

Simulación de fallas en líneas de transmisión utilizando Python y ATP

Jesús María Sosa Domínguez, Sebastián Víctor Sánchez Gómez, Esteban Federico Vargas Correa

Facultad Politécnica – Universidad Nacional del Este

Paraguay

RESUMEN

Al momento de evaluar el comportamiento de un sistema eléctrico de potencia, la continuidad y el suministro eléctrico son de vital importancia, esto a causa de la sensibilidad de los equipos del sistema a variaciones de tensión y corriente. Ante esta situación es necesaria la simulación de fallas en varios puntos del sistema eléctrico de potencia con el objetivo de conocer sus consecuencias. Esto podría representar una cantidad considerable de simulaciones y tiempo de los especialistas. Otro caso donde es necesaria la simulación de fallas en varios puntos del sistema eléctrico de potencia, es el caso donde se realizan ensayos de ajustes de protecciones eléctricas de líneas de transmisión. Dichas simulaciones son realizadas con el objetivo de analizar la coordinación de las protecciones de los equipos ensayados. La importancia de la aplicación de metodologías de simulación de fallas automáticas podría constituir una herramienta de auxilio esencial para ingenieros de sistemas de potencia y protección para sus análisis correspondientes. En el presente trabajo se llevará a cabo la elaboración de un algoritmo de manera a que pueda trabajar en forma secuencial con un software de simulación de fenómenos eléctricos, para la posterior simulación automática de fallas en un sistema eléctrico de potencia. Dicho trabajo presenta la elaboración de un programa computacional en donde son realizadas las simulaciones, el mismo toma como referencia la línea de transmisión, el desplazamiento de la falla y el valor de la impedancia de falla para el proceso de simulación, esto con el objeto de demostrar que la aplicación de simulaciones automáticas de fallas permitirá agilizar el análisis de la operación del sistema eléctrico de potencia. Los resultados de las simulaciones han sido utilizados a modo de observar el comportamiento de la corriente de la línea de transmisión en los diversos puntos de falla a lo largo de la línea seleccionada. Se han realizado los siguientes tipos de falla: monofásica, bifásica, bifásica a tierra y trifásica, con el objeto de generar los cortocircuitos en distintos escenarios, y determinar su efecto en el sistema eléctrico.

PALABRAS CLAVE

Sistema de potencia, línea de transmisión, simulación de falla

1. MÉTODO

1.1 Diseño

Para determinar las condiciones de operación del Sistema Eléctrico de Potencia, son realizados una serie de estudios de cortocircuitos.

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

Las fallas a ser consideradas son de dos tipos: simétricas, al no existir desbalance entre fases y asimétricas, cuando hay desbalance entre fases; las relacionadas a cortocircuitos trifásico corresponden al primer tipo, mientras que los relacionados a fallas monofásicas a tierra, bifásicas y bifásicas a tierra corresponden al segundo tipo.

Con el propósito de concretar un proceso de simulación acorde a los criterios de eficiencia propuestos, son necesarios esquemas de tareas en base a los objetivos específicos que comprendan desde la parte de la investigación hasta la simulación automática propiamente dicha, los cuales deben abarcar:

Investigar metodologías existentes para la simulación automática de fallas trifásicas, monofásicas, bifásicas y bifásicas tierra. Se lleva a cabo una investigación acerca de los métodos de cálculo más eficientes para la detección de fallas en un sistema eléctrico de potencia mediante una red de prueba, además son descritos los parámetros utilizados para el análisis de las fallas y los efectos que sufrirán los diferentes equipos eléctricos. En este paso se adopta la simulación paralela de eventos debido a la rapidez de tiempo computacional y el esquema de archivos organizado de respuesta a los distintos tipos de fallas analizados.

Revisar bibliografía sobre posible software que puedan auxiliar a la elaboración del algoritmo que permitiría la simulación automática de fallas. Son presentados distintos modelados de los componentes del sistema eléctrico de potencia, siendo que la simulación de fallas es la principal metodología a utilizar para el cálculo de las fallas en las líneas de transmisión, además de la presentación el programa computacional utilizado para las simulaciones en nuestra red de prueba de sistema de potencia. A través del lenguaje de programación Python se pretende la elaboración de un sistema de codificación concisa y dinámica, haciendo uso de la amplia cantidad de herramientas a disposición del usuario.

Modelar la red de prueba considerando los modelos apropiados para estudios de cortocircuito. Son estudiados los modelos de los componentes del SEP para representar adecuadamente el fenómeno eléctrico de cortocircuito. Esto permitirá que la red de prueba presente los resultados adecuados para los diferentes tipos de falla. Para el siguiente trabajo es adoptado un modelo del sistema de potencia con datos típicos de un sistema de 220 kV.

Simular en forma automática los diferentes tipos de fallas en una red de prueba modelada en un software adecuado para el estudio de los fenómenos eléctricos. Es expuesto un estudio de un caso realizado en una red de prueba de sistema de potencia, consistente en el análisis de los datos obtenidos en las simulaciones, mediante la utilización del programa computacional. Serán presentados los resultados de los tipos de fallas y las conclusiones de dicho trabajo.

2. RESULTADOS

Para reducir el tiempo de estudio del sistema de potencia, fue necesario implementar la rutina lógica de forma a modificar de manera automática y sencilla las variables de entradas con el objetivo de una rápida obtención de resultados para el análisis posterior.

Es ahí donde los conocimientos acerca de cómo lograr la interacción entre ATP y Python fueron requeridos. Esta implementación de interacción entre el ATP y Python permite extender la aplicación a sistemas de potencia de mayor porte.

2.1 Desarrollo del programa

Antes de iniciar la simulación en el Python, fue necesario primeramente identificar los datos a ser modificados, esto en el archivo .atp. Los datos de partida para el modelado del sistema en el ATP fueron extraídos de un sistema típico de 220 kV.

El programa se inicia mediante la ejecución de la simulación creada en el Python en donde se hace necesario variables de entradas, el archivo .atp en donde se llevará a cabo la simulación se representa mediante la variable de entrada estudio caso, las demás variables de entrada serán los parámetros a ser

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

reemplazados e identificados en el archivo .atp, en ese caso son las impedancias de falla y localización de fallas, en la Figura 1 se observa detalladamente el funcionamiento secuencial.

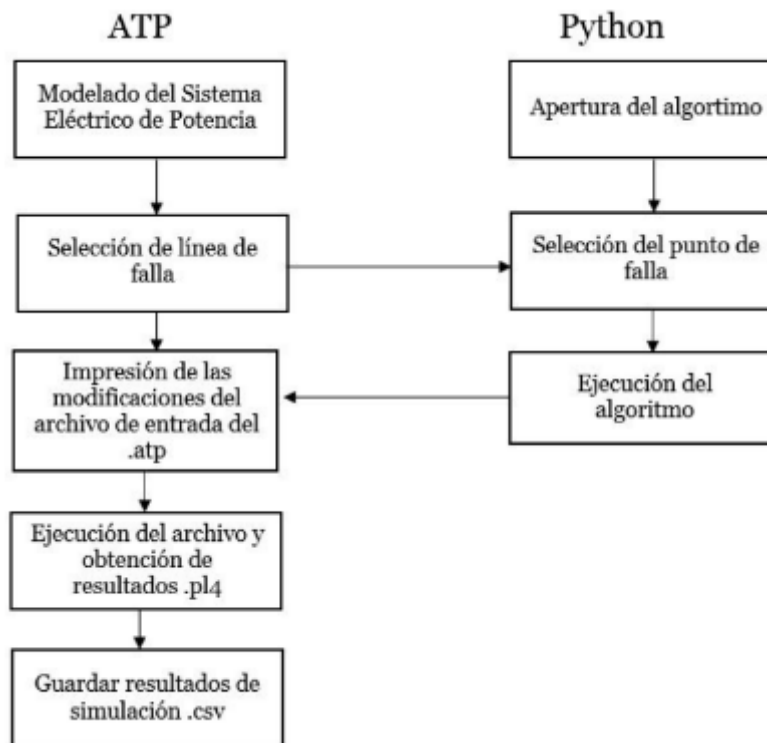


Figura 1: Funcionamiento secuencial de los programas ATP-Python

Posteriormente se determina el tipo de falla a ser simulado, la línea de transmisión y las impedancias de falla, una vez determinada la línea de transmisión, se aplican las fallas a cada 10% de su longitud, y se varían las impedancias de fallas entre los valores de 0.05 y 100 ohmios.

Una vez en el archivo .atp en donde fue modelado el sistema para estudio, el programa utiliza ciclos a través del comando "While" para ir recorriendo las líneas del archivo, esto con el fin de ir modificando los parámetros de simulación. La delimitación de simulación es fijada en el tipo de falla, la resistencia de falla y la variable de longitud total de línea en estudio.

2.2 Aplicación del programa de simulación de falla Python-ATP

El siguiente programa fue empleado para generar una base de datos para simulaciones de fallas de cortocircuito monofásico, monofásico a tierra, bifásico, bifásico a tierra, trifásico y trifásico a tierra, en el sistema de potencia de 220 kV esto modelado en el ATP. Se realizaron los cortocircuitos a lo largo de las líneas que interconectan la barra A con la barra B y barra C con la barra D, figura 5. Se implementa este algoritmo para auxiliar el nivel de trabajo en simulaciones de fallas que se extienden a lo largo de una línea, donde se requiere la modificación de las variables de entrada como en este caso son los puntos de fallas y las impedancias de falla y posterior análisis de resultados aplicando normas para fenómenos de este tipo. Los puntos de fallas fueron variando cada 10% con respecto a la longitud total de la línea para impedancias de 0,05 y 100 ohmios.

Primeramente se ejecutó el archivo .atp en el ATP, luego se procede en el Python a importar las variables de entrada que están dentro de este archivo .atp representadas como código principal .py

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

como se observa en la Figura 2, se selecciona el tramo de la línea que interconectan las barras B y C para dar inicio a la realización de las simulaciones.

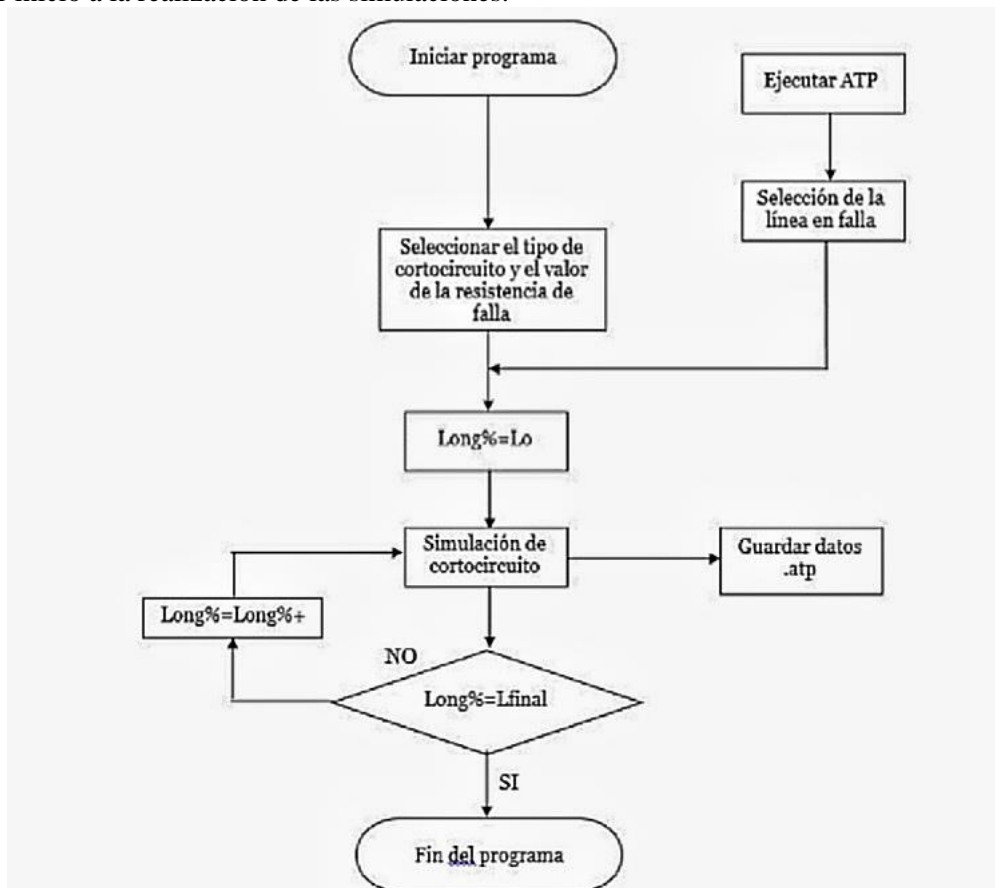


Figura 2: Flujograma de simulación de falla

Para la simulación de cada tramo es generado al mismo tiempo una subrutina responsable de guardar los archivos modificados .pl4 y .atp donde está creado una base de datos donde son guardados los resultados procesados para la simulación del tramo, conforme hecho todo esto el programa procede al ciclo donde se reemplaza la impedancia de falla y luego de esto vuelve al ciclo donde se realiza la variación del punto de falla y se realiza el mismo procedimiento, los límites de la simulación son fijados por las variables de entrada que en este caso, son la longitud total de línea y la impedancia de falla.

2.3 Análisis comparativo de los parámetros del Power World y ATP

El sistema eléctrico de 7 barras, como se observa en la Figura 3, cuenta con una fuente que alimenta las cargas del sistema eléctrico, también poseen 2 transformadores de 3 devanados que dividen el sistema eléctrico en dos sectores de 220 kV y 66 kV, los valores de las cargas en las distintas barras y tensiones con sus correspondientes ángulos son establecidos según el sistema.

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

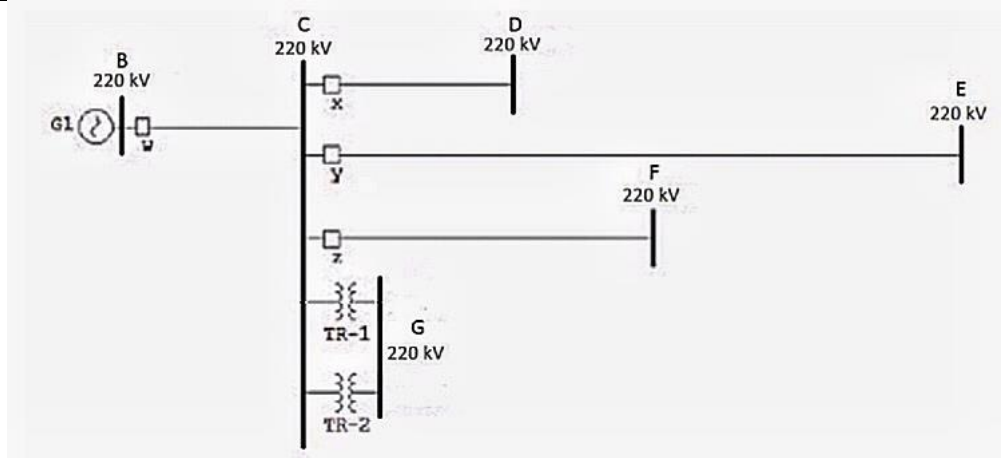


Figura 3: Diagrama unifilar del sistema de 220kV

Se logra reproducir el estado de régimen permanente del sistema de 7 barras presentado en la Figura 3 tanto en el Power World como en el ATP tal como se puede observar en la tabla I.

Tabla I: Comparación de las tensiones en las barras y sus ángulos obtenidos en Power World y ATPDraw

Barra	Power World		ATP	
	Tensión (p.u.)	Ángulo	Tensión (p.u.)	Ángulo
A	1,00	0	1,00	0
B	1,02	-5,276	1,019	-5,5
C	1,02	-12,674	1,023	-13,3
D	1,03	-15,007	1,026	-15,8
E	1,03	-15,362	1,023	-16,1
F	1,03	-16,738	1,028	-17,6
G	1,02	-15,302	1,017	-14,5

2.4 Simulaciones de los cortocircuitos en los tramos B y C de la línea

En esta sección se encuentran los resultados de las simulaciones de las barras B y C ante los distintos tipos de fallas e instantes de la onda de tensión donde se aplica la falla. Los resultados son obtenidos del archivo .pl4 del ATP, y cuya unidad de medida se encuentra en kArms.

Los valores en las Tablas II y III representan los valores eficaces de la corriente de cortocircuito, cuando las mismas ocurren en el instante en que la tensión de la fase R está en su valor pico. Estos resultados en los diferentes puntos de simulación, es debido a que la falla se va alejando cada vez más de la fuente, lo cual reduce el valor eficaz de la misma.

En consecuencia, se puede observar que el comportamiento del mismo es uniforme a lo largo del tiempo, como se puede ver en la Figura 4.

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

Tabla II: Barra B y C para una impedancia de falla a 0,05 ohms en punto máximo de la onda de tensión de la línea

Falla	Falla en fase	Valor de corriente en los diferentes puntos de simulación [KArms]							
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Monofásica	R	8,48	6,37	5,12	4,30	3,72	3,28	2,95	2,68
Bifásica	S	9,08	7,20	5,95	5,06	4,39	3,86	3,45	3,10
	R	9,67	7,80	6,55	5,65	4,98	4,46	4,04	3,70
Bifásica a tierra	S	9,98	7,84	6,46	5,49	4,76	4,20	3,76	3,39
	R	10,10	8,01	6,66	5,72	5,02	4,48	4,04	3,69
Trifásica	T	11,14	8,89	7,40	6,34	5,55	4,93	4,44	4,03
	S	11,07	8,83	7,35	6,29	5,50	4,88	4,39	3,99
	R	10,74	8,61	7,18	6,16	5,39	4,79	4,31	3,92

Tabla III: Barra B y C para una impedancia de falla a 100 ohms en punto máximo de la onda de tensión de la línea

Falla	Falla en fase	Valor de corriente en los diferentes puntos de simulación [KArms]							
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Monofásica	R	1,77	1,71	1,66	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
Bifásica	S	1,52	1,48	1,45	1,42	1,38	1,35	1,31	1,28
	R	1,68	1,67	1,65	1,64	1,62	1,60	1,58	1,56
Bifásica a tierra	S	1,82	1,79	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,55
	R	1,77	1,72	1,67	1,63	1,59	1,55	1,52	1,49
Trifásica	T	1,82	1,79	1,76	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
	S	1,82	1,79	1,76	1,74	1,71	1,67	1,64	1,61
	R	1,82	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61

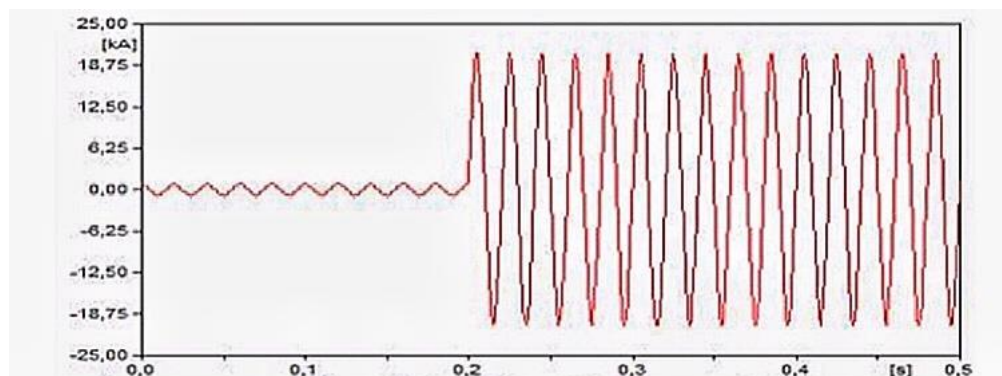


Figura 4: Comportamiento de la corriente de la línea ante la falla en el punto máximo de la tensión

Los valores en las tablas IV y V representan los valores de la corriente de cortocircuito cuando las mismas ocurren en el instante en que la tensión de la fase R está en su valor cero, se observan que los valores eficaces de la corriente en los tramos de simulación poseen el mismo comportamiento que el anterior, con la salvedad que los valores de corriente, en este caso son mayores. En lo que respecta al valor pico de la corriente, se puede mencionar que debido a que la falla fue aplicada en el instante donde la tensión de la fase R pasa por cero, presenta una componente exponencial decreciente, cuyo primer pico tiene un valor de 35kA, aproximadamente, como se puede ver en la Figura 5.

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

Tabla IV: Barra B y C para una impedancia de falla a 0,05 ohms en punto cero de la onda de tensión de la línea

Falla	Falla en fase	Valor de corriente en los diferentes puntos de simulación [KArms]							
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Monofásica	R	8,80	6,59	5,29	4,44	3,83	3,39	3,04	2,76
Bifásica	S	9,08	7,20	5,95	5,06	4,39	3,86	3,45	3,10
	R	9,67	7,80	6,55	5,65	4,98	4,46	4,04	3,70
Bifásica a tierra	S	9,94	7,82	6,45	5,48	4,75	4,19	3,75	3,38
	R	10,26	8,12	6,75	5,78	5,07	4,53	4,09	3,73
Trifásica	T	11,17	8,91	7,42	6,36	5,56	4,95	4,45	4,05
	S	11,03	8,81	7,33	6,28	5,49	4,87	4,38	3,98
	R	11,02	8,80	7,32	6,27	5,49	4,88	4,39	3,99

Tabla V: Barra B y C para una impedancia de falla a 100 ohms en punto cero de la onda de tensión de la línea

Falla	Falla en fase	Valor de corriente en los diferentes puntos de simulación [KArms]							
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Monofásica	R	1,78	1,72	1,67	1,62	1,56	1,51	1,46	1,41
Bifásica	S	1,52	1,48	1,45	1,42	1,38	1,35	1,31	1,28
	R	1,68	1,67	1,65	1,64	1,62	1,60	1,58	1,56
Bifásica a tierra	S	1,82	1,79	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,55
	R	1,78	1,73	1,68	1,64	1,60	1,56	1,53	1,50
Trifásica	T	1,82	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61
	S	1,82	1,79	1,76	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
	R	1,83	1,80	1,77	1,74	1,71	1,68	1,65	1,62

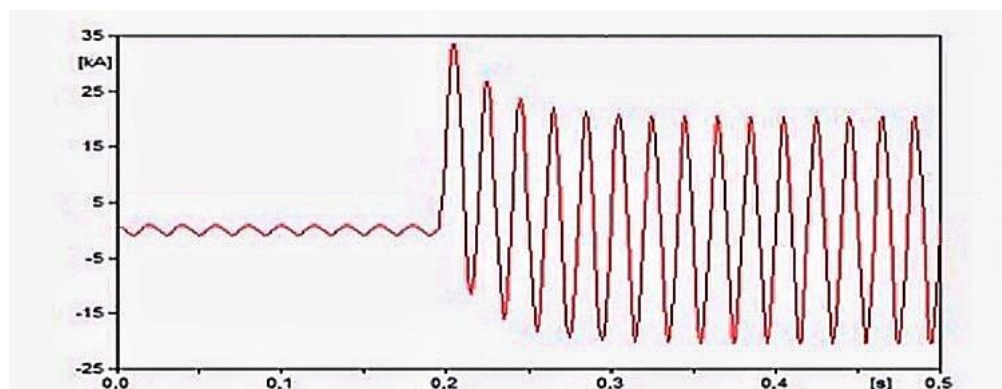


Figura 5: Comportamiento de la corriente de la línea ante la falla en el punto máximo de la tensión

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

3. CONCLUSIÓN

En primer lugar, tendríamos que decir que en vista de que las simulaciones de cortocircuitos llegan a tener un nivel muy complejo, es imprescindible el uso de herramientas computacionales en la realización de dichos estudios.

Sin embargo, entre los varios métodos de análisis siempre se da prioridad a aquellos que sean más sencillos de ser aplicados y que ofrezcan al usuario mayor comodidad y rapidez. En este orden de cosas del presente trabajo, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Ha sido posible verificar que es factible la activación conjunta de las herramientas ATP y Python para la simulación automática de fallas en las líneas de transmisión.
2. En cuanto al tiempo de las simulaciones, ejecutando el ATP desde el Python o directamente en la interfaz gráfica del ATP, no hubo mayores diferencias de tiempo de simulación.
3. Además se puede mencionar que el método se puede aplicar a otras configuraciones de sistemas de potencia, en las que se necesitan hacer estudio sobre análisis de fallas en líneas de transmisión.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G.D. Guidi-Venerdini, F. E. Pérez-Yauli. “Matlab program for systematic simulation over a transmission line in alternative transients program” in International Conference on Power System Transients IPST 2013, Vancouver, Jul. 2013.
- [2] L. Pérez Hernández, S. Pérez Londoño, J. Mora Flores. “Diseño de una herramienta eficiente de simulación automática de fallas en sistemas eléctricos de potencia”, Dyna número 164, 2010, páginas 178-188
- [3] A. M. Cáceres Machuca, G. Rodríguez Contrera. “Análisis de huecos de tensión, mediante programación adaptada a una red de prueba de sistema de potencia” in Doctoral Dissertation, Facultad Politécnica, Universidad Nacional del Este, Ciudad del Este, Sept. 2016.
- [4] J. J. Mora, J. C. Bedoya, J. Meléndez. “Implementación de protecciones y simulación automática de eventos para la localización de fallas en sistemas de distribución de energía” Ingeniería y competitividad número 1, 2006, páginas 5-14.
- [5] E. B. Huerta Lejía, *Localización de fallas en líneas de transmisión*. Nuevo León, México: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Noviembre, 2014, página 18,
- [6] N. Alzate González, J. G. Marín Quintero, J. Mora Florez. “Metodología y aplicativo para análisis de la variación de parámetros en los localizadores de fallas” Scientia et technica número 2, 2014, páginas 142-152.
- [7] A. Jadhav, K. Thakur, *Fault Detection and Classification in Transmission Lines base on Wavelet Transform*. Amravati, India: Department of Electrical Engineering, 2014, páginas 14-19.
- [8] C. M. Peláez Hoyos. *Localización de Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia utilizando Unidades de Medición Fasorial..* Pereira, Colombia: Programa de Ingeniería Eléctrica, 2016, página 35.
- [9] N. Alzate González. “Influencia de la Variación de Parámetros del Sistema de Potencia en la Localización de Fallas con Métodos de Clasificación” in Doctoral Dissertation, Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Jun. 2014.
- [10] L. Cardona. *Teoría y Práctica con el ATP*. Medellín, Colombia: Facultad de Minas, 1995, página 8.
- [11] J. J. Grainger, W. D. Stevenson Jr, *Análisis de Sistemas de Potencia*. McGraw Hill, 1996, página 463
- [12] G. Van Rossum, *El tutorial de Python*, Python Software Foundation, 2009, página 55.
- [13] L. Prikler, H. K. Hoidalén, *ATPDraw User’s Manual*. EMTP-ATP Users Group, 2009, página 120