

GERENCIA PORTAFOLIO DE CORTO PLAZO

Santiago, 3 de febrero de 2025

Señora Gretchen Zbinden V. Subgerenta de Análisis y Soporte Operacional Coordinador Eléctrico Nacional

Presente

ENGIE N°029/2025

Asunto: Complementa respuesta a carta DE06846-24: Desconexión forzada de la línea 110 kV Liqcau -Alto Norte.

[1] Carta DE06746-24 del CEN del 24 de diciembre de 2024.

[2] Carta ENGIE N°002/2025 del 8 de enero de 2025.

[3] Correo electrónico Plan de Acción por EAF 553-2024 del 3 de febrero de 2025.

De nuestra consideración,

En atención a su carta DE06846-24, nos dirigimos a ustedes con el propósito de remitir las respuestas solicitadas en dicho documento. En particular, adjuntamos el análisis relacionado con la desconexión forzada de la línea 110 kV Liqcau - Alto Norte, ocurrida a las 11:02 horas del 22 de noviembre de 2024, en respuesta a:

• Resultados de las pruebas de laboratorio a las protecciones del paño H3 de S/E Alto Norte, con el fin de determinar la causa del bloqueo transitorio durante el ingreso a la primera zona de distancia, lo que fue comprometido por su representada para ser informado a más tardar el 15 de enero de 2025.

Respuesta:

Como contexto previo a la respuesta solicitada, la desconexión forzada de la línea 110 kV Liqcau - Alto Norte se produjo como consecuencia de un flashover en el Tap-Off La Negra, evento que activó las protecciones 21/21N en ambos extremos de la línea, con un nivel de corriente de aporte de 1,8 kA desde la subestación Alto Norte en la fase C. A partir de los antecedentes mencionados, el análisis de los registros oscilográficos revela un retardo de 17 ms (y no de 70 ms como se indica en carta DE06846-24) desde el momento en que la impedancia de falla ingresa en la Zona 1 hasta la operación efectiva del relé. Este tiempo de retardo (17 ms) puede observarse en las imágenes siguientes, extraídas de la oscilografía correspondiente al evento de falla, las cuales incluyen los puntos de operación de la protección, así como el diagrama de Nyquist. Cabe destacar que el análisis fue complementado con simulaciones realizadas en el software DIGSI, con el fin de contrastar los valores registrados y evaluar el desempeño de las protecciones bajo condiciones reales.

	Tiempo en ms	Señal de medida	Fundamental / Subarm.	Fase	Real	Imag	Altonorte 61850 / SE Altonorte Antofagasta H3 7SA612 V4.7 S2 17 11 21 ID del equipo: 000001
Cursor 1:	43,2	Z L3T*	0,2782 Ohm	39,1°	0,2158 Ohm	0,1756 Ohm	Ruta de ficheros: D:\OSC ALTO NORTE 22-11\FR000009.CFG Tiempo de inicio: 22-11-2024 14:00:59.739
Cursor 2:	26,1	Z L3T*	0,4526 Ohm	27,4°	0,4020 Ohm	0,2080 Ohm	Velocidad de datos: 1000 Hz Representación de valores: Secundario
C2 - C1	-17,1	Z L3T* - Z L3T*	0,1744 Ohm	-11,78°	0,1862 Ohm	0,0324 Ohm	Tipo de registro: COMTRADE







Imagen 2. Oscilografía de la protección ante falla monofásica L3 - Tierra en la línea 110 kV Liqcau - Alto Norte, simulada en el software DIGSI.

Considerando que el ajuste de la Zona 1 no presenta retardo, se procedió a realizar los siguientes ensayos en condiciones de laboratorio:

I. Ensayo N°1: Se procedió a reproducir el archivo COMTRADE de la falla en un relé idéntico a los del paño H3 S/E Alto Norte, donde se observó un retardo de 20,3 ms desde que la impedancia de falla ingresa en la Zona 1 hasta que el relé opera efectivamente. En este comportamiento se puede apreciar en la Imagen 4, donde se observa una operación similar al registrado en el evento real por el sistema 1 y 2 del paño H3 de S/E Alto Norte. Con ello, se descartan posibles problemas de hardware.

	Tiempo en ms	Señal de medida	Fundamental /	Fase	Real	Imag	Joaco Carpeta 7SA612 V4.7 Var		
			Subarm.			Ŭ	ID del equipo:	000696	
							Ruta de ficheros:	C:\SIEMENS\DIGSI4\D4PROJ\JOACO\P7DI\GV\ST\00000003\SAMPLES\FAULT\FR000017.CFG	
Cursor 1:	46,1	Z L3T*	0,2806 Ohm	38,6°	0,2194 Ohm	0,1749 Ohm	Tiempo de inicio:	28-01-2025 11:44:22.284	
Cursor 2:	25,8	Z L3T*	0,4632 Ohm	26,2°	0,4155 Ohm	0,2047 Ohm	Velocidad de datos:	1000 Hz	
C2 . 01	20.2	710T* 710T*	0.1996 Ohm	40.249	0.1061 Ohm	0.0209. Ohm	Tipo do registro:		
UZ-U1	-20,3	2 L31 - 2 L31	0,1020 01111	-12,34	0,1901 Onm	0,0290 Onm	Tipo de regiscio.	COMINADE	

Imagen 3. Puntos de operación del Ensayo N°1 de la protección ante falla monofásica L3 - Tierra en la línea 110 kV Liqcau -Alto Norte, simulada en el software DIGSI.



Imagen 4. Oscilografía del Ensayo N°1 de la protección ante falla monofásica L3 - Tierra en la línea 110 kV Liqcau - Alto Norte, simulada en el software DIGSI.



II. Ensayo N°2: Se procedió a reproducir el punto de operación utilizando el módulo Advanced Distance del software Test Universe y la maleta de pruebas Ómicron CMC 256 Plus en condiciones ideales. Tras realizar los análisis, se observa un retardo de 7 ms desde que la impedancia de falla ingresa en la Zona 1 hasta que el relé opera efectivamente, como se puede apreciar en las imágenes a continuación. Este comportamiento se considera correcto, ya que corresponde al tiempo de procesamiento de datos y a la estabilización de los algoritmos del relé.

	Tiempo en ms	Señal de medida	Fundamental /	Fase	Real	Imag	Joaco Carpeta 7SA612 V4.7 Var		
			Subarm.			Ŭ	ID del equipo:	000697	
							Ruta de ficheros:	C:\SIEMENS\DIGSI4\D4PROJ\JOACO\P7DI\GV\ST\00000003\SAMPLES\FAULT\FR000018.CFG	
Cursor 1:	0,0	(Ninguna)					Tiempo de inicio:	28-01-2025 16:20:32.103	
C	7 2	(Ningung)					Velocidad de datos:	1000 Hz	
Cursor Z.	-1,3	(minguna)					Representación de valores:	Secundario	
C2 - C1	-7,3						Tipo de registro:	COMTRADE	
	· · · · · ·						1 · · ·		

Imagen 5. Punto de operación utilizado en el módulo Advanced Distance del software Test Universe en la maleta de pruebas Ómicron CMC 256 Plus.



Imagen 6. Gráfico de impedancia del punto de operación en el módulo Advanced Distance del software Test Universe en la maleta de pruebas Ómicron CMC 256 Plus.



Imagen 7. Oscilografía del punto de operación simulada en el software DIGSI.



III. Ensayo N°3: Se realizó una prueba de búsqueda en la característica de impedancia para la falla monofásica L3 – E, utilizando el módulo Advanced Distance del software Test Universe y la maleta de pruebas Ómicron 256 Plus en condiciones ideales. Para ello, se estableció una secuencia con los parámetros detallados en la Tabla 1, simulando múltiples fallas en las zonas de operación del relé.

Ángulo inicial	0°
Ángulo final	90°
Paso de ángulo	10°

Tabla 1. Parámetros de la secuencia en la prueba de búsqueda, tipo de falla L3 - E.

Obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados de la Prueba de búsqueda, tipo de falla L3 – E utilizando el módulo Advanced Distance delsoftware Test Universe y la maleta de pruebas Ómicron 256 Plus en condiciones ideales.

Zona	Z real	Phi real	R real	X real	Mag. evaluada	Nom.	Desv.	Resultado
Z1	400,6 mΩ	0,00 °	400,6 mΩ	0,00 Ω	Z	413,8 mΩ	-3,196 %	Correcta
Z2	826,7 mΩ	0,00 °	826,7 mΩ	0,00 Ω	Z	839,9 mΩ	-1,575 %	Correcta
Z3	2,985 Ω	0,00 °	2,985 Ω	0,00 Ω	Z	2,998 Ω	-0,441 %	Correcta
Z1	461,8 mΩ	10,00 °	454,7 mΩ	80,18 mΩ	Z	447,5 mΩ	3,196 %	Correcta
Z2	893,9 mΩ	10,00 °	880,3 mΩ	155,2 mΩ	Z	908,2 mΩ	-1,575 %	Correcta
Z3	3,227 Ω	10,00 °	3,178 Ω	560,3 mΩ	Z	3,241 Ω	-0,441 %	Correcta
Z1	518,5 mΩ	20,00 °	487,3 mΩ	177,4 mΩ	Z	503,7 mΩ	2,942 %	Correcta
Z2	1,006 Ω	20,00 °	945,6 mΩ	344,2 mΩ	Z	1,022 Ω	-1,575 %	Correcta
Z3	3,631 Ω	20,00 °	3,412 Ω	1,242 Ω	Z	3,647 Ω	-0,441 %	Correcta
Z1	435,5 mΩ	30,00 °	377,1 mΩ	217,7 mΩ	Z	412,0 mΩ	5,697 %	Correcta
Z2	852,5 mΩ	30,00 °	738,3 mΩ	426,3 mΩ	Z	840,0 mΩ	1,488 %	Correcta
Z3	3,023 Ω	30,00 °	2,618 Ω	1,512 Ω	Z	2,998 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	339,9 mΩ	40,00 °	260,4 mΩ	218,5 mΩ	Z	320,5 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	672,9 mΩ	40,00 °	515,4 mΩ	432,5 mΩ	Z	653,4 mΩ	2,976 %	Correcta
Z3	2,352 Ω	40,00 °	1,801 Ω	1,512 Ω	Z	2,332 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	285,2 mΩ	50,00 °	183,3 mΩ	218,5 mΩ	Z	268,9 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	564,6 mΩ	50,00 °	362,9 mΩ	432,5 mΩ	Z	548,3 mΩ	2,976 %	Correcta
Z3	1,973 Ω	50,00 °	1,268 Ω	1,512 Ω	Z	1,957 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	252,3 mΩ	60,00 °	126,2 mΩ	218,5 mΩ	Z	237,9 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	499,4 mΩ	60,00 °	249,7 mΩ	432,5 mΩ	Z	485,0 mΩ	2,976 %	Correcta
Z3	1,745 Ω	60,00 °	872,7 mΩ	1,512 Ω	Z	1,731 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	232,5 mΩ	70,00 °	79,53 mΩ	218,5 mΩ	Z	219,2 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	460,3 mΩ	70,00 °	157,4 mΩ	432,5 mΩ	Z	447,0 mΩ	2,976 %	Correcta
Z3	1,609 Ω	70,00 °	550,1 mΩ	1,512 Ω	Z	1,595 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	221,9 mΩ	80,00 °	38,53 mΩ	218,5 mΩ	Z	209,2 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	439,2 mΩ	80,00 °	76,26 mΩ	432,5 mΩ	Z	426,5 mΩ	2,976 %	Correcta
Z3	1,535 Ω	80,00 °	266,5 mΩ	1,512 Ω	Z	1,522 Ω	0,8339 %	Correcta
Z1	218,5 mΩ	90,00 °	0,00 Ω	218,5 mΩ	Z	206,0 mΩ	6,068 %	Correcta
Z2	445,0 mΩ	90,00 °	0,00 Ω	445,0 mΩ	Z	420,0 mΩ	5,952 %	Correcta
Z3	1,524 Ω	90,00 °	0,00 Ω	1,524 Ω	Z	1,499 Ω	1,668 %	Correcta

Además, se proporciona el grafico vista de impedancia de los resultados presentados en la Tabla 2:





Imagen 8. Gráfico de impedancia, Prueba de búsqueda tipo de falla L3 – E en el módulo Advanced Distance del software Test Universe en la maleta de pruebas Ómicron CMC 256 Plus. Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos de este ensayo, se puede observar que la operación de la protección es correcta para el barrido de impedancia evaluado considerando una falla monofásica. En la Imagen 8 y Tabla 2 se puede que apreciar los resultados de las desviaciones de impedancia y tiempo están de acuerdo con los resultados esperados.



IV. Ensayo N°4: Se realizó una prueba de búsqueda en la característica de impedancia tipo de falla trifásica L1 – L2 – L3, Para ello, se estableció una secuencia con los parámetros detallados en la Tabla 3, simulando múltiples fallas en las zonas de operación del relé.

Tabla 3. Parámetros de la secuencia en la prueba de búsqueda, tipo de falla L1 - L2 - L3.

Ángulo inicial	0°
Ángulo final	90°
Paso de ángulo	10°

Obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resultados de la Prueba de búsqueda, tipo de falla L1 - L2 - L3 utilizando el módulo Advanced Distance delsoftware Test Universe y la maleta de pruebas Ómicron 256 Plus en condiciones ideales.

Zona	Z real	Phi real	R real	X real	Mag. evaluada	Nom.	Desv.	Resultado
Z2	3,517 Ω	0,00 °	3,517 Ω	0,00 Ω	Z	3,503 Ω	0,3933 %	Correcta
Z3	12,55 Ω	0,00 °	12,55 Ω	0,00 Ω	Z	12,49 Ω	0,4409 %	Correcta
Z1	1,872 Ω	10,00 °	1,843 Ω	325,0 mΩ	Z	1,857 Ω	0,8016 %	Correcta
Z2	3,802 Ω	10,00 °	3,744 Ω	660,1 mΩ	Z	3,787 Ω	0,3933 %	Correcta
Z3	13,56 Ω	10,00 °	13,36 Ω	2,355 Ω	Z	13,50 Ω	0,4412 %	Correcta
Z1	2,106 Ω	20,00 °	1,979 Ω	720,4 mΩ	Z	2,090 Ω	0,8016 %	Correcta
Z2	4,279 Ω	20,00 °	4,021 Ω	1,463 Ω	Z	4,262 Ω	0,3932 %	Correcta
Z3	15,27 Ω	20,00 °	14,34 Ω	5,221 Ω	Z	15,20 Ω	0,4408 %	Correcta
Z1	2,493 Ω	30,00 °	2,159 Ω	1,247 Ω	Z	2,475 Ω	0,7239 %	Correcta
Z2	5,069 Ω	30,00 °	4,389 Ω	2,534 Ω	Z	5,049 Ω	0,3932 %	Correcta
Z3	18,08 Ω	30,00 °	15,66 Ω	9,041 Ω	Z	18,00 Ω	0,4411 %	Correcta
Z1	2,687 Ω	40,00 °	2,058 Ω	1,727 Ω	Z	2,671 Ω	0,595 %	Correcta
Z2	5,463 Ω	40,00 °	4,185 Ω	3,512 Ω	Z	5,445 Ω	0,3358 %	Correcta
Z3	19,51 Ω	40,00 °	14,95 Ω	12,54 Ω	Z	19,43 Ω	0,4168 %	Correcta
Z1	2,258 Ω	50,00 °	1,451 Ω	1,730 Ω	Z	2,241 Ω	0,7586 %	Correcta
Z2	4,586 Ω	50,00 °	2,948 Ω	3,513 Ω	Z	4,569 Ω	0,3721 %	Correcta
Z3	16,24 Ω	50,00 °	10,44 Ω	12,44 Ω	Z	16,31 Ω	-0,417 %	Correcta
Z1	1,997 Ω	60,00 °	998,6 mΩ	1,730 Ω	Z	1,982 Ω	0,7584 %	Correcta
Z2	4,057 Ω	60,00 °	2,028 Ω	3,513 Ω	Z	4,042 Ω	0,372 %	Correcta
Z3	14,48 Ω	60,00 °	7,242 Ω	12,54 Ω	Z	14,42 Ω	0,4171 %	Correcta
Z1	1,841 Ω	70,00 °	629,6 mΩ	1,730 Ω	Z	1,827 Ω	0,7586 %	Correcta
Z2	3,739 Ω	70,00 °	1,279 Ω	3,513 Ω	Z	3,725 Ω	0,3721 %	Correcta
Z3	13,35 Ω	70,00 °	4,566 Ω	12,54 Ω	Z	13,29 Ω	0,4169 %	Correcta
Z1	1,756 Ω	80,00 °	305,0 mΩ	1,730 Ω	Z	1,743 Ω	0,7587 %	Correcta
Z2	3,567 Ω	80,00 °	619,4 mΩ	3,513 Ω	Z	3,554 Ω	0,3721 %	Correcta
Z3	12,74 Ω	80,00 °	2,212 Ω	12,54 Ω	Z	12,68 Ω	0,4172 %	Correcta
Z1	1,730 Ω	90,00 °	0,00 Ω	1,730 Ω	Z	1,717 Ω	0,7587 %	Correcta
Z2	3,513 Ω	90,00 °	0,00 Ω	3,513 Ω	Z	3,500 Ω	0,3719 %	Correcta
Z3	12,54 Ω	90,00 °	0,00 Ω	12,54 Ω	Z	12,49 Ω	0,4169 %	Correcta



Además, se proporciona el grafico vista de impedancia de los resultados presentados en la Tabla 4:



Imagen 9. Gráfico de impedancia, Prueba de búsqueda tipo de falla L1 - L2 - L3 en el módulo Advanced Distance del software Test Universe en la maleta de pruebas Ómicron CMC 256 Plus. Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos de este ensayo, se puede observar que la operación de la protección es correcta para el barrido de impedancia evaluado considerando una falla trifásica. En la Imagen 9 y Tabla 4 se puede apreciar que los resultados de las desviaciones de impedancia y tiempo están de acuerdo con los resultados esperados.

En conclusión, tras los ensayos realizados en condiciones de laboratorio, se concluye que el tiempo de actuación de aproximadamente **18 milisegundos** desde el ingreso a la **Zona 1** se debe a los algoritmos internos de estabilización de la protección, los cuales no están especificados en el manual. Los resultados confirman que ambos sistemas de protección operaron correctamente, de acuerdo con los ajustes programados para Zona 1. Además, se observa que la trayectoria de la impedancia de falla es muy similar a la de una oscilación de potencia, lo que lleva a la protección a esperar la estabilización del punto de falla antes de actuar adecuadamente. Cabe mencionar que el rango de operación en zona 1 es de 0-100 ms considerando tiempos de procesamiento de datos y orden de disparo.

• Eventuales acciones correctivas y/o preventivas adoptadas.

Respuesta: Dado que la operación de las protecciones fue correcta, no se consideran acciones correctivas y/o preventivas.



 Aclaración acerca de la diferencia de 1 hora entre la estampa de tiempo del registro oscilográfico y del registro secuencial de eventos de las protecciones asociadas al paño H2 de S/E Liqcau, junto con señalar las eventuales acciones correctivas (ver imágenes).

Respuesta: La diferencia de 1 hora entre las estampas de tiempo corresponde a problemas de sincronización con el reloj de la subestación. Esto será corregido antes del 12 de marzo de 2025.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,

Pablo Jorquera Riquelme Encargado Titular ENGIE Energía Chile S.A.