



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.1047>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina
aplicando el software digsilent power factory***

***Estudo da coordenação de proteções elétricas na subestação de tachina,
aplicando o software digsilent power factory***

***Estudo da coordenação de proteções elétricas na subestação de Tachina,
aplicando o software digsilent power factory***

Juan Carlos Anchundia-Morales ^I

anchundiamjc27@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7607-9363>

Byron Fernando Chere-Quiñonez ^{II}

cherokyfernando@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>

Alejandro Javier Martínez-Peralta ^{III}

pipoperalta1990@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1176-5001>

***Recibido:** 16 de septiembre de 2019 ***Aceptado:** 22 de octubre de 2019 * **Publicado:** 12 de noviembre de 2019

^I Ingeniero Eléctrico, Jefe de Mantenimiento Eléctrico en SEGS Diseño y Construcción, Esmeraldas, Ecuador.

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

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

Resumen

El objetivo de la investigación es realizar un estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software Digsilent Power Factory. Metodología: El diseño de la investigación fue de campo no experimental longitudinal de carácter descriptivo dirigido únicamente a los transformadores y alimentadores de la S/E Tachina, donde las funciones de protección 50, 50 N, 51 y 51 N fueron ajustadas y coordinadas mediante el software Digsilent Power Factory. La obtención de datos se realizó mediante la aplicación de fórmulas matemáticas y para la descripción de los resultados se utilizó la metodología de análisis. Resultados: El transformador en carga máxima operó a un factor de utilización del 32,25 % quedando una reserva del 67,8 %. Se determinó que los niveles de tensión de las barras fluctuaron entre los valores deseados, no excedieron los parámetros de tensión ± 5 y el ángulo no mayor a $\pm 30^\circ$, cumplieron con las normas esperadas. Conclusiones: Se concluyó 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.

Palabras claves: Energía; control; software; subestación.

Abstract

The objective of the research is to conduct a coordination study of electrical protections in the Tachina substation using the Digsilent Power Factory software. Methodology: The design of the research was of a non-experimental longitudinal field of a descriptive nature directed only to the transformers and feeders of the S / E Tachina, where the protection functions 50, 50 N, 51 and 51 N were adjusted and coordinated through the Digsilent Power Factory software. Data collection was carried out through the application of mathematical formulas and the analysis methodology was used to describe the results. Results: The transformer at maximum load operated at a utilization factor of 32.25%, leaving a reserve of 67.8%. It was determined that the voltage levels of the bars fluctuated between the desired values, did not exceed the voltage parameters ± 5 and the angle not exceeding $\pm 30^\circ$, complied with the expected standards. Conclusions: It was concluded that the Digsilent Power Factory software is a very valuable tool that lends a lot of ease when carrying out modeling and considering case studies allowing reducing the time to obtain calculation and deliver

results instantly, incorporating ANSI regulations, IEEE and IEC. Tapes and disadvantages, as well as its evaluation in the wide environment in which it develops.

Keywords: Energy; control; software; substation.

Resumo

O objetivo da pesquisa é realizar um estudo de coordenação de proteções elétricas na subestação Tachina usando o software Digsilent Power Factory. Metodologia: O delineamento da pesquisa foi de um campo longitudinal não experimental, de natureza descritiva, direcionado apenas aos transformadores e alimentadores do S / E Tachina, onde as funções de proteção 50, 50 N, 51 e 51 N foram ajustadas e coordenadas através do Software Digsilent Power Factory. A coleta de dados foi realizada através da aplicação de fórmulas matemáticas e a metodologia de análise foi utilizada para descrever os resultados. Resultados: O transformador em carga máxima operou com um fator de utilização de 32,25%, deixando uma reserva de 67,8%. Foi determinado que os níveis de tensão das barras flutuavam entre os valores desejados, não excediam os parâmetros de tensão ± 5 e o ângulo não excedia $\pm 30^\circ$, cumpriam os padrões esperados. Conclusões: Concluiu-se que o software Digsilent Power Factory é uma ferramenta muito valiosa que facilita bastante a realização de modelagem e consideração de estudos de caso, permitindo reduzir o tempo para obter cálculos e entregar resultados instantaneamente, incorporando regulamentos ANSI, IEEE e IEC.

Palavras chaves: Energia; controle; software; subestação.

Introducción

La energía eléctrica (EE) es una herramienta fundamental para el progreso, desarrollo, crecimiento económico individual y de las naciones a nivel mundial. En este sentido, en los planes de desarrollo de un país, uno de los parámetros esenciales que se considera es la necesidad del suministro de energía eléctrica a la ciudadanía, pues la energía eléctrica es esencial en todos los ámbitos: económicos, políticos, medioambientales, en las empresas, Internet, la automatización de los procesos industriales y en los hogares. Así la actual civilización no se concibe sin la presencia generalizada de la energía eléctrica.

A este respecto, Quintela y otros (2015) proponen la siguiente definición para la energía eléctrica:

Energía que se intercambia entre cuerpos por medio de corrientes eléctricas. El destino de la energía, una vez entregada al cuerpo que la recibe, al receptor, puede ser diferente en cada caso: puede ser transformada por él en luminosa, que es lo que hacen las lámparas, en energía mecánica, que es lo que hacen los motores, en calor, que es lo que hacen las estufas, o almacenada en forma de energía química si el receptor es una batería, o en forma de energía electrostática si se carga un condensador; también puede ser almacenada como energía interna si el receptor es un calefactor de tarifa nocturna que caliente agua o materiales cerámicos, etc. De la misma manera, la energía eléctrica que entrega el generador puede provenir de energía mecánica, química, etc. Se ve, por tanto, que solo es energía eléctrica con seguridad en el intercambio, es decir, en la zona de separación

A tal efecto, la energía eléctrica se produce en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria: hidráulica, térmica, solar, nuclear, eólica, u otras. De ahí es transportada a través de las redes eléctricas hasta los núcleos de población e industrias, siendo entonces transformada en otras formas de energía: energía secundaria: luz, calor, sonido, movimiento, entre otras.

Cabe señalar que, para poder contar con un adecuado servicio de energía, es necesario el uso de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), los cuales son la estructura requerida para la prestación del servicio de energía eléctrica en los diferentes países del mundo. Aunque cada país tiene sus técnicas y regulaciones, los SEP son fundamentales para la prestación de este servicio. De esta misma manera, Ramírez (200) señala que:

El objetivo principal de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), es proteger tanto al personal que opera los equipos del sistema, como a los equipos que conforman el sistema eléctrico, mitigando los efectos de eventos o perturbaciones que pudieran ocurrir en la operación o maniobra de dichos equipos.

Asimismo, todo el sistema eléctrico debe estar cubierto totalmente por los sistemas de protecciones eléctricas (SPE), es decir no deben existir zonas sin protección o zonas muertas. Según Villarroel (2002) en el caso más general de los sistemas de protecciones eléctricas (SPE) está compuesto por los siguientes elementos: “Transformador de medida (trasductor), Relé de protección, Interruptor o disyuntor y Batería”. En lo que se refiere al transformador de medida o transductor:

El objetivo principal es tener una reproducción fiel de la onda de corriente original tanto en magnitud como en ángulo, sin embargo no es posible obtener una reproducción total igual a la onda original, ya que se necesita un pequeño valor de corriente para magnetizar el núcleo del transformador además de las corrientes correspondientes a las pérdidas del mismo. (Andrade, 2009)

Igualmente Ramírez (2005) afirma que: “Los transformadores de corriente usados para protección son diseñados de tal manera que soportan grandes corrientes y no entre en zonas de saturación, y al estar conectados a una impedancia fija se espera que trabajen con grandes voltajes”

En lo tocante a Relé de protección, que usualmente es denominado simplemente relé o protección, “Es el elemento más importante del equipo de protección. Puede decirse que desempeña la misión de cerebro, ya que es el que recibe la información, la procesa, toma las decisiones y ordena la actuación en uno u otro sentido” (Ramírez, 2005). Así, para realizar todo ello, con independencia de la tecnología empleada para su construcción, “una protección desarrolla internamente tres etapas fundamentales: Acondicionamiento de señales; Aplicación de funciones de protección y Lógica de disparo” (Ramírez, 2005). Con relación al Interruptor o disyuntor:

Es el elemento que permite abrir o cerrar un circuito en tensión, interrumpiendo o estableciendo una circulación de intensidad. Opera bajo el control de la protección y su apertura, coordinada con la de otros interruptores, permite aislar el punto en que se ha producido la falla. Ramírez (2005)

Debido a que la principal función de un sistema de protecciones es eliminar o despejar una falla, la capacidad de activar el disyuntor o interruptor no debe verse comprometida. Por ende, la energía para activar el sistema de protección no debe tomarse directamente de la red, porque si existe una falla en la red, la alimentación para el equipo de protecciones se ve afectada y por

consiguiente no se consigue que el equipo actúe de forma adecuada. Por lo cual, se hace uso de la batería que:

Constituye fuente de alimentación (independiente de la red), de tal manera que proporcione de forma continua la energía necesaria para el funcionamiento del equipo de protección, la cual se encuentra conectada mediante un cargador a la línea de corriente alterna de servicios auxiliares de la subestación eléctrica. Además, ante una falla en la alimentación, la batería tiene entre 8-12 horas de autonomía para suministrar energía al equipo de protección. (Astudillo y Pinos, 2016)

En el marco de las ideas expuestas, Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) son sistemas encargados de generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo, bajo ciertas normas de regulación de voltaje, regulación de frecuencia y continuidad de servicio, produciendo el menor impacto posible al medio ambiente. Por lo cual, es de suma importancia que 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.

Sobre este particular, un sistema de protección para los SEP, lo constituyen el uso de herramientas computacionales, aplicadas a la ingeniería eléctrica que se han generalizado en todo el mundo de manera muy rápida en virtud del vertiginoso avance tecnológico en los últimos años. De este modo, los programas computacionales especializados en resolver de una manera más sencilla los diversos problemas que se presentan en la ingeniería de los sistemas eléctricos de potencia han evolucionado hasta convertirse, ahora en la actualidad, en una herramienta de trabajo imprescindible en el desarrollo de la ingeniería.

En efecto, existe una gama de programas dedicados a 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.” (Piña, 2017)

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando, la actividad del sector eléctrico es clave para el funcionamiento de todos los países en todos sus órdenes y, Ecuador no escapa de esta realidad, por tanto, el sector eléctrico ecuatoriano ha sido uno de los principales impulsores del desarrollo en el país. “El sector residencial es el más representativo, ya que constituye el 87,80 % del número total de clientes a nivel nacional. En el resto de grupos de consumos se destaca el sector comercial con una participación del 5,28 %”.(INEC, 2015)

En este contexto, es importante mencionar que el sector eléctrico ecuatoriano cuenta con una variedad de centrales, generadoras, auto generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, tal como: La Unidad de Negocios CNEL. EP Esmeraldas, encargada de la distribución de energía eléctrica para diversos sectores y particularmente para la parroquia Tachina perteneciente al Cantón Esmeraldas, a través de la subestación eléctrica del mismo nombre, construida con la finalidad de cubrir las necesidades energéticas de ese sector, y así lograr un funcionamiento óptimo.

De allí la relevancia de esta investigación la cual tiene como objetivo realizar un estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software Digsilent Power Factory.

Metodología.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se diseñó una investigación enmarcada bajo la modalidad de diseño de campo no experimental ya que, efectivamente, se requerirá de una recolección de datos de manera directa en el ambiente natural en donde ocurre el problema. Esta sección del proyecto es designada para realizar los estudios de cortocircuito del SEP de la S/E Tachina con el fin de dar solución a los escenarios críticos mencionados, además a conseguir información necesaria para la coordinación de protecciones eléctricas. Es importante aclarar que el diseño de campo no experimental será del modo longitudinal, “los cuales recaban datos en diferentes períodos de tiempo, para que, de esa manera, se puedan observar los cambios producidos en relación a las variables estudiadas” (Balestrini, 2001).

Este proyecto de coordinación de protecciones eléctricas, es dirigido únicamente a los transformadores y alimentadores de la S/E Tachina, recordando que las funciones de protección 50, 50 N, 51 y 51 N serán ajustadas y coordinadas mediante el software Digsilent Power Factory. La obtención de datos se realizó mediante la aplicación de fórmulas matemáticas y para la descripción de los resultados se utilizó la metodología de análisis.

Resultados

Luego de realizar la simulación del flujo de carga, se obtuvo como resultados las potencias activas y reactivas de cada uno de los alimentadores incluso las de potencias del transformador de potencia., además se muestra que el transformador en carga máxima se encuentra operando a un factor de utilización del 32,25 % de esta manera quedando una reserva del 67,8 %. Mediante la corrida de flujo de potencia para la barra de 69 y 13.8 Kv de acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que los niveles de tensión de las barras fluctúa entre los valores deseados, mismos que no exceden los parámetros de tensión ± 5 y el ángulo no mayor a $\pm 30^\circ$, motivo para mencionar que cumple con las normas antes mencionadas. (Ver tabla 1)

Tabla 1 Datos del flujo de potencia en barras de 69 y 13,8 Kv.

<i>Terminal</i>	<i>Tensión (Kv)</i>	<i>Tensión (p.u)</i>	<i>Angulo (deg)</i>
<i>Barra 69 Kv Terminal A1</i>	<i>69</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
<i>Barra 69 Kv Terminal A2</i>	<i>68.93</i>	<i>3</i>	<i>-0.05</i>
<i>Barra 13.8 Kv Alimentador</i>	<i>13.68</i>	<i>0.99</i>	<i>-30</i>

Fuente: Anchundia. M. (2017)

En cuanto a al flujo de potencia del transformador, como son la potencia activa y reactiva con su porcentaje de carga, se logró los siguientes resultados. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Flujo de potencia del transformador.

Transformador	P (MW)	Q (Mvar)	Carga (%)
<i>Lado primario</i>	4.89	1.63	32.25
<i>Lado secundario</i>	-4.89	-1.51	32.25

Fuente: Anchundia. M. (2017)

Otra dimensión estudiada corresponde a los flujos de la Línea Las Palmas – Tachina, en las en la cual se tienen los siguientes resultados. (Ver tabla 3)

Tabla 3 Línea Las Palmas – Tachina.

Línea	P (MW)	Q (Mvar)	Carga (%)
<i>Terminal A1</i>	4.89	1.63	4.32
<i>Terminal A2</i>	-4.89	-1.63	4.32

Fuente: Anchundia. M. (2017)

Con respecto a cortocircuito simulado del terminal A1 caso 1, se tienen los siguientes resultados (Ver tabla 4)

Tabla 4 Datos del terminal A1

Barras	Skss	Ikss	IP
<i>Terminal A1</i>	10000.00 MVA	83674 KA	206609 KA
<i>Terminal A2</i>	0	0	0
<i>Alimentador</i>	0	0	0

Fuente: Anchundia. M. (2017)

De acuerdo a cortocircuito simulado del terminal A2 caso 1, se tienen los siguientes resultados (Ver tabla 5)

Tabla 5 Datos del terminal A2

Barras	Skss	Ikss	IP
<i>Terminal A2</i>	3008.98 MVA	25177 KA	47562 KA
<i>Alimentador</i>	0	0	0

Fuente: Anchundia. M. (2017)

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cortocircuito simulado para el caso 2. (Ver tabla 6)

Tabla 6 Datos de alimentador

Barras	Skss	Ikss	IP
<i>Alimentador</i>	218.64 MVA	9147 KA	24932 KA

Fuente: Anchundia. M. (2017)

Una vez calibrado los relé del caso 1 y obteniendo las corrientes de pick Up y de ajuste por medio de los cálculos correspondientes, se observó que todos los relé que detalla el esquema anterior en este caso deben ser ajustados y para ello es preciso considerar la coordinación de la función instantánea temporizada. En el caso 1, podemos concluir 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 16 podemos observar lo antes mencionado. (Ver tabla 7)

Tabla 7 Valores del ajuste de la coordinación caso 1.

<i>Valores de ajuste de los relés</i>		
<i>Relés</i>	<i>Funciones</i>	
	<i>Corrientes trifásicas (Corriente de Pick Up)</i>	<i>Corrientes trifásicas (Corriente de ajuste)</i>
<i>Relé A</i>	<i>205.91</i>	<i>1</i>
<i>Relé B</i>	<i>392.1</i>	<i>0.75</i>
<i>Relé C</i>	<i>462.91</i>	<i>0.3125</i>
<i>Relé D</i>	<i>2463.29</i>	<i>1.25</i>
<i>Relé E</i>	<i>3185.71</i>	<i>0.625</i>

Fuente: Anchundia, M. (2017)

Una vez calibrado los relé del caso 2 y obteniendo las corrientes de pick Up y de ajuste por medio de los cálculos correspondientes, observamos 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 detallaremos el ajuste que se realizaron.

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. (Ver tabla 8)

Tabla 8 Valores del ajuste de la coordinación caso 2.

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

Fuente: Anchundia. M. (2017)

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 observó que todos los relé que se detallan en el esquema anterior, deben ser ajustados y para ello es preciso considerar la coordinación de la función

instantánea y temporizada. 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. (Ver tabla 9)

Tabla 9 Valores del ajuste de la coordinación caso 3.

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

Fuente: Anchundia. M. (2017)

Conclusiones

Se concluyó 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, concluimos que 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, tenemos 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. Se concluye que 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, tenemos los tiempos de margen, entre ellos el valor mínimo de dial y la corriente Pick-up.

Referencias

1. Andrade, E. (2009). Funcionamiento, Operación y Pruebas de Transformadores de Corriente. Instituto Politécnico Nacional. [Documento en línea] Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/4922>
2. Astudillo, J y Pinos, W. (2016). Actualización y Coordinación de las Funciones de Protección de las Centrales Saucay, Saymirín, el Descanso y Ocaña. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
3. Briceño, J. (2007). Estudio de estabilidad de tensión en la C.A. Electricidad de caracas. Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
4. Carreño, C y Muñoz E y Macías, A. (2015). Coordinación de las Protecciones de Subestación de Distribución del Sistema Guayas - Los Ríos, Guayaquil - Ecuador, 2015.
5. Cutsem V y Vournas, C. (1998). Voltage Stability of electric power systems. USA
6. Espinoza, R. (2014). Estudio de la coordinación de protecciones de la central térmica SDF Energía mediante la aplicación del Digsilent. 2014.
7. González, L. (2006). Estabilidad en Sistemas de Potencia, [Documento en línea].. Disponible en:http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_II/Capitulo2-1.pdf.
8. Guerrero, N y Ulloa, C. (2014) Modelamiento, simulación y Coordinación de protecciones del SEP de la refinería estatal de esmeraldas petroecuador ep mediante Software Digsilent Power Factory., Quito Ecuador, 2014.
9. Hernández, W. (2016). Automatización de simulaciones en DIGSILENT Power Factory para la verificación de ajustes de protecciones distancia. Universidad Nacional de Colombia Facultad, Departamento de Energía Eléctrica y Automática Medellín, Colombia. [Documento en línea] Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/70312/1/1053778183.2018.pdf>
10. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano. [Documento en línea] Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00343.pdf>

11. Kundur P. (1994). Power System Stability and Control. New York, USA: McGraw-Hill Inc.
12. MATLAB CENTER (2014). Newton Raphson Power Flow. [Documento en línea]. Disponible en: http://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44463-newton-raphson-power-flow/content/Programa_Newton_Raphson.m.
13. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (1995). Comisión Reguladora de Energía y Gas. Resolución GREG 025. [Documento en línea] Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/\\$FILE/Cr025-95.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/$FILE/Cr025-95.pdf)
14. Piña, D. (2017). Interconexión entre Scada Wonderware System Platform y Software de Simulación Power Factory. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
15. Quintela, F, Redondo, R y Redondo, M. (2015). Términos sobre energía eléctrica del Diccionario de la Real Academia Española. Instituto de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica do Minho. Braga, Portugal. Universidad de Salamanca, España. [Documento en línea] Disponible en: <https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Descargas/TerminosEnergia.pdf>
16. Quiñonez, B y Martínez, A. (2016). Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas en CELEC.EP TermoEsmeraldas II aplicando el Software Digsilent Power Factory, Esmeraldas, 2016.
17. Ramírez L. (1999). Estabilidad de voltaje en sistemas de potencia, [Documento en línea] Disponible en: <https://prezi.com/lscd7nmzgp2u/presentacion-estabilidad-de-voltaje/>
18. Ramírez, M. (2005). Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. [Documento en línea] Disponible en: https://www.academia.edu/26025049/PROTECCI%C3%93N_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICOS_DE_POTENCIA_PROTECCI%C3%93N_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICOS_DE_POTENCIA

19. Ramírez, S. (2003). Protección de Sistemas Eléctricos. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Primera Edición. Pp. 340-378. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3392/1/samuelramirezcastano.2003.pdf>
20. Red Eléctrica de España (2017). Criterios de Ajuste y Coordinación de Protecciones en la red peninsular de alta tensión de transporte y distribución. [Documento en línea] Disponible en: <https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/protecciones-red-peninsular-2017.pdf>
21. Ruiz, F. (2013). Protection of electrical systems, Cochabamba - Bolivia: Atlantic International University, 2013.
22. SIPROTEC 5. (2010). Device Series Protection, Automation, and Monitoring. Catalog Edition 5. this catalog are manufactured and sold according to a certified management system (acc. to ISO 9001, ISO 14001 and BS OHSAS 18001). [Documento en línea] Disponible en: <https://epc-spb.ru/upload/iblock/12b/12bb5fdcb848cb7d80ff2563b00f4fd9.pdf>
23. Sykes, J, Madani, V, Burger, J, Adamiak, M y Premerlani, W. (2010). Reliability of protection systems (What are the real concerns). 2010 63rd Annu. Conf. Prot. Relay Eng., pp. 1–16, 2010.
24. Villaroel, M. (2003). Protecciones eléctricas. Universidad de la Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Temuco. Tercera edición Bogotá. Colombia. [Documento en línea] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/325310302/Protecciones-Electricas-Teoria-y-Problemas-pdf>
25. Zengli, X, y Shi, D. (2007). Study on flexible power system protection relay coordination software based on user-defined principle. Pp. 277–282, 2007.

References

1. Andrade, E. (2009). Operation, Operation and Testing of Current Transformers. National Polytechnic Institute. [Online document] Available at: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/4922>

2. Astudillo, J y Pinos, W. (2016). Update and Coordination of the Protection Functions of the Saucay, Saymirín, El Descanso and Ocaña Power Plants. University of Cuenca Faculty of Engineering. School of Electrical Engineering.
3. Briceño, J. (2007). Tension stability study in the C.A. Electricity of Caracas. Simón Bolívar University, Caracas, Venezuela.
4. Carreño, C and Muñoz E and Macías, A. (2015). Coordination of the Distribution Substation Protections of the Guayas System - Los Ríos, Guayaquil - Ecuador, 2015.
5. Cutsem V and Vournas, C. (1998). Voltage Stability of electric power systems. USES
6. Espinoza, R. (2014). Study of the coordination of protections of the thermal power plant SDF Energia through the application of Digsilent. 2014.
7. Gonzalez, L. (2006). Stability in Power Systems, [Online Document]... Available at: http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_II/Capitulo2-1.pdf.
8. Guerrero, N and Ulloa, C. (2014) Modeling, simulation and protection coordination of the SEP of the state refinery of emeralds petroecuador ep through the Software Digsilent Power Factory., Quito Ecuador, 2014.
9. Hernández, W. (2016). Automation of simulations in DIGSILENT Power Factory for the verification of distance protection settings. National University of Colombia Faculty, Department of Electric and Automatic Energy Medellín, Colombia. [Online document] Available at: <http://bdigital.unal.edu.co/70312/1/1053778183.2018.pdf>
10. National Institute of Statistics and Censuses (INEC). Annual and Multiannual Statistics of the Ecuadorian Electric Sector. [Online document] Available at: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00343.pdf>
11. Kundur P. (1994). Power System Stability and Control. New York, USA: McGraw-Hill Inc.
12. MATLAB CENTER (2014). Newton Raphson Power Flow. [Online document]... Available at: http://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44463-newton-raphson-power-flow/content/Programa_Newton_Raphson.m.
13. Ministry of Mines and Energy of Colombia. (nineteen ninety five). Energy and Gas Regulatory Commission. Resolution GREG 025. [Online document] Available at:

- [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/\\$FILE/Cr025-95.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/$FILE/Cr025-95.pdf)
14. Piña, D. (2017). Interconnection between Scada Wonderware System Platform and Power Factory Simulation Software. Pontifical Catholic University of Valparaíso. School of Electrical Engineering.
 15. Quintela, F, Redondo, R and Redondo, M. (2015). Terms on electric power from the Dictionary of the Royal Spanish Academy. Institute of Development and Innovative Technology of Minho. Braga, Portugal University of Salamanca, Spain. [Online document] Available at:
<https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Descargas/TerminosEnergia.pdf>
 16. Quiñonez, B and Martínez, A. (2016). Study of Coordination of Electrical Protections in CELEC.EP TermoEsmeraldas II applying the Digsilent Power Factory Software, Esmeraldas, 2016.
 17. Ramírez L. (1999). Voltage stability in power systems, [Online Document] Available at:
<https://prezi.com/lscd7nmzgp2u/presentacion-estabilidad-de-voltaje/>
 18. Ramírez, M. (2005). Protection of Electric Power Systems. Autonomous University of Nuevo León. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering. [Online document] Available at:
https://www.academia.edu/26025049/PROTECCI%C3%93N_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICOS_DE_POTENCIA_PROTECCI%C3%93N_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICOS_DE_POTENCIA
 19. Ramirez, S. (2003). Protection of electrical systems. National university of Colombia. Manizales First edition. Pp. 340-378. [Online document] Available at:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3392/1/samuelramirezcastano.2003.pdf>
 20. Red Eléctrica de España (2017). Criteria of Adjustment and Coordination of Protections in the peninsular network of high transport and distribution voltage. [Online document] Available at: <https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/protecciones-red-peninsular-2017.pdf>
 21. Ruiz, F. (2013). Protection of electrical systems, Cochabamba - Bolivia: Atlantic International University, 2013.

22. SIPROTEC 5. (2010). Device Series Protection, Automation, and Monitoring. Catalog Edition 5. This catalog are manufactured and sold according to a certified management system (acc. To ISO 9001, ISO 14001 and BS OHSAS 18001). [Online document] Available at: <https://epc-spb.ru/upload/iblock/12b/12bb5fdbcb848cb7d80ff2563b00f4fd9.pdf>
23. Sykes, J, Madani, V, Burger, J, Adamiak, M and Premerlani, W. (2010). Reliabilty of protection systems (What are the real concerns). 2010 63rd Annu. Conf. Prot. Relay Eng., Pp. 1–16, 2010.
24. Villaroel, M. (2003). Electric protections. University of the Border. Faculty of Engineering, Science and Administration. Department of Electrical Engineering. Temuco Third edition Bogotá. Colombia. [Online document] Available at: <https://es.scribd.com/document/325310302/Protecciones-Electricas-Teoria-y-Problemas-pdf>
25. Zengli, X, and Shi, D. (2007). Study on flexible power system protection relay coordination software based on user-defined principle. Pp. 277-282, 2007.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).