

Estudio de Coordinación y Selectividad de Protecciones en Media Tensión con el Software Etap – Compañía de Luz y Fuerza S.A.

Fabián Ferreira, Eder Paredes, Mario Arévalo, Fabián Cáceres

Facultad Politécnica – UNA, Compañía de Luz y Fuerza CLYFSA S.A., ANDE

Paraguay

RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad presentar una propuesta de coordinación y selectividad de protecciones de un sistema eléctrico de distribución – Caso de Estudio Compañía de Luz y Fuerza CLYFSA S.A. en el casco urbano de la Ciudad de Villarrica basado en el Software Etap. En el presente proyecto se desarrollan temas como: qué tipo de protecciones utilizar en dicho sistema de distribución (23kV), documentos necesarios previos a la realización de la coordinación y selectividad, tipos de curvas y equipos a emplear en el sistema, entre otros. Con el objetivo de lograr el proyecto es necesario tomar como punto de partida la recopilación de datos tales como diagramas unifilares y especificaciones técnicas de los equipos empleados en el sistema de distribución, posteriormente, realizar el modelo en ETAP en base al recorrido actualizado en AUTOCAD del sistema de distribución y luego efectuar un análisis de los resultados arrojados por el software. Esta investigación busca lograr el cumplimiento de los objetivos, los cuales se basan en determinar datos técnicos, analizar y determinar qué tan productiva es la solución que arroja el software ETAP. La metodología que se utiliza, consiste en estructurar en las siguientes etapas para llegar al resultado deseado, las cuales son: investigación cuali-cuantitativa, que permite tener conceptos más claros, modelamiento, el cual nos ayuda a tomar decisiones sobre la configuración real del sistema de distribución, estudios previos como análisis de flujo de carga y estudios de corto-circuito, que nos permitirán contrastar con los valores de las curvas obtenidas en la presente investigación para los dispositivos de protección. Con esto lograremos aumentar la confiabilidad del sistema mediante la reducción de las actuaciones innecesarias de los dispositivos de protección, consecuentemente disminuyendo las zonas de actuación y mejorar sustancialmente el índice de calidad del servicio.

PALABRAS CLAVE

Coordinación y Selectividad de Protecciones, Sistemas Eléctricos de Distribución, Dispositivos de Protección, Fallas de Corto-circuito, Software de Simulación, Curvas de los Dispositivos de Protección.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

1. INTRODUCCIÓN

En la operación de los Sistemas Eléctricos de Distribución surgen, con cierta frecuencia, fallas que resultan en interrupciones en el suministro de energía a los consumidores conectados al sistema con la consecuente reducción de la calidad del servicio prestado y los perjuicios económicos que esto trae consigo.

La falla más común en cualquier sistema de distribución es el cortocircuito, el cual da origen a corrientes elevadas que circula por todos los componentes energizados, teniendo como resultado severos disturbios de tensión a lo largo del sistema. Otras fallas menos recurrentes están conformadas por sobrecargas, sub y sobretensiones debido a descargas atmosféricas, fallas humanas, entre otras [1].

Estas fallas son inherentes al funcionamiento del sistema, a pesar de las precauciones y cuidados tomados durante la elaboración del proyecto y la ejecución de las obras, aun siguiendo las normas y recomendaciones existentes. Entonces el resultado de las fallas dependerá del sistema de protección implementado a la instalación en particular.

La principal función de un sistema de protección es asegurar la desconexión de la zona afectada por una falla que la haga operar fuera de los límites previstos, de tal manera a evitar que la misma se extienda a otros componentes, impidiendo así interrumpir todo el sistema. Una adecuada filosofía de coordinación y selectividad de las protecciones garantiza una mejor continuidad del servicio, minimizando la zona afectada y el tiempo de reposición del servicio [2].

En este contexto, con el trabajo se espera mejorar la coordinación y selectividad de protecciones del sistema eléctrico de la red de distribución de CLYFSA S.A. a través de la implementación de una adecuada filosofía de protecciones. Esto implicaría la operativa de levantar datos de campo para poder actualizar la base de datos de la compañía, posterior a eso, los mismos se migran al software de estudios eléctricos, en este caso el ETAP, a fin de modelar el sistema eléctrico de distribución de CLYFSA. Posteriormente se realizan las simulaciones de los casos, se elaboran los informes técnicos y recomendaciones finales.

2. SITUACIÓN ACTUAL

La subestación está instalada en una región con alta densidad poblacional ya que en la misma se centra la mayor economía de la región.

La zona de concesión es muy sensible ya que las cargas alimentadas por la misma están constituidas por hospitales, centros educativos, comercios, industrias y residencias.

El sistema de distribución de la Compañía de luz y fuerza CLYFSA consiste básicamente en reducir las tensiones en la subestación 66/ 23 KV en donde las líneas de distribución son aérea y subterráneas, las cuales distribuyan energía eléctrica en la proporción adecuada a domicilios, comercios y parques industriales. En la Figura 1 podemos apreciar el diagrama unifilar de la subestación [3].

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

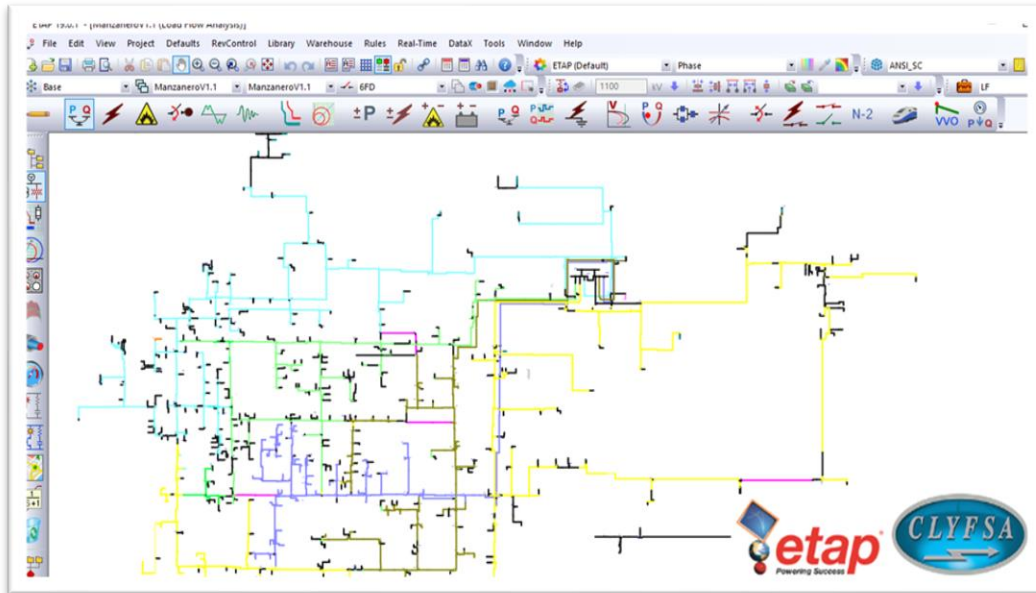


Figura 1: Diagrama unifilar de la Subestación CLYFSA

La subestación actualmente está conformada por dos transformadores de potencia de 20/25/30 MVA y 66/23 KV. En el nivel de 23 KV se encuentran las celdas de salida y un sistema de acople a través de una barra intermedia con la barra de 23 KV. La subestación cuenta con un total de seis alimentadores. A fin de facilitar el presente estudio nos centramos específicamente en los alimentadores 1 y 2. En la Figura 2 podemos apreciar los alimentadores [3].

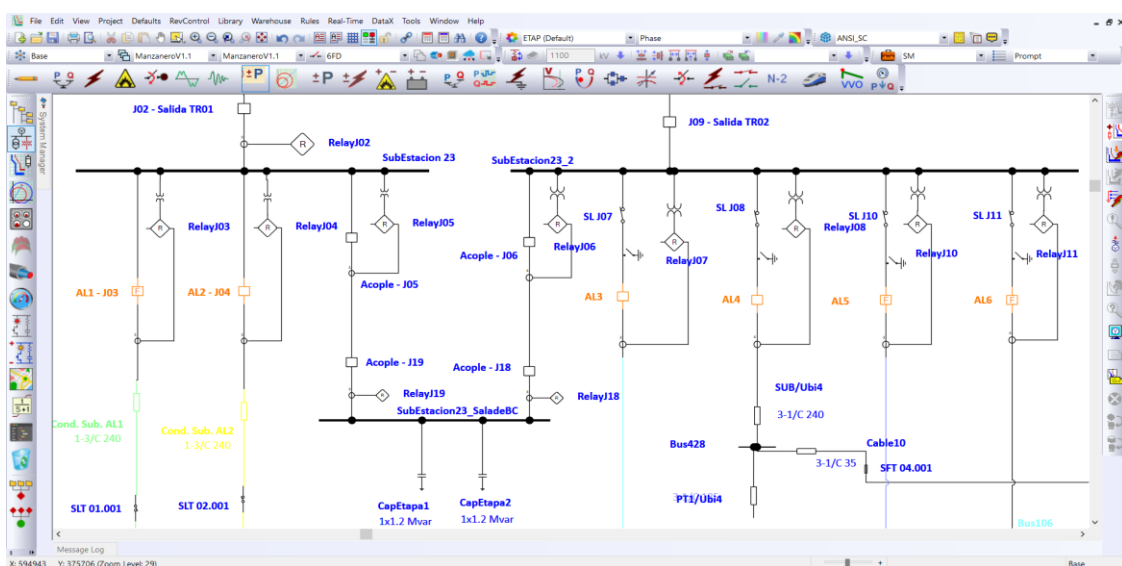


Figura 2: Alimentadores de la Subestación

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

Cantidad de Usuarios Servidos

La cantidad total de usuarios servidos por los alimentadores entre media y baja tensión asciende a 16.718.

- La cantidad aproximada de usuarios servidos por el alimentador AL1 aproximadamente asciende a 2530.
- La cantidad aproximada de usuarios servidos por el alimentador AL2 aproximadamente asciende a 5160.

Problemática

Cuando ocurre una falla en el sistema de distribución, ya sea por un cortocircuito o una descarga atmosférica, gran parte de los usuarios quedan sin el suministro de energía eléctrica. Esto es debido al mal dimensionamiento de los dispositivos de protección utilizados.

Como etapa inicial del proyecto se realizó una evaluación general de las protecciones desde la subestación hasta el último punto de la red, donde pudimos constatar que el criterio actual para el dimensionamiento de las protecciones se hace en función al flujo de carga.

Como podemos apreciar en los diagramas de operación de los fusibles de la Figura 3, las actuaciones por cortocircuito son muy elevadas en comparación a las otras causas. Si además hacemos una comparación entre los años 2019 y 2020 en las operaciones hay un incremento sustancial en las actuaciones por cortocircuito [3].

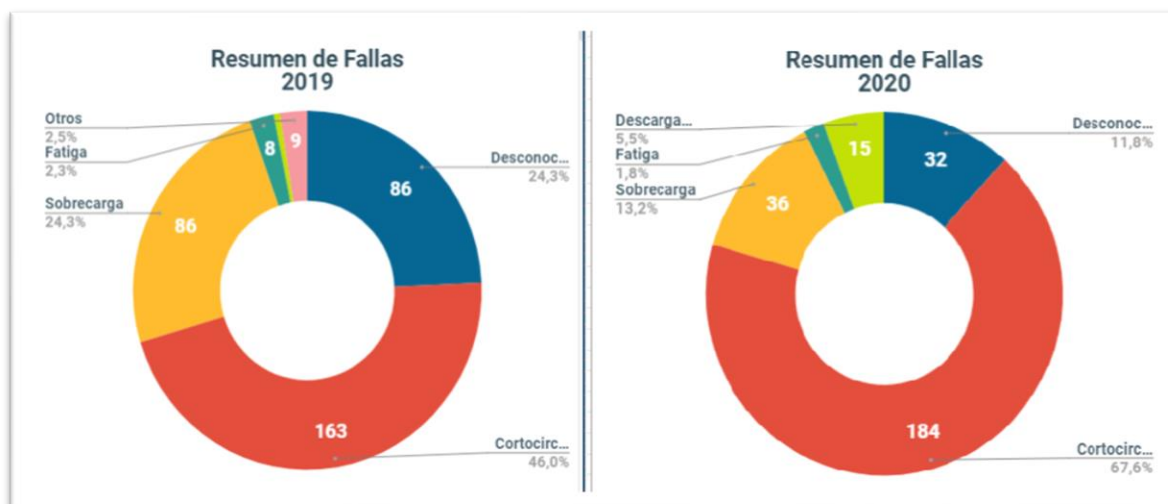


Figura 3: Estadística de Operación de Fusibles

Consecuentemente al reducir las fallas por cortocircuito se tendrá una mejora fundamental en la continuidad del servicio.

Propuesta del Método

Planteamos un cambio de filosofía en la coordinación y selectividad de las protecciones en el sistema de distribución para mejorar el desempeño de la red de CLYFSA.

Para ello debemos sustituir el criterio actual basado en la calibración o dimensionamiento del fusible en función al flujo de carga por la calibración o dimensionamiento de fusibles en función al

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

nivel de cortocircuito. Así obtendremos una reducción en la cantidad de actuaciones de los cortacircuitos fusibles y consecuentemente disminución de las zonas de actuación.

3. METODOLOGÍA

Con la intención de lograr el objetivo del proyecto tomamos como punto de partida la recopilación de información en temas relacionados a datos técnicos y unifilares de CLYFSA, el sistema Map Info es utilizado para recopilar datos referentes a la ubicación de los seccionadores fusibles y transformadores, así también el recorrido actualizado de los alimentadores plasmados en AUTOCAD. Los parámetros considerados son los siguientes:

Datos de los Alimentadores

- Configuración
- Tipo y sección de los conductores
- Longitud
- Fases

Datos de los Transformadores de Distribución

- Potencia
- Fases
- Reactancias
- Impedancia
- Curvas Características

Datos de los Equipos de Protección

- Corriente Nominal, en A.
- Tensión Nominal, en kV.
- Capacidad de interrupción simétrica, en kV.
- Capacidad de interrupción asimétrica, en kV.
- Tensión soportable de impulso, en kV.

Seguidamente migramos los datos al software eléctrico ETAP, para la simulación de los casos de estudio.

4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las protecciones eléctricas son dispositivos cuyo propósito es identificar condiciones de falla en la operación de un sistema eléctrico y tomar automáticamente las medidas necesarias para restituir su operación normal [4].

Cortacircuitos Fusible

También son conocidos como cuchillas fusibles o cajas primarias y son de uso común en sistemas de distribución. Están diseñadas para la protección de transformadores y los equipos (incluyendo el seccionamiento de derivaciones de red) en circuitos de hasta 34.5 kV. y 200 A continuos,

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

cumpliendo con las Normas ANSI C37.41 – 1981 (Incontec 2132), ANSI C37.42 – 1981 (Incontec 2133) [5].

5. TIPO DE FALLAS EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN:

La mayoría de las fallas en un sistema de distribución son de naturaleza temporaria o transitoria. El primer requerimiento de una estrategia de protección es tratar eficientemente las fallas transitorias, suministrando medios para un rápido reconocimiento, eliminación y reconexión del circuito después de una breve pausa a fin de permitir la desionización de la falla en el arco. Para tales efectos son utilizados los relevadores de sobrecorriente y reconectores [6].

El segundo requerimiento de una estrategia de protección en un sistema de distribución radial es aislar las fallas permanentes de tal manera que:

- La sección del alimentador que deba aislarse debe ser la menor posible.
- La falla sea localizada en el menor tiempo posible, de manera a restituir el servicio en la brevedad.

Para este tipo de fallas son utilizados los seccionadores y el cortacircuitos fusible.

El elemento de protección predominante en el sistema de distribución de la CLYFSA es el cortacircuitos fusible.

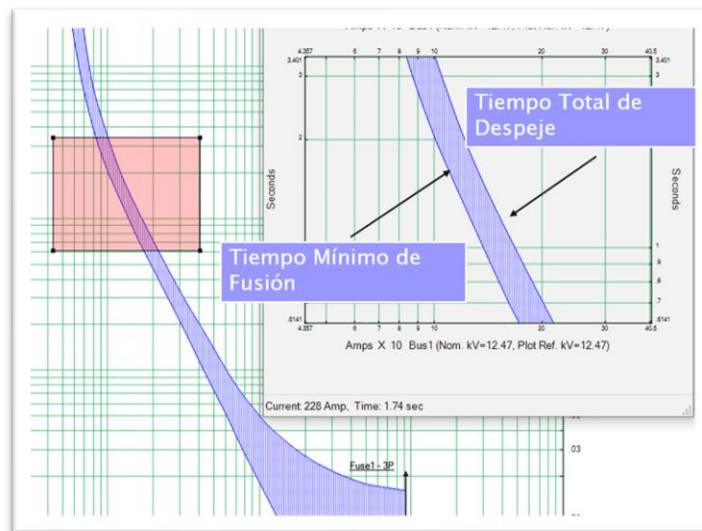


Figura 4: Curva Característica del Elemento Fusible.

6. COORDINACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.

La mayoría de los esquemas de protección en sistemas de distribución radiales involucra la coordinación de fusibles, reconectores automáticos y relevadores. En general la coordinación de estos dispositivos resulta difícil porque tienen características tiempo – corriente de formas distintas. Debido a esto la coordinación deseada se logra en un rango restringido de corriente [7].

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

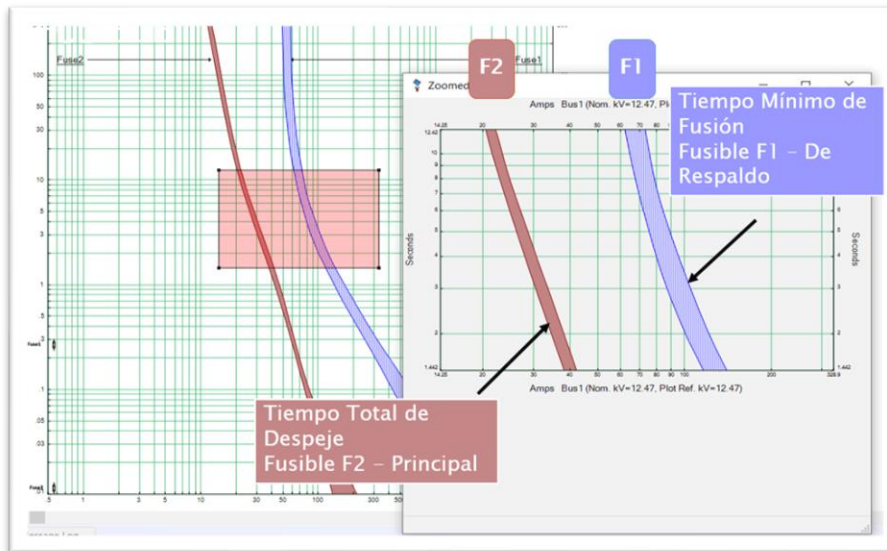


Figura 5: Curva de Coordinación Fusible - Fusible

7. CRITERIO DE COORDINACIÓN

Un criterio ampliamente utilizado establece que el tiempo total de despeje del fusible principal no debe exceder el 75% del tiempo mínimo de fusión del fusible de respaldo [8].

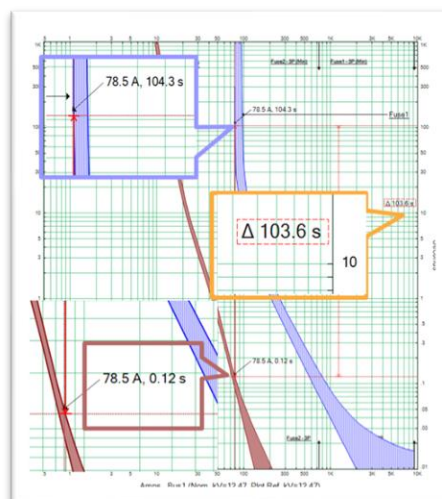


Figura 6: Tiempo de actuación de los Fusible.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

8. **DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE EN FUNCIÓN AL FLUJO DE CARGA – CRITERIO ACTUAL**

Como podemos observar en la Figura 7, una de las derivaciones de un alimentador, específicamente del AL1, en la que se tienen tres fusibles entre la carga y la derivación. El transformador alimenta una carga de 1000 kVA. En base al criterio de dimensionamiento actual las dimensiones de los fusibles partiendo desde la carga son de 15 A, 20 A, y 25 A. Ahora bien, cuando ocurre una falla próxima al transformador donde la corriente de cortocircuito alcanza una intensidad de 3.039 kA. Con esta intensidad los tres fusibles actúan de manera instantánea, esto debido a que las curvas de mismo están muy por debajo del nivel de cortocircuito, es decir, no existe margen de coordinación entre los mismos, sus curvas están prácticamente solapadas.

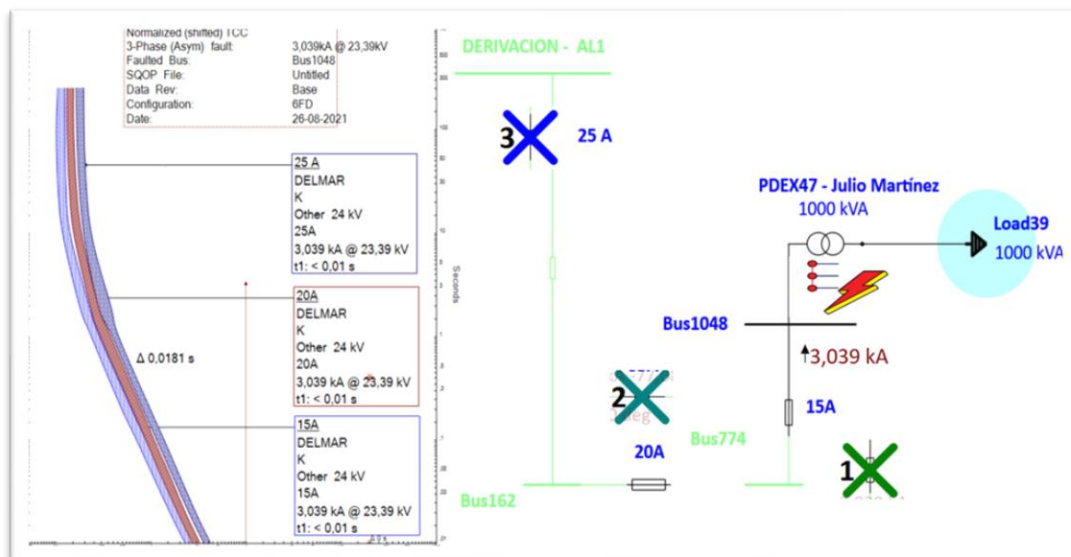


Figura 7: Operación de fusible – Criterio Actual

9. **DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE EN FUNCIÓN A LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO – CRITERIO PROPUESTO**

Considerando los mismos parámetros de la simulación anterior pero esta vez tomado como criterio de dimensionamiento de los fusibles el nivel de cortocircuito. Al simular la falla en el mismo punto, en lado de alta del transformador. Esta vez solo opera el fusible más próximo a la falla. Esto medite la determinación de las corrientes de cortocircuito en cada punto de las derivaciones. Además, podemos apreciar que existe margen de coordinación entre los fusibles en cada derivación y como es de esperarse debe operar solamente el fusible más próximo a la falla. También se cumple con el criterio de coordinación el cual asegura que el fusible protector debe interrumpir y despejar la falla y no el fusible protegido.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

En la Figura 8 podemos apreciar los valores de los fusibles, sus respectivas curvas y el tiempo de coordinación entre los mismos.

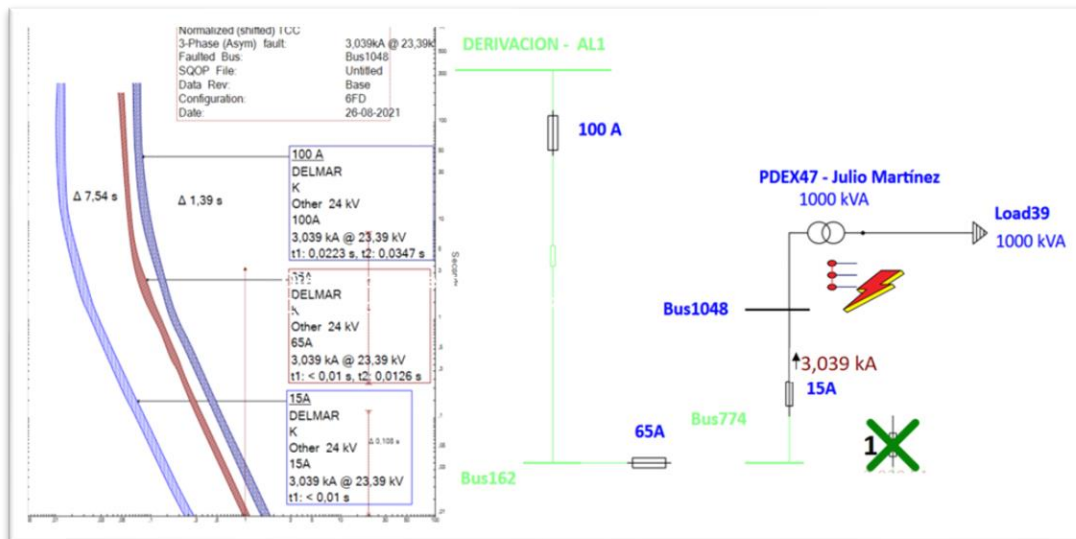


Figura 8: Operación de fusible – Criterio Propuesto

10. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

La elaboración del presente trabajo se centró específicamente en los alimentadores AL1 y AL2 del sistema de distribución de la red CLYFSA, en la que se expuso la problemática que origina el criterio actual de dimensionamiento de las protecciones en las derivaciones de los alimentadores.

Mediante la implementación del criterio propuesto se consigue una mejora sustancial en la continuidad del servicio.

La herramienta computacional de simulación ETAP, ha demostrado ser de gran utilidad a la hora de realizar la coordinación de las protecciones. Las simulaciones de las Figuras 7 y 8 fueron realizadas a lo largo de los alimentadores AL1 y AL2 y con el resultado de las mismas se elaboraron los informes y recomendaciones finales.

Este procedimiento puede aplicarse a los demás alimentadores de manera a aprovechar al máximo las virtudes del software y traducirse en un gran beneficio para los usuarios finales y la concesionaria CLYFSA.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

BIBLIOGRAFIA

- [1] YEBRA MORÓN, JUAN ANTONIO. Sistemas Eléctricos de Distribución. (2009).
- [2] JUÁREZ CERVANTES, JOSÉ D. Sistemas de Distribución de Energía. (1995).
- [3] Estudio técnico de ampliación de la subestación CLYFSA. 98pag.
- [4] MAMEDE FILHO, JOÃO. Manual de Equipamentos Eléctricos. 1215pag.
LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. (2013).
- [5] BROWN, RICHARD E. Electric Power Distribution Reliability. CRC Press
Taylor & Francis Group. 463p. (2009).
- [6] HARPER, ENRÍQUEZ. Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. 2º.
Ed. México: Limusa Noriega Editores. 628p. (2002).
- [7] MUJAL R., RAMÓN R. Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. 198pag. (2002).
- [8] PROF. ING. CÁCERES C., FABIÁN. Protecciones Eléctricas. Material de
Clases. (2019).