



Software digsilent power en el estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina

Digsilent power software in the coordination study of electrical protections in the Tachine substation

Oftware digsilent power no estudo da coordenação de proteções elétricas na subestação Tachina

Juan Carlos Anchundia-Morales ^I
anchundiamjc27@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7607-9363>

Jorge Wilfrido Anchundia-Morales ^{II}
janchundia01@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7371-6059>

Byron Fernando Chere-Quiñonez ^{III}
cherokyfernando@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>

Correspondencia: deliacrespo57@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 15 de octubre de 2019 ***Aceptado:** 14 noviembre de 2019 * **Publicado:** 21 de diciembre de 2019

^I Ingeniero Eléctrico, Investigador Independiente, Esmeraldas, Ecuador.

^{II} Técnico Superior en Informática, Tecnólogo en Informática, Centro de Tecnologías de la Información y Comunicación, Quito, Ecuador.

^{III} Ingeniero Eléctrico, Docente de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

Estudiar aplicando el software Digsilent Power Factory versión 14.1 en la coordinación de protecciones eléctricas de la subestación Tachina, sistema perteneciente a CNEL EP Esmeraldas, con la finalidad de calcular y ajustar las protecciones de forma rápida y confiable fue el propósito de este trabajo. Para el desarrollo de la investigación se estudiaron tres casos de coordinación para definir zonas óptimas de operación en los relés de protección, ubicados en cada una de las barras, donde se enlazan los diferentes componentes del SEP y la carga a la cual abastece de energía eléctrica a la línea Las Palmas- Tachina. El software “Digsilent Power Factory” se empleó para los cálculos de los módulos de flujos de cargas, el estudio de cortocircuitos y el ajuste de coordinación de las protecciones eléctricas, además de realizar la simulación elaborada en el software CYMDIST de propiedad de CNEL. EP Esmeraldas. Los principales resultados señalan que en el caso 1, los relés A y B operan de forma instantánea, mientras que los relés C, D y E operaran como respaldo asegurando la confiabilidad del sistema en caso de que los relés instantáneos dejen parar la falla. En el caso 2 los relés C y D operaran de forma instantánea, mientras que el relé E operará como respaldo asegurando la confiabilidad del sistema en caso de que los relés instantáneos no perciban la falla. En el caso 3 el relé E, va a operar de forma instantánea, aislando a los cuatro alimentadores de forma instantánea asegurando la confiabilidad del sistema.

Palabras clave: Relés; software; electricidad.

Abstract

Study applying the software Digsilent Power Factory version 14.1 the coordination of electrical protections in the Tachina substation, a system belonging to CNEL EP Esmeraldas, in order to calculate and adjust the protections quickly and reliably. For the development of the investigation, three cases of coordination were studied to define optimal areas of operation for the protection relays located in each of the bars, where the different components of the SEP are linked and the load to which it supplies electricity to the Las Palmas-Tachina line. The “Digsilent Power Factory” software was used for calculations of the modules of load flows, the study of short circuits and the adjustment of coordination of the electrical protections, in addition to performing the simulation elaborated in the CYMDIST software owned by CNEL. EP Emeralds.

The main results indicate that in case 1, relays A and B operate instantaneously, while relays C, D and E will operate as backup ensuring system reliability in case instantaneous relays stop the fault. In case 2, relays C and D will operate instantaneously, while relay E will operate as backup ensuring the reliability of the system in case the instantaneous relays do not perceive the fault. In case 3, relay E will operate instantaneously, isolating all four feeders instantaneously, ensuring system reliability.

Keywords: Relays; software; electricity.

Resumo

Estudar a aplicação do software Digsilent Power Factory versão 14.1 na coordenação de proteções elétricas da subestação Tachina, um sistema pertencente à CNEL EP Esmeraldas, a fim de calcular e ajustar as proteções de maneira rápida e confiável, foi o objetivo deste trabalho. Para o desenvolvimento da investigação, foram estudados três casos de coordenação para definir áreas ótimas de operação nos relés de proteção, localizados em cada uma das barras, onde estão ligados os diferentes componentes do SEP e a carga à qual ele fornece energia elétrica. Para a linha Las Palmas-Tachina. Utilizou-se o software “Digsilent Power Factory” para cálculos dos módulos de fluxos de carga, estudo de curtos-circuitos e ajuste de coordenação das proteções elétricas, além de realizar a simulação elaborada no software CYMDIST de propriedade da CNEL. EP Emeralds. Os principais resultados indicam que, no caso 1, os relés A e B operam instantaneamente, enquanto os relés C, D e E operam como backup, garantindo a confiabilidade do sistema no caso de relés instantâneos interromperem a falha. No caso 2, os relés C e D operarão instantaneamente, enquanto o relé E funcionará como backup, garantindo a confiabilidade do sistema, caso os relés instantâneos não percebam a falha. No caso 3, o relé E operará instantaneamente, isolando instantaneamente os quatro alimentadores, garantindo a confiabilidade do sistema.

Palavras-chave: Relés; software; eletricidade.

Introducción

Hoy en día, debido a los grandes avances tecnológicos, el hombre ha venido progresivamente creando formas de vida, instrumentos que le garanten un mejor estándar de vida, siendo la electricidad uno de los primeros inventos que revolucionaron la cotidianidad de los seres

humanos, desde tiempos inmemoriales. Por lo que en consecuencia se ha vuelto un pilar fundamental para el progreso, desarrollo y crecimiento colectivo.

Es importante considerar que, desde el origen mismo de la humanidad únicamente el viento y el agua, utilizados mediante velas y molinos, respectivamente, se utilizaban para suministrar energía. Aun así, el empleo de estos dos elementos para realizar trabajo se realizaba con tecnologías muy sencillas que proporcionaban bajo rendimiento y los limitaban a aplicaciones específicas. Esta situación sólo empezó a cambiar con la aparición de la revolución industrial del siglo XIX.

Ahora bien, en la era contemporánea, la vida en sociedad ha venido progresivamente incrementando las exigencias en materia de energía, particularmente la eléctrica, en virtud de sus usos tanto a nivel de los hogares, como en las industrias y comercios. Estos avances han ocasionado que el hombre en su afán de obtener la mayor cantidad de energía eléctrica que satisfaga sus exigencias intente tener acceso y utilizar nuevas tecnologías para la generación y la búsqueda de la auto-sustentabilidad. Esto ha traído una serie de cambios en la perspectiva del abastecimiento energético. La implementación de nuevas unidades de generación a baja y mediana escala cercana a los centros de consumo e industrias para lograr, por un lado, un aumento en la calidad y seguridad del suministro eléctrico, y también, lograr una independencia de las compañías de generación y transmisión.

Es en este contexto en donde el servicio eléctrico debe ser examinado de manera rigurosa para asegurar los estándares de calidad requeridos por las redes de distribución, es decir, para asegurar la calidad en cada uno de los procesos debe ser sometido constantemente a estudios, análisis y controles con el objetivo de cumplir lo que define la normativa eléctrica. Una de las formas más avanzadas de controlar rigurosamente estos procesos, según Piña (2017:24) es a través de herramientas computacionales, las cuales permiten resolver de una manera más sencilla los diversos problemas que se presentan en la ingeniería de los sistemas eléctricos de potencia convirtiéndose ahora en una herramienta de trabajo imprescindible en el desarrollo de la ingeniería.

En este sentido, los programas de simulación de flujos de carga, tanto para redes de alto y bajo voltaje son muy utilizados para analizar la carga de los equipos de un sistema de potencia, facilitando la verificación de las caídas máximas de voltajes que se presentan en la red para las condiciones de demanda máxima. Como se ha señalado anteriormente existe una gama de

programas dedicados a aplicaciones de flujo de carga, además de otros programas computacionales que van más allá del desarrollo de programas para la aplicación de soluciones prácticas en cuanto se refiere a flujos de cargas, permitiendo el funcionamiento de muchas otras funciones relevantes hoy en día, para realizar estudios eléctricos, este es el caso del programa Power Factory de DigSilent, el cual permite la interacción entre un amplio conjunto de interfaces, dependiendo la tarea específica de intercambio de datos del usuario, permite seleccionar la interfaz de integración apropiada.

En este sentido, Gmbh (2016) señala en su manual que:

Se define como una herramienta especializada en análisis de sistemas eléctricos de potencia, permitiendo realizar simulación de redes eléctricas. Los modelos matemáticos implementados para efectuar los cálculos están basados en normas y teorías mundialmente aceptadas como son la ANSI, VDE o la IEC

Estos mismos creadores del Software consideran que el Power Factory es la solución más económica, ya que el manejo de datos, capacidades demodelación y funcionalidad global reemplazar un conjunto de otros sistemas de software, minimizando así los costos de ejecución de proyectos y requisitos de capacitación; promueve el flujo de trabajo altamente optimizado; es fácil de usar y es apto para todas las necesidades de análisis de sistema de alimentación estándar, incluyendo aplicaciones de gama alta en nuevas tecnologías, como la energía eólica y la generación distribuida y el manejo de los sistemas de energía muy grandes.

Además de la solución independiente, en Power Factory se pueden integrar sin problemas en GIS, DMS y el EMS de soporte normas de sistemas abiertos.

Las Principales características de software Power Factory:

- Modelos de equipos ya integrados.
- Gestión de datos.
- Diagramas de red y características gráficas.
- Resultados y presentación de informes.
- Compatibilidad con la importación de formato de datos externa.
- Diferentes modos de operación Power Factory (Modo estándar - Modo motor).

Ahora bien, una vez descritas las bondades que ofrece este software en el campo de la ingeniería eléctrica es importante contextualizar, su utilización en el caso particular que ocupa este artículo.

En tal sentido, se tiene que la investigación tiene como objetivo: Estudiar aplicando el software Digsilent Power Factory versión 14.1 en la coordinación de protecciones eléctricas de la subestación Tachina, sistema perteneciente a CNEL EP Esmeraldas, con la finalidad de calcular y ajustar las protecciones de forma rápida y confiable.

Partiendo de lo antes expuesto, se tiene que la subestación eléctrica Tachina está encargada de distribuir la energía eléctrica a los usuarios de la Parroquia Tachina del Cantón Esmeraldas, así como también a las comunidades aledañas, la misma que cuenta con un área de 1172.50 m² y se encuentra a pocos metros del redondel que conecta a la vía Tachina – San Mateo (Guerrero y Ulloa: 2014).

La mencionada subestación pertenece a la Unidad de Negocios CNEL EP, en Esmeraldas se ubica al noroccidente del Ecuador en la Provincia y Cantón de Esmeraldas, a las afuera de la Parroquia Tachina, tal como se muestra en la figura 1.

Figura n° 1. Ubicación satelital – S/E Tachina



Fuente: (<https://www.google.com.ec/maps/place/Tachina,+Esmeraldas/>)

En vista del desarrollo poblacional, comercial e industrial, en la zona esto ha conllevado a la creación de nuevos proyectos; es por ello que la Unidad de Negocios CNEL. EP se encontró con la necesidad de construir una nueva subestación eléctrica en la parroquia Tachina perteneciente al Cantón Esmeraldas, para poder cubrir las necesidades energéticas de ese sector, y así lograr un funcionamiento óptimo. Todos los componentes de la misma tienen que operar de forma sincronizada, continua, y para alcanzar este fin es necesario protegerlos de cualquier eventualidad que pueda llegar a ocurrir.

En virtud de lo anterior, es importante modelar el SEP en un software computacional, el cual

permitirá optimizar tiempo, para obtener los cálculos correspondientes y entregar resultados que ayudaran al dimensionamiento y ajuste de las protecciones. El software “Digsilent Power Factory”, presenta dentro de sus funcionalidades, módulos de flujos de cargas, estudios de cortocircuitos y ajuste de coordinación de las protecciones eléctricas, además se incluirá la simulación elaborada en el software CYMDIST de propiedad de CNEL. EP Esmeraldas. Así de esta forma se examina la situación actual de la S/E para realizar comparaciones y determinar el óptimo funcionamiento de la misma.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

Criterios para el flujo de potencia

Flexibilidad operacional: El funcionamiento de este SEP será por el abastecimiento de energía a través de la red de subtransmisión Las Palmas –Tachina, la misma que parte desde la subestación Propicia y se encuentra a 7 Km de la ciudad de Esmeraldas, en la vía hacia Atacames.

Regulación de tensión: Los niveles de tensión en las barras, para su correcta operación no deben de superar el 2,5% de sus valores de tensión nominal de tal manera que ese mismo porcentaje de voltaje no deberá de descender.

Nivel de confiabilidad: El SEP debe de tener un despreciable nivel de falla, para proporcionar de manera continua el servicio de energía eléctrica, a cada uno de los alimentadores de distribución que cubren los diferentes sectores a nivel de tensión de 13800 Voltios.

Nivel de sobrecarga: Los dispositivos de distribución contienen datos característicos de cargabilidad, las mismas que por ningún motivo pueden admitir sobrecargas superiores a las establecidas. En el caso del enfriamiento por aceite y aire natural (OA), los transformadores deben cumplir con la carga nominal.

Análisis del caso: En este proyecto, se toma en cuenta el siguiente caso para el estudio:

Estudio de flujo de potencia – caso base potencia máxima: De parte de la unidad de negocios CNEL. EP Esmeraldas se obtuvieron registros con información acerca de las cargas máximas de cada uno de los alimentadores y con ello proceder a ejecutar el estudio de potencia máxima.

Datos del SEP

Los valores de los parámetros iniciales de cada uno de los componentes de la S/E, se tienen que ajustar correctamente, para estudiar la conducta de cada uno de sus equipos: Transformador de potencia, líneas conductoras, barras. Con el fin crear una base de datos para desarrollar los cálculos necesarios y precisos para de esta manera lograr un óptimo funcionamiento del SEP, además de una correcta coordinación de protección para los dispositivos.

Datos de transformador de potencia

A continuación, en la figura n°2 se mostrará valores de los parámetros del transformador.

Figura n°2: Parámetros del transformador trifásico de S/E Tachina

Marca	Balteau	
Potencia	OA	12 MVA
	FOA	16 MVA
Tensión nominal	Alta	69 KV
	Baja	13,8 Kv
Grupo de conexión		
Alta	D	
Baja	Yn	
Indicativo *30°/fase	1	
Impedancia	7.55 %	
Posición de los Taps		
Alta	X	
Baja	-	
Taps	5	

Fuente: Departamento técnico Cnel. Ep. Esmeraldas.

Flujo de carga

Para demostrar el resultado del flujo de carga se utilizaran gráficos obtenidos del software Digsilent Power Factory, ya que se consideró ser el medio más claro e informativo. Así el flujo del SEP podrá ser analizado de forma rápida y precisa además de relacionar los ajustes, condiciones de operación e incluso los resultados mediante la presentación de gráficos.

Este análisis de flujo de potencia presenta lo siguiente:

- Tensión de barras.
- Factor de potencia.
- Requerimientos de potencia reactiva.
- Carga en transformador y conductores, verificar que las cargas estén dentro de los rangos en

situaciones normales y de eventualidad.

- Ajuste de TAPS de los transformadores.

Criterios de protección aplicados en el proyecto

En el instante de ocurrir cualquier tipo de falla, los elementos que forman el sistema de protección deberán de operar de acuerdo a las cualidades que se procederán a describir.

- **Confiabilidad**

Es la posibilidad de que los dispositivos de protección operen de forma correcta y en el instante que sea necesario. (Carrero y Macías: 2015)

- **Velocidad o rapidez**

Es la ligereza con la que se detecta y se despeja una falla, de esta manera se reducen los posibles daños y pérdidas en el SEP (Morales y Ollague: 2012)

- **Selectividad**

Es la cualidad de aislar la mínima área en que se localiza la falla y conservar la continuidad del servicio eléctrico (Mason.1956).

- **Sensibilidad**

La sensibilidad es la exactitud para determinar las mínimas magnitudes de falla, la misma que debe de tener un mínimo margen de error de medición (Gerrero y Estupiñan: 2010).

Protección de cortocircuito

Los cálculos de corrientes de cortocircuitos serán desarrollados mediante la NORMA IEC 60909-0:2011 Calculation of Short-Circuit Currents in Three-Phase Networks, misma normativa que el software DigsilentPower Factory trae incluida para realizar este estudio (IEC: 2011).

Protecciones de sobre corriente (50/51)

Por lo general se utilizan dispositivos temporizados (51) y dispositivos instantáneos (50). Los dispositivos 51 se ajustan para funcionar al 150% de la intensidad nominal del transformador, de esta manera se deja soltura suficiente para el caso de que el generador trabaje con cierta sobrecarga, el tiempo de apertura tiene que ser lo suficientemente largo para así evitar la apertura debido a la energización del transformador. El dispositivo instantáneo tiene que ser ajustado

alrededor del 25% por arriba de la máxima intensidad de falla externa y por arriba de la máxima corriente de inrush. (Castaño: 2006)

Ajuste de las protecciones en casos de estudio

En lo que respecta al estudio de coordinación de protecciones se lo realizara en las tres barras principales, las cuales serán distribuidas de la siguiente manera; se tomaran en cuenta las dos barras que alimenta la subestación las cuales operan a una tensión de 69 Kv y la restante operando a una tensión de 13,8 Kv la cual energiza las cargas de cada uno de los alimentadores.

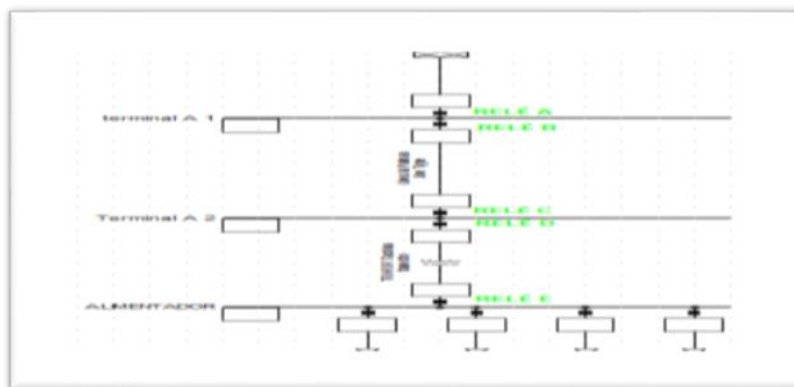
Las funciones de sobre corrientes instantáneas temporizadas (50/50N y 51/51N) serán ajustadas y coordinadas con la ayuda del software Digsilent Power Factory, estableciéndose así tres casos de estudio.

Resultados

Caso 1

Para realizar el ajuste de la coordinación de protecciones eléctricas de la barra de 69 Kv, se consideró una falla en la carga Las Palmas – Tachina, en donde los relés A y B brindan protección instantánea, mientras que los relés C, D y E, operarían como protección de respaldo, cabe resaltar que se deben de considerar cualquier tipo de fallas 25 sean estas monofásicas o trifásicas.

Figura n°3 Esquema de los relés conectados



Fuente: Software Digsilent Power Factory.

Calibración del Relé A

El relé mencionado se encuentra en la línea Las Palmas – Tachina, conectado a la barra de 69 Kv,

con una corriente nominal de 1500 A y se establece como relé de sobrecorriente Muy inversa (VeryInverse) C09_183A805A05, el mismo que dispone de 26 función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC Muy inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas, con una RTC de 1500/5 (IEEE: 1993)

Función de falla Trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcularla de la siguiente manera:

Ecuación n°1 Corriente trifásica de Pick Up del relé A

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 77216 \times 5}{1500} = 205.91 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada se calculó la corriente de ajuste como se verá a continuación.

Ecuación 2. Corriente trifásica de ajuste del relé A

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{240 \times 1.25 \times 5}{1500} = 1 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Las Palmas – Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 2 logrando con esto, un tiempo de repuesta de 20 ms.

Calibración del relé B

El relé está ubicado a la salida de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 1500 A. Se establece como relé de sobre-corriente Very Inverse C09_183A805A06, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC Muy inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 1500/5.

Función de falla Trifásica

Para realizar el ajuste de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación3: Corriente trifásica de ajuste del relé A

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 147034 \times 5}{1500} = 392.1 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada calculamos la corriente de ajuste como se ve a continuación

Ecuación4: Corriente trifásica de ajuste del relé B

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{180 \times 1.25 \times 5}{1500} = 0.75 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Las Palmas – Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 0.5, logrando un tiempo de repuesta de 100ms.

Calibración del relé C

El relé está ubicado a la entrada de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 1500 A. Se establece como relé de sobre corriente Very Inverse C09_183A805A07, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 1500/5.

Función de falla Trifásica

Para realizar el ajuste de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera

Ecuación 5: Corriente trifásica de Pick Up del relé C

$$I_{\text{Pick Up}} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 173590 \times 5}{1500} = 462.91 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada se calculó la corriente de ajuste como se verá a continuación.

Ecuación 6: Corriente trifásica de ajuste del relé C

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{75 \times 1.25 \times 5}{1500} = 0.3125 \text{ KA}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Tachina de 69Kv se ajusta con un dial de 0.5, logrando con esto así un tiempo de repuesta de 200 ms

Calibración del relé D

El relé está ubicado a la salida de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 750 A. Se establece como relé de sobre-corriente Very Inverse C09_183A805A08, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 750/5.

Función de falla Trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 7. Corriente trifásica de Pick Up del relé D

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 461867 \times 5}{750} = 2463.29 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada se calculó la corriente de ajuste como se verá a continuación.

Ecuación 8. Corriente trifásica de ajuste del relé D

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{150 \times 1.25 \times 5}{750} = 1.25 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 0.5, logrando un tiempo de repuesta de 300 ms.

Calibración del relé E

El relé está ubicado a la entrada de la barra de 13,8 Kv con una corriente nominal de 15000 A. Se establece como relé de sobre-corriente Very Inverse C09_183A805A09, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC Muy inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 15000/5.

Función de falla Trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, calibramos la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 8: Corriente trifásica de Pick Up del relé E

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 11946419 \times 5}{15000} = 3185.71 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada se calculó la corriente de ajuste como se verá a continuación

Ecuación 9: Corriente trifásica de ajuste del relé E

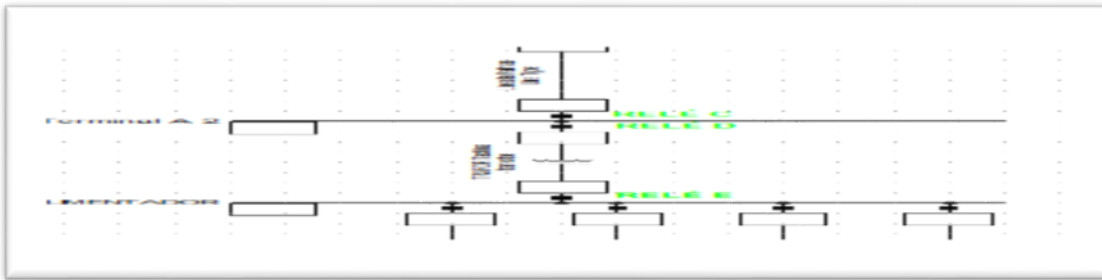
$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{1500 \times 1.25 \times 5}{15000} = 0.625 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra distribución Tachina de 13,8 Kv se ajusta con un dial de 1, logrando un tiempo de repuesta de 400 ms.

Caso 2

Para realizar el ajuste de la coordinación de protecciones eléctricas de la barra de 69 Kv, se consideró una falla en la carga de la barra Tachina, en donde los relés C y D brindan protección instantánea, mientras que el relé E, operara como protección de respaldo, cabe resaltar que se deben de considerar cualquier tipo de fallas sean estas monofásicas o trifásicas, en las siguientes figuras se podrá observar los relés conectados al esquema que se detalla el circuito.(Ver figura 4)

Figura n°4



Fuente: Software Digsilent Power Factory

Calibración del relé C

El relé está ubicado a la entrada de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 1500 A. Se establece como relé de sobre corriente Very Inverse C09_183A805A07, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 1500/5.

Función de falla trifásica

Para realizar el ajuste de la función de falla trifásica, calibramos la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito, para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 10: Corriente trifásica de Pick Up del relé C

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 173590 \times 5}{1500} = 462.91 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada calculamos la corriente de ajuste como se verá a continuación

Ecuación 11: Corriente trifásica de ajuste del relé C

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{75 \times 1.25 \times 5}{1500} = 0.3125 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 0.5, logrando un tiempo de repuesta de 20 ms.

Calibración del relé D

El relé está ubicado a la salida de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 750 A. Se establece como relé de sobre corriente Very Inverse C09_183A805A08, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 750/5.

Función de falla trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 12. Corriente trifásica de Pick Up del relé D

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 461867 \times 5}{750} = 2463.29 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada se calculó la corriente de ajuste como se verá a continuación.

Ecuación 13: Corriente trifásica de ajuste del relé D

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{150 \times 1.25 \times 5}{750} = 1.25 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 0.5, logrando un tiempo de repuesta de 20 ms.

Calibración del relé E

El relé está ubicado a la entrada de la barra de 13,8 Kv con una corriente nominal de 15000 A. Se establece como relé de sobre-corriente Very Inverse C09_183A805A09, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 15000/5.

Función de falla trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 14: Corriente trifásica de Pick Up del relé E

$$\text{Pick Up} = \frac{80 \% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 11946419 \times 5}{15000} = 3185.71 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada calculamos la corriente de ajuste como se verá a continuación

Ecuación 15: Corriente trifásica de ajuste del relé E

$$\text{Ajuste} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{1500 \times 1.25 \times 5}{15000} = 0.625 \text{ A}$$

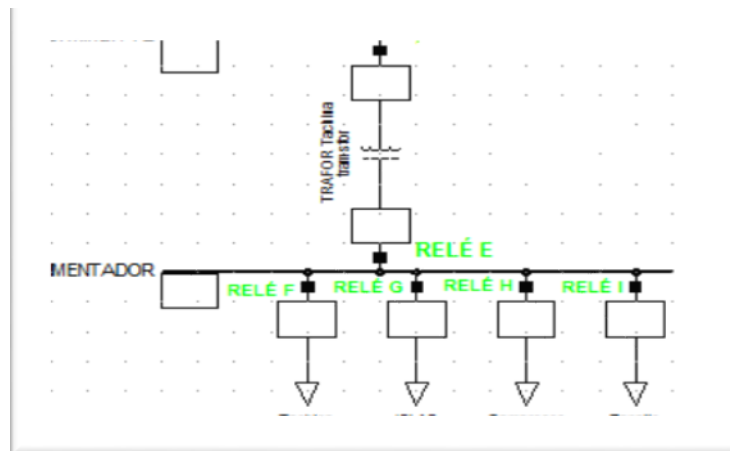
Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra distribución Tachina de 13,8 Kv se ajusta con un dial de 1, logrando un tiempo de repuesta de 200 ms.

Caso 3

Para realizar el ajuste de la coordinación de protecciones eléctricas de la barra de 13.8 Kv, se

consideró una falla en la barra que suministra energía a la carga de cada uno de los alimentadores, de la Subestación Tachina, en donde los relés E, F, G, H e I brindan protección instantánea, cabe resaltar que se deben de considerar cualquier tipo de fallas sean estas monofásicas o trifásicas, en la siguiente figura se podrá observar los relés conectados al esquema que se detalla el circuito.(Ver figura 5)

Figura n°5



Fuente: Software Digsilent Power Factory.

Calibración del relé E

El relé está ubicado a la entrada de la barra de 69 Kv con una corriente nominal de 15000 A. Se establece como relé de sobre-corriente Very Inverse C09_183A805A07, el mismo que dispone de función instantánea y temporizada que utiliza la curva IEC 34 extremadamente inversa, tanto para fallas monofásicas y trifásicas para tierra, con una RTC de 15000/5.

Función de falla trifásica

Para realizar el ajuste del relé mencionado de la función de falla trifásica, se calibró la función instantánea, tomando en cuenta la corriente de Pick Up con un factor de 0,8 correspondiente a la máxima corriente de cortocircuito para proceder a calcular de la siguiente manera:

Ecuación 16: Corriente trifásica de Pick Up del relé E

$$I_{Pick Up} = \frac{80\% I_{CC3\phi}}{RTC} = \frac{0.8 \times 11946419 \times 5}{15000} = 3185.71 \text{ A}$$

Mientras que para la función temporizada calculamos la corriente de ajuste como se verá a continuación:

Ecuación 17: Corriente trifásica de ajuste del relé E

$$I_{\text{ajuste}} = \frac{125 \% I_n}{RTC} = \frac{1500 \times 1.25 \times 5}{15000} = 0.625 \text{ A}$$

Para lograr brindar una coordinación de los relés aguas abajo de la barra Tachina de 69 Kv se ajusta con un dial de 1, logrando con esto así un tiempo de repuesta de 20 ms.

Calibración de los relés F, G, H e I

Estos relés se encuentran aguas abajo del relé E, los cuales pertenecen a la barra de 13.8 Kv, y para configurarlos se aplica el mismo criterio que los casos anteriores.

Resumen de las calibraciones y ajustes

Ajustes relés caso 1

Ajuste de la coordinación

Una vez calibrado los relé del caso 1 y obteniendo las corrientes de pick Up y de ajuste por medio de los cálculos correspondientes, observamos que todos los relé que detalla el esquema anterior en este caso deben ser ajustado y para ello es preciso considerar la coordinación de la función instantánea temporizada. En la siguiente tabla se detallará el ajuste que se realizó.

Tabla n° 2: Valores del ajuste de la coordinación caso 1

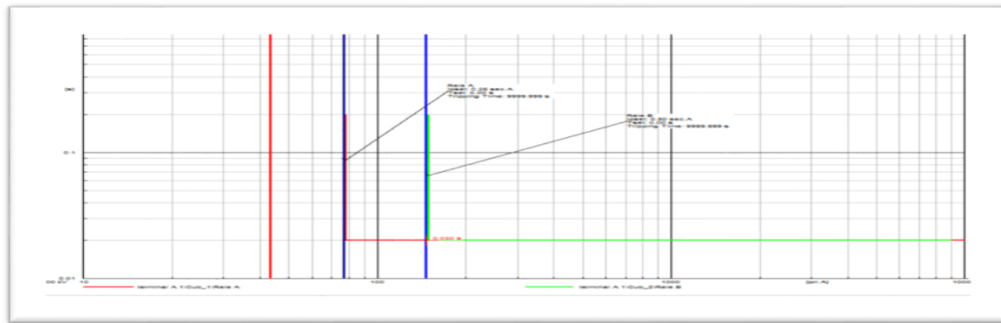
Relés	Funciones	
	Corrientes trifásicas (Corriente de Pick Up)	Corrientes trifásicas (Corriente de ajuste)
Relé A	205.91	1
Relé B	392.1	0.75
Relé C	462.91	0.3125
Relé D	2463.29	1.25
Relé E	3185.71	0.625

Fuente: notas de campo tomadas por El investigador

En el caso 1, se concluye que los relés A y B van a operar de forma instantánea, mientras que los relés C, D y E operaran como respaldo asegurando la confiabilidad del sistema en caso de que los relés instantáneos dejen parar la falla, en la figura n°4 se observa lo antes mencionado.

En la figura siguiente se observa, las curvas de operación de los relés cuando actúan al momento de una falla trifásica.

Figura°4. Curva de coordinación para protección de sobre-corriente (50/51) falla trifásica del caso 1



Fuente: Software Digsilent Power Factory

Ajustes relés caso 2

Ajuste de la coordinación

Una vez calibrado los relé del caso 2 y obteniendo las corrientes de pick Up y de ajuste por medio de los cálculos correspondientes, se observa que todos los relé que se detallan en el esquema anterior, deben ser ajustado y para ello es preciso considerar la coordinación de la función instantánea y temporizada. En la siguiente tabla se detallará el ajuste que se realizó.

Tabla n°3: Valores del ajuste de la coordinación caso 2

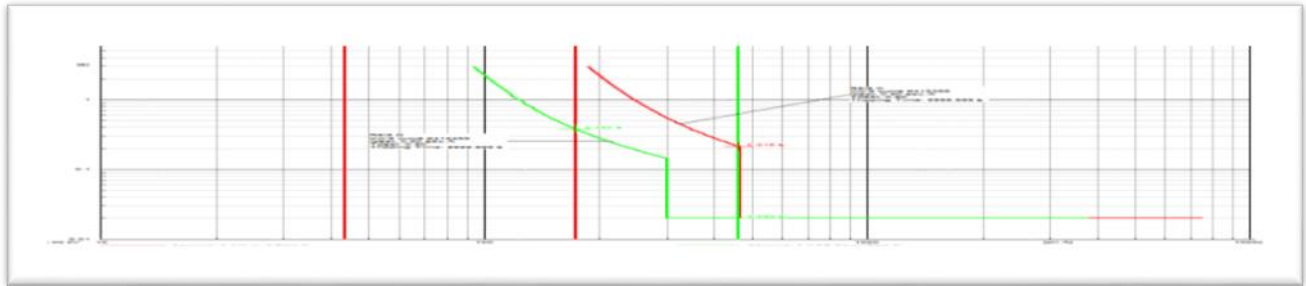
Relés	Valores de ajuste	
	Funciones	
	Corrientes trifásicas (Corriente de Pick Up)	Corrientes trifásicas (Corriente de ajuste)
Relé C	462.91	0.3125
Relé D	2463.29	1.25
Relé E	3185.71	0.625

Fuente: Notas de campo tomadas por el Investigador. Elaboración propia

En el caso 2 los relés C y D van a operar de forma instantánea, mientras que el relé E operara como respaldo asegurando la confiabilidad del sistema en caso de que los relés instantáneos no perciban la falla, asegurando la confiabilidad del sistema, en la figura se puede observar lo antes mencionado.

En la figura siguiente se observa, las curvas de operación de los relés cuando actúan al momento de una falla trifásica

Figura n°5: Curva de coordinación para protección de sobre corriente (50/51) falla trifásica del caso 2



Fuente: Datos proporcionados en la aplicación del SoftwareDigsilentPower Factory.

Ajustes relés caso 3

Ajuste de la coordinación

Una vez calibrado los relé del caso 3 y obteniendo las corrientes de pick Up y de ajuste por medio de los cálculos correspondientes, se observa que todos los relé que se detallan en el esquema anterior, deben ser ajustado y para ello es preciso considerar la coordinación de la función instantánea y temporizada. En la siguiente tabla detalla el ajuste que se realizó.

Tabla n°4: Valores del ajuste de la coordinación caso 3

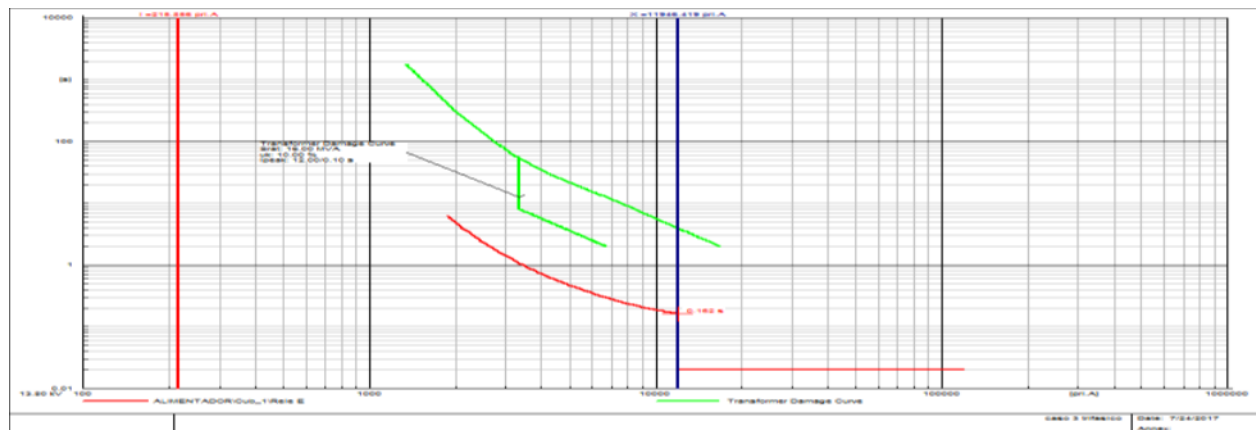
Relés	Valores de ajuste	
	Funciones	
	Corrientes trifásicas (Corriente de Pick Up)	Corrientes trifásicas (Corriente de ajuste)
Relé E	3185.71	0.625

Fuente: Notas de campo tomadas por El investigador

En el caso 3 el relé E, va a operar de forma instantánea, aislando a los cuatro alimentadores de forma instantánea asegurando la confiabilidad del sistema, en la figura se observa lo antes mencionado.

En la figura siguiente se observa, las curvas de operación de los relés cuando actúan al momento de una falla trifásica

Figura n°6: Curva de coordinación para protección de sobre corriente (50/51) falla trifásica del caso 3



Fuente: Software Digsilent Power Factory

Conclusiones

Se concluye que el software Digsilent Power Factory es una herramienta muy valiosa que presta mucha facilidad al momento de realizar modelaciones y plantear casos de estudios permitiendo reducir los tiempos en la obtención de cálculo y de entregar resultados al instante, incorporando las normativas ANSI, IEEE y IEC. En lo que respecta al estudio de flujo de carga realizado a la Subestación Eléctrica Tachina, la tensión en cada una de las barras mencionadas se encuentra dentro de los rangos y parámetros permitidos por la norma IEEE 141-1993, de esta manera cumpliendo con las recomendaciones de la misma.

Para garantizar la confiabilidad del SEP de la subestación Tachina, se cuenta con protecciones de sobre-corriente instantáneas y temporizadas, que operan en diferentes zonas principales y de respaldo actuando como lo establece la filosofía de protección al mínimo tiempo posible para aislar las fallas. Los ajustes de coordinación de los relés de sobre-corriente (50/51) del SEP presentado, tienen la función de definir los tiempos de operación de fallas en su zona. Con las

restricciones respectivas, se tienen los tiempos de margen, entre ellos el valor mínimo de dial y la corriente Pick-up.

Referencias

1. Carreño, C. C. y Alegría E.(2015) Coordinación de las Protecciones de Subestación de Distribución del Sistema Guayas - Los Ríos, Guayaquil - Ecuador.
2. Castaño, R. (2006) Redes de Distribución de Energía, Manizales Colombia.
3. GmbH,(2016) DigSILENT Power Factory User Manual, Gomaringen, Germany, March 2016.
4. Guerrero N y Ulloa C. Modelamiento, simulación y Coordinación de protecciones del SEP de la refinería estatal de esmeraldas Petroecuador ep mediante el Software DigsilentPower Factory., Quito Ecuador, 2014.
5. Guerrero, J y Estupiñán (2010). Segura, Guía de Selección de Sistema de Protección en En Subestaciones por Medio de Relés Basados en Microprocesadores Aplicado en Subestaciones de Transmisión, Guayaquil.
6. IEC, (2011) Calculation of Short-Circuit Currents in Tree-Phase Networks," IEC.
7. IEEE(1993) "Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," IEEE 141
8. Mason, B.(1956) The art & science of protective relaying, New York
9. Morales,J. y Ollague H.(2012) Estudio para la Coordinación de Protecciones Mediante Selectividad Lógica para los Centros de Fuerza de la CentralMolino, Presa Daniel Palacios y Central Mazar de la Empresa CELEC HIDROPAUTE, Cuenca
10. Piña, D. (2017) Silva Interconexión entre ScadaWonder ware System Platformy Software de Simulación Power Factory Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Eléctrico, aprobada por la comisión de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

References

1. Carreño, C. C. and Alegría E. (2015) Coordination of the Distribution Substation Protections of the Guayas System - Los Ríos, Guayaquil - Ecuador.
2. Castaño, R. (2006) Energy Distribution Networks, Manizales Colombia.

3. GmbH, (2016) DigSILENT Power Factory User Manual, Gomaringen, Germany, March 2016.
4. Guerrero N and Ulloa C. Modeling, simulation and coordination of protections of the SEP of the state refinery of emeralds Petroecuador ep through the Software DigsilentPower Factory., Quito Ecuador, 2014.
5. Guerrero, J and Estupiñán (2010). Safe, Selection Guide for Protection System in Substations by means of Relays Based on Microprocessors Applied in Transmission Substations, Guayaquil.
6. IEC, (2011) Calculation of Short-Circuit Currents in Tree-Phase Networks, "IEC.
7. IEEE (1993) "Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," IEEE 141
8. Mason, B. (1956) The art & science of protective relaying, New York
9. Morales, J. and Ollague H. (2012) Study for the Coordination of Protections Through Logic Selectivity for the Power Centers of the Central Molino, Daniel Palacios Dam and Central Mazar of the Company CELEC HIDROPAUTE, Cuenca
10. Piña, D. (2017) Silva Interconnection between ScadaWonder ware System Platform and Power Factory Simulation Software Final Report to qualify for the title of Electrical Civil Engineer, approved by the commission of the School of Electrical Engineering of the Pontifical Catholic University of Valparaíso.

Referências

1. Carreño, C. C. e Alegría E. (2015) Coordenação das proteções das subestações de distribuição do sistema Guayas - Los Ríos, Guayaquil - Equador.
2. Castaño, R. (2006) Redes de distribuição de energia, Manizales Colômbia.
3. GmbH, (2016) DigSILENT Power Factory Manual do Usuário, Gomaringen, Alemanha, março de 2016.
4. Guerrero N e Ulloa C. Modelagem, simulação e coordenação de proteções do SEP da refinaria estadual de esmeraldas Petroecuador ep através da Software DigsilentPower Factory., Quito Equador, 2014.

5. Guerrero, J e Estupiñán (2010). Seguro, Guia de Seleção para Sistema de Proteção em Subestações por meio de Relés Baseados em Microprocessadores Aplicados em Subestações de Transmissão, Guayaquil.
6. IEC, (2011) Cálculo de corrientes de curto-circuito em redes em fase de árvore, "IEC.
7. IEEE (1993) "Prática Recomendada para Distribuição de Energia Elétrica para Plantas Industriais", IEEE 141
8. Mason, B. (1956) A arte e ciência da retransmissão protetora, Nova York
9. Morales, J. e Ollague H. (2012) Estudio para a coordenação de proteções através da seletividade lógica para os centros de energia do Molino Central, Barragem Daniel Palacios e Mazar Central da empresa CELEC HIDROPAUTE, Cuenca
10. Piña, D. (2017) Silva Interconexão entre o ScadaWonder ware System Platform e o Power Final Simulation Software Report para se qualificar para o título de Engenheiro Eletricista Civil, aprovado pela comissão da Escola de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso.