

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE PRÁCTICAS TIPO, EMPLEANDO EL
MÓDULO DE SISTEMAS DE POTENCIA Y EL SOFTWARE MSCOM2**

PRESENTADO POR:

**ANDERSON MOLINA SALAMANCA
LUIS ANTONIO PEÑA MALAMBO**

**TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TÉCNICO EN
ELÉCTRICIDAD**

DOCENTE DIRECTOR:

YAQUELINE GARZÓN RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

BOGOTÁ DC

FEBRERO 2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL EJECUTOR 1

FIRMA DEL EJECUTOR 2

FIRMA DEL DIRECTOR

Agradecimientos

Anderson Molina Salamanca.

A Dios por haberme permitido iniciar y concluir este ciclo académico.

A mis padres por la motivación que siempre me brindaron y por sus buenos consejos, también, a mi tío William Molina y a mi abuela Olga Trujillo por su apoyo incondicional.

A mi compañero de tesis Luis Antonio Peña por su paciencia y amistad, de igual manera, a la profesora Yaqueline Garzón Rodríguez por su gran ayuda y comprensión.

Luis Antonio Peña

A mis compañeros de carrera que me acompañaron durante el transcurso de este importante ciclo de mi vida, los cuales con su apoyo y paciencia aportaron para poder culminar de manera conforme mi primer ciclo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

I. CAPÍTULO I.....	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	7
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo General:.....	7
2.2 Objetivos Específicos:.....	7
II. CAPÍTULO II.....	8
3. MARCO TEÓRICO	8
III. CAPÍTULO III.....	22
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE MSCOM2	22
4.1. ¿Qué es el Software MScom2 y para qué se utiliza?	22
4.2. Instalación del Software MScom2	22
4.3. Inicio y Programación general del Software MScom2	22
5. DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL CATÁLOGO DE PRÁCTICAS	23
5.1. Diseño y ejecución de las prácticas	23
5.2. Estructura General del Catálogo de prácticas	24
5.3. Estructura específica de las prácticas	25
5.4. Notas u observaciones contenidas en las prácticas	26
6. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION Y/O PRODUCTO ALCANZADO	27
7. CONCLUSIONES	27
IV. ANEXOS	28
1. Anexo 1.....	28

V. BIBLIOGRAFÍA 28

INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca diseñar e implementar una guía didáctica que contenga nueve (9) prácticas de laboratorio empleando por lo menos cinco (5) relés de protección que hacen parte del módulo de sistemas de potencia y su respectivo software de programación MScom2, dicho módulo actualmente se encuentra en el Laboratorio de Máquinas eléctricas de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Actualmente en el banco de sistemas de potencia hay equipos que nunca han sido utilizados por los estudiantes, en gran parte, esto se debe al desconocimiento del funcionamiento de los mismos, también se puede afirmar que la asignatura de Redes Eléctricas, hace un primer acercamiento al uso de estos equipos, más específicamente a los relés de protección: los cuales tienen múltiples funcionalidades e importantes implementaciones que justifican la inversión que la Universidad ha hecho al momento de su adquisición.

Por todo lo anterior y con el objetivo de incentivar y facilitar su conocimiento y uso, se pretenden diseñar e implementar al menos nueve (9) guías didácticas que involucren diferentes equipos que conformen el banco de sistemas de potencia, esto con el fin de brindarle al estudiante la posibilidad de lograr un mayor aprovechamiento y manejo de los mismos.

I. CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los módulos de sistemas de potencia son utilizados sólo por la asignatura de Redes Eléctricas, no siendo poco, dicha asignatura es teórico-práctica lo cual hace que sea muy corto el periodo en el cual se realizan las prácticas de laboratorio; Esta materia tiene establecido una intensidad horaria de 144 horas por semestre, para dar un ejemplo, en el semestre 2017-1 se realizaron 26 prácticas, lo cual equivale a un 36,1% de las horas totales de la asignatura dedicadas al uso de los módulos.

De acuerdo a la información brindada por el personal del Laboratorio de Máquinas Eléctricas, los módulos DL2108T21, DL2108T23, DL2108T24 y DL2108T25 nunca han sido utilizados por los estudiantes en prácticas libres, esto se debe en gran parte por el desconocimiento del estudiantado en el uso, la programación y manejo de los equipos de sistemas de potencia, incluyendo los relés correspondientes a los módulos anteriormente mencionados. Es así como se puede evidenciar que el banco de sistemas de potencia cuenta con equipos que no han sido utilizados por los estudiantes, esto hace que se esté desaprovechando una inversión que supera los \$120.000.000 COP que es el costo total que la universidad ha asumido en la adquisición de dichos equipos. (López, 2017)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Diseñar y elaborar una guía de prácticas tipo, empleando el software MScom2 y otros equipos del módulo de sistemas de potencia que se encuentran en el Laboratorio de Electricidad Aplicada de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital.

2.2 Objetivos Específicos:

- Implementar el software MScom2 para la programación de relés para la detección y protección contra las siguientes eventos:
 - Falla asimétrica de cortocircuito L-N empleando el relé de sobrecorriente de tiempo inverso DL2108T13
 - Falla simétrica de cortocircuito de las tres fases a neutro, empleando el relé de sobrecorriente de tiempo inverso DL2108T13
 - Falla asimétrica de corriente por el conductor neutro y desbalance de carga empleando el relé combinado de sobrecorriente y falla a tierra DL2108T15

- Falla de ausencia de tensión y transferencia automática empleando el relé de control de falla a tierra DL2108T18
 - Falla de subtensión en la alimentación de una carga trifásica empleando el relé de control de falla a tierra DL2108T18
 - Falla línea a línea interna en el primario de un transformador, empleando el relé de protección diferencial en transformadores DL2108T21
 - Falla de sobre o baja frecuencia, empleando el relé administrador de la alimentación DL2108T23
 - Falla de sobretensión, empleando el relé administrador de la alimentación DL2108T23
 - Práctica de conexiones del módulo de línea DL7901TT
- Diseñar y ejecutar ocho prácticas tipo mencionadas en el ítem anterior, utilizando los relés programables de los módulos de sistemas de potencia y una práctica que involucre las conexiones del modelo de línea correspondiente al módulo DL7901TT.
 - Documentar las prácticas y realizar una guía de laboratorio donde se consignen los pasos a realizar en cada práctica propuesta.

II. CAPÍTULO II

3. MARCO TEÓRICO

Los relés son instrumentos eléctricos que son muy utilizados en las industrias así como en los grandes y medianos sistemas de potencia, un sistema de potencia se puede definir como una gran red eléctrica que está conformada mínimo por generadores, líneas de transmisión y cargas. (Rodríguez, 1992)

Ahora se nombran los principales elementos y características que conforman un sistema de potencia, separados en actividades tales como: Generación, transmisión, distribución y comercialización.

- **Generación:**

El proceso de generación de energía eléctrica se basa en la transformación de un tipo de energía (química, mecánica, térmica, nuclear, luminosa...) en energía eléctrica. Los principales equipos que se encuentran en este subsistema son los generadores (Máquinas Sincrónicas) y las unidades de control. (Quiñones, 2017)

- **Generadores:** La máquina sincrónica operando como generador de corriente alterna C.A. impulsada por una turbina es la principal fuente de generación de potencia eléctrica en el mundo; esta máquina está conformada principalmente por una estructura hueca llamada estator y un rodillo giratorio conocido como rotor. Tal como se ilustra en las *Figuras 1 y 2*. (Stevenson, 1996)

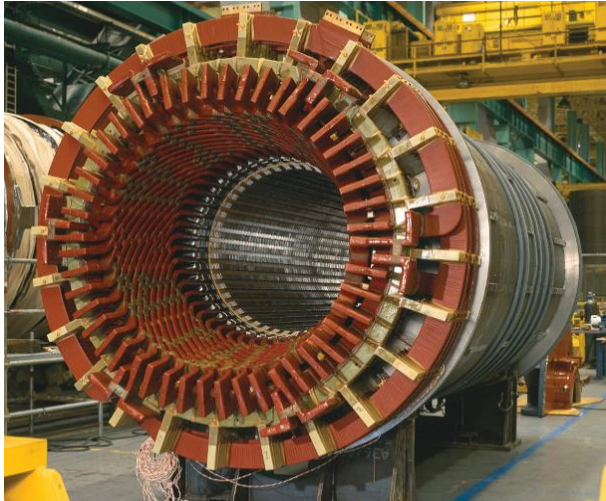


Figura 1. Estator de un generador sincrónico, (Macri, 2017)



Figura 2. Rotor de un generador sincrónico, (Macri, 2017)

- **Unidades de control:** Para acoplar un generador a un barraje infinito se requiere cumplir con ciertos parámetros de calidad de la energía, tales como, la frecuencia, la magnitud de tensión y secuencia. Dichos parámetros requieren ser controlados mediante una unidad programada que esté en la capacidad de actuar en tiempos muy cortos y con gran efectividad haciendo apertura o cierre de válvulas, aumentando o disminuyendo la corriente de campo o simplemente emitiendo algún tipo de comunicación sonoro-visual. (Ledesma, 2017)
- **Transmisión:**

Una vez la energía eléctrica es generada, se requiere transmitirla de manera eficiente hasta la carga. Para disminuir las pérdidas en las líneas por Efecto Joule se elevan los niveles de tensión empleando los transformadores de potencia, estas máquinas se encuentran en un sitio conocido como subestación elevadora la cual está dividida principalmente en tres grandes partes: Patio de transformadores, patio de conexiones y casa de control. (Escobar, 2014)

 - I. **Patio de transformadores:** En esta zona están los transformadores de potencia junto con los pórticos y los accesorios.

- **Transformador de potencia:** Esta máquina es el equipo principal dentro de la subestación ya que se encarga de transferir la energía eléctrica elevando el nivel de tensión, mediante la transformación electromagnética. Ver la *Figura 3*.



Figura 3. Transformador de potencia FyR de 1600 kVA, (FyR, 2017)

- II. **Patio de conexiones:** aquí se encuentran los interruptores, seccionadores, los descargadores de sobretensión y los transformadores de medida (Transformadores de corriente TC y de potencial TP).

Los interruptores de potencia son el elemento central de las subestaciones aisladas en aire (AIS) y aisladas en gas (GIS). Los interruptores de potencia de alta tensión son equipos mecánicos de maniobra que interrumpen y cierran los circuitos eléctricos (corrientes de trabajo y corrientes de fuga) y, en estado cerrado, conducen la corriente nominal. Ver la *Figura 4*. (Siemens, 2013)



Figura 4. Interruptor de potencia tipo tanque muerto 145 kVA (Siemens, Interruptores de potencia de alta tensión, 2013)

Un seccionador es un equipo eléctrico que se emplea para aislar los niveles de tensión entre las líneas y el interruptor, en el mercado existen diferentes tipos de seccionadores, entre los cuales se encuentra el seccionador de apertura central.

La sencilla topología de este seccionador hace que sea el más utilizado en el mundo, también el movimiento horizontal y el diseño de los contactos generan un torque de accionamiento lo más bajo posible para asegurar una operación rápida y suave. Ver la *Figura 5*. (Siemens, Interruptores de potencia de alta tensión, 2013)



Figura 5. Seccionador de apertura central de 72,5-550 kV
(Coelme-Egic, 2013)

Los descargadores de sobretensión son elementos que permiten despejar elevaciones imprevistas de tensión que se pueden presentar debido a tormentas eléctricas o a maniobras en la red. Los descargadores varían de acuerdo al nivel de tensión al cual van a operar, por ejemplo en la *Figura 6*. Se muestran diversos descargadores con tensiones nominales desde 72,5 hasta 800 kV

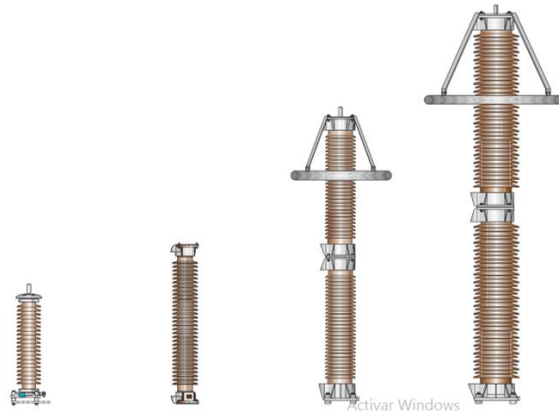


Figura 6. Descargadores de alta tensión de porcelana de 72,5-800 kV
(Siemens, Descargadores de sobretensión, 2009)

Un TC es un transformador para instrumentos de medición, relés y otros, en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la corriente primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero para una dirección apropiada de las conexiones. (NTC_2205, 2004), Ver la *Figura 7*.



Figura 7. Transformador de corriente para alta tensión, (ABB, 2017)

Un TP es un elemento capaz de disminuir los niveles de tensión siguiendo una proporcionalidad entre la bobina primaria y la secundaria, esto hace posible que se pueda tomar el nivel secundario de tensión para realizar una medida y/o tomar una acción. Ver la *Figura 8*.



Figura 8. Transformador de potencial 24-170 kV, (PFIFFNER, 2017)

- III. Casa de control:** En este espacio se encuentran los tableros de control, medida, protección y comunicación, así como los relevadores y actuadores tales como Controladores Lógicos Programables PLC's. El sistema de mando alojado principalmente en el armario de control incluye los componentes secundarios necesarios para la maniobra del interruptor de potencia. Las conexiones del transformador de corriente también se encuentran en el armario de control. Ver la *Figura 9*. (Siemens, 2013)



Figura 9. PLC Power Link elaborado por Siemens, (Siemens, PowerLink, 2017)

Un relé es un dispositivo de protección el cual actúa u opera mediante una señal emitida por un dispositivo asociado a un circuito de control que recibe las señales mediante transformadores de corriente y/o potencial (dependiendo de la protección) conectados al circuito de potencia. La importancia de los relés radica en la versatilidad de captar posibles fallas y/o perturbaciones que se presentan en la red, debido a factores propios del sistema o a factores externos que alteren su normal operación. Dentro de la amplia gama de relés se encuentra el relé multifuncional. Ver la Figura 10.



Figura 10. Relé multifuncional Ref. SEL-421, (SEL, 2017)

La transmisión de energía eléctrica requiere de una red de transporte que conecte las centrales de generación con los puntos de consumo. Estas redes eléctricas se componen básicamente por conductores y torres de transmisión. Ver la Figura 11.



Figura 11. Torre de suspensión con circuito doble 400kV (Qingdao megatru equipo mecánico y eléctrico Co., 2014)

Los conductores de las líneas de transmisión están básicamente fabricados de aluminio con aleaciones de acero, la longitud de las líneas crean un efecto inductivo en las mismas y los altos niveles de tensión junto con el aire y/o material dieléctrico generan a lo largo de la línea una capacitancia. Estos parámetros se deben tener en cuenta a la hora de modelar el sistema de potencia, el modelo más comúnmente utilizado es el modelo PI, ver la Figura 12.

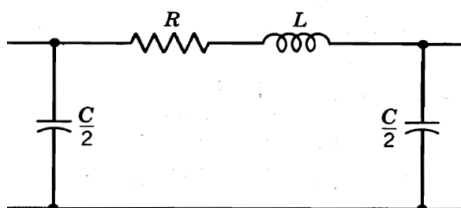


Figura 12. Modelo Pi de la línea de transmisión por fase, (Stevenson, 1996)

- **Distribución:**

En el proceso de transmisión, los niveles de tensión son muy elevados para llevarlos hasta el consumidor final, esto hace necesario que se tenga que disminuir la magnitud de la tensión mediante un transformador reductor. Los niveles de tensión característicos del proceso de distribución son: 208 V, 220 V, 11.4 kV, 13.2 kV, 34.5 kV, entre otros.

- **Comercialización:**

Los agentes del sector comercializan la energía eléctrica ante los usuarios finales, el agente Comercializador tiene definidos dos tipos de mercados; el cliente Regulado (MR) y el cliente No Regulado (MNR).

Los Clientes Regulados tienen una tarifa preestablecida por el operador de red, mientras que un Cliente No Regulado es un consumidor que supera un nivel límite de consumo (una demanda promedio mensual de potencia durante seis meses, mayor a 19 kW, o en energía de 10 MWh-mes en promedio durante los últimos seis meses) (CREG_RESOLUCIÓN_179, 2009) éste puede negociar libremente

la tarifa de suministro de energía eléctrica con el comercializador que desee. A este usuario se le llama Cliente No Regulado precisamente porque sus tarifas no están reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG sino que son acordadas mediante un proceso de negociación entre el consumidor y el comercializador. (EPM, 2017)

Al estudio de la correcta operación de un sistema de potencia, se le conoce como calidad de la potencia o calidad de la energía, este estudio abarcan diferentes variables tales como Sags, swells, flickers, entre otros, que se encuentran normalizadas en Colombia mediante la NTC 5001.

1.1.1.1. Criterios de confiabilidad

Cada uno de los elementos mencionados anteriormente debe trabajar conjuntamente con el objetivo de garantizar:

- **Confiabilidad**

Esta es una de las consideraciones más importante para el diseño de un sistema de protección. La confiabilidad está definida como la probabilidad de que un relé o sistema de protecciones no actúe inadecuadamente y está compuesta por dos aspectos: fiabilidad y seguridad.

La fiabilidad está definida como el grado de certeza con el que un relé o sistemas de relés operaran correctamente cuando sea requerido para hacerlo, es decir, que no omita disparos cuando se requieren. La seguridad está definida como el grado de certeza de que un relé o sistema de relés no operara incorrectamente en ausencia de fallas, es decir, que no emita disparos erróneos. (ISA, 2000)

- **Selectividad y coordinación**

La selectividad de un sistema de protección consiste en que cuando ocurra una falla, esta sea despejada por relés adyacentes a la misma, evitando la salida de otros circuitos o porciones del sistema. La coordinación se refiere al proceso de operación rápida de los relés para condiciones de falla de tal forma que actúan inicialmente las protecciones principales (de equipos o sistemáticas), aislando el elemento fallado o la porción del sistema que tiene problemas. (ISA, 2000)

Los criterios mencionados anteriormente son variables de suma importancia en un sistema eléctrico, y se garantizan aspectos tales como:

❖ **Respaldo:**

En general, el proceso de coordinación de protecciones requiere que se utilice un sistema de respaldo para el caso en que falle la protección principal o el interruptor. Dicho sistema deberá ser más complejo mientras más importante sea el sistema; este sistema de respaldo puede ser también:

❖ **Respaldo local por falla de protección:**

Se utiliza un relé que protege contra la misma anomalía, pero ajustado con tiempo de operación mayor y conectado a otro núcleo del TC. (ISA, 2000)

Como se mencionó anteriormente se pueden realizar diferentes configuraciones dependiendo de la importancia del sistema al cual se desea garantizarle la confiabilidad.

1.1.1.2. Módulos del banco de sistemas de potencia

A continuación se muestran los módulos básicos del banco de sistemas de potencia con los cuales se pretende trabajar durante el desarrollo del proyecto en mención:

➤ **Alimentador trifásico DL2108TAL-SW**

Este módulo es una fuente trifásica con un conmutador tetrapolar de red, sus terminales de salida son L1, L2, L3, N y Tierra. Ver la *Figura 13*.

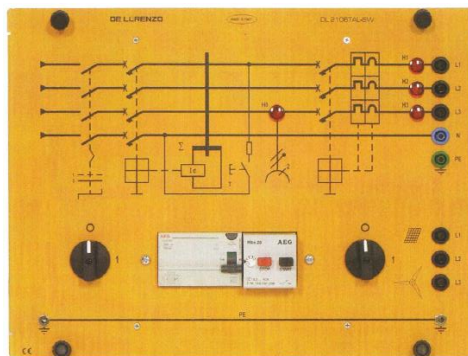


Figura 13. Fuente trifásica ref. DL2108TAL-SW.
(Lorenzo, Alimentador trifásico DL2108TAL-SW, 2012).

➤ Transformador Trifásico DL1080TT

Mediante este módulo se pueden obtener diferentes niveles de tensión, puesto que cuenta con 2 devanados secundarios en los cuales se puede variar el porcentaje de la tensión nominal, utilizando las derivaciones (Taps) con los que cuenta cada devanado. Este módulo se ilustra a continuación, ver la *Figura 14*.

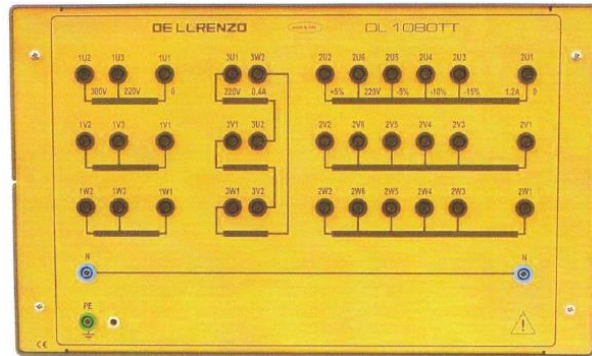


Figura 14. Transformador trifásico DL1080TT. (Lorenzo, Transformador trifásico DL1080TT, 2012)

➤ Modelo de Línea de transmisión DL7901TT

Este modelo de línea aérea trifásica de 360 km, cuenta con un modelo resistivo, inductivo y capacitivo, en este módulo se puede representar un modelo de línea con parámetros concentrados (Modelo Pi) es decir, que contempla las capacidades al neutro al inicio y fin de la línea y las capacidades entre líneas. También puede representar un modelo de línea corta, resistivo e inductivo sin tener en cuenta las capacitancias que se presentan entre líneas o entre línea y tierra. Ver la *Figura 15*.

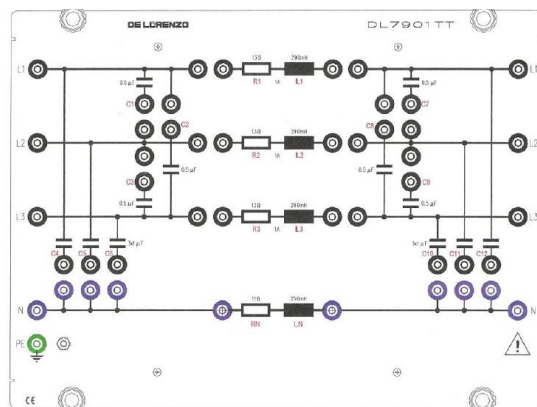


Figura 15. Módulo de línea aérea (Modelo Pi)
(Lorenzo, Modelo de Línea de transmisión DL7901TT, 2012)

➤ **Interruptor de potencia DL2108T02**

El módulo correspondiente al interruptor de potencia cuenta con entradas y salidas de señales eléctricas, las cuales se pueden llevar a un PLC o a un relé para poder controlar su cierre o apertura de acuerdo a la necesidad. Este interruptor puede accionarse de manera manual o mediante el software MScom2. Ver la *Figura 16*.

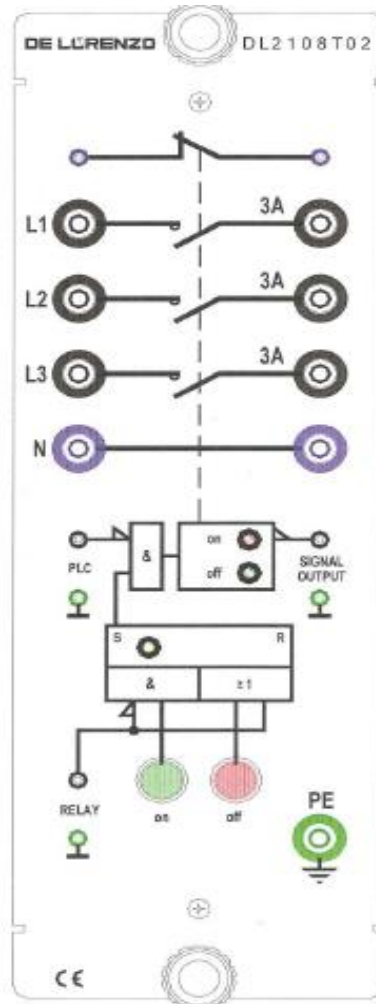


Figura 16. Interruptor de potencia DL2108T02. (Lorenzo, Circuito Interruptor de potencia, 2012)

➤ **Relé diferencial para transformadores de potencia DL2108T21**

EL relé opera comparando las señales de los transformadores de corriente que se conectan en el primario y secundario del transformador de potencia y su programación se puede realizar manualmente o mediante el Software MScom2, Ver la *Figura 17*.

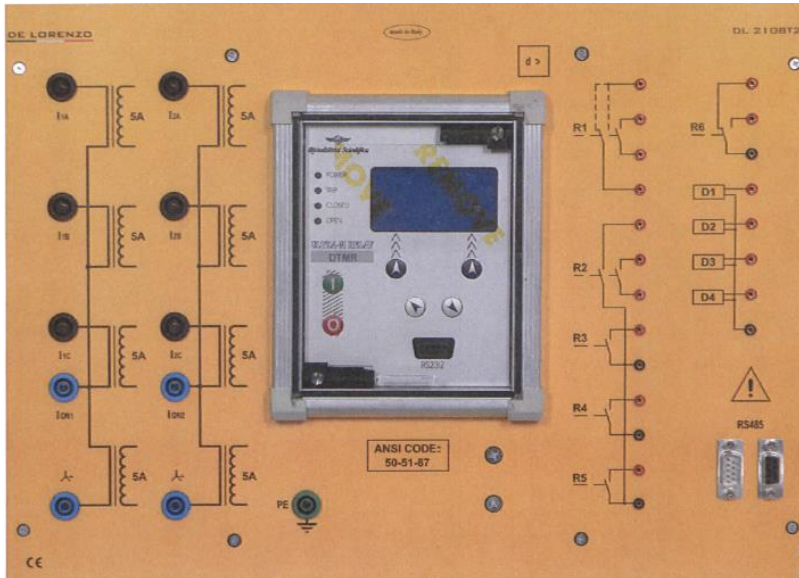


Figura 17. Relé diferencial, módulo DL2108T21, (Lorenzo, Differential Transformer Relay, 2013)

➤ **Relevador de tiempo de bajo / alto voltaje DL2108T12**

Este dispositivo actúa cuando alguno de los parámetros configurados en el dispositivo es superado. El modulo se programa de tal manera que detecte una sobretensión o una subtensión por un tiempo ajustado previamente. Ver la Figura 18.

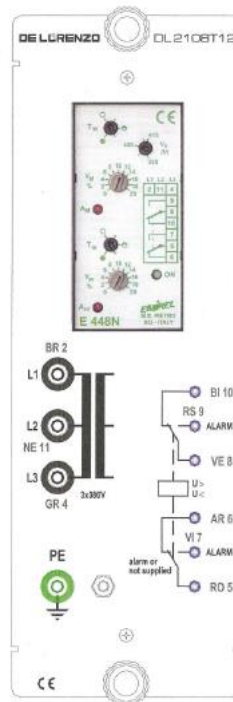


Figura 18. Relevador de tiempo de bajo / alto voltaje. (Lorenzo, Relevador de tiempo de bajo / alto voltaje DL2108T12, 2012)

➤ **Software MScom2**

MScom2 es un software empleado para la programación de relés fabricados por D'Lorenzo Of America Corp. S.A de C.V. Se establece comunicación mediante un puerto serial entre el relé y el computador. Su programación consta de variar diferentes parámetros, tales como, corriente, voltaje y frecuencia para su debida actuación de acuerdo al tipo de relé con el cual se esté trabajando. En las Figuras 19 y 20. Se ilustra la interfaz del software.

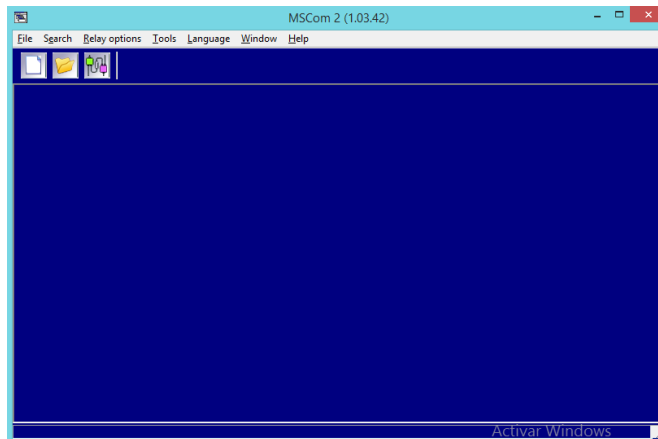


Figura 19. Interfaz software MScom2. (Microelectrica, 2012)

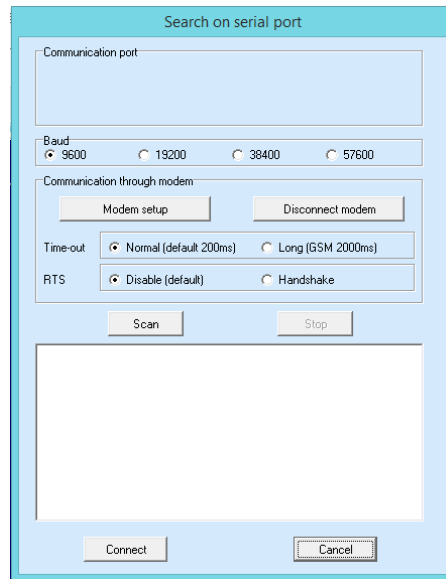


Figura 20. Interfaz del puerto serial software MScom2. (Microelectrica, 2012)

En toda investigación siempre es importante conocer los antecedentes y/o las investigaciones similares que otras personas han realizado alrededor del mundo, su importancia radica en poder contrastar, diferenciar y relacionar el tema en común; es por ello que a continuación se presentarán algunos proyectos que tratan también del uso de módulos de sistemas de potencia.

La calidad de la potencia y de la energía son temáticas que cada día se hacen más importantes en lo que concierne a las redes eléctricas, ya que van directamente relacionadas con el óptimo uso de la energía eléctrica, la reducción de costos y la eficiencia energética.

La corrección del factor de potencia es una técnica importante para reducir pérdidas de potencia reactiva en la transmisión de energía, es así como justifica su trabajo el proyecto denominado "*Diseño y construcción de un banco de pruebas para control de factor de potencia*" (Mendoza, 2015) En este trabajo se hace la implementación de un banco de pruebas y un catálogo de diez prácticas para mejorar y controlar el factor de potencia. Hay otros proyectos que han diseñado equipos un poco más generales, tal como se menciona a continuación. De este trabajo se enfatizará en la estructura de las prácticas para definir la elaboración de las guías objeto de este proyecto.

Un proyecto perteneciente a la facultad de ingeniería eléctrica de la Universidad De La Salle decide diseñar un módulo didáctico junto con una guía de seis prácticas de laboratorio, dicho trabajo está encaminado a la calidad de la potencia, este proyecto se titula "*Diseño de tablero didáctico para el desarrollo de prácticas relacionadas con calidad de potencia eléctrica*" (Diego Andrés Gutierrez, 2014) dentro de estas prácticas se contemplan laboratorios enfocados en el estudio de armónicos, sags y swells, frecuencia eléctrica, filtros de señales distorsionadas; para la realización de dichas practicas se deben emplear relés y otros elementos de control, de igualmanera este proyecto rescata la elaboración de guías para ejecución de su proyecto.

En Ecuador, un estudiante de Ingeniería Eléctrica elabora un compendio de prácticas de laboratorio utilizando el software Power Factory para la simulación de sistemas de potencia, fortaleciendo el uso de los módulos y facilitando el manejo de estos equipos a los estudiantes. El objetivo general de este proyecto está encaminado a la incorporación del software en el pensum de la materia de Sistemas de potencia en su Universidad; el nombre que recibe este proyecto es "*Estudios eléctricos de sistemas de potencia para la carrera de Ingeniería Eléctrica utilizando el software power factory 13.1 de Digsilent*" (Aguirre, 2008) .De este proyecto se resalta el uso de un software para la programación de módulos didácticos en un banco se sistemas de potencia.

Los PLC son unidades de control que son muy utilizadas en la industria, el proyecto conocido como "*Diseño e implementación de un Módulo entrenador para transferencia de energía eléctrica*" (Joffre Victor Ochoa, 2012) hace uso de un Controlador Lógico Programable Siemens que mediante el lenguaje Ladder controla la transferencia de un generador a la carga de alimentación del módulo didácto que desarrolló; también cabe resaltar el diseño de diez prácticas empleando este mismo módulo entrenador.

En el año 2016 tres ingenieros electrónicos de las Universidades de Sucre y de Pamplona Colombia, se reúnen mediante la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI, para la implementación de módulos didácticos como apoyo a la docencia, brindando una herramienta física a los docentes para el desarrollo de diferentes aplicaciones en el área de la electrónica, dicho trabajo se denomina "*Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia*" (ACOFI, 2016) .Este proyecto reconoce los módulos de sistemas de potencia, como una herramienta didáctica que contribuye al aprendizaje estudiantil.

III. CAPÍTULO III

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE MSCOM2

En este literal se aborda el software a través del cual se programan los relés para la protección contra fallas, Este software cuenta con una interfaz gráfica didáctica y con una programación simple que consiste en activar, modificar y establecer parámetros que posteriormente son identificados por el relé programado.

4.1. ¿Qué es el Software MScom2 y para qué se utiliza?

El programa MScom2 es un software de comunicación basado en Windows y desarrollado por Microelectrica Scientifica, fue creado para la programación de relés y posteriormente fue adquirido por D'Lorenzo Of America Corp. S.A. (Microelectrica, 2012)

Mediante su interfaz gráfica se pueden establecer parámetros que posteriormente son enviados al relé en conexión, esto facilita y agiliza la programación del dispositivo, para establecer enlace entre el programa y el relé se debe contar con un cable RS232 convertido a USB.

4.2. Instalación del Software MScom2

Para la instalación de dicho software se requieren los siguientes parámetros:

- **Hardware:** Un PC con un procesador posterior a Pentium 3, por lo menos 256 MByte de Memoria RAM Y 200 MByte de disco duro. Cabe resaltar que es indispensable que el equipo cuente con un teclado y un mouse.
- **Software:** Un sistema operativo Microsoft Windows 98SE, ME, SP3, XP. Se debe insertar el CD-ROM de instalación del software MScom2, luego ejecutar el archivo "Setup.exe" y seguir las instrucciones.

4.3. Inicio y Programación general del Software MScom2

Luego de estar instalado el programa, se puede modificar el idioma (Inglés, Francés, Italiano o Turco). Cada relé tiene una programación diferente, sin embargo el software cuenta con una interfaz similar para todos, lo cual hace que su programación sea asequible. Como se había mencionado anteriormente la programación de dicho

programa consta de modificar y/o definir parámetros de operación. En cada una de las prácticas establecidas en la guía se encuentran los pasos que se deben seguir para la programación del dispositivo.

5. DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL CATÁLOGO DE PRÁCTICAS

En este literal se muestra la estructuración de las prácticas tipo desarrolladas en la guía de prácticas, el catálogo cuenta con ocho prácticas que involucran el uso de relés programables mediante el software MScóm2 para la protección contra fallas eléctricas; la última práctica corresponde a las diferentes conexiones que se pueden realizar con el módulo de línea de transmisión DL7901TT.

5.1. Diseño y ejecución de las prácticas

El fabricante de los módulos de sistemas de Potencia D'Lorenzo Of America Corp. S.A. cuenta con varios catálogos de prácticas que involucran diferentes equipos, estos catálogos son llamados "GTU", cada GTU contiene diversos "Experimentos" o prácticas que fueron diseñadas por su equipo de trabajo.

Para la elaboración del catálogo de prácticas propuesto por este trabajo es indispensable previamente hacer uso de los GTU, con el fin de comprender el funcionamiento de los relés que se requieren emplear en las prácticas tipo. Las ocho prácticas propuestas son diseñadas por los ejecutores de este proyecto y aunque puedan ser similares a las que se encuentran en los GTU se considera que son prácticas auténticas de este proyecto, dado que algunas prácticas (por no decir la mayoría) contienen errores que pueden ser originados en el momento de la traducción o de entorno gráfico del software (unidades específicamente en lo referente a prefijos, mA)

Debido a la escasa información concerniente al software MScóm2 y a la programación de los relés del banco de sistemas de potencia, muchas de las prácticas se diseñaron bajo la experimentación, hasta conseguir los resultados esperados. También, cabe resaltar que todas las prácticas son previamente verificadas y por lo tanto funcionales, con el fin de poder ser realizables por las personas que hagan uso del catálogo.

5.2. Estructura General del Catálogo de prácticas

La guía de laboratorio consta de una portada de presentación, una tabla de contenido, un texto introductorio, ocho prácticas que emplean el software MScóm2 y una práctica que trata de las diferentes conexiones del módulo de línea DL7901TT.

A continuación se mencionan cada una de las prácticas que componen la guía de prácticas de laboratorio.

- **Falla asimétrica de cortocircuito L-N empleando el relé de sobrecorriente de tiempo inverso DL2108T13:**

Esta práctica consiste en alimentar una carga trifásica en Y desbalanceada y figurar una falla de cortocircuito L-N en la carga insertando una resistencia en paralelo de un valor óhmico mucho menor a la misma, para que actúe el relé de protección de sobrecorrientes, haciendo apertura del interruptor principal de la red.

- **Falla simétrica de cortocircuito de las tres fases a neutro, empleando el relé de sobrecorriente de tiempo inverso DL2108T13:**

Esta práctica consiste en alimentar una carga trifásica en Y y generar una falla de cortocircuito de las tres fases a neutro en la carga, insertando una resistencia en paralelo de un valor óhmico mucho menor a la misma, para que actúe el relé de protección de sobrecorrientes, haciendo apertura del interruptor principal de la red.

- **Falla asimétrica de corriente por el conductor neutro y desbalance de carga, empleando el relé combinado de sobrecorriente y falla a tierra DL2108T15:**

Esta práctica de laboratorio consiste en alimentar una carga trifásica en Y y desbalancear la carga, con el fin de producir un flujo de corriente por el conductor neutro, haciendo así que el relevador haga apertura del interruptor principal y de esta manera aisle la carga de la red de alimentación.

- **Falla de ausencia de tensión y transferencia automática, empleando el relé de control de falla a tierra DL2108T18:**

Esta práctica consiste en implementar el relé de protección de fallas a tierra y subtensiones, para realizar una transferencia eléctrica en caso de ausencia de tensión en la red principal y alimentar la carga con la red de suplencia hasta que se normalice la tensión en la red principal y haga nuevamente la conmutación, ésto con el fin de mantener en funcionamiento una carga resistiva conectada en estrella.

- **Falla de subtensión en la alimentación de una carga trifásica, empleando el relé de control de falla a tierra DL2108T18:**

Este laboratorio consiste en alimentar una carga en delta, mediante una fuente variable de tensión. Se hace uso del relé de control de falla a tierra

DL2108T18, para que proteja la red en caso de subtensión, la falla se provoca disminuyendo el nivel de tensión a través de la fuente variable.

- **Falla a tierra interna en el primario de un transformador, empleando el relé de protección diferencial en transformadores DL2108T21:**

Esta práctica busca figurar una falla dentro de un transformador elevador de tensión, haciendo uso del relé de protección diferencial en transformadores DL2108T21, la falla consiste en hacer una falla línea a línea en el primario del transformador provocando así el disparo de apertura del interruptor principal ubicado aguas arriba del transformador. Las medidas se deben tomar mediante transformadores de medida TC's.

- **Falla de sobre o baja frecuencia, empleando el relé administrador de la alimentación DL2108T23:**

Esta práctica consiste en alimentar una carga mediante un generador sincrónico DL1026A y programar el relé administrador DL2108T23 para que proteja la carga haciendo apertura del interruptor principal en caso de una falla de sobre o baja frecuencia, la falla se simulará manipulando la corriente de campo del generador.

- **Falla de sobretensión, empleando el relé administrador de la alimentación DL2108T23:**

Este laboratorio consiste en alimentar una carga en Y mediante una fuente variable de tensión. Se hace uso del relé administrador de la alimentación DL2108T23, para que proteja la red en caso de sobretensión, la falla se provoca aumentando el nivel de tensión a través de la fuente variable, actuando así el relé para hacer apertura del interruptor principal.

- **Práctica de conexiones del modelo de línea del módulo DL7901TT:**

La última práctica de laboratorio consiste en realizar las diferentes conexiones que se pueden realizar con el modelo de línea correspondiente al módulo DL7901TT.

5.3. Estructura específica de las prácticas

Cada una de las ocho primeras prácticas consta de seis literales, que llevan el siguiente orden:

1. **Fundamentos Teóricos:** Este ítem contiene una pequeña referencia teórica que ayuda al lector a contextualizarse con la práctica que se pretende realizar.
2. **Descripción de la práctica:** Allí se describe la práctica en su forma más explícita, se brinda la información concerniente al modo de operación del relé, así como, la manera de generar la falla controlada para la apertura

del interruptor principal de protección. También se muestran los valores de operación de la práctica otorgando valores de las resistencias de carga, tensiones y corrientes; posteriormente se ilustra en un diagrama la estructura general de conexión.

- 3. Listado de equipos y especificaciones técnicas:** En este apartado se menciona el valor máximo de operación del relé empleado en la práctica, así mismo se listan los equipos que se requieren para la ejecución del laboratorio.
- 4. Cálculos:** Aquí se soluciona el circuito de potencia, calculando las corrientes de línea, también se realizan algunos esquemas para facilitar la comprensión de los cálculos realizados y de este modo presentar una guía didáctica y sencilla de comprender.
- 5. Montaje:** Todas las prácticas contienen un montaje eléctrico de conexiones, se utiliza un cuadro de convenciones para los diferentes conectores; se emplean diferentes colores para cada una de las fases, así como para los conductores de control y comunicación. También, previamente al montaje
- 6. Configuraciones del software MScóm2:** En este numeral se encuentra el paso a paso de la ejecución de la práctica, se muestra detalladamente la configuración del software y se describe la manera de generar la falla para que el relé de protección haga apertura del interruptor principal.

5.4. Notas u observaciones contenidas en las prácticas

La guía de prácticas de laboratorio contiene una serie de notas y/o sugerencias para que el usuario realice el laboratorio sin dificultades e inconvenientes. Algunas de estas notas tienen como objetivo prevenir daños en las personas o en los equipos, otras corresponden al correcto funcionamiento de los equipos y de la actuación del relé de protección. Así mismo, dichos apuntes van encaminados a brindar mayor información al lector y disminuir los posibles interrogantes que puedan surgir en su ejecución.

6. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION Y/O PRODUCTO ALCANZADO

Con la culminación de este proyecto se hace entrega de una guía didáctica de 104 páginas que contiene nueve prácticas tipo al Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, empleando los módulos del banco de sistemas de potencia principalmente algunos de los relés que son programados mediante el software MScóm2; de esta manera los estudiantes de la universidad pueden tener un documento con un lenguaje asequible, como guía para la realización de dichas prácticas de laboratorio e incentivar al estudiantado a diseñar nuevos montajes.

Se pretende que con la ayuda de esta guía, incremente el porcentaje de uso e implementación de los relés del banco de sistemas de potencia, con el fin de aprovechar los equipos adquiridos por el laboratorio; de igual manera se puede proyectar que dichos equipos puedan ser utilizados en materias más avanzadas que el ciclo de Tecnología en Electricidad.

7. CONCLUSIONES

Con la culminación de este proyecto se puede concluir que es posible realizar prácticas con enfoques a la vida real, empleando módulos didácticos de sistemas de potencia, además, se implementa el software MScóm2 para la programación de cada uno de los relés utilizados en las prácticas tipo.

En el desarrollo del trabajo se pueden evidenciar los errores contenidos en los manuales y/o GTU del fabricante D'Lozenzo, tales errores, pueden ser originados en los procesos de traducción o del entorno gráfico del software empleado (unidades específicamente en lo referente a prefijos, mA).

En cuanto al Software MScóm2 se puede concluir que es un software con una interfaz gráfica amigable y de fácil programación, por otra parte, cuenta con algunas restricciones tales como, el sistema operativo debe ser Microsoft Windows, la interfaz gráfica no se

encuentra disponible en el idioma español, se debe contar con un cable RS232 y un conversor a USB.

Cabe pronunciar que para la programación del software MScom2, se tuvo que hacer innumerables pruebas de ensayo y error, ya que previamente a este proyecto, el laboratorio no tiene un documento formal que explique su debido manejo, ni cuenta con una persona capacitada para tal explicación.

IV. ANEXOS

1. Anexo 1.

Guía de prácticas tipo

V. BIBLIOGRAFÍA

ABB. (5 de Agosto de 2017). ABB. Obtenido de ABB: <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/chile-documentos/novenas-jornadas-tecnicas-2015/pp/william-henao.pdf?sfvrsn=2>

ACOFI. (2016). Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia. *Revista Educación en Ingeniería*, 9-13.

Aguirre, C. W. (2008). *Estudios eléctricos de sistemas de potencia para la carrera de Ingeniería Eléctrica utilizando el software power factory 13.1 de Digsilent*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Coelme-Egic. (2013). Seccionador de apertura central CBD 72,5-550 kV. *HV Switching*, 1.

CREG_RESOLUCIÓN_179. (15 de Diciembre de 2009). *LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS*. Obtenido de RESOLUCIÓN No. 179 :

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/aeb4f03ab82f59e70525785a007a7215?OpenDocument>

Diego Andrés Gutierrez, J. D. (2014). *Diseño de tablero didáctico para el desarrollo de prácticas relacionadas con calidad de potencia eléctrica*. Bogotá DC: Universidad de La Salle.

EPM, G. (6 de Agosto de 2017). ESSA. Obtenido de ESSA: <https://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/nuestrosproductosyservicios/mercadonoregulado.aspx>

Escobar, J. C. (2014). *Diseño de subestaciones eléctricas*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

FyR. (4 de Agosto de 2017). *FyR Ingenieros*. Obtenido de FyR Ingenieros: <http://fyringenieros.com/transformadores-de-potencia.html>

Joffre Victor Ochoa, P. J. (2012). *Diseño e implementación de un módulo entrenador para transferencia eléctrica*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Ledesma, P. (4 de Agosto de 2017). *Regulación De Frecuencia y Potencia*. Obtenido de Regulación De Frecuencia y Potencia: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-electrica/operacion-y-control-de-sistemas-electricos/II_OCSE_RFP.pdf

López, F. L. (30 de Junio de 2017). Laboratorista académica . (A. Molina, Entrevistador)

Lorenzo, D. (2012). *Alimentador trifásico DL2108TAL-SW*. Italia: De Lorenzo SPA.

Lorenzo, D. (2012). *Circuito Interruptor de potencia*. Italia: De Lorenzo SPA.

Lorenzo, D. (2012). *Modelo de Línea de transmisión DL7901TT*. Italia: De Lorenzo SPA.

Lorenzo, D. (2012). *Relevador de tiempo de bajo / alto voltaje DL2108T12*. Italia: De Lorenzo SPA.

Lorenzo, D. (2012). *Transformador trifásico DL1080TT*. Italia: De Lorenzo SPA.

Lorenzo, D. (2013). *Differential Transformer Relay*. Italia: De Lorenzo SPA.

Macri, M. G. (2 de Agosto de 2017). *Generador Sincrónico*. Obtenido de Generador Sincrónico: <http://prof.usb.ve/jaller/TrianguloPotier.pdf>

- Mendoza, E. F. (2015). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para control de factor de potencia*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Microelecttrica, M. S. (8 de Julio de 2012). MScom2. Italia, Europa, París.
- PFIFFNER. (5 de Agosto de 2017). *PFIFFNER Group*. Obtenido de PFIFFNER Group: <http://www.pfiffner-group.com/products/high-voltage/ejof-24-170-kv/>
- Qingdao megatro equipo mecánico y eléctrico Co., L. (15 de Marzo de 2014). *TradeUSB*. Obtenido de TradeUSB: <http://www.tradeusd.com/company/megatro3310/1841704.html>
- Quiñones, J. G. (18 de Agosto de 2017). *MTY Ingeniería*. Obtenido de MTY Ingeniería: <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/jgomez/ie/prodgen.pdf>
- SEL. (18 de Agosto de 2017). *Schweitzer Engineering Laboratories*. Obtenido de Schweitzer Engineering Laboratories: <https://selinc.com/products/421/>
- Siemens. (2009). Descargadores de sobretensión. *Siemens AG*, 8.
- Siemens. (2013). Interruptores de potencia de alta tensión. *Catalogo Siemens AG*, 4.
- Siemens. (5 de Agosto de 2017). *PowerLink*. Obtenido de PowerLink: <https://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/automation/power-transmission-distribution/network-communication/power-line-carrier/powerlink-advanced-plc-technology/powerlink-advanced-plc-technologypowerlink-ws-sp.pdf>
- Stevenson, W. (1996). La Máquina Sincrónica. En W. Stevenson, *Análisis de Sistemas de Potencia* (págs. 81, 82, 83). México: Mc Graw Hill.