6
4.1	Descripción de la Falla.....	6
5	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	8
5.1	Parámetros de las líneas.....	8
5.2	Ajustes Actuales de protecciones.....	8
6	CONSIDERACIONES.....	11
6.1	Capacidad térmica de las líneas.....	11
6.2	Capacidad de los TC.....	12
7	CONCLUSIÓN.....	14

## 1 RESUMEN EJECUTIVO

---

Este informe presenta el análisis del sistema de protecciones de la Subestación San Andrés, realizado en respuesta a la falla ocurrida el 2 de marzo de 2024, que causó la desconexión de los tres circuitos de la línea 220 kV San Andrés – Carrera Pinto. El estudio, realizado utilizando el software Digsilent, incluye una revisión de los ajustes actuales de las protecciones y verifica su adecuación para mejorar la coordinación y el tiempo de actuación.

Los hallazgos indican que las protecciones actuales están cumpliendo su función, y no se recomienda cambiar el valor de los ajustes.

## 2 INTRODUCCIÓN

Se solicita realizar un análisis del sistema de protecciones presentes San Andrés, debido a actuación de las protecciones ante falla en el sistema de transmisión producida el día sábado 2 de marzo del 2024 a las 10:00 hrs (UTC-3), ocasionando la apertura de los interruptores 52J3-52J4, 52J8-52J7 y 52J11-52J10, lo que se significó la desconexión de la línea 220 kV San Andrés – Carrera pinto circuitos N° 1, 2 y 3. Para esto se realiza un análisis de las protecciones en el software Digsilent

A continuación, se presenta un diagrama simplificado de las zonas de interés:

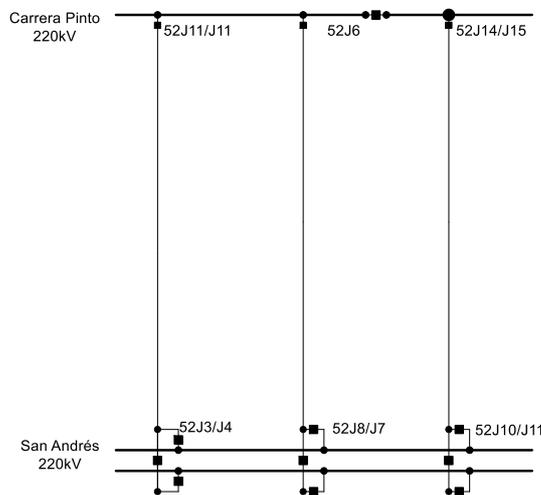


Figura 2-1: Diagrama unilineal – Zona de influencia.

El sistema de protecciones considerado para este estudio se muestra a continuación:

Ubicación	Modelo	TT/CC	Funciones
J3-J4	ABB RED670 ABB REL670	TC: 1200/1	50, 51N, 67, 67N, 21
J8-J7	ABB RED670 ABB REL670	TC: 1200/1	50, 51N, 67, 67N, 21
J11-J10	ABB RED670 ABB REL670	TC: 1200/1	50, 51N, 67, 67N, 21

Tabla 2-1: Sistema de Protecciones Armazones

### 3 ANTECEDENTES

---

- [1] SA-SE-CAL-EE-0-004-01-6 (Rev.1) .pdf
- [2] 13017\_PO\_F21LS2-J3.pdf
- [3] 13016\_PO\_F87LS1-J3.pdf
- [4] 13028\_PO\_F21LS2-J8.pdf
- [5] 13027\_PO\_F87LS1-J8.pdf
- [6] 13034\_Print Out F87LS1-J11-J10.pdf
- [7] 13035\_Print Out F21LS2-J11-J10.pdf
- [8] xxx IF SE SAD REV 1.docx

## 4 ANÁLISIS DE LA FALLA

El presente análisis detalla los eventos y condiciones que condujeron a la falla registrada el 2 de marzo del 2024 en los paños J3, J8 y J11 de la Subestación San Andrés, a las 10:00 hrs (UTC-3), que causa la desconexión de los tres circuitos, debido a la operación de la función 51 por sobrecarga. Las condiciones previas a la actuación de las protecciones están afectadas por la desconexión de los transformadores en Cumbres.

### 4.1 Descripción de la Falla

El evento de falla Fue detectado por las protecciones RED670 de los paños J3, J8 y J11, activando la función 51 de estas protecciones. A continuación, se muestra los registros oscilográficos de cada uno de los paños, y el registro de eventos.

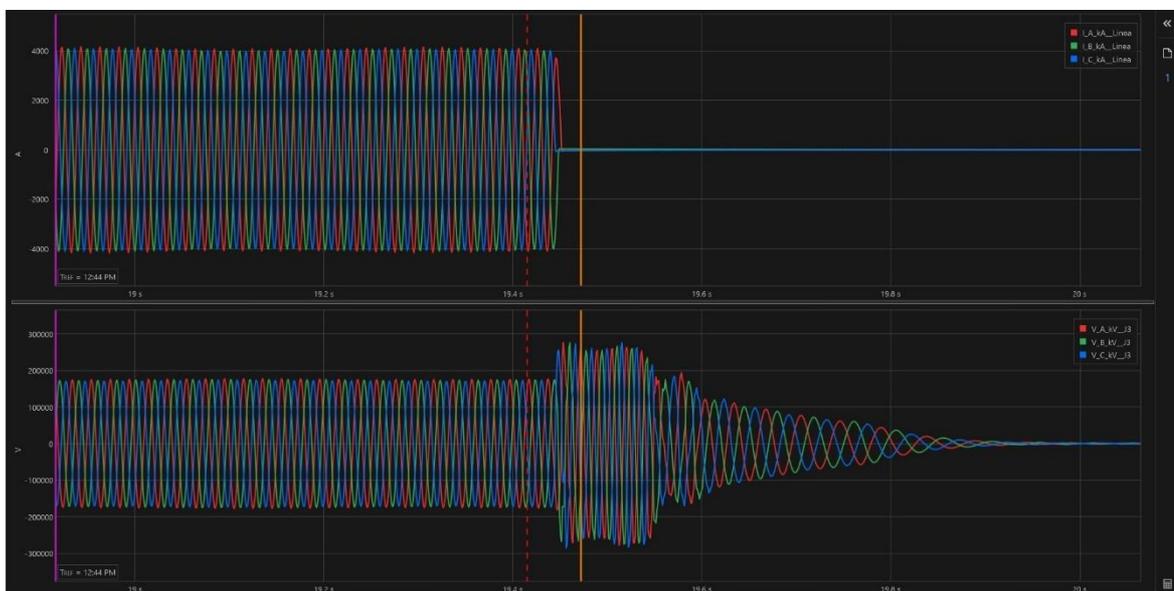


Figura 4-1: Oscilografía paño J3 SE San Andrés

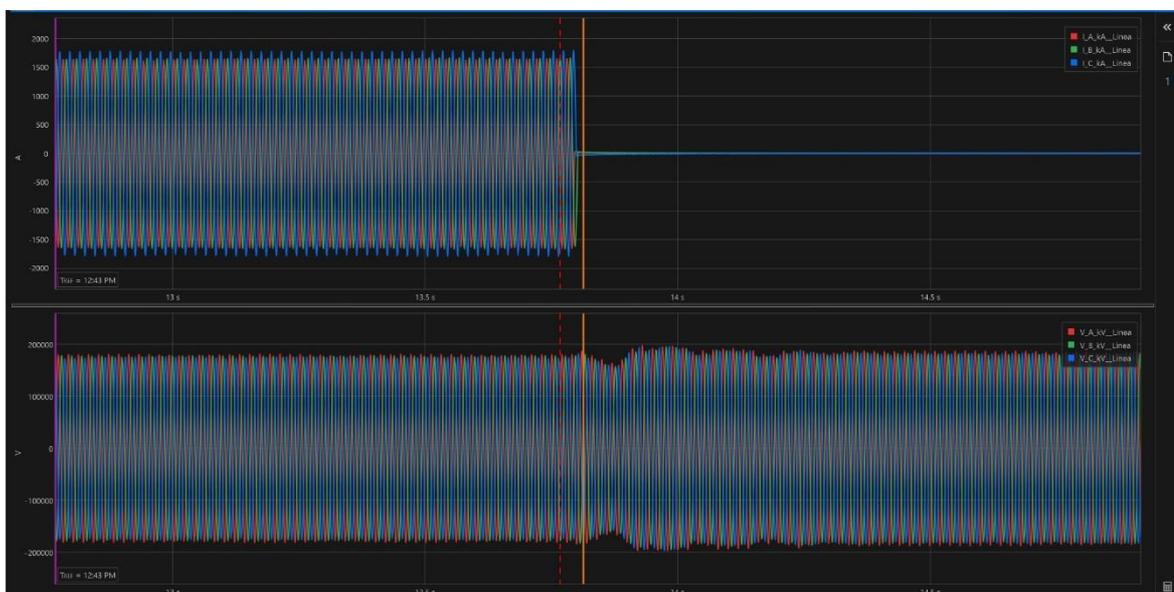


Figura 4-2: Oscilografía paño J8 SE San Andrés

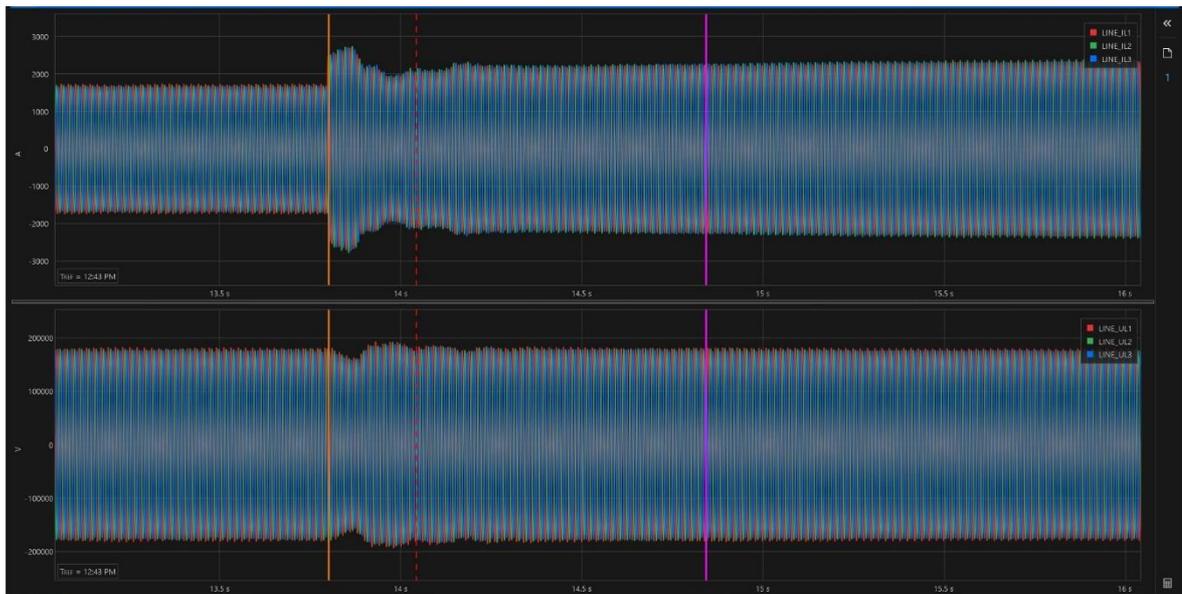


Figura 4-3: Oscilografía paño J11 SE San Andrés

Se observa que hubo operación de protección 51 a los 60 s. Las corrientes promedio en las líneas, durante el tiempo de falla, fueron:

1. Línea carrera pinto – San Andrés C N° 1: 2.900 A
2. Línea carrera pinto – San Andrés C N° 2: 1.700 A
3. Línea carrera pinto – San Andrés C N° 3: 1.600 A

A continuación, aspectos relevantes:

1. Esta función solo se encuentra habilitada en protección sistema 1 y no se encuentra contenida en ECAP. Adicionalmente, esta no corresponde a la función 51 emergencia.
2. En cuanto a la función oscilación de potencia funcionó correctamente, bloqueando la función de distancia.
3. El tiempo de apertura de interruptores fue correcto (aprox. 30 ms)

Adicionalmente, de acuerdo con la corriente promedio observada en las oscilografías, esta sobrepasa, en algunos casos el 150 %, de la capacidad de transferencia nominal de las líneas y equipos de medida (TTCC). Según lo revisado en el ECAP, este no es un escenario considerado (desconexión de transformadores en SE Cumbres a plena carga), lo cual genera una condición de sobrecarga extrema por al menos 30 minutos, en el mejor de los casos. Esto se debe principalmente a que la energía generada que circula por las líneas de 500 kV, no son desconectadas por medio de un EDAG.

## 5 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Se realiza un análisis de las protecciones y de las líneas en el software Digsilent, para determinar si los ajustes actuales están protegiendo las líneas correctamente ante el escenario con las condiciones presentadas en el día del evento. Se utiliza como condiciones las medidas de las sociografías, donde se presentan corrientes y voltajes afectados por la caída de los transformadores de Cumbres.

### 5.1 Parámetros de las líneas

Las siguientes tablas muestran los parámetros eléctricos de las líneas de transmisión considerados en el presente estudio.

Línea	Tensión [kV]	Longitud [km]	In [kA]	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	B1 [μ/km]	B0 [μ/km]	R0m [Ω/km]	X0m [Ω/km]
San Andrés - Carrera Pinto C3 (1)	220	36.54	0.87	0.073	0.397	0.348	1259	2918	1820		
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	220	1.19	0.87	0.073	0.4	0.344	1157	2897	1766	0.271	0.681
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	220	35.35	0.87	0.073	0.397	0.348	1262	2918	1822	0.275	0.783
San Andrés - Carrera Pinto C2 (1)	220	36.54	0.87	0.073	0.397	0.348	1259	2918	1820		
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	220	1.19	0.87	0.073	0.4	0.344	1157	2897	1766	0.271	0.681
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	220	35.35	0.87	0.073	0.397	0.348	1262	2918	1822	0.275	0.783
San Andrés - Carrera Pinto C1	220	36.56	1.05	0.078	0.411	0.223	1490	2761	1527		

Tabla 5-1: Parámetros C1, C2 y C3 San Andrés-Carrera Pinto

### 5.2 Ajustes Actuales de protecciones

Los ajustes detallados de las funciones 51-67 de los paños J3, J8 y J11 se obtienen de los print out de las protecciones, obtenidos de infotecnica. Estos se muestran en las siguientes tablas:

Parametro	J3-J4	J8-J9	J11-J10
Operation	On	On	On
DirMode1	No Directional	No Directional	No Directional
IN1> [IB%]	120	120	120
k1	0.1	0.1	0.1
Characterist1	IEC Norm. Inv.	IEC Norm. Inv.	IEC Norm. Inv.
DirMode2	No Directional	No Directional	No Directional
IN2> [IB%]	122	101	101
t2 [s]	60	60	60
Characterist2	Def. Time	Def. Time	Def. Time

Tabla 5-2: Ajustes detallados función 51-67 RED670-REL670 – Circuito 1, 2 y 3 San Andrés – Carrera Pinto

A continuación, se muestran los diagramas de las protecciones de fase de las protecciones, junto a la curva de daño de las líneas correspondientes y la protección en el extremo de Carrera Pinto:

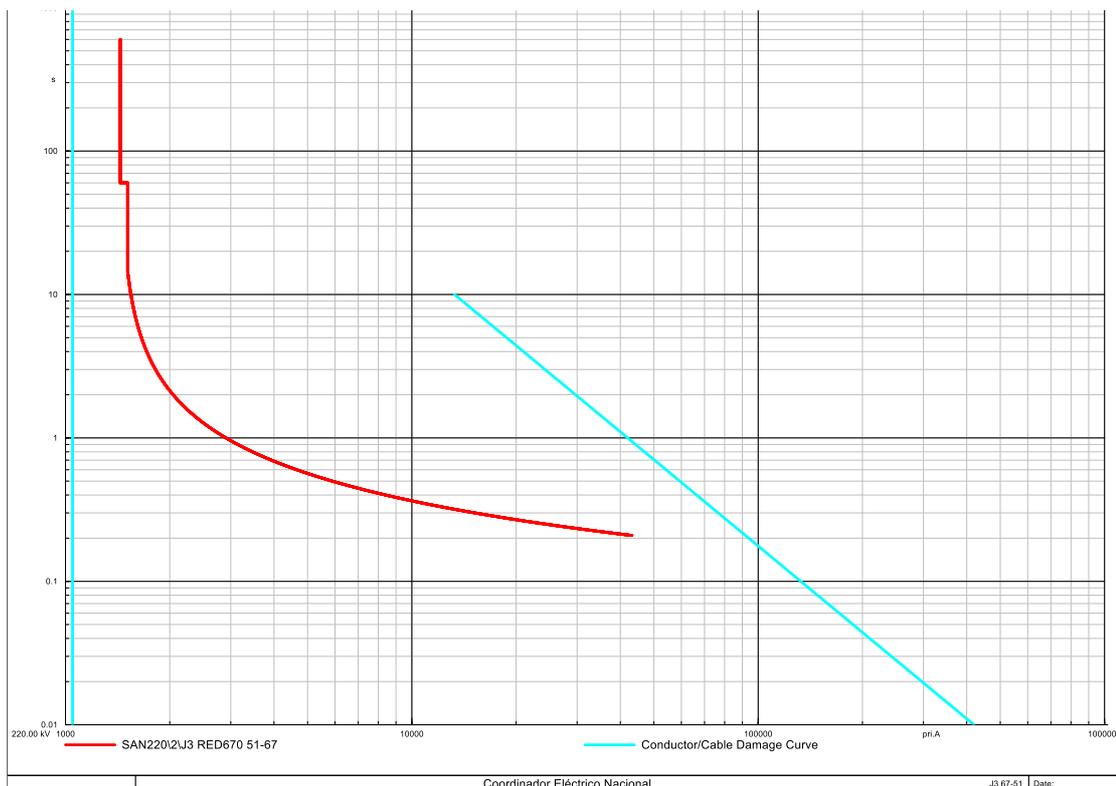


Figura 5-1: Diagrama de sobrecorriente RED670 J3 y curva de daño de Circuito 1

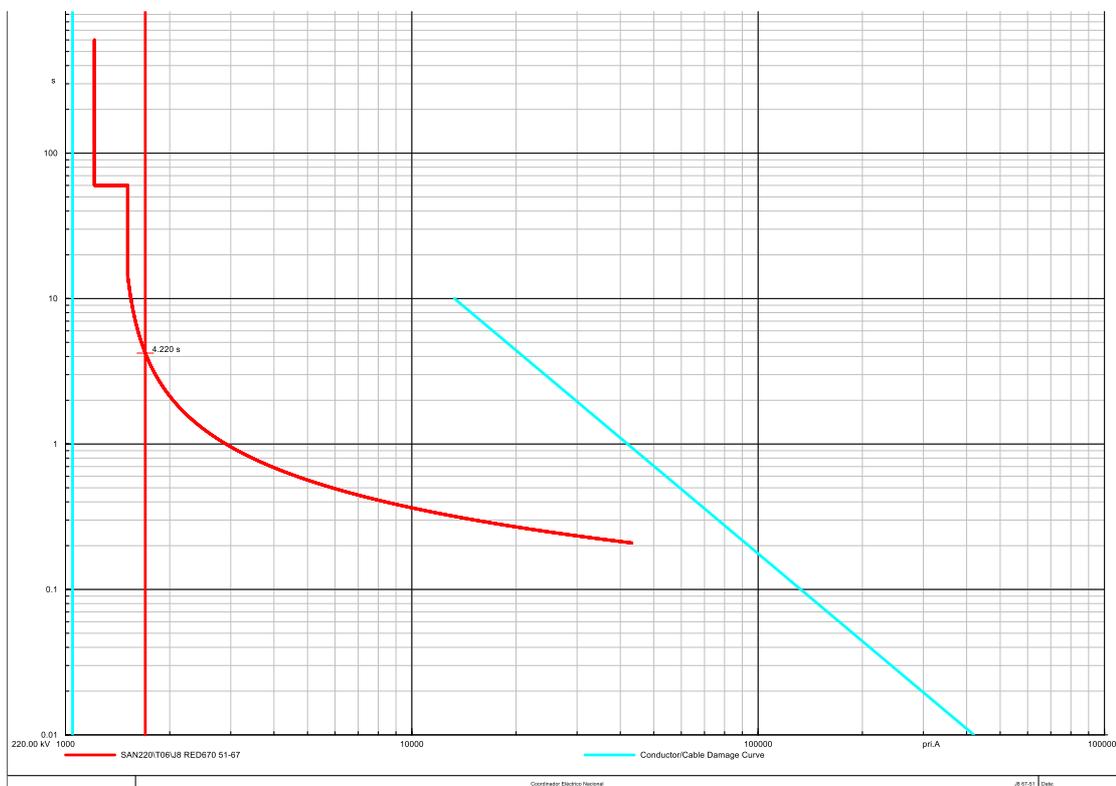


Figura 5-2: Diagrama de sobrecorriente RED670 J8 y curva de daño de Circuito 2

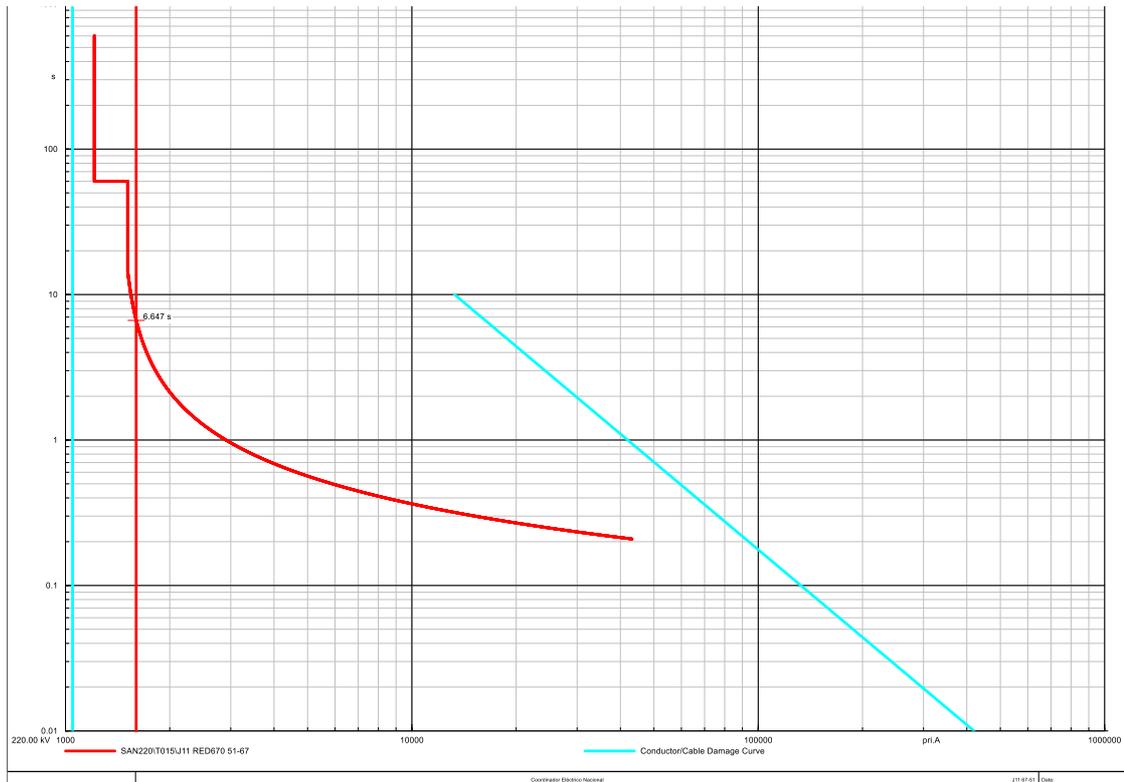


Figura 5-3: Diagrama de sobrecorriente RED670 J11 y curva de daño de Circuito 3

Se observa que los ajustes actuales brindan protección a las líneas, pero el tiempo de actuación no coincide con el expuesto en el informe de falla [8]. Además, se observa que, a pesar de proteger la curva de daño, el tiempo de actuación es alto, por lo cual se analiza el sistema para determinar si este tiempo es adecuado para actuar ante corrientes que superan los límites de sobrecarga admisible. Hay que tener en cuenta que la función 51 es un respaldo, y no debe actuar normalmente ante fallas, por lo que el tiempo debe ser relativamente alto para que no actúe antes de la función 21.

## 6 CONSIDERACIONES

Para realizar cambios en los ajustes de las protecciones involucradas en el evento ocurrido, hay que analizar los límites de capacidad térmica de las líneas y la corriente de sobrecarga de los TC. Con esto se determina la necesidad de realizar cambios en los ajustes.

### 6.1 Capacidad térmica de las líneas

Los límites térmicos de las líneas de San Andrés-Carrera Pinto se muestran en la Tabla 6-1. Con estos valores se calcula el tiempo de sobrecarga admisible.

Línea	Tensión [kV]	Inom [kA]	Limite térmico				Limite de sobrecarga admisible			
			Sin Sol		Con Sol		Sin Sol		Con Sol	
			0°C	25°C	0°C	25°C	10°C	25°C	10°C	25°C
San Andrés - Carrera Pinto C3 (1)	220	0.823	1.1775	0.9714	1.0955	0.8703	1.4380	1.2910	1.3480	1.1840
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	220	0.823	1.1775	0.9714	1.0955	0.8703	1.4380	1.2910	1.3480	1.1840
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	220	0.823	1.1879	0.9959	1.1032	0.8931	1.3671	1.2007	1.2411	1.0621
San Andrés - Carrera Pinto C2 (1)	220	0.823	1.1775	0.9714	1.0955	0.8703	1.4380	1.2910	1.3480	1.1840
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	220	0.823	1.1775	0.9714	1.0955	0.8703	1.4380	1.2910	1.3480	1.1840
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	220	0.823	1.1879	0.9959	1.1032	0.8931	1.3671	1.2007	1.2411	1.0621
San Andrés - Carrera Pinto C1	220	1.048	1.2952	1.1771	1.2539	1.1315	1.5005	1.3919	1.4360	1.3261

Tabla 6-1: Límites térmicos líneas San Andrés - Carrera Pinto

Para calcular el tiempo se usa la sobrecarga admisible a 25°C con sol. Para determinar el tiempo admisible de sobrecarga en función de carga previa y posterior al evento, e considera como carga inicial el 80%, siendo este un escenario conservador. Con esto se obtiene:

Línea	Sobrecarga admisible [%]	Tiempos Sobrecarga admisible
San Andrés - Carrera Pinto C3 (1)	136.0	1'40"
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	136.0	1'40"
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	118.9	2'48"
San Andrés - Carrera Pinto C2 (1)	136.0	1'40"
Tramo 1 (San Andrés-Torre 42.1)	136.0	1'40"
Tramo 2 (Torre 42.1- Carrera Pinto)	118.9	2'48"
San Andrés - Carrera Pinto C1	117.2	5'31"

Tabla 6-2: Porcentaje de sobrecarga admisible y tiempo de sobrecarga admisible

Los tiempos de sobrecarga obtenidos son superiores a un minuto, por lo que el ajuste de la función 51 estaría actuando anticipadamente a estos tiempos, no generando daños en los circuitos San Andrés – Carrera Pinto por condición de sobrecarga.

En cuanto a los ajustes de corriente pickup, la corriente ajustada debe ser mayor al límite de sobrecarga admisible. En cada circuito, las corrientes de pickup para la función 51, de la protección correspondiente se muestran en la Tabla 6-3. Se observa que los ajustes de corriente son superiores a los límites de sobrecarga admisibles, por lo que estarían correctos.

Parametro	J3-J4	J8-J9	J11-J10
IN1> [Aprim]	1440	1440	1440
IN2> [Aprim]	1464	1212	1212
Limite de sobrecarga admisible	1326.1	1184	1184

Tabla 6-3: Corrientes de pickup RED670 J3, J8, J11

## 6.2 Capacidad de los TC

Las características de los TC presentes en los paños de San Andrés son:

- Razón de corriente: 1200:1 A
- Factor de sobrecarga permanente: 1 p.u.
- Corriente térmica resistida de corta duración (1s): 40 kA
- Corriente dinámica: 104 kA
- Factor de corriente térmica permanente (respecto a corriente nominal): 120%

A partir de estos valores se obtiene la curva de sobrecarga:

$$t = k \left( \frac{I_{sobrecarga}}{I_{nom}} \right)^2$$

donde:

- t = tiempo que puede soportar la sobrecarga
- k = constante que depende de las características térmicas del TC
- Inom = corriente nominal del TC (1200A)
- I sobrecarga = corriente de sobrecarga

La curva de sobrecarga se muestra a continuación:

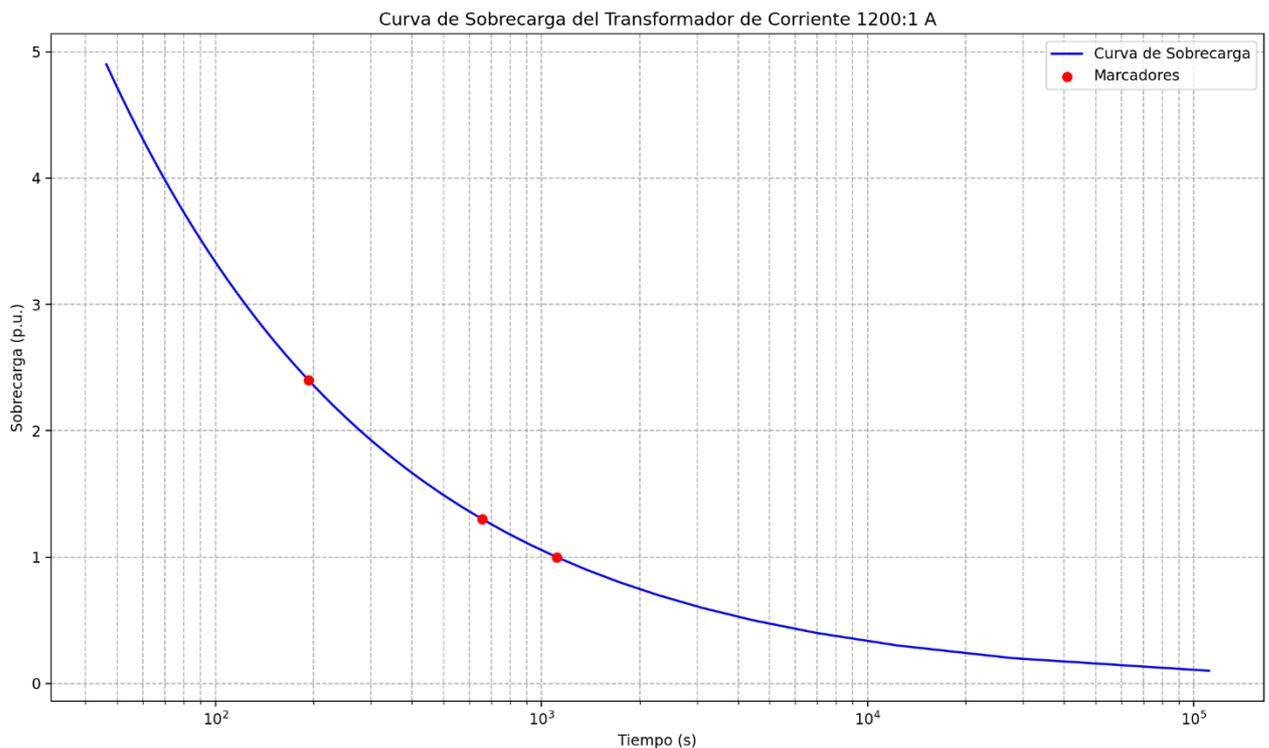


Figura 6-1: Curva de sobrecarga TC J3, J8 y J11

Con esto, se obtiene el tiempo que los TC pueden manejar las corrientes observadas durante el evento:

- En el C1, el tiempo para sobrecarga de 2900 A es 192.90 segundos
- En el C2, el tiempo para sobrecarga de 1700 A es 551.04 segundos
- En el C3, el tiempo para sobrecarga de 1600 A es 657.46 segundos

A partir de esto, se puede concluir que el ajuste de tiempo en la función 51 del relé es correcto para evitar daños en la línea y evitar la saturación de los TC, por lo que no se recomienda reducirlo.

## 7 CONCLUSIÓN

---

El análisis detallado del sistema de protecciones de la Subestación San Andrés ha permitido identificar que los ajustes actuales de las protecciones son adecuados para la protección de las líneas y equipos, evitando daños térmicos y la saturación de los transformadores de corriente (TC). Los tiempos de actuación de la función 51 se consideran correctos y no se recomienda modificar los valores de los ajustes actuales.

La validación de los ajustes actuales mediante pruebas adicionales garantizará una protección y operación óptima del sistema de transmisión. Es fundamental continuar monitoreando el desempeño de las protecciones y realizar ajustes periódicos según los datos operativos para asegurar la seguridad y confiabilidad del sistema.