

AUDITORÍA TÉCNICA A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

S/E POZO ALMONTE 24/13,8 [KV]

INFORME FINAL

Cliente: ENGIE
Energía Chile S.A.



N° Documento: EN.202703.3_Informe Auditoría Técnica SE
Elaboró: Pozo Almonte
ENSAUT LTDA.

| | | | | | | | |
|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| 4 | 14/05/2024 | RM | PB | CM | Respuesta Observaciones | JS | JS |
| 3 | 16/02/2024 | AA | PB | CM | Respuesta Observaciones | JS | JS |
| 2 | 22/01/2024 | AA | PB | CM | Revisión Cliente | JS | JS |
| 1 | 10/07/2023 | RM | PB | CM | Revisión Cliente | JS | JS |
| 0 | 27/10/2022 | RM | PB | CM | Revisión Cliente | JS | JS |
| B | 18/10/2022 | RM | PB | CM | Revisión Cliente | JS | JS |
| Rev. | Fecha | Realizó | Revisó | Aprobó | Descripción | Revisó | Aprobó |
| ENSAUT | | | | | | ENGIE | |

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|-----|---|----|
| | RESUMEN EJECUTIVO | 3 |
| 1 | ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO DE LA S/E POZO ALMONTE | 10 |
| 1.1 | PARTICULARIDADES DE LA INSTALACIÓN..... | 11 |
| 2 | GENERALIDADES DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS PRACTICADOS | 12 |
| 3 | METODOLOGÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE HALLAZGOS | 15 |
| 4 | INSTALACIONES AUDITADAS EN S/E POZO ALMONTE | 21 |
| 5 | RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS EN TERRENO | 22 |
| 5.1 | PAÑO CT3 – LADO DE BAJA DEL TRANSFORMADOR 3 | 22 |
| 5.2 | PAÑO E1 – ALIMENTADOR PAMPINO..... | 26 |
| 5.3 | PAÑO E2 – ALIMENTADOR EL CARMELO..... | 30 |
| 6 | RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN TEÓRICOS DE PROTECCIONES | 35 |
| 6.1 | DIAGRAMAS DE TIEMPO CORRIENTE DE SOBRECORRIENTE DE FASE Y RESIDUAL..... | 39 |
| 6.2 | NIVEL DE CORTOCIRCUITO EN LA BARRA DE MEDIA TENSIÓN DE LA SUBESTACIÓN ... | 46 |
| 6.3 | RESUMEN DE HALLAZGOS RELATIVOS AL ANÁLISIS DE COORDINACIÓN | 47 |
| 7 | CONCLUSIONES..... | 48 |
| | ANEXO I – FIGURAS DE SOBRECORRIENTE | 50 |
| | ANEXO II – DIAGRAMA UNILINEAL..... | 71 |

RESUMEN EJECUTIVO

La Auditoría Técnica a la S/E Pozo Almonte 24/13,8 [kV] corresponde a una actividad instruida por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y administrada técnicamente por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). Su objetivo se focaliza en la verificación de la información técnica recibida (planos elementales de control, diagramas unilineales, ECAP, entre otros), la implementación de ajustes y lógicas, el estado, desempeño y coordinación de los relés de protecciones de los sistemas asociados a al transformador T3 24/13,2 [kV] – 12/10 [MVA] y a los alimentadores de media tensión en 13,2 [kV], Pampino y El Carmelo (E1 y E2, respectivamente) de S/E Tamarugal, de acuerdo con los lineamientos técnicos definidos en la NTSyCS (Artículo 1-7, numeral 103), para asegurar un despeje oportuno y selectivo de fallas eléctricas en las instalaciones, destacándose que no es parte del alcance de esta auditoría, otras verificaciones como son pruebas al equipamiento primario de interruptores (entre ellas las pruebas de tiempos de operación, simultaneidad de cierre y capacidad de ruptura), transformadores de medida (entre ellas los análisis y pruebas de saturación), pruebas a los sistemas de comunicaciones asociados al sistema SCADA/SITR, pruebas de autonomía al banco de baterías, etc. En función de esto último, otros factores externos, fuera del alcance del proceso de auditoría, podrían eventualmente influir en el desempeño final de los equipos de protecciones durante ciertos fenómenos y eventos sistémicos.

ENSAUT, en su calidad de auditor, confeccionó los protocolos de pruebas asociados a esta auditoría técnica, para luego verificar en terreno el desarrollo y resultados de estos. La empresa ENGIE ha sido la encargada y responsable de ejecutar en S/E Pozo Almonte las pruebas definidas en dichos protocolos.

Desde el punto de vista de las instalaciones (pañes y sus protecciones) definidas dentro del alcance de la auditoría, no quedan pruebas pendientes. Por otra parte, respecto a las actividades ejecutadas y que presentan hallazgos que requieren la repetición o complemento de las pruebas, se destacan las siguientes:

- Se deben repetir las pruebas de la protección Cooper Power F6 del paño E2. En caso de ser necesario, se sugiere consultar con fabrica sobre el comportamiento del equipo o analizar el reemplazo del equipo.

De los hallazgos evidenciados durante el proceso de auditoría, se pueden destacar los siguientes hallazgos relevantes:

- Las protecciones asociadas a los paños alimentadores E1 y E2 no disponen de un ECAP que defina parámetros ni ajustes.
- El equipo de protección del paño E2 presenta desviaciones en su operación respecto a las tolerancias definidas en el manual del fabricante, las cuales deben ser analizadas.
- Ninguno de los equipos de protección auditados se encuentra sincronizados horariamente a través un reloj GPS.
- Se sugiere verificar los criterios de disparo hacia los interruptores auditados, por operación del relé maestro 86T.
- La plataforma Infotécnica se encuentra desactualizada respecto del ECAP recibido durante el proceso de auditoría.

Por otra parte, se evidencia la incorporación del PMGD PFV TAMARUGO posterior a la fecha de emisión del ECAP recibido relacionado con el paño CT3. En base a lo anterior se debe actualizar el ECAP considerando la incorporación del PMGD indicado.

Respecto al cumplimiento normativo de las protecciones auditadas, y dada la fecha de construcción de la instalación, se destaca que los análisis del presente informe se realizarán utilizando como referencia la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio publicada en diciembre del 2019. A continuación, se presenta un resumen de los principales hallazgos relacionados con esta normativa:

- Art. 3-24, literal b), numeral III: los tiempos de operación para despeje de fallas en la barra de media tensión de 23 [kV] son superiores a 400[ms], lo cual no cumple los tiempos definidos por la normativa técnica.
- Art. 3-24, literal c): El paño transformador N°3 está protegido con un esquema diferencial simple, a través del relé Siemens 7UT613, lo cual cumple con lo estipulado en la normativa técnica.
- Art. 3-24, última viñeta: La protección diferencial asociada al paño transformador N°3 está configurada de manera tal, que no permite su sincronización con un equipo GPS, a pesar de estar conectados. Las protecciones asociadas a los paños alimentadores E1 y E2 no están conectadas a un equipo GPS. Ambas situaciones incumplen con lo definido por la normativa técnica.

- Artículo 5-40, literal e): los tiempos de paso entre los equipos de protección asociados al paño del transformador N°3 CT3, y los paños alimentadores E1 y E2, son superiores a 300[ms], esto no compromete la selectividad del sistema de protecciones, lo cual cumple con lo definido por la normativa técnica.
- Artículo 6-4: La información provista desde el coordinado para el Coordinador, a través de la base Infotécnica, no cuenta con el ECAP, Print Outs ni DUF vigente de ninguno de los paños auditados. Esta situación incumple con lo exigido en la normativa técnica.

Tabla de Cumplimiento Normativo NTSyCS 2019

| Paño | Relé | NTSyCS 2019 | | | | |
|------|-----------------|---------------------------|------------|------------------|-----------------------------|--------------|
| | | Artículo 3-24 | | | Artículo 5-40 Literal e) | Artículo 6-4 |
| | | Literal b) Numeral III | Literal c) | Última viñeta | | |
| CT3 | Siemens 7UT613 | * | ✓ | * | ✓ | * |
| E1 | Cooper Power F6 | * | N/A | * | ✓ | * |
| E2 | Cooper Power F6 | * | N/A | * | ✓ | * |

(✓) Cumple, (*) No cumple, (N/A) No aplica.

Las siguientes imágenes presentan el resumen total de los hallazgos para cada uno de los equipos auditados:

Tabla Resumen 1: Hallazgos paño CT3

| RESUMEN DE HALLAZGOS PAÑO CT3 - TRANSFORMADOR N°3 | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|
| Equipo | HALLAZGOS RELEVANTES | | | HALLAZGOS MENORES | | |
| | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico |
| SIEMENS 7UT613 | Evaluación de ajustes y configuración, sincronización horaria | Se observa que la configuración de la fuente de sincronización se encuentra configurada en "Internal Clock", por lo que a pesar de que el equipo se encuentra físicamente conectado con un equipo GPS, este no podrá sincronizar | Se debe configurar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IIRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019). | Evaluación actividades en terreno, registro de eventos | Durante el proceso de auditoría no se recibe el registro de eventos asociados al equipo auditado. Se destaca que dicho equipo si cuenta con la capacidad de registro de eventos | Se debe analizar el registro de eventos del equipo con el fin de detectar posibles fallas, mal operaciones o alarmas en el tiempo que respondan a operaciones indeseadas. |
| | | | | Evaluación de planos, recepción de información | No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo | Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado |
| | Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica | Coherencia de información, DUF | El ECAP define habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, el DUF no la presenta habilitadas como parte del esquema de protección | Se debe corregir el DUF conforme las funciones definidas en el ECAP y actualizar en la plataforma Infotecnica |
| | | | | | El DUF indica la presencia del equipo IAC 51, sin embargo, ECAP define el reemplazo de este por el equipo SIEMENS 7UT6 | |
| | Pruebas de disparo efectivo sobre interruptores por operación del relé 86T | Durante las pruebas de disparo efectivo por operación del relé maestro 86T, se evidenció que no se pudo generar la apertura del interruptor 52CT3 ya que está enclavada por la posición local mismo. Si se pudo generar la apertura del interruptor en posición remota | Se debe considerar la modificación de los circuitos de disparo por protecciones por fallas internas del transformador N°3 para que estos no estén enclavados por la posición local o remota de los interruptores de cada alimentador | Base Infotécnica, Print Out en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado relacionado con el equipo auditado |
| | | | | | Durante las pruebas de disparo efectivo por operación del relé maestro 86T, se evidenció la apertura del interruptor del paño alimentador E1 Pampino, no así la apertura del interruptor del paño E2 Carmelo | |

Tabla Resumen 2: Hallazgos paño E1

| RESUMEN DE HALLAZGOS PAÑO E1 | | | | | | |
|------------------------------|---|---|--|---|---|--|
| Equipo | HALLAZGOS RELEVANTES | | | HALLAZGOS MENORES | | |
| | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico |
| COOPER POWER F6 | Evaluación actividades en terreno, sincronización horaria | El equipo no presenta conexionado con equipo de sincronización horaria GPS, sin embargo, la hora y fecha se encuentran de acuerdo con el horario actual | Se debe conectar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019) | Evaluación actividades en terreno, inspección visual | Existen conductores en bornes de protección que no presentan marcas de identificación origen o destino | Con el fin de facilitar labores de mantenimiento o intervenciones correctivas de emergencia, se sugiere identificar los conductores con marcas que indiquen origen y/o destino para los circuitos más críticos para el correcto desempeño de la protección como son los siguientes circuitos: señales análogas de corriente y tensión, señales de disparo y cierre de interruptores, señales de estados abierto y cerrado de interruptores, señales de bloqueos de lógicas de protecciones y señal de alimentación de la protección como tal |
| | Evaluación de ajustes y configuración, ECAP | No se recibe ECAP asociado al equipo auditado que defina criterios y ajustes de las funciones a configurar | Se debe disponer de un ECAP que defina los ajustes para el equipo auditado | Evaluación de planos, recepción de información | No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo | El equipo tiene las características en que el conexionado entre equipo de control y el de protección responde a uno sellado y de fábrica, sin embargo, existen alambrados asociados a ciertas señales, que no pertenecen al conexionado de fábrica, para los cuales no se reciben planos. Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado |
| | Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica | Evaluación de ajustes y configuración, registro oscilográfico | La configuración del parámetro "Event capture total length", asociado a la duración del registro oscilográfico, se encuentra ajustada en "8". | Si bien la duración del registro oscilográfico no corresponde a una exigencia normativa en el nivel de tensión al cual se encuentra sometido el paño, se sugiere extender el largo del registro total y la prefalla de este, con el fin de obtener la mayor cantidad de información para el análisis de fallas |
| | Coherencia de información, DUF | El ajuste de la protección presenta habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, no se recibe ECAP para el equipo auditado y el DUF no indica las funciones habilitadas para este | Se debe disponer de un ECAP que defina las funciones habilitadas para el equipo y actualizar el DUF conforme a estas. | Base Infotécnica, Print Out en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe cargar en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado generado a partir del proceso de auditoría |
| | | | | Base Infotécnica, falta del DUF en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un DUF actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer del DUF vigente asociado a la subestación en la plataforma de Infotécnica. |

Tabla Resumen 3: Hallazgos paño E2

| RESUMEN DE HALLAZGOS PAÑO E2 - ALIMENTADOR EL CARMELO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|
| Equipo | HALLAZGOS RELEVANTES | | | HALLAZGOS MENORES | | |
| | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico | Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico |
| COOPER POWER F6 | Evaluación actividades en terreno, sincronización horaria | El equipo no presenta conexonado con equipo de sincronización horaria GPS, sin embargo, la hora y fecha se encuentran de acuerdo con el horario actua | Se debe conectar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019) | Evaluación actividades en terreno, inspección visual | Existen conductores en bornes de protección que no presentan marcas de identificación origen o destino | Con el fin de facilitar labores de mantenimiento o intervenciones correctivas de emergencia, se sugiere identificar los conductores con marcas que indiquen origen y/o destino para los circuitos más críticos para el correcto desempeño de la protección como son los siguientes circuitos: señales análogas de corriente y tensión, señales de disparo y cierre de interruptores, señales de estados abierto y cerrado de interruptores, señales de bloqueos de lógicas de protecciones y señal de alimentación de la protección como tal |
| | Evaluación de ajustes y configuración, ECAP | No se recibe ECAP asociado al equipo auditado que defina criterios y ajustes de las funciones a configurar | Se debe disponer de un ECAP que defina los ajustes para el equipo auditado | Evaluación de planos, recepción de información | No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo | El equipo tiene las características en que el conexonado entre equipo de control y el de protección responde a uno sellado y de fábrica, sin embargo, existen alambrados asociados a ciertas señales, que no pertenecen al conexonado de fábrica, para los cuales no se reciben planos. Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado |
| | Pruebas de inyección secundaria. Precisión del equipo | Se observa durante la prueba de verificación de inyección secundaria, que las medidas del relé presentan desviaciones mayores a las esperadas y que las pruebas de verificación de las curvas características de sobrecorriente de fase y neutro son mayores a las definidas en el manual del fabricante. Se destaca que las desviaciones respecto a la curva característica ponen en riesgo la selectividad de la protección ante las fallas | Se deben repetir las pruebas de verificación con inyección secundaria asegurando que estas sean exitosas y respondan a las especificaciones del fabricante, de ser necesario, se debe analizar consultar con el fabricante el comportamiento indeseado del equipo o el replazo del equipo propiamente tal | Evaluación de ajustes y configuración, registro oscilográfico | La configuración del parámetro "Event capture total length", asociado a la duración del registro oscilográfico, se encuentra ajustada en "8". | Si bien la duración del registro oscilográfico no corresponde a una exigencia normativa en el nivel de tensión al cual se encuentra sometido el paño, se sugiere extender el largo del registro total y la prefalla de este, con el fin de obtener la mayor cantidad de información para el análisis de fallas |
| | Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica | Base Infotécnica, Print Out en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe cargar en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado generado a partir del proceso de auditoría |
| | Coherencia de información, DUF | El ajuste de la protección presenta habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, no se recibe ECAP para el equipo auditado y el DUF no indica las funciones habilitadas para este | Se debe disponer de un ECAP que defina las funciones habilitadas para el equipo y actualizar el DUF conforme a estas. | Base Infotécnica, falta del DUF en plataforma web | Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un DUF actualizado relacionado con el equipo auditado | Se debe disponer del DUF vigente asociado a la subestación en la plataforma de Infotécnica |

Tabla Resumen 7: Hallazgos Tiempos de Coordinación

| ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE TIEMPOS TEÓRICOS DE PROTECCIONES | | |
|--|--|---|
| HALLAZGOS RELEVANTES | | |
| Clasificación | Descripción Hallazgo | Comentario específico |
| Cumplimiento normativo | <p>Se observa que para fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la subestación, el tiempo de despeje de estas es superior a 400[ms], por lo que no se cumple con lo exigido en Art. 3-24 literal b), numeral III de la NTSyCS. Adicionalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, ante falla monofásica con impedancia de 25 [Ω] y 50 [Ω] en barra de media tensión 23 [kV] de la S/E Pozo Almonte, no existe operación de la protección asociada al paño CT3. Esto compromete la sensibilidad del sistema de protecciones.</p> <p>Por otra parte, se evidencia la incorporación del PMGD PFV TAMARUGO posterior a la fecha de emisión del ECAP recibido durante el proceso de auditoría relacionado con el paño CT3</p> | <p>Se sugiere analizar y definir nuevos ajustes que permitan acotar el tiempo de despeje de fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la subestación Pozo Almonte, a través de un estudio de ajustes de protecciones, considerando la incorporación del PMGD indicado.</p> |

1 ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO DE LA S/E POZO ALMONTE

La subestación Pozo Almonte está ubicada en la Región de Tarapacá, provincia Del Tamarugal, específicamente en la comuna de Pozo Almonte, y considera instalaciones en niveles de tensión de 220, 110, 66, 24 y 13,8 [kV].

La subestación cuenta con equipamiento moderno del tipo IED (Intelligent Electronic Device) para los sistemas de control y protecciones asociados al transformador de poder de T3 13,8/24 [kV] - 10/12 [MVA] y a las cabeceras de los paños de alimentadores de media tensión.

En la siguiente imagen se presenta un diagrama simplificado de la instalación y los paños auditados, el detalle de los equipos auditados por cada instalación se indica en la tabla 1.

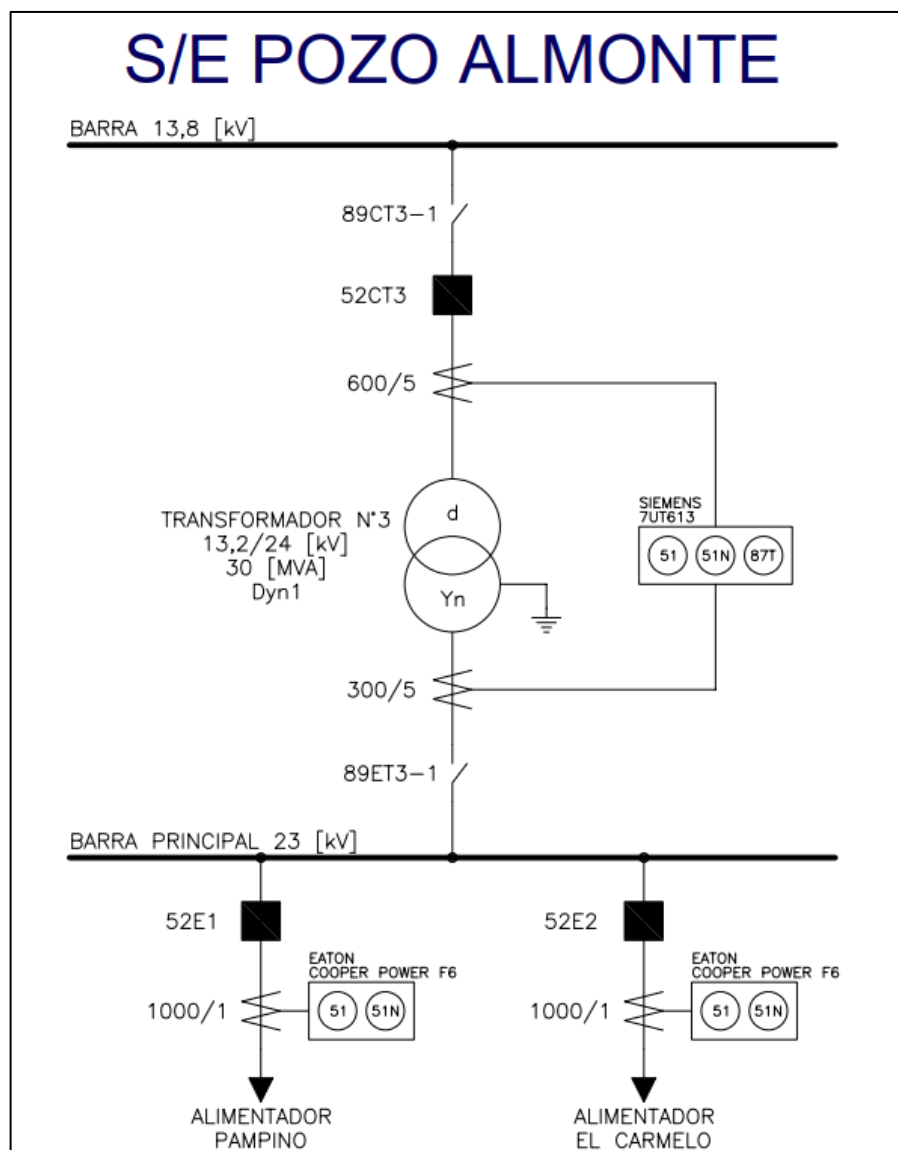


Figura 1-1: DUF simplificado S/E Pozo Almonte

Desde el punto de vista de los sistemas auxiliares de corriente alterna y continua, que finalmente alimentan los circuitos y equipos de control y protección, la subestación cuenta con dos cargadores de baterías en servicio, cada uno alimentado por un banco de baterías de 125 [Vcc] respectivamente. Se destaca que el diseño de la instalación considera un grupo generador de transferencia automática para la alimentación de cargas esenciales, como son los cargadores de baterías, motor del cambiador de tomas bajo carga del transformador de poder, iluminación de patios, entre otros. Se deja constancia que no es parte del alcance del proceso de auditoría la ejecución de pruebas destinadas a la verificación de la autonomía del banco de baterías. En este caso en particular, se destaca que, durante las actividades en terreno no se vio interrumpida la alimentación auxiliar de los consumos en corriente alterna, entre ellos, los cargadores del banco de baterías.

Finalmente, en cuanto a la documentación técnica de la instalación, se debe conformar un grupo de planos que permitan identificar cada uno de los circuitos conectados a los equipos de protección auditados que garanticen que el correcto desarrollo de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo pueden ser realizadas con total seguridad, ya sea con la subestación energizada o desenergizada. Por otra parte, para los ajustes actualmente configurados en los equipos de protecciones, y que generan ordenes de apertura sobre los interruptores, no se recibe un estudio desarrollado durante etapa de puesta en marcha de la subestación y/o complementados con estudios desarrollados por el área de operaciones de ENGIE como parte de sus procesos de mejora continua para los paños alimentadores.

1.1 PARTICULARIDADES DE LA INSTALACIÓN

- Subestación Tamarugal no considera un paño de transferencia asociado a los alimentadores o al transformador, conectados a la barra de 23 [kV] o a la de 13,2 [kV].
- El Coordinado confirma que no existen fallas previas a la auditoría que guardan relación con una operación indeseada del equipo de protección, por lo que no se consideran pruebas de inyección de archivos Comtrade de eventos anteriores.
- Se evidencia la incorporación del PMGD PFV TAMARUGO posterior a la fecha de emisión del ECAP recibido durante el proceso de auditoría relacionado con el paño CT3.

2 GENERALIDADES DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS PRACTICADOS

A continuación, se detallan conceptualmente las pruebas y ensayos de verificación practicados como parte de la Auditoría Técnica:

a. Revisión de la calidad y coherencia de la documentación de la subestación. Se destaca que el presente informe de auditoría se desarrolla con la información recibida por parte de ENGIE previo al desarrollo de las actividades de prueba en la subestación y complementada con los resultados obtenidos de las verificaciones e información recopilada durante la visita, tales como:

- Diagrama Unilineal Funcional (DUF).
- Estudios de Coordinación y Ajustes de Protecciones (ECAP).
- Print Outs de las protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores.
- Planos elementales de corriente alterna de protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores.
- Planos elementales de corriente continua de disparo y señalización de protecciones asociadas al paño AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores.
- Protocolos de prueba de verificación ejecutados durante los ensayos de prueba de auditoría.
- Registros de eventos, oscilográficos y fotográficos obtenidos durante los ensayos.

El análisis y conclusiones que derivan de la información antes mencionada representan la condición de la subestación al instante de la auditoría, es decir, en el periodo en que se analizó la información recibida y la fecha en la que se realizaron los ensayos en la instalación. A mayor abundamiento, modificaciones posteriores generadas a partir de mejoras operacionales, mantenimiento o cambios en el diseño de la instalación por nuevos proyectos, no serán considerados como antecedentes en la elaboración de este documento, independiente de sus distintas iteraciones antes de ser declarado sin observaciones y publicado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

b. Análisis de los tiempos de paso teóricos de coordinación para las curvas de sobrecorriente de fase y residual entre los paños AT y MT de transformadores y paños de cabeceras de alimentadores.

c. Análisis de las medidas de corrientes y potenciales (magnitud y ángulo) bajo condición de carga normal de la subestación.

- d. Verificación del cumplimiento normativo respecto de la NTSyCS. En específico, la presente auditoría se enfoca en identificar el cumplimiento de los siguientes artículos:
- **Instalaciones de transmisión:**
 - NTSyCS - Art 3-24, literal b), numeral III)
 - NTSyCS - Art 3-24, literal c).
 - NTSyCS - Art 3-24, última viñeta.
 - **Estándares de recuperación dinámica en estado normal y en estado alerta:**
 - NTSyCS - Art 5-40, literal e).
 - **Información técnica de instalaciones y equipamientos:**
 - NTSyCS - Art 6-4.
- e. Comparación entre los ajustes implementados en los IED y los definidos por el estudio de coordinación de ajustes de protecciones (ECAP). Se identifican todos los grupos de ajustes y funciones habilitados en el relé, reconociendo el grupo activo, grupos alternativos y de mantenimiento, como es el caso del modo de operación "Hot Line Tag" (HLT).
- Los análisis de coordinación y tiempos de operación junto con la coherencia de ajustes se realizan en base al grupo de ajustes activo en la protección al momento de la visita de auditoría a la subestación y en base al grupo de ajuste definido en el ECAP.
 - En el caso de aquellas protecciones que presentan más de un grupo de ajustes configurado y el ECAP solo defina uno, se levantarán los hallazgos correspondientes y el análisis de coordinación y tiempos de operación junto con la coherencia de ajustes se realizarán respecto del grupo de ajustes activo durante la visita de auditoría a la subestación.
 - En el caso de aquellas protecciones que presentan más de un grupo de ajustes habilitado, y a su vez, el ECAP junto a la base de datos Powerfactory recibida, definen más de una topología de operación declarada para cada uno de ellos, el análisis de coordinación y tiempos de operación junto con la coherencia de ajustes se realizarán para cada una de las topologías definidas. Sin perjuicio de lo anterior, las topologías finalmente analizadas en la etapa de coordinación y tiempos de coordinación, será declarada en el capítulo 6.
- f. Análisis del estado de los conexionados y alambrados de circuitos de corriente alterna (circuitos de TT/CC y TT/PP, según corresponda) y de corriente continua (circuitos de disparo y reconexión, según corresponda) en los equipos de protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores.

- g. Análisis de los resultados de las pruebas de inyección secundaria practicadas sobre los equipos de protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores:
- Comprobación mediante pruebas de inyección secundaria a los equipos de protección de la correcta operación de acuerdo con los ajustes programados y las tolerancias indicadas por el fabricante.
- h. Análisis de los resultados de las pruebas de apertura efectiva de interruptores por operación de los contactos de las protecciones sometidas a verificación, comprobación realizada mediante dos etapas:
- Etapa 1: Verificación del correcto desempeño de los contactos de disparo relacionados con la apertura efectiva de los interruptores en bandeja de pruebas, mediante la operación de las funciones asociadas a la matriz de disparo tras pruebas de inyección secundarias.
 - Etapa 2: Verificación de la apertura efectiva de los interruptores tras simulación del cierre del contacto de la protección en condición sin bandeja de pruebas, confirmando la operación a través de todas las bobinas de aperturas disponibles en el interruptor
- i. Análisis de los resultados pruebas de simulación de señales de estado de equipos primarios y/o de control conectadas a bornes de equipos de protección sometidas a verificación, cuyas funciones de protecciones habilitadas, requieren efectivamente de dichas señales para asegurar su correcto desempeño.
- j. Análisis de las lógicas y ecuaciones de disparo configuradas en los equipos de protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores.
- k. Análisis del estado general de las protecciones asociadas a los paños AT y MT de transformadores, y paños de cabeceras de alimentadores:
- Estado general de la protección (montaje, higiene, conexionado, marcas, bornes, etc.).
 - Estado de bloques de pruebas y/o bornes seccionables utilizados para fines de protecciones (circuitos de corrientes, potenciales y disparos).
 - Configuración de registros de eventos y oscilografías.
 - Configuración y conexionado de la sincronización horaria.
 - Configuración de leds de alarmas y señalización.
- l. En los paños donde se ha presentado una falla asociada a una operación no deseada del equipo de protecciones por un error en su configuración, se debe inyectar el archivo COMTRADE de dicho evento, con el fin de asegurar que las correcciones realizadas por el Coordinado con anterioridad a la auditoría aseguran el correcto desempeño del esquema de protecciones para una falla similar a la ocurrida.

3 METODOLOGÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE HALLAZGOS

Para dar a conocer el resultado del proceso de auditoría y con el fin de hacer más eficiente el análisis de los eventuales hallazgos, el presente informe utiliza un formato tabulado que da cuenta del detalle de las verificaciones generales y específicas realizadas, y el resultado de estas. Para ello, se consideran los siguientes puntos a evaluación los cuales aplican para cada uno de los paños.

Tabla 3-1: Puntos de Evaluación

| EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES EN TERRENO | |
|---|---|
| A | INSPECCIÓN VISUAL |
| A.1 | Relé de Protección |
| A.1.1 | Estado general del equipo y montaje. |
| A.1.2 | Estado de alarmas en panel frontal y/o leds. |
| A.1.3 | Rastros de presencia de roedores. |
| A.2 | Circuitos de Control |
| A.2.1 | Estado de cables y borneras. |
| A.2.2 | Estado del alambrado y marcas. |
| A.2.3 | Se presentan ordenados y limpios. |
| A.2.4 | Rastros de presencia de roedores. |
| B | REGISTRO DE DATOS |
| B.1 | Extracción de ajustes. |
| B.2 | Extracción de registros de eventos. |
| B.3 | Extracción de registros oscilográficos. |
| B.4 | Generación de disparo forzado de oscilografía (trigger manual). |
| C | REGISTRO DE ESTADOS EN LÍNEA DEL EQUIPO |
| C.1 | Lectura de valores analógicos en línea del equipo (corrientes y voltajes por fase, y variables calculadas). |
| C.2 | Estados de entradas binarias. |
| C.3 | Estados de salidas binarias. |
| D | ANÁLISIS DE DATOS Y MEDIDAS EN TERRENO |
| D.1 | Valores analógicos de corrientes y tensiones registrados por la protección concuerdan con los valores secundarios medidos con tester de tenaza y voltímetro en bornes del equipo. |
| D.2 | Valores analógicos de potencia registrados por la protección concuerdan con el flujo sistémico informado por ENGIE (magnitud y sentido del flujo), además de concordar con la medida instantánea obtenida desde display de medidor de energía del paño. |
| D.3 | Revisión y análisis del listado o registro de eventos sincronizados (SER) de la protección. |
| D.4 | Medición de corriente continua en entradas binarias de la protección (estado on/off de BI). |
| D.5 | Medición de corriente continua en circuitos de disparo de la protección sobre interruptores. |
| E | SINCRONIZACIÓN HORARIA |
| E.1 | Configuración de la sincronización horaria (IRG-B) en la protección. |
| E.2 | Conexión físico de la protección con equipo GPS. |
| E.3 | Lectura de la fecha y hora en el equipo de protecciones. |

| EVALUACIÓN DE PLANOS DE CONTROL | |
|--|---|
| F | RECEPCIÓN DE INFORMACIÓN |
| F.1 | Se reciben planos para los paños auditados. |
| F.2 | Grupo de planos recibidos consideran elementales, alambrados internos, alambrados remotos y desarrollo de contactos para relés auxiliares, para la protección y para bloques de prueba. |
| F.3 | Versión de planos recibida corresponda a la as-built del proyecto. |

| EVALUACIÓN GENERAL DE AJUSTES Y CONFIGURACIÓN DE LA PROTECCIÓN | |
|---|---|
| G | AJUSTES DE PROTECCIONES |
| G.1 | Las funciones de protecciones habilitadas en la protección coinciden con las definiciones del ECAP y DUF. |
| G.2 | Los parámetros programados en cada función de protecciones coinciden con los especificados en el ECAP y con la programación mínima necesaria para que la protección opere correctamente. |
| G.3 | Las funciones y configuración de la protección satisfacen las definiciones de la NTSyCS y anexos técnicos vigentes. |
| G.4 | Configuración de las funciones de protecciones son las adecuadas considerando la ubicación física y polaridad de los TTCC. |
| G.5 | Configuración de las funciones de protecciones son las adecuadas considerando la ubicación física y polaridad de los TTPP. |
| G.6 | Los ajustes de las protecciones satisfacen las definiciones específicas declaradas por el fabricante del equipo. |
| G.7 | Las funciones de protección han sido ajustadas mediante algoritmos nativos del equipo y no por lógicas como FlexLogic, PSL, CFC, etc. |
| H | REGISTRO OSCILOGRÁFICO, EVENTOS, REPORTE DE FALLA Y LEDS |
| H.1 | Configuración de la oscilografía (resolución, largo pre y post falla, canales analógicos y digitales, etc.), en consideración con las mejores prácticas de la ingeniería y definiciones del Coordinador Eléctrico Nacional. |
| H.2 | Programación del disparo (trigger) de la oscilografía. |
| H.3 | Configuración (habilitación) de eventos generados por funciones de protecciones y señales digitales. |
| H.4 | Configuración de leds. |
| I | ENTRADAS ANALÓGICAS |
| I.1 | Las entradas analógicas conectadas al relé permiten el correcto funcionamiento de las funciones de protecciones habilitadas. |
| I.2 | La relación de los TT/CC y TT/PP concuerdan con las definiciones del ECAP, DUF y planos elementales de corriente alterna. |
| J | ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES |
| J.1 | Las entradas y salidas digitales configuradas en el equipo son coherentes con los planos de control recibidos. |
| J.2 | Las entradas digitales conectadas al relé permiten el correcto funcionamiento de las funciones de protecciones habilitadas. |

| EVALUACIÓN ESPECÍFICA DE AJUSTES Y CONFIGURACIÓN DE LA PROTECCIÓN | |
|--|--|
| K | FUNCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR |
| K.1 | El grupo de conexionado del transformador se encuentra ajustado según definiciones del ECAP y DUF. |
| K.2 | La eliminación de secuencia cero en transformadores con conexiones Y-D se realiza según definiciones del ECAP y criterios del fabricante. |
| L | FUNCIONES DE DISTANCIA |
| L.1 | Verificar que los alcances de zona y tiempos de operación se encuentran ajustados según las definiciones del ECAP. |
| M | FUNCIÓN FALLA DE INTERRUPTOR |
| M.1 | El criterio de supervisión (contacto, corriente) se encuentra ajustado según las definiciones del ECAP y la aplicación según funciones de arranque. |
| M.2 | El criterio de retrip se ajusta según las definiciones del ECAP. |
| M.3 | El criterio de desenganche sobre interruptores adyacentes se ajusta según las definiciones del ECAP. |
| M.4 | Se ajusta según las definiciones del ECAP |
| N | FUNCIONES DE SOBRECORRIENTE |
| N.1 | Las lógicas y bloqueos necesarios para la operación de las funciones de sobrecorriente de fase y tierra se encuentran ajustados según definiciones del ECAP. |
| N.2 | Las lógicas y bloqueos necesarios para habilitar funciones de sobrecorriente direccionales se encuentran ajustados según definiciones del ECAP. |
| N.3 | Las lógicas y bloqueos necesarios para habilitar funciones de sobrecorrientes de emergencia se encuentran ajustados según definiciones del ECAP. |
| O | FUNCIÓN DE RECONEXIÓN |
| O.1 | Los ajustes de tiempo de reconexión, tiempo muerto y reset se encuentran de acuerdo con las definiciones del ECAP. |
| O.2 | La habilitación de la función de reconexión responde a una activación directa sobre el equipo, evitando el uso de elementos auxiliares intermedios (relés biestables / monoestables) |
| O.3 | El estado de la reconexión "habilitada/deshabilitada" del paño es generado y transmitido correctamente por el equipo de protecciones hacia el nivel de control jerárquico superior vía SCADA. |
| P | GENERALIDADES |
| P.1 | Las funciones de protecciones asignadas a la matriz de disparo coinciden con las definiciones del ECAP. |
| P.2 | Los relés monoestables, biestables y temporizadores, entre otros, utilizados en circuitos de control aseguran la correcta operatividad de los algoritmos propios de las protecciones. |
| P.3 | Los circuitos de disparo sobre interruptores, bobinas de desenganche disponibles y circuitos de alimentación del relé de protección poseen interruptores termomagnéticos independientes y dedicados. |
| P.4 | Los circuitos de disparo sobre interruptores y bobinas de desenganche disponibles son alimentados desde un sistema de baterías. |
| P.5 | El circuito de alimentación del relé de protección es alimentado desde un sistema de baterías. |
| P.6 | Indicar si la configuración tags o nombres de entradas y salidas digitales satisfacen las mejores prácticas de la ingeniería y las definiciones del CEN. |
| P.7 | La implementación de circuitos y lógicas de transferencia de interruptores (Normal-Intermedio-Transferido) aseguran la correcta operatividad de las funciones de protecciones implementadas en el paño bajo transferencia. |

| | |
|------|--|
| P.8 | La base de Infotécnica dispone del ECAP asociado al paño auditado y este es coherente con el obtenido en el proceso de auditoría |
| P.9 | La base de Infotécnica dispone del Print Out del equipo |
| P.10 | La base de Infotécnica dispone del DUF de la subestación y este es coherente con el recibido en el proceso de auditoría |

| EVALUACIÓN ESPECÍFICA DE PRUEBAS DE INYECCIÓN SECUNDARIA | |
|---|--|
| Q | VERIFICACIÓN DE ERROR DE MEDIDAS |
| Q.1 | Verificación de la precisión de los canales de medidas (desviación respecto de las tolerancias/errores declarados en el manual del fabricante) mediante pruebas de inyección secundaria. |
| R | FUNCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR |
| R.1 | Verificación de la estabilidad diferencial mediante inyección secundaria. |
| R.2 | Verificación de operación mediante inyección secundaria de la función 87T. |
| R.3 | Verificación de operación mediante inyección secundaria de la función de frenado armónico. |
| R.4 | Verificación de disparos efectivos de la protección haciendo uso de la conexión de contactos de block de pruebas del relé con el equipo de inyección secundaria para los puntos anteriores de esta tabla. |
| S | FUNCIÓN DE DISTANCIA |
| S.1 | Verificación de operación mediante inyección secundaria de la función 21/21N. |
| S.2 | Verificar los alcances de zona y tiempos de operación para las funciones de fase y tierra implementadas en el equipo. |
| S.3 | Verificar correcto bloqueo por operación de función falla de fusible. |
| S.4 | Verificación de disparos efectivos de la protección haciendo uso de la conexión de contactos de block de pruebas del relé con el equipo de inyección secundaria para los puntos anteriores de esta tabla. |
| T | FUNCIÓN FALLA DE INTERRUPTOR |
| T.1 | Verificación de operación de la lógica de arranque 50BF mediante inyección secundaria. |
| T.2 | Verificación de tiempos de operación E1 y E2 mediante inyección secundaria. |
| T.3 | Verificación de disparos efectivos de la protección haciendo uso de la conexión de contactos de block de pruebas del relé con el equipo de inyección secundaria para los puntos anteriores de esta tabla. |
| U | FUNCIONES DE SOBRECORRIENTE |
| U.1 | Verificación de operación de la característica de sobrecorriente mediante inyección secundaria de la función 51/51N, 50/50N, según corresponda. |
| U.2 | Verificación de la característica de sobrecorriente (Curvas de Tiempo Inverso, Elementos de Tiempo Definido, Elementos Instantáneos). |
| U.3 | Verificación de disparos efectivos de la protección haciendo uso de la conexión de contactos de block de pruebas del relé con el equipo de inyección secundaria para los puntos anteriores de esta tabla. |
| V | FUNCIÓN DE RECONEXIÓN AUTOMÁTICA |
| V.1 | Verificación de operación de la lógica de arranque para la función 79 mediante inyección secundaria. |
| V.2 | Verificación de tiempos de operación mediante inyección secundaria. |
| V.3 | Verificación de comando de cierre efectivos de la protección haciendo uso de la conexión de contactos de block de pruebas del relé con el equipo de inyección secundaria para los puntos anteriores de esta tabla. |

| EVALUACIÓN ESPECÍFICA DE PRUEBAS DISPARO | |
|---|--|
| W | OPERACIÓN DE CONTACTOS DE DISPARO DESDE PROTECCIÓN |
| W.1 | Verificación de prueba efectiva de disparos sobre el interruptor desde contactos de protección, comprobando la operación a través de todas las bobinas de aperturas disponibles en el interruptor de acuerdo con lo detallado en la tabla del capítulo 4, según corresponda. |

| EVALUACIÓN ESPECÍFICA DE PRUEBAS COMTRADE | |
|--|--|
| X | OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN MEDIANTE INYECCIÓN DE ARCHIVOS COMTRADE |
| X.1 | Verificación de las correcciones realizadas por el Coordinado con anterioridad a la auditoría a la configuración del equipo y que guardan relación con el evento de falla. |
| X.2 | Análisis de la operación de la protección durante la inyección del archivo Comtrade relacionado con el evento de falla. |

Los puntos por evaluar indicados en las tablas anteriores son citados por su literal y número asociado por cada uno de los paños auditados que presenten hallazgos, por lo que, se deberá considerar el siguiente criterio de evaluación:

- **Sin Hallazgos:** en el caso de no presentar un comentario asociado al punto a evaluar, este se considera como una evaluación sin observaciones o recomendaciones.
- **Con Hallazgos:** se realiza la cita correspondiente al literal, lo que indica que la evaluación presenta cierta anomalía y cuya normalización se abordará a través de un plan de acción o recomendación (sugerencia) al coordinado dueño de la instalación, según lo siguiente:
 - **Plan de acción:** se sugerirá al coordinado la solución del hallazgo cuando el mismo se relacione con el objetivo de la auditoría técnica o ponga en riesgo la calidad de suministro, el cumplimiento normativo o la seguridad de las personas.
 - **Recomendación:** se sugerirá al coordinado la normalización del hallazgo cuando este no se relacione necesariamente con el objetivo de la auditoría técnica, si no que este guarda relación con la calidad de la información de la subestación (planos, estudios, ciertos parámetros y lógicas de equipos, etc.) y cuya presencia no pone en riesgo la calidad de suministro, el cumplimiento normativo ni la seguridad de las personas.
- **N/A:** se realiza la cita correspondiente al literal, detallando la característica evidenciada por la cual no aplica la evaluación del ensayo.

A partir de lo anterior, se profundizará en los resultados que den cuenta de hallazgos o anomalías, para finalmente pasar a una sección con comentarios específicos relacionados. Además, cada hallazgo será evaluado según la siguiente tabla de criticidad, con un índice al inicio de este:

Tabla 3-2: Puntos de Evaluación

| ÍNDICE | CRITICIDAD | DESCRIPCIÓN |
|---------------|-------------------|--|
| R | RELEVANTE | Hallazgo que desencadena un plan de acción debido a que el origen de este representa riesgo en la calidad de suministro, la seguridad de las personas y el cumplimiento normativo en aspectos que comprometan el objetivo o el alcance de esta auditoría. Se especifica que, hallazgos relacionados con el ECAP (coherencia de ajustes, infotecnica, entre otros), serán considerados como relevantes, ya que estos afectan el objetivo de la auditoría. |
| M | MENOR | Hallazgo cuya presencia no pone en riesgo la calidad de suministro ni la seguridad de las personas. Sin perjuicio de lo anterior, incluye aquellos casos de incumplimiento normativo en aspectos que no comprometan el objetivo o el alcance de esta auditoría. |

Adicionalmente, para cada uno de los equipos evaluados se presenta una tabla comparativa de doble entrada entre los ajustes definidos por el ECAP, DUF y los implementados en el equipo auditado, así como también las funciones verificadas mediante pruebas de inyección secundaria.

4 INSTALACIONES AUDITADAS EN S/E POZO ALMONTE

El proceso de Auditoría Técnica a S/E Pozo Almonte consideró los siguientes paños y equipos:

Tabla 4-1: Detalle de las instalaciones auditadas

| PAÑO | PROTECCIÓN ASOCIADA | INTERRUPTOR ASOCIADO | BOBINAS DE APERTURA |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| CT3 | Siemens 7UT613 | 52CT3 | 1 |
| E1 | Cooper Power F6 | 52E1 | 1 |
| E2 | Cooper Power F6 | 52CE2 | 1 |

Como Anexo II al presente documento, se adjunta el diagrama unilineal funcional recibido durante el proceso de auditoría para la subestación por parte del propietario de la instalación.

5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS EN TERRENO

5.1 PAÑO CT3 – LADO DE BAJA DEL TRANSFORMADOR 3

5.1.1 Fecha de ejecución de la inspección en terreno:

- 09 de abril de 2022

5.1.2 Personal involucrado en la actividad de terreno:

- ENGIE: Sebastián Contreras, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, ejecutor de pruebas y ensayos.
- ENSAUT: Alvaro Cid Perez, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, Auditor Técnico.

5.1.3 Estudios de Ajustes de Protecciones (ECAP) utilizados:

- EN170210.1 ECAP Pozo Almonte T3 RC.

5.1.4 Protocolos de prueba utilizados:

- TR3_09-04-22

5.1.5 Detalle de planos de control utilizados:

| PLANO | DETALLE DE PLANOS | REVISIÓN |
|----------------|--|----------|
| C127-54e-37L12 | Diagrama Elemental C.A. Transformador N°3 13,2 / 24 kV | 0 |
| C127-54e-37L12 | Diagrama Elemental C.A. Prot. Diferencial Transf. N°3 | 0 |
| C127-54e-37L18 | Diagrama Elemental C.C. Relé Auxiliar 86T3 Transf. N°3 | 0 |
| C127-54e-37L12 | Diagrama Elemental C.C. Rele de Bloqueo 86T5 | 0 |

5.1.6 Identificación de los equipos de protecciones instalados en el paño:

- Marca y Modelo : Siemens 7UT613
- N° de Serie : BF1401518844
- SELBoot Firmware ID : V4.6

5.1.6.1 Comparativa de funciones habilitadas:

| COMPARATIVA DE FUNCIONES | | | | |
|--------------------------|-----|------|------------|---|
| FUNCIONES ANSI | DUF | ECAP | AJUSTE IED | PRUEBAS DE INYECCIÓN SECUNDARIAS REALIZADAS |
| 51 | - | • | • | • |
| 51N | - | • | • | • |
| 87T | • | • | • | • |

5.1.6.2 Consideraciones de evaluación del paño:

En relación con las funciones habilitadas y las particularidades de la instalación, no aplica (N/A) la evaluación de las siguientes tablas expuestas en el punto 3:

- Evaluación Específica de Ajustes y Configuración de la Protección:
 - L: Función de distancia.
 - M: Función de falla de interruptor.
 - O: Función de reconexión.
 - P.7: Generalidades: el diseño de la subestación no considera paños de transferencia en los niveles de tensión de 23[kV].
- Evaluación Específica de Pruebas de Inyección Secundaria:
 - S: Función de distancia.
 - T: Función de falla de interruptor.
 - V: Función de reconexión.
- Evaluación Específica de Pruebas Comtrade
 - X: El Coordinado confirma que no existen fallas previas a la auditoría que guardan relación con una operación indeseada del equipo de protección.

5.1.6.3 Detalle de hallazgos:

a. Evaluación actividades en terreno, registro de eventos.

- Ítem # B.2, D.3: (M) Durante el proceso de auditoría no se recibe el registro de eventos asociados al equipo auditado. Se destaca que dicho equipo si cuenta con la capacidad de registro de eventos.

Comentario Específico: Se debe analizar el registro de eventos del equipo con el fin de detectar posibles fallas, mal operaciones o alarmas en el tiempo que respondan a operaciones indeseadas.

b. Evaluación de ajustes y configuración, sincronización horaria.

- Ítem # E.1 G.3: (R) Se observa que la configuración de la fuente de sincronización se encuentra configurada en "Internal Clock", por lo que a pesar de que el equipo se encuentra físicamente conectado con un equipo GPS, este no podrá sincronizar.

Comentario Específico: Se debe configurar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019).

c. Evaluación de planos, recepción de información.

- Ítem # F.2, F.3, J.1, P.2: (M) No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo.

Comentario Específico: Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado.

d. Coherencia de información, DUF.

- Ítem # G.1: (M) El ECAP define habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, el DUF no la presenta habilitadas como parte del esquema de protección.
- Ítem # G.1: (M) El DUF indica la presencia del equipo IAC 51, sin embargo, ECAP define el reemplazo de este por el equipo SIEMENS 7UT6.

Comentario Específico: Se debe corregir el DUF conforme las funciones definidas en el ECAP y actualizar en la plataforma Infotécnica.

e. Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.8: (R) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica.

f. Base Infotécnica, Print Out en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.9: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado relacionado con el equipo auditado.

g. Base Infotécnica, falta del DUF en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.10: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un DUF actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del DUF vigente asociado a la subestación en la plataforma de Infotécnica.

h. Pruebas de disparo efectivo sobre interruptores por operación del relé 86T.

- Ítem # W.1: (R) Durante las pruebas de disparo efectivo por operación del relé maestro 86T, se evidenció que no se pudo generar la apertura del interruptor 52CT3 ya que está enclavada por la posición local mismo. Si se pudo generar la apertura del interruptor en posición remota.

Comentario Específico: Se debe considerar la modificación de los circuitos de disparo por protecciones por fallas internas del transformador N°3 para que estos no estén enclavados por la posición local o remota de los interruptores de cada alimentador.

- Ítem # W.1: (R) Durante las pruebas de disparo efectivo por operación del relé maestro 86T, se evidenció la apertura del interruptor del paño alimentador E1 Pampino, no así la apertura del interruptor del paño E2 Carmelo.

Comentario Específico: Se debe homologar el criterio de disparo del equipo de protección sobre cada interruptor de los paños alimentadores E1 y E2, y así asegurar que los aportes de energía de ambos lados del transformador sean despejados ante fallas internas del transformador N°3.

5.2 PAÑO E1 – ALIMENTADOR PAMPINO

5.2.1 Fecha de ejecución de la inspección en terreno:

- 07 de abril de 2022

5.2.2 Personal involucrado en la actividad de terreno:

- ENGIE: Sebastián Contreras, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, ejecutor de pruebas y ensayos.
- ENSAUT: Álvaro Cid Perez, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, Auditor Técnico.

5.2.3 Estudios de Ajustes de Protecciones (ECAP) utilizados:

- No se recibe información.

5.2.4 Protocolos de prueba utilizados:

- 52E1 Pampino_07-04-22

5.2.5 Detalle de planos de control utilizados:

| PLANO | DETALLE DE PLANOS | REVISIÓN |
|-------|---|----------|
| - | Diagrama Elemental CC – Alimentador Pampino | 1 |

5.2.6 Identificación de los equipos de protecciones instalados en el paño:

- Marca y Modelo : Cooper Power F6
- N° de Serie : CP1603S00527
- Firmware ID : 4.0.1

5.2.6.1 Comparativa de funciones habilitadas:

| COMPARATIVA DE FUNCIONES | | | | |
|--------------------------|-----|------|------------|---|
| FUNCIONES ANSI | DUF | ECAP | AJUSTE IED | PRUEBAS DE INYECCIÓN SECUNDARIAS REALIZADAS |
| 51 | - | - | • | • |
| 51N | - | - | • | • |

5.2.6.2 Consideraciones de evaluación del paño:

En relación con las funciones habilitadas y las particularidades de la instalación, no aplica (N/A) la evaluación de las siguientes tablas expuestas en el punto 3:

- Evaluación Específica de Ajustes y Configuración de la Protección:
 - K: Función diferencial de transformador.
 - L: Función de distancia.
 - M: Función de falla de interruptor.
 - N: Función de sobrecorriente. El ECAP no define lógicas ni bloqueos de las funciones de sobrecorriente.
 - P.7: Generalidades: el diseño de la subestación no considera paños de transferencia en los niveles de tensión de 23[kV].
- Evaluación Específica de Pruebas de Inyección Secundaria:
 - R: Función diferencial de transformador.
 - S: Función de distancia.
 - T: Función de falla de interruptor.
- Evaluación Específica de Pruebas Comtrade
 - X: El Coordinado confirma que no existen fallas previas a la auditoría que guardan relación con una operación indeseada del equipo de protección.
- Análisis de circuitos de control de Reconectador.
 - D.5, P.3: El equipo interruptor corresponde a un dispositivo tipo “reconectador”, el cual está compuesto principalmente por un control, que incorpora las funciones de protección, y un equipo de maniobras. A partir de lo anterior, las vías de disparo o desenganche entre el equipo de control y maniobras, vienen especificadas por el fabricante, lo que no permite realizar un seguimiento y análisis de estas.

5.2.6.3 Detalle de hallazgos:

a. Evaluación actividades en terreno, inspección visual.

- Ítem # A.2.2: (M) Existen conductores en bornes de protección que no presentan marcas de identificación origen o destino.

Comentario Específico: Con el fin de facilitar labores de mantenimiento o intervenciones correctivas de emergencia, se sugiere identificar los conductores con marcas que indiquen origen y/o destino para los circuitos más críticos para el correcto desempeño de la protección como son los siguientes circuitos: señales análogas de corriente y tensión, señales de disparo y cierre de interruptores, señales de estados abierto y cerrado de interruptores, señales de bloqueos de lógicas de protecciones y señal de alimentación de la protección como tal.

b. Evaluación actividades en terreno, sincronización horaria.

- Ítem # E.1, E.2 G.3: (R) El equipo no presenta conexasión con equipo de sincronización horaria GPS, sin embargo, la hora y fecha se encuentran de acuerdo con el horario actual.

Comentario Específico: Se debe conectar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019).

c. Evaluación de planos, recepción de información.

- Ítem # F.2, F.3, J.1: (M) No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo.

Comentario Específico: El equipo tiene las características en que el conexasión entre equipo de control y el de protección responde a uno sellado y de fábrica, sin embargo, existen alambrados asociados a ciertas señales, que no pertenecen al conexasión de fábrica, para los cuales no se reciben planos. Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado.

d. Coherencia de información, DUF.

- Ítem # G.1: (R) El ajuste de la protección presenta habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, no se recibe ECAP para el equipo auditado y el DUF no indica las funciones habilitadas para este.

Comentario Específico: Se debe disponer de un ECAP que defina las funciones habilitadas para el equipo y actualizar el DUF conforme a estas.

e. Evaluación de ajustes y configuración, ECAP.

- Ítem # G.1, G.2, I.2, P.1: (R) No se recibe ECAP asociado al equipo auditado que defina criterios y ajustes de las funciones a configurar.

Comentario Específico: Se debe disponer de un ECAP que defina los ajustes para el equipo auditado.

f. Evaluación de ajustes y configuración, registro oscilográfico.

- Ítem # H.1: (M) La configuración del parámetro "Event capture total length", asociado a la duración del registro oscilográfico, se encuentra ajustada en "8".

Comentario Específico: Si bien la duración del registro oscilográfico no corresponde a una exigencia normativa en el nivel de tensión al cual se encuentra sometido el paño, se sugiere extender el largo del registro total y la prefalla de este, con el fin de obtener la mayor cantidad de información para el análisis de fallas.

g. Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.8: (R) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica.

h. Base Infotécnica, Print Out en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.9: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe cargar en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado generado a partir del proceso de auditoría.

i. Base Infotécnica, falta del DUF en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.10: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un DUF actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del DUF vigente asociado a la subestación en la plataforma de Infotécnica.

5.3 PAÑO E2 – ALIMENTADOR EL CARMELO

5.3.1 Fecha de ejecución de la inspección en terreno:

- 08 abril de 2022

5.3.2 Personal involucrado en la actividad de terreno:

- ENGIE: Sebastián Contreras, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, ejecutor de pruebas y ensayos.
- ENSAUT: Alvaro Cid Perez, Ingeniero Especialista Control y Protecciones, Auditor Técnico.

5.3.3 Estudios de Ajustes de Protecciones (ECAP) utilizados:

- No se recibe información.

5.3.4 Protocolos de prueba utilizados:

- 52E2 Carmelo_08-04-22

5.3.5 Detalle de planos de control utilizados:

| Plano | Detalle de Planos | Revisión |
|--------------|---|----------|
| P10-E-EA-001 | Diagrama Elemental C.A. Medidas Alimentador El Carmelo JEMSTAR-ION 7300 | 1 |
| P10-E-EC-001 | Diagrama Elemental C.C. Comandos y Alarmas Sistema SCADA-URT | 1 |
| P10-E-EC-002 | Diagrama Elemental C.C. Panel CTL9 Señales de Estado y Discrepancias | 1 |
| P10-E-EC-003 | Diagrama Elemental C.C. Cuadro de Alarmas Alimentador El Carmelo | 1 |

5.3.6 Identificación de los equipos de protecciones instalados en el paño:

- Marca y Modelo : Cooper Power F6
- Serial Number : 10008
- Firmware ID : 4.0.1

5.3.6.1 Comparativa de funciones habilitadas:

| COMPARATIVA DE FUNCIONES | | | | |
|--------------------------|-----|------|------------|---|
| FUNCIONES ANSI | DUF | ECAP | AJUSTE IED | PRUEBAS DE INYECCIÓN SECUNDARIAS REALIZADAS |
| 51 | - | - | • | • |
| 51N | - | - | • | • |

5.3.6.2 Consideraciones de evaluación del paño:

En relación con las funciones habilitadas y las particularidades de la instalación, no aplica (N/A) la evaluación de las siguientes tablas expuestas en el punto 3:

- Evaluación Específica de Ajustes y Configuración de la Protección:
 - K: Función diferencial de transformador.
 - L: Función de distancia.
 - M: Función de falla de interruptor.
 - N: Función de sobrecorriente. El ECAP no define lógicas ni bloqueos de las funciones de sobrecorriente.
 - P.7: Generalidades: el diseño de la subestación no considera paños de transferencia en los niveles de tensión de 23[kV].
- Evaluación Específica de Pruebas de Inyección Secundaria:
 - R: Función diferencial de transformador.
 - S: Función de distancia.
 - T: Función de falla de interruptor.
- Evaluación Específica de Pruebas Comtrade
 - X: El Coordinado confirma que no existen fallas previas a la auditoría que guardan relación con una operación indeseada del equipo de protección.
- Análisis de circuitos de control de Reconectador.
 - D.5, P.3: El equipo interruptor corresponde a un dispositivo tipo “reconectador”, el cual está compuesto principalmente por un control, que incorpora las funciones de protección, y un equipo de maniobras. A partir de lo anterior, las vías de disparo o desenganche entre el equipo de control y maniobras, vienen especificadas por el fabricante, lo que no permite realizar un seguimiento y análisis de estas.

5.3.6.3 Detalle de hallazgos:

a. Evaluación actividades en terreno, inspección visual.

- Ítem # A.2.2: (M) Existen conductores en bornes de protección que no presentan marcas de identificación origen o destino.

Comentario Específico: Con el fin de facilitar labores de mantenimiento o intervenciones correctivas de emergencia, se sugiere identificar los conductores con marcas que indiquen origen y/o destino para los circuitos más críticos para el correcto desempeño de la protección como son los siguientes circuitos: señales análogas de corriente y tensión, señales de disparo y cierre de interruptores, señales de estados abierto y cerrado de interruptores, señales de bloqueos de lógicas de protecciones y señal de alimentación de la protección como tal.

b. Evaluación actividades en terreno, sincronización horaria.

- Ítem # E.1, E.2, G.3: (R) El equipo no presenta conexasión con equipo de sincronización horaria GPS, sin embargo, la hora y fecha se encuentran de acuerdo con el horario actual.

Comentario Específico: Se debe conectar y sincronizar la protección con un equipo de referencia horaria por GPS a través del protocolo IRIG-B y así cumplir con lo declarado por norma técnica en el artículo 3-24 (versión diciembre 2019).

c. Evaluación de planos, recepción de información.

- Ítem # F.2, F.3, J.1 (M) No se reciben planos que permitan identificar todos los circuitos conectados al equipo.

Comentario Específico: El equipo tiene las características en que el conexasión entre equipo de control y el de protección responde a uno sellado y de fábrica, sin embargo, existen alambrados asociados a ciertas señales, que no pertenecen al conexasión de fábrica, para los cuales no se reciben planos. Se debe disponer de un set completo de planos en versión as-built que permitan identificar todos los circuitos asociados al equipo auditado.

d. Coherencia de información, DUF.

- Ítem # G.1: (M) El ajuste de la protección presenta habilitadas las funciones 51 y 51N, sin embargo, no se recibe ECAP para el equipo auditado y el DUF no indica las funciones habilitadas para este.

Comentario Específico: Se debe disponer de un ECAP que defina las funciones habilitadas para el equipo y actualizar el DUF conforme a estas.

e. Evaluación de ajustes y configuración, ECAP.

- Ítem # G.1, G.2, I.2, P.1: (R) No se recibe ECAP asociado al equipo auditado que defina criterios y ajustes de las funciones a configurar.

Comentario Específico: Se debe disponer de un ECAP que defina los ajustes para el equipo auditado.

f. Evaluación de ajustes y configuración, registro oscilográfico.

- Ítem # H.1: (M) La configuración del parámetro "Event capture total length", asociado a la duración del registro oscilográfico, se encuentra ajustada en "8".

Comentario Específico: Si bien la duración del registro oscilográfico no corresponde a una exigencia normativa en el nivel de tensión al cual se encuentra sometido el paño, se sugiere extender el largo del registro total y la prefalla de este, con el fin de obtener la mayor cantidad de información para el análisis de fallas.

g. Pruebas de inyección secundaria. Precisión del equipo.

- Ítem # Q.1, U.2: (R) Se observa durante la prueba de verificación de inyección secundaria, que las medidas del relé presentan desviaciones mayores a las esperadas y que las pruebas de verificación de las curvas características de sobrecorriente de fase y neutro son mayores a las definidas en el manual del fabricante. Se destaca que las desviaciones respecto a la curva característica ponen en riesgo la selectividad de la protección ante las fallas.

Comentario Específico: Se deben repetir las pruebas de verificación con inyección secundaria asegurando que estas sean exitosas y respondan a las especificaciones del fabricante, de ser necesario, se debe analizar consultar con el fabricante el comportamiento indeseado del equipo o el remplazo del equipo propiamente tal.

h. Base Infotécnica, falta del ECAP en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.8: (R) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un ECAP actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del ECAP vigente asociado al equipo de protección auditado en la plataforma de Infotécnica.

i. Base Infotécnica, Print Out en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.9: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un Print Out actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe cargar en la base de Infotécnica el Print Out de ajustes actualizado generado a partir del proceso de auditoría.

j. Base Infotécnica, falta del DUF en plataforma web.

- Ítem # G.3, P.10: (M) Se evidencia que en el apartado de "sistemas de protecciones" de la plataforma Infotécnica no se dispone de un DUF actualizado relacionado con el equipo auditado.

Comentario Específico: Se debe disponer del DUF vigente asociado a la subestación en la plataforma de Infotécnica.

6 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN TEÓRICOS DE PROTECCIONES

En la presente sección, se verificará la operación de las funciones de protección de los relés dispuestos en los paños de media tensión del transformador de la S/E Pozo Almonte, junto con la operación de las funciones de protección de los relés dispuestos en las cabeceras de los alimentadores.

Para la realización de lo anterior se han considerado los ajustes actuales encontrados en los equipos de protección al momento de realizar las pruebas de inyección secundaria en la subestación en el proceso de la Auditoría Técnica. Cabe destacar que los casos de discrepancias de estos ajustes con respecto al ECAP vigente, se mencionan en la sección anterior para cada protección revisada. Por otro lado, la topología evaluada se basa en lo expuesto en el ECAP enviado en el proceso de auditoría técnica, que consiste en la operación radial de la S/E Pozo Almonte.

En la verificación se considera un escenario de evaluación, en el cual se configura el nivel de cortocircuito máximo en barra disponible en la base de datos en Power Factory DigSilent del Sistema Eléctrico Nacional emitida por el Coordinador Eléctrico Nacional en abril de 2022, teniendo en cuenta activo el escenario de operación "Día laboral demanda alta". Además, se consideran despachadas las centrales Chapiquiña, PFV La Huayca II, PFV Pampa Camarones, PFV Pozo Almonte Solar II y PFV Pozo Almonte Solar III.

Se consideran los siguientes criterios:

- Tiempo de paso de 300 [ms] entre la operación de la protección de la barra de media tensión del transformador con las protecciones dispuestas en las cabeceras de los alimentadores conectados, según los lineamientos de la NTSyCS en su artículo 5-40, literal e).
- Para la protección del paño de media tensión del transformador, el despeje de fallas debe realizarse en tiempos no mayores a 400 [ms], siguiendo los lineamientos de la NTSyCS en su Art. 3-24 literal b), numeral III.

La S/E Pozo Almonte cuenta con tres paños designados como CT3, E1 y E2.

Para la evaluación se analiza el desempeño de las funciones de sobrecorriente de fase (51/50) y sobrecorriente residual (51G/50G) de los equipos de protección al ejecutar fallas trifásicas, bifásicas aisladas de tierra, bifásicas a tierra, monofásicas a tierra sin impedancia y con impedancia de 25 [Ω] y 50 [Ω] en las cabeceras de los alimentadores.

A continuación, se expone un diagrama unilineal simplificado de la S/E Pozo Almonte.

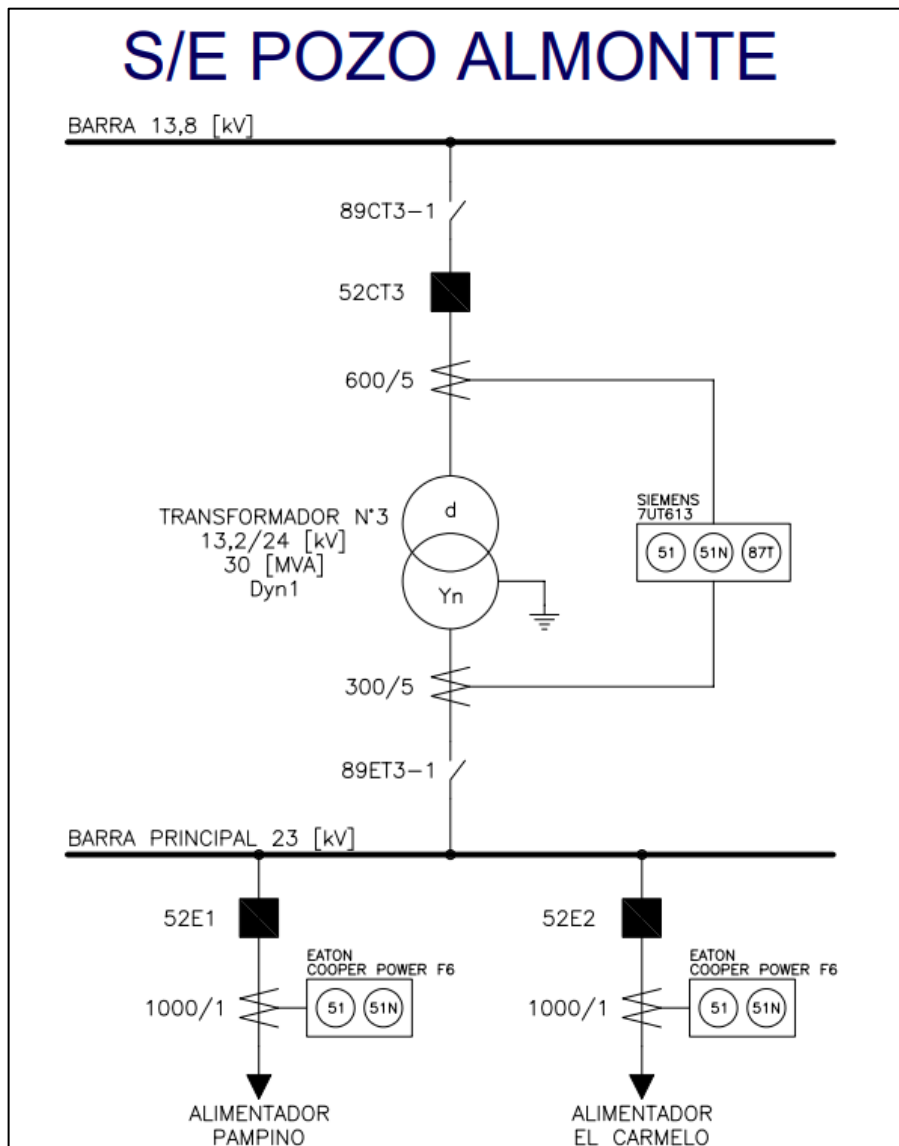


Figura 6-1: DUF simplificado S/E Pozo Almonte

Los parámetros eléctricos considerados en el modelamiento del transformador de la S/E Pozo Almonte se muestran a continuación según sus datos de placa:

Tabla 6-1: Datos de placa asociados a los transformadores de poder de la S/E Pozo Almonte

| Parámetros | T3 |
|------------------------------------|-----------|
| Capacidad nominal [MVA] | 12 |
| Tensión nominal AT [kV] | 24 |
| Tensión nominal BT [kV] | 13,2 |
| Impedancia secuencia positiva [%] | 9,672 |
| Impedancia secuencia cero [%] | 8,796 |
| Potencia base de impedancias [MVA] | 12 |
| Pérdidas en el cobre [kW] | 59 |
| Grupo de conexión | Ynd1 |
| Neutro sólidamente aterrizado | Sí |
| Resistencia de neutro (Ohm) | N/A |

Por otro lado, se exponen los ajustes de las funciones de protección consideradas para el análisis de coordinación.

Tabla 6-2: Resumen de ajustes de funciones de sobrecorriente S/E Pozo Almonte.

| Paño | Función | Relé | TT/CC | Pickup primario [A] | Curva | Dial | Tiempo definido [s] | Sumador [s] |
|-------------|----------------|-------------|--------------|----------------------------|--------------------|-------------|----------------------------|--------------------|
| CT3 | 51 | 7UT6135 | 600/5 | 714 | IEC Normal Inverse | 0,33 | - | - |
| | 51N | | | 60 | IEC Normal Inverse | 0,10 | - | - |
| E1 | 51 | Form 6 | 1000/1 | 240 | 119 | 1,20 | - | - |
| | 51N | | | 40 | 200 | 0,32 | - | - |
| E2 | 51 | Form 6 | 1000/1 | 90 | 117 | 2,00 | - | 0,10 |
| | 51N | | | 20 | 135 | 0,10 | - | - |

La siguiente figura muestra un diagrama simplificado de la zona de interés, acorde a la base de datos del Sistema Eléctrico Nacional publicada en abril de 2022, para escenario de operación de demanda alta, considerando las centrales Chapiquiña, PFV La Huayca II, PFV Pampa Camarones, PFV Pozo Almonte Solar II y PFV Pozo Almonte Solar III en servicio.

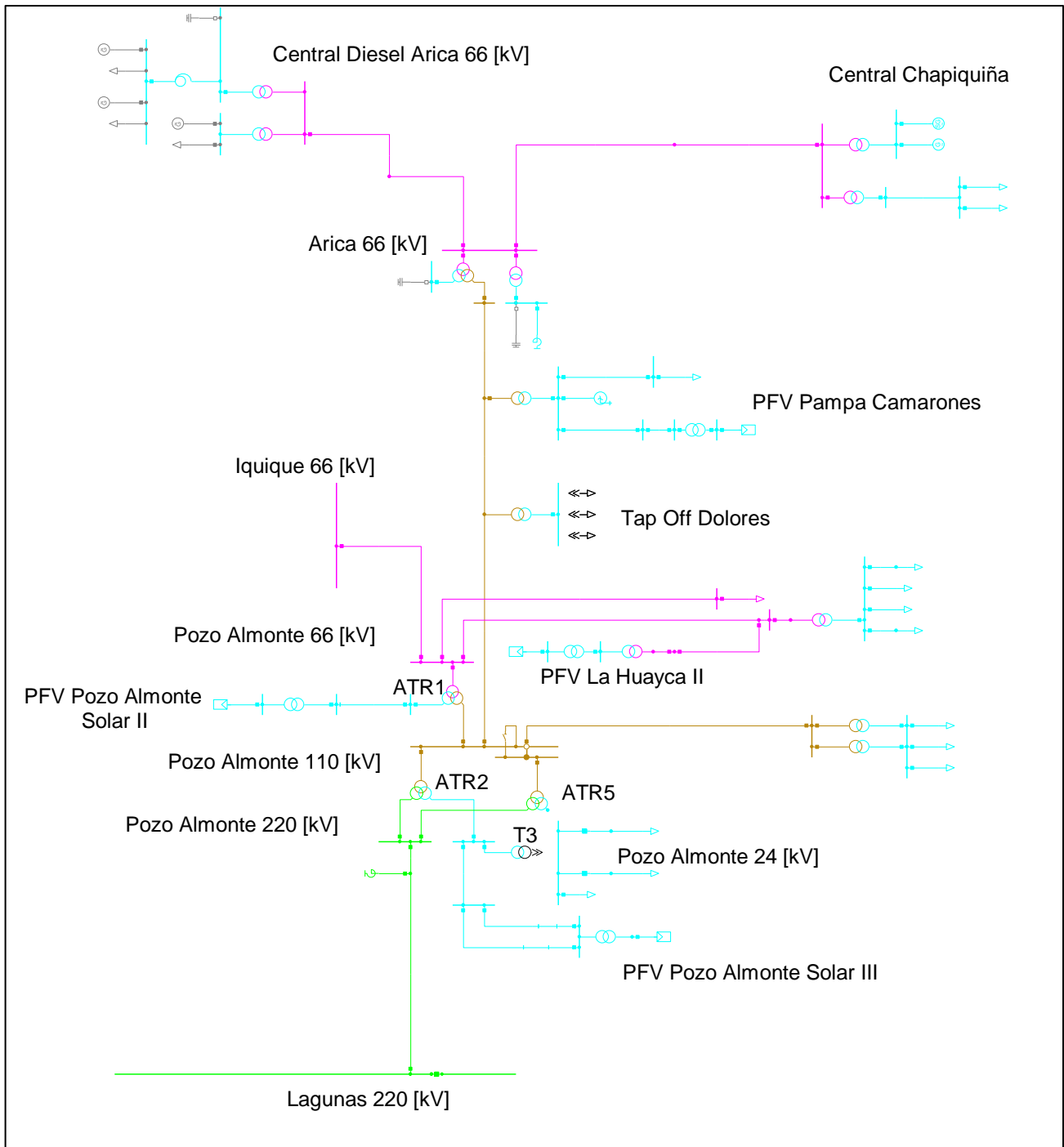


Figura 6-2 Diagrama unilineal simplificado de la zona de interés - Sistema Eléctrico Nacional.

6.1 DIAGRAMAS DE TIEMPO CORRIENTE DE SOBRECORRIENTE DE FASE Y RESIDUAL

A continuación, se expone la modelación de las funciones de protección asociadas a los paños de media tensión conectados a la barra de 23 [kV] del transformador N°3 de la S/E Pozo Almonte. Las funciones de protección modeladas están parametrizadas en los equipos de protección asociados a los paños CT3, E1 y E2 pertenecientes a la S/E Pozo Almonte.

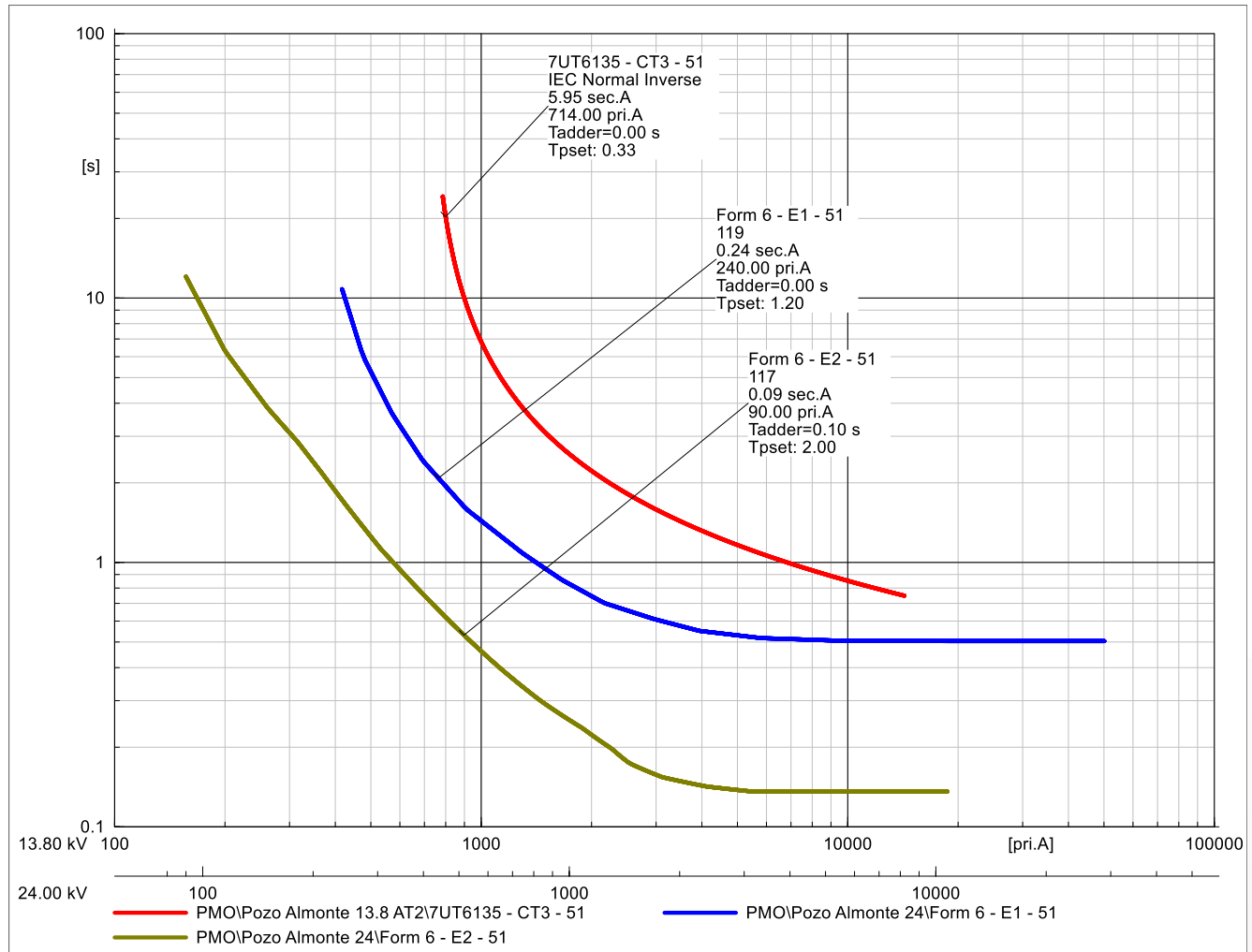


Figura 6-3: Curvas de sobrecorriente de fases parametrizadas en los equipos de protección asociado a los paños CT3, E1 y E2.

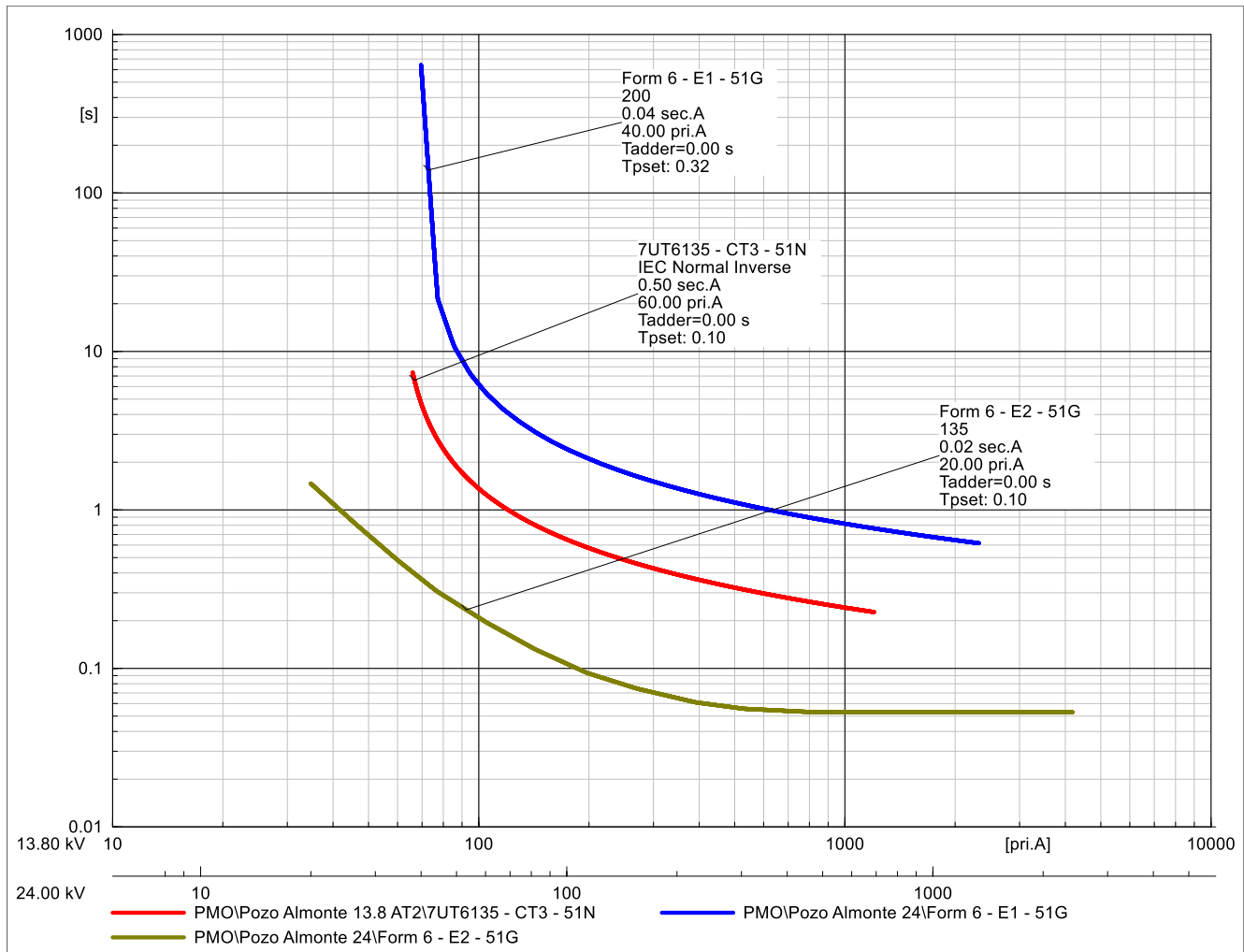


Figura 6-4 Curvas de sobrecorriente de residuales y de neutro parametrizadas en los equipos de protección asociados a los paños CT3, E1 y E2.

El análisis para distintos tipos de fallas y sus respectivos diagramas tiempo corriente se exponen en el Anexo I de este documento, para fallas trifásicas, bifásicas aisladas de tierra, bifásicas a tierra, monofásicas a tierra sin impedancia y con impedancia de 25 [Ω] y 50 [Ω] en las cabeceras de los alimentadores. A continuación, para las mismas fallas mencionadas se exponen las tablas de tiempos de operación y los análisis pertinentes.

6.1.1 Tablas de tiempo de operación y tiempos de paso

Se exhiben a continuación las tablas de tiempo operación de las funciones de protección para fallas trifásicas, bifásicas, bifásicas a tierra, monofásicas a tierra sin impedancia y con impedancia de 25 y 50 [Ω] en la barra de media tensión y en las cabeceras de los alimentadores de S/E Pozo Almonte, energizados desde el transformador N°3.

Para la confección de la siguientes tabla, se ejecutaron cortocircuitos individuales en las cabeceras de cada paño de los alimentadores y se exponen todas las operaciones registradas.

Tabla 6-3: Tablas de tiempo de operación ante fallas en la cabecera de los alimentadores E1 y E2

| Paño | Sistema | Función | Tipo de Falla | | | | | |
|----------|----------------|---------|-----------------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| | | | 3F | 2F | 2F-T | 1F-T | 1F-T Z=25 [ohm] | 1F-T Z=50 [ohm] |
| CT3 | SIEMENS 7UT613 | 51 | 1,348 | 1,361 | 1,355 | 1,790 | - | - |
| | | 51N | - | - | - | - | - | - |
| E1 | COOPER FORM 6 | 51 | 0,564 | 0,598 | 0,546 | 0,544 | 1,408 | 4,645 |
| | | 51G | - | - | 0,616 | 0,616 | 0,812 | 1,088 |
| E2 | COOPER FORM 6 | 51 | 0,147 | 0,154 | 0,142 | 0,141 | 0,451 | 1,157 |
| | | 51G | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,053 | 0,056 |
| Paños | | | Tiempos de Paso | | | | | |
| CT3 - E1 | | | 0,784 | 0,763 | 0,808 | 1,245 | - | - |
| CT3 - E2 | | | 1,201 | 1,207 | 1,302 | 1,737 | - | - |

Tabla 6-4: Tablas de tiempo de operación ante fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la S/E Pozo Almonte

| Paño | Sistema | Función | Tipo de Falla | | | | | |
|------|----------------|---------|---------------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| | | | 3F | 2F | 2F-T | 1F-T | 1F-T Z=25 [ohm] | 1F-T Z=50 [ohm] |
| CT3 | SIEMENS 7UT613 | 51 | 1,348 | 1,361 | 1,355 | 1,790 | - | - |
| | | 51N | - | - | - | - | - | - |

6.1.2 FALLA EN BARRA 24 [kV] DEL TRANSFORMADOR N°3 DE LA S/E POZO ALMONTE.

A continuación, se muestran las figuras con las funciones de sobrecorriente de fase y residual parametrizadas en los equipos asociados a los paños del transformador, para fallas trifásicas, bifásica, bifásica a tierra y monofásicas a tierra con y sin impedancia, en la barra de media tensión de la S/E Pozo Almonte.

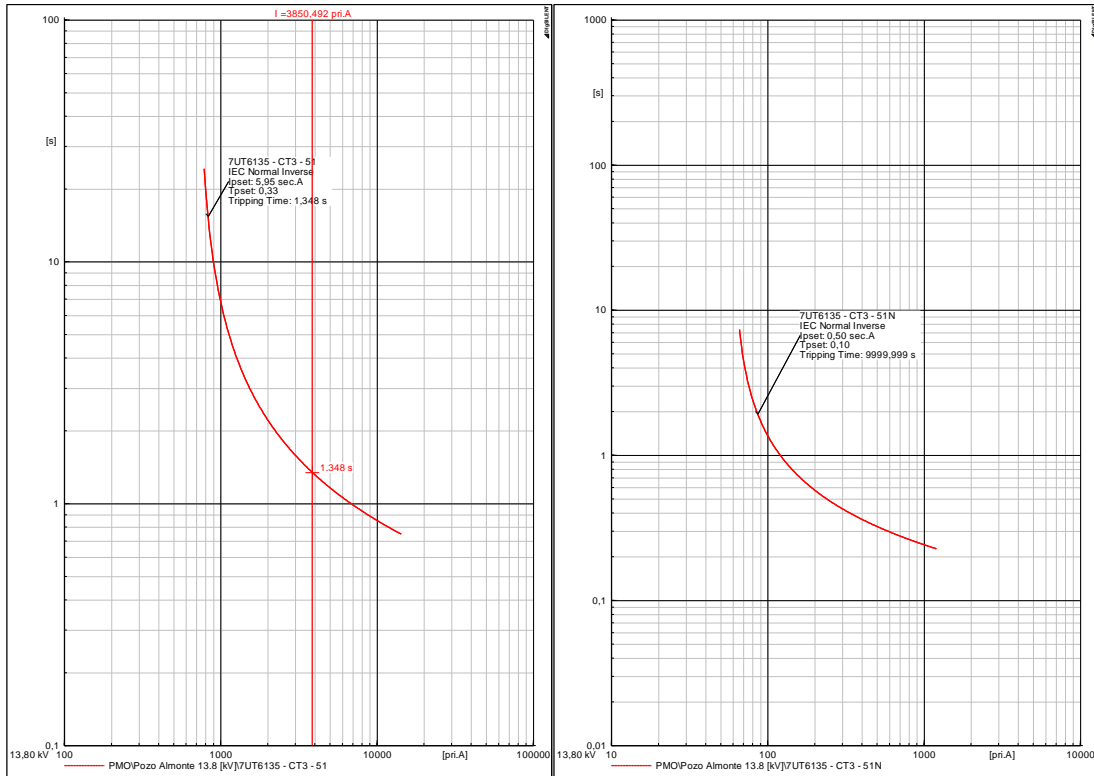


Figura 6-5 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla trifásica.

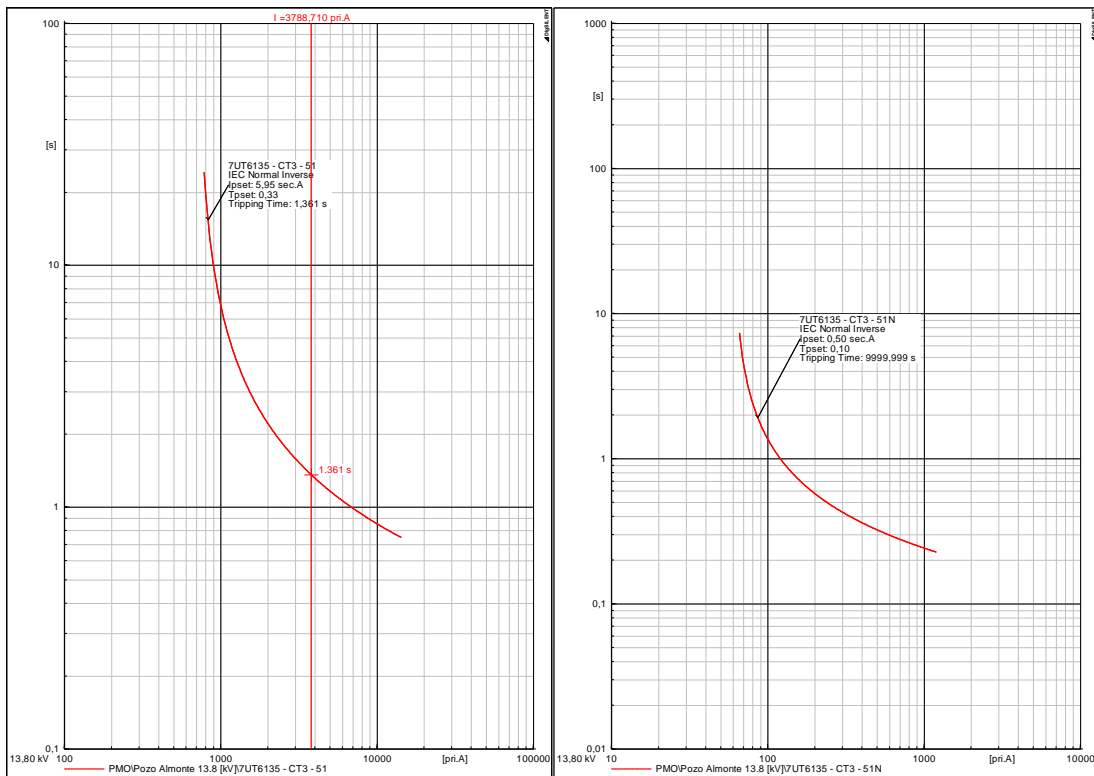


Figura 6-6 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla bifásica.

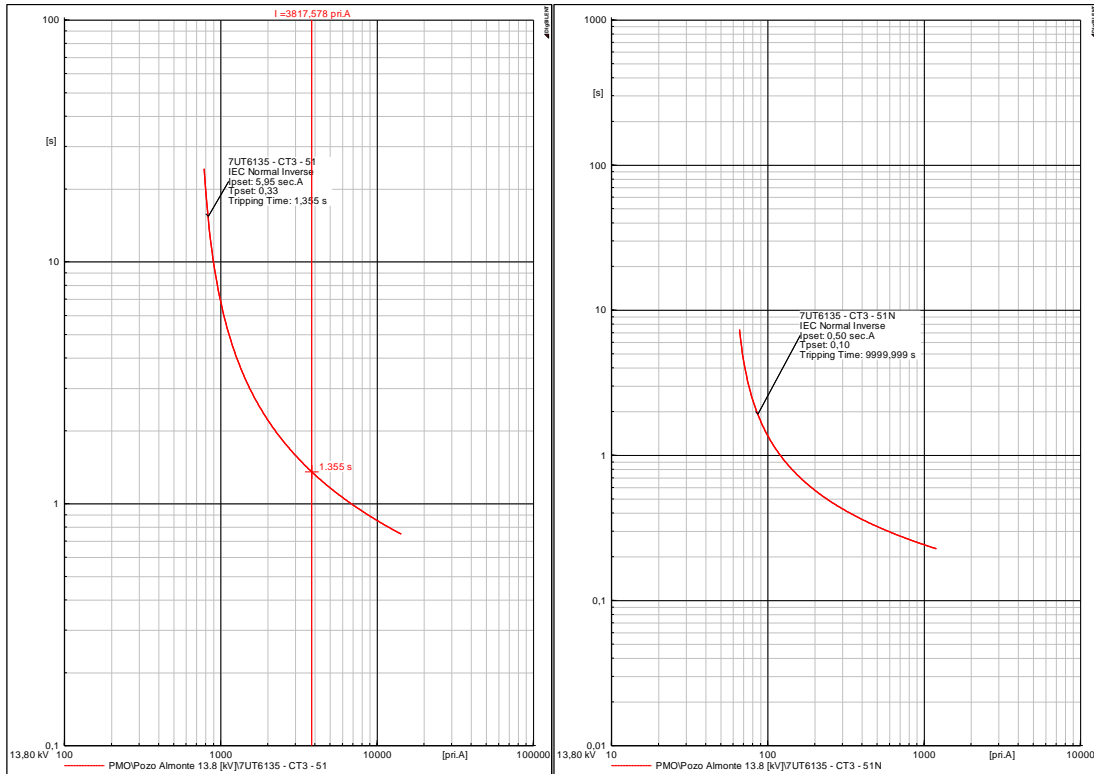


Figura 6-7 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla bifásica a tierra.

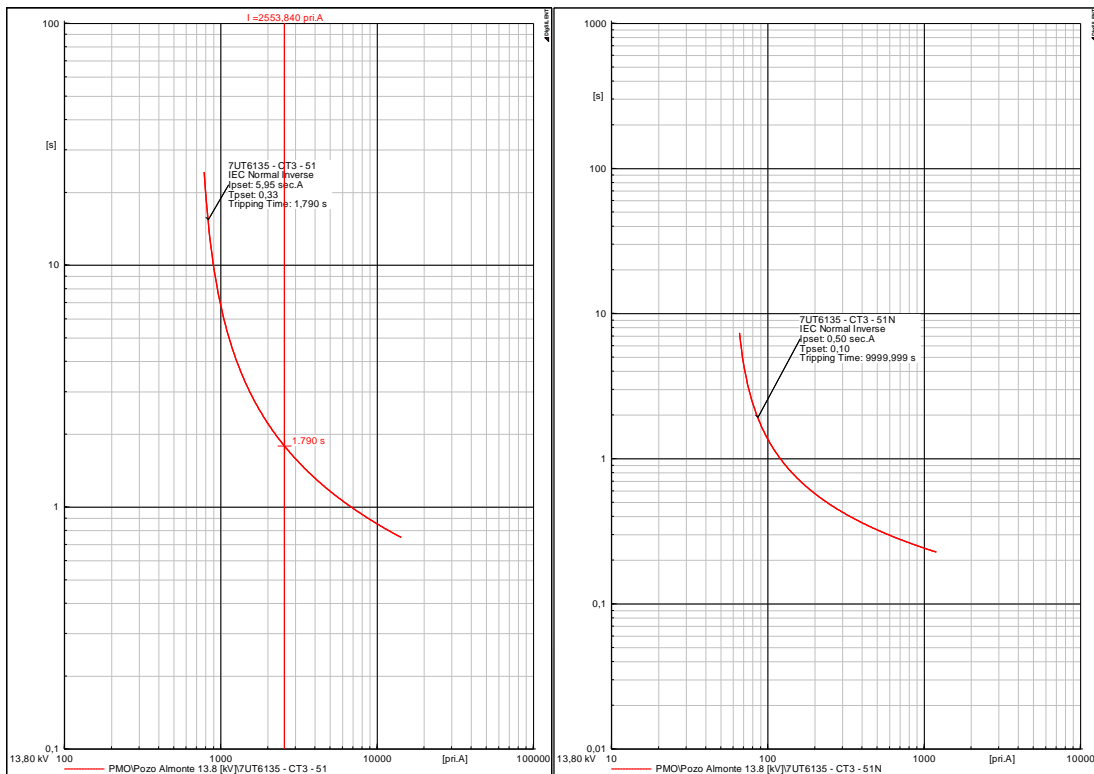


Figura 6-8 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla monofásica a tierra.

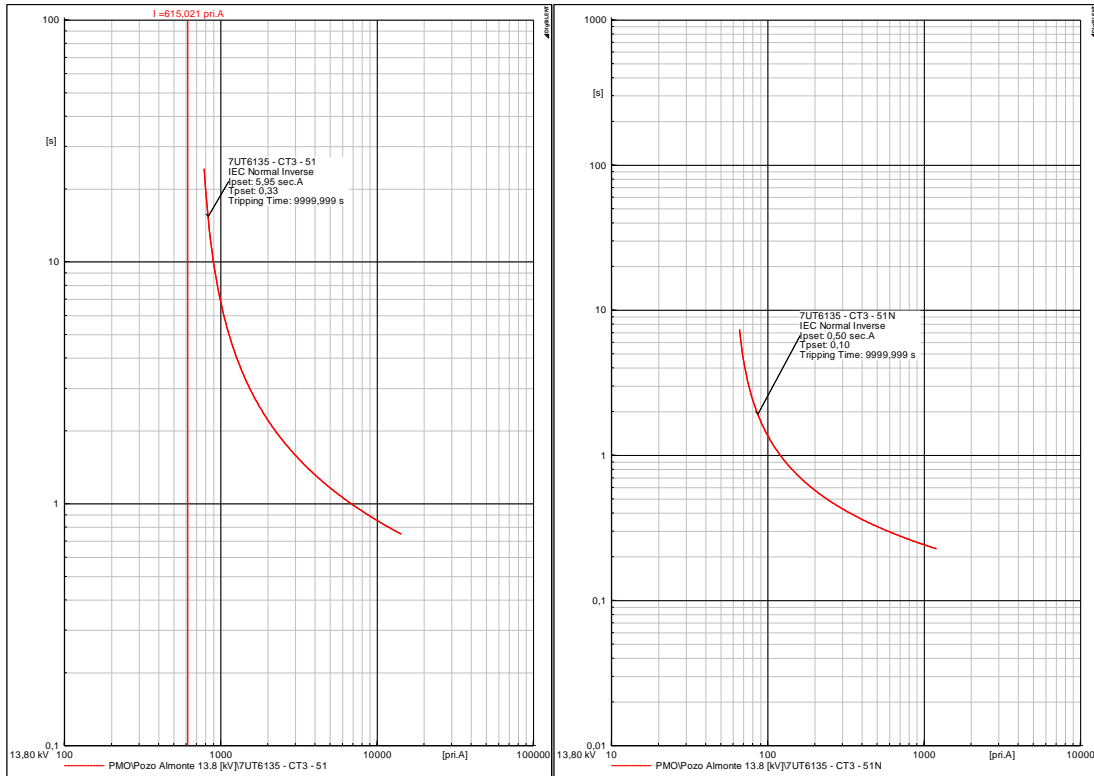


Figura 6-9 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla monofásica 25 [Ohm].

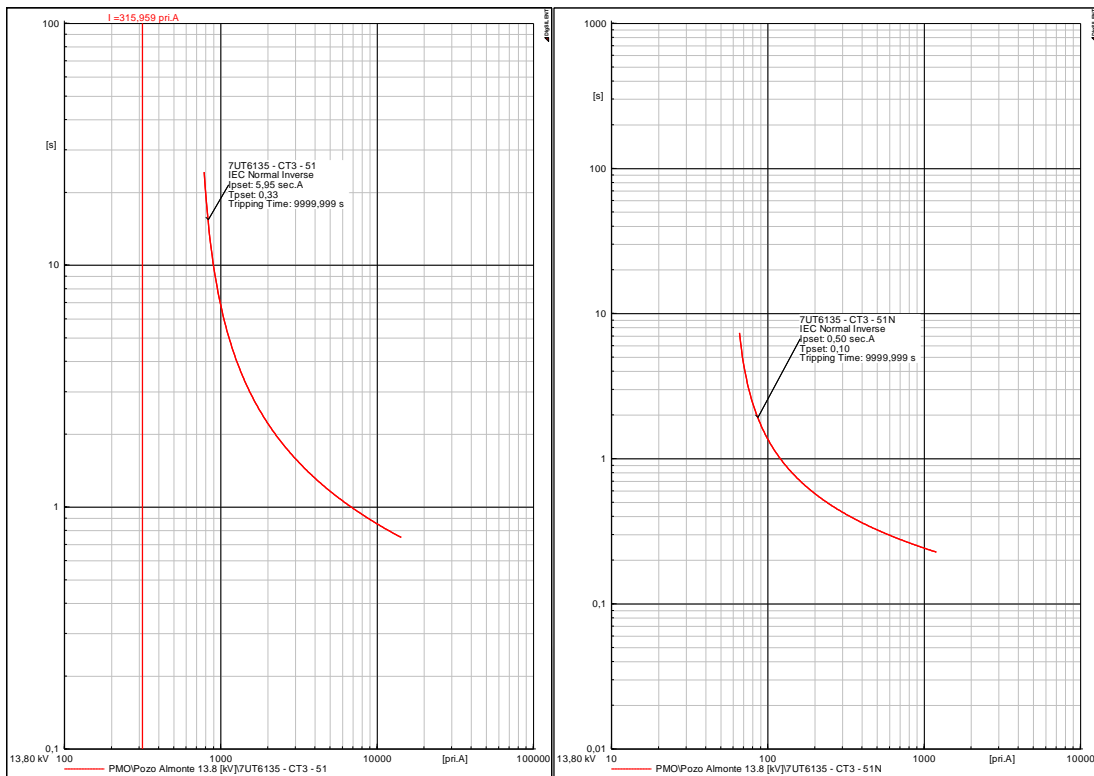


Figura 6-10 Figuras de sobrecorriente de fase y residual, falla monofásica 50 [Ohm].

6.1.3 ANÁLISIS Y COMENTARIOS.

- De las tablas anteriores, se observa que para distintos tipos de fallas en la cabecera del alimentador E1 y en la cabecera del alimentador E2, existe un tiempo de paso superior a 300 [ms] entre la protección dispuesta en la cabecera de los alimentadores, con la protección del paño general de media tensión CT3 del transformador de poder N°3 de la S/E Pozo Almonte. Esta condición no compromete la selectividad del sistema de protecciones de la subestación.
- Se observa que para fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la subestación, el tiempo de despeje de estas es superior a 400[ms], por lo que no se cumple con lo exigido en el Art. 3-24 literal b), numeral III de la NTSyCS.
- Ante fallas monofásicas con impedancia de 25 [Ω] y 50 [Ω] en barra de media tensión de 23 [kV], no hay operación de la protección asociada al paño CT3. Esto compromete la sensibilidad del sistema de protecciones.

6.2 NIVEL DE CORTOCIRCUITO EN LA BARRA DE MEDIA TENSIÓN DE LA SUBESTACIÓN

A continuación, se expone el nivel de cortocircuito evaluado al ejecutar fallas trifásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas a tierra en las barras de media tensión de 13,8 [kV] y 23[kV] de subestación Pozo Almonte.

Tabla 6-5: Nivel de cortocircuito en condición de operación para fallas en la barra MT de 13,8[kV] de S/E Pozo Almonte

| Falla en Barra MT | 3F | 2F | 2F-T | 1F-T | 1F-T 25 [ohm] | 1F-T 50 [ohm] |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| $I_{k''}$ [kA] | 11,094 | 9,195 | 9,195 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| 3I0 [kA] | | | 0,002 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |

Tabla 6-6: Nivel de cortocircuito en condición de operación para fallas en la barra MT de 23[kV] de S/E Pozo Almonte

| Falla en Barra MT | 3F | 2F | 2F-T | 1F-T | 1F-T 25 [ohm] | 1F-T 50 [ohm] |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| $I_{k''}$ [kA] | 2,117 | 1,805 | 2,378 | 2,433 | 0,586 | 0,301 |
| 3I0 [kA] | - | - | 2,969 | 2,433 | 0,586 | 0,301 |

Tabla 6-7: Nivel de cortocircuito de fases vistos desde el paño CT3 para fallas en la barra de 23 [kV] de S/E Pozo Almonte

| Falla en Barra MT | 3F | 2F | 2F-T | 1F-T | 1F-T 25 [ohm] | 1F-T 50 [ohm] |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| $I_{k''}$ Fase A [kA] visto en CT3 | 3,850 | 1,894 | 2,497 | 2,554 | 0,615 | 0,316 |
| $I_{k''}$ Fase B [kA] visto en CT3 | 3,850 | 1,894 | 2,431 | 2,554 | 0,615 | 0,316 |
| $I_{k''}$ Fase C [kA] visto en CT3 | 3,850 | 3,788 | 3,818 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Los valores indicados anteriormente fueron obtenidos considerando los siguientes niveles de cortocircuito e impedancias en la barra de 13,8 [kV] de la subestación Pozo Almonte:

Tabla 6-8: Valores de impedancias y corrientes para una falla en la barra de 13,8 [kV] de la S/E Pozo Almonte según base de datos del mes de abril de 2022 emitida por el CEN.

| Max. Values | |
|------------------------------------|-------------|
| Short-Circuit Power $S_{k''max}$ | 265,18 MVA |
| Short-Circuit Current $I_{k''max}$ | 11,09433 kA |
| R/X Ratio (max.) | 0,053 |
| Impedance Ratio | |
| Z2/Z1 max. | 1,089873 |
| X0/X1 max. | 9304,643 |
| R0/X0 max. | 0,00005844 |

6.3 RESUMEN DE HALLAZGOS RELATIVOS AL ANÁLISIS DE COORDINACIÓN

Se observa que para fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la subestación, el tiempo de despeje de estas es superior a 400[ms], por lo que no se cumple con lo exigido en Art. 3-24 literal b), numeral III de la NTSyCS. Adicionalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, ante falla monofásica con impedancia de 25 [Ω] y 50 [Ω] en barra de media tensión 23 [kV] de la S/E Pozo Almonte, no existe operación de la protección asociada al paño CT3. Esto compromete la sensibilidad del sistema de protecciones.

Se sugiere analizar y definir nuevos ajustes que permitan acotar el tiempo de despeje de fallas en la barra de media tensión de 23[kV] de la subestación Pozo Almonte, a través de un estudio de ajustes de protecciones.

Por otra parte, se evidencia la incorporación del PMGD PFV TAMARUGO posterior a la fecha de emisión del ECAP recibido durante el proceso de auditoría relacionado con el paño CT3, por lo que, se debe actualizar el ECAP considerando la incorporación del PMGD mencionado.

7 CONCLUSIONES

El alcance de los análisis y conclusiones de la auditoría técnica realizada a S/E Pozo Almonte, se circunscribe a los equipos de protecciones, la consistencia con su información técnica recibida (planos elementales de control, diagramas unilineales, ECAP, entre otros), a sus parámetros y lógicas programadas, alambrados en sus bornes, lectura de sus medidas analógicas con carga, y finalmente al desempeño del hardware y software de los equipos de protecciones a partir de las pruebas de inyección secundarias realizadas por el coordinado en terreno.

Desde el punto de vista de las instalaciones (pañes y sus protecciones) definidas dentro del alcance de la auditoría, no quedan pruebas pendientes, incompletas o que deban repetirse en terreno en las que deba participar el auditor. Sin perjuicio de lo anterior, y como parte del plan de acción para subsanar los hallazgos presentados, no se descarta la necesidad de completar o repetir ciertas actividades en terreno, como las siguientes:

- Se deben repetir las pruebas de la protección Cooper Power F6 del paño E2. En caso de ser necesario se sugiere consultar con fábrica sobre el comportamiento del equipo o analizar el reemplazo del equipo.

De los hallazgos relevantes detectados durante el proceso de auditoría, se pueden destacar los siguientes:

- Las protecciones asociadas a los paños alimentadores E1 y E2 no disponen de un ECAP que defina parámetros ni ajustes.
- El equipo de protección del paño E2 presenta desviaciones en su operación respecto a las tolerancias definidas en el manual del fabricante, las cuales deben ser analizadas.
- Ninguno de los equipos de protección auditados se encuentra sincronizados horariamente a través un reloj GPS.
- Por otra parte, se evidencia la incorporación del PMGD PFV TAMARUGO posterior a la fecha de emisión del ECAP recibido relacionado con el paño CT3. En base a lo anterior se debe actualizar el ECAP considerando la incorporación del PMGD indicado.
- La plataforma Infotécnica se encuentra desactualizada respecto del ECAP recibido durante el proceso de auditoría.

Respecto a los hallazgos menores detectados, se destacan los siguientes:

- En el Diagrama Unilíneal las funciones habilitadas en los relés de protección no coinciden con las definidas por el ECAP o habilitadas en el equipo.
- Falta de un set completo de diagramas elementales en versión As Built que detallen todos los circuitos involucrados en los equipos de protección de cada uno de los paños auditados.
- Los bornes y conductores de los gabinetes de control de las protecciones asociadas a los paños alimentadores E1 y E2 no cuentan con marcas identificatorias.
- La plataforma Infotécnica se encuentra desactualizada respecto del DUF y los Print Out de los equipos recibidos durante el proceso de auditoría.

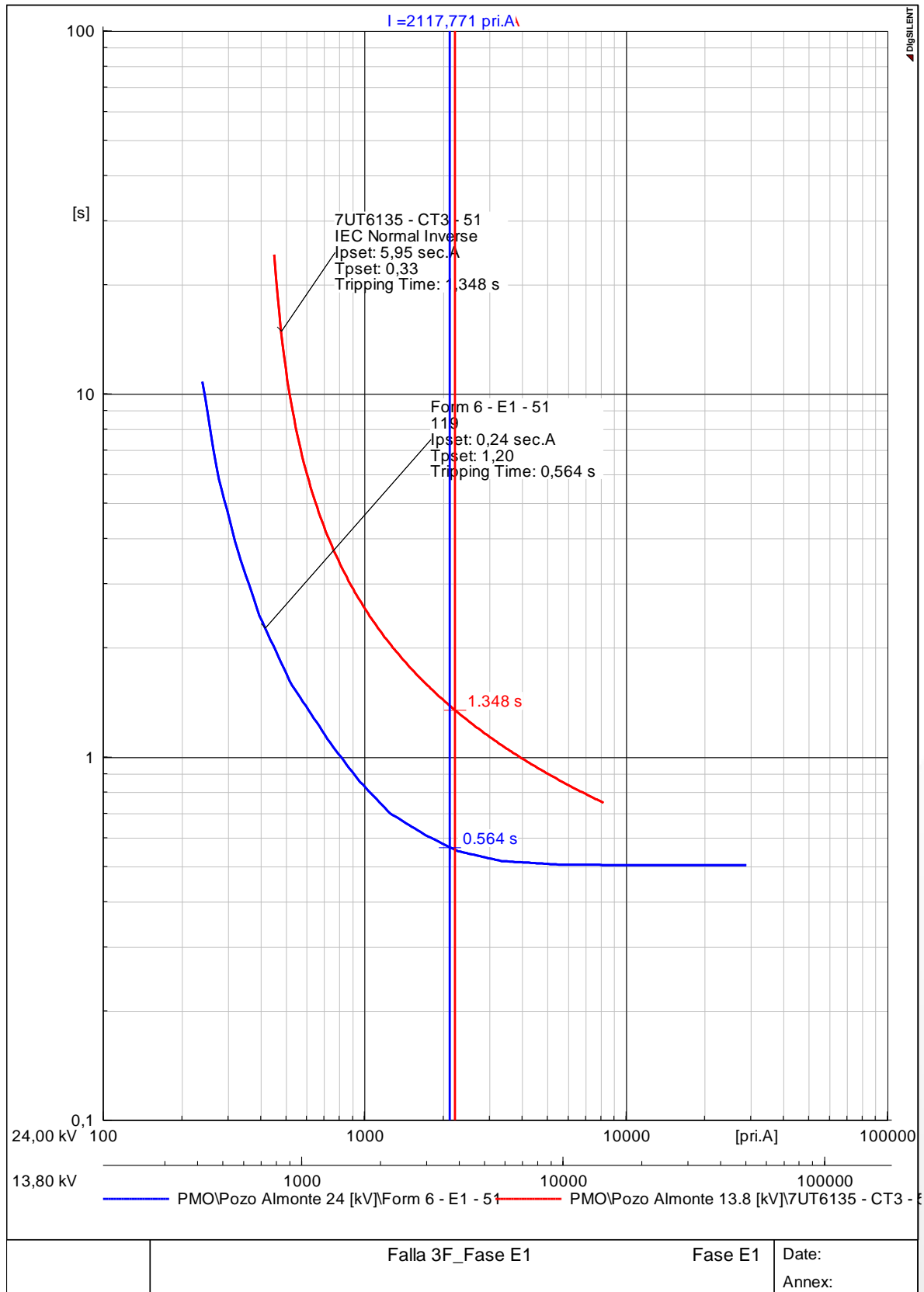
En específico al cumplimiento normativo de las protecciones auditadas, se destaca lo siguiente:

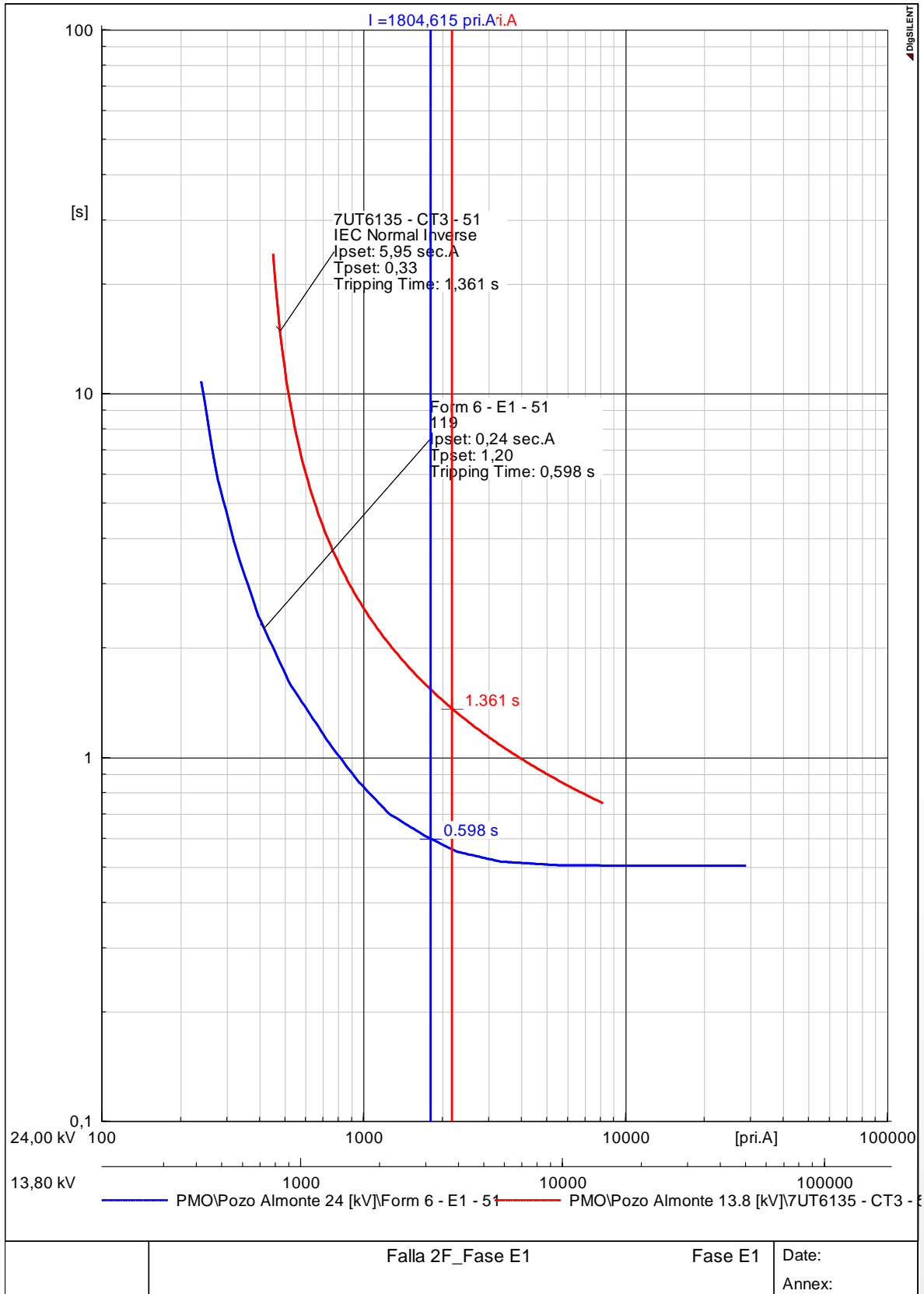
- Art. 3-24, literal b), numeral III: los tiempos de operación para despeje de fallas en la barra de media tensión de 23 [kV] son superiores a 400[ms], lo cual no cumple los tiempos definidos por la normativa técnica.
- Art. 3-24, literal c): El paño transformador N°3 está protegido con un esquema diferencial simple, a través del relé Siemens 7UT613, lo cual cumple con lo estipulado en la normativa técnica.
- Art. 3-24, última viñeta: La protección diferencial asociada al paño transformador N°3 está configurada de manera tal, que no permite su sincronización con un equipo GPS, a pesar de estar conectados. Las protecciones asociadas a los paños alimentadores E1 y E2 no están conectadas a un equipo GPS. Ambas situaciones incumplen con lo definido por la normativa técnica.
- Artículo 5-40, literal e): los tiempos de paso entre los equipos de protección asociados al paño del transformador N°3 CT3, y los paños alimentadores E1 y E2, son superiores a 300[ms], esto no compromete la selectividad del sistema de protecciones, lo cual cumple con lo definido por la normativa técnica.
- Artículo 6-4: La información provista desde el coordinado para el Coordinador, a través de la base Infotécnica, no cuenta con el ECAP, Print Outs ni DUF vigente de ninguno de los paños auditados. Esta situación incumple con lo exigido en la normativa técnica.

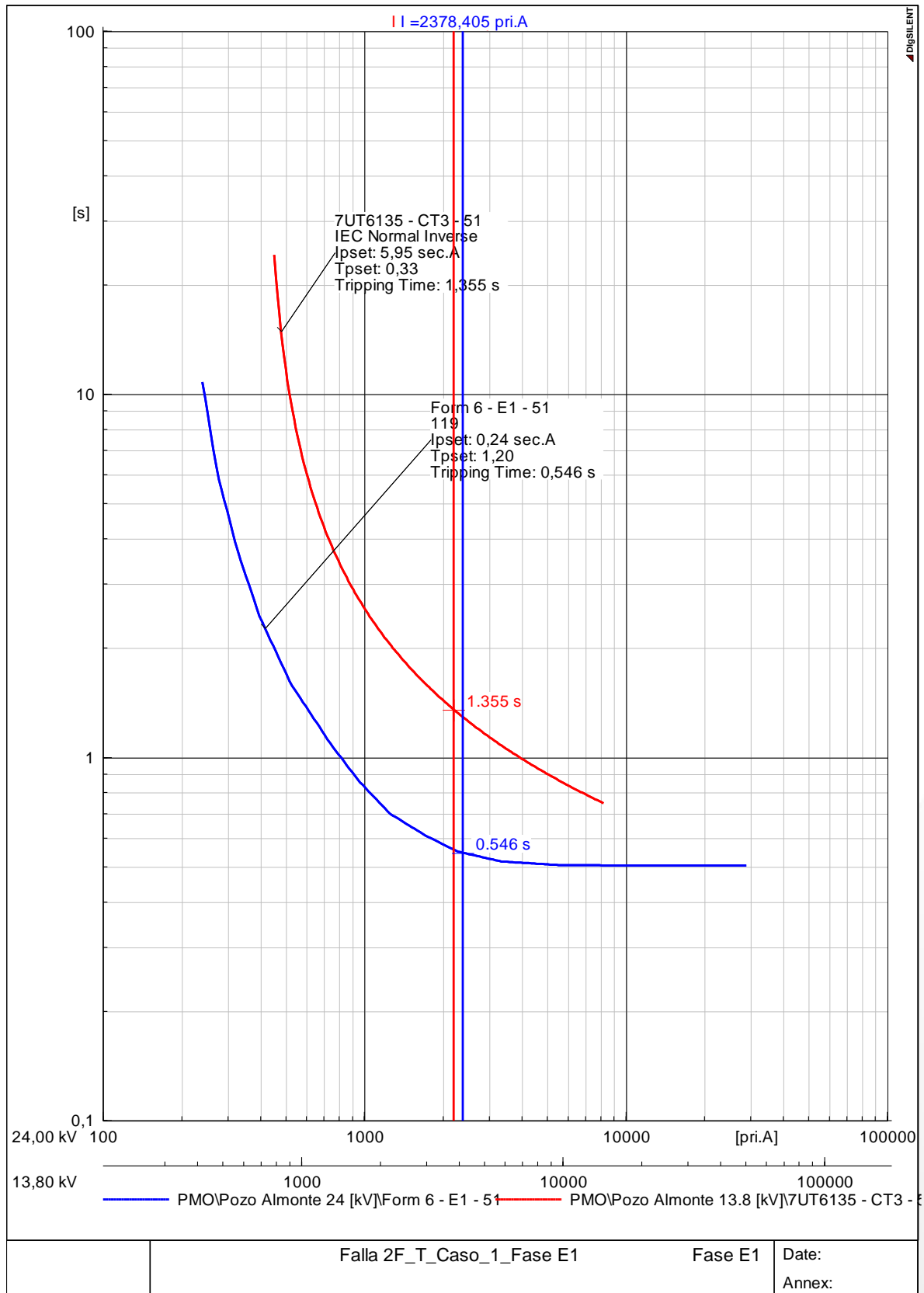
Finalmente, se sugiere que las recomendaciones realizadas en este documento sean extendidas al resto de las instalaciones inspeccionadas en el marco de este proceso de auditoría técnica, y que hayan sido diseñadas y construidas bajo los mismos criterios técnicos y de diseño de S/E Pozo Almonte.

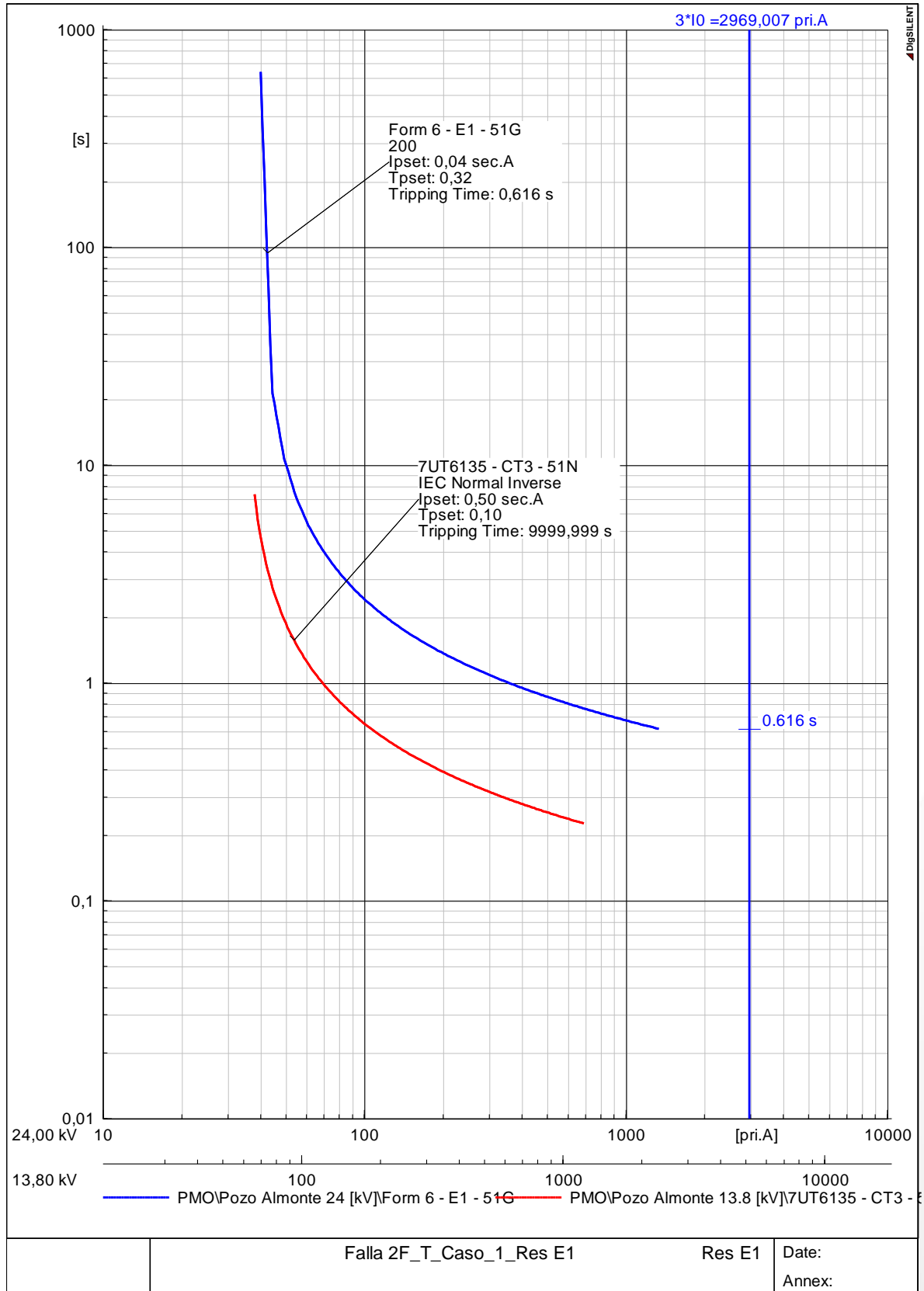
ANEXO I – FIGURAS DE SOBRECORRIENTE

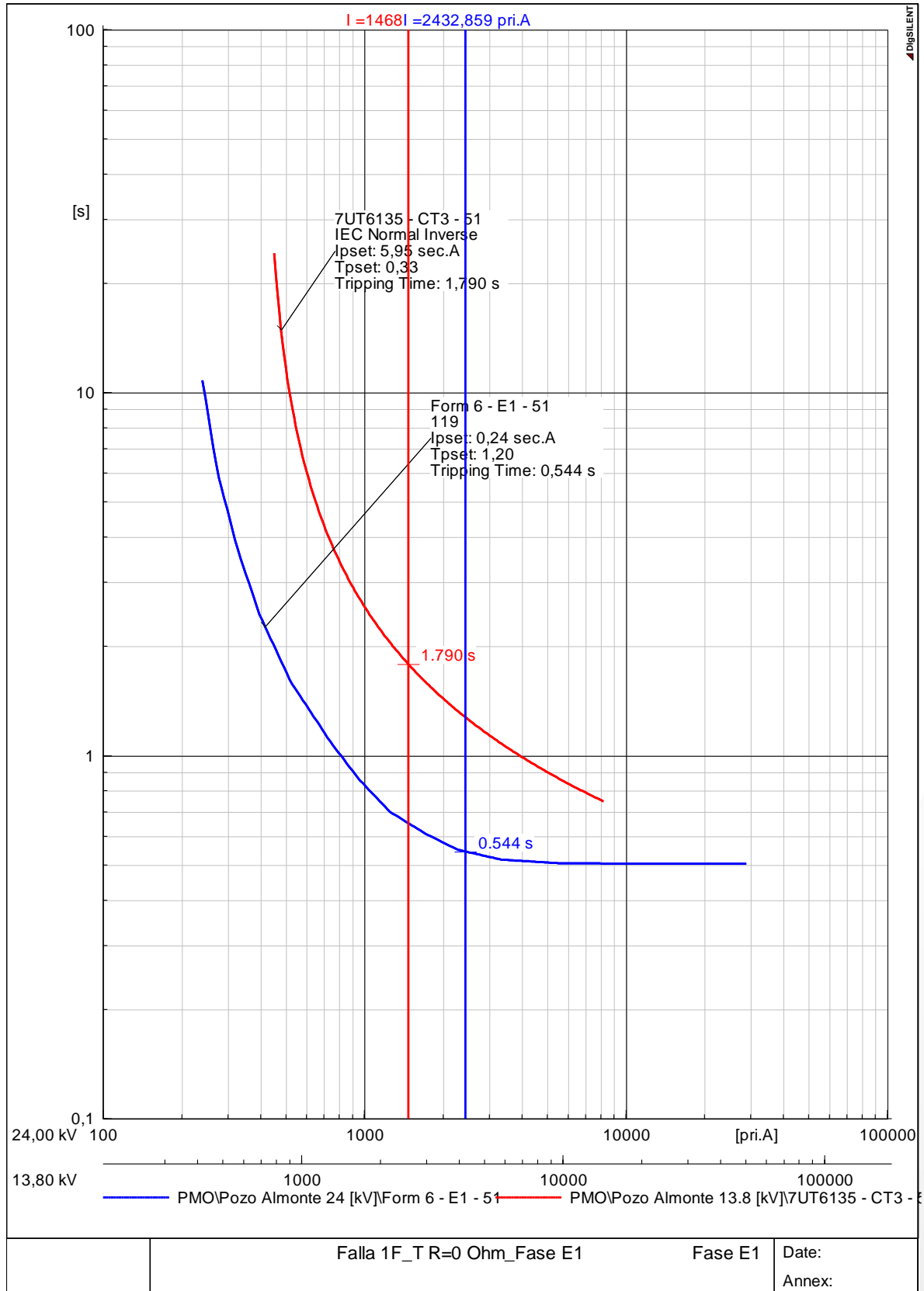
1. Alimentador E1:

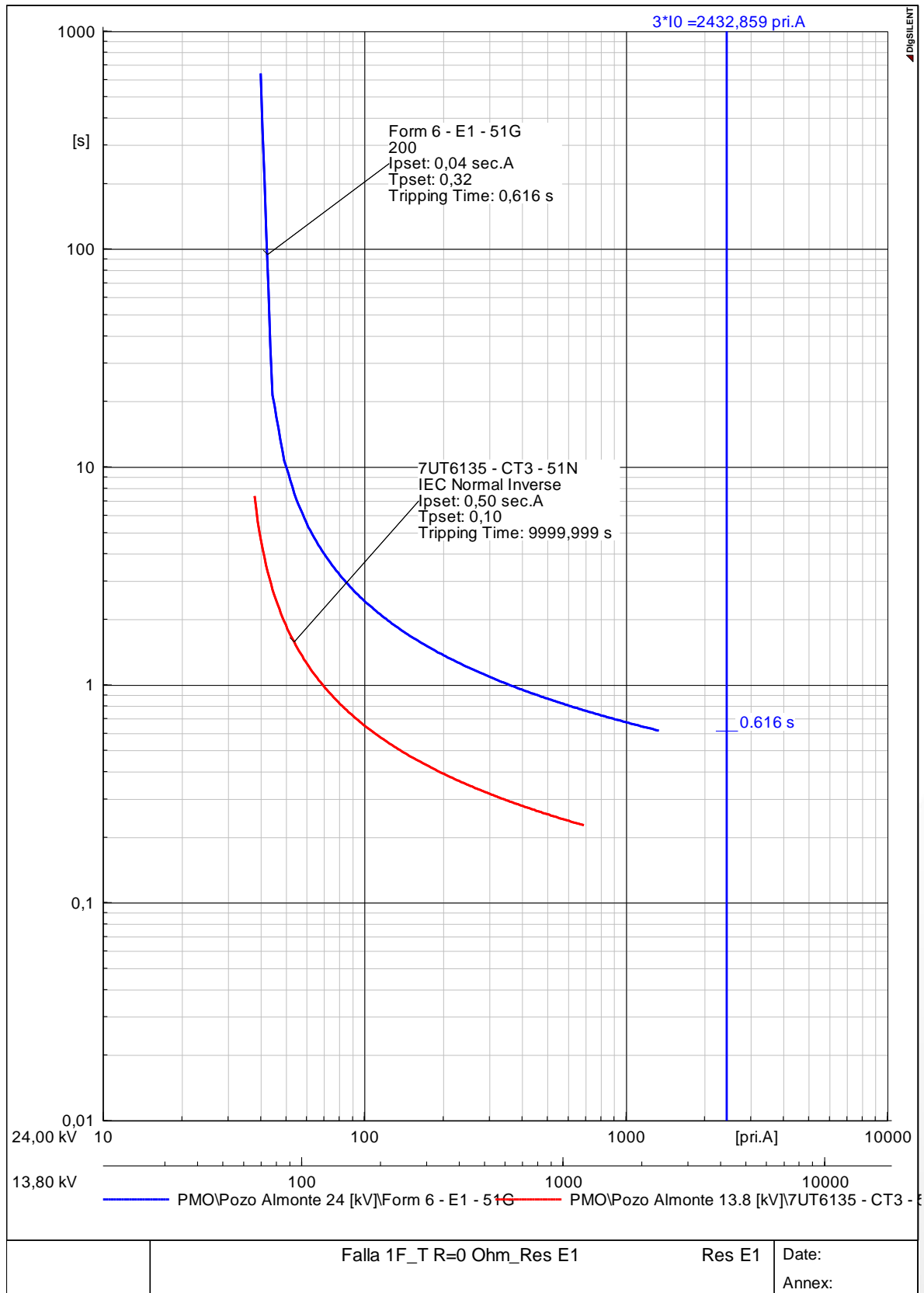


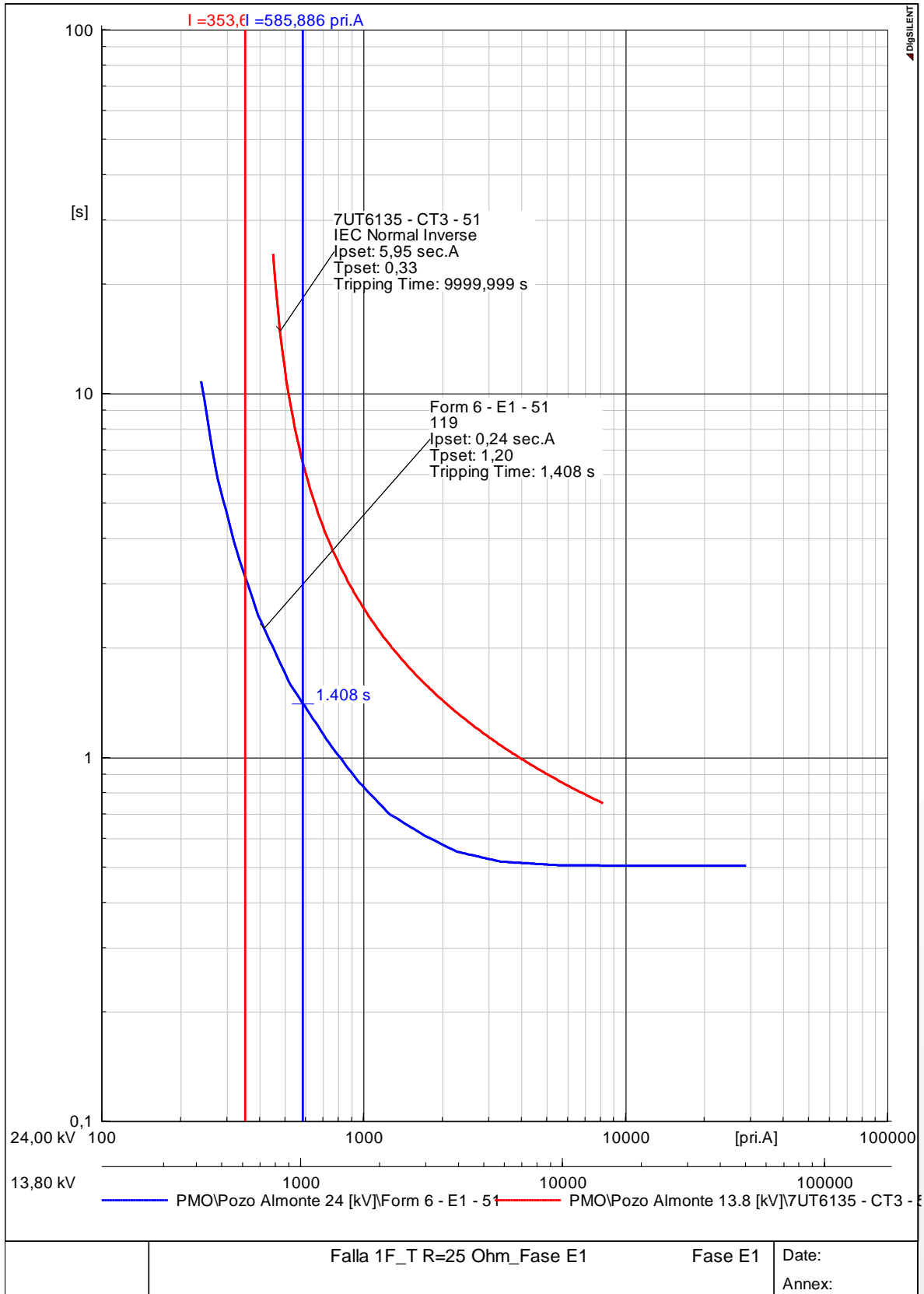


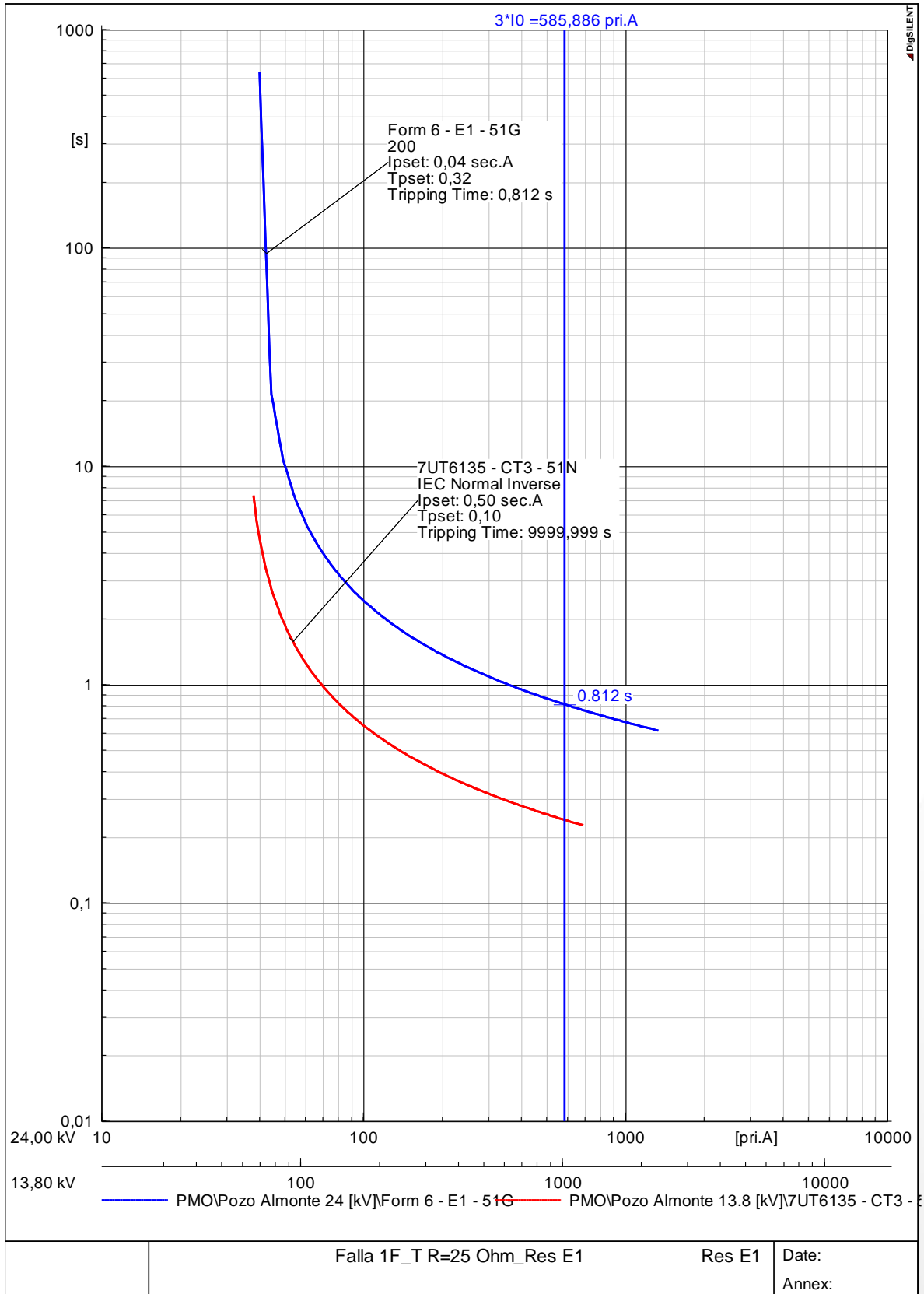


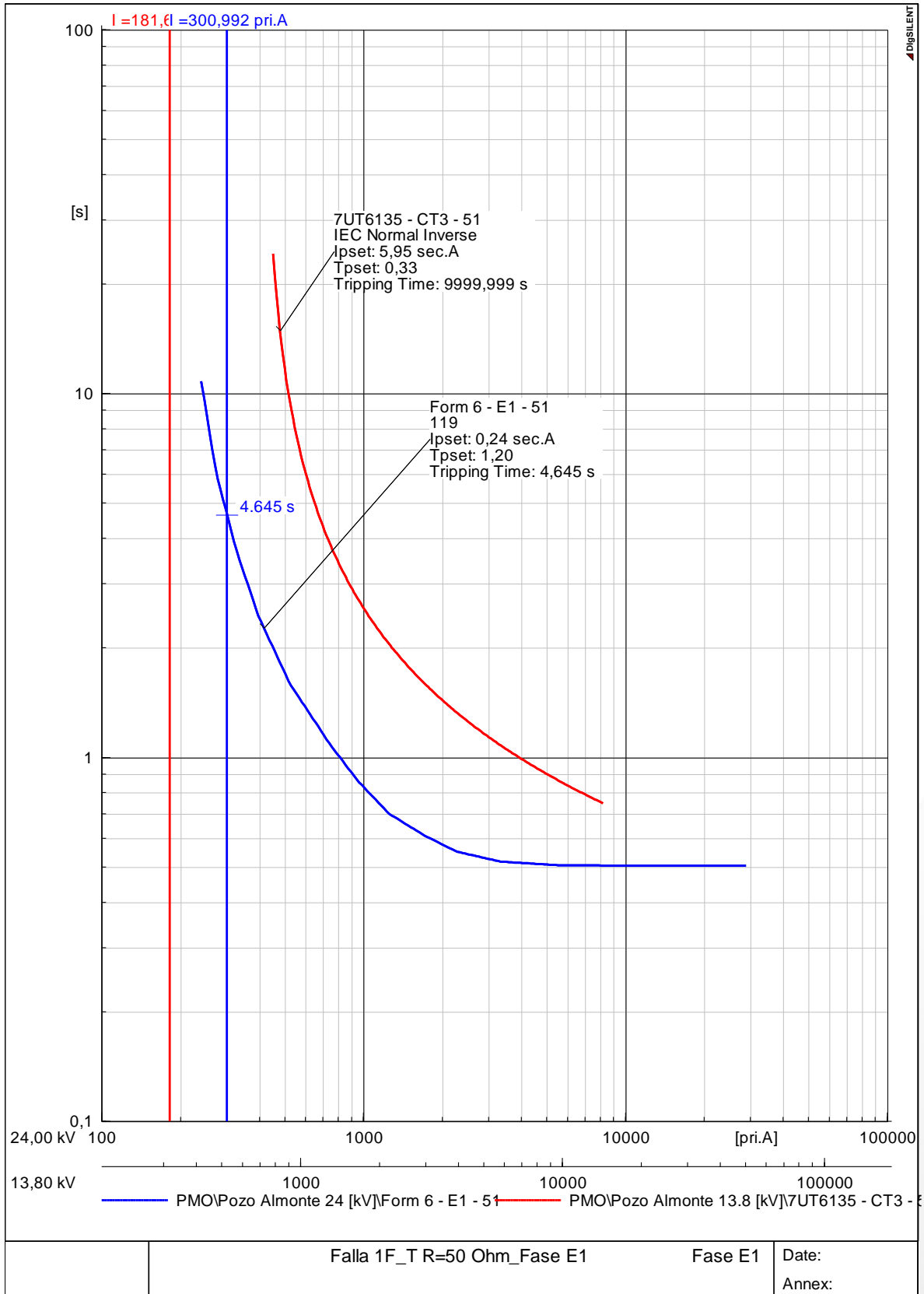


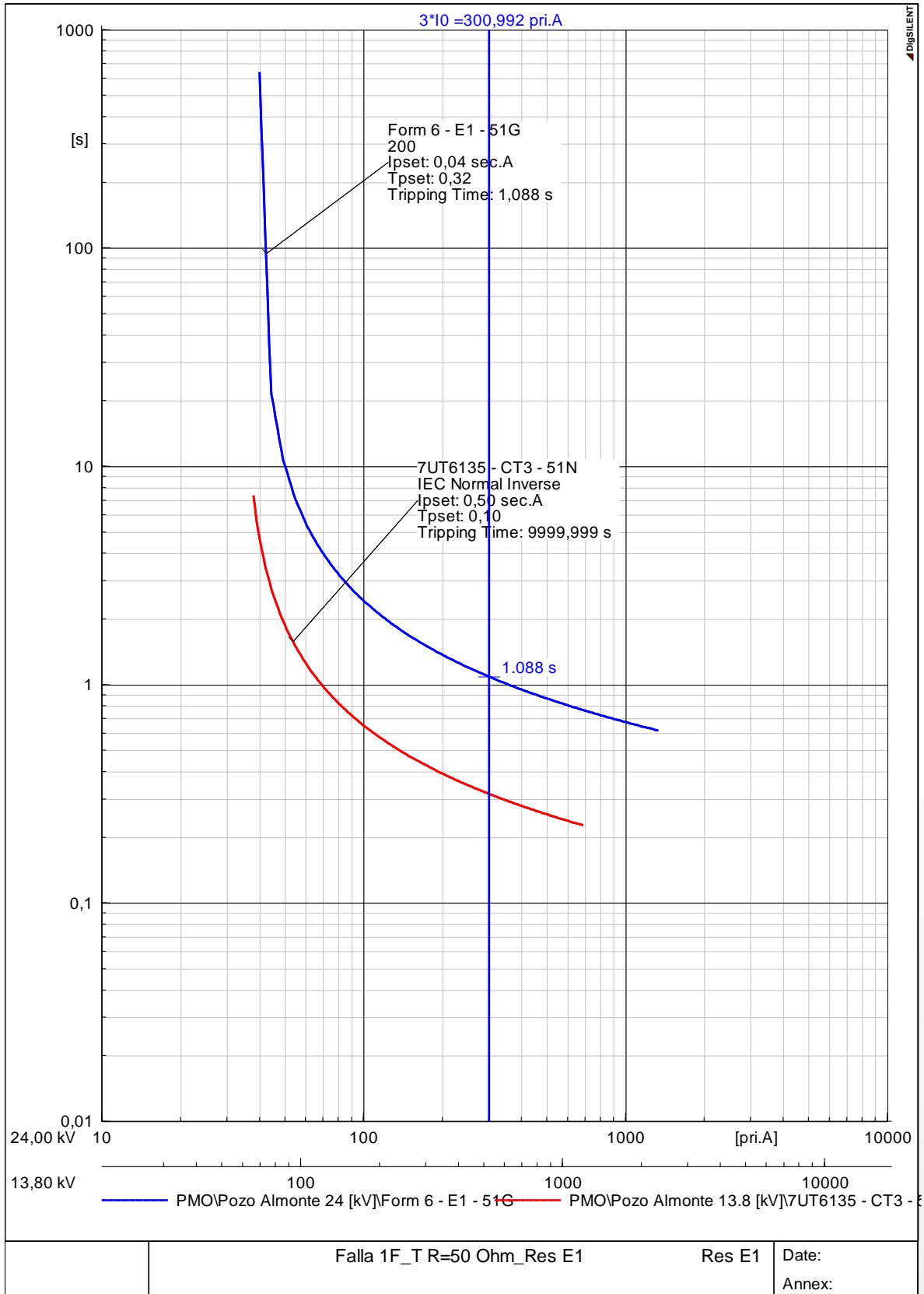




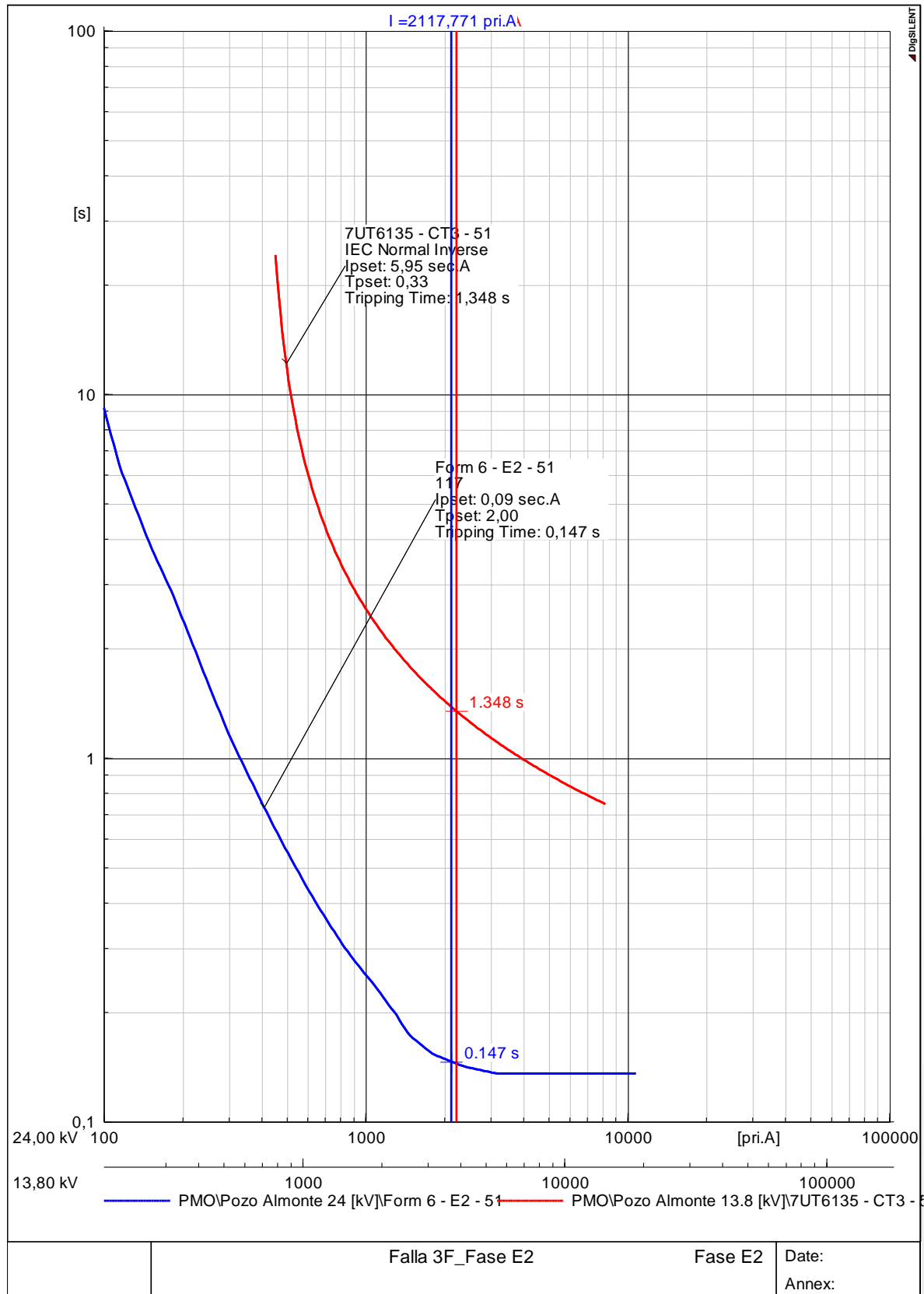


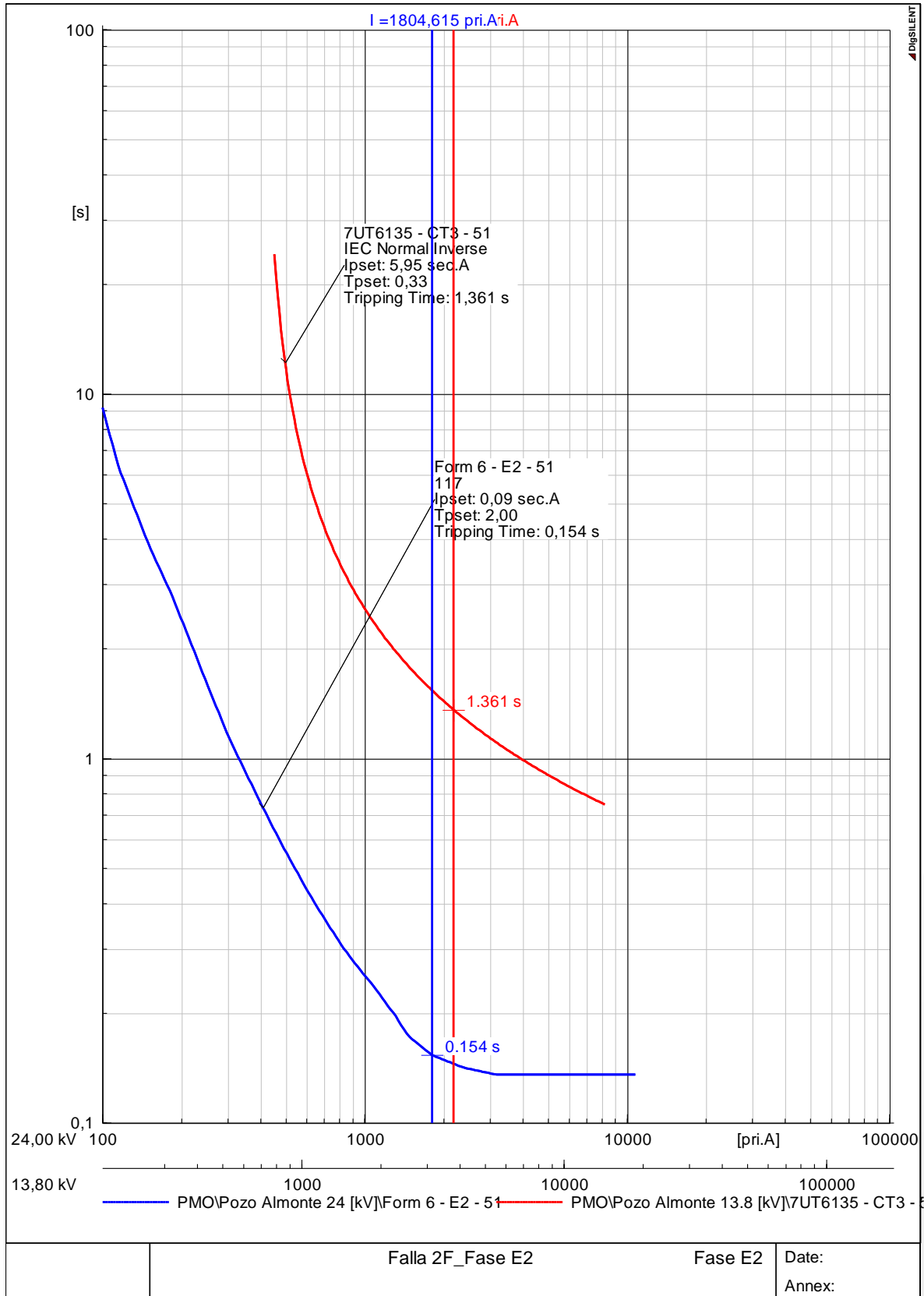


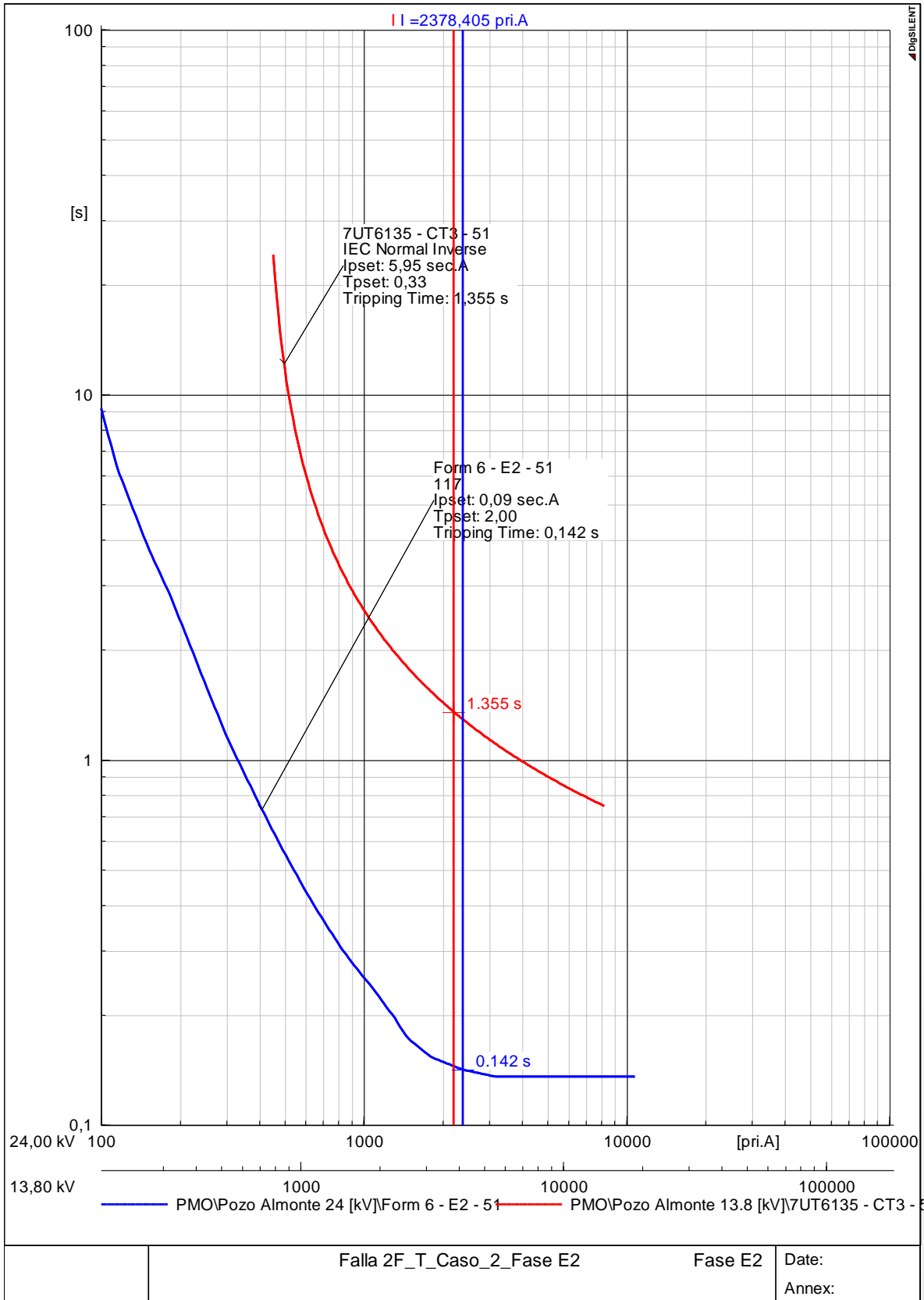


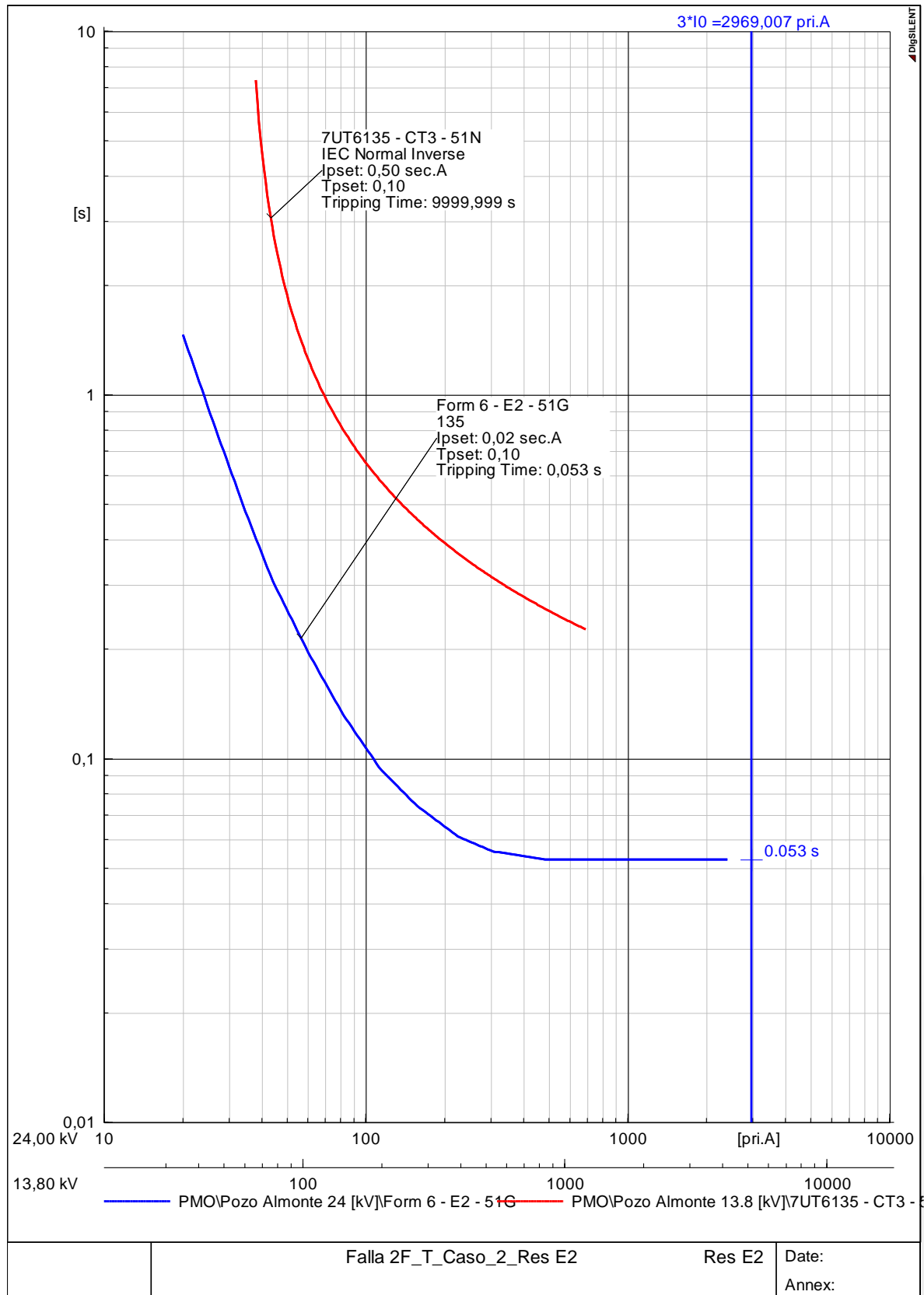


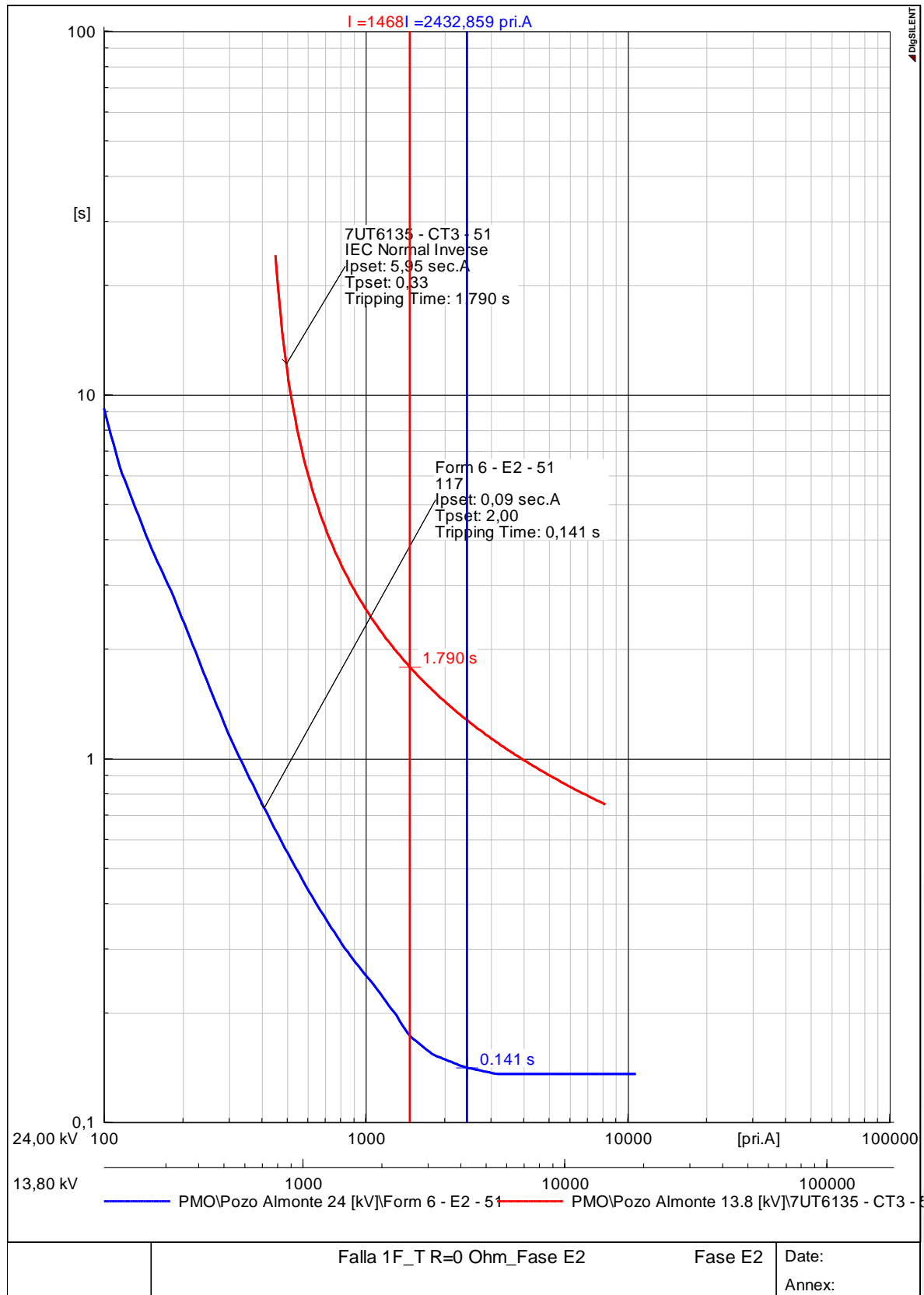
Alimentador E2:

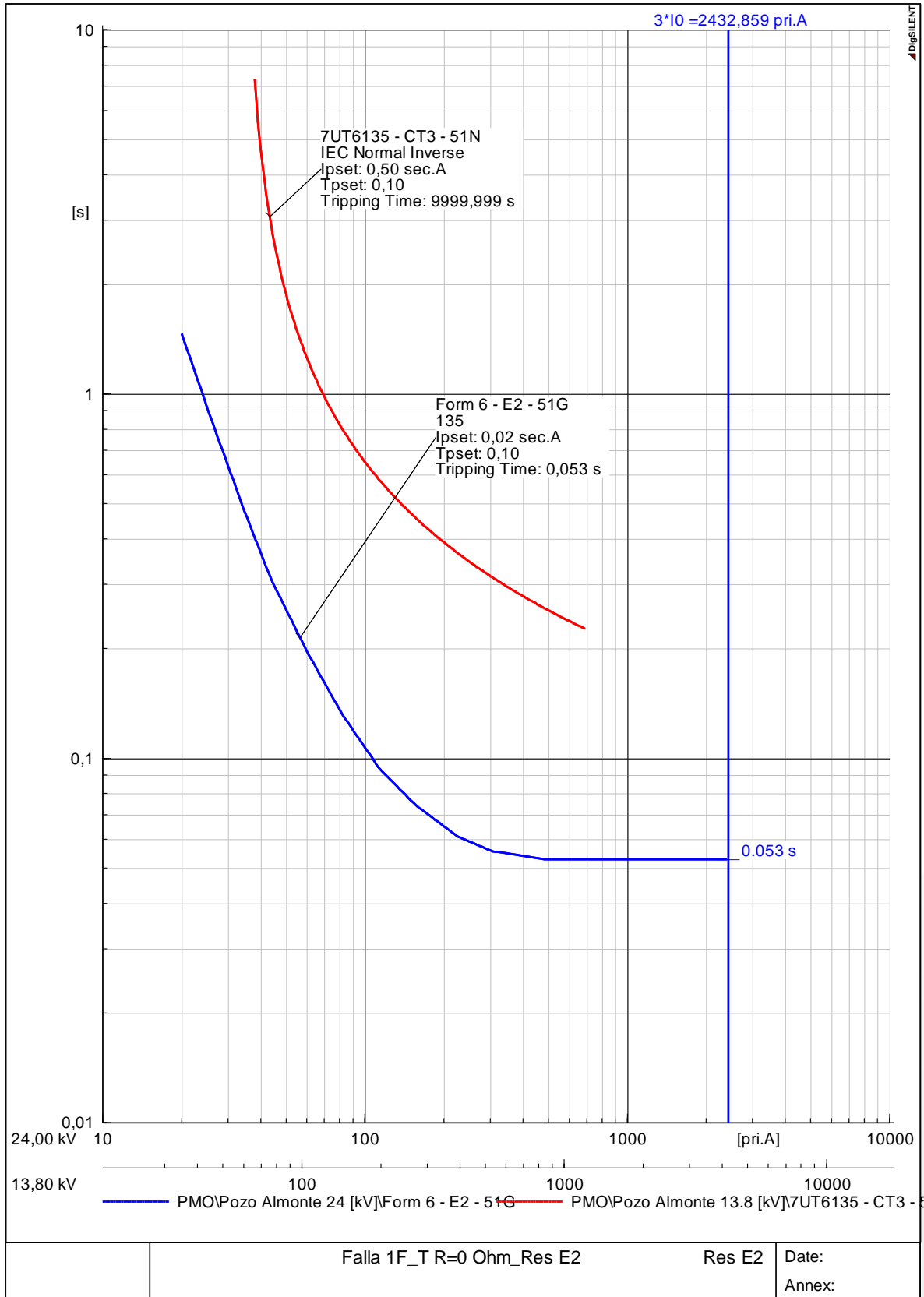


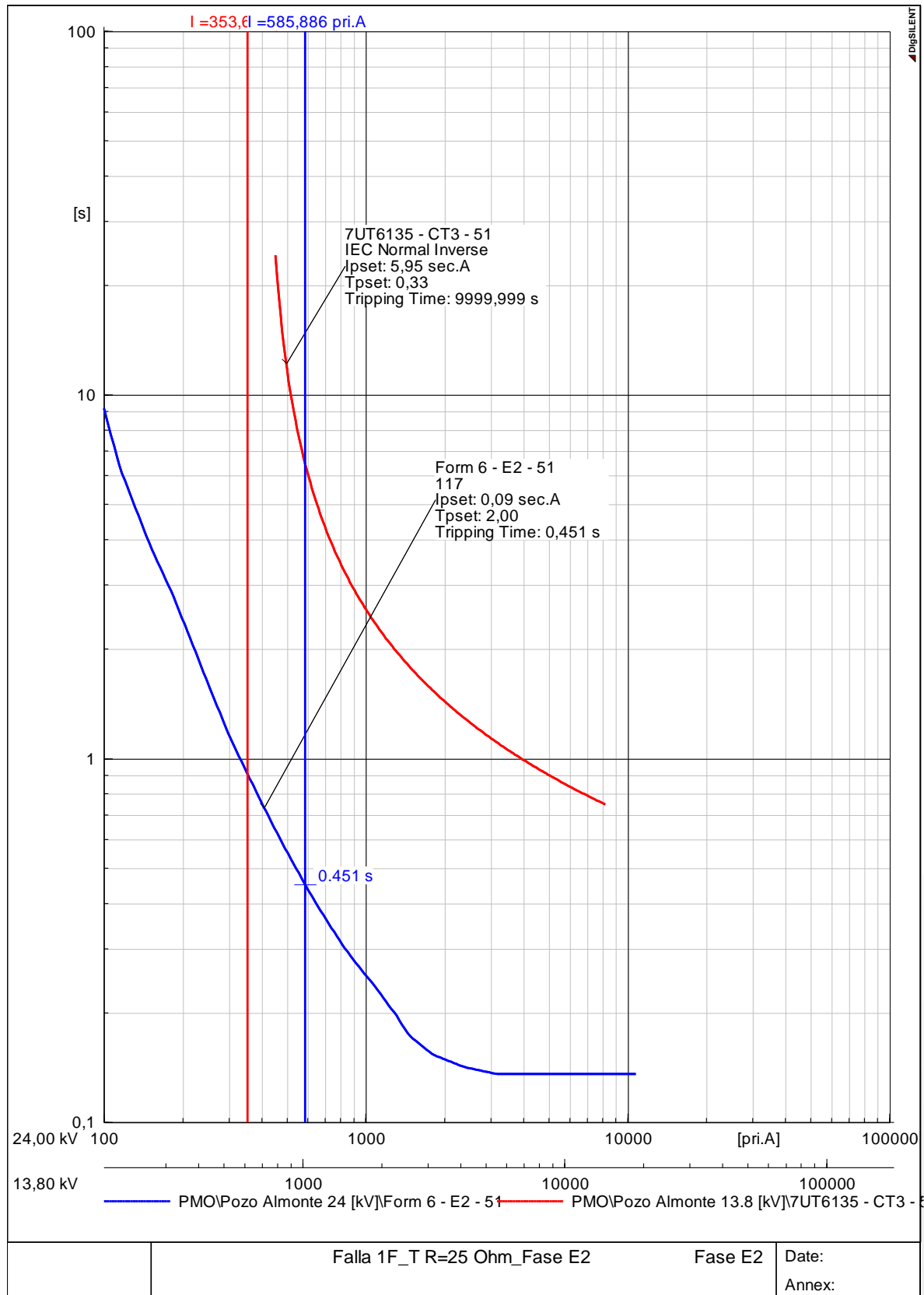


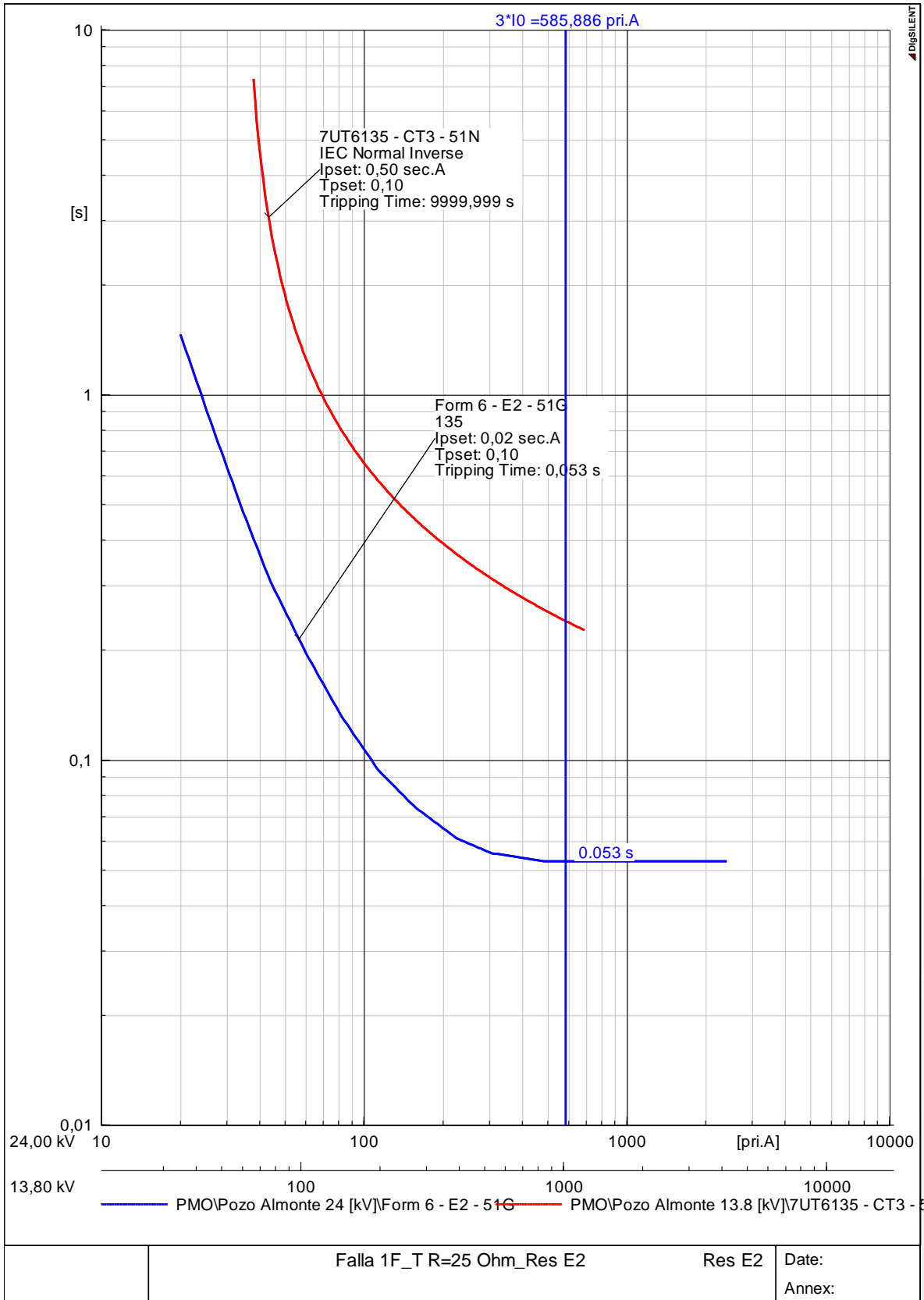


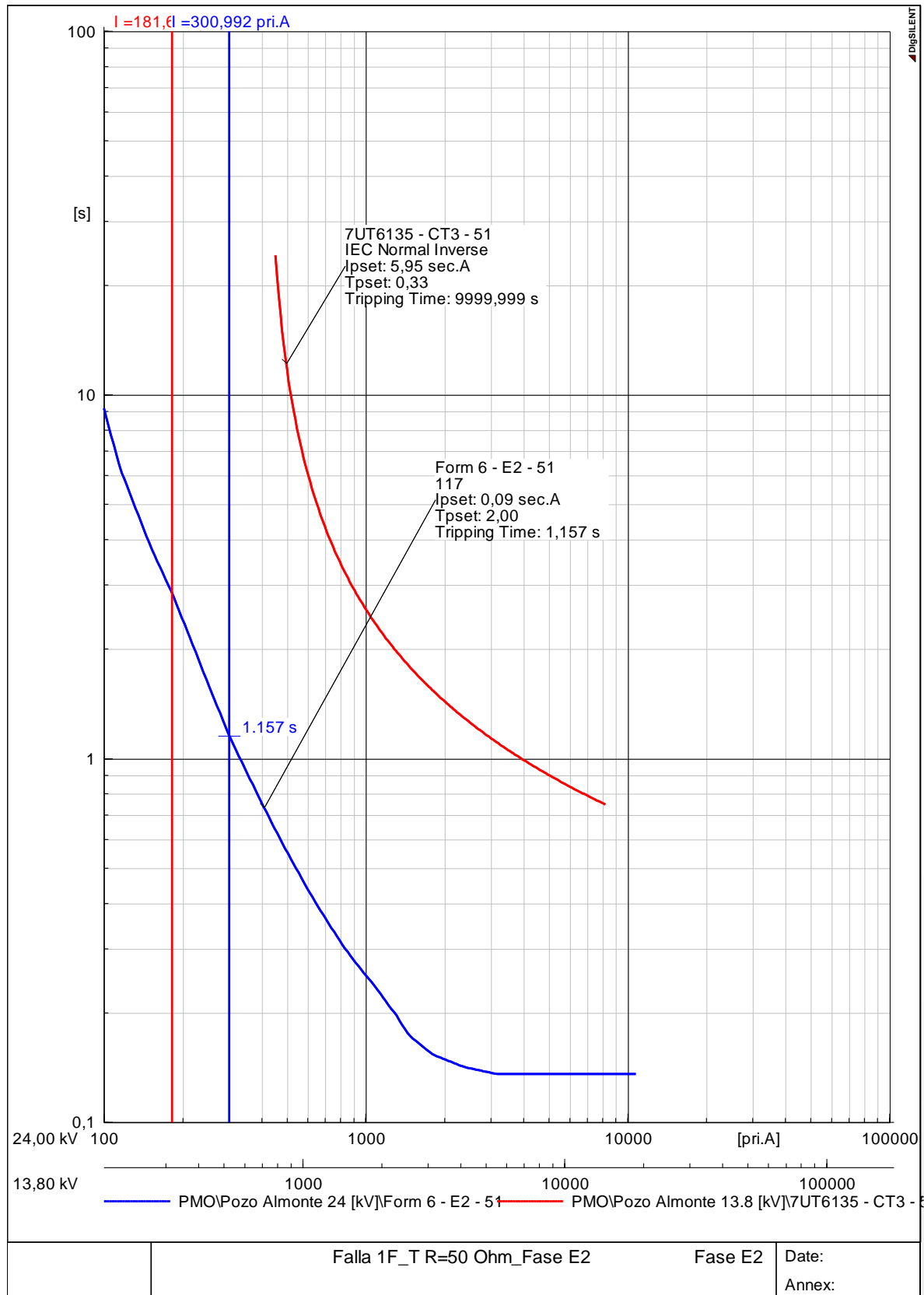


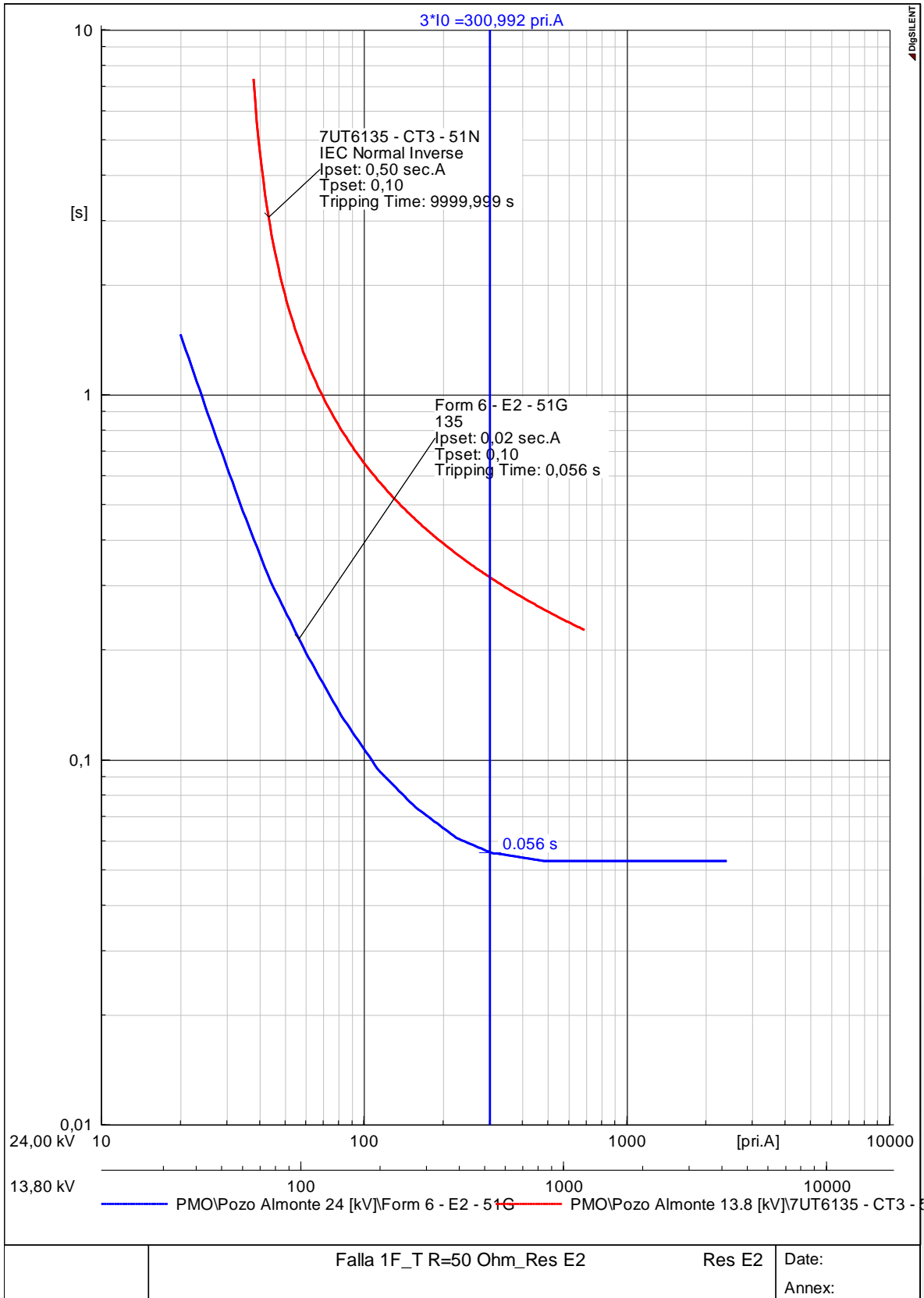




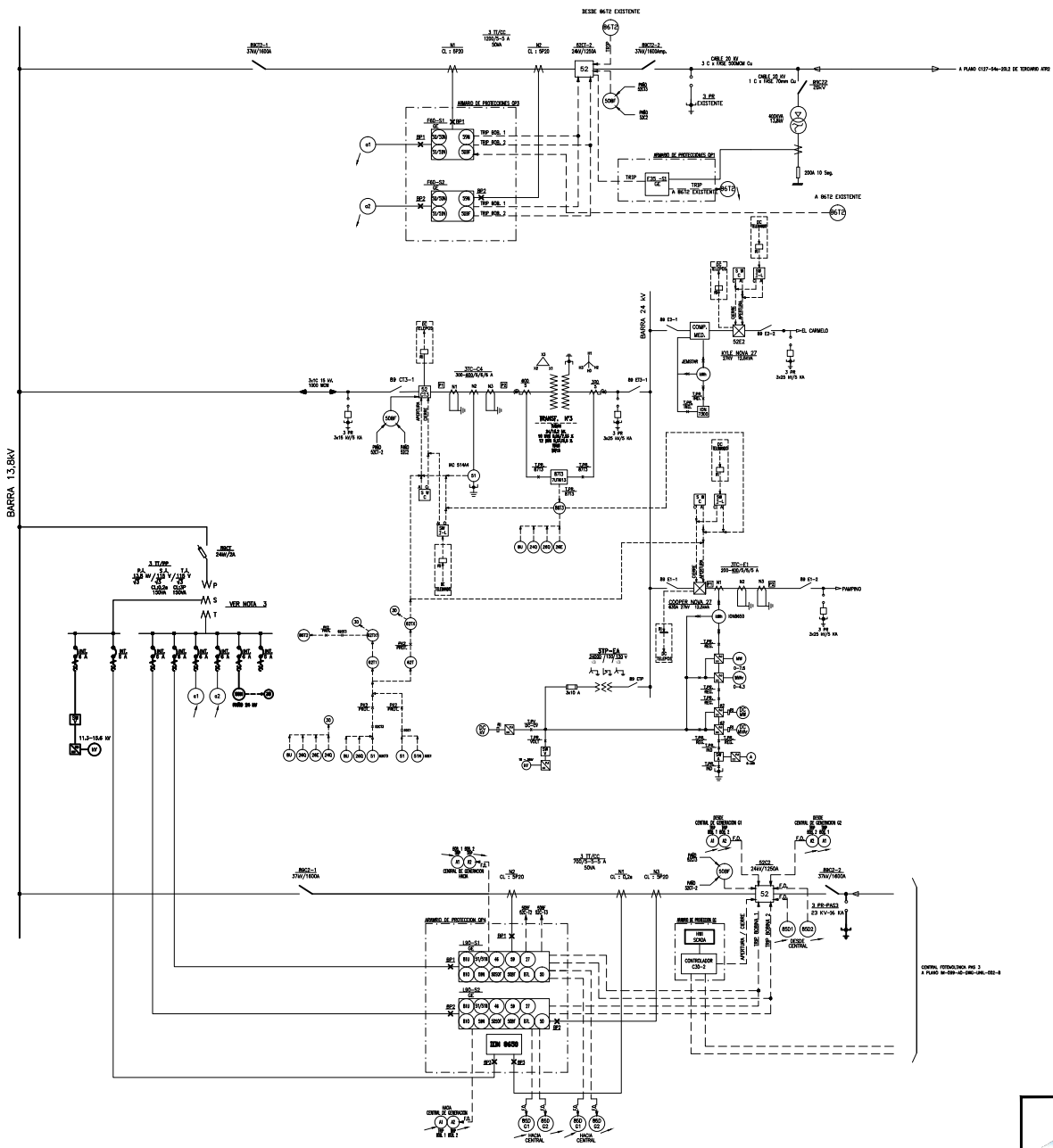








ANEXO II – DIAGRAMA UNILINEAL



SUBSTACION POZO ALMONTE
 DIAGRAMA UNILINEAL
 13,8-23kV ATR2

| REV. | FECHA | REFERENCIAS | Mod. | Rev. | Aprob. |
|------|-------|--------------------------------|------|------|--------|
| 01 | 05-17 | Actualización acorde a terreno | RDE | BSR | LFF |

NOTA:
 Plano de referencia:
 SE POZO ALMONTE 110-13,2 KV C127-54e-20L3.9
 Oficina Documentacion Tecnica

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|----------|----------|-------|-------|
| DIBUJO | R. DIAZ | | |
| MODIFICO | | | |
| REVISO | W. PAVEZ | | |
| APROBO | C. DIAZ | | |

ESCALA S/E
 PLANO: C127-54e-20L2B
 N° LAMINA: 1/1
 FORMATO: A 1
 REV.