
XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

Modelado de Conductores Subterráneos para determinar los niveles de cortocircuito en las pantallas.

Oscar M. Torres⁽¹⁾; Blas Díaz⁽²⁾; Alberto Romero⁽³⁾; Marcelo González⁽⁴⁾; Luis Alonso⁽⁵⁾;

(1) Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica (FPUNA); otorres@pol.una.py

(2) ANDE; Administración Nacional de Electricidad; blas.diaz@ande.gov.py

(3) ANDE; Administración Nacional de Electricidad; albertog_romero@ande.gov.py

**(4) Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica (FPUNA).
marcelogonzaf@gmail.com**

**(5) Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica (FPUNA).
luialonso95@gmail.com**

Paraguay

Resumen

Este estudio presenta una síntesis de los resultados de simulaciones, cuyo objetivo principal es determinar el nivel de corriente de cortocircuito que fluye a través de las pantallas de cables subterráneos, principalmente en sistemas de media tensión, es decir a la salida de alimentadores de distribución, empleando el software ATPDraw.

Por ello, se incorpora al modelo equivalentado del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, el desarrollo de un modelo detallado del cable subterráneo. Este modelo incorpora todos los componentes relevantes, tales como las características físicas y eléctricas de los cables, las pantallas metálicas, las conexiones a tierra, y las subestaciones asociadas.

Para el efecto, se realizaron simulaciones para fallas simétricas y asimétricas, fallas (monofásicas, bifásicas y trifásicas), empleando el programa Alternative Transient Program (ATP). Los resultados revelaron variaciones significativas en los niveles de corriente, dependiendo tanto de la ubicación del cortocircuito como de la configuración específica del sistema. En particular, se detectó que las corrientes inducidas en las pantallas podrían alcanzar niveles peligrosamente altos en ciertos escenarios, lo cual podría comprometer la integridad del sistema y la seguridad operativa.

Palabras clave

Cables Subterráneos, Modelado y simulación, ATPDraw, Niveles de cortocircuito, Apantallamiento.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la red eléctrica nacional se encuentra en un proceso de expansión gradual debido al crecimiento exponencial de la demanda energética. Determinar y especificar los componentes más adecuados para garantizar un suministro confiable se ha vuelto una tarea cada vez más compleja, dado los altos niveles de carga que se manejan.

En este contexto, la utilización de cables subterráneos en el área metropolitana, se ha vuelto una constante, principalmente para paliar problemas socio ambientales, así como la facilidad de instalación y la mejor utilización del espacio en comparación con los cables aéreos.

De igual manera, dentro de una línea de distribución subterránea, la pantalla es considerada un elemento conductor dispuesto sobre el aislamiento de un cable radial, juega un papel vital al proteger el cable contra sobretensiones, ofreciendo un camino de descarga para las corrientes de defecto a tierra y confinando adecuadamente el campo eléctrico dentro de la masa de aislamiento del cable. [1] Sin embargo, estos conductores no están exentos de fallas eléctricas, lo que hace esencial el análisis de posibles defectos que puedan acortar la vida útil del cable.

Por ello, se han analizado los cortocircuitos en sistemas de media tensión (salida de alimentadores de distribución), enfocándose en las corrientes que circulan por la pantalla en los cables utilizados. Dado que estas corrientes pueden ser potencialmente perjudiciales, ya que pueden desencadenar fallos en cascada que deterioran las condiciones operativas del sistema, este análisis busca determinar el porcentaje de corriente de cortocircuito que circula por la pantalla de estos cables, de modo a realizar especificaciones acordes a los requerimientos.

2. CASO DE ESTUDIO

2.1. Modelado en el ATPDraw

Para la simulación de fallas, fue elaborado el modelado de parte del sistema en el programa ATPDraw, el mismo, es un programa de simulación de gran capacidad, utilizado en el ambiente de estudios eléctricos para resolver principalmente problemas de transitorios electromagnéticos en sistemas eléctricos de potencia, circuitos distribuidos o combinaciones adicionales.

Como fuera mencionada anteriormente, este análisis se centra en la obtención de la relación de los niveles de intensidad que circulan por el núcleo y la pantalla de los cables ubicados a la salida de los transformadores de potencia, para el efecto, el área analizada en este estudio, se centra en la Subestación San Lorenzo, considerando que se constituye en un Centro de Distribución el cual se torna neurálgico para el sistema, puesto que actualmente posee aproximadamente 23 posiciones de alimentadores disponibles para celdas GIS (Gas Insulated Substation, aisladas con gas SF6 Hexafluoruro de Azufre) de 23 [kV], de los cuales 10 están en servicio actualmente, y 5 celdas móviles también de 23 [kV] que por trabajos de ampliación de la Subestación, se reubicarán en las celdas GIS mencionadas anteriormente.



Figura 2. Cable subterráneo de aluminio de 240 [mm²] de sección transversal, con pantalla de cobre. [3]

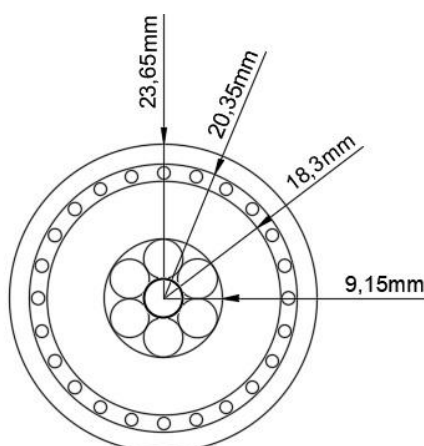


Figura 3. Vista transversal del cable subterráneo. [4]

2.1.2. Modelado del cable subterráneo

En la Figura 4, se observa la representación del modelado del cable, donde los bornes superiores representan al núcleo y los bornes inferiores representan al apantallamiento del mismo.

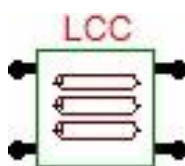


Figura 4. Cable subterráneo modelado. [5]

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

Mediante dicha representación se puede acceder de manera externa al apantallamiento del cable, ya que las mismas están modeladas como fases independientes. De esta manera, se busca medir las intensidades de corriente que circulan por la misma, tanto en estado permanente como en estado de falla.

- (1) El generador fue modelado como una fuente senoidal, acoplado a un equivalente de cortocircuito R-L.
- (2) Fue empleado un cable subterráneo de un solo núcleo, sin transposición y empleando el modelo π con parámetros distribuidos.
- (3) El interruptor utilizado en este análisis es un interruptor trifásico controlado por tiempo y éste está conectado a una carga R-L-C trifásica.
- (4) Fue modelado un transformador saturable trifásico de 2 devanados con conexionado Y Δ 1.

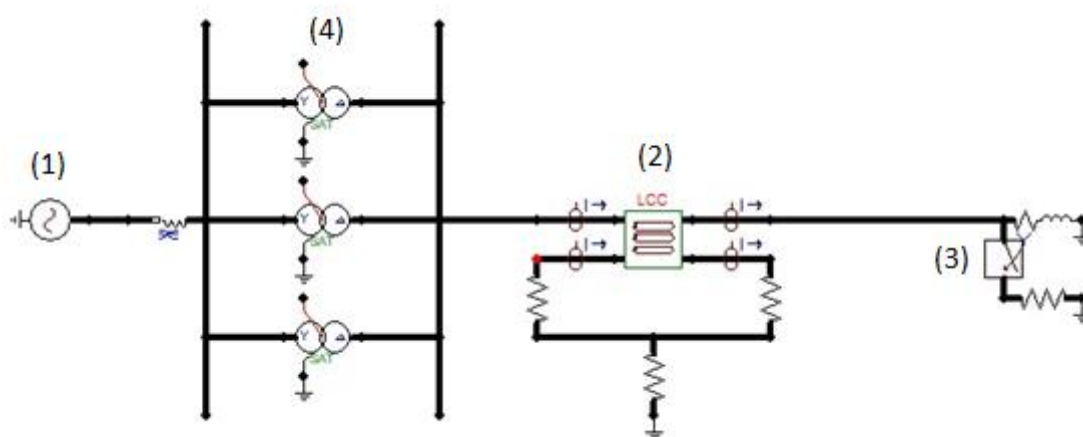


Figura 5. Modelado del cable subterráneo en el ATPDraw. [5]

2.2. Resultados de las simulaciones

Los resultados de la simulación son presentados en archivos con extensión LIS y PL4. El archivo LIS presenta los resultados en un archivo de texto, mientras que el archivo PL4 presenta la simulación en forma gráfica, para lo cual se emplea la extensión PlotXY.

Para un cortocircuito monofásico de 0,1 a 0,2 segundos de duración, se puede observar en la Figura 6, el valor de las corrientes analizadas. En la misma se observa que, la gráfica de color azul representa al núcleo del cable y la de color rojo la pantalla del mismo.

Los niveles de corrientes logran un pico de 9.326 [A] circulante por el núcleo y de 6.238,2 [A] a través de la pantalla, en la que se obtuvo una relación del 66.8% entre los mismos.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

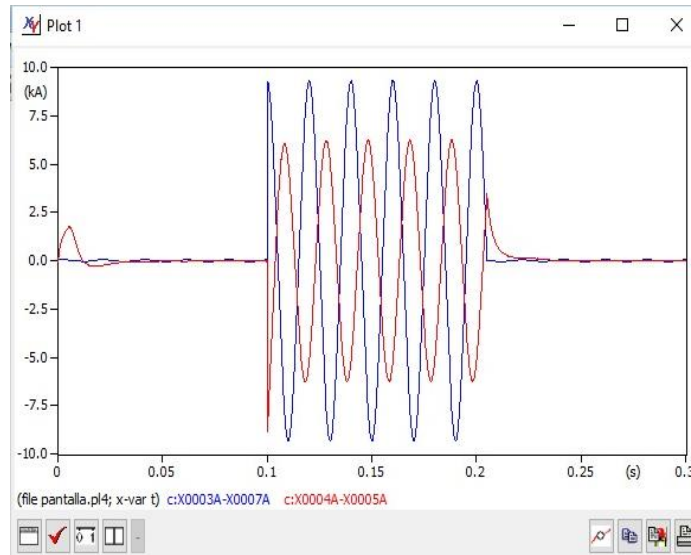


Figura 6. Archivo PL4 presentando los resultados en forma gráfica. [5]

2.2.1. Cortocircuito Monofásico

En la Figura 7, se puede apreciar los niveles de corrientes de cortocircuitos para una falla monofásica a tierra en el cable (fase A);

- Corriente de Cortocircuito en el núcleo = 105,12 [A]
- Corriente de Cortocircuito en la pantalla= 61,52 [A]

Esto ocurre, debido a que el núcleo soporta toda la corriente de falla, la pantalla drena a tierra un porcentaje 58,52% de esa corriente.

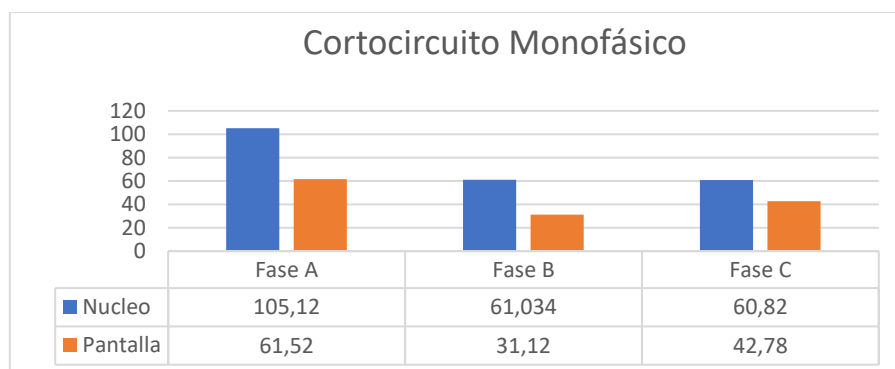


Figura 7. Valores de Corriente de Cortocircuito en el núcleo y pantalla. [5]

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

2.2.2. Cortocircuito Trifásico

En la Figura 8, se puede apreciar los niveles de corrientes de cortocircuitos para una falla trifásica;

- Corriente de Cortocircuito en el núcleo = 5,3 [kA]
- Corriente de Cortocircuito en la pantalla= 2,7 [kA]

La relación entre la corriente de cortocircuito que circula por la pantalla y la que pasa por el núcleo es de 56%, que si comparamos con la falla monofásica es levemente inferior.

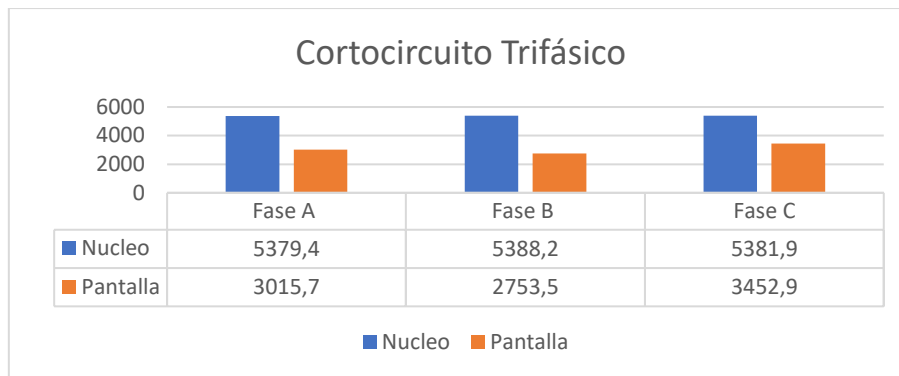


Figura 8. Valores de Corriente de Cortocircuito en el núcleo y pantalla. [5]

2.2.3. Cortocircuito bifásico a tierra

En la Figura 9, se puede apreciar los niveles de corrientes de cortocircuitos para una falla del tipo bifásico a tierra, donde se puede observar que la corriente de cortocircuito es ligeramente menor en relación con una trifásica, no obstante, mayor a una monofásica.

- Corriente de Cortocircuito en el núcleo = 4,6 [kA]
- Corriente de Cortocircuito en la pantalla= 2,4 [kA]

La relación existente entre la corriente de cortocircuito que circula en la pantalla y la que circula en el núcleo del cable durante la falla es la más baja, es del 51,2%.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

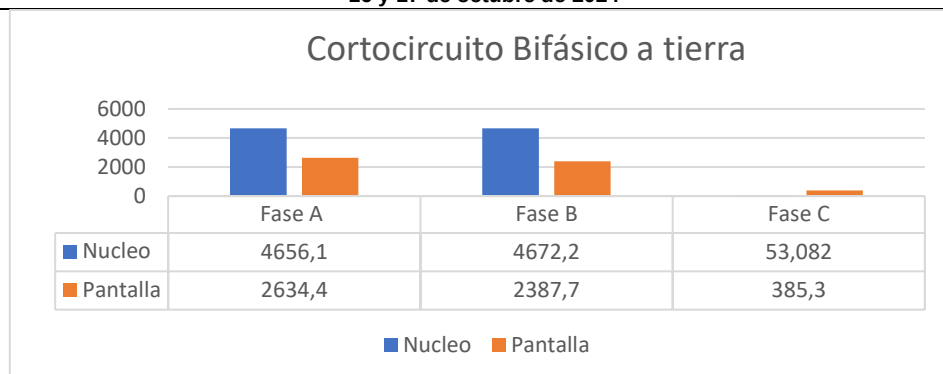


Figura 9. Valores de Corriente de Cortocircuito en el núcleo y en la pantalla. [5]

3. CONCLUSIÓN

En este estudio, se han determinado los valores de las corrientes de cortocircuito que fluyen a través de cables subterráneos de media tensión, permitiendo establecer las diferencias entre la corriente que circula por la pantalla del cable y la que fluye por su núcleo. El proceso de modelado se llevó a cabo utilizando ATPDraw, un software especializado en la simulación de transitorios electromagnéticos.

Se observó que, ante una falla monofásica, aproximadamente el 58,52% de la corriente de cortocircuito fluye a través de la pantalla del cable en comparación con el flujo a través del conductor principal. En el caso de una falla trifásica, el porcentaje de la corriente que fluye por la pantalla disminuye ligeramente al 56%. Finalmente, ante una falla bifásica, se obtuvo un valor del 51,2% de la corriente circulando por la pantalla del cable.

En conclusión, se determinó que aproximadamente el 50% de la corriente de cortocircuito fluye a través de la pantalla del cable. Este resultado es consistente con los valores reportados en la literatura técnica, que indican una participación significativa de la pantalla en la conducción de corriente de cortocircuito, especialmente en sistemas de media tensión.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE Std 2015: *IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [2] ANDE (Administración Nacional de Electricidad). *Gerencia Técnica - Departamento de Transmisión Metropolitano y Bajo Chaco*.
- [3] ELECTROPAR S.A. 2024. *Catálogo*. Asunción.
- [4] AUCAPÑIA, J. O; NIOLA, J.C. 2012. *Proyecto de especificaciones técnicas para el diseño de redes subterráneas de la empresa Eléctrica Regional Centro Sur S.A.* Tesis (Ing. Eléctrico). Cuenca. Ec: Carrera de Ingeniería Eléctrica.
- [5] Elaboración de los autores.