



INDAGAR LOS FACTORES QUE CAUSARON LOS ACCIDENTES DE ARCO ELÉCTRICO Y  
PROPONER MEJORAS EN EL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN LA PLANTA  
MINERA.

IVÁN JOSÉ RAMÍREZ ÁLVAREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
VICERRECTORIA ACADÉMICA  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
2017

INDAGAR LOS FACTORES QUE CAUSARON LOS ACCIDENTES DE ARCO ELÉCTRICO Y  
PROPONER MEJORAS EN EL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN LA PLANTA  
MINERA.

IVÁN JOSÉ RAMÍREZ ÁLVAREZ

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Transmisión y  
Distribución de Energía

Director

Ph.D. JORGE WILSON GONZÁLEZ

Ph.D. en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2017

15 DE FEBRERO DEL 2017

IVÁN JOSÉ RAMÍREZ ALVAREZ

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 85 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios, quien me otorgó la sabiduría, el conocimiento, la paciencia y persistencia para realizar cada paso de lo que hoy presento; en segundo lugar a mi familia, quienes han sido el motor indispensable para escalar cada peldaño, y esta vez, sin lugar a duda debo agradecer su motivación y apoyo para continuar con mis sueños; agradezco también a cada persona que estuvo de una u otra manera involucrada en la realización de este proyecto, y por último, pero no menos importante, quiero agradecer de manera especial al director, por su guía, visión y enseñanza, así mismo a cada docente y a la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme convertir mi sueño en realidad.

Muchas gracias por todo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO 1.....	14
INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES POR ARCO ELECTRICO EN PLANTA MINERA.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN .....	14
1.2 SOPORTE NORMATIVO Y LEGAL COLOMBIANO .....	15
1.3 METODOLOGIA PARA INVESTIGAR LOS ACCIDENTES DE TRABAJOS. ....	16
1.4 CASO 1: ACCIDENTE ARCO ELECTRICO EN CELDA VENTILADOR DE TIRO DE 2200HP A 4160V.....	17
1.5 CASO 2: ARCO ELECTRICO CUBICULO DE MEDIA TENSION. ....	20
CAPÍTULO 2.....	22
SELECCIÓN DEL RELÉ MÁS ADECUADO PARA LA INDUSTRIA MINERA.....	22
2.1 INTRODUCCIÓN .....	22
2.2 MATRIX DE SELECCIÓN DEL RELE MAS ADECUADO PARA UNA INDUSTRIA MINERA.....	24
CAPÍTULO 3.....	26
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES Y ARCO ELÉCTRICO SUBESTACIÓN PLANTA MINERA.....	26
3.4 INTRODUCCIÓN .....	26
3.2 JUSTIFICACIÓN ESTUDIO DE COORDINACIÓN Y PROTECCIONES.....	26
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	27
3.4 ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA. ....	28

3.5	METODOLOGÍA.....	30
3.6	CRITERIOS PARA EL AJUSTE DE PROTECCIONES.....	31
3.6.1	Función de Protección de Sobrecorriente de Fases Temporizada – (ANSI 51). 31	
3.6.2	Función de Protección de Sobrecorriente de Fases de Tiempo Definido – (ANSI 50).....	32
3.6.3	Función de Protección de Sobrecorriente de Tierra Temporizada – (ANSI 51N). 33	
3.6.4	Función de Protección de Sobrecorriente de Tierra de Tiempo Definido – (ANSI 50N). .....	33
3.6.5	Función baja tensión (27) y alta tensión (59) .....	33
3.7	AJUSTE DE PROTECCIONES .....	34
3.8	ESTIMACIÓN DE LA ENERGIA INCIDENTE.....	35
3.8.1	CONCEPTO DE ARCO ELÉCTRICO Y SUS FENÓMENOS ASOCIADOS.....	35
3.8.2	DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE DE ARCO .....	36
3.9	CARACTERÍSTICAS DE PUNTOS A SEÑALIZAR Y PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO DIRECTO.....	39
3.10	RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN FRENTE AL ELÉCTRICO.....	41
	CONCLUSIONES.....	42
	BIBLIOGRAFÍA .....	44

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de selección del relé de protecciones. ....	25
Tabla 2: Resumen de carga de los circuitos de la subestación. ....	28
Tabla 3: Ajuste de sobrecorriente de fase.....	30
Tabla 4: Ajuste de sobrecorriente de tierra. ....	31
Tabla 5: Tiempos de coordinación CTI.....	32
Tabla 6: Criterios de coordinación Instantáneos Fases y Tierra.....	32
Tabla 7: Resumen ajustes de protecciones sobrecorriente de fase. ....	34
Tabla 8: Resumen ajustes de protecciones sobrecorriente de tierra. ....	35
Tabla 9: Método IEEE 1584.....	37
Tabla 10: Límites de aproximación a partes energizadas de equipos.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Registro fotográfico de la celda después del arco eléctrico.....	18
Figura 2: Árbol de causas investigación caso 1. ....	19
Figura 3: Árbol de causas investigación caso 2. ....	21
Figura 4: Diagrama unifilar industria minera.....	27
Figura 5 Diagrama funcional del relé SEL 751A.....	29
Figura 6: Límites de aproximación, figura 13.4 RETIE. ....	40

## GLOSARIO

**ENERGÍA INCIDENTE:** Cantidad de energía liberada ante el evento de un arco eléctrico.

**ETAP:** Software para análisis de sistemas de potencia.

**IEC 61850:** Estándar para el diseño de la automatización de las subestaciones eléctricas.

**CONFIABILIDAD:** Probabilidad de no tener disparo incorrecto.

**ESTABILIDAD:** Este concepto de los sistemas de protección, se aplica para indicar que la protección no debe disparar cuando ocurre una falla externa, o sea fuera de la zona de protección.

**SISTEMA DE PROTECCIONES:** Sistema de protecciones es la ciencia, habilidad y arte de aplicar y ajustar relés, fusibles y otros para proveer la máxima sensibilidad para no operar en condiciones permisibles y/o tolerables.

**ARCO ELECTRICO:** El arco es un fenómeno caótico, es decir, no lineal y fuertemente dependiente de las condiciones iniciales, la intensidad de corriente o la forma y materiales de la instalación eléctrica en tensión; puede originarse tanto por un fallo técnico como por un error humano (caída de herramientas, maniobra inadecuada, etc.).

**INTERRUPTOR:** Un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito por medios no automáticos, y para abrir el circuito automáticamente en una sobrecarga de corriente predeterminada sin sufrir daño, cuando se aplica dentro de sus valores de operación o especificaciones.

## **LISTA DE SIGLAS**

**EPP:** Elementos de Protección Personal.

**IEC:** International Electrotechnical Commission.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

## UNIDADES Y SÍMBOLOS

Transformador de potencia



Interruptor automatico



Relé digital



## RESUMEN

Ante el continuo crecimiento de la industria minera y la necesidad de una mayor calidad en el suministro de la energía, es importante que los sistemas eléctricos cuenten con instalaciones confiables y con una protección apropiada. La apropiada protección se basa en aislar rápidamente la porción del sistema de potencia que opere anormalmente, así se logra disminuir los daños y mantener la estabilidad del sistema, un mal funcionamiento de esta puede causar que el equipo salga de operación, que el sistema quede sin suministro de energía por un tiempo indeterminado, que los demás equipos sufran daños, y lo más importante, que el personal queda expuesto a explosiones y/o contactos eléctricos.

En este informe se estudiará las causas básicas de dos accidentes de arcos eléctricos y se documentará el levantamiento del sistema protecciones actual y las posibles fallencias en esta, con el fin de proponer una metodología que ayude a mitigar el riesgo eléctrico.

Como conclusión de la metodología y el análisis de los resultados obtenidos, se generan algunas recomendaciones para seleccionar y ajustar los dispositivos usados en un esquema de protección, así mismo, se analiza si los ajustes arrojados por la metodología son adecuados para diferentes condiciones operativas y escenarios de demanda.

**PALABRAS CLAVES:** Arco eléctrico, Sistema de potencia, Protecciones Eléctricas, Subestaciones Eléctricas, Coordinaciones de protecciones.

## INTRODUCCIÓN

En el presente informe se documentan tres temas de seguridad eléctrica enfocados en la industria minera con el objetivo de garantizar cero accidentes en aquellos trabajos donde se intervienen equipos de media tensión.

El primer capítulo busca brindar recomendaciones basadas en el estudio de las causas básicas de dos accidentes de arco eléctrico ocurridos en la planta, en este se analizará toda la información recolectada, después se utilizará el método del árbol de causa como herramienta para gestionar de manera correcta los factores potenciales de accidente y así presentar recomendaciones para eliminar las causas desde la raíz.

El segundo capítulo propone una metodología para la selección de relés multifuncionales de protecciones con mejor rendimiento en plantas mineras. Este capítulo surge de la necesidad de realizar una actualización tecnológica del sistema dado a su papel importante en los factores potenciales de accidentes analizados en el primer capítulo.

El tercer capítulo documenta el estudio de coordinación de protecciones en la subestación, utilizando el relé con mejores características dada por el capítulo dos. En este capítulo se tomarán las configuraciones actuales de las diferentes subestaciones y se ajustarán los relés de subestación en estudio según lo especificado por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE 2013, la norma técnica colombiana NTC 2050 y la norma internacional IEEE 242.

## **CAPÍTULO 1**

### **INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES POR ARCO ELECTRICO EN PLANTA MINERA**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La mejora continua permite a las organizaciones optimizar sus procesos, esta representa el compromiso con el conocimiento, la calidad, la seguridad, salud en el trabajo y la productividad.

Los accidentes que ocurren en las empresas, no solo provocan lesiones a las personas, sino también pérdidas en la organización, traducidas en daños de bienes materiales, gastos administrativos, daños en el ambiente, por ello la determinación de las condiciones en que el hombre desarrolla el trabajo, es fundamental para la identificación de los factores que causan los accidentes, permitiendo desarrollar acciones reactivas que tienen como propósito identificar y analizar las causas directas e indirectas que intervinieron en el incidente y/o accidente, con el fin de priorizar factores de riesgo y aplicar acciones preventivas y correctivas tendientes a la mejora continua del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

Según la resolución 1401 de 2007, un incidente de trabajo es cualquier suceso acaecido en el curso del trabajo o en relación con este, que tuvo el potencial de ser un accidente, en el que hubo personas involucradas sin que sufrieran lesiones o se presentaran daños a la propiedad y/o pérdida en los procesos.

Según la Ley 1562 de 2012, un accidente de trabajo es todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte.

En este capítulo se estudiará dos casos de accidentes eléctricos ocurridos en la empresa minera de estudio, donde se evidencio lesiones menores al personal y daños graves a equipos.

## **1.2 SOPORTE NORMATIVO Y LEGAL COLOMBIANO**

El 30 de abril de 2009, fue expedida la resolución 001348, que adopta el reglamento de salud ocupacional en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en las empresas del sector eléctrico.

La resolución mencionada reglamenta el cumplimiento de los programas en seguridad y salud ocupacional en las actividades asociadas el sector eléctrico como:

- Mantenimiento y operación.
- Condiciones para trabajos en instalaciones eléctricas.
- Métodos de trabajo en equipos e instalaciones eléctricas.
- Distancias de seguridad.
- Trabajos en subestaciones convencionales.
- Trabajos sin tensión.
- Trabajos con tensión.
- Trabajos en redes de distribución.

### **1.3 METODOLOGIA PARA INVESTIGAR LOS ACCIDENTES DE TRABAJOS.**

El método a utilizar es el del árbol de causas, el cual es un método que pretende identificar la serie de hechos que sucedieron antes del accidente y así poder determinar cuáles fueron las principales causas que dieron lugar a que se materializara.

El árbol causal refleja gráficamente todos los hechos recogidos y las relaciones existentes sobre ellos, facilitando, de manera notable, la detección de causas aparentemente ocultas y que el proceso metodológico seguido nos lleva a descubrir. Iniciándose en el accidente, el proceso va remontando su búsqueda hasta donde tengamos que interrumpir la investigación. El árbol finaliza cuando:

Se identifican las causas primarias o causas que, propiciando la génesis de los accidentes, no precisan de una situación anterior para ser explicadas. Estas causas están relacionadas con el sistema de gestión de prevención de riesgos laborales de la empresa.

Debido a una toma de datos incompleta o incorrecta, se desconocen los antecedentes que propiciaron una determinada situación de hecho.

La primera etapa se basa en la recolección de la información, esta etapa busca reconstruir en sitio que circunstancias se daban en el momento inmediatamente anterior al accidente que permitieron o posibilitaron la materialización del mismo. Se buscará todos los datos sobre el accidente, tiempo, lugar, condiciones del agente material, condiciones materiales del puesto de trabajo, formación y experiencia del accidentado, métodos de trabajo, organización de la empresa.

La segunda etapa se basa en armar el árbol de causas, el cual persigue evidenciar las relaciones entre los hechos que han contribuido en la producción del accidente. El árbol acostumbra a construirse de arriba hacia abajo partiendo del suceso último: daño o lesión,

aunque puede también construirse de derecha a izquierda o de izquierda a derecha partiendo en todos los casos de la lesión o del daño.

La tercera etapa se basa en la gestión de la información, donde una vez identificadas las principales causas (hechos) que dieron lugar a que el accidente ocurriera, en primera instancia se realizarán las correcciones de las causas inmediatas y se procederá a la realización de un informe donde también se identificarán los factores potenciales de accidentes y propondremos el rediseño de la tarea apuntando siempre a las causas de raíz.

#### **1.4 CASO 1: ACCIDENTE ARCO ELECTRICO EN CELDA VENTILADOR DE TIRO DE 2200HP A 4160V.**

Durante actividades de balanceo del ventilador de tiro de 2200hp, se solicita apagar este equipo dado que presenta problemas de alta vibración, el operador electricista encargado realiza el aislamiento eléctrico, y bloqueo con tarjeta y candado a un contactor fusible de marca Limitamp.

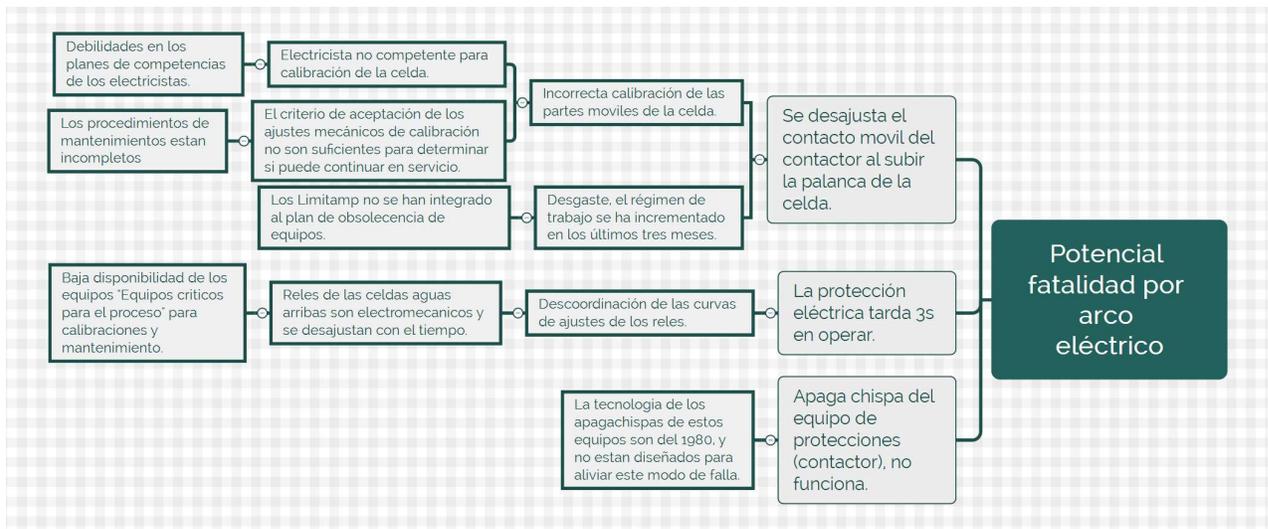
Dos horas después se da la orden de normalizar el equipo, el operador encargado retira el candado e intenta como parte del proceso de verificación cerrar el seccionador del contactor cuando inmediatamente se produce un arco eléctrico que no es capaz de extinguir el apaga chispas y éste evoluciona hasta destruir completamente la celda.



**Figura 1: Registro fotográfico de la celda después del arco eléctrico.**

En la figura 1, se muestra el árbol de causas, mostrando los diferentes factores que se dieron para materializar el accidente. Las causas básicas son las siguientes.

- 1 Fallas en los planes de entrenamientos del personal encargado de las tareas eléctricas, en este caso se evidenció que los mantenedores involucrados no tenían el entrenamiento adecuado.
- 2 Los procedimientos específicos de las tareas están incompletos, en este caso se evidenció que no era claro los criterios de aceptación para determinar si el equipo puede continuar en servicio.
- 3 Equipos con bastante tiempo en operación, en este caso se evidenció que los equipos están en operación desde el año 1982, y por su criticidad en la producción la disponibilidad para realizarle mantenimiento es poca y ajustada en tiempo. En conclusión, son equipos con alta probabilidad de que fallen cuando son manipulados.



**Figura 2: Árbol de causas investigación caso 1.**

Las recomendaciones son:

- 1 Se recomienda revisar los planes de mantenimientos de equipos eléctricos, establecer parámetros de aceptación de puesta en servicio.
- 2 Se recomienda revisar y asegurar las diferentes competencias del personal eléctrico, y especialmente aquellos que intervienen en equipos de potencia.
- 3 Se recomienda establecer plan de obsolescencia para equipos críticos como los equipos de protecciones eléctricas.
- 4 Se recomienda revisar y actualizar los ajustes de las curvas de protecciones de los equipos.

## 1.5 CASO 2: ARCO ELECTRICO CUBICULO DE MEDIA TENSION.

El siguiente caso se generó en una parada del proceso planeada, donde una de las tareas era realizar el mantenimiento de rutina a los equipos en patio y al interruptor de vacío dado que se registraba 6028 operaciones. Este equipo tras sufrir años atrás un arco interno por fallo a polo a tierra y lesiones aprendidas de otros casos de arcos eléctricos en la planta, se genera un plan de pruebas, dando como recomendaciones el realizar un plan de mantenimiento especializado a las 5000, 10000 y 15000 operaciones (Proveedor sugiere mantenimiento a las 10000 operaciones).

El electricista encargado siguiendo el procedimiento de desenergización, desconecta, mueve el interruptor a posición extraído, realiza el bloqueo y documenta la operación. Se presenta un cambio de turno y un segundo electricista se le asigna la tarea de normalizar el interruptor. Después de insertar el interruptor, el electricista procede a girar la palanca para llevar al interruptor a su posición normal cuando se produce un arco eléctrico cuya energía fue liberada causándole quemadura por radicación al electricista en el cuello y en la mano del operador del área que se encontraba acompañándolo.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 3**, se muestra el árbol de causas, mostrando los diferentes factores que se dieron para materializar el accidente. Las causas básicas son las siguientes.

- 1 Mantenimiento deficiente, en este caso se evidencia que este equipo había tenido una serie de pruebas y mantenimiento en fechas anteriores y los resultados fueron positivos. Ninguna de las pruebas arrojó detalles como las micro fracturas que tenían las botellas y el desajuste del mecanismo de apertura y cierre.
- 2 Defensas inadecuadas, en este caso se evidencia que a pesar de que el mantenedor estaba utilizando el traje cat 3 mientras realizaba la actividad este recibió quemadura en parte del cuerpo.

- 3 Mala percepción de peligro, en este caso se evidencia que los mantenedores eran conscientes de que existía un peligro tras no ajustar completamente la puerta de la celda con todos los tornillos, mas sin embargo convivían con esta situación.

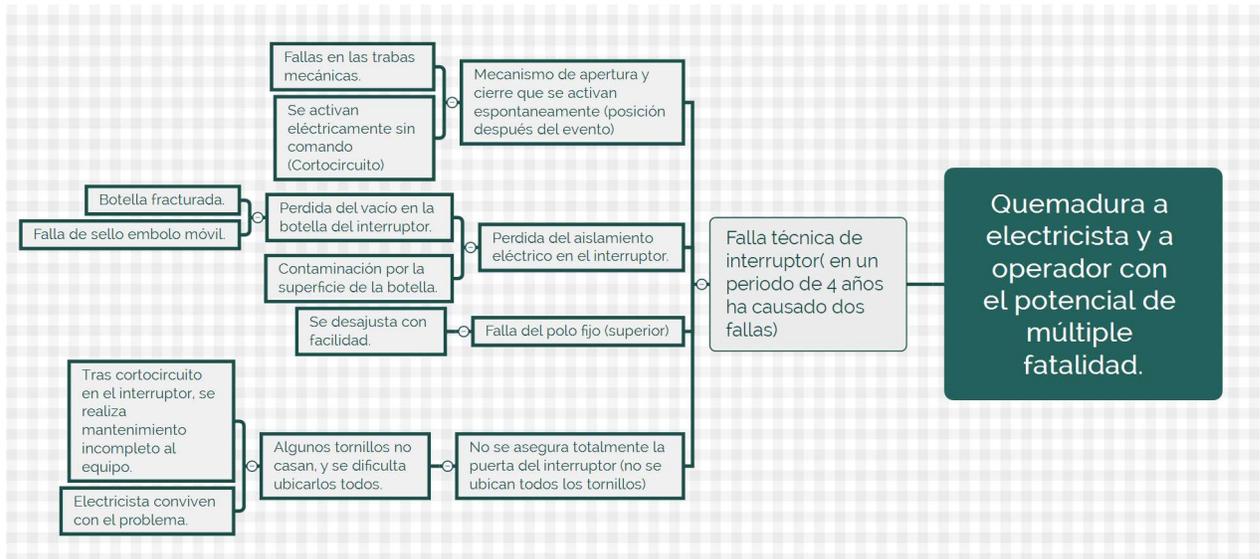


Figura 3: Árbol de causas investigación caso 2.

Las recomendaciones son las siguientes:

- 1 Se recomienda actualizar el plan de competencias para electricistas y supervisores y adicionar todos los temas de seguridad (Reglas, EPP, requisitos legales, señalización) y esto sea validado a través de evaluaciones y que tengan seguimiento a través del tiempo.
- 2 Establecer un proceso de seguimiento y control a temas críticos entre mantenimiento planta y fabricantes de equipos críticos. Realizar pruebas aquellos equipos críticos.
- 3 Realizar estudio para evaluar alternativas disponibles en el mercado para implementar sistemas que retiren a las personas de la línea de fuego.

## **CAPÍTULO 2**

### **SELECCIÓN DEL RELÉ MÁS ADECUADO PARA LA INDUSTRIA MINERA.**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Las nuevas tecnologías en dispositivos de protección están, en términos generales, regidas por estándares de construcción muy similares entre sí; con lo cual la selección de estos dispositivos para una aplicación en particular, se reduce en gran medida a la evaluación de su robustez y/o versatilidad de las características propias de dichos equipos para la aplicación en la cual se requieren.

Nuestro caso en particular el enfoque para la selección de nuevos equipos debe concentrarse en la evaluación de la soportabilidad a las condiciones ambientales a las que están expuestos, dada su ubicación al interior de una planta minera.

La selección de los relés de protección no sólo depende del equipo a proteger (selección de funciones de protección), sino de características físicas, eléctricas y de diseño comunes a todos los equipos de protección.

En este capítulo se formulará una matriz comparativa de los diferentes relés que podemos adquirir en el mercado y se definirá los requerimientos mínimos necesarios para las necesidades de la planta. En esta matriz tomaremos como parámetros de comparación las siguientes:

- Soportabilidad, este parámetro corresponde a un grupo de parámetros que permite comparar la robustez de los equipos de protección a las condiciones ambientales a las que se verán sometidos una vez estén instalados.
- Parámetros eléctricos, este parámetro se debe tener en cuenta para la alimentación de los equipos y sus circuitos de medida de corriente y tensión asociados. La evaluación de estos parámetros se basa en las pruebas eléctricas recomendadas en el estándar IEC 60255: Electrical Relays.
- Parámetros físicos, este parámetro hace referencia a la funcionalidad del diseño exterior de los relés, en lo que tiene ver con la interfaz con el usuario: display, teclas de reset, entradas y salidas digitales y análogas. Adicionalmente son evaluadas funcionalidades complementarias a las funciones de protección, como lo es la detección de arco eléctrico.
- Parámetros funcionales, este parámetro se refiere a la disponibilidad de las nuevas tecnologías en el procesamiento de señales para las funciones de protección y control en los relés, así como la posibilidad de registro de eventos y sincronización horaria.
- Software y accesibilidad, esta característica evalúa las facilidades para la parametrización de los equipos de protección.
- Comunicaciones y sincronización esta característica permite comparar los modos posibles de comunicación para la integración de los dispositivos de protección a los sistemas de control y supervisión. De igual forma, se evalúa la forma en la cual cada dispositivo puede realizar su sincronización horaria.

## **2.2 MATRIX DE SELECCIÓN DEL RELE MAS ADECUADO PARA UNA INDUSTRIA MINERA.**

De acuerdo con la información consignada en la Tabla 1 y teniendo en cuenta que una de las principales variables para la selección de relés debe ser su soportabilidad a las condiciones medioambientales, se tiene que los relés SEL 751-A y Siemens 7SJ62 presentan las mejores características entre los dispositivos evaluados. Adicionalmente, en lo referente al grado de protección IP en los relés SEL, el fabricante ofrece como adicional, un accesorio externo para la protección del relé ante ambientes con alto contenido de material particulado (SEL Dust Protection Assembly, Part No. 915900170) y los relés Siemens presentan un grado de protección tal que no entre una cantidad de polvo que llegue a perjudicar el funcionamiento satisfactorio del equipo.

**Tabla 1: Matriz de selección del relé de protecciones.**

RELE	Fabricante	GE Multilin	Schweitzer	VAMP	Siemens	Areva	ABB
	Referencia (solo alimentadores)	750/760	SEL 751-A	VAMP 255	7S162	Micom P141/142/143	REF 541
SOPORTABILIDAD	Grado de protección IP	40 (frontal) 20 (posterior)	65	20	50	52 (frontal) 10 (posterior)	54 (frontal panel) 20 (posterior)
	Grado de contaminación	II	II	No se especifica	No se especifica	II	No se especifica
	Temperatura de almacenaje	-40°C to +80°C	No se especifica	-40°C to +70°C	-25°C to +55°C	-25°C to +70°C	-40°C to +70°C
	Temperatura de operación	-40°C to +60°C	-40°C to +85°C	-10°C to +55°C	-5°C to +55°C	-25°C to +55°C	-10°C to +55°C
	Humedad admisible (sin condensación)	90% (55°C)	93% (40°C, 4 días)	75% (1 años) 90% (30 días por años)	75% (1 años) 95% (56 días por años)	0.93	0.95
	Resistencia frente a vibraciones	2g	3g	0,5g	1g	2g	De acuerdo a IEC 60255-21-1, clase I
	Fuente de alimentación	DC/AC	DC/AC	DC/AC	DC/AC	DC/AC	DC/AC
PARAMETROS ELÉCTRICOS	Rango de voltaje	Rango Bajo: 20-60 Vdc 20-48 Vac Rango Alto: 88-300 Vdc 70-265 Vac	bajo voltaje: 24-48 Vdc alto voltaje: 110-240 Vac 110-250 Vdc	40-265 Vac/dc Opcional: 18-36 Vdc	19-58/48-150/88-300 Vdc 92-138/184-265 Vac	24-48 Vdc 48-110 Vdc y 30-100 Vac 110-250 Vdc y 100-240 Vac	110/120/220/240 Vac 110/125/220 Vdc o 24/48/60 Vdc
	Rango de frecuencia	25-60 Hz	50/60 Hz	No se especifica	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
	Inmunidad a sobretensiones	De acuerdo a EN61000-4-5 IEC 60255-22-5	De acuerdo a IEC 61000-4-5:2005 IEC 60255-22-5:2008	De acuerdo a EN61000-4-5, clase III	De acuerdo a IEC 61000-4-5, clase III	De acuerdo a IEC 61000-4-5:2002 nivel 4 1.2/50 µs	De acuerdo a IEC 61000-4-5
	Rigidez dieléctrica para entradas CT, VT, Entradas, entradas de alimentación de control, entradas de conmutador, salidas de supervisión de bobina y salidas de relé	2 kVac por 1 minuto	2.5 kVac para entradas de corrientes; 2 kVac para entradas de voltaje, contactos I/O, entradas análogas; 1 kVac para salidas análogas.	No se especifica	2.5 kV, 50/60 Hz	2 kVac por 1 minuto	2 kVac por 1 minuto a 50hz
	Resistencia a la sobrecorriente de entrada	1 segundo: 80 veces la corriente rateada continuamente; 3 veces corriente rateada	1 segundo: 100 veces la corriente rateada continuamente: 15 A	1 segundo: 100 veces corriente rateada a 10 segundos: 20 veces corriente rateada continuamente: 20 A	1 segundo: 100 veces corriente rateada a 10 segundos: 30 veces corriente rateada continuamente: 20 A	1 segundo: 100 veces corriente rateada a 10 segundos: 30 veces corriente rateada continuamente: 20 A	1 segundo: 100 veces la corriente rateada continuamente: 4 veces corriente rateada
	Máxima tensión continua de entrada	273 V fase- neutro	500 V fase- neutro	250 V fase- neutro	230 V fase- neutro	Continuo: 2 Vn 10 segundos: 2.6 Vn	continuo: 2 x U <sub>n</sub> (240 V) 5 A continuo, 30 A para 0.5 s, 15 A para 3 s
	Resistencia máxima de contacto.	15 A @ 250 Vdc para 500 ms	50 A para 1 s	30 A para 0.5 s 15 A para 3 s	5 A continuo, 30 A para 0.5 s	10 A continuo, 30 A para 3 s	
	Inmunidad a la Rf conducida	De acuerdo a EN61000-4-6 IEC 60255-22-6 (10 V/m)	De acuerdo a IEC 61000-4-6: 2006 IEC 60255-22-6: 2001 (10 Vrms)	De acuerdo a EN61000-4-6 (0.15-80 MHz 10 V)	De acuerdo a IEC 61000-4-6, clase III (10 V; 150 kHz to 80 MHz; AM 80%; 1 kHz)	De acuerdo a IEC 61000-4-6: 1996, nivel 3 (10 V)	De acuerdo a IEC 61000-4-6: (10 V, 150 kHz...80 MHz)
	Resistencia a descargas electrostática	De acuerdo a EN61000-4-2 IEC 60255-22-2	De acuerdo a IEC 61000-4-2: 2008 IEC 60255-22-2: 2008	De acuerdo a EN61000-4-2, clase III	De acuerdo a IEC 61000-4-2, clase IV IEC 60255-22-2, clase IV	De acuerdo a IEC 60255-22-2, clase IV IEC 60255-22-2, class III	De acuerdo a IEC 61000-4-2, IEC 60255-22-2: IEC 60255-22-2:
	Inmunidad RF	De acuerdo a EN61000-4-3 IEC 60255-22-3 (10 V/m) IEE/ANSI C37.90.2	De acuerdo a IEC 61000-4-3: 2008 IEC 60255-22-3: 2007 (10 V/m) IEE/ANSI C37.90.2: 2004 (35 V/m)	De acuerdo a EN61000-4-3 (80-1000 MHz 10 V/m)	De acuerdo a IEC 61000-4-3, class III (10 V/m, 80 kHz) IEC 60255-22-3, class III (10 V/m, 27-500 MHz)	De acuerdo a IEC 61000-4-3: 2002 (900-1890 MHz 10 V/m)	De acuerdo a IEC 61000-4-3 (80-1000 MHz 10 V/m)
	Resistencia a perturbaciones transitorias rápidas	De acuerdo a EN61000-4-4 IEC 60255-22-4 (4 kV)	De acuerdo a IEC 61000-4-4: 2004 IEC 60255-22-4: 2008 (4 kV @ 5 kHz 2 kV @ 5 kHz for comm. ports)	De acuerdo a EN61000-4-4, class III (2 kV, 5/50 ns, 5 kHz, +/-)	De acuerdo a IEC 61000-4-4, IEC 60255-22-4, class IV (4 kV, 5/50 ns, 5 kHz)	De acuerdo a IEC 60255-22-4: 2002 (4 kV @ 2.5 kHz 2 kV @ 5 kHz)	De acuerdo a IEC 61000-4-4, IEC 60255-22-4, (4 kV for auxiliary source; 2 kV for comm. ports)
	Monitor	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Panel frontal de gestión	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Panel frontal de reset	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Entradas binarias	14	4	18	11	32	15
Salidas binarias	8	4	10	6	30	13	
Entradas análogas	1	4-8	-	-	-	Opcional para RTD's	
Administración del software del relé	Si	Si	Si	Si	Si	-	
Dimensiones estándar	Si	Si	No	Si	Si	Si	
Procesamiento numérico de corrientes y voltajes.	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Registros oscilograficos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Registro de eventos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Administración del software del relé	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Puertos disponibles para la administración del software	RS-232	EIA-232	RS-232	RS-232	RS-232	Puerto serial Óptico	
COMUNICACIÓN	Puertos seriales	RS232, RS422, RS485	EIA-232, EIA-485	TTL Opcional: RS-485, RS-232	RS232, RS485	RS232, RS485	RS-232, RS-485
	Protocolos de comunicación para puertos seriales	Modbus RTU DNP 3.0	SEL, Modbus, DNP3, TELNET, EVMSG	Modbus RTU, SpaBus, Profibus DP	Profibus FMS, Profibus DP, Modbus RTU, DNP 3.0	Courier / K-bus Modbus DNP 3.0	SPA bus, IEC- 60870-5-103, DNP 3.0, Modbus, IEC 61850, Profibus DPV1, LON
	Puertos ethernet	Opcional: 10BaseT con RJ45 conector	Opcional: 10/100BaseT con RJ45 conector o 100Base-FX con LC conector	Opcional: fibra óptica, 10BaseT	Opcional: fibra óptica, 100 Mbps/s	Opcional: 10/100 Mbs RJ45 conector	-
	Puertos para protocolos ethernet de comunicación	Modbus TCP sobre RTU/IP	FTP, TPC/IP, IEC 61850, DeviceNet, C37.118	IEC 60870-5-103, Modbus TCP	IEC 61850, IEC 60870-5-103,	IEC 60870-5-103, UCA2	-
	Entrada de sincronización	IRIG-B	IRIG-B	IEC 60870-5-103 SpaBus	IRIG-B DCF77	IRIG-B	Por entradas binarias

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES Y ARCO ELÉCTRICO SUBESTACIÓN PLANTA MINERA**

#### **3.4 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentará los resultados del estudio de coordinación de protecciones, la señalización de riesgo eléctrico para la subestación de la planta minera y los ajustes seleccionados para los Relés SEL-751A que controlarán los disparos de los interruptores conectados a la barra.

Todos se ajustará a lo especificado por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE 2013, la norma técnica colombiana NTC 2050 y la normal internacional IEEE 242.

#### **3.2 JUSTIFICACIÓN ESTUDIO DE COORDINACIÓN Y PROTECCIONES.**

Tras los resultados de las investigaciones de los dos últimos accidentes de arco eléctrico donde se ha evidenciado problemas con la selectividad de las protecciones en la subestación en estudio, este informe propone realizar un estudio de coordinaciones de las diferentes protecciones.

Teniendo en cuenta que una falla que no se controle, ni se aisle de la mejor manera, pone en riesgo la integridad del personal y de la propiedad, provocando serios daños en los equipos, deterioro de los conductores y paro en la producción no deseados, por esta razón,

el buen cálculo de corto circuito, y la buena coordinación de protecciones son fundamentales para minimizar el riesgo de que se presente de nuevo un caso de arco eléctrico en la subestación.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

La planta minera consta de varias subestaciones de distribución a un nivel de 4,16kV, la subestación relacionada en el estudio tiene como cargas equipos esenciales para el proceso. Esta subestación consta de dos barras alimentadas cada una por un transformador de 20MVA de 34.5/4.16 kV a través de los interruptores 1A01 y 1B01. Estas barras están acopladas a través del interruptor AB01 el cual carece de protecciones. Es importante recordar que ambos transformadores están diseñados para alimentar toda la carga de la subestación.

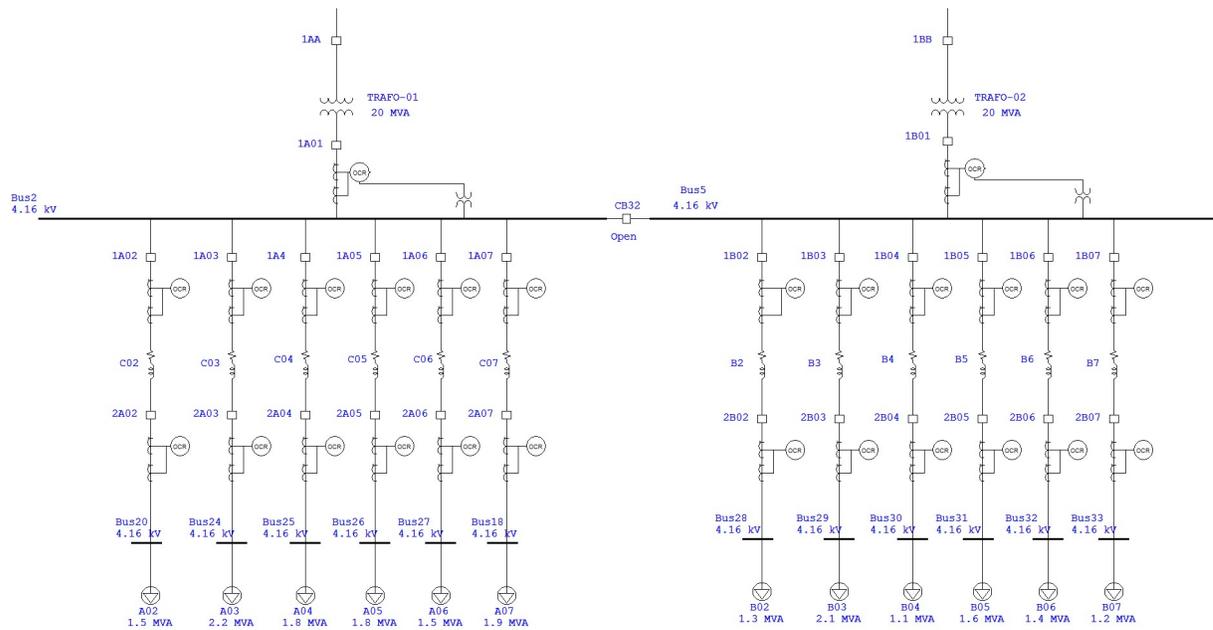


Figura 4: Diagrama unifilar industria minera.

**Tabla 2: Resumen de carga de los circuitos de la subestación.**

CIRCUITO	CARGA		CT		Cable						Relé	
	#	(Mva)	Fp	Ct fase	Ct tierra	Long (m)	Calibre	# cable por fase	Material	#/C	Clase	Referencia
A02	1.5	0.85	600/5	200/5	325	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
A03	2.2	0.85	600/5	200/5	425	500	2	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
A04	1.8	0.85	600/5	200/5	152	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
A05	1.8	0.85	600/5	200/5	263	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
A06	1.5	0.85	600/5	200/5	112	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
A07	1.9	0.85	600/5	200/5	160	500	2	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B02	1.3	0.85	600/5	200/5	235	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B03	2.1	0.85	600/5	200/5	301	500	2	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B04	1.1	0.85	600/5	200/5	266	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B05	1.6	0.85	600/5	200/5	231	500	2	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B06	1.4	0.85	600/5	200/5	258	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL
B07	1.2	0.85	600/5	200/5	369	500	1	Cu	3	5Kv 100%	751A	SEL

### 3.4 ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA.

Para la coordinación de protecciones del sistema se busca que haya selectividad entre los diferentes elementos de protección instalados en el sistema, de manera que cuando se presente una falla en cualquier punto del mismo, se produzca la desenergización desde el elemento protector más próximo que se encuentre aguas arriba de dicho punto. Esto permite aislar la sección fallada sin perjudicar el suministro eléctrico de otras zonas donde el sistema opera bajo parámetros normales.

El relé escogido en los capítulos anteriores para la protección de los alimentadores asociados a la subestación corresponde a un SEL 751A, el cual está diseñado para este tipo de propósitos, pues dependiendo de las funciones habilitadas, está en la capacidad de generar la apertura de los elementos de protección asociados a los circuitos a los que se encuentra conectado en caso de que en ellos se presenten fallas. A continuación, se

presenta un diagrama donde se observan los elementos de protección asociados a un relé SEL 751A y la forma en que estos se interconectan para brindar protección al alimentador que protegen. Dependiendo de las necesidades específicas de cada instalación algunas funciones pueden ser deshabilitadas.

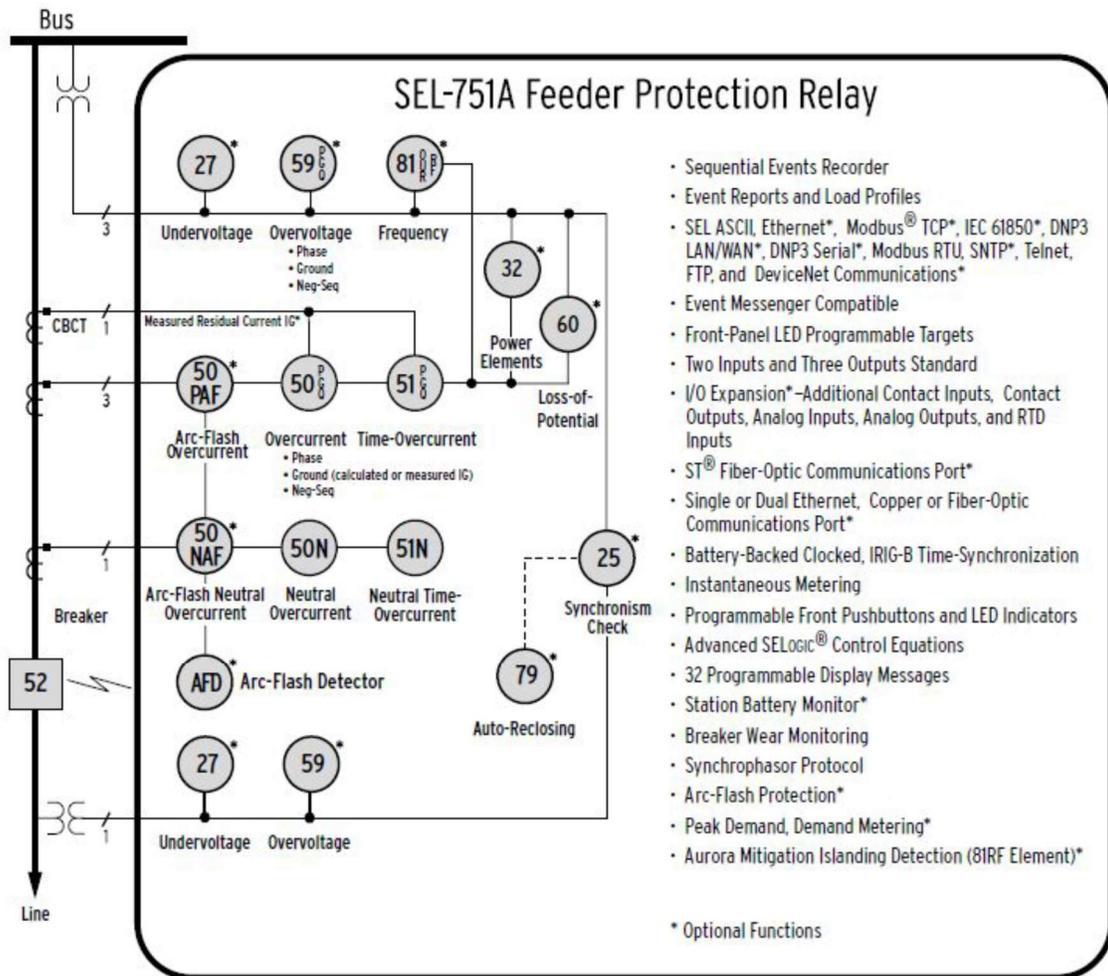


Figura 5 Diagrama funcional del relé SEL 751A.

### 3.5 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente estudio se siguieron las etapas que se indican a continuación:

- Revisión de planos y diagrama unifilares suministrados por la empresa.
- Recolección de ajustes de los interruptores aguas debajo de la subestación.
- Modelado del sistema de potencia en software de simulación ETAP.
- Ejecución de simulaciones, de acuerdo con los escenarios de análisis y condiciones de falla.

Para realizar este estudio se tomarán los ajustes de los relés originales de los interruptores que están aguas debajo de la subestación, que para este caso sería los interruptores A02-07 y los interruptores B02-07. En la tabla 3 y 4 muestra el resumen de los ajustes de los relés.

**Tabla 3: Ajuste de sobrecorriente de fase.**

Relé	CT	51P				50P		
		PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial	Curva	PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial
A02	600/5	246	2.05	2.43	Extremadamente inversa	1366.8	11.39	0.11
A03	600/5	392.4	3.27	0.49	Extremadamente inversa	1498.8	12.49	1.72
A04	600/5	283.2	2.36	2.04	Extremadamente inversa	640.8	5.34	1.54
A05	600/5	277.2	2.31	1.72	Extremadamente inversa	942	7.85	1.01
A06	600/5	250.8	2.09	2.2	Extremadamente inversa	1077.6	8.98	0.8
A07	600/5	320.4	2.67	2.5	Extremadamente inversa	751.2	6.26	1.16
B02	600/5	228	1.9	1.63	Extremadamente inversa	578.4	4.82	1.73
B03	600/5	350.4	2.92	1.8	Extremadamente inversa	1124.4	9.37	0.77
B04	600/5	187.2	1.56	2.55	Extremadamente inversa	390	3.25	1.99
B05	600/5	280.8	2.34	1.8	Extremadamente inversa	766.8	6.39	0.92
B06	600/5	276	2.3	2.3	Extremadamente inversa	477.6	3.98	0.88
B07	600/5	211.2	1.76	2.3	Extremadamente inversa	609.6	5.08	1.83

**Tabla 4: Ajuste de sobrecorriente de tierra.**

Relé	CT	51G			Curva	50G		
		PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial		PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial
A02	200/5	28	0.7	1	Alta inversa	-	-	-
A03	200/5	28	0.7	1	Alta inversa	-	-	-
A04	200/5	36	0.9	1	Alta inversa	-	-	-
A05	200/5	36	0.9	1	Alta inversa	-	-	-
A06	200/5	28	0.7	1	Alta inversa	-	-	-
A07	200/5	36	0.9	1	Alta inversa	-	-	-
B02	200/5	24	0.6	1	Alta inversa	-	-	-
B03	200/5	40	1	1	Alta inversa	-	-	-
B04	200/5	20	0.5	1	Alta inversa	-	-	-
B05	200/5	32	0.8	1	Alta inversa	-	-	-
B06	200/5	24	0.6	1	Alta inversa	-	-	-
B07	200/5	24	0.6	1	Alta inversa	-	-	-

### 3.6 CRITERIOS PARA EL AJUSTE DE PROTECCIONES

A continuación, se presentan los criterios para el ajuste de los dispositivos de protección, los cuales están de acuerdo con lo establecido en el estándar IEEE-242 y la Norma Técnica Colombiana NTC-2050.

#### 3.6.1 Función de Protección de Sobrecorriente de Fases Temporizada – (ANSI 51).

Para permitir condiciones de sobrecarga sin deteriorar el estado de conductores y transformadores, la corriente de arranque ( $I_{pick\ up}$ ) de la curva de disparo de los relés de protección, debe ser mayor a la corriente de sobrecarga esperada.

Se recomienda ajustar esta corriente de arranque seleccionando el menor valor de los siguientes cálculos:

- 90% de la máxima capacidad de corriente del conductor alimentador (aplicando los respectivos factores de corrección por temperatura y disposición de conductores).
- 125% de la carga nominal del circuito o equipo.
- 120% de la corriente nominal del interruptor y del TC.

El tiempo de coordinación de protecciones se seleccionará considerando la siguiente tabla de la norma IEE STS 242.

Tabla 5: Tiempos de coordinación CTI

Downstream	Upstream			
	Fuse	Low-voltage breaker	Electro-mechanical relay	Static relay
Fuse	CS <sup>b,c</sup>	CS	0.22 s	0.12 s
Low-voltage circuit breaker	CS <sup>c</sup>	CS	0.22 s	0.12 s
Electromechanical relay (5 cycles)	0.20 s	0.20 s	0.30 s	0.20 s
Static relay (5 cycles)	0.20 s	0.20 s	0.30 s	0.20 s

<sup>a</sup>Relay settings assumed to be field-tested and -calibrated.

<sup>b</sup>CS = Clear space between curves with upstream minimum-melting curve adjusted for pre-load.

<sup>c</sup>Some manufacturers may also recommend a safety factor. Consult manufacturers' time-current curves.

(tabla 15.3- IEEE STD 242)

### 3.6.2 Función de Protección de Sobrecorriente de Fases de Tiempo Definido – (ANSI 50)

El ajuste de la protección de sobrecorriente de fases de tiempo definido se realiza buscando una buena coordinación con los elementos aguas arriba y aguas abajo de la protección, con un valor normalmente entre el 40% al 60% de la mínima corriente de falla para garantizar que la protección actúe dentro de la característica magnética ante cortocircuitos.

Tabla 6: Criterios de coordinación Instantáneos Fases y Tierra.

EQUIPOS	Instantaneo (50φ Fases) (50N Tierra)	
	Líneas entre S/E	$\phi \geq 1.2 \times I_{cc3\phi}$ (demanda mínima) barra adyacente $N = 1.2 \times I_{cc1\phi}$ (Generacion mínima)
Transformadores	Alta	$\phi = 1.25 \times I_{cc3\phi}$ según vista primaria (Generacion mínima) $N = 1.25 \times I_{cc1\phi}$ según vista primaria (Generacion mínima)
	Baja	Anulan si existen otros aguas abajo
Linea de distribución	$\phi \geq (0.4-0.6) \times I_{cc3\phi}$ barra (Generacion mínima), sino se conoce el valor de ICC cc3φ se toma 10 veces la corriente de carga	
	$N = (0.4-0.6) \times I_{cc1\phi}$ barra (Generacion mínima)	
Circuitos de Distribucion BT	$\phi \geq 1.5 \times I_{cc3\phi}$ (demanda mínima) barra adyacente	
	$N = 1.5 \times I_{cc1\phi}$ (Generacion mínima)	

### **3.6.3 Función de Protección de Sobrecorriente de Tierra Temporizada – (ANSI 51N).**

Se ajusta a un valor al 10-20 % del ajuste del tap de fases y verificando que, para circuitos y líneas de distribución o transmisión, este valor sea menor o igual que 120 Amperios, que equivale al valor máximo de desbalance permitido que se puede encontrar en el sistema.

### **3.6.4 Función de Protección de Sobrecorriente de Tierra de Tiempo Definido – (ANSI 50N).**

El ajuste de la protección de sobrecorriente de tierra de tiempo definido se ajusta buscando una buena coordinación con los elementos aguas abajo de la protección. Se recomienda un ajuste este entre el 40% al 60% de la mínima corriente de falla monofásica para garantizar que la protección actúe dentro de la característica magnética ante cortocircuitos, y con un tiempo de actuación que garantice un margen de coordinación de 150-200 ms con las demás funciones de tierra.

### **3.6.5 Función baja tensión (27) y alta tensión (59)**

Para la realización de los ajustes de baja tensión (27) y alta tensión (59) de los alimentadores se recomienda ajustar las funciones de baja tensión y alta de la siguiente manera:

✓ Protección de sobretensión (59)

Ajuste de la primera etapa:

$U \geq 1.1PT_{sec}$ ;  $U \geq 1.1 * 120 \text{ V}$ ;  $U \geq 132 \text{ V}$

$TU \geq 3 \text{ segundos}$

Ajuste de la segunda etapa:

$U \leq 1.15PT_{sec}$ ;  $U \leq 1.15 * 120 \text{ V}$ ;  $U \leq 138 \text{ V}$

$TU \leq 3 \text{ Segundos}$

✓ Protección de baja tensión (27)

Ajuste de la primera etapa:

$U' = 0.95PT_{sec}$ ;  $U' = 0.95 * 120 \text{ V}$ ;  $U' = 114 \text{ V}$

$TU' = 3 \text{ segundos}$

Ajuste de la segunda etapa:

$U'' = 0.85PT_{sec}$ ;  $U'' = 0.85 * 120 \text{ V}$ ;  $U'' = 102 \text{ V}$

$TU'' = 3 \text{ Segundos}$

### 3.7 AJUSTE DE PROTECCIONES

Teniendo en cuenta los criterios mencionados, para realizar la coordinación de protecciones se seleccionaron los interruptores asociados a la subestación. En el Anexo 1 se muestra el resumen de los ajustes de los relés resultado del estudio de cortocircuito trifásico y línea-tierra en las diferentes barras.

En la tabla encontraremos el resumen de los ajustes de los relés de protecciones de la subestación en estudio.

**Tabla 7: Resumen ajustes de protecciones sobrecorriente de fase.**

Relé	CT	51P				50P		
		PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial	Curva	PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial
1A01	3000/5	99.6	0.83	15	Extremadamente inversa	590.4	4.92	2.93
1A02	600/5	280.8	2.34	5.54	Extremadamente inversa	2029.2	16.91	0.59
1A03	600/5	412.8	3.44	15	Extremadamente inversa	2461.2	20.51	1.91
1A04	600/5	373.2	3.11	15	Extremadamente inversa	2316	19.3	2.73
1A05	600/5	326.4	2.72	15	Extremadamente inversa	1657.2	13.81	1.22
1A06	600/5	320.4	2.67	15	Extremadamente inversa	1591.2	13.26	1
1A07	600/5	400.8	3.34	15	Extremadamente inversa	1285.2	10.71	1.36
1B01	3000/5	134.4	1.12	15	Extremadamente inversa	627.6	5.23	2.23
1B02	600/5	298.8	2.49	15	Extremadamente inversa	1082.4	9.02	1.03
1B03	600/5	460.8	3.84	15	Extremadamente inversa	1674	13.95	0.97
1B04	600/5	229.2	1.91	15	Extremadamente inversa	706.8	5.89	1.24
1B05	600/5	392.4	3.27	3.62	Extremadamente inversa	1311.6	10.93	0.89
1B06	600/5	295.2	2.46	9.99	Extremadamente inversa	946.8	7.89	1.08
1B07	600/5	264	2.2	15	Extremadamente inversa	997.2	8.31	2.03

**Tabla 8: Resumen ajustes de protecciones sobrecorriente de tierra.**

Relé	CT	51G				50G		
		PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial	Curva	PickUp Primario	Pick Up Secundario	Time Dial
1A01	3000/5	200	5	5.06	Alta inversa			
1A02	200/5	44	1.1	3.02	Alta inversa	-	-	-
1A03	200/5	38	0.95	2.99	Alta inversa	-	-	-
1A04	200/5	54	1.34	3.01	Alta inversa	-	-	-
1A05	200/5	60	1.49	3.06	Alta inversa	-	-	-
1A06	200/5	42	1.05	3.06	Alta inversa	-	-	-
1A07	200/5	54	1.34	2.99	Alta inversa	-	-	-
1B01	3000/5	20	0.5	5.06	Alta inversa			
1B02	200/5	40	1	3.08	Alta inversa	-	-	-
1B03	200/5	58	1.43	3.03	Alta inversa	-	-	-
1B04	200/5	28	0.68	3.06	Alta inversa	-	-	-
1B05	200/5	44	1.1	2.99	Alta inversa	-	-	-
1B06	200/5	34	0.83	3	Alta inversa	-	-	-
1B07	200/5	29	0.71	3.06	Alta inversa	-	-	-

### 3.8 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA INCIDENTE

Para la determinación de la corriente del circuito se utilizó la simulación general del sistema eléctrico de la planta, elaborada en el software ETAP.

#### 3.8.1 CONCEPTO DE ARCO ELÉCTRICO Y SUS FENÓMENOS ASOCIADOS.

Un arco eléctrico es una descarga disruptiva generada por la ionización de un medio gaseoso (por ejemplo, el aire) entre dos superficies o elementos a diferente potencial.

El arco es un fenómeno caótico, es decir, no lineal y fuertemente dependiente de las condiciones iniciales, complejo, depende de muchos factores como el medio físico donde se produce la intensidad de corriente o la forma y materiales de la instalación eléctrica en tensión y que puede originarse tanto por un fallo técnico como por un error humano (caída de herramientas, maniobra inadecuada, etc.). Los estudios técnicos, recomendaciones y guías de seguridad eléctrica actuales, establecen la necesidad de evaluar el riesgo asociado al arco eléctrico, en trabajos en o próximos a instalaciones, donde existan tensiones superiores a 250 V (tanto en alterna como en continua), bajo ciertas circunstancias. Cuando tiene lugar un arco eléctrico, se produce un flujo de cargas eléctricas y una gran liberación de energía y sustancias peligrosas, entre las que cabe destacar:

- Energía térmica, produce gran aumento de temperatura en las inmediaciones del arco.
- Onda de presión, que produce destrucciones mecánicas sobre las instalaciones y daños físicos sobre los trabajadores.
- Gases tóxicos y metralla, debida a las altas temperaturas que se alcanzan durante el arco.
- Radiaciones electromagnéticas, principalmente ultravioleta (UV) e infrarroja (IR).

Las principales guías y recomendaciones de seguridad eléctrica, relacionan los parámetros eléctricos de una instalación, con los valores de energía calorífica incidente sobre los trabajadores, es decir, se centran en los riesgos térmicos asociados al arco. No obstante, cada vez existen más estudios, que cuantifican el resto de riesgos asociados al fenómeno de arco, como son los riesgos oculares o auditivos.

### **3.8.2 DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE DE ARCO**

Para el cálculo de la corriente de arco se utilizó la metodología planteada por la norma IEEE Std 1584-2002 “Guide for performing Arc-Flash Hazard Calculations”, en la cual se plantea la ecuación:

**Tabla 9: Método IEEE 1584.**

IEEE 1584	$E = C_p \cdot E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$ $E_n = 10^{99(5-j)}$ $\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_{sc}) + 0,0011 \cdot G$ $I_{sc} = 10^{99(5-i)}$																																							
	V < 1 kV	$\log(I_{sc}) = K + 0,662 \cdot \log(I_{sc}) + 0,0966 \cdot V + 0,000526 \cdot G + 0,5588 \cdot V \cdot (\log(I_{sc})) - 0,00304 \cdot G \cdot \log(I_{sc})$																																						
	1 kV < V < 15 kV	$\log(I_{sc}) = 0,00402 + 0,983 \cdot \log(I_{sc})$																																						
<p> <math>E_n</math>: energía calorífica incidente (cal/cm<sup>2</sup>)  <math>E_n</math>: energía calorífica incidente normalizada (J/cm<sup>2</sup>)  <math>G</math>: distancia entre conductores (mm)  <math>V</math>: tensión nominal (kV)  <math>I_{sc}</math>: corriente de falla (kA)  <math>D</math>: distancia de trabajo (mm)  <math>t</math>: tiempo de duración del arco (s)  <math>K, K_1, K_2</math>: constantes dependientes de si es un sistema con tierra, sin tierra o con tierra de alta impedancia  <math>K</math>: -0,153 (aire libre); -0,097 (en caja)  <math>K_1</math>: -0,792 (aire libre); -0,555 (en caja)  <math>K_2</math>: 0 (para sistemas sin tierra y con tierra de alta impedancia); -0,113 (para sistemas con tierra)  <math>C_p</math>: factor de cálculo  1,0 para tensiones superiores a 1 kV  1,5 para tensiones inferiores a 1 kV  <math>x</math>: factor de distancia </p>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tensión (kV)</th> <th>Tipo de aparatamiento eléctrica</th> <th>Distancia entre conductores (mm)</th> <th>x, Factor de distancia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0,208 – 1</td> <td>Aire libre</td> <td>10 – 40</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de interrupción</td> <td>32</td> <td>1,473</td> </tr> <tr> <td>Cuadros generales y de control de motores (MCC)</td> <td>25</td> <td>1,641</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">&gt; 1 – 5</td> <td>Aire libre</td> <td>102</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de interrupción</td> <td>13 – 102</td> <td>0,973</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">&gt; 5 – 15</td> <td>Aire libre</td> <td>13 – 153</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de interrupción</td> <td>153</td> <td>0,973</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> </tbody> </table>				Tensión (kV)	Tipo de aparatamiento eléctrica	Distancia entre conductores (mm)	x, Factor de distancia	0,208 – 1	Aire libre	10 – 40	2,000	Elementos de interrupción	32	1,473	Cuadros generales y de control de motores (MCC)	25	1,641	Cable	13	2,000	> 1 – 5	Aire libre	102	2,000	Elementos de interrupción	13 – 102	0,973	Cable	13	2,000	> 5 – 15	Aire libre	13 – 153	2,000	Elementos de interrupción	153	0,973	Cable	13	2,000
Tensión (kV)	Tipo de aparatamiento eléctrica	Distancia entre conductores (mm)	x, Factor de distancia																																					
0,208 – 1	Aire libre	10 – 40	2,000																																					
	Elementos de interrupción	32	1,473																																					
	Cuadros generales y de control de motores (MCC)	25	1,641																																					
	Cable	13	2,000																																					
> 1 – 5	Aire libre	102	2,000																																					
	Elementos de interrupción	13 – 102	0,973																																					
	Cable	13	2,000																																					
> 5 – 15	Aire libre	13 – 153	2,000																																					
	Elementos de interrupción	153	0,973																																					
	Cable	13	2,000																																					

A continuación, se explica la metodología seguida para la realización del presente estudio:

- Inspección preliminar de los equipos que incluye; Estudio del diagrama unifilar general; Elaboración de la lista de chequeo para cada uno de equipos objeto del análisis.
- Visita de campo en la cual se consignaron entre otros datos los siguientes datos: Nombre del tablero, Tensión, Tipo de tablero (Distribución, MCC, Motor, etc.), Encerramiento (Según tenga o no una barrera entre el operador y los barajes o cables), Características del interruptor principal, Características de la protección principal), etc.

- De acuerdo con la información entregada por el personal de la planta y la del levantamiento, se modeló el sistema eléctrico de la planta en el software de análisis de sistemas de potencia ETAP, incluyendo sus características reales, tales como: Tipo de equipo (Generador, Transformador, Cable, Línea, Celdas, etc.), Impedancias, Longitudes de cables o líneas, Potencia, Tensiones, Inercia de generadores, Capacidad de corto de las fronteras de conexión, Settings de las protecciones, etc.
- Se calcularon las corrientes de corto del sistema, para determinar la capacidad de corto en cada equipo a analizar, para efectos del estudio se utiliza la corriente de falla trifásica.
- Con el módulo de coordinación del programa ETAP, se calcularon los tiempos de respuesta de las protecciones de sobre corriente trifásica, para cada barra analizada.
- Se calculó del riesgo de Arc flash según metodología de la IEEE1584 que incluye el análisis caso a caso de todos los equipos a estudiar, esta metodología clasifica el riesgo de cada equipo en 5 niveles, de donde se derivan las recomendaciones de: EPP, distancias a observar, accesorios y herramientas que deben utilizar los trabajadores que operan, mantienen, supervisan o circulan en proximidades de equipos energizados.
- El cálculo de riesgo de Arc flash se realizó con el software ETAP que permite elaborar diagramas unifilares y desarrollar estudios de cortocircuito, coordinación de protecciones, arranque de motores, mallas a tierra entre otros. El ETAP Arc flash basa sus resultados en las pruebas que figuran en el IEEE-1584, el programa identifica rápidamente el grado de vestimenta requerida por los operadores al trabajar cerca de un equipo energizado.

### **3.9 CARACTERÍSTICAS DE PUNTOS A SEÑALIZAR Y PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO DIRECTO.**

Los puntos a señalar son las celdas de media tensión donde se encuentran los equipos de protección y de maniobra de los alimentadores que se derivan de la subestación. De acuerdo con el Artículo 13.4 del RETIE dado que el arco eléctrico es un hecho frecuente en trabajos eléctricos, que genera radiación térmica hasta de 20000 °C, que presenta un aumento súbito de presión hasta de 30 t/m<sup>2</sup>, con niveles de ruido por encima de 120 dB y que expide vapores metálicos tóxicos por desintegración de productos, se establecen los siguientes requisitos frente a este riesgo:

- Cumplir las distancias mínimas de aproximación a equipos de la tabla 13.8 y la figura 13.4 del RETIE, estas distancias son barreras que buscan prevenir lesiones al trabajador y en general a todo el personal.
- Para personas no calificadas, el límite de aproximación seguro. Para trabajos en tensión, cumplir el límite de aproximación técnica.
- Instalar etiquetas donde se indique el nivel de riesgo que presenta un determinado equipo.
- Utilizar los elementos de protección personal acordes con el nivel de riesgo y el nivel de entrenamiento para realizar un trabajo que implique contacto directo.

Tabla 10: Límites de aproximación a partes energizadas de equipos.

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
51 V – 300 V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V – 750 V	3,00	1,10	0,30	0,025
751 V – 15 kV	3,00	1,50	0,66	0,18
15,1 kV – 36 kV	3,00	1,80	0,78	0,25
36,1 kV – 46 kV	3,00	2,44	0,84	0,43
46,1 kV - 72,5 kV	3,00	2,44	0,96	0,63
72,6 kV – 121 kV	3,25	2,44	1,00	0,81
138 kV - 145 kV	3,35	3,00	1,09	0,94
161 kV - 169 kV	3,56	3,56	1,22	1,07
230 kV - 242 kV	3,96	3,96	1,60	1,45
345 kV - 362 kV	4,70	4,70	2,60	2,44
500 kV – 550 kV	5,80	5,80	3,43	3,28

Tabla 13.8 RETIE

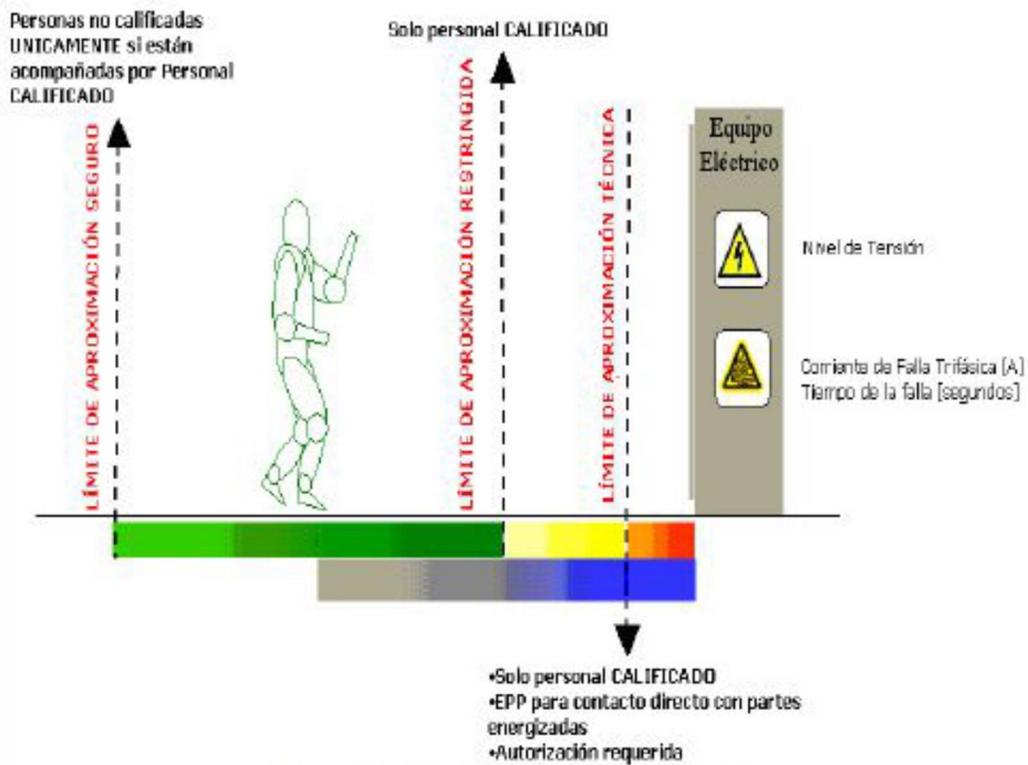


Figura 6: Límites de aproximación, figura 13.4 RETIE.

### 3.10 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN FRENTE AL ELÉCTRICO

Cuando los niveles de energía calorífica incidente sobre el trabajador, se encuentren dentro del rango de 1,2 – 40 cal/cm<sup>2</sup>, será necesario tomar medidas preventivas frente a los riesgos asociados al arco. Como se comentó anteriormente, para niveles de energía iguales o superiores a 40 cal/cm<sup>2</sup>, no se recomienda realizar trabajos dentro de dicha zona y para niveles de energía inferiores a 1,2 cal/ cm<sup>2</sup>, no existe riesgo de quemaduras de segundo grado. Considerando todos los parámetros que influyen en el cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador, se observa que se puede disminuir dicha energía actuando sobre alguno de los siguientes elementos:

- Disminuir la tensión de la instalación.
- Disminuir la corriente del arco eléctrico.
- Disminuir la duración del arco eléctrico.
- Aumentar la distancia al arco eléctrico.

Excepto el primero de los parámetros (tensión de una instalación eléctrica), sobre el que es muy difícil actuar, existen dos categorías de medidas de prevención y de protección: las que intentan disminuir la energía del arco (actuando sobre la corriente o sobre la duración de éste) y las que intentan aumentar la distancia del trabajador a la fuente del arco.

Para la selección de dichas medidas frente a los riesgos asociados al arco eléctrico, se adoptarán los principios jerárquicos establecidos en el art. 15 de la LPRL, debiendo primarse siempre las medidas en origen y de protección colectiva, frente a las individuales. En los fenómenos de arco, es aún más importante seguir este proceso jerárquico, ya que existen muchos fenómenos asociados al arco, cuyo riesgo no se ha cuantificado, y sólo las medidas en origen, que eliminan la energía inicial del arco, pueden asegurar una adecuada protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a dichos fenómenos.

## CONCLUSIONES

El arco eléctrico es uno de los principales riesgos a los que se ven expuestos los trabajadores de instalaciones eléctricas; cuando se produce un arco, se desencadena una fuerte liberación de energía y se producen muchos fenómenos diferentes. Actualmente, el riesgo térmico asociado al arco, es el riesgo en el que más se ha avanzado y sobre el que se han planteado más medidas preventivas. En la evaluación frente a los riesgos térmicos asociados al arco, es fundamental establecer dos elementos: La zona de peligro frente al arco, a través del “límite de seguridad frente al arco” (FPB) y una estimación de la energía calorífica incidente sobre los trabajadores dentro de dicha zona.

Un nivel alto de EPP incluye un equipo que es muy grueso que puede impedir la vista y el movimiento, aumentando el riesgo de accidente, la dificultad y el tiempo para realizar el trabajo.

Se requiere la elaboración de los adhesivos para instalar en cada equipo analizado, en donde se indique: Tensión; Nivel de corto; Nivel de riesgo; Tipo de guantes; Necesidad de elementos como: gafas, Herramientas aisladas; Distancia a observar.

La mayoría de los equipos analizados con la ayuda del módulo de ETAP Arc Flash and Shock Hazard, son equipos con alta frecuencia de operación. Los resultados arrojaron que estos equipos, son en su mayoría catalogados en las categorías 0, 1 y 2, con base en ese dictamen se recomienda de forma permanente que el personal encargado del mantenimiento en campo porte siempre una uniforme categoría 2, la ropa tiene que ser con certificación para arco. Ver 6.8.3. Equipos de Protección Personal (EPP).

Como acción inmediata se recomendó definir una estrategia y un procedimiento especial para las maniobras en aquellos equipos clasificados categoría 4 y para aquellos que la exceden. Para este caso particular se encontró que el 13% del total de los interruptores exceden las 40 cal/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, se recomendó la implementación de un proyecto de operación remota de interruptores para aquellos clasificados como categoría 3 o superior y que su configuración permita la habilitación de esa funcionalidad, se identificaron 84 interruptores de los cuales solo 15 son operados de manera remota.

Se observa desconocimiento en el personal encargado del mantenimiento eléctrico en campo sobre los conceptos normativos de distancia de aproximación y los procedimientos a seguir para intervenir o realizar maniobras en los equipos que presentan un alto riesgo por arco eléctrico, por lo que se sugiere realizar una exhaustiva capacitación en este tema.

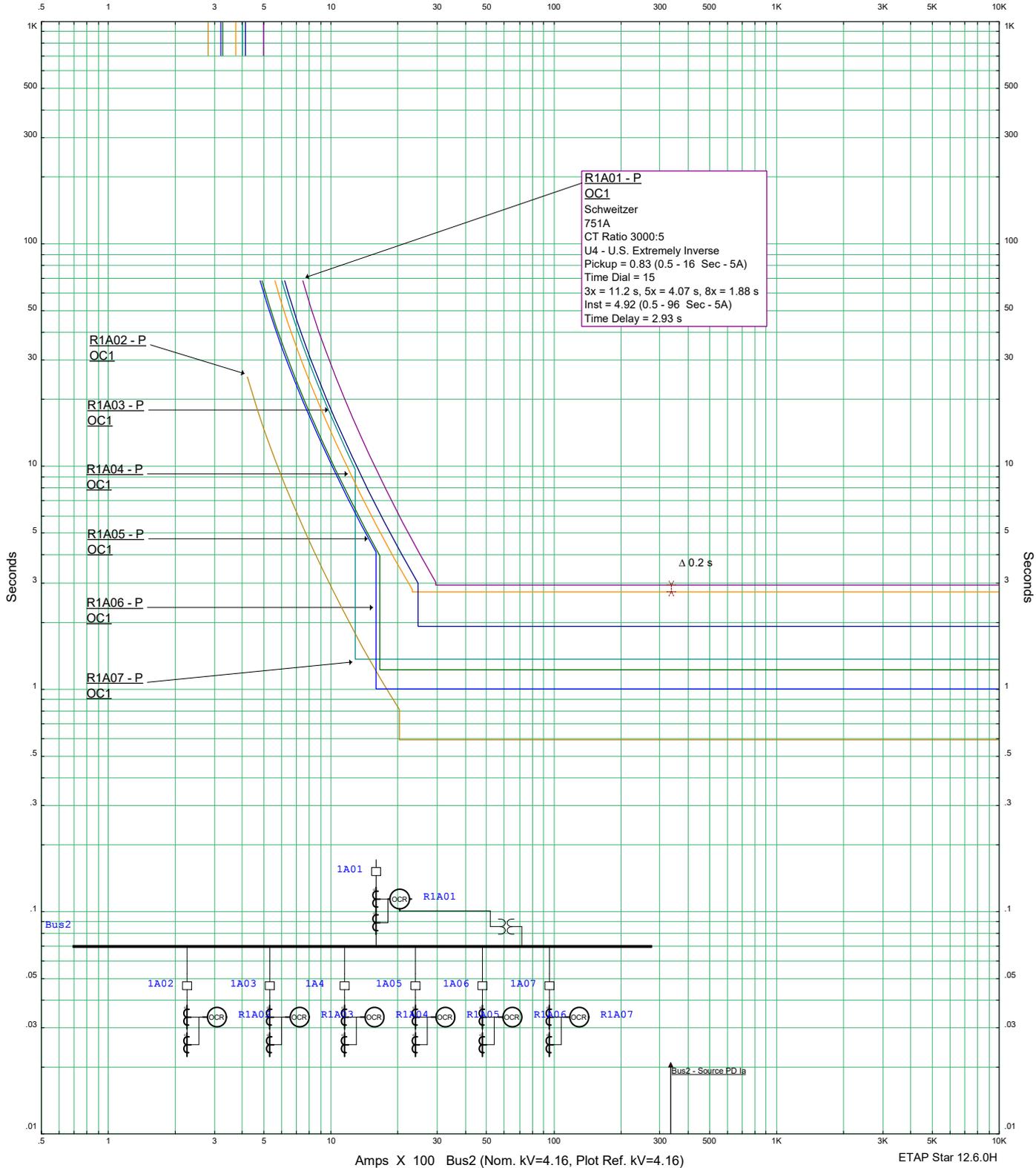
## BIBLIOGRAFÍA

- CAPELLI-SHELLPFER, M. (1988). *Correlation between electrical accident parameters and injury*. IEEE Industry Applications Magazine.
- IEEE. (2005). *IEEE 1584-2002*. IEEE - Industry Applications Magazine, IEEE (Volume:11 , Issue: 1 ).
- LPRL. (1995). *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales*. LPRL.
- NFPA. (2009). Apartado 130.3 de la norma NFPA 70E-2009 "Standard for Electrical Safety in the Workplace. NFPA.
- Pavlovic, T., Milosavljevic, D., Radonjic, I., Pantic, L., Radivojevic, A., & Pavlovic, M. (2012). Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18.
- Renewables Insight - RENI. (2014). *PV Power Plants 2013*.
- The German Energy Society. (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems (Segunda ed.)*. Londres, Inglaterra.

## **ANEXO 1**

**CURVAS DE PROTECCIONES DE FASES DE LOS INTERRUPTORES ASOCIADOS A LA  
SUBESTACION DE ESTUDIO.**

Amps X 100 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



R1A01 - P  
 OC1  
 Schweitzer  
 751A  
 CT Ratio 3000:5  
 U4 - U.S. Extremely Inverse  
 Pickup = 0.83 (0.5 - 16 Sec - 5A)  
 Time Dial = 15  
 3x = 11.2 s, 5x = 4.07 s, 8x = 1.88 s  
 Inst = 4.92 (0.5 - 96 Sec - 5A)  
 Time Delay = 2.93 s

R1A02 - P  
 OC1

R1A03 - P  
 OC1

R1A04 - P  
 OC1

R1A05 - P  
 OC1

R1A06 - P  
 OC1

R1A07 - P  
 OC1

Δ 0.2 s

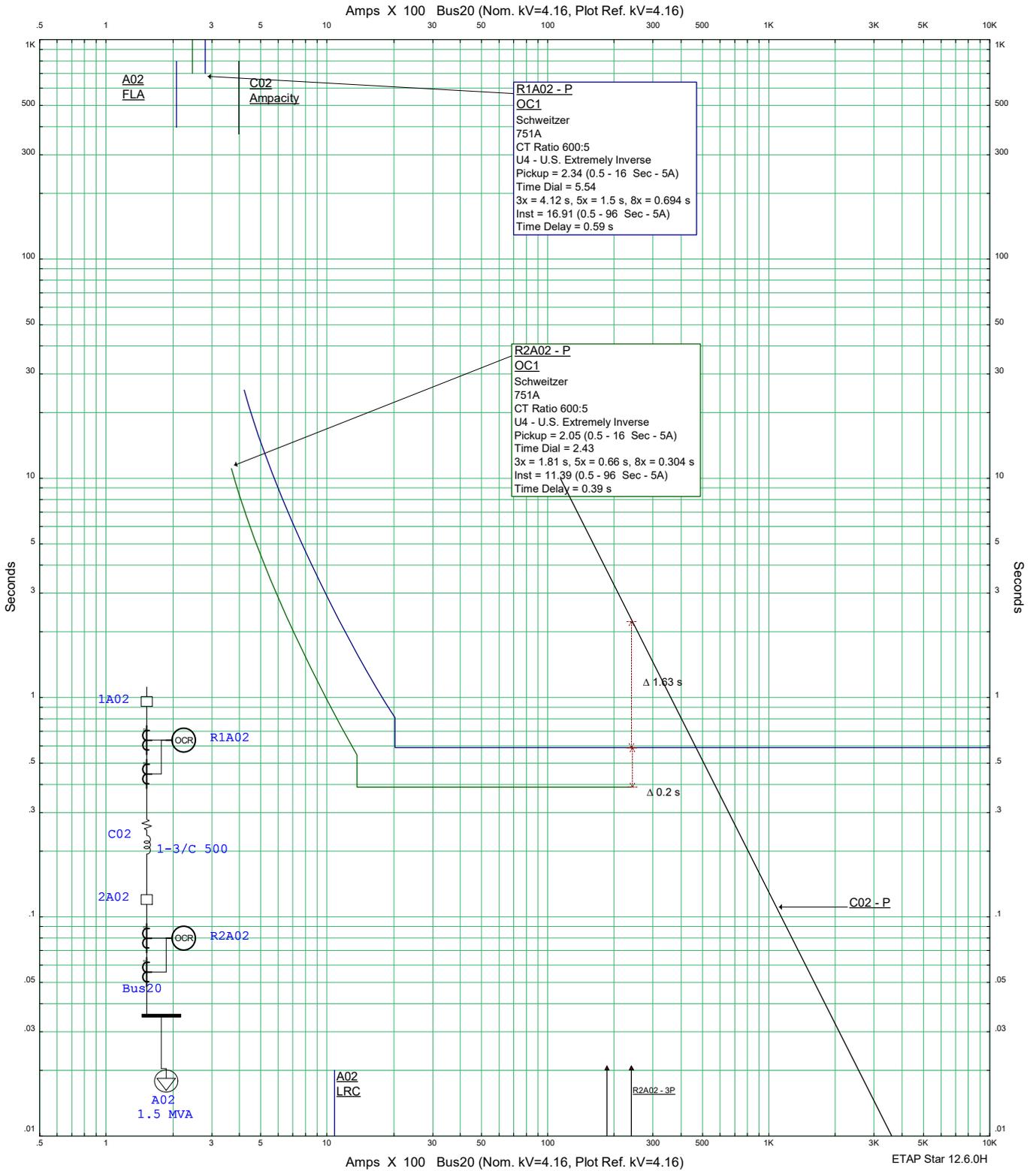
Amps X 100 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

ETAP Star 12.6.0H

**CURVA 1A01**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

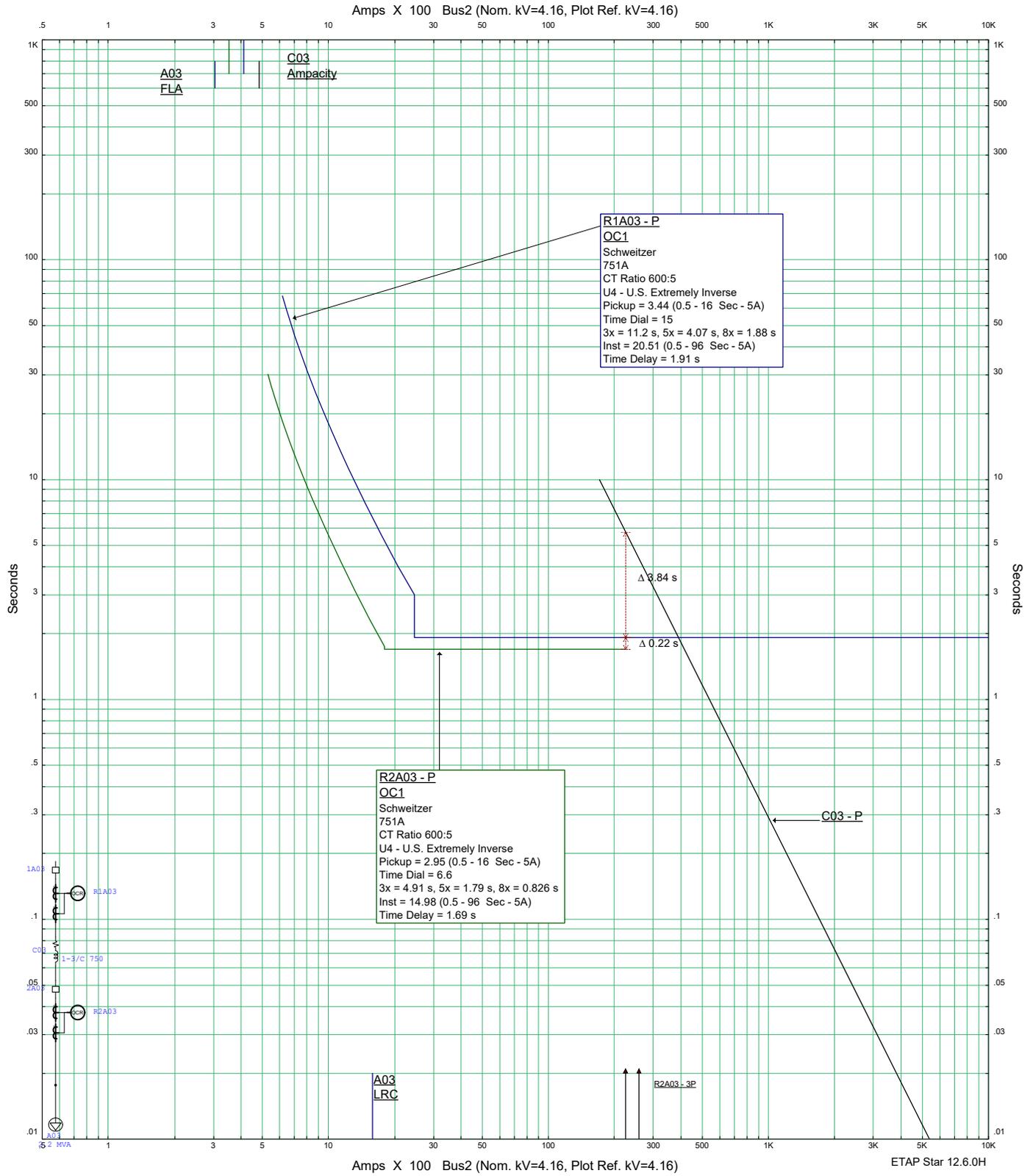
Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase



### CURVA 1A02

Project: PLANTA MINERA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

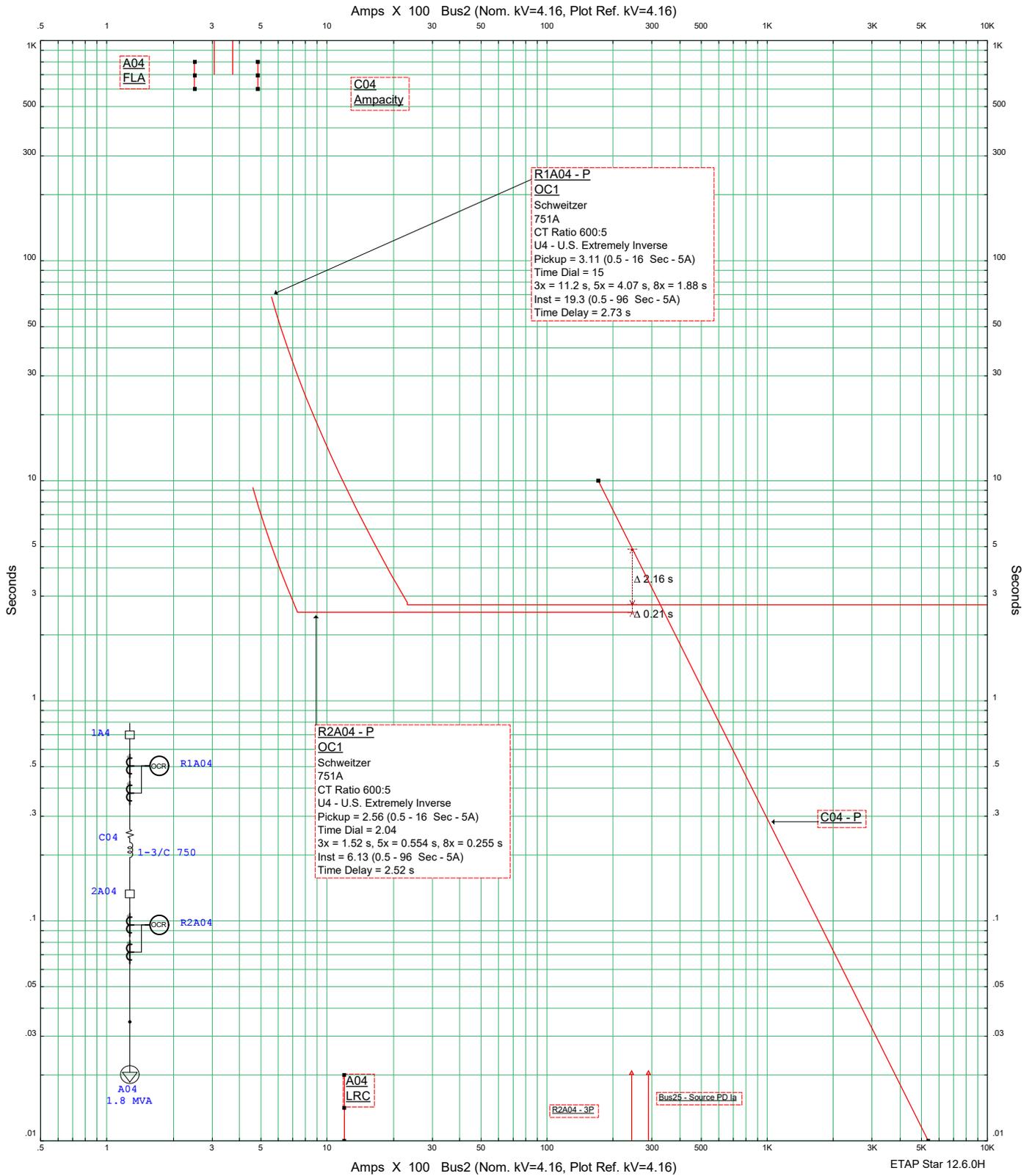
Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase



### CURVA 1A03

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

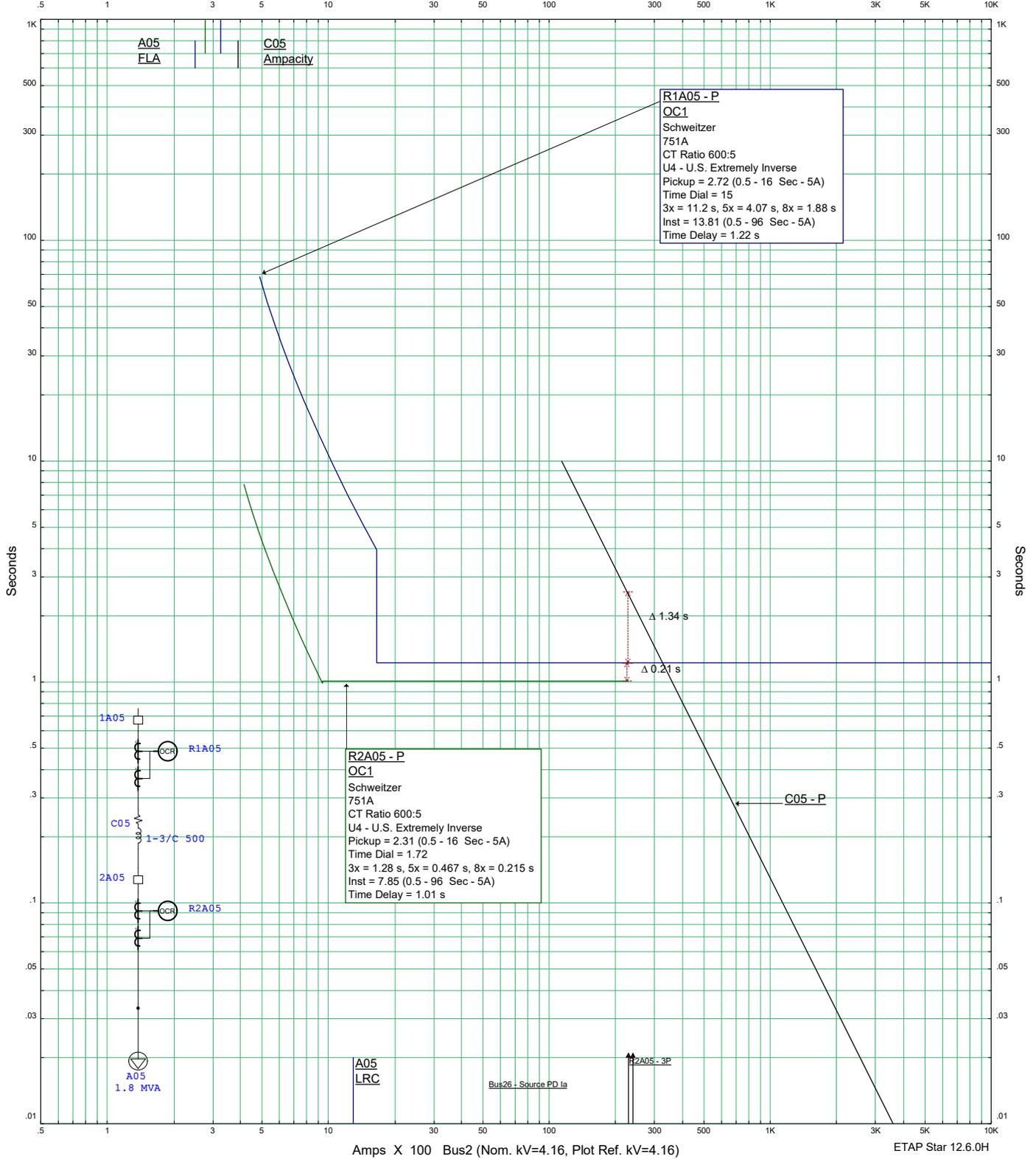


### CURVA 1A04

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

Amps X 100 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

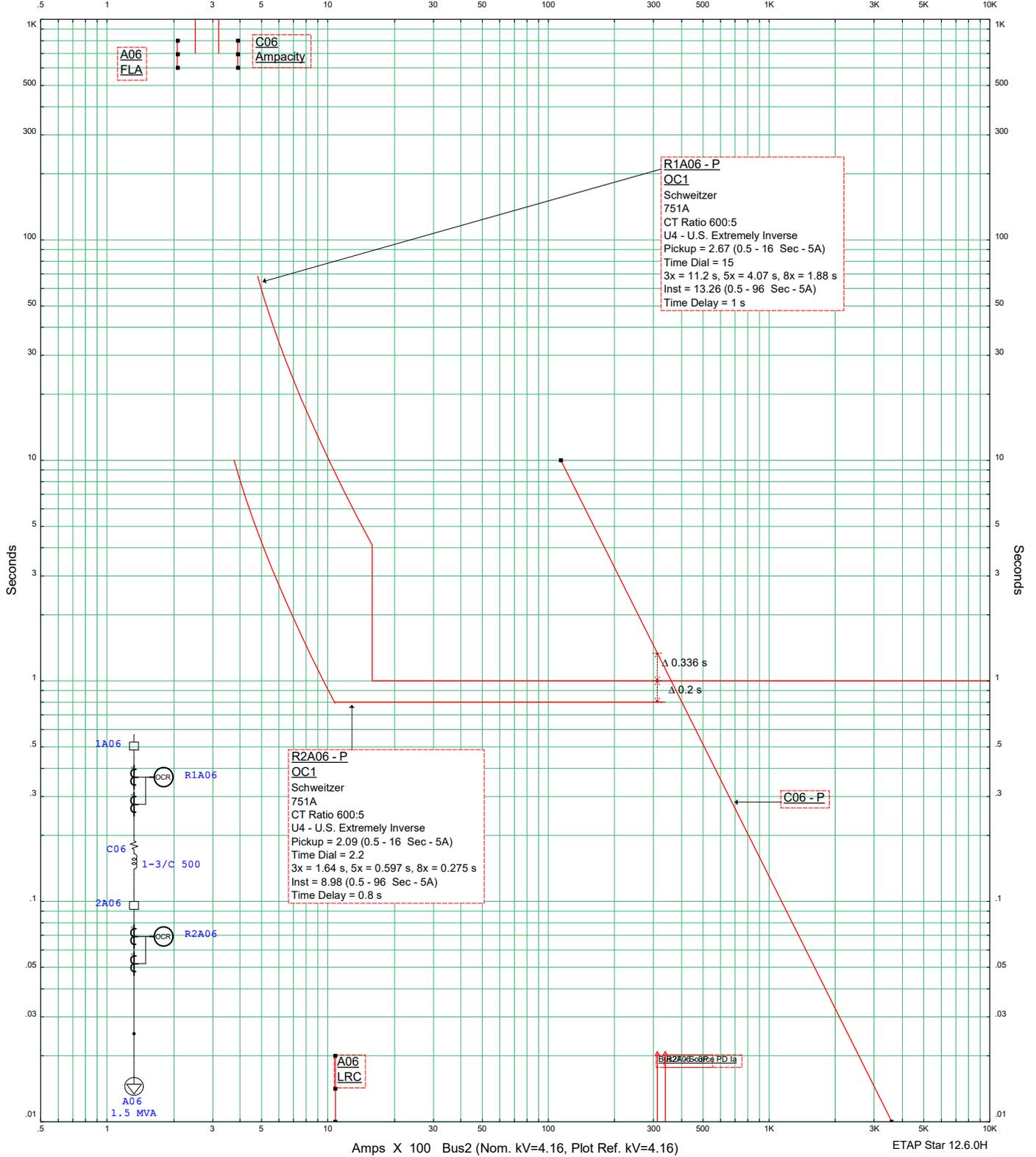


### CURVA 1A05

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

Amps X 100 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

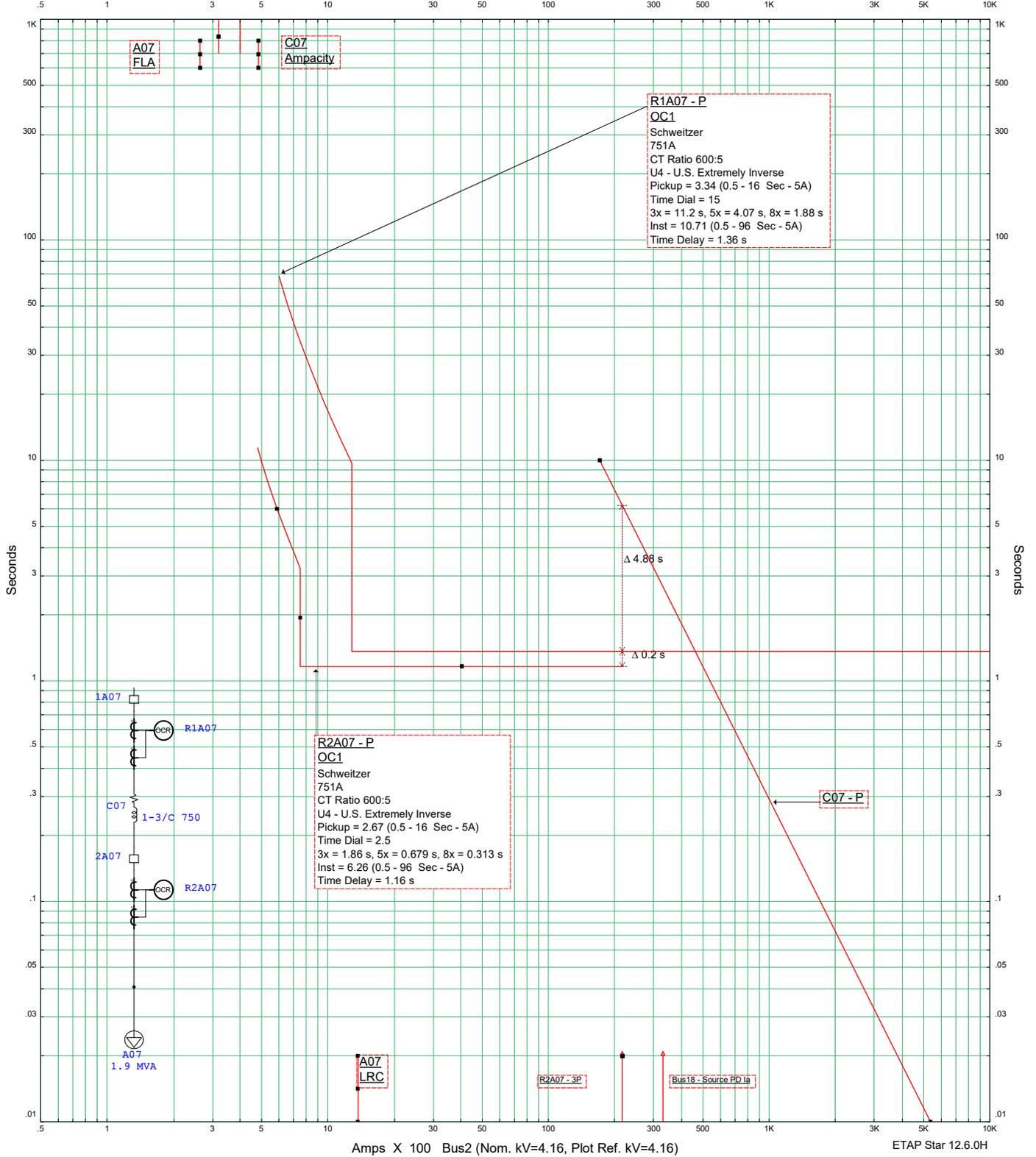


**CURVA 1A06**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

Amps X 100 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

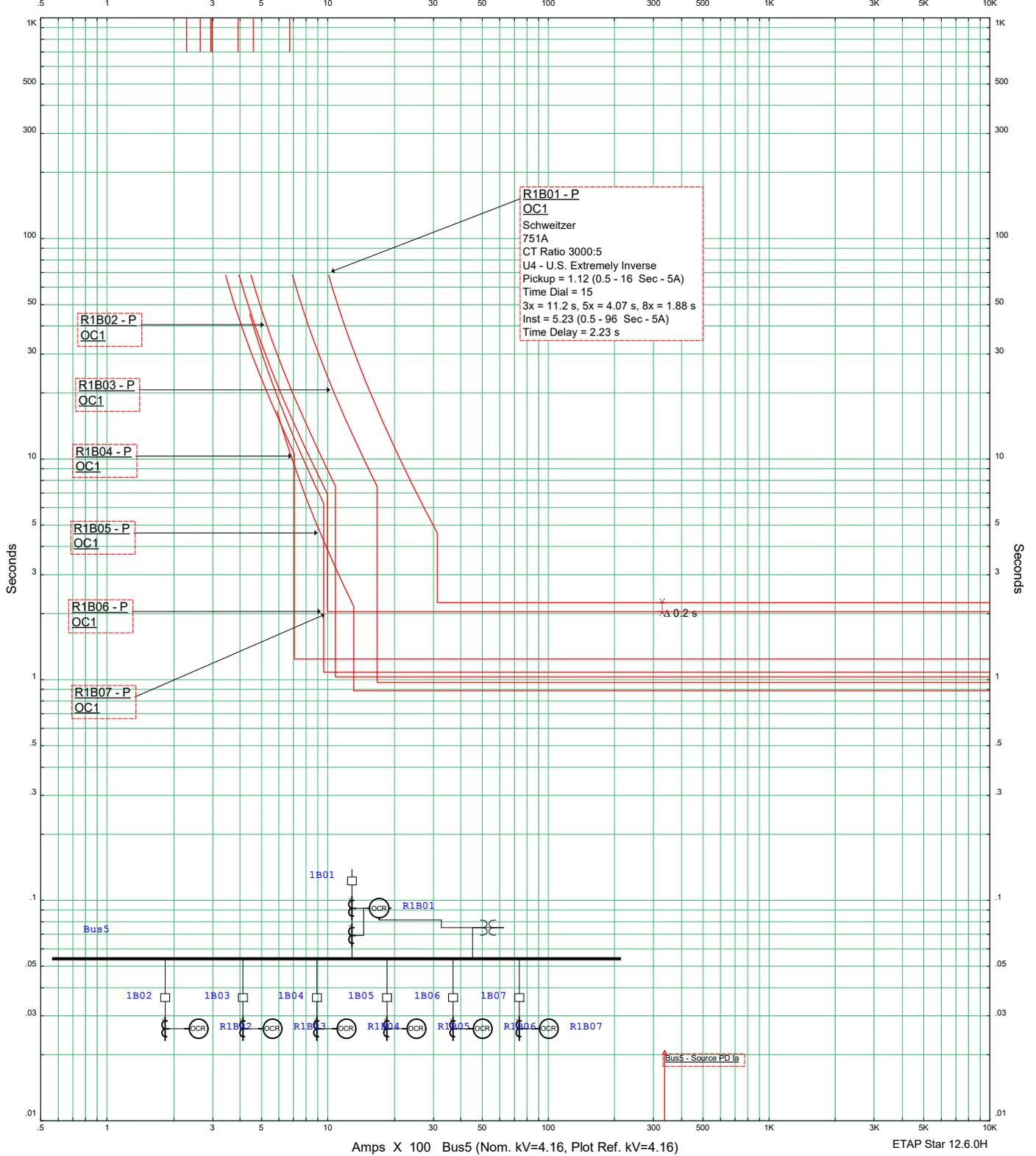


**CURVA 1A07**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

Amps X 100 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



Amps X 100 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

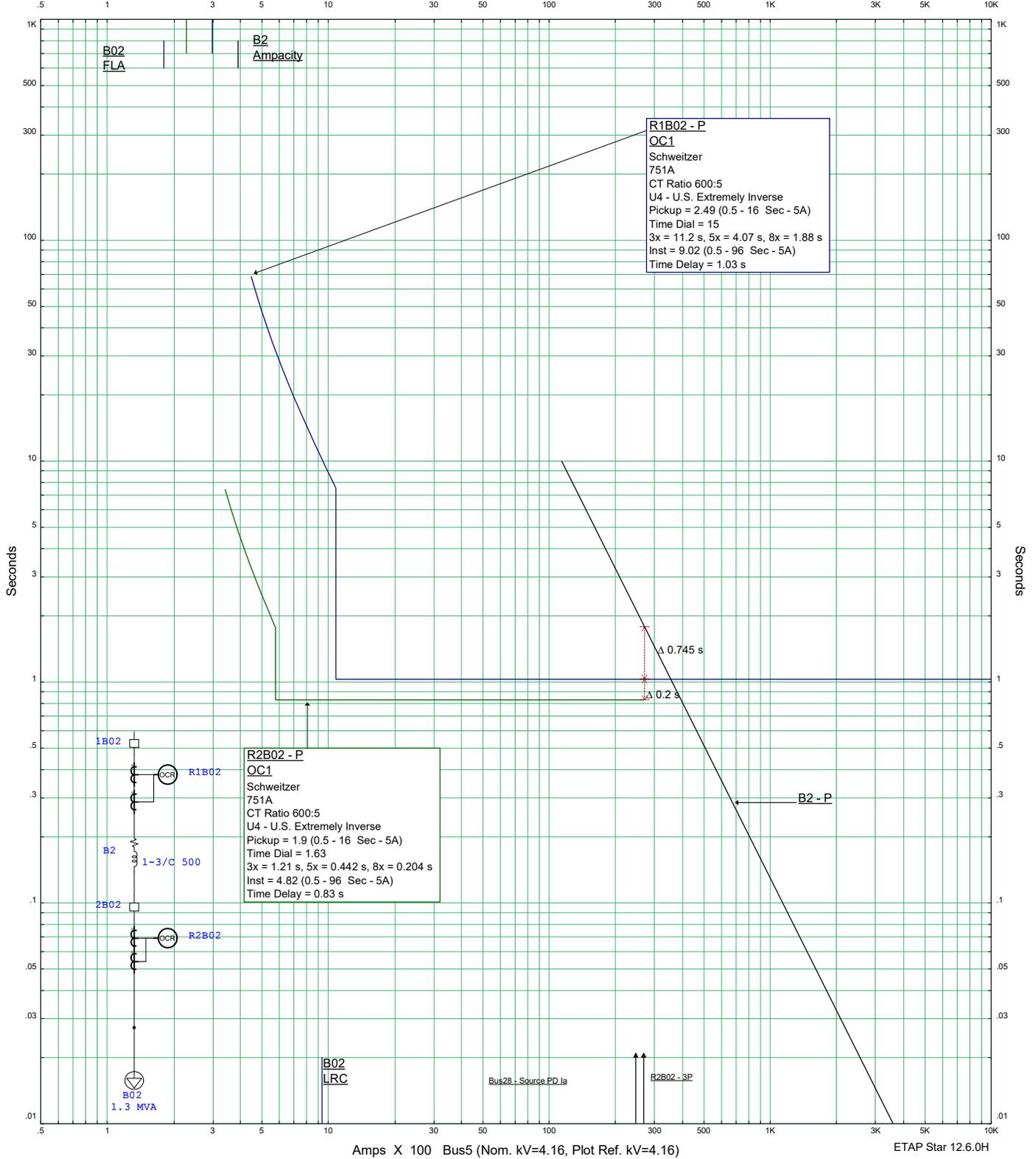
ETAP Star 12.6.0H

**CURVA 1B01**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

Amps X 100 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



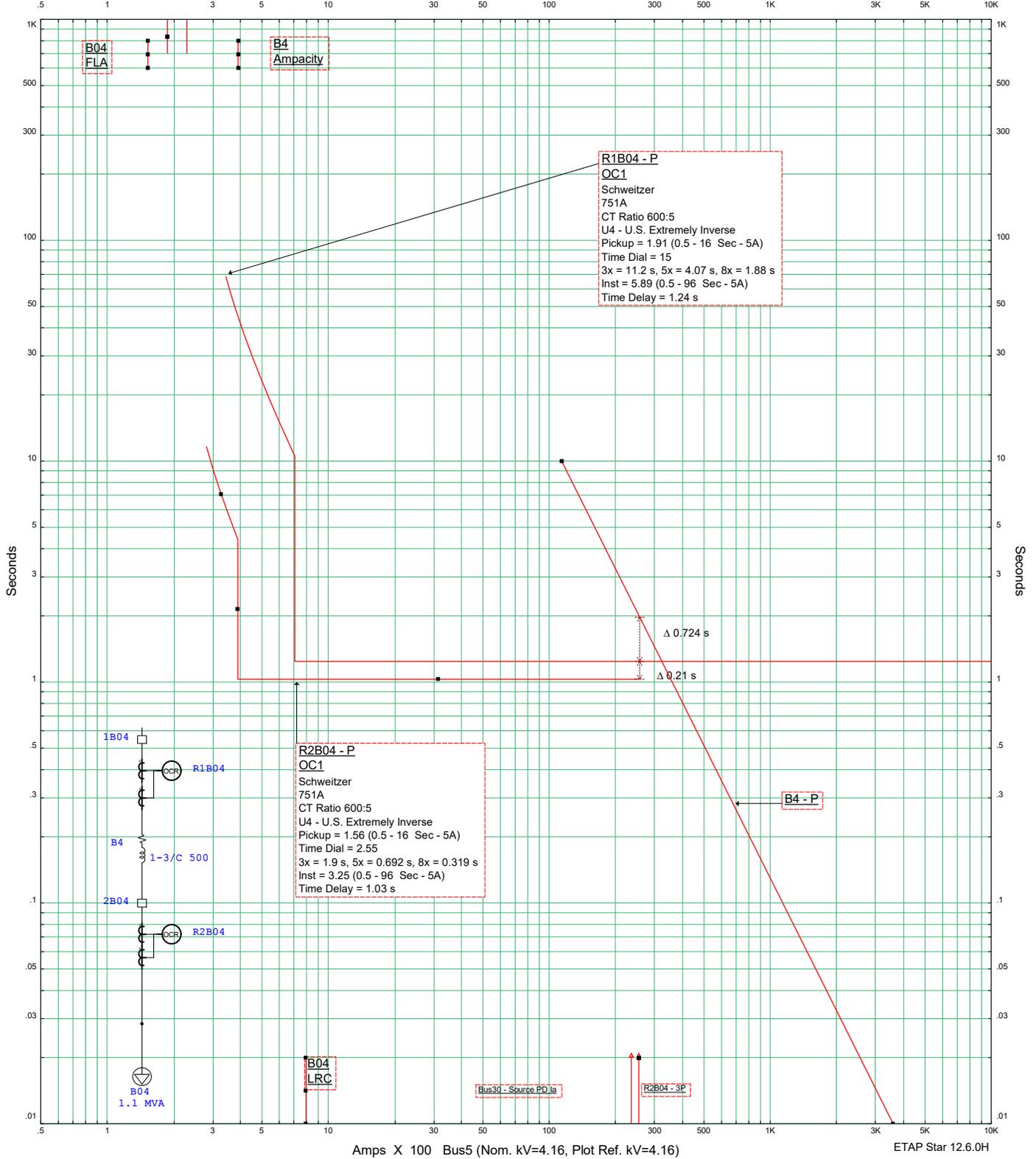
### CURVA 1B02

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase



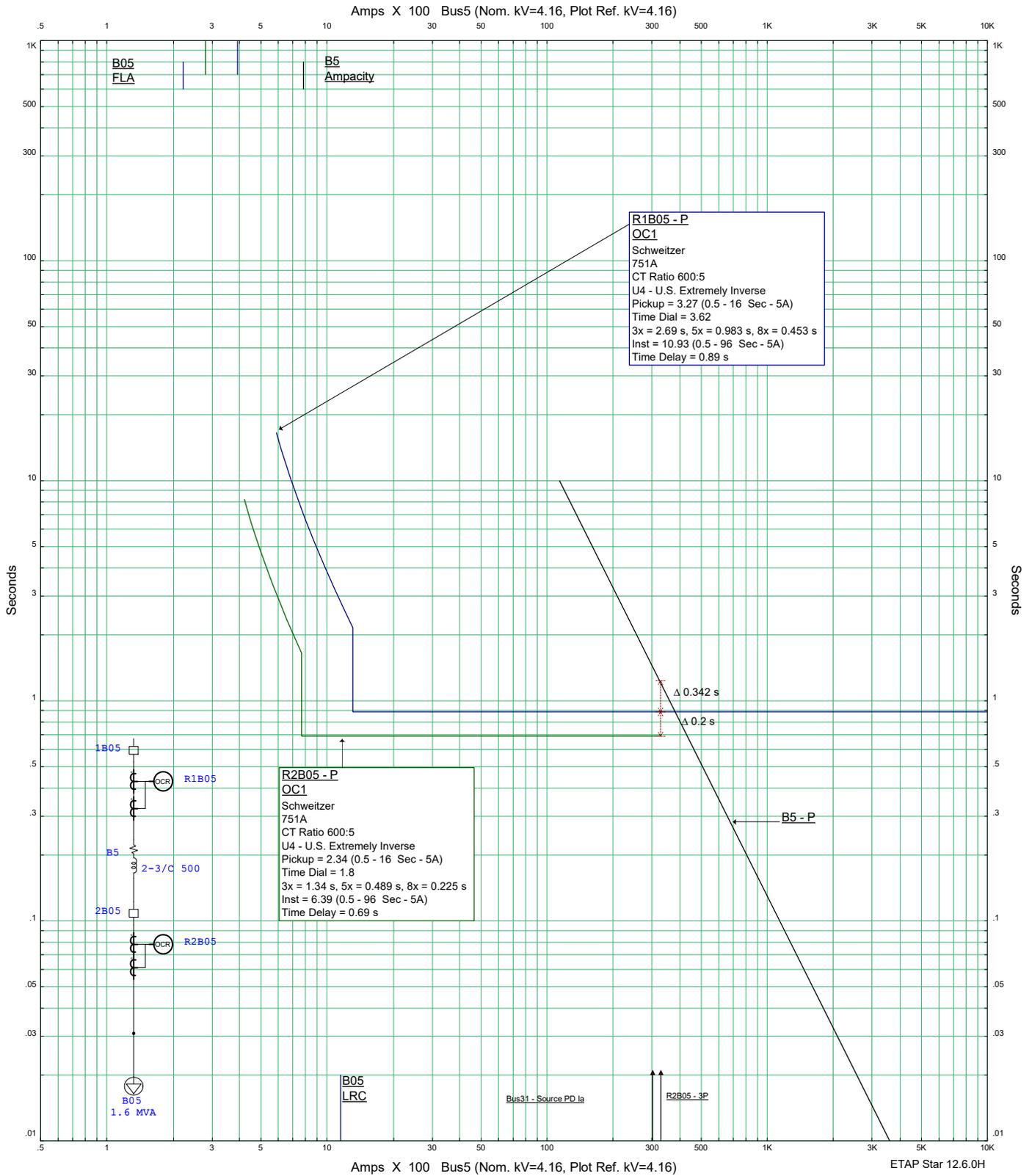
Amps X 100 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



**CURVA 1B04**

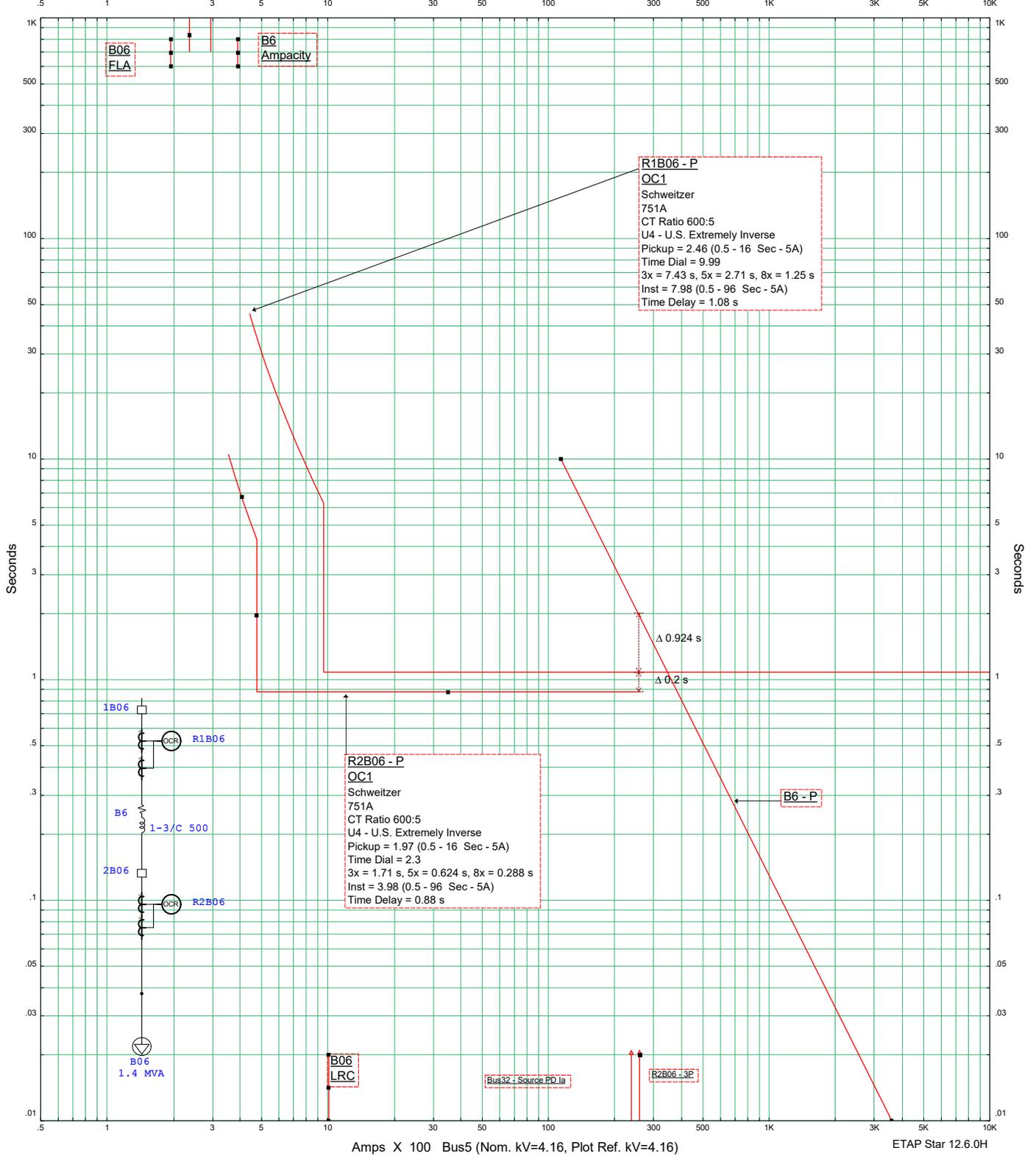
Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase



<b>CURVA 1B05</b>	
Project: PLANTA MINERA Location: CORDOBA Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A	Date: 01-15-2017 Fault: Phase

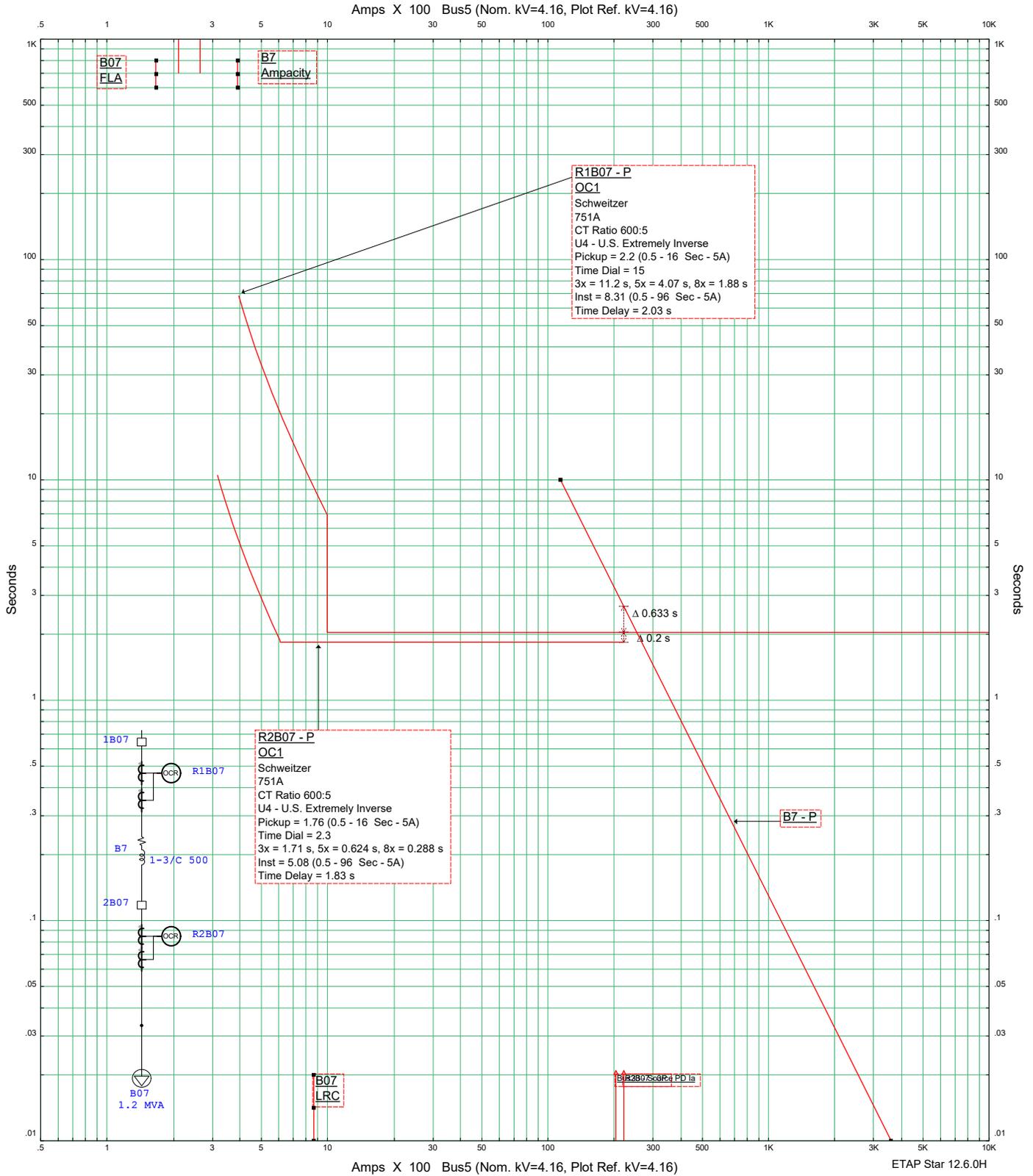
Amps X 100 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



**CURVA 1B06**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase



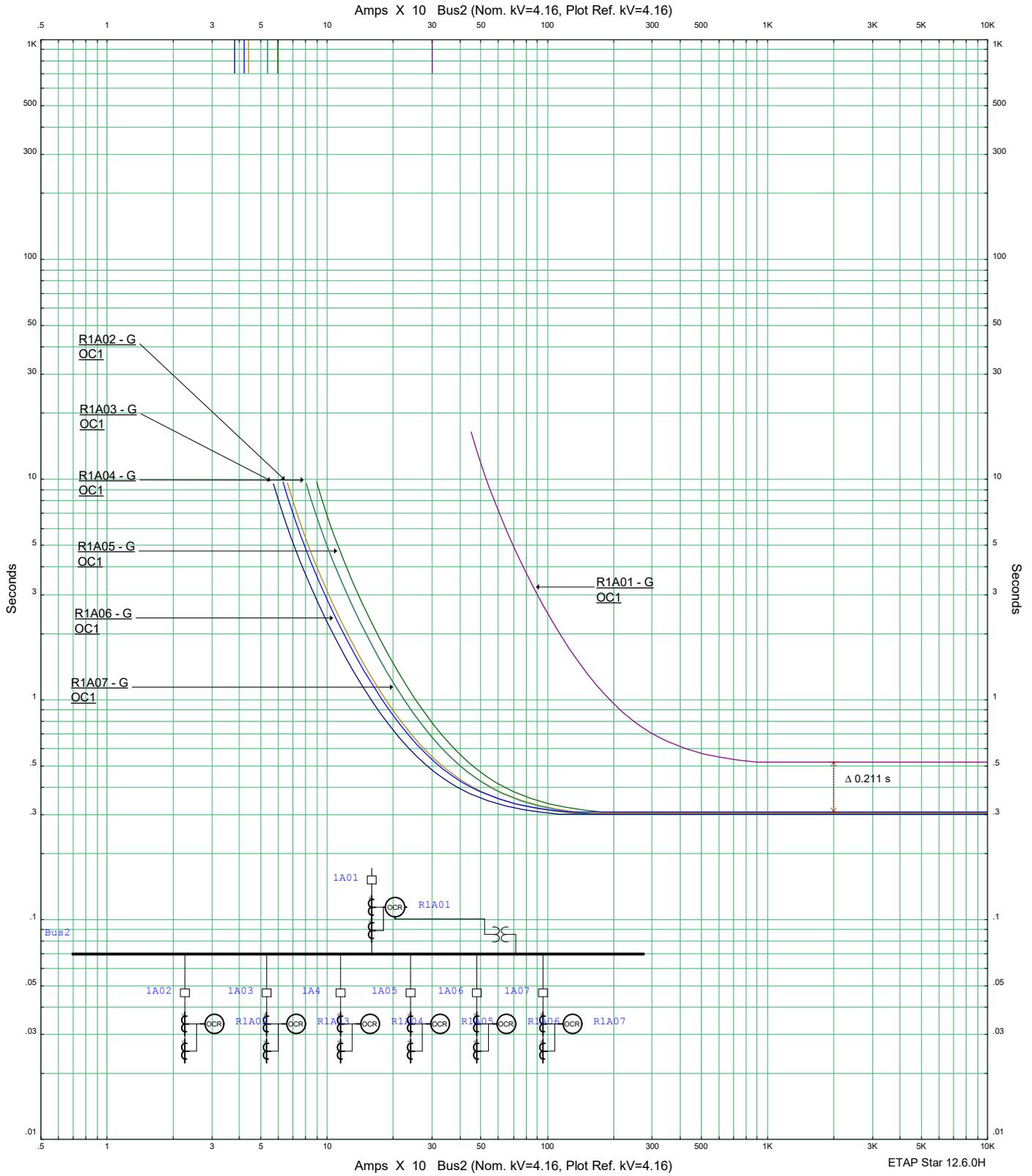
### CURVA 1B07

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Phase

## **ANEXO 2**

**CURVAS DE PROTECCIONES DE TIERRA DE LOS INTERRUPTORES ASOCIADOS A LA  
SUBESTACION DE ESTUDIO.**

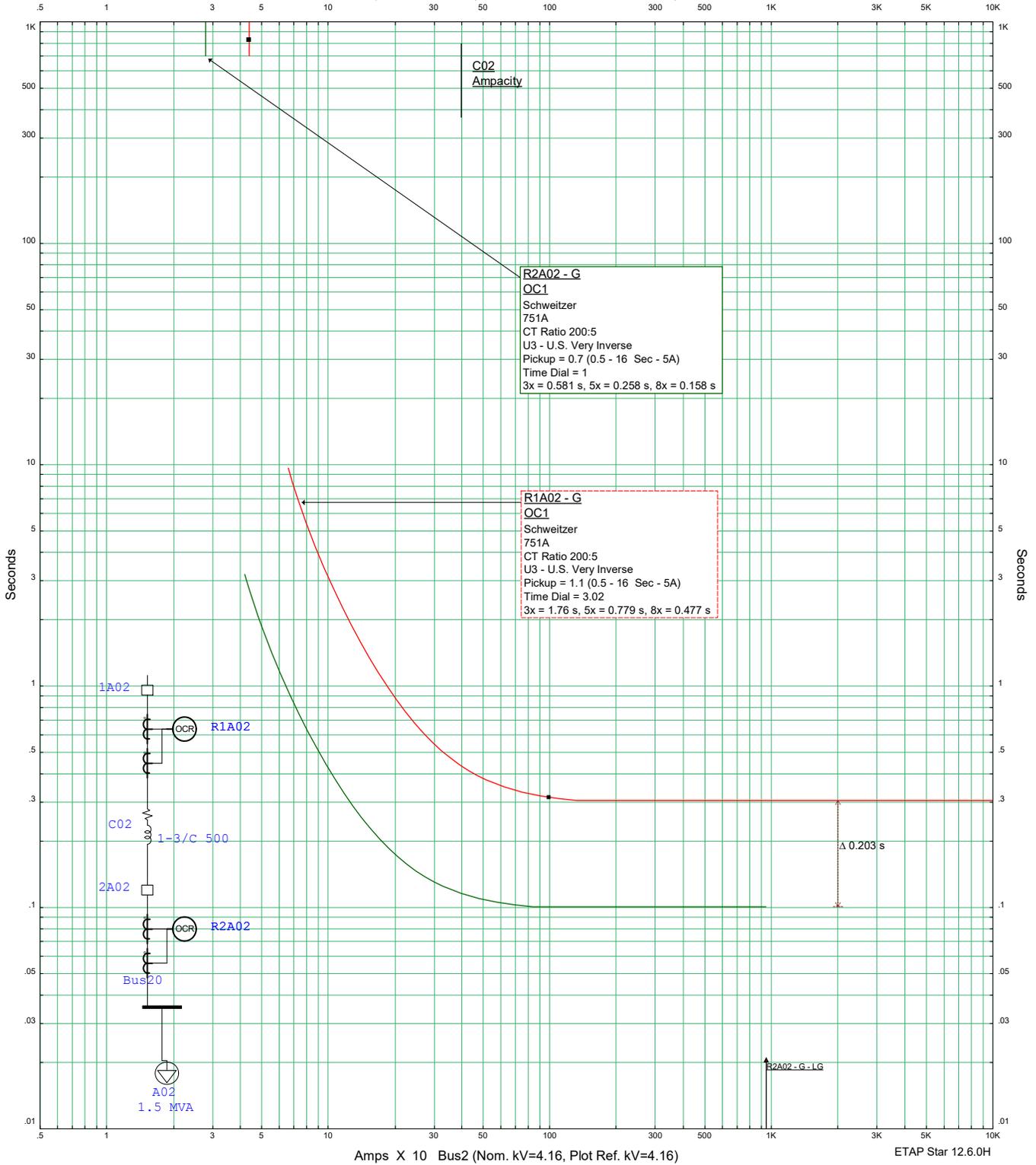


### CURVA 1A01

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

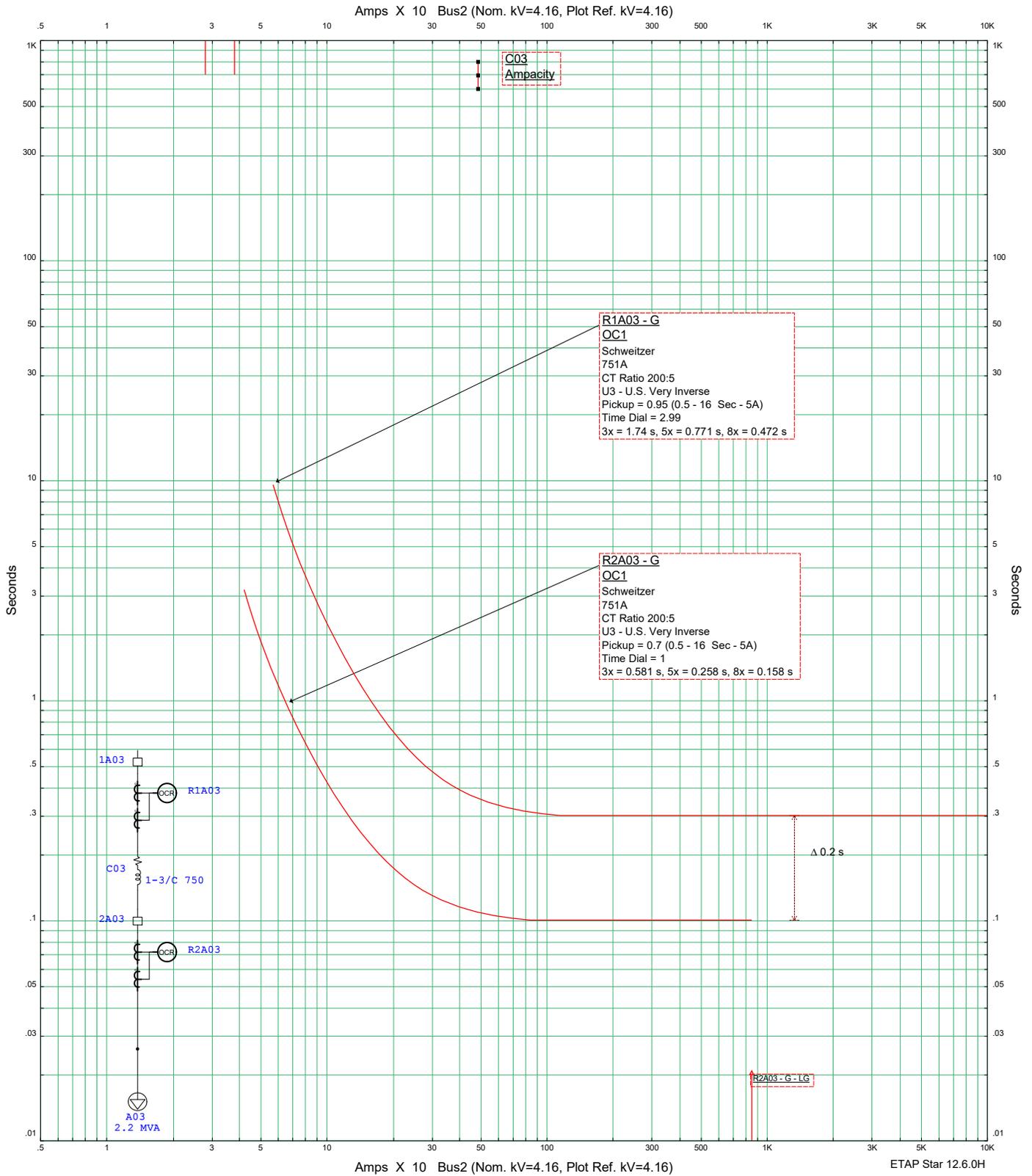
Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



**CURVA 1A02**

Project: PLANTA MINERA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

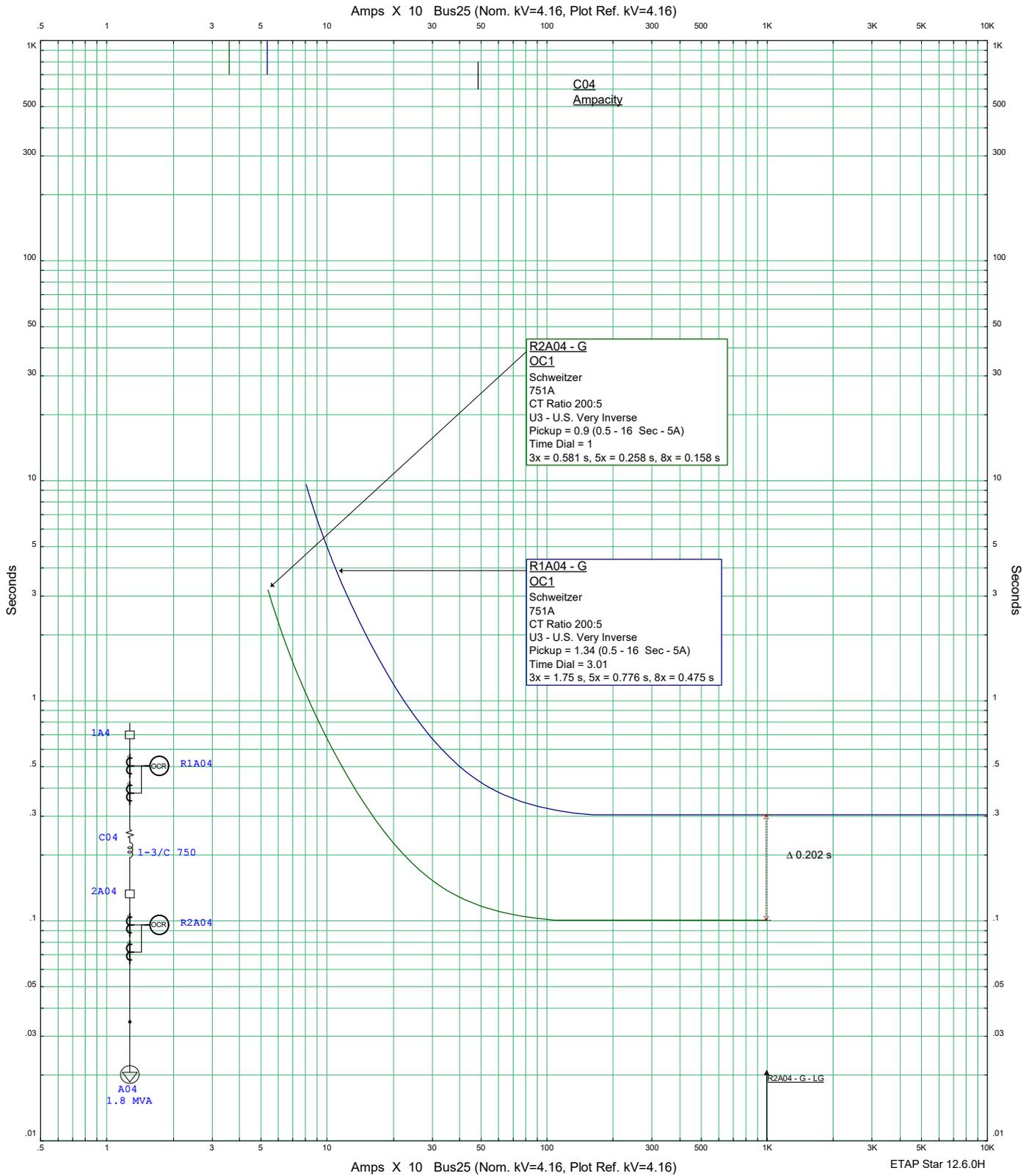
Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground



### CURVA 1A03

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

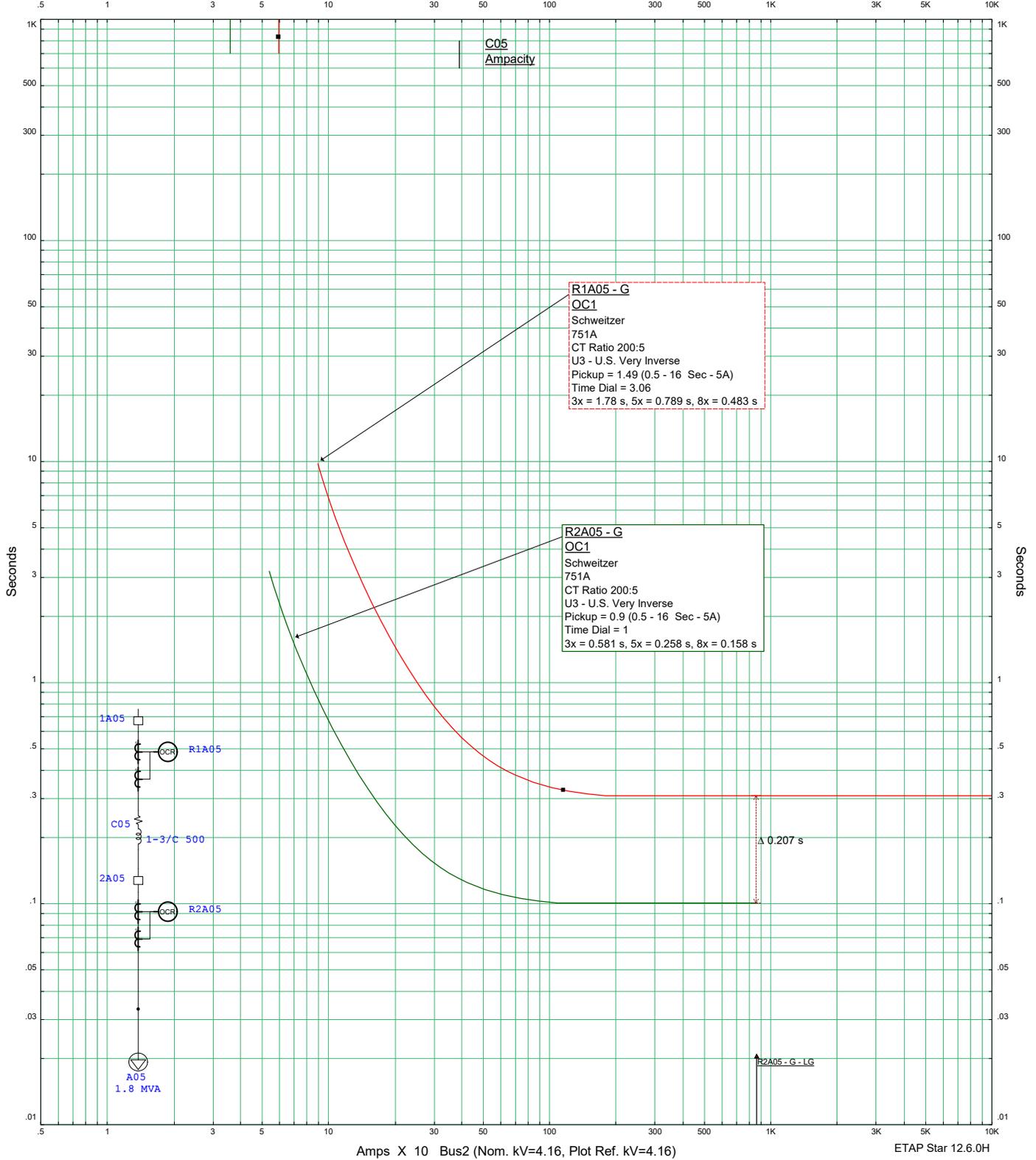


### CURVA 1A04

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

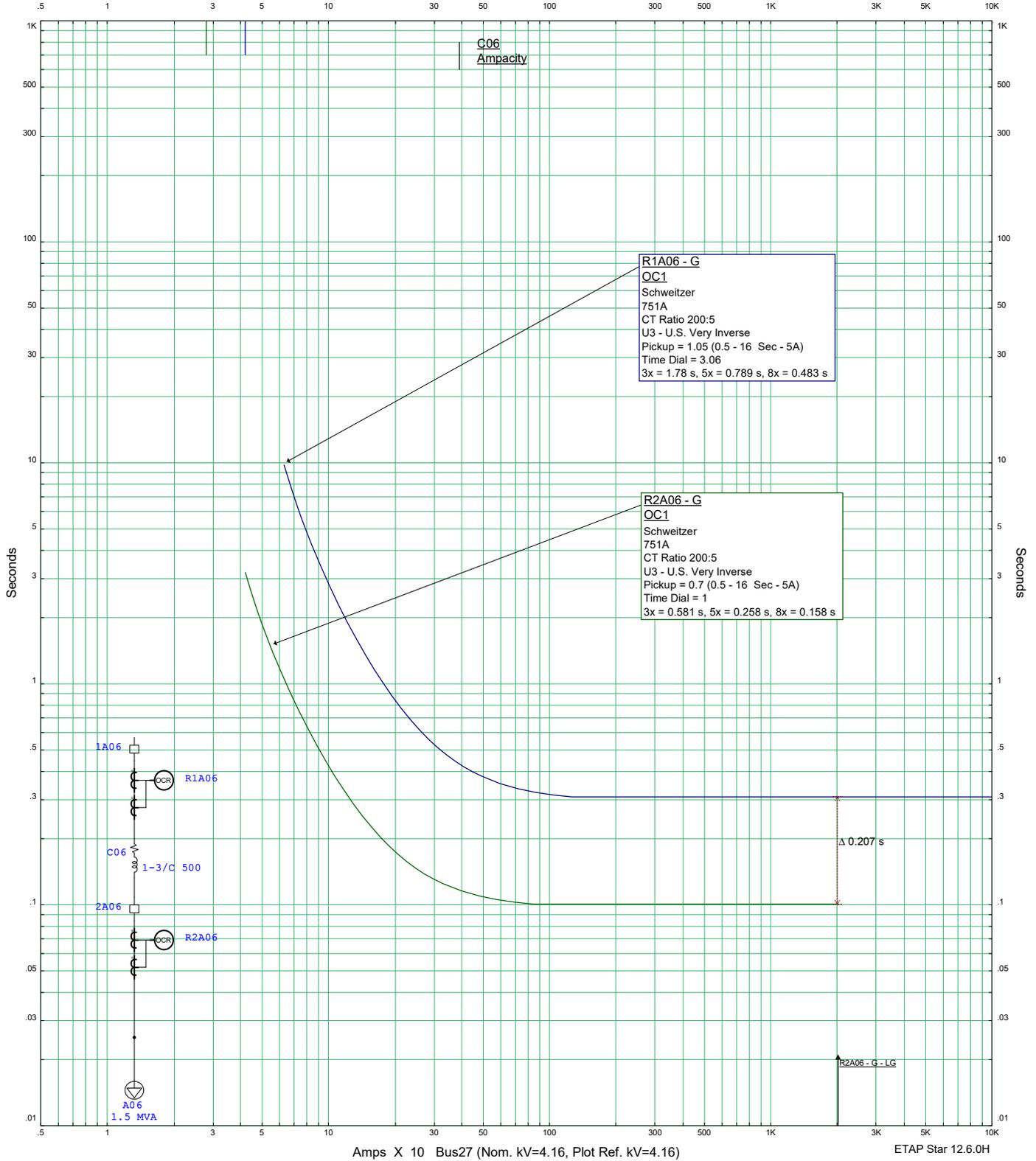
ETAP Star 12.6.0H

### CURVA 1A05

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus27 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

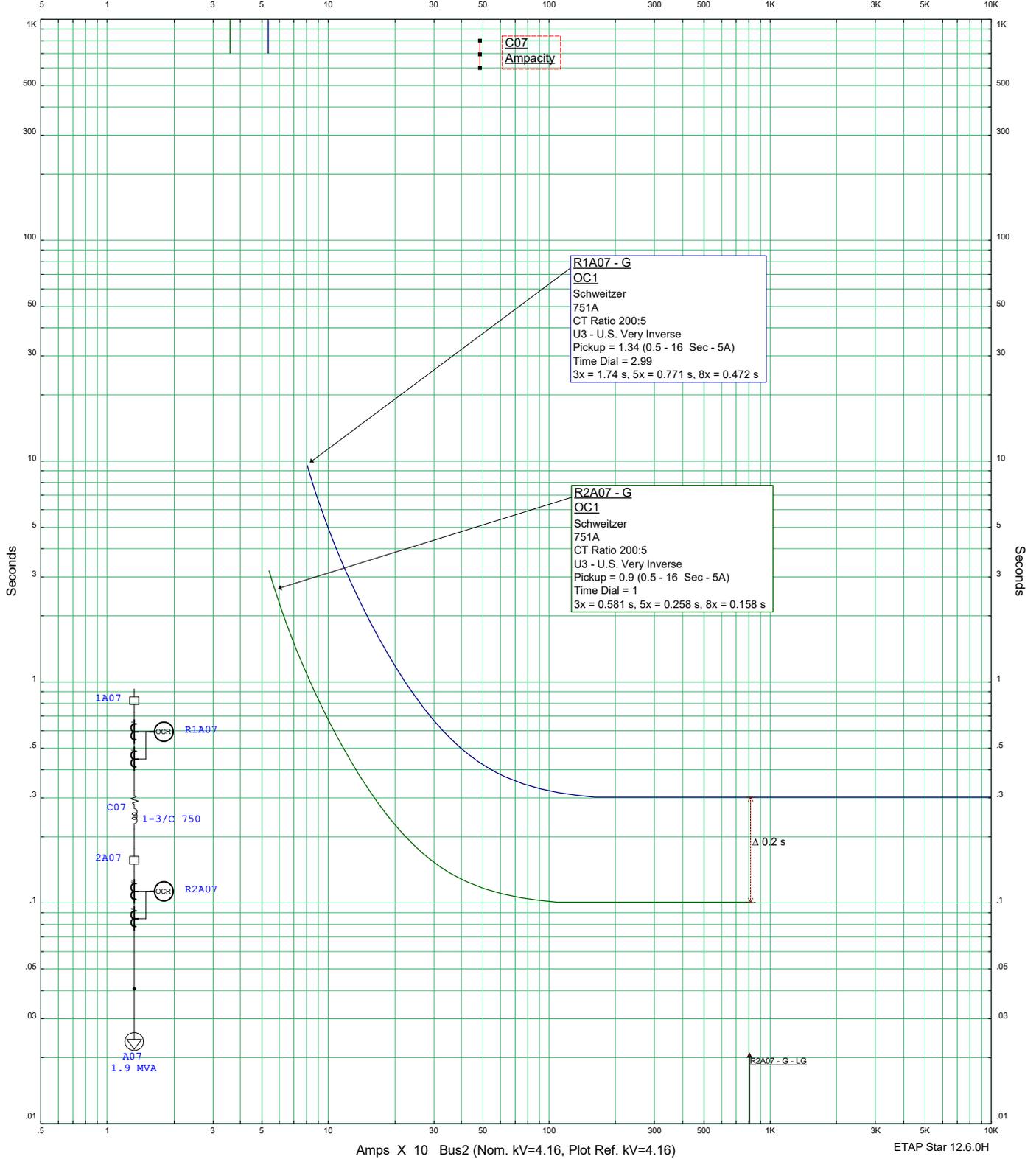


**CURVA 1A06**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

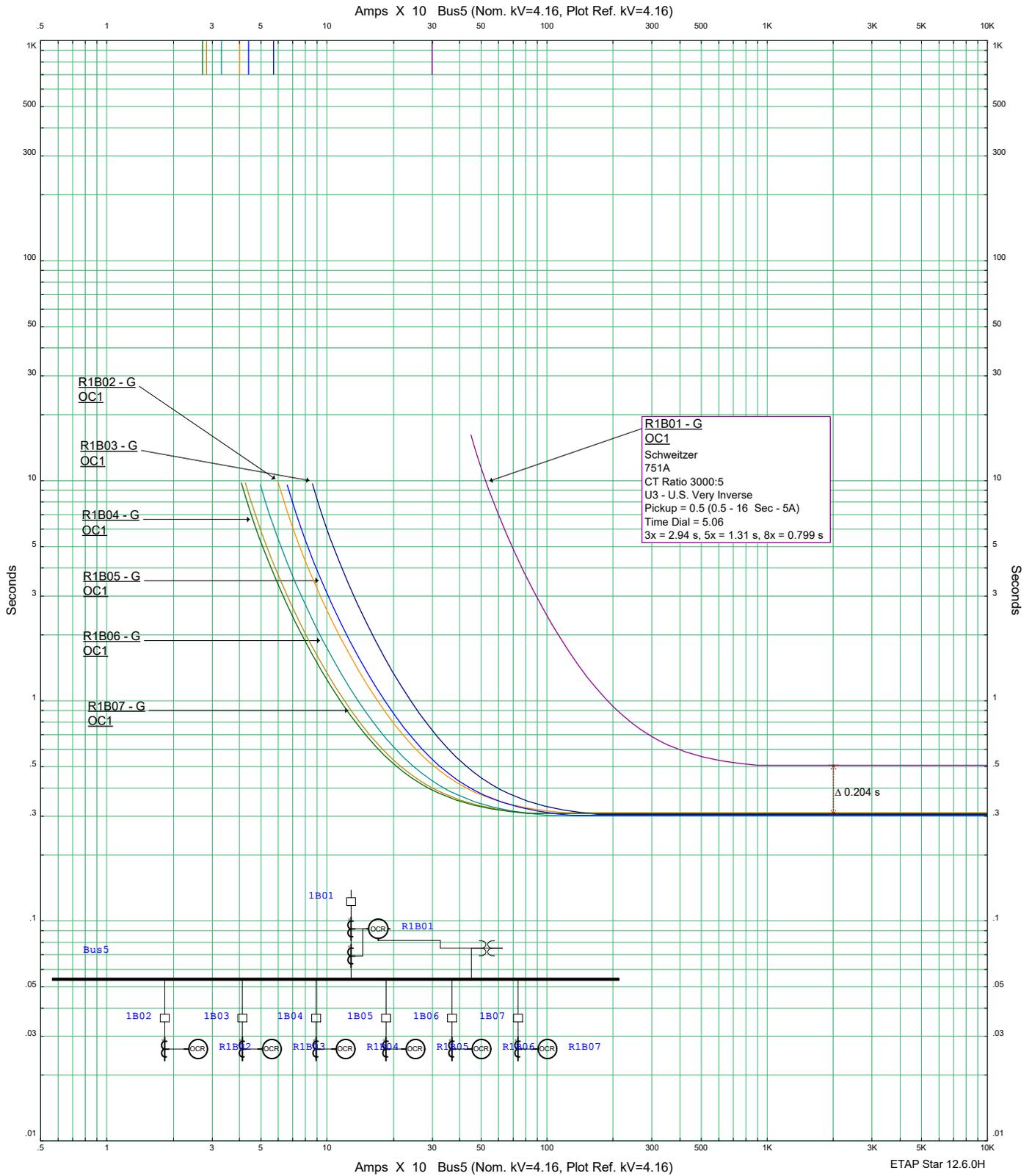
Amps X 10 Bus2 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



**CURVA 1A07**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground



**R1B01 - G**  
**OC1**  
 Schweitzer  
 751A  
 CT Ratio 3000:5  
 U3 - U.S. Very Inverse  
 Pickup = 0.5 (0.5 - 16 Sec - 5A)  
 Time Dial = 5.06  
 3x = 2.94 s, 5x = 1.31 s, 8x = 0.799 s

**R1B02 - G**  
**OC1**

**R1B03 - G**  
**OC1**

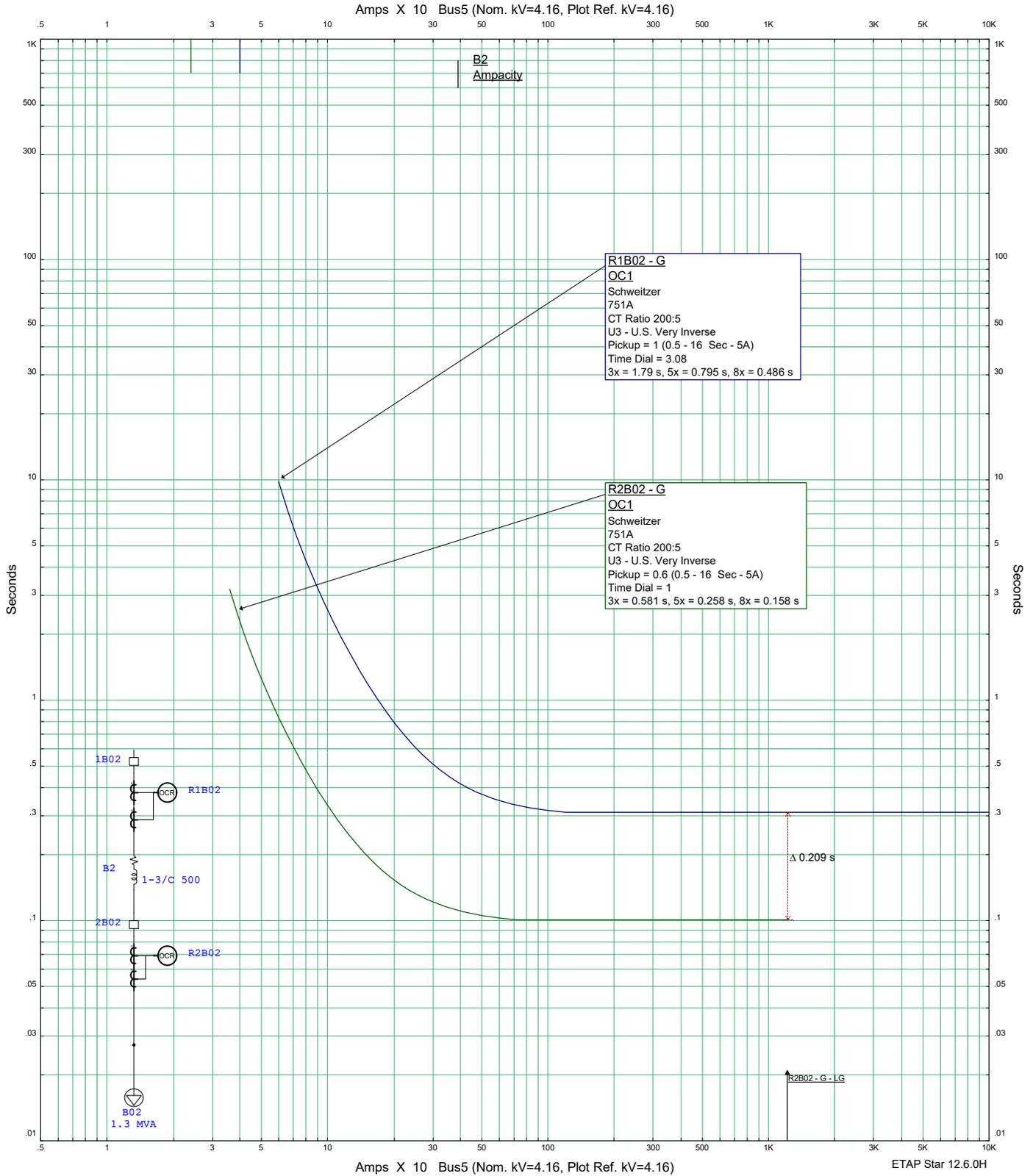
**R1B04 - G**  
**OC1**

**R1B05 - G**  
**OC1**

**R1B06 - G**  
**OC1**

**R1B07 - G**  
**OC1**

<b>CURVA 1B01</b>	
Project: PLANTA MINERA Location: CORDOBA Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A	Date: 01-15-2017 Fault: Ground

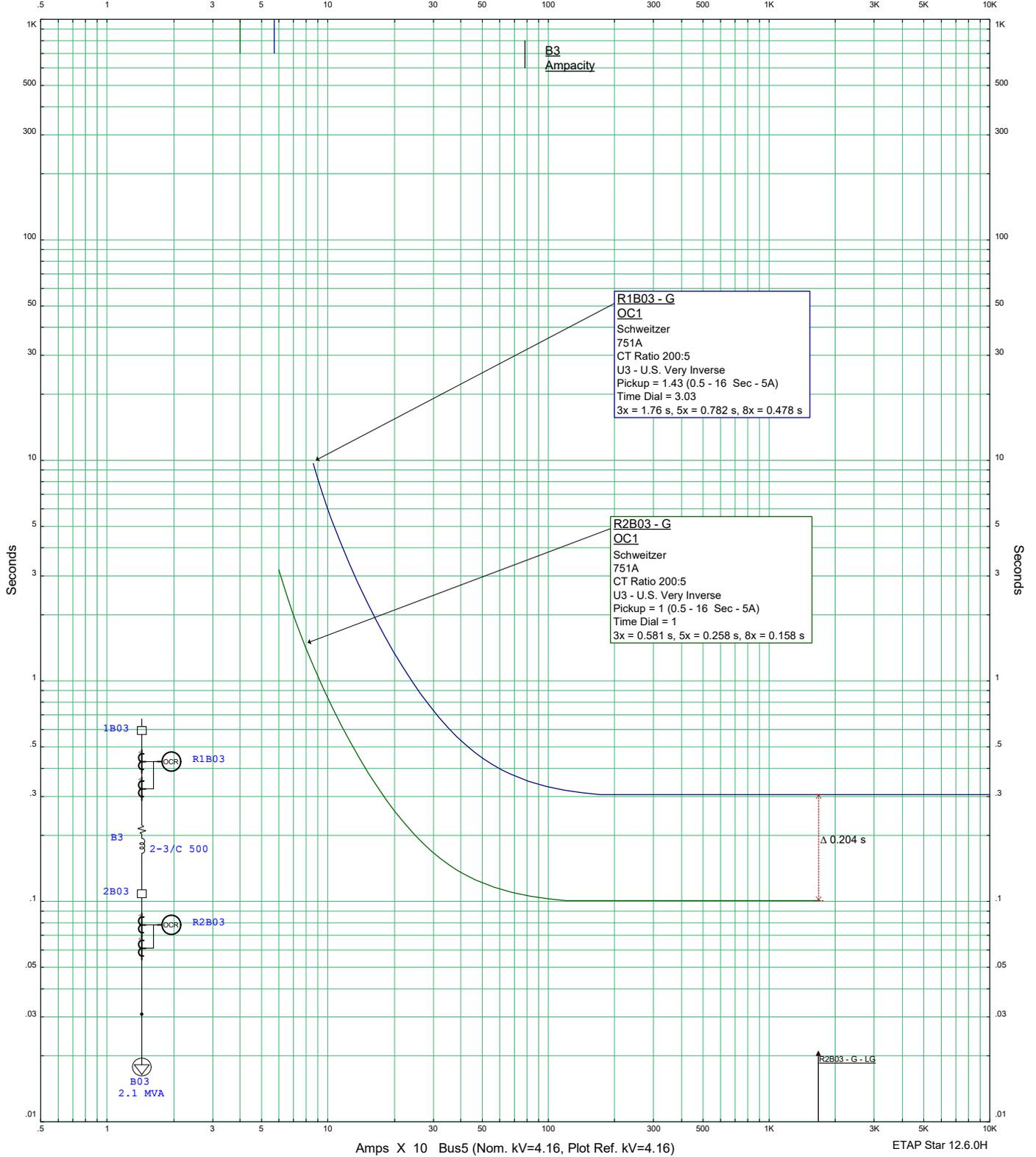


### CURVA 1B02

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

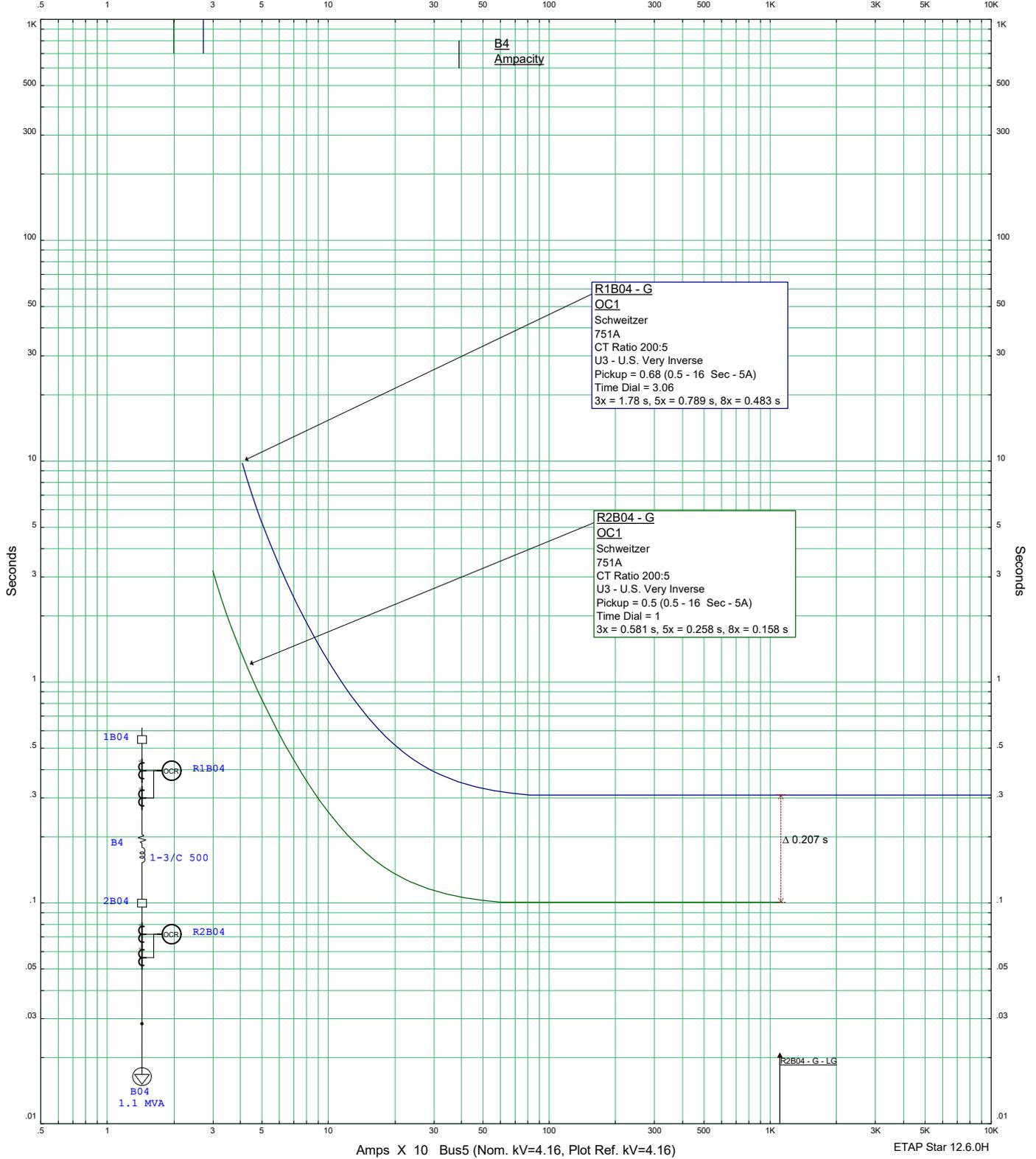


**CURVA 1B03**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

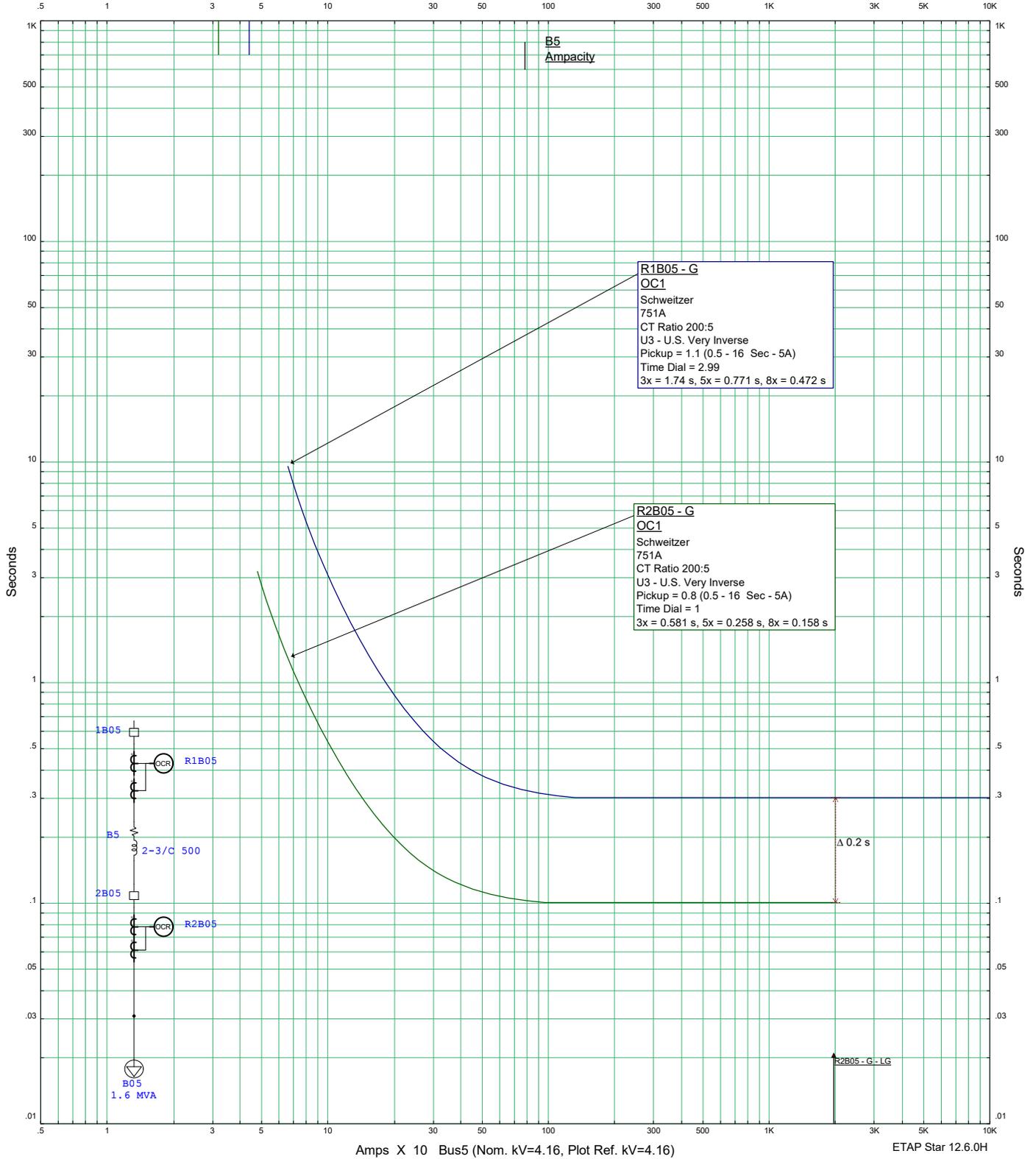


**CURVA 1B04**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

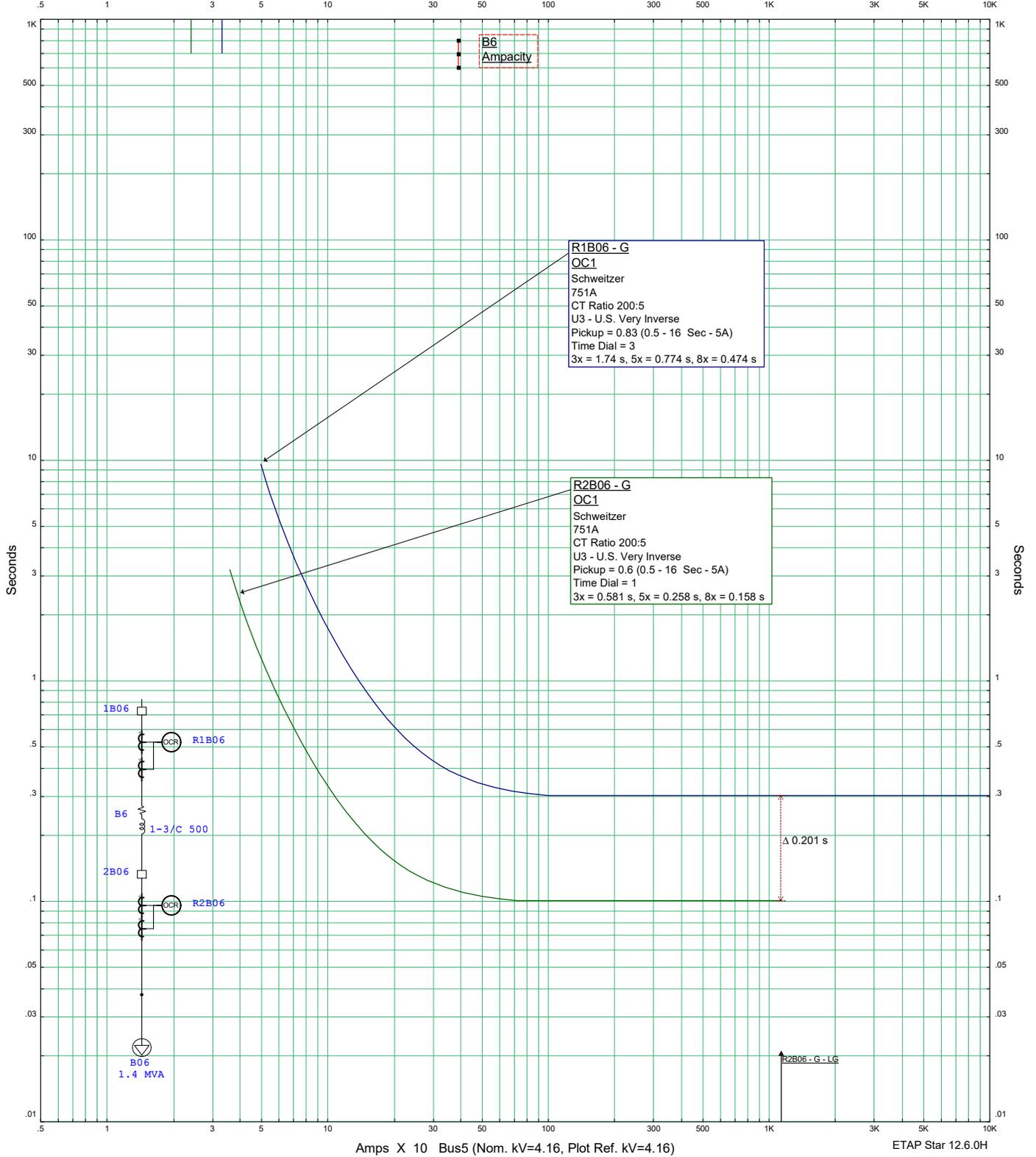


**CURVA 1B05**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

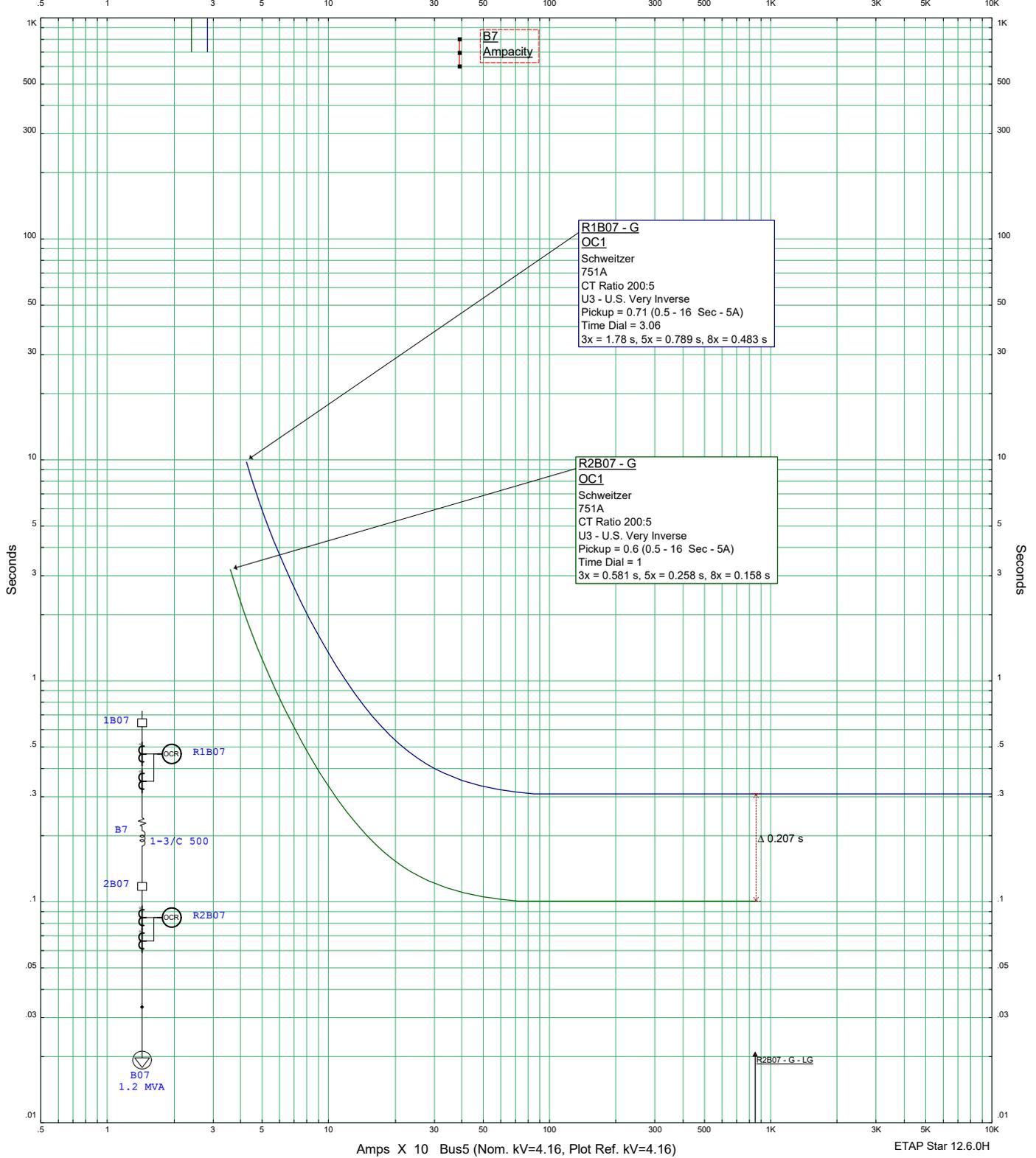


**CURVA 1B06**

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)



Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=4.16, Plot Ref. kV=4.16)

ETAP Star 12.6.0H

### CURVA 1B07

Project: PLANTA MINERA  
 Location: CORDOBA  
 Engineer: IVÁN J RAMÍREZ A

Date: 01-15-2017  
 Fault: Ground

## **ANEXO 3**

**ANALISIS DE ARCO ELECTRICO, ETIQUETAS.**



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

### Flash Protection

**Cat 3**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>) 9.0**

**Arc Flash Boundary 1.25 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection 4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus18**

Source Protective Device **1A07**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZA**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 3**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>) 10.4**

**Arc Flash Boundary 1.35 m**

PPE Requirements have not been approved

## Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus5**

Source Protective Device **1B01**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

### Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)**                      **6.5**  
**Arc Flash Boundary**                                      **1.06 m**

PPE Requirements have not been approved

### Shock Protection

**4160 VAC**

#### Shock Hazard when covers removed

Limited Approach Boundary                      **1.52 m**

Restricted Approach Boundary                      **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary                      **0.18 m**

**PPE Glove Class**                      **1**  
**V-Rating**                      **7500 VAC**

Equipment **Bus28**  
Equipment Name

Source Protective Device **1B02**

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)** **7.6**

**Arc Flash Boundary** **1.15 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection** **4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class** **1**

**V-Rating** **7500 VAC**

Equipment **Bus29**

Source Protective Device **1B03**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>) 6.2**

**Arc Flash Boundary 1.04 m**

PPE Requirements have not been approved

## Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus30**

Source Protective Device **1B04**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 3**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)**                      **8.1**  
**Arc Flash Boundary**                              **1.19 m**

PPE Requirements have not been approved

## Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary              **1.52 m**  
Restricted Approach Boundary          **0.66 m**  
Prohibited Approach Boundary          **0.18 m**

**PPE Glove Class**                      **1**  
**V-Rating**                                  **7500 VAC**

Equipment **Bus31**  
Equipment Name

Source Protective Device **1B05**

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)**                      **6.3**  
**Arc Flash Boundary**                              **1.05 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection**                              **4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary              **1.52 m**

Restricted Approach Boundary          **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary          **0.18 m**

**PPE Glove Class**                      **1**  
**V-Rating**                              **7500 VAC**

Equipment **Bus32**  
Equipment Name

Source Protective Device **1B06**

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)**                      **5.3**  
**Arc Flash Boundary**                              **0.96 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection**                              **4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary              **1.52 m**

Restricted Approach Boundary          **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary          **0.18 m**

**PPE Glove Class**                      **1**  
**V-Rating**                              **7500 VAC**

Equipment **Bus33**  
Equipment Name

Source Protective Device **1B07**

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

### Flash Protection

**Cat 3**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)                    10.8**

**Arc Flash Boundary                                1.37 m**

PPE Requirements have not been approved

### Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary            **1.52 m**

Restricted Approach Boundary        **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary        **0.18 m**

**PPE Glove Class                                1**

**V-Rating                                        7500 VAC**

Equipment **Bus2**

Source Protective Device **1A01**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZA**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

### Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)                      5.8**

**Arc Flash Boundary                                      1.00 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection                                      4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary                      **1.52 m**

Restricted Approach Boundary                      **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary                      **0.18 m**

**PPE Glove Class                                      1**

**V-Rating                                      7500 VAC**

Equipment **Bus20**

Source Protective Device **1A01**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>) 7.0**

**Arc Flash Boundary 1.10 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection 4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus24**

Source Protective Device **1A03**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)** **7.7**

**Arc Flash Boundary** **1.16 m**

PPE Requirements have not been approved

## Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus25**

Source Protective Device **1A4**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

### Flash Protection

**Cat 2**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>)                      6.4**

**Arc Flash Boundary                                      1.06 m**

PPE Requirements have not been approved

**Shock Protection                                      4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary                      **1.52 m**

Restricted Approach Boundary                      **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary                      **0.18 m**

**PPE Glove Class                                      1**

**V-Rating                                      7500 VAC**

Equipment **Bus26**

Source Protective Device **1A05**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.



# WARNING



**Flash & Shock Hazard with Covers or Doors Open  
Appropriate PPE Required**

## Flash Protection

**Cat 3**

**Incident Energy (cal/cm<sup>2</sup>) 8.4**

**Arc Flash Boundary 1.21 m**

PPE Requirements have not been approved

## Shock Protection

**4160 VAC**

**Shock Hazard when covers removed**

Limited Approach Boundary **1.52 m**

Restricted Approach Boundary **0.66 m**

Prohibited Approach Boundary **0.18 m**

**PPE Glove Class 1**

**V-Rating 7500 VAC**

Equipment **Bus27**

Source Protective Device **1A06**

Equipment Name

Contract #

Engineer **IVÁN J RAMÍREZ A**

Date **01-17-2017**

Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements which may result in a hazardous condition.