



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un Módulo Didáctico de Simulación de Operación de una Subestación con Esquema de Barra Principal y Barra de Transferencia y Elaboración de Protocolos para Procedimientos de Maniobras de Operación y Mantenimiento.**

**Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth y Ramírez Chango, Jessica Mireya**

**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Ingeniería en Electromecánica**

**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en**

**Electromecánica**

**Ing. Mullo Quevedo, Álvaro Santiago**

**18 de agosto del 2020**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

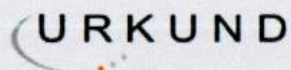
Certifico que el trabajo de titulación, "IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN CON ESQUEMA DE BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA Y ELABORACIÓN DE PROTOCOLOS PARA PROCEDIMIENTOS DE MANIOBRAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO" fue realizado por el/los las señoritas Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth y Ramírez Chango, Jessica Mireya el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de agosto del 2020

---

Ing. Mullo Quevedo, Álvaro Santiago

C.C.: 0502768542



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULACION AMANCHA-RAMIREZ.docx (D77717313)  
**Submitted:** 8/12/2020 9:52:00 PM  
**Submitted By:** asmullo@espe.edu.ec  
**Significance:** 7 %

### Sources included in the report:

1473094282\_TESIS 1ra Entrega , 138 kV.pdf (D21616854)  
TESIS BRITO TOAPANTA.docx (D12214188)  
Christian Chalen Rojas Tesis Electrico Mecanico.docx (D47842972)  
9477-Ocrosopoma Noel, Hegel\_.pdf (D37016442)  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13436?show=fullMart>  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8474/6213126083.pdf?sequence=1&isAllowed=yQuispe>,  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9963/1/DISE%3FO%20Y%20CONSTRUCCI%3FN%20DE%20UNA%20MAQUETA%20QUE%20PERMITA%20SIMULAR%20LA%20OPERACI%3FN%20DE%20UNA%20SUBESTACI%3FN%20T%3FPICA%20C.pdf>  
<https://docplayer.es/97343609-Escuela-superior-politecnica-del-litoral.html>  
<https://docplayer.es/95038070-Universidad-tecnica-de-cotopaxi.html>  
<https://docplayer.es/160469786-Universidad-catolica-de-santiago-de-guayaquil-facultad-de-educacion-tecnica-para-el-desarrollo-carrera-de-ingenieria-en-electrico-mecanica.html>

### Instances where selected sources appear:

37

Firma:

Ing. Mullo Quevedo, Alvaro Santiago  
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotras, **Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth y Ramírez Chango, Jessica Mireya**, con cédulas de ciudadanía N° 1804356853 y 1804576047, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Implementación de un Módulo Didáctico de Simulación de Operación de una Subestación con Esquema de Barra Principal y Barra de Transferencia y Elaboración de Protocolos para Procedimientos de Maniobras de Operación y Mantenimiento”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 18 de agosto del 2020

Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth

C.C.: 1804356853

Ramírez Chango, Jessica Mireya

C.C.: 1804576047



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth y Ramírez Chango, Jessica Mireya, con cédulas de ciudadanía N° 1804356853 y 1804576047 ,autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN CON ESQUEMA DE BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA Y ELABORACIÓN DE PROTOCOLOS PARA PROCEDIMIENTOS DE MANIOBRAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO “en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 18 de agosto del 2020

Amancha Guangasi, Sonia Elizabeth

C.C.: 1804356853

Ramírez Chango, Jessica Mireya

C.C.: 1804576047

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a las personas más importantes de mi vida, a mis amados padres Manuel y María, por ser mi fortaleza, soporte e inspiración, por brindarme su amor y apoyo incondicional y ayudarme a cumplir cada una de mis metas.

A mis queridos hermanos Diego, Verónica, Rigoberto por estar junto a mí, brindarme su apoyo y motivarme a no rendirme nunca.

***Sonia Elizabeth***

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado primeramente a Dios por darme las fuerzas necesarias para no decaer, por cuidarme y guiar siempre mi camino.

A mi madre Inés por ser mi luz y mi refugio en mis peores momentos e impulsarme a seguir luchando a pesar de las adversidades, por todos esos abrazos, besos y palabras de aliento en los momentos oportunos. Gracias mami por todo el amor es el mejor regalo que Dios me dio.

A mi padre Rene por ser mi apoyo en todo momento, por cuidarme siempre y nunca soltar mi mano, por formar mi personalidad convirtiéndome en la mujer que hoy en día soy y de la cual espero se sienta orgulloso.

A mis hermanos Jefferson y Estefano por ser mis compañeros de vida con quienes he compartido desde mi niñez risas, llantos y de los cuales me siento orgullosa y agradecida de tenerlos en mi vida.

A mis tías Melida, Adela y Consuelo quienes han estado siempre pendientes de mí durante todo este proceso, por sus consejos y cariño.

A mi padrino Rubén a quien considero como mi segundo padre quien me ha apoyado siempre dándome consejos de vida así como también académicos y por todo el cariño que he recibido de su parte desde mi niñez hasta el día de hoy.

Con inmenso cariño

**Mireya**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la luz que guía mi camino, por brindarme su protección e infinito amor y permitirme terminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por la paciencia, dedicación y esfuerzo que me brindaron a lo largo de mi formación académica, gracias a ellos pude alcanzar esta meta, y a mis hermanos por creer en mí, brindarme su apoyo y consejo en cada momento de mi vida.

A todos los ingenieros que me brindaron su apoyo y guía para terminar este trabajo de titulación.

***Sonia Elizabeth***



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que he recibido, a mis amados padres por ser el motor y pilar fundamental de mi vida, por apoyarme incondicionalmente, por su inmenso e incondicional amor, por todos sus cuidados, por no abandonarme a pesar de las adversidades, por nunca dejar de creer en mí y por todos los sacrificios que hicieron para permitirme cumplir este sueño.

A mis queridos hermanos Jefferson y Estefano por soportarme en mis momentos difíciles y por su inmenso cariño. “Los adoro hermanitos espero ser un ejemplo a seguir”.

A quienes conforman la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga por permitirme formar parte de esta prestigiosa institución y de manera especial a mí querida carrera de Ingeniería en Electromecánica.

A todos los ingenieros que fueron parte de mi formación profesional gracias por compartirme sus conocimientos académicos y de vida.

A mi director de tesis ingeniero Álvaro Mullo por guiarme pasó a pasó en la elaboración de este proyecto de titulación.

A mis amigos, especialmente Juanpi, Yessenia, Andrés y Fabo con quienes he compartido muchas risas y momentos maravillosos. “Gracias por ser parte de mi vida”.

Con inmenso cariño

**Mireya**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>1</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>REPORTE DE URKUND .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>6</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>7</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>8</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>15</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>16</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>CONTENIDOS GENERALES .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. Antecedentes.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. Justificación e Importancia .....</b>	<b>22</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>23</b>

1.4.1.	Objetivos General.....	23
1.4.2.	Objetivos Específico.....	23

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO ..... 24**

#### **2.1. Antecedentes Investigativos ..... 24**

#### **2.2. Fundamentación Teórica..... 25**

##### 2.2.1. Subestación Eléctrica..... 25

##### 2.2.2. Operación de una subestación ..... 26

##### 2.2.3. Elementos básicos de una subestación..... 26

##### 2.2.4. Configuraciones típicas de las subestaciones eléctricas ..... 28

##### 2.2.5. Equipos de corte y seccionamiento..... 36

##### 2.2.6. Nomenclatura de los elementos de corte y seccionamiento..... 37

##### 2.2.7. Operación de Subestaciones ..... 38

##### 2.2.8. Operación de equipos..... 39

##### 2.2.9. Enclavamientos ..... 39

##### 2.2.10. Secuencias de operación ..... 40

##### 2.2.11. Secuencias requeridas para la operación en líneas..... 41

##### 2.2.12. Secuencia de maniobras para transformadores del SNT. .... 43

##### 2.2.13. Secuencias requeridas para la operación de la barra de transferencia..... 46

##### 2.2.14. Poner o retirar puestas a tierra en líneas y equipos ..... 49

##### 2.2.15. Pantalla HMI..... 50

##### 2.2.16. Elementos y protocolos de comunicación HMI-Arduino ..... 50

##### 2.2.17. Software libre ..... 52

##### 2.2.18. Arduino ..... 53

#### **2.3. Fundamentación Legal ..... 57**

2.3.1.	Procedimientos de Despacho y Operación (Regulación No. CONELEC 006/00)	57
2.3.2.	Normas Generales del CENACE	58
<b>2.4.</b>	<b>Sistema de Variables</b>	<b>59</b>
<b>2.5.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>59</b>
<b>2.6.</b>	<b>Cuadro de operacionalización de las variables</b>	<b>60</b>

### **CAPÍTULO III**

<b>METODOLOGÍA</b>	<b>61</b>
<b>3.1. Modalidad de la Investigación</b>	<b>61</b>
3.1.1. Método Documental Bibliográfico	61
3.1.2. Método Experimental	61
3.1.3. Método Inductivo-Deductivo	62
<b>3.2. Tipo de Investigación</b>	<b>62</b>
3.2.1. Investigación Cuantitativa	62
<b>3.3. Diseño de la Investigación</b>	<b>62</b>
<b>3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información</b>	<b>63</b>
3.4.1. Validez y Confiabilidad	63
<b>3.5. Técnica de Análisis de Información</b>	<b>64</b>
<b>3.6. Técnica de comprobación de hipótesis</b>	<b>64</b>

### **CAPÍTULO IV**

<b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>65</b>
<b>4.1. Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica</b>	<b>65</b>
<b>4.2. Análisis e interpretación de resultados</b>	<b>65</b>

<b>4.3. Comprobación de Hipótesis</b> .....	72
---	----

## **CAPÍTULO V**

<b>PROPUESTA</b> .....	<b>73</b>
------------------------	-----------

<b>5.1. Tema de la propuesta:</b> .....	73
---	----

<b>5.2. Introducción</b> .....	73
--------------------------------	----

<b>5.3. Datos Informativos</b> .....	73
--------------------------------------	----

<b>5.4. Objetivos</b> .....	74
-----------------------------	----

5.4.1. Objetivo General.....	74
------------------------------	----

5.4.2. Objetivos Específicos.....	74
-----------------------------------	----

<b>5.5. Justificación de la Propuesta</b> .....	74
---	----

<b>5.6. Fundamentación de la Propuesta</b> .....	75
--	----

<b>5.7. Diseño de la propuesta</b> .....	75
--	----

5.7.1. Resumen .....	75
----------------------	----

5.7.2. Arquitectura del proyecto.....	75
---------------------------------------	----

<b>5.8. Criterios de selección de equipos</b> .....	76
---	----

5.8.1. Selección de la placa de control .....	76
---	----

5.8.2. Selección de la pantalla HMI.....	79
--	----

5.8.3. Selección del sensor de corriente.....	80
---	----

5.8.4. Selección del sensor de voltaje.....	81
---	----

<b>5.9. Metodología para la ejecución de la propuesta</b> .....	82
---	----

5.9.1. Diseño y configuración del HMI .....	82
---	----

5.9.2. Desarrollo del software para el Arduino .....	87
--	----

5.9.3. Esquema de conexión de los componentes electrónicos y eléctricos .....	90
---	----

5.9.4. Pruebas experimentales del módulo implementado .....	92
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Pines de conexión serial según el tipo de controlador.....	54
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de Variables .....	60
<b>Tabla 3</b> Estudiantes encuestados de la carrera de Ingeniería en Electromecánica.....	65
<b>Tabla 4</b> Análisis estadístico de los elementos de una subestación eléctrica .....	66
<b>Tabla 5</b> Análisis estadístico de los componentes de una subestación .....	67
<b>Tabla 6</b> Protocolos de maniobras de una subestación .....	68
<b>Tabla 7</b> Procedimientos de despacho y operación en una subestación real.....	69
<b>Tabla 8</b> Datos estadísticos para la implementación del módulo de subestación. ....	71
<b>Tabla 9</b> Selección de la placa de control .....	77
<b>Tabla 10</b> Selección de la pantalla HMI .....	79
<b>Tabla 11</b> Parámetros del sensor de corriente SCT013.....	80
<b>Tabla 12</b> Parámetros del sensor de voltaje ZMPT101B.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Símbolo gráfico de seccionador .....	27
<b>Figura 2</b> Símbolo gráfico de interruptor .....	27
<b>Figura 3</b> Símbolo gráfico del transformador .....	28
<b>Figura 4</b> Esquema de Barra Simple .....	29
<b>Figura 5</b> Esquema de barra simple partida .....	30
<b>Figura 6</b> Esquema de barra simple con bypass .....	31
<b>Figura 7</b> Esquema de barra principal y barra de transferencia.....	32
<b>Figura 8</b> Esquema de Doble barra .....	33
<b>Figura 9</b> Esquema de Interruptor y medio.....	34
<b>Figura 10</b> Esquema de Doble barra y seccionador by-pass.....	35
<b>Figura 11</b> Esquema de Doble barra y barra de transferencia.....	36
<b>Figura 12</b> Energización de una línea.....	41
<b>Figura 13</b> Desconexión de una línea.....	42
<b>Figura 14</b> Elementos para la desconexión del transformador .....	43
<b>Figura 15</b> Maniobras de cierre de un transformador.....	45
<b>Figura 16</b> Elementos de corte y seccionamiento para barra de transferencia .....	46
<b>Figura 17</b> Pantalla HMI Kinco GL070E.....	50
<b>Figura 18</b> Arduino Shield Ethernet .....	51
<b>Figura 19</b> Placa Arduino .....	53
<b>Figura 20</b> Comunicación serial por pines de transmisión serie .....	55
<b>Figura 21</b> Comunicación serial por puertos USB .....	56
<b>Figura 22</b> Análisis estadístico de los elementos de una subestación eléctrica .....	66
<b>Figura 23</b> Análisis estadísticos de los esquemas de una subestación.....	67
<b>Figura 24</b> Análisis estadístico sobre protocolos de una subestación. ....	69



<b>Figura 25</b>	Análisis estadístico sobre procedimientos de despacho y operación.....	70
<b>Figura 26</b>	Datos estadísticos para la implementación del módulo de subestación.....	71
<b>Figura 27</b>	Arquitectura del proyecto .....	76
<b>Figura 28</b>	Implementación Shield Ethernet .....	78
<b>Figura 29</b>	Módulo de ocho relés para Arduino .....	79
<b>Figura 30</b>	Selección de modelo y características del HMI .....	83
<b>Figura 31</b>	Configuración de la dirección IP del HMI Kinco.....	83
<b>Figura 32</b>	Selección de Modbus TCP.....	84
<b>Figura 33</b>	Configuración el IP del controlador Modbus Slave.....	84
<b>Figura 34</b>	Interfaz de la Pantalla principal .....	85
<b>Figura 35</b>	Esquema general de la subestación .....	86
<b>Figura 36</b>	Bahía del transformador.....	86
<b>Figura 37</b>	Bahía de líneas.....	87
<b>Figura 38</b>	Curvas de las variables eléctricas.....	87
<b>Figura 39</b>	Esquema de conexión de las placas de control .....	88
<b>Figura 40</b>	Declaración de registros.....	89
<b>Figura 41</b>	Configuración de dirección IP .....	89
<b>Figura 42</b>	Adición de información a los registros .....	89
<b>Figura 43</b>	Transmisión de información al HMI.....	90
<b>Figura 44</b>	Esquema para conexonado eléctrico.....	91
<b>Figura 45</b>	Esquema para conexonado Electrónico .....	92
<b>Figura 46</b>	Cierre de seccionadores y disyuntor para energización del transformador ...	93
<b>Figura 47</b>	Operación de elementos de corte y seccionamiento del transformador .....	93
<b>Figura 48</b>	Cierre de seccionadores y disyuntor para energización de barra principal ...	94
<b>Figura 49</b>	Energización de líneas mediante barra principal.....	95
<b>Figura 50</b>	Cierre de seccionadores para energización por barra de transferencia .....	96

**Figura 51** Estado de los seccionadores y disyuntor de la línea 1 desenergizada..... 97

**Figura 52** Comportamiento de las variables eléctricas ..... 97

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación detalla la implementación de un módulo didáctico de simulación de operación de una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia mediante el cual se podrá simular los protocolos y procedimientos de operación y mantenimiento de una subestación que constituirá en una herramienta de aprendizaje para los estudiantes. Para determinar la viabilidad del proyecto se realizó una investigación aplicando una encuesta a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica que cursan las asignaturas de Centrales de Generación de Energía, Sistemas Eléctricos de Potencia y Alto Voltaje, dando un porcentaje de aceptación de 96.7% respecto a la necesidad de implementar un módulo basado en el diseño de subestaciones que sigue el Sistema Nacional Interconectado que permita fortalecer sus conocimientos y mejorar el proceso de aprendizaje. Para la implementación del módulo se utilizó elementos eléctricos y electrónicos que permitan la simulación de protocolos y procedimientos de maniobras basadas según la regulación del CONELEC 006/00. Las maniobras realizadas en el módulo se transmitirán mediante comunicación TCP/IP para la visualización del estado de cada uno de los equipos de corte y seccionamiento, así como el comportamiento de las variables eléctricas de voltaje y corriente en la pantalla HMI.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SUBESTACIONES**
- **PROTOCOLOS DE OPERACIÓN**
- **EQUIPOS DE CORTE Y SECCIONAMIENTO**
- **VARIABLES ELECTRICAS**

## **ABSTRACT**

This research work details the implementation of a didactic module of operation simulation of a substation with main bar scheme and transfer bar through which it will be possible to simulate the protocols and procedures of operation and maintenance of a substation, that will constitute a learning tool for the students. To determine the feasibility of the project, a research was carried out applying a survey to students of Engineering in Electromechanics who study the subjects of Power Generation Plants, Electrical Systems of Power and High Voltage, giving an acceptance percentage of 96.7% regarding the need to implement a module based on the design of substations followed by the National Interconnected System to strengthen their knowledge and improve the learning process. For the implementation of the module, electrical and electronic elements were used that allow the simulation of protocols and procedures of maneuvers based on the regulation of CONELEC 006/00. The manoeuvres performed in the module will be transmitted by TCP / IP communication to display the status of each of the cutting and sectioning equipment, as well as the behavior of the voltage and current electrical variables on the HMI screen.

### **KEYWORDS:**

- **SUBSTATIONS**
- **OPERATION PROTOCOLS**
- **CUTTING AND SECTIONING EQUIPMENT**
- **ELECTRICAL VARIABLES**

## **CAPÍTULO I**

### **CONTENIDOS GENERALES**

#### **1.1. Planteamiento del Problema**

La necesidad de fortalecer los conocimientos de los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica en la parte práctica en lo que se refiere al funcionamiento de subestaciones eléctricas, la correcta ejecución de maniobras de operación y mantenimiento, así como los riesgos y peligros que conllevan la mala ejecución de estos procedimientos tanto en los equipos como en el personal operativo. Esta necesidad surge debido a la dificultad que tienen los estudiantes para visualizar el procedimiento para ejecutar las maniobras de operación y mantenimiento de una subestación. Los motivos de esta problemática son diversos entre ellos, la falta de herramientas para la simulación de protocolos de operación, la falta de apertura de las entidades del sector eléctrico para permitan a los estudiantes realizar prácticas profesionales e inclusive las cortas visitas técnicas en las que reciben una breve introducción en lo que se refiere a maniobras de operación de energización y desenergización o cuando se procede a realizar mantenimiento a la subestación.

#### **1.2. Antecedentes**

En la actualidad la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga no cuenta con un módulo de simulación para operación de subestaciones en la cual los estudiantes de Ingeniería Electromecánica puedan realizar prácticas que les permita fortalecer su comprensión en lo que respecta al estudio de elementos principales, principios de funcionamiento así como también protocolos y procedimientos de operación de una subestación eléctrica que garanticen la seguridad tanto de los equipos como la integridad del personal encargado de operar la subestación. Con el propósito de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje, se ve la necesidad de incorporar

un módulo didáctico de simulación, el cual ayude a fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes, así como también les permita desarrollar sus capacidades para su futura vida profesional.

### **1.3. Justificación e Importancia**

Actualmente no existe un módulo didáctico en el que el estudiante pueda realizar prácticas reales de maniobras de una subestación, por lo cual los estudiantes de ingeniería electromecánica tienen dificultades el reconocimiento de los principales elementos que la conforman y su funcionamiento, los protocolos de operación y mantenimiento de la subestación, y los procedimientos de corte y seccionamiento que se realizan en determinadas situaciones.

Para resolver esta problemática, es necesario que los estudiantes, como futuros profesionales comprendan la forma en que los operadores encargados del funcionamiento de una subestación cumplen con un protocolo de operación de maniobras de apertura o cierre de interruptores y seccionadores, de tal forma que el suministro de energía no se vea afectado y que garantice la seguridad del equipo y personal de mantenimiento que se encuentra trabajando en el sistema.

La implementación del módulo didáctico de una subestación eléctrica con esquema de barra principal y barra de transferencia tiene como finalidad que los estudiantes de Ingeniería Electromecánica reproduzcan una ejecución real de las maniobras de operación, y le permita reconocer el correcto funcionamiento de una subestación con esquema de barra principal y transferencia así como también sus principales componentes, para que de esta manera puedan fortalecer sus conocimientos en temas como alivio de carga y maniobras de operación de una subestación reconociendo los riesgos y peligros que conlleva la inadecuada coordinación y ejecución de maniobras las mismas que puedan ocasionar daños tanto a los equipos y al personal.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos General**

Implementar un módulo didáctico de una subestación con esquema de barra principal y transferencia mediante la programación lógica de operación para la simulación de protocolos y procedimientos de maniobras y mantenimiento.

### **1.4.2. Objetivos Específico**

- Realizar una investigación bibliográfica de una subestación con esquema de barra principal y transferencia, así como también identificar los elementos característicos técnicos y operativos.
- Establecer protocolos y procedimientos de maniobras de operación y mantenimiento de la subestación según diferentes condiciones de operación.
- Aplicar técnicas y herramientas necesarias de la dinámica computacional para la simulación de los protocolos de maniobras de operación y mantenimiento, acorde a las condiciones de operación en estado real.
- Implementar un módulo didáctico de una subestación con esquema de barra principal y transferencia, así como también una pantalla HMI para la visualización de las variables de dicho módulo para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes Investigativos

El presente trabajo de titulación propone la implementación de un módulo de subestaciones que los estudiantes puedan manipular para mejorar su comprensión en lo que compete al estudio de elementos principales, principios de funcionamiento y los protocolos y procedimientos de operación de una subestación eléctrica.

Existen trabajos de titulación que se basan en fundamentos y técnicas de diseño de subestaciones eléctricas aplicadas a la ingeniería, protocolos de maniobras de operación y mantenimiento a ejecutarse en una subestación que aportan fuentes de investigación para desarrollar este estudio.

En el trabajo realizado por los señores Osorio Patiño & Culma Ramírez a través de su “Manual para la Operación de Subestaciones Eléctricas con Niveles de Tensión 115 kV, 33 kV y 13,2 KV” presentan una descripción detallada de las configuraciones utilizadas para la construcción de subestaciones eléctricas, y establecen consignas operativas para llevar a cabo procedimientos lógicos en la maniobra de los equipos e instalaciones en general en una subestación eléctrica (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

El estudio realizado por los señores Brito Palomeque & Toapanta Usca en su proyecto de grado titulado “Análisis de los Procesos Operativos de Maniobras y su Impacto en los Procedimientos de Trabajo en las Subestaciones Pedro J. Montero y El Triunfo de la Corporación Nacional de Electricidad CNEP Regional Milagro” presenta un análisis de los procesos operativos de maniobras y control, en el cual manifiesta la correcta ejecución de las acciones y la efectiva toma de decisiones al momento de



ejecutar las maniobras de operación cuando se presenten fallas en la subestación permitiendo lograr un correcto desempeño de las funciones que realizará el Tablerista en su puesto de trabajo (Brito Palomeque & Toapanta Usca, 2014).

En la tesis realizada por el señor Jiménez Espinosa Juan titulada “Diseño y construcción del funcionamiento de un módulo didáctico de subestación de barra simple con transferencia para la visualización de variables eléctricas mediante sistema scada en el laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, periodo 2014” se considera la importancia de implementar módulos y equipos que permitan el estudio del funcionamiento de subestaciones eléctricas y la simulación de su operación sin el riesgo de operar altos voltajes (Jiménez Espinosa , 2016).

Para el señor Brantes Meza Rodrigo con su proyecto de titulación “Diseño y construcción de una maqueta que permita simular la operación de una subestación típica configurada en doble barra” la simulación de operaciones mediante módulos o maquetas que representen una subestación real se convierte en una valiosa herramienta didáctica que brinda la oportunidad de adquirir habilidades en los procedimientos de maniobras de corte y seccionamiento basadas en los fundamentos que se utilizan en la actualidad en las subestaciones configuradas en el SIN (Brantes Meza, 2008).

## **2.2. Fundamentación Teórica**

### **2.2.1. Subestación Eléctrica**

Una subestación eléctrica es un nodo de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), compuesto por un conjunto de equipos, estructuras y mecanismos, los mismos que cumplen funciones de dirección y distribución de bloques de energía eléctrica, por medio de equipos automáticos de corte, control y de protección; además sirven de punto de interconexión para facilitar la transmisión y distribución de energía eléctrica

garantizando flexibilidad, confiabilidad, seguridad, y modularidad al sistema nacional de transmisión (CELEC, 2016).

Entre los tipos más comunes de subestaciones se distinguen dos tipos:

- a. Las subestaciones de transformación, las cuales están destinadas a la transformación de energía utilizando uno o más transformadores (CELEC, 2016).
- b. Las subestaciones de maniobra que son las encargadas de la conexión de dos o más circuitos y realizar maniobras (CELEC, 2016).

### **2.2.2. Operación de una subestación**

Una subestación eléctrica opera en condiciones normales siempre y cuando durante el proceso de diseño se seleccione el equipo adecuado para la operación de la misma, es decir; en base a los diferentes eventos eléctricos que se presentan durante el proceso de operación, y lo más importante sin presentar en lo mínimo interrupciones en el servicio salvo que el caso lo amerite o por fuerza mayor (Castro Paspuel & Herrera Pozo , 2013).

### **2.2.3. Elementos básicos de una subestación**

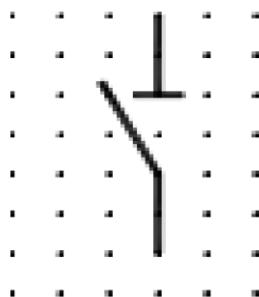
Entre los elementos de una subestación se encuentran:

#### **a. Seccionador unipolar**

Los seccionadores son dispositivos de maniobra que carece de poder de corte, su función es abrir o cerrar circuitos sin carga, o cuando no se produce cambio significativo de voltaje en los bornes de cada uno de sus polos (González Sancho, 2014).

**Figura 1**

*Símbolo gráfico de seccionador*



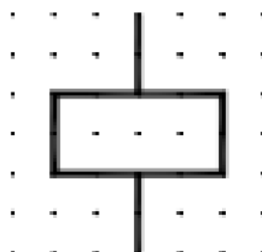
*Nota:* La figura representa el símbolo gráfico un seccionador unipolar. (IEC, 2014).

**b. Interruptor**

Los interruptores son dispositivos de corte con procedimiento de extinción de arco, su función principal es interrumpir la circulación de corriente eléctrica en un circuito. Siempre van acompañados de dos seccionadores, uno a cada uno de sus lados, para asegurar el corte de los circuitos de manera visible (González Sancho, 2014).

**Figura 2**

*Símbolo gráfico de interruptor*



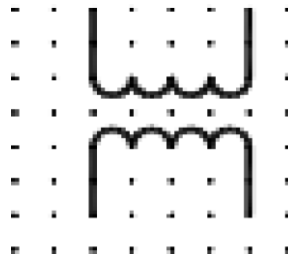
*Nota:* La figura representa el símbolo gráfico un interruptor. (IEC, 2014)

### c. Transformador de dos arrollamientos

Los transformadores son dispositivos eléctricos que tienen como función principal aumentar o disminuir los niveles de voltaje en un circuito eléctrico de corriente alterna, en el cual se mantiene la potencia (González Sancho, 2014).

#### Figura 3

*Símbolo gráfico del transformador*

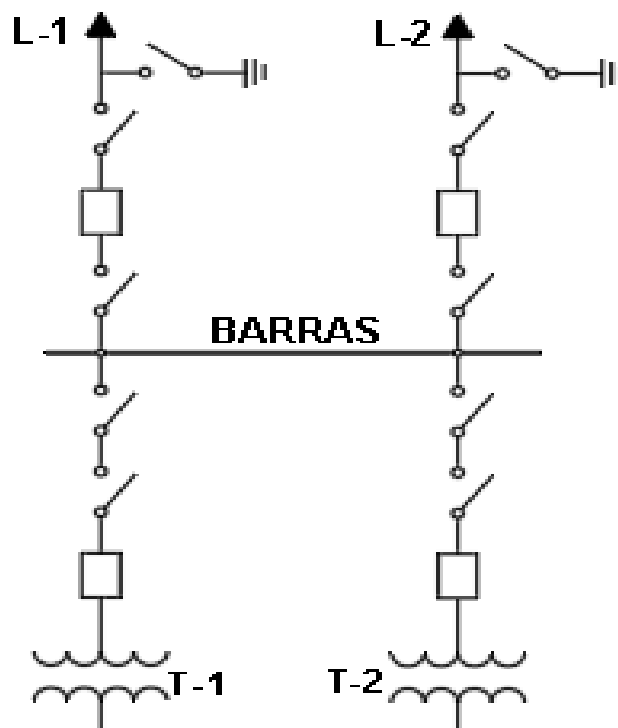


*Nota:* La figura representa el símbolo gráfico de un transformador. (IEC, 2014)

## 2.2.4. Configuraciones típicas de las subestaciones eléctricas

### a. Subestación eléctrica con barra simple o sencilla

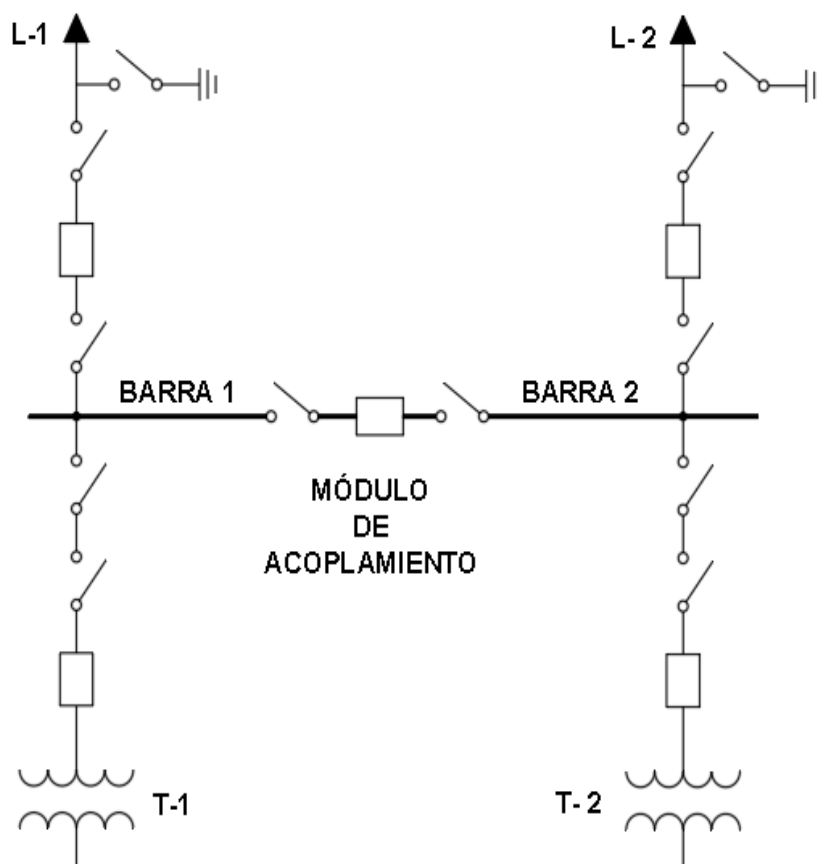
Son subestaciones que constan de una única barra para cada nivel de voltaje, por lo que no ofrecen flexibilidad, ya que al presentarse una falla en barras produce la salida total de la subestación, por este motivo se procura que tenga la posibilidad de ser accionadas a través de cuchillas. El mantenimiento de este tipo de subestaciones es difícil al no poder transferir el equipo, este tipo de configuración se utiliza principalmente en subestaciones de pequeña capacidad o de tipo industrial pequeña (Jiménez Espinosa , 2016).

**Figura 4***Esquema de Barra Simple*

*Nota:* Configuración de Subestación con esquema de barra simple. (González Sancho, 2014)

#### **b. Subestación eléctrica de barra simple partida**

La configuración de este tipo de subestación es semejante a la de barra simple. Su principal ventaja es que garantiza la continuidad del servicio eléctrico, debido a que esta posee dos secciones divididas mediante elementos de corte dejando fuera de servicio únicamente la sección donde se presenta averías. Esta configuración puede funcionar con dos fuentes diferentes de alimentación lo que facilita realizar trabajos de mantenimiento (González Sancho, 2014).

**Figura 5***Esquema de barra simple partida*

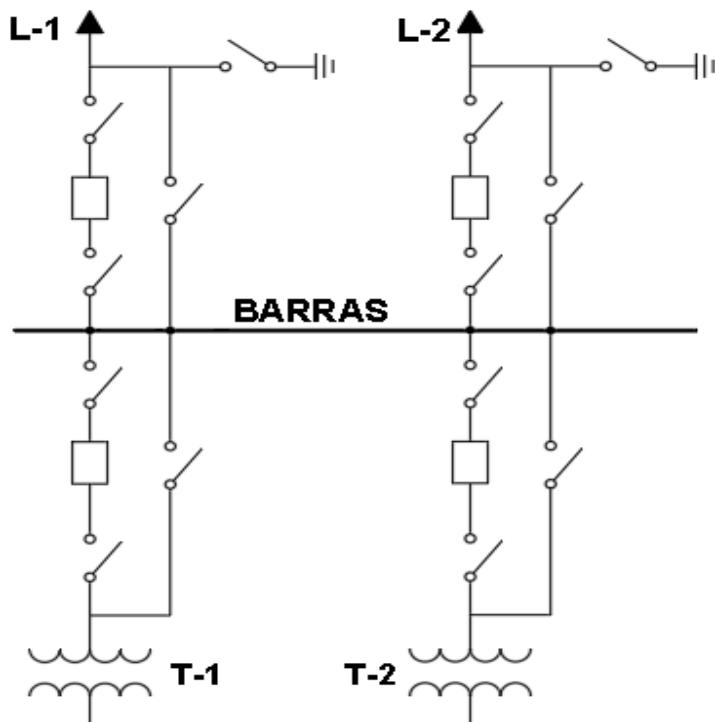
*Nota:* Configuración de Subestación con esquema de barra simple partida. (González Sancho, 2014).

### c. Subestación eléctrica de barra simple con bypass

En esta configuración se añade un elemento adicional, un seccionador por cada línea de derivación para evitar la pérdida del servicio cuando se requiera realizar trabajos de mantenimiento al interruptor de barra (González Sancho, 2014).

**Figura 6**

*Esquema de barra simple con bypass*



*Nota:* Configuración de Subestación con esquema de barra simple con bypass.

(González Sancho, 2014).

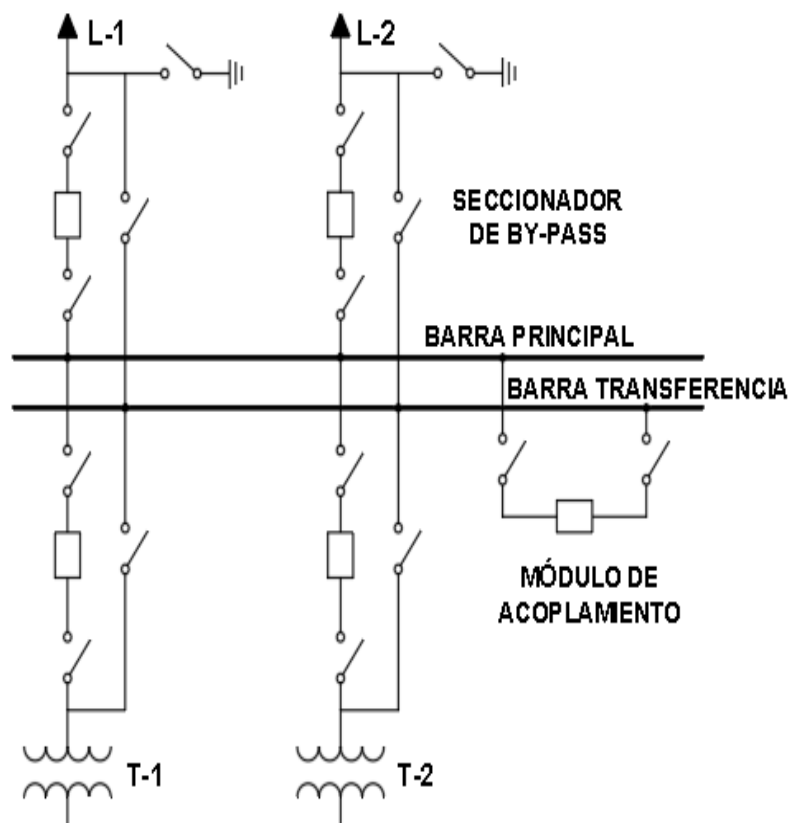
#### **d. Subestación eléctrica con barra principal y barra de transferencia**

Esta configuración consta de dos barras independientes, la barra principal y la barra de transferencia. Esta instalación está protegida a través del módulo de acoplamiento, el mismo que garantiza la continuidad del suministro eléctrico al presentarse algún tipo de falla o avería en la barra principal (Barrera Navas, 2016).

- Barra principal: se encuentra energizada para condiciones normales de funcionamiento
- Barra de transferencia: se encuentra conectada a todas las posiciones, sirve como alternativa de alimentación para cualquiera de las líneas o cuando se requiera realizar operaciones de mantenimiento en la barra.

**Figura 7**

*Esquema de barra principal y barra de transferencia*

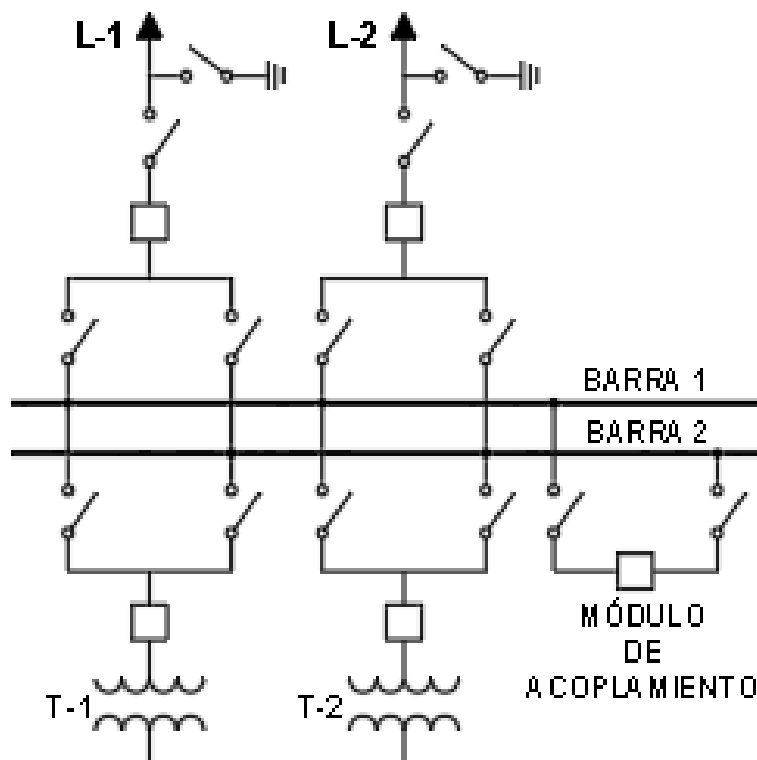


*Nota:* Configuración de Subestación eléctrica con esquema de barra principal con barra de transferencia. (González Sancho, 2014).

#### **e. Subestación eléctrica con doble barra**

Es una configuración flexible debido a que permite separar circuitos en cada una de las barras que conforman la subestación, además es un esquema confiable puesto que permite realizar tareas de mantenimiento sin interrumpir el servicio ya que cada barra tiene la capacidad total de la subestación y el esquema nos permite pasar de una barra a otra circuitos provenientes de una misma fuente sin la necesidad de hacer cruce de las líneas a la entrada de la subestación (Ramos Barrero, 2017).



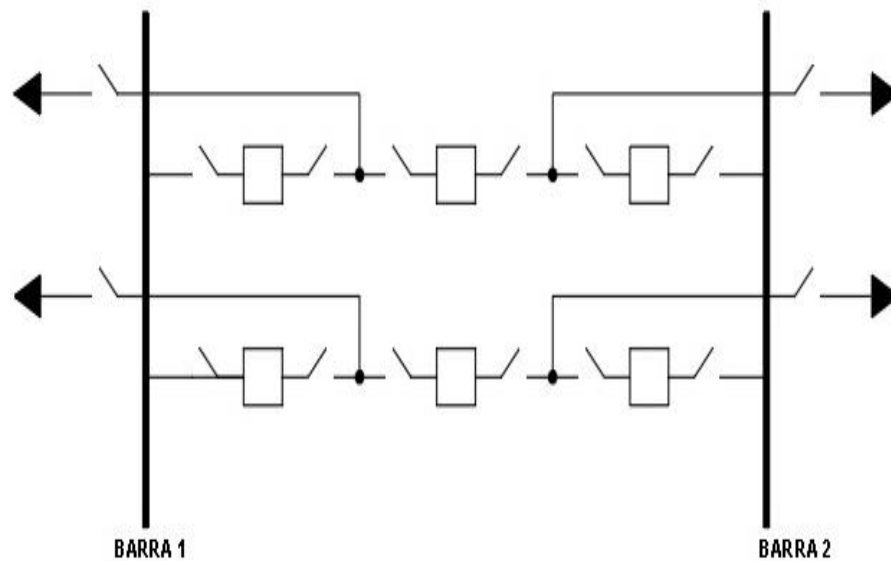
**Figura 8***Esquema de Doble barra*

*Nota:* Configuración de Subestación eléctrica con esquema de doble barra.

(González Sancho, 2014).

#### **f. Subestación eléctrica interruptor y medio**

Esta configuración consta de tres interruptores por cada dos salidas. La ventaja de este esquema es que permite realizar el mantenimiento a cualquier barra o interruptor sin interrumpir el servicio eléctrico y a su vez sin alterar el sistema de protección. La desventaja de esta configuración es su costo elevado y su compleja operación ya que no ofrece flexibilidad debido a que se opera con ambas barras energizadas y los interruptores cerrados. La protección y el reenganche se complican debido a que el interruptor intermedio debe trabajar con uno u otro de los circuitos asociados (Ramos Barrero, 2017).

**Figura 9***Esquema de Interruptor y medio*

*Nota:* Configuración de Subestación eléctrica con esquema de interruptor y medio.

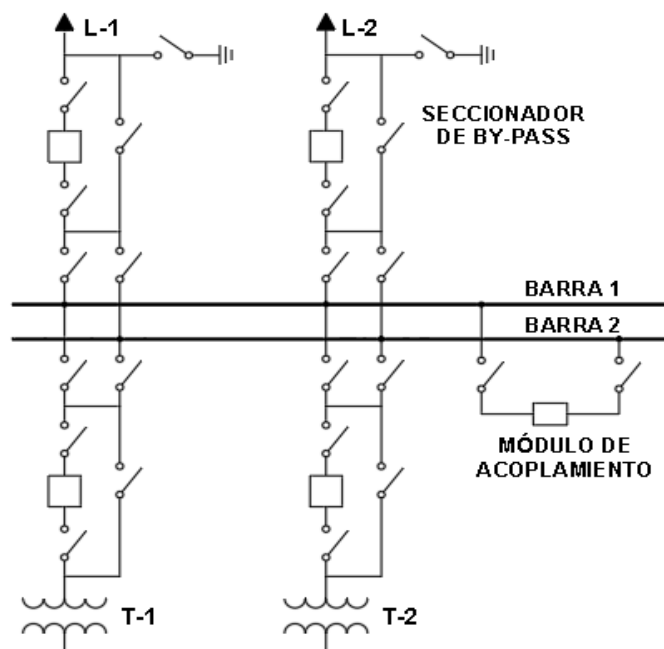
(Ramos Barrero, 2017).

#### **g. Subestación eléctrica doble barra y seccionador by-pass**

Esta configuración reúne las características del esquema de doble barra y de barra simple con barra de transferencia añadiendo a su configuración un seccionador by-pass al interruptor de cada salida. El costo de su instalación es muy elevado, puesto que requiere mayor número de equipo, presentando mayor riesgo de errores durante la operación de maniobras debido a la complejidad del mismo ( Mejía Villegas, 2003)

**Figura 10**

*Esquema de Doble barra y seccionador by-pass*



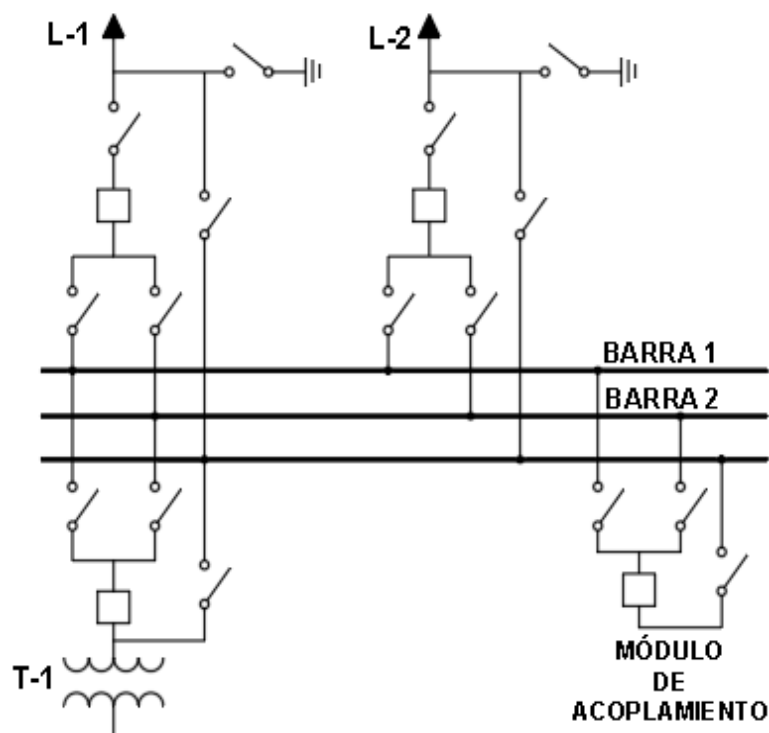
*Nota:* Configuración de Subestación eléctrica con esquema de doble barra y seccionador by-pass. (González Sancho, 2014).

#### **h. Subestación eléctrica doble barra y barra de transferencia**

En esta configuración existe un doble juego de barras con una barra de transferencia que normalmente utiliza dos interruptores para las funciones de acople y transferencia respectivamente, permitiendo, si es necesario, que las dos funciones se efectúen de manera simultánea. Sin embargo, al igual que la configuración anterior, presenta un costo elevado y gran complejidad en la operación de maniobras ( Mejía Villegas, 2003).

**Figura 11**

*Esquema de Doble barra y barra de transferencia*



*Nota:* Configuración de Subestación eléctrica con esquema de doble barra y barra de transferencia. (González Sancho, 2014).

### 2.2.5. Equipos de corte y seccionamiento

Los seccionadores y disyuntores son los principales equipos que se encuentran en las bahías de las subestaciones, operan de manera conjunta y realizan las maniobras principales de conexión y desconexión de la subestación.

#### a. Seccionador

El seccionador es un equipo que permite separar físicamente un circuito en dos, además permite aislar los equipos a los que se encuentra asociado. Este equipo debe ser operado sin carga y a su vez no puede abrir corrientes de cortocircuito. En las subestaciones se encuentran junto a los disyuntores o en los acoplamientos de tierra.

La operación de estos equipos puede ser de forma manual en la cual un operador realice las maniobras directamente en el equipo, o de forma motorizada en la que un operador ejecute las maniobras desde un Centro de Operación y Control. Según el código numérico para esquemas eléctricos los seccionadores de línea se designan con el número 89 (Brantes Meza, 2008).

#### **b. Disyuntor**

El disyuntor permite la apertura y reconexión de circuitos, este equipo se puede ser operado bajo carga, en condiciones normales o de corto circuito siendo capaces de trabajar bajo las siguientes condiciones (Brantes Meza, 2008):

- Desconexión normal
- Interrupción de corriente de falla
- Cierres con corriente de falla
- Interrupción de corrientes capacitivas
- Interrupción de corrientes inductivas de baja magnitud.
- Fallas de líneas corta
- Oposición de fase durante las salidas del sistema
- Recierres automáticos rápidos
- Cambios repentinos de corriente durante las operaciones de maniobra

Según el código numérico para esquemas eléctricos los disyuntores se designan con el número 52.

#### **2.2.6. Nomenclatura de los elementos de corte y seccionamiento**

En el país los equipos de corte y seccionamiento que conforman el Sistema Nacional Interconectado (SNI) tienen una nomenclatura determinada compuesta por 5 dígitos (Brantes Meza, 2008):

- Los 2 primeros determinan si se trata de un disyuntor (52) o un seccionador (89).
- El tercer dígito determina el nivel de voltaje del lugar en donde se encuentra instalado:

69 kV: (0)

138 kV: (1)

230 kV: (2)

Banco de capacitores: (7)

- El cuarto dígito o letra, indica la posición del equipo en la subestación  
1,2, 3....n para línea 1,2,3 o línea n.  
T, U, V..... para la posición del transformador.  
W, X para banco de capacitores.  
 $\varphi$  para la bahía de acoplamiento.
- El último dígito indica la función del equipo en la subestación:
  - 1: Seccionador de bahía cercano a la barra.
  - 3: Seccionador de bahía lejano a la barra.
  - 4: Seccionador de puesta a tierra de línea.
  - 5: Seccionador de by-pass.
  - 6: Seccionador de puesta a tierra de la barra 1.

### **2.2.7. Operación de Subestaciones**

Las operaciones propias en una subestación son los enclavamientos, los cuales permiten proteger a los equipos e instalaciones y a su vez evitar que se comprometa la seguridad del personal que realiza las maniobras.

Para las subestaciones del Sistema Nacional Interconectado, el organismo encargado para realiza las operaciones es el Centro de Operaciones de Transmisión, el

cual debe coordinar con anticipación al CENACE las maniobras a realizarse (Brantes Meza, 2008).

### **2.2.8. Operación de equipos**

Se debe estar informado del estado de todos los equipos de patio, líneas e instalaciones de la subestación, así como también del correcto funcionamiento de los servicios auxiliares de la misma de manera permanente. El técnico o personal responsable debe controlar que los equipos se encuentren operando dentro de sus márgenes normales o valores nominales de diseño, además de tomar precauciones oportunas y dar los avisos necesarios cada vez que sobrepasen los márgenes o límites establecidos. Ante cualquier dificultad o emergencia que se presente durante la operación de los equipos, se debe reaccionar de manera oportuna tomando la decisión más adecuada, reflexiva, correcta y segura y de acuerdo con las instrucciones impartidas desde el Centro de Control (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

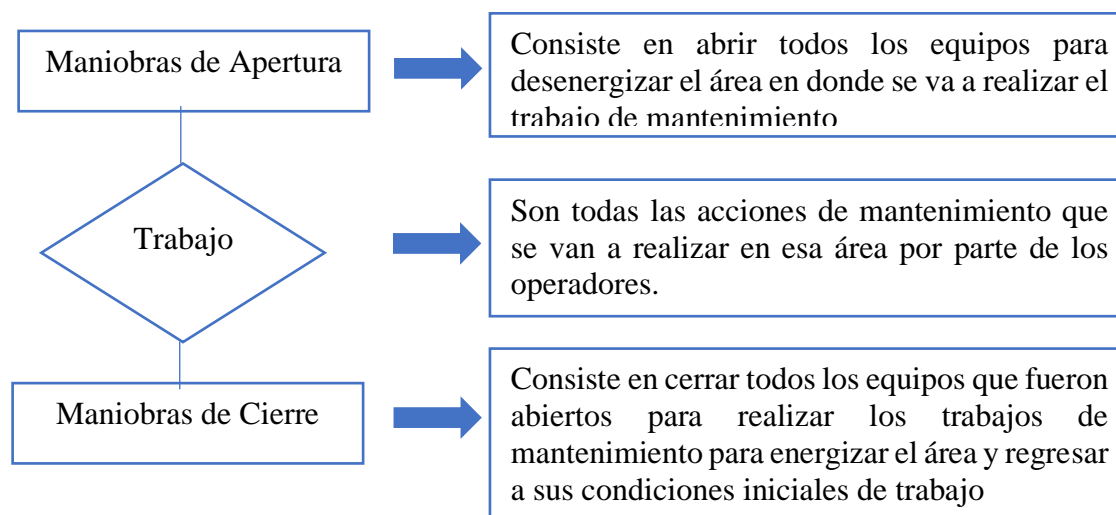
### **2.2.9. Enclavamientos**

Los enclavamientos eléctricos, mecánicos o neumáticos, son elementos que sirven para brindar protección a los equipos de la subestación y a su vez para los operadores que los maniobran garantizando una operación confiable y segura del sistema.

El enclavamiento básico consiste en evitar que los seccionadores operen cuando se encuentren bajo carga, a menos que exista un camino paralelo por el que pueda circular la corriente que evite que se produzca un arco eléctrico el mismo que provocaría la destrucción del equipo y su vez pondría en riesgo la seguridad del operador (Brantes Meza, 2008).

### 2.2.10. Secuencias de operación

Para determinar cuál es la secuencia de operación para realizar mantenimientos en la subestación, se debe seguir un protocolo de operación que consiste en:



Es necesario realizar un protocolo de seguridad que consiste en elaborar una ficha de maniobras en donde se describen las maniobras de apertura y cierre así como también los trabajos de mantenimiento que se van a realizar en esa área, el cual será enviado previamente a los organismos pertinentes para a aprobación del mismo, posteriormente el día que se realicen los trabajos de mantenimiento abra una coordinación entre los encargados del trabajo y el centro de control de dicha subestación los mismos que irán ejecutando y revisando las maniobras de apertura y cierre simultáneamente para evitar contratiempos en el trabajo.



## 2.2.11. Secuencias requeridas para la operación en líneas

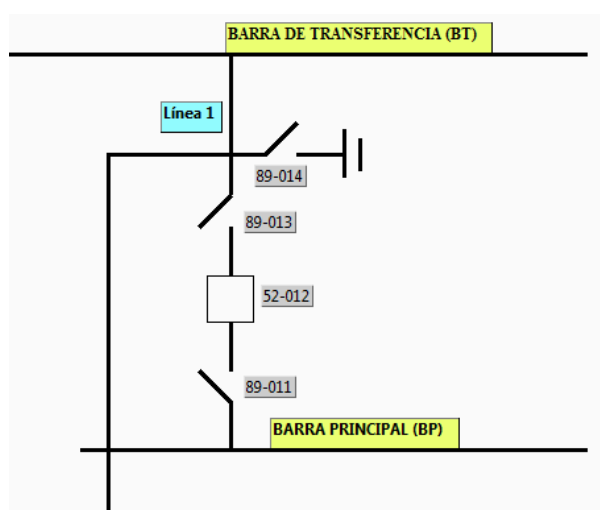
### a. Maniobras de energización de una línea desde una de las barras

Estos procedimientos consisten en poner bajo tensión una o más líneas desde cualquiera de sus extremos, para lo cual debe cumplir los siguientes requisitos (Jaramillo, 1987):

- Los seccionadores y disyuntores de la línea deben estar abiertos
- Los seccionadores de puesta a tierra en todos sus extremos deben estar abiertos (89-034).

### Figura 12

*Energización de una línea*



*Nota:* Esta figura muestra los elementos de corte y seccionamiento que intervienen en las maniobras para energizar una línea desde la barra principal o desde la barra de transferencia.

Para energizar la de la línea se debe comenzar cerrando los seccionadores y posteriormente los disyuntores con esta consideración la secuencia de operación es:

- Abrir el seccionador de puesta a tierra de la línea a energizar (89-034).

- Cerrar los seccionadores que se encuentran a los lados del disyuntor. pertenecientes a la línea la cual se va a energizar (89-033 y 89-031).
- Cerrar el disyuntor de la línea a energizar (52-032).

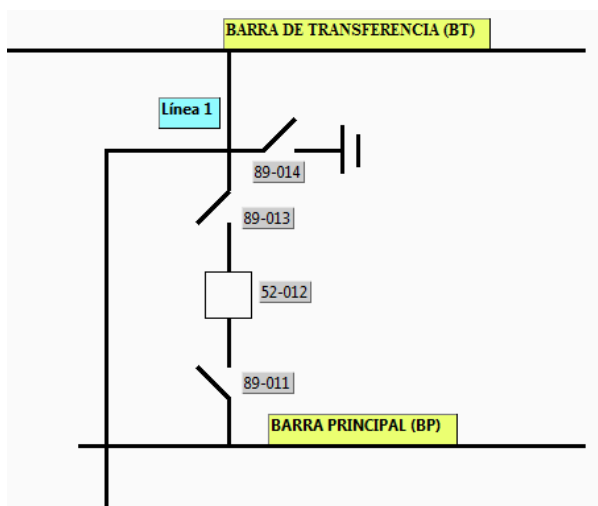
#### b. Maniobras de desconexión de una línea desde una de las barras

A diario el Sistema Nacional Interconectado (SNI) presenta variaciones en las demandas de las distintas subestaciones que lo conforman por lo cual se realizan maniobras de alivio de carga para estabilizar el SNI, el alivio de carga consiste en desconectar algunos circuitos de las barras, para proceder a la desconexión de una línea se deben cumplir el siguiente requisito:

- La línea debe encontrarse energizada desde la barra.

#### Figura 13

*Desconexión de una línea*



*Nota:* Esta figura muestra los elementos de corte y seccionamiento que intervienen en las maniobras para desconexión de una línea.

Para desenergizar la línea se debe comenzar cerrando los disyuntores y posteriormente los seccionadores con esta consideración la secuencia de operación es:

- Abrir el disyuntor de la línea a desconectar (52-032).
- Abrir los seccionadores que se encuentran a los lados del disyuntor pertenecientes a la línea a la cual se va a desconectar (89-033 y 89-031).
- Cerrar el seccionador de puesta a tierra de la línea a desconectar (89-034).

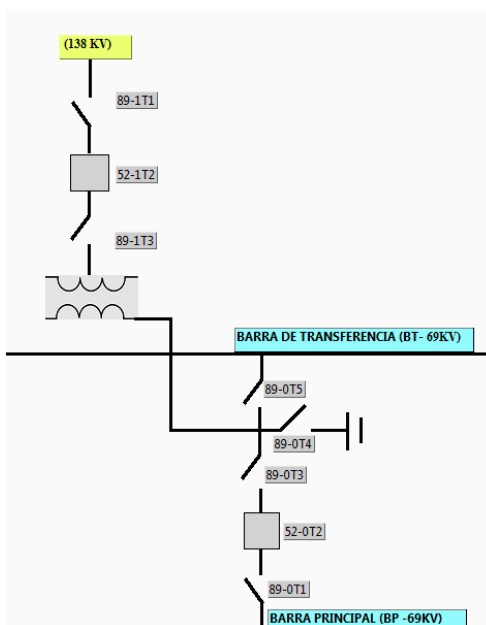
## 2.2.12. Secuencia de maniobras para transformadores del SNT.

### a. Maniobras de desconectar un transformador

Para realizar cualquier tipo de trabajo especialmente de mantenimiento exclusivamente en el transformador se debe desconectar tanto el lado de alto como bajo voltaje para evitar que el transformador quede energizado de alguno de estos lados y que pueda comprometer la seguridad del personal que se encuentre a cargo del mantenimiento del mismo.

#### Figura 14

*Elementos para la desconexión del transformador*



*Nota:* Esta figura muestra los elementos de corte y seccionamiento que intervienen en las maniobras para desconectar el transformador.

Con estas condiciones previas la secuencia de operación es:

- Abrir el disyuntor perteneciente al lado de bajo voltaje (69KV) del transformador al cual se va a desenergizar (52-0T2).
- Abrir los seccionadores correspondientes al lado de bajo voltaje (69KV) del transformador al cual se va a desenergizar (89-0T1 y 89-0T3).
- Cerrar el seccionador de puesta a tierra de la barra principal (BP) (89-0T4).
- Abrir el seccionador de la barra principal (BP) 89-0T5.
- Abrir el disyuntor perteneciente al lado de alto voltaje (138KV) del transformador al cual se va a desenergizar (52-1T2).
- Abrir los seccionadores correspondientes al lado de alto voltaje (138KV) del transformador al cual se va a desenergizar (89-1T1 y 89-1T3).

#### **b. Maniobras de cierre de un transformador**

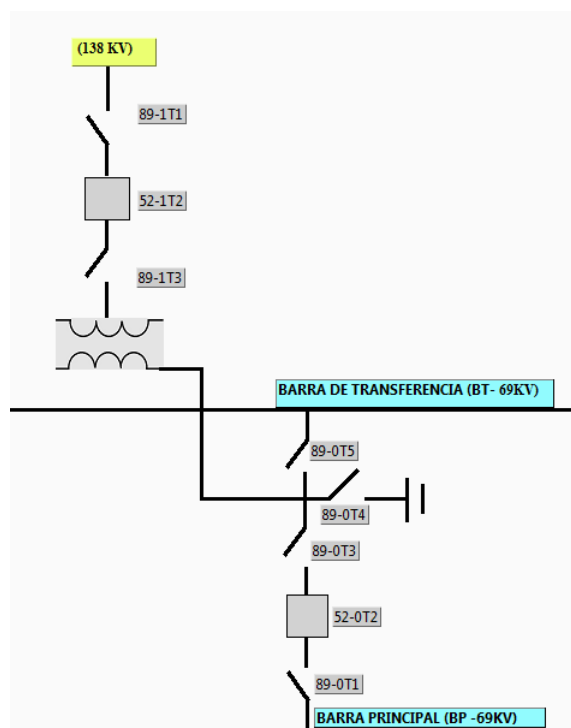
Un transformador normalmente no se energiza en vacío, es decir debe energizarse con cierta carga y con un circuito conectado (Jaramillo, 1987).

Condiciones previas:

- Los seccionadores y disyuntores de la línea deben estar abiertos tanto en el lado de alto como bajo voltaje.
- Los seccionadores de puesta a tierra en todos sus extremos deben estar abiertos (89-034).

**Figura 15**

*Maniobras de cierre de un transformador*



*Nota:* Esta figura muestra los elementos de corte y seccionamiento que intervienen en las maniobras para conectar un transformador.

La secuencia de operación es:

- Cerrar los seccionadores correspondientes al lado de alto voltaje (138KV) del transformador a ser energizado (89-1T1 y 89-1T3).
- Cerrar el disyuntor perteneciente al lado de alto voltaje (138KV) del transformador al cual se va a energizar (52-1T2).
- Cerrar el seccionador de la barra principal (BP) 89-OT5.
- Abrir el seccionador de puesta a tierra de la barra principal (BP) (89-OT4).
- Cerrar los seccionadores correspondientes al lado de bajo voltaje (69KV) del transformador al cual se va a energizar (89-OT1 y 89-OT3).

- Cerrar el disyuntor perteneciente al lado de bajo voltaje (69KV) del transformador al cual se va a energizar (52-0T2).

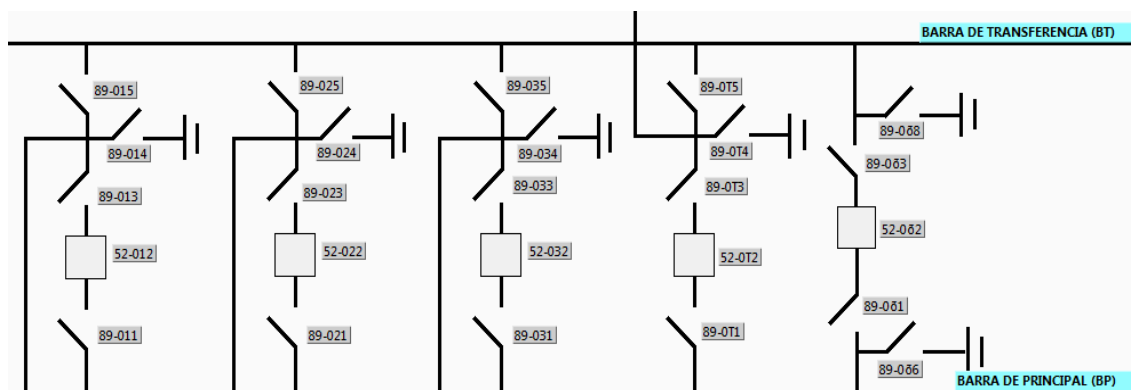
### 2.2.13. Secuencias requeridas para la operación de la barra de transferencia.

La barra de transferencia sirve para alimentar a todas las líneas que pertenecen a la subestación cuando se requiere realizar mantenimiento en la barra principal con la finalidad de no suspender la continuidad del servicio eléctrico.

#### c. Activación de la barra de transferencia

**Figura 16**

*Elementos de corte y seccionamiento para barra de transferencia*



*Nota:* Esta figura muestra los elementos de corte y seccionamiento que intervienen en las maniobras para la activación de la barra de transferencia

La secuencia de operación es:

- Abrir el seccionador de puesta a tierra correspondiente a la barra de transferencia 89-088.
- Cerrar el seccionador 89-083 y 89-081.
- Cerrar el disyuntor 52-082.
- Cerrar el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 1(89-015).
- Abrir el disyuntor correspondiente a la línea 1 (52-012).

- Abrir los seccionadores correspondientes a la línea 1 (89-013 y 89-011).
- Cerrar el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 2 (89-025).
- Abrir el disyuntor correspondiente a la línea 2 (52-022).
- Abrir los seccionadores correspondientes a la línea 2 (89-023 y 89-021).
- Cerrar el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 3 (89-035).
- Abrir el disyuntor correspondiente a la línea 3 (52-032).
- Abrir los seccionadores correspondientes a la línea 3 (89-033 y 89-031).
- Cerrar el seccionador (89-0T5).
- Abrir el disyuntor 52-0T2.
- Abrir los seccionadores 89-0T3 y 89-0T1.
- Abrir el disyuntor correspondiente a la barra de transferencia 52-0đ2
- Abrir los seccionadores correspondientes a la barra de transferencia 89-0đ3 y 89-0đ4
- Cerrar el seccionador de puesta a tierra 89-0đ6.

**d. Desactivación de la barra de transferencia**

La secuencia de operación es:

- Abrir el seccionador de puesta a tierra 89-0đ6
- Cerrar los seccionadores correspondientes a la barra de transferencia 89-0đ3 y 89-0đ1
- Cerrar el disyuntor correspondiente a la barra de transferencia (52-0đ2).
- Cerrar los seccionadores de la línea 1 (89-011 y 89-013).
- Cerrar el disyuntor de la línea 1 (52-012).

- Abrir el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 1(89-015).
- Cerrar los seccionadores correspondientes a la línea 2 (89-023 y 89-021).
- Cerrar el disyuntor correspondiente a la línea 2 (52-022).
- Abrir el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 2 (89-025).
- Cerrar los seccionadores de la línea 3 (89-033 y 89-031).
- Cerrar el disyuntor correspondiente a la línea 3 (52-032).
- Abrir el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente a la línea 3 (89-035).
- Cerrar los seccionadores correspondientes al transformador en el lado de alto voltaje 89-0T3-89-0T1.
- Cerrar el disyuntor correspondiente al transformador en el lado de alto voltaje 52-0T2
- Abrir el seccionador selector de la barra de transferencia correspondiente al lado de bajo voltaje del transformador 89-0T5
- Abrir el disyuntor correspondiente a la barra de transferencia 52-0đ2
- Abrir los seccionadores correspondientes a la barra de transferencia 89-0đ3 y 89-0đ1
- Cerrar el seccionador de puesta a tierra 89-0đ8.

Cabe mencionar que el CENACE como principal entidad del sistema eléctrico en el país coordinará con el operador del Centro de Operaciones de Transmisión COT las secuencias de maniobras de operación de apertura y cierre a ser ejecutadas tanto en líneas, barras, transformadores, luego de adecuar las condiciones operativas del Sistema Nacional Interconectado SNI (ARCONEL, 2000).



### **2.2.14. Poner o retirar puestas a tierra en líneas y equipos**

Las maniobras de puesta a tierra consisten en conectar o desconectar equipos de corte, seccionamiento y demás a la malla a tierra de la subestación. Antes de realizar estas maniobras el personal a cargo debe tener en cuenta las siguientes consideraciones (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017):

- Llevar equipos de seguridad como guantes, botas dieléctricas, medidor de voltaje, etc.
- Verificar que la bahía se encuentre completamente desenergizada, es decir que los interruptores y seccionadores se encuentren abiertos.
- Al realizar mantenimiento en interruptores o transformadores, se debe verificar que los seccionadores asociados a dichos equipos se encuentren en posición abierta.
- Comprobar que no exista voltaje en la línea en la cual se va a trabajar. Si la línea es de transmisión, puede estar energizada desde su otro extremo, este procedimiento puede ser verificada por el Centro de Control.

En las subestaciones se realiza este procedimiento de dos formas diferentes:

#### **a. Puesta a tierra por medio de tierra temporal (equipos)**

Consiste en conectar un cable a la malla a tierra, del cual que se derivan tres más. Cada uno de los extremos de las derivaciones tiene una pinza, la misma que es conectada a la fase respectiva del equipo. Estos equipos son seccionadores, interruptores y transformadores (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

#### **b. Puesta a tierra de la bahía de línea por medio de seccionador (líneas)**

Se realiza desde el nivel cero, es decir desde patio y consiste en cerrar el seccionador a tierra, que se encuentra en el seccionador de línea. La posición del

seccionador se observa por medio del sistema SCADA de la subestación (Osorio Patiño & Culma Ramírez, 2017).

### 2.2.15. Pantalla HMI

El HMI (Human Machine Interface) permite la interacción entre la persona y la máquina mediante hardware y software que permiten que las acciones del operario se conviertan en acciones para la máquina. Este sistema es utilizado en la automatización de procesos industriales y de fabricación.

Las principales ventajas de implementar un HMI es que permite al operador la comunicación, visualización, supervisión y actualización de datos en tiempo real permitiendo mejorar la eficiencia, fiabilidad y productividad de cualquier proceso industrial (ACESA, 2011).

#### Figura 17

*Pantalla HMI Kinco GL070E*



*Nota:* Esta figura muestra un ejemplo de interfaz gráfica que se puede observar en una pantalla Kinco HMI modelo GL070E (SLICETEX ELECTRONICS, 2009).

### 2.2.16. Elementos y protocolos de comunicación HMI-Arduino

#### a. Shield Ethernet

Shield Ethernet permite a un controlador Arduino conectarse a redes TCP/IP para el control y envío de datos a cualquier dispositivo que esté conectado a Internet o a

una Red de Área local (LAN). Este módulo es muy útil para diferentes aplicaciones como la domótica, control de sensores, dataloggers entre otras aplicaciones que empleen protocolos TCP/IP ( Geek Factory, 2013).

### **Figura 18**

*Arduino Shield Ethernet*



*Nota:* Esta figura muestra la placa Arduino Shield Ethernet utilizada para comunicación TCP/IP ( Geek Factory, 2013).

### **b. Protocolo MODBUS**

Modbus es un protocolo industrial utilizado en la automatización industrial, tiene como función principal permitir la comunicación entre diferentes equipos como: servidores SCADA, HMI, PLC, entre otros que se encuentren conectados a una red ( Defas & Guzmán, 2017).

Modbus utiliza una relación maestro-esclavo esta comunicación siempre se produce en pares, es decir un dispositivo inicia una solicitud y luego espera una respuesta, generalmente el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA mientras el esclavo es un sensor, controlador lógico programable (PLC), o controlador de automatización programable (PAC) (EngineerAmbitiously, 2019).

Este protocolo presenta dos alternativas para la transmisión de datos que son:

- **Protocolo Modbus RTU (Remote Terminal Unit):** Facilita la comunicación maestro/esclavo entre los dispositivos conectados a diferentes tipos redes. Este protocolo Modbus utiliza como medio de transmisión una línea serie con RS-232, RS-485 o una interfaz física similar. Su ventaja es su mayor densidad de caracteres permite un mejor rendimiento de datos que el modo ASCII para la misma velocidad de transmisión ( López & Mora, 2017).
- **Protocolo Modbus TCP/IP:** Facilita un conjunto de funciones para leer y escribir datos en los dispositivos conectados a una red, soportando transferencias de datos bit o word. Modbus TCP/IP utiliza Ethernet como medio de transmisión de datos para aplicaciones de automatización, la ventaja de este protocolo Modbus es que permite el encapsulamiento del Modbus serie en tramas Ethernet TCP/IP de forma sencilla ( López & Mora, 2017).

### 2.2.17. Software libre

Un programa es software libre cuando le permite al usuario el estudio, distribución, modificación, copia y uso del software sin la necesidad de obtener permisos del desarrollador original. Para que un programa sea considerado software libre el usuario debe tener las cuatro libertades esenciales:

- **Libertad 0:** Libertad de ejecutar el programa como el usuario requiera.
- **Libertad 1:** Libertad de estudiar el programa y modificarlo de acuerdo a sus necesidades.
- **Libertad 2:** Libertad de redistribuir copias.
- **Libertad 3:** Libertad de modificar y mejorar el programa y distribuir las copias con o sin mejoras.

El software Arduino es software libre porque se publica con una combinación de licencia GLP (General Public License) y LGPL (Lesser General Public License) que

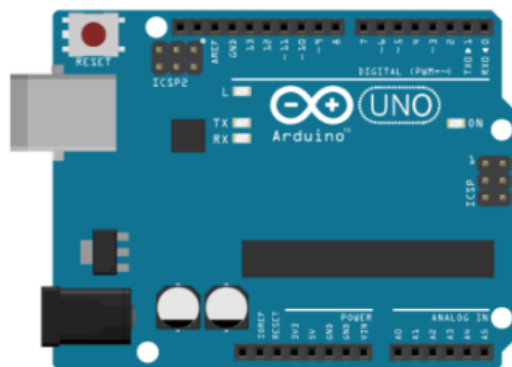
permite que cualquier persona pueda formar parte del desarrollador del software Arduino (Torrente Artero, 2013).

### 2.2.18. Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo electrónica abierta, basada en una placa con microcontrolador reprogramable que permite la creación de prototipos en software y hardware flexibles y fáciles de utilizar. Su lenguaje de programación es de fácil comprensión ya que está basado en C++ permitiéndole a cualquier tipo de usuario la creación de prototipos, entornos u objetos interactivos a proyectos multidisciplinarios y multitecnología, además posee un entorno de programación multiplataforma lo cual le permite ser instalado y ejecutado en sistemas operativos como Windows, Mac OS y Linux (Arduino, 2019).

#### Figura 19

*Placa Arduino*



*Nota:* Esta figura muestra las entradas y salidas de la placa Arduino (Arduino, 2019)

La placa Arduino es libre y extensible, lo cual permite la incorporación de hardware adicional, permitiéndole adaptarse a cualquier necesidad del prototipo a desarrollarse.

### a. Comunicación serial con Arduino

La comunicación serial con Arduino permite la comunicación de la placa con un ordenador u otro dispositivo electrónico por medio de un puerto serial que consiste en el envío de información mediante una secuencia de bits donde se transmite bit a bit, es decir uno por vez, aunque la comunicación es lenta puede ser transmitida a mayores distancias y utilizando menos líneas de comunicación ( Castaño Giraldo, 2019).



Esta comunicación requiere 3 líneas que son:

- Línea de Transmisión de datos (TX).
- Línea de recepción de datos (RX).
- Línea común o tierra (GND).

En la siguiente tabla se muestran los pines de conexión para la comunicación serial según el tipo de controlador.

**Tabla 1**

*Pines de conexión serial según el tipo de controlador*

Controlador Arduino	Placa	Pines seriales
Uno, Mini, Nano		Serial RX(0) y TX(1)
Mega		Serial RX(0) y TX(1) Serial 1 RX(10) y TX(11) Serial 2 RX(17) y TX(16) Serial 2 RX(15) y TX(14)

*Nota:* Los datos obtenidos de los pines seriales de controlador Arduino fueron obtenidos de ( Castaño Giraldo, 2019).

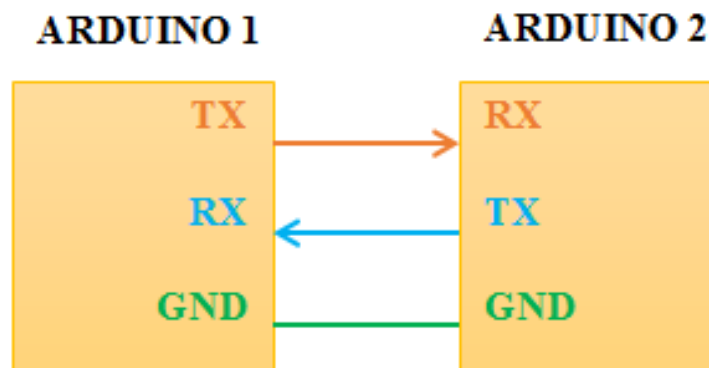
### a. Conexiones serie en Arduino

En la mayoría de Arduinos se encuentra 2 tipos de conexión serie para comunicación que son :

- **Pines de transmisión serie:** Estos pines dependen del modelo de arduino que se disponga por ejemplo en el arduino UNO los pines son 0 (RX) para recibir datos y 1 (TX) para transmitirlos. Este tipo de conexión se emplea para conectar 2 arduinos de manera cruzada es decir (RX) del primer arduino con (TX) del segundo arduino y viceversa para que trabajen en paralelo, esta conexión también permite conectar un arduino con cualquier otro dispositivo que también se comunique con este protocolo ( Martínez, 2015).

**Figura 20**

*Comunicación serial por pines de transmisión serie*

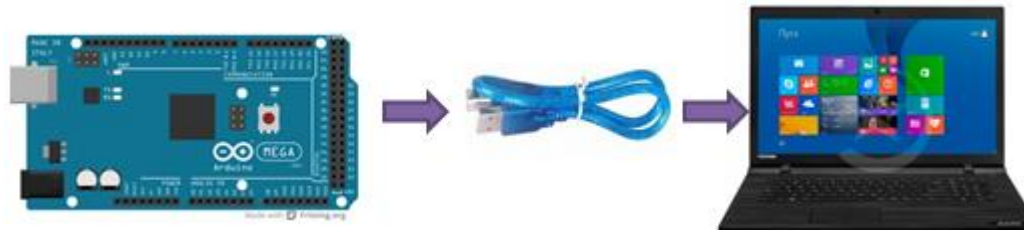


*Nota:* Esta figura muestra los pines de los Arduinos utilizados para la transmisión serial.

- **Puertos USB(Universal Serial Bus):** Estos puertos al trabajar con protocolo serial son utilizados para conectar un arduino directamente a un ordenador (PC) en el cual se programan diferentes ordenes para automatizar procesos que posteriormente serán enviados a la placa arduino por medio del puerto USB o incluso recibir información importante de las variables para mostrarlas en la pantalla del ordenador ( Martínez, 2015).

**Figura 21**

*Comunicación serial por puertos USB*



*Nota:* Se muestran los componentes que intervienen para la comunicación serial entre una placa Arduino y un computador.

### **b. Instrucciones importantes para la comunicación serial**

Las funciones más importantes para manejar el puerto serie son:

- **Serial.begin ():** Establece la velocidad para la transmisión de datos en serie, la cual puede tomar valores desde 300 hasta 2000000 pero normalmente se trabaja con una velocidad de 9600 baudios (bits por segundo) (Quispe, 2019).
- **Serial.read():** Permite recibir y leer datos seriales en los pines especificados (Quispe, 2019).
- **Serial.available():** Permite comprobar si existen datos en espera para ser leídos, de no ser así devuelve un 0, al combinar esta instrucción con la condición *if* se puede determinar cuándo leer o no un dato (Quispe, 2019).
- **Serial.write():** Permite escribir datos en binario en el puerto serie. El dato es enviado como un byte o conjunto de bytes (Arduino, 2019).
- **Serial.print():** Permite imprimir datos en el puerto serie como códigos ASCII aunque también puede emplearse otros formatos. Los números y flotadores se imprimen empleando para cada dígito un carácter ASCII, los bytes se envían como un solo carácter, mientras que los caracteres y las cadenas se envían tal cual (Arduino, 2019).



- **pinMode(pin, mode):**Permite configurar el modo de trabajo de un PIN pudiendo ser INPUT (entrada) u OUTPUT (salida) ( Ruiz Gutiérrez , 2007)
- **digitalRead(Pin):**Permite leer el valor de un pin dando como resultado HIGH (alto) o LOW (bajo) según sea el estado del pin leído ( Ruiz Gutiérrez , 2007).
- **digitalWrite(pin, value):**Permite enviar a un 'pin' definido como salida el valor HIGH o LOW (poniendo en 1 o 0 la salida) ( Ruiz Gutiérrez , 2007).
- **SerialEvent ():** Esta función se denomina "dentro del bucle ()" y permite que mientras existan datos seriales en el búfer, cada carácter encontrado se agrega a una cadena hasta encontrar una nueva línea (Arduino, 2019).

### c. Codificación utilizada en Arduino

Los dispositivos electrónicos como es el caso de la placa Arduino usan números para representar letras y números en bytes. Para ello se emplea el código ASCII el cual es utilizado en la mayoría de los dispositivos como parte de su protocolo de comunicaciones serie, sin embargo, también se pueden emplear códigos binarios, hexadecimal, octal, etc. ( Ruiz Gutiérrez , 2007).

## 2.3. Fundamentación Legal

### 2.3.1. Procedimientos de Despacho y Operación (Regulación No. CONELEC 006/00)

Según la regulación del CONELEC 006/00 las maniobras son un conjunto de decisiones de control que ordena el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), las mismas que influyen en el comportamiento del Sistema Nacional Interconectado (SNI). La toma de decisiones de control necesita de un proceso de información, diagnóstico y coordinación, en los diferentes niveles de control, así como también en la estructura total, con la finalidad de que el suministro eléctrico, en lo posible, presente las mejores condiciones de seguridad, calidad y economía. Este proceso integrado de control necesita adicionalmente el establecimiento de procedimientos perfectamente

definidos, que regulen las actividades de información y coordinación, para de este modo garantizar la operación eficiente del SNI, en la cual está presente la seguridad del personal y de las instalaciones (ARCONEL, 2000).

La configuración de barras en el SNI es la siguiente:

- Las Subestaciones de 230 kV consta de 2 barras, las cuales se encuentran normalmente energizadas mediante el acoplador de 230 kV. La nomenclatura es B1 y B2.
- Las Subestaciones de 138 kV y 69 kV, operan normalmente con la barra principal (BP) que es operada normalmente energizada y la barra de transferencia (BT) que se encuentra normalmente desenergizada y es operada para fines de transferencia (ARCONEL, 2000).

### **2.3.2. Normas Generales del CENACE**

Entre las normas generales más importantes proporcionadas por la regulación 006/00 del CONELEC se encuentran las siguientes (ARCONEL, 2000):

- El CENACE es la única entidad autorizada para ordenar cualquier tipo de maniobra en el Sistema Nacional Interconectado (SNI).
- El Centro de Operaciones de Transmisión (COT), antes de ejecutar cualquier tipo de maniobra, tendrá que coordinar anticipadamente con el CENACE.
- El personal operador de subestaciones y centrales de generación tendrán que estar capacitados y calificados para la manipulación de los equipos que se encuentren a su cargo.
- Las maniobras que se realicen en remoto por parte del personal del COT o de los Centros de Operación, harán las veces de operador de subestación asumiendo la responsabilidad que esto involucra.

- El operador del COT que requiera realizar una maniobra en remoto, comunicará la razón de las maniobras al operador de la instalación correspondiente. En el caso de que se requieran realizar maniobras complicadas, el operador del COT tendrá que ser supervisado paso a paso.
- Los Centros de Operación de Distribuidores realizarán las maniobras en los equipos de distribución bajo su cobertura, previa coordinación con el CENACE.

#### **2.4. Sistema de Variables**

**Variable Independiente:** Implementar un módulo didáctico de simulación de una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia.

**Variable Dependiente:** Validación de procedimientos en base a protocolos para operación y mantenimiento.

#### **2.5. Hipótesis**

Mediante la implementación de un módulo didáctico de una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia se podrá ejecutar protocolos para procedimientos de maniobras de operación y mantenimiento de una subestación en la que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica puedan realizar prácticas de laboratorio.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Modalidad de la Investigación**

La modalidad de investigación del presente trabajo de titulación se orienta en la estructura y características fundamentales para el desarrollo de proyectos, de tal forma que se obtenga un procedimiento sistemático de técnicas y pasos adecuados para la elaboración del mismo. Por tal motivo se adopta investigación bibliográfica, investigación experimental, e investigación deductivo-inductiva, para el desarrollo del presente proyecto.

##### **3.1.1. Método Documental Bibliográfico**

El presente trabajo de titulación inicia con la recopilación de fundamentos teóricos y conceptuales mediante la indagación en libros de ingeniería, artículos científico, páginas web, artículo académicos, repositorios institucionales académicos, documentos legales como Reguciones publicados por entidades oficiales y referentes al presente tema de titulación, que permitirán obtener información fundamental de los distintos procedimientos operativos para las maniobras de operación y mantenimiento que se ejecutan en los equipos de potencia de una subestación para posteriormente ser implementado en un módulo didáctico para la simulación de dichos procedimientos.

##### **3.1.2. Método Experimental**

Con el método experimental iniciamos analizando las posibles soluciones al problema de comunicación entre el controlador y la pantalla HMI, posteriormente se utilizó este método en el manejo de las variables que conforman el módulo, empleando protocolos de comunicación , Modbus TCP/IP, Ethernet entre el HMI y el controlador

Arduino mediante el Software Kinco Dtools así como también en la conexión en serie de dos Arduinos con sus respectivas librerías para la comunicación de los mismos actuando el uno como Maestro y el otro como Esclavo en la implementación del proyecto.

### **3.1.3. Método Inductivo-Deductivo**

Mediante este método se realiza la programación de los protocolos de maniobras de operación y mantenimiento de una subestación con esquema de barra principal y transferencia, con una interfaz gráfica amigable que le permita al usuario visualizar y monitorear el correcto funcionamiento de la subestación en tiempo real.

## **3.2. Tipo de Investigación**

### **3.2.1. Investigación Cuantitativa**

Para realizar este tipo de investigación se emplean variables medibles, en el presente trabajo de titulación se utilizó los valores de corriente y voltaje obtenidos del transformador del módulo didáctico, los mismos que serán acondicionados mediante la programación del controlador Arduino para su posterior visualización en la pantalla HMI y su respectivo análisis.

### **3.3. Diseño de la Investigación**

El trabajo de investigación tiene como objetivo analizar y comprender cómo se realizan los procedimientos de maniobra y operación de una subestación de barra principal y barra de transferencia, así como también visualizar e interpretar los voltajes y corrientes generadas en el transformador, y a su vez monitorear todos los procesos que se ejecutan en tiempo real mediante la pantalla HMI.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información**

Para el desarrollo del trabajo investigativo se han utilizado varias técnicas e instrumentos para la obtención de información de fuentes oficiales que contengan información real y actualizada referente a la investigación.

A su vez se utilizará como parte del instrumento de trabajo de investigación, la necesidad de los estudiantes de reforzar sus conocimientos en el aprendizaje de operación de subestaciones como parte de instrumento del trabajo de investigación, garantizando que el módulo didáctico de subestaciones sea una guía confiable y favorable para el desarrollo de prácticas de laboratorio, de manera que el estudiante pueda resolver sus inquietudes y pueda obtener información veraz y completa.

#### **3.4.1. Validez y Confiabilidad**

La información obtenida de los procedimientos para la operación de Subestaciones ha sido obtenida de la regulación del CONELEC 004/00 para procedimientos de despacho y operación de subestaciones con el fin de obtener resultados verídicos y a su vez que sean de utilidad en el funcionamiento del módulo didáctico que será implementado con el objetivo de confirmar que los resultados obtenidos al utilizar el módulo sean de utilidad para los estudiantes.

Además, se realizará un análisis de los valores de las variables que conforman el sistema del módulo didáctico de subestaciones, las mismas que fueron acondicionadas y programadas previamente para lograr una obtención correcta de datos. La fiabilidad de los equipos utilizados para la creación del módulo son dispositivos que permiten simular el correcto funcionamiento de una subestación real, posteriormente se implementa la interfaz gráfica que permite la visualización y el monitoreo de los procedimientos de maniobras y operación que son el objeto de estudio.

### **3.5. Técnica de Análisis de Información**

El análisis y procesamiento de información obtenida estará basada en los siguientes parámetros establecidos:

- El módulo didáctico de subestaciones deberá cumplir y satisfacer los objetivos planteados en el proyecto.
- Los procedimientos para la operación del módulo de subestaciones deberán cumplir con los protocolos de despacho y operación de una subestación real.
- El diseño de la interfaz gráfica debe ser amigable con el usuario y permitirle el monitoreo y recolección de información del proceso de operación de la subestación que se estén ejecutando.
- Obtención de resultados y elaboración de conclusiones.

### **3.6. Técnica de comprobación de hipótesis**

El trabajo de investigación tiene como finalidad la comprobación de la hipótesis propuesta para lo cual se realizarán prácticas en el módulo didáctico de subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia para satisfacer la necesidad de los estudiantes de fortalecer sus conocimientos prácticos en lo referente a los procedimientos de maniobras en subestaciones reales mediante la realización de prácticas, para de esta forma obtener resultados y conclusiones en base a los objetivos planteados.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en base a la encuesta aplicada a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la universidad de las fuerzas armadas ESPE sede Latacunga, los cuales serán sometidos a un proceso de análisis que permita determinar la factibilidad de realizar el proyecto.

#### 4.1. Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Se ha considerado a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica que se encuentran cursando las asignaturas de centrales de generación de energía, sistemas eléctricos de potencia (SEP) y alto voltaje debido a que en estas asignaturas se realiza el estudio de subestaciones eléctricas. Teniendo así una muestra de 61 estudiantes como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3**

*Estudiantes encuestados de la carrera de Ingeniería en Electromecánica*

Asignaturas	Número de estudiantes
<b>Centrales de generación de energía</b>	23
<b>Sistemas eléctricos de potencia (SEP)</b>	22
<b>Alto voltaje</b>	16
<b>Total</b>	61

#### 4.2. Análisis e interpretación de resultados

##### PREGUNTA N.º 1

¿Conoce usted los principales elementos que conforman una subestación eléctrica?

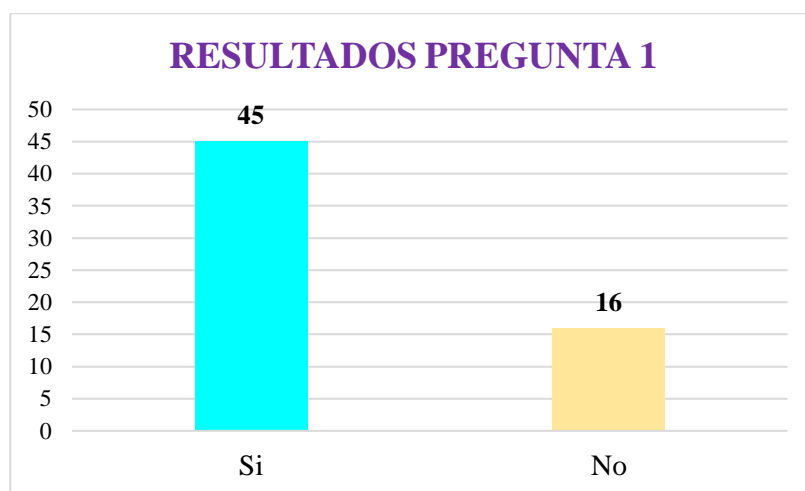
**Tabla 4**

*Análisis estadístico de los elementos de una subestación eléctrica*

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
<b>Si</b>	45	73.8%
<b>No</b>	16	26.2%

**Figura 22**

*Análisis estadístico de los elementos de una subestación eléctrica*



*Nota:* Se muestran los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica.

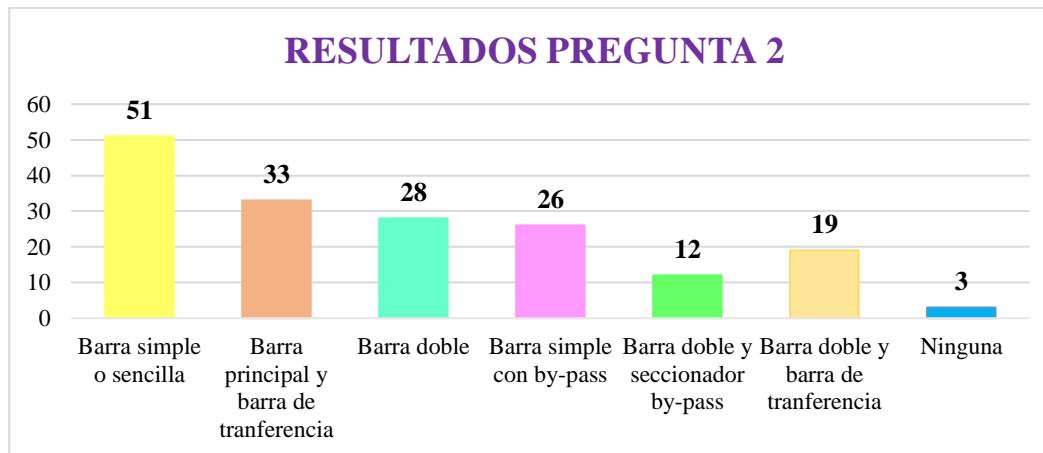
En base a los datos obtenidos se puede concluir que el 73.8% correspondiente a 45 de los 61 estudiantes encuestados conocen los principales elementos que conforman una subestación eléctrica, mientras 16 de ellos desconocen estos elementos.

### **PREGUNTA N.º 2**

Seleccione los esquemas de subestaciones eléctricas que usted conoce.

**Tabla 5***Análisis estadístico de los componentes de una subestación*

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
<b>Barra simple o sencilla</b>	51	83.6%
<b>Barra principal y barra de transferencia</b>	33	54.1%
<b>Barra doble</b>	28	45.9%
<b>Barra simple con by-pass</b>	26	42.6%
<b>Barra doble y seccionador by-pass</b>	12	19.7%
<b>Barra doble barra transferencia</b>	19	31.1%
<b>Ninguna de las anteriores</b>	3	4.9%

**Figura 23***Análisis estadísticos de los esquemas de una subestación.*

*Nota:* Se muestran los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica sobre conocimiento de subestaciones.

En base a los datos obtenidos se puede concluir que el esquema de subestación más conocido es el de barra simple o sencilla con el 83.6 % correspondiente al 51 de los 61 estudiantes encuestados, mientras que el esquema de barra principal con barra

de transferencia presenta el 54.1% correspondiente a 33 estudiantes, el esquema de barra doble le sigue con el 49.5% correspondiente a 28 estudiantes, en cuarto lugar se encuentra el esquema de barra simple con by-pass con el 42.6% correspondiente a 26 estudiantes, por debajo de esta se encuentra el esquema de barra doble y barra de transferencia con el 31.1% correspondiente a 19 estudiantes, seguida de esta se encuentra el esquema de barra doble y seccionador by-pass con el 19.7% correspondiente a 12 estudiantes, mientras 3 de ellos correspondientes al 4.9% desconocen estos esquemas. Por lo cual se evidencia que no existe un amplio conocimiento sobre los esquemas de subestaciones.

### **PREGUNTA N.º3**

¿Conoce usted los protocolos de maniobras necesarios para la operación de una subestación?

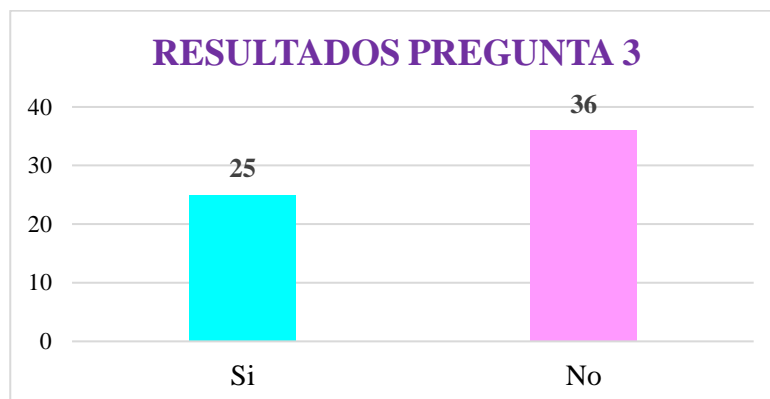
**Tabla 6**

*Protocolos de maniobras de una subestación*

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
<b>Si</b>	25	41%
<b>No</b>	36	59%

**Figura 24**

*Análisis estadístico sobre protocolos de una subestación.*



*Nota:* Se muestran los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica sobre conocimiento de protocolos realizados en subestaciones.

En base a los datos obtenidos se puede concluir que el 41% correspondiente a 25 de los 61 estudiantes encuestados conocen los protocolos de maniobras necesarios para la operación de una subestación, mientras 36 de ellos correspondientes al 59% desconocen estos protocolos.

#### **PREGUNTA N.º4**

¿Ha tenido usted la oportunidad de visualizar los procedimientos de despacho y operación de una subestación real?

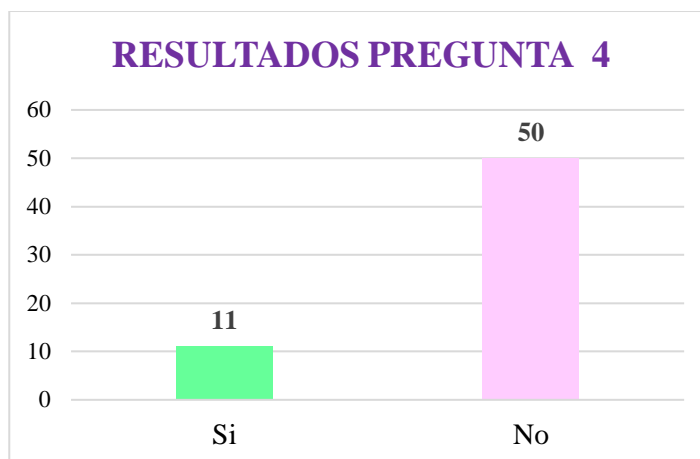
**Tabla 7**

*Procedimientos de despacho y operación en una subestación real*

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
<b>Si</b>	11	18%
<b>No</b>	50	82%

**Figura 25**

*Análisis estadístico sobre procedimientos de despacho y operación.*



*Nota:* Se muestran los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica sobre conocimiento de procedimientos realizados en subestaciones.

En base a los datos obtenidos se puede concluir que el 82% correspondiente a 50 de los 61 estudiantes encuestados no han tenido la oportunidad de visualizar los procedimientos de despacho y operación de una subestación real, mientras 11 de ellos correspondientes al 18% si han tenido la oportunidad.

**PREGUNTA N.º5**

¿Considera usted que sería factible la implementación de un módulo didáctico para la simulación de protocolos de maniobras de operación de una subestación eléctrica para reforzar los conocimientos acerca de subestaciones eléctricas en la carrera de ingeniería en Electromecánica de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga?

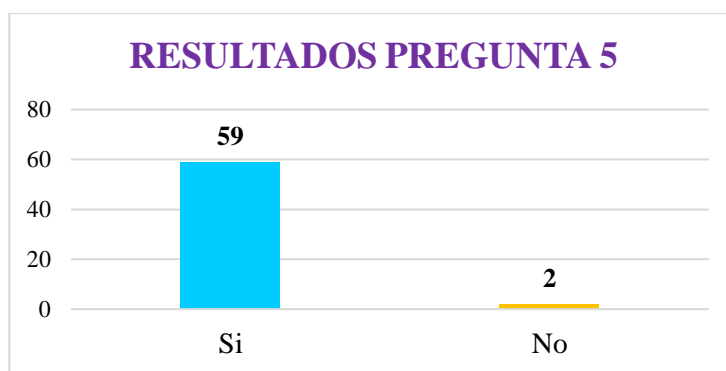
**Tabla 8**

*Datos estadísticos para la implementación del módulo de subestación.*

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
<b>Si</b>	59	96.7%
<b>No</b>	2	3.3%

**Figura 26**

*Datos estadísticos para la implementación del módulo de subestación*



*Nota:* Se muestran los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica sobre la factibilidad de implementación de módulo de subestaciones.

En base a los datos obtenidos se puede concluir que el 96.7% correspondiente a 59 de los 61 estudiantes encuestados consideran que es factible la implementación de un módulo didáctico para la simulación de protocolos de maniobras de operación de una subestación eléctrica para reforzar los conocimientos acerca de subestaciones eléctricas en la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

### **4.3. Comprobación de Hipótesis**

Una vez analizados los datos obtenidos por parte de los estudiantes que cursan las asignaturas de Centrales de generación de energía, sistemas eléctricos de potencia (SEP) y alto voltaje de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, se concluye que la implementación de un módulo didáctico para la simulación de protocolos de maniobras de operación de una subestación es factible debido que ayudara a los estudiantes a fortalecer sus conocimientos en el reconocimiento de elementos, esquemas principales y protocolos de maniobra y operación que se realizan en las subestaciones eléctricas.



## CAPÍTULO V

### PROPUESTA

#### 5.1. Tema de la propuesta:

Implementación de un módulo didáctico de simulación de operación de una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia y elaboración de protocolos para procedimientos de maniobras de operación y mantenimiento.

#### 5.2. Introducción

En este capítulo se presenta la información técnica necesaria para la implementación del módulo de subestaciones, la selección de componentes eléctricos y electrónicos que permitan la simulación de las maniobras.

A través del programa cargado en el Arduino se realizará la validación de las maniobras que se ejecuten en el módulo para su posterior monitoreo en una pantalla HMI, así como la visualización de las variables eléctricas proporcionadas por los sensores de voltaje y corriente.

#### 5.3. Datos Informativos

- **Institución:** Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.
- **Objeto de estudio:** Subestaciones Eléctricas.
- **Ubicación:** Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Av. Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez.
- **Beneficiario:** Estudiantes de la carrera Ingeniería en Electromecánica, para que realicen prácticas académicas en el campo de subestaciones eléctricas.

## **5.4. Objetivos**

### **5.4.1. Objetivo General**

Implementar un módulo didáctico de simulación que permita ejecutar protocolos de procedimientos de maniobras de operación y mantenimiento de una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia mediante la incorporación de elementos eléctricos y electrónicos que permitan simular la ejecución de maniobras que se realizan en una subestación.

### **5.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los componentes que intervienen en el diseño del módulo didáctico de simulación para una subestación con esquema de barra principal y barra de transferencia.
- Determinar las maniobras de operación que se pueden ejecutar en base al diseño de la subestación que se va a implementar.
- Implementar el módulo didáctico para la ejecución de maniobras de operación y mantenimiento de la subestación.
- Desarrollar un programa que permita la visualización de los estados de los elementos, el procesamiento de datos y la comunicación con la interfaz gráfica en la que se puedan visualizar las maniobras de operación y mantenimiento que se van ejecutando en la subestación de barra principal y barra de transferencia.

## **5.5. Justificación de la Propuesta**

La implementación del módulo didáctico permite desarrollar las habilidades prácticas de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, en la manipulación de módulos de subestaciones, con lo cual se logrará que el estudiante reconozca los

protocolos y procedimientos de maniobra y mantenimiento que realiza un operador en una subestación eléctrica real.

## **5.6. Fundamentación de la Propuesta**

El presente proyecto de investigación es desarrollado con el propósito de solventar las necesidades de los estudiantes en la manipulación subestaciones a través de un módulo didáctico, el cual permitirá la simulación de protocolos de corte y seccionamiento que se realizan en una subestación real el cual contribuirá para que el estudiante mejore su conocimiento y desarrolle sus habilidades en lo que se refiere a subestaciones eléctricas que le ayuden a su futura vida profesional.

## **5.7. Diseño de la propuesta**

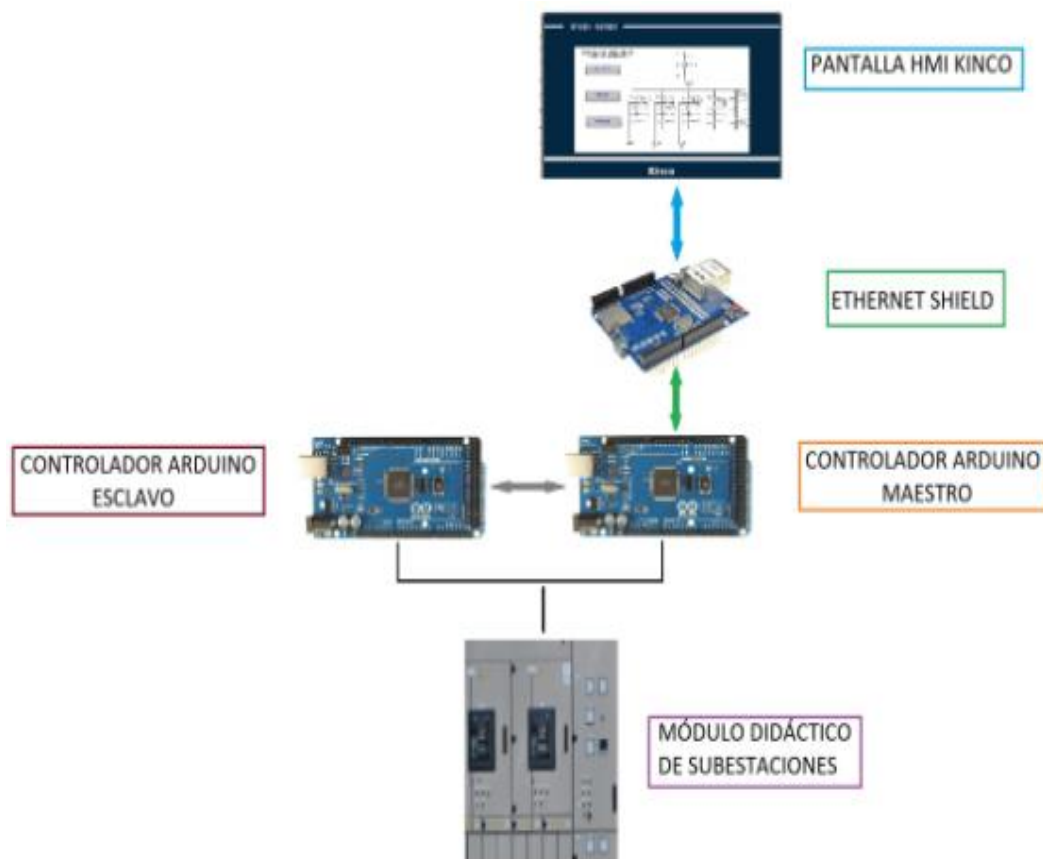
### **5.7.1. Resumen**

Para el desarrollo de la propuesta planteada; a continuación, se indican los pasos y actividades consideradas para la implementación del módulo didáctico.

- Selección de equipos
- Diseño del circuito de control del módulo
- Comunicación Ethernet entre HMI Kinco y Arduino
- Programación de los procesos de operación y mantenimiento en subestaciones
- Resultado final

### **5.7.2. Arquitectura del proyecto**

En la Figura 27 se indica la arquitectura general del proyecto, la comunicación del módulo, la pantalla HMI, así como también la estructura de comunicación, obtención y procesamiento de datos.



**Figura 27***Arquitectura del proyecto*

## 5.8. Criterios de selección de equipos

### 5.8.1. Selección de la placa de control

Para seleccionar la placa de control que mejor se adapte al módulo se tomó en cuenta los siguientes criterios que se muestran a continuación.

**Tabla 9***Selección de la placa de control*

<b>EQUIPO</b>	<b>ARDUINO MEGA 2560</b>	<b>PLC SIEMENS S7-1200 1212AC/DC/RLY</b>
Parámetros		
Alimentación	5V	120V AC
Entradas/salidas digitales	54	14 Entradas/ 10 Salidas
Entradas analógicas	16	2 En el rango 0-10V
Puertos de comunicación	Se puede conectar un shield de ethernet Arduino	PROFINET

**a. Análisis de selección**

La tabla 9 muestra las características técnicas de dos controladores, en base a esto se ha seleccionado como placa de control del sistema electrónico del módulo, el controlador Arduino MEGA, el mismo que se ajusta de mejor manera a la necesidad del proyecto debido a la cantidad de memoria para el procesamiento de datos, además de encargarse de la lectura y procesamiento de las señales provenientes de los equipos de corte y seccionamiento. Otra de las ventajas que proporciona el controlador Arduino MEGA es la comunicación con la interfaz gráfica del HMI mediante la conexión de un shield de Ethernet, adicionalmente este controlador cuenta con 54 entradas/salidas digitales y 16 analógicas y puede conectarse en serie con uno o varios Arduinos aumentando así la capacidad de entradas y salidas digitales.

### **b. Implementación de shield ethernet**

Debido a que no es posible la conexión directa entre el Arduino y la pantalla HMI es importante y necesario implementar un dispositivo que solucione este problema, afortunadamente una de las características importantes de los controladores Arduino es la gran variedad de shields que se pueden adaptar, para el presente proyecto se utilizó un shield de Ethernet siendo empleado para la comunicación entre el Arduino y la interfaz gráfica HMI mediante la utilización de las librerías ethernet del programador de Arduino que permiten la lectura y escritura del flujo de datos. Cabe mencionar que en el controlador Arduino mega no podrán utilizarse los pines 50, 51, 52 y 53 debido a que el controlador se comunica con el chip W5100 y la tarjeta SD usan el bus SPI a través del conector ICSP.

#### **Figura 28**

*Implementación Shield Ethernet*



### **c. Implementación de módulos de relés Arduino**

Para el desarrollo del trabajo de titulación se utiliza el controlador Arduino Mega, el mismo que es el encargado de controlar los módulos de relés (relevadores) y a su vez los relés son utilizados para controlar los dispositivos eléctricos conectados a la red que forman parte de él y posteriormente enviar las señales correspondientes al controlador principal el cual emitirá una respuesta en base a dichas señales.

Figura 29

Módulo de ocho relés para Arduino





### 5.8.2. Selección de la pantalla HMI

Para seleccionar correctamente la pantalla HMI se tomó en cuenta los siguientes criterios que se muestran a continuación.

Tabla 10

Selección de la pantalla HMI

Equipo	HMI KINCO GL070E 7"	HMI SIEMENS KTP400 Basic color PN
Parámetros		
Alimentación	24VC	24VC
Ethernet	Si	Si
Puerto de comunicación	COM2: RS232 COM0: RS485/RS422	RS422 / RS485
Protección	IP65	IP65
Descarga del programa	USB Slave/U Disk/Ethernet	Ethernet/Utilizando un medio de almacenamiento externo

### a. Análisis de selección


De acuerdo a las características técnicas de dos tipos de pantallas HMI presentados en la tabla 10, es importante tomar en cuenta que la interfaz de comunicación entre el HMI y el controlador requerida es Ethernet, en este caso los dos equipos cumplen con los requerimientos, sin embargo se seleccionó como interfaz gráfica la pantalla HMI KINCO GL070E que además de cumplir los requisitos, existe alta disponibilidad en el mercado, y cuenta con su propio software de programación gratuito, sencillo, amigable y su respectivo manual de operación.

### 5.8.3. Selección del sensor de corriente

Para seleccionar correctamente el sensor de corriente se tomó en cuenta los siguientes criterios que se muestran a continuación.

**Tabla 11**

*Parámetros del sensor de corriente SCT013*

Parámetros	
Modelo	SCT013
Marca	YHDC
Corriente de entrada nominal	0-30A
Salida nominal	0-1V
Linealidad	≤0.2%
Precisión	±1%



### a. Análisis de selección


De acuerdo a las características del TC el modelo SCT013 es la mejor opción para la medición de corriente, puesto que este sensor de corriente no es invasivo cuya ventaja principal es que permite medir la intensidad que circula a través de un conductor sin la necesidad de cortarlo o modificarlo, debido a que tiene un núcleo partido al igual que una pinza amperimétrica. Además, estos sensores proporcionan la facilidad de utilizar Arduino como procesador para medir la intensidad o potencia consumida por una carga.

#### 5.8.4. Selección del sensor de voltaje

Para seleccionar correctamente el sensor de voltaje se tomó en cuenta los siguientes criterios que se muestran a continuación.

**Tabla 12**

*Parámetros del sensor de voltaje ZMPT101B*

Parámetros	
<b>Modelo</b>	ZMPT101B
<b>Corriente nominal de entrada</b>	2mA
<b>Corriente nominal de entrada salida</b>	2mA
<b>Voltaje de alimentación</b>	3.3 V- 5V DC
<b>Linealidad</b>	1%
<b>Precisión</b>	0.2%

#### **a. Análisis de selección**

De acuerdo a las características descritas anteriormente el modelo ZMPT101B es la mejor opción para la medición de voltaje. La principal ventaja es que permite reducir el voltaje para poder tomar los datos correspondientes y monitorear las señales en tiempo real aportando así una solución al realizar mediciones de voltaje (AC), a diferencia de otros sensores que no pueden realizar la adquisición de estas señales directamente. Además, este sensor permite utilizar Arduino como procesador para medir el voltaje.

### **5.9. Metodología para la ejecución de la propuesta**

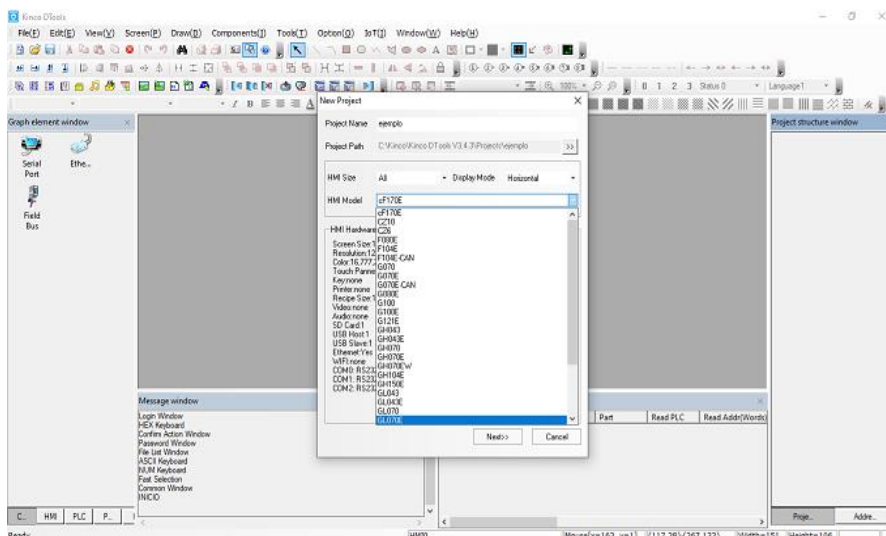
#### **5.9.1. Diseño y configuración del HMI**

##### **a. Configuración de pantalla HMI**

Para la configuración de este dispositivo se utiliza el Software Kinco Dtools que es propio de la pantalla, inicialmente se crea un nuevo proyecto o se abre uno existente. Posteriormente se procede a seleccionar el modelo y las características del HMI que se va a implementar en el proyecto como se muestran en la figura 30.

Figura 30

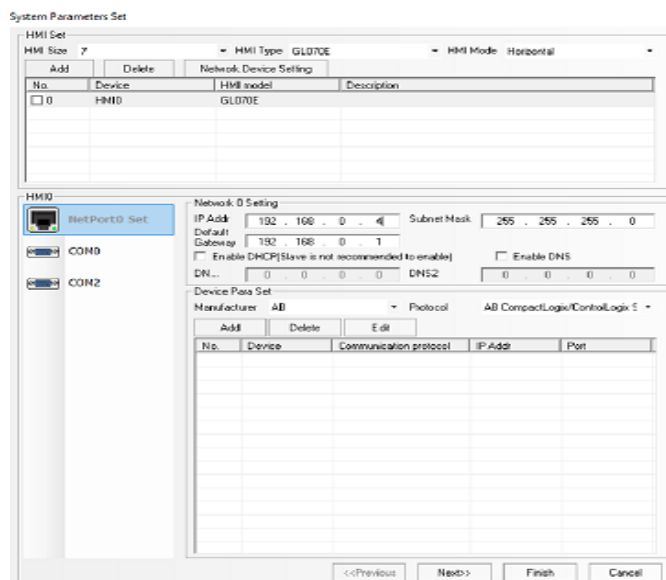
Selección de modelo y características del HMI



A continuación, se configura la dirección IP con la que trabajará el HMI como se muestra en la figura siguiente:

Figura 31

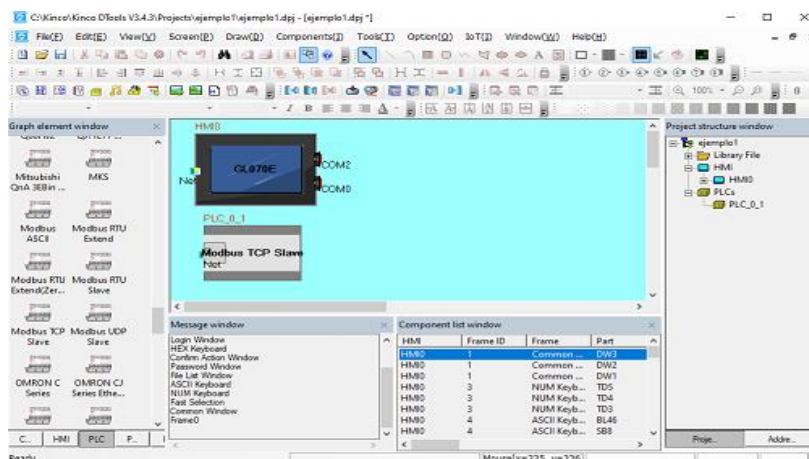
Configuración de la dirección IP del HMI Kinco



En la selección del PLC se escoge el dispositivo Modbus TCP Slave como se muestra en la figura 32 que es el módulo compatible con el controlador Arduino y que permitirá al mismo conectarse con la pantalla Kinco mediante Ethernet.

Figura 32

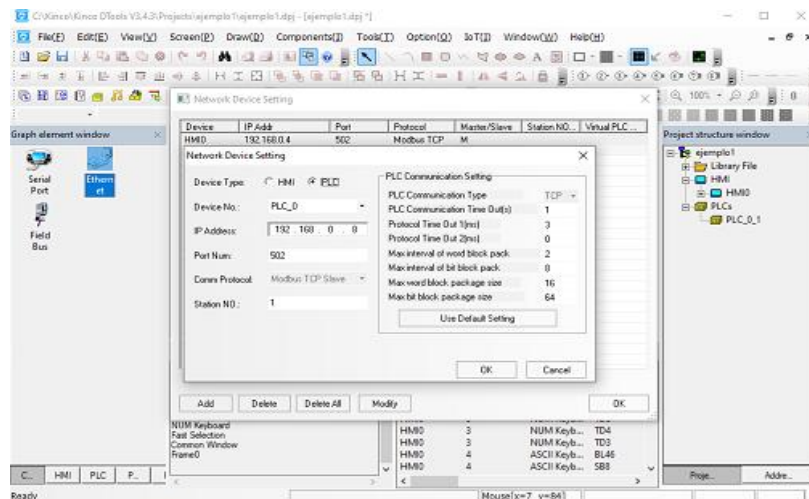
## Selección de Modbus TCP



A continuación, para configurar el IP del controlador se debe dar doble click sobre el controlador Modbus TCP Slave para visualizar la pantalla de edición de los atributos como se muestra en la figura 33.

Figura 33

## Configuración el IP del controlador Modbus Slave



Para la comunicación entre los dos dispositivos se selecciona la conexión que se va realizar, en este caso se selecciona la comunicación Ethernet, a continuación, se mostrará una pantalla emergente en la que se debe adicionar los elementos que serán utilizados en esta conexión como muestra en la figura:

## b. Diseño de la interfaz gráfica

Cada una de las pantallas de la interfaz gráfica fueron diseñadas y programadas en el programa Kinco Dtools, en las cuales se puede realizar el seguimiento a los procesos de maniobra que se realizan en el módulo. La pantalla HMI está conformado por 5 pantallas las cuales son:

**Pantalla principal:** En esta pantalla se encuentra la descripción del proyecto como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 34**

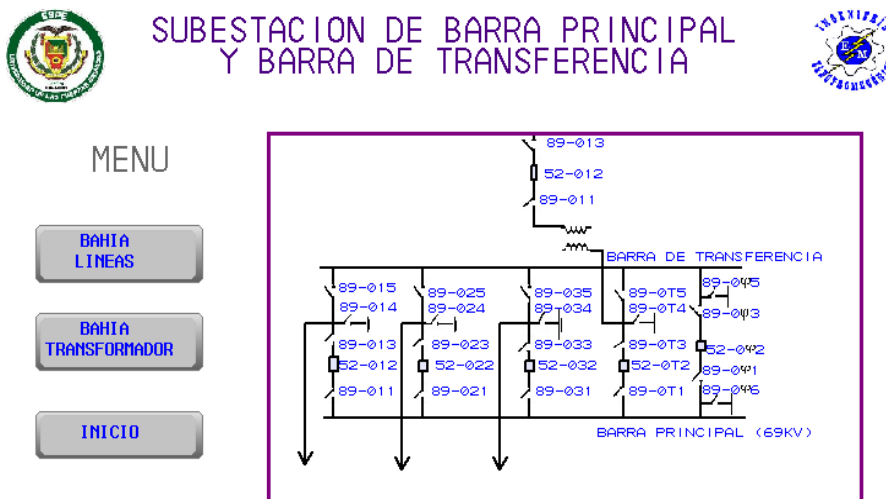
*Interfaz de la Pantalla principal*



**Menú:** En esta pantalla se muestra el diseño general de la subestación (estructura general del módulo).

Figura 35

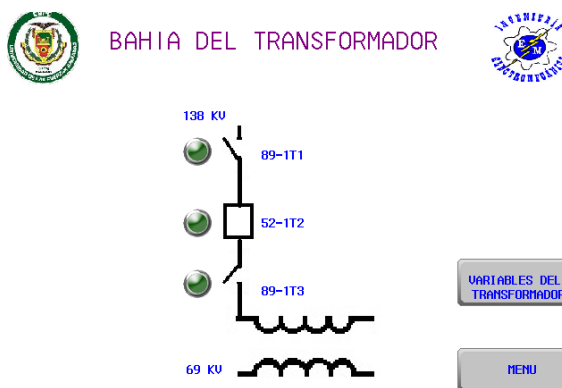
Esquema general de la subestación



**Bahía del transformador:** En esta pantalla se muestra el esquema de la bahía de alta tensión del transformador, Datos en esta pantalla se muestran los datos y gráficas del transformador.

Figura 36

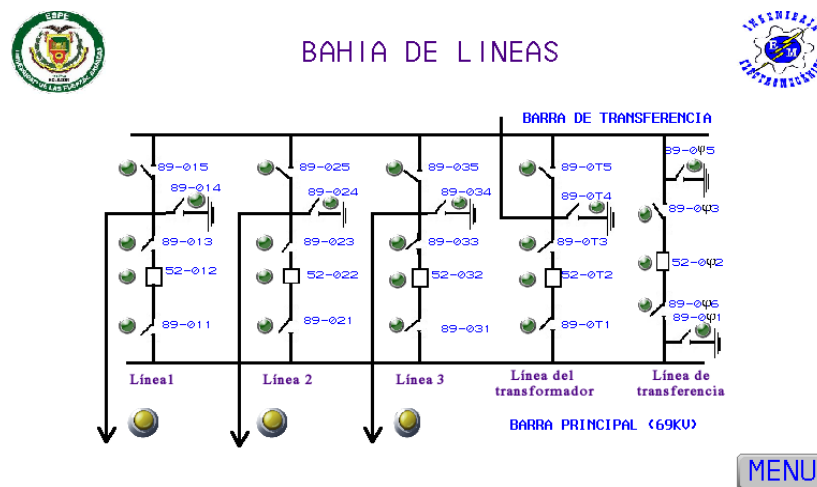
Bahía del transformador



**Bahía líneas:** En esta pantalla se muestra el esquema de la bahía de líneas correspondientes a la subestación, así como también las maniobras que se ejecutan en la misma.

Figura 37

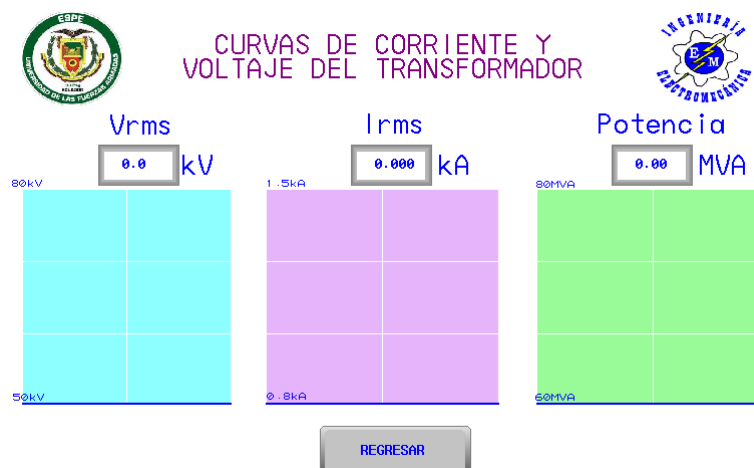
Bahía de líneas



**Variables del transformador:** En esta pantalla se muestra el comportamiento de las variables eléctricas cuando se ejecutan las maniobras en el módulo.

Figura 38

Curvas de las variables eléctricas



### 5.9.2. Desarrollo del software para el Arduino

En el presente módulo se incorporaron dos placas de control debido al número de entradas digitales que se requieren, por consiguiente, una de estas placas de control actúa como maestro o emisor mientras la otra como esclavo o receptor.





**Figura 40***Declaración de registros*

```

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <ModbusIP.h>
#include <Modbus.h>
//Modbus Registers Offsets (0-9999)
const int BOTON_IREG=100;

```

A continuación, se establecen los IP correspondientes al controlador Arduino y de esta manera enlazarlo con la pantalla HMI.

**Figura 41***Configuración de dirección IP*

```

ModbusIP mb;
long ts;
IPAddress ip(192, 168, 1, 8 );
IPAddress gateway( 192, 168, 1, 8 );
IPAddress subnet( 255, 255, 255, 0 );

```

Posteriormente se adiciona información a los registros que fueron creados inicialmente, es decir que cada botón creado en la interfaz del HMI corresponde al que se encuentra presente en el módulo.

**Figura 42***Adición de información a los registros*

```

void setup() {
  byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
  Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
  //ADICION DE VALORES PARA ENVIO AL HMI
  mb.config(mac, ip);
  mb.addIreg(BOTON_IREG);|
  mb.addIreg(BOTON_IREG1);

```

Finalmente se guarda el registro con la información y se envía al HMI.

**Figura 43***Transmisión de información al HMI*

```

void loop() {
  //INICIO TRANSMISION DE DATOS AL HMI
  mb.task();
  if(millis()>ts+2000){
    ts=millis();
    mb.Ireg(BOTON_IREG,digitalRead(bot));
    mb.Ireg(BOTON_IREG1,digitalRead(bot1));
  }
}

```

**5.9.3. Esquema de conexión de los componentes electrónicos y eléctricos**

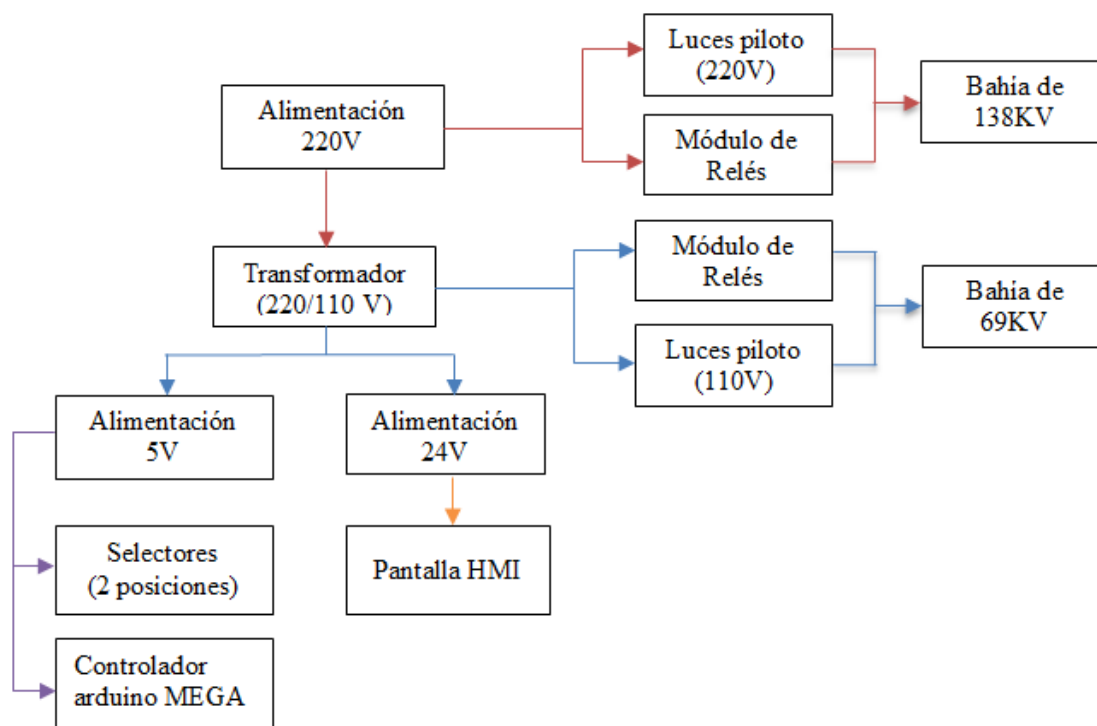
En la Figura 44 y 45, se presenta el esquema de conexión de los componentes necesarios en los circuitos electrónico y eléctrico para la implementación del módulo didáctico.

**a. Esquema de conexión eléctrico**

El conexionado eléctrico inicia a partir de la alimentación a 220V para la barra de 138 KV en donde se encuentran luces piloto que pertenecen a este nivel de voltaje, posteriormente pasa por el transformador de 220V a 110V para la Barra de 69KV, gracias a los 110V presente en módulo se alimenta a su vez la pantalla HMI, Luces piloto (69KV), alimentación para los controladores (Arduino mega) y finalmente la alimentación de los selectores de doble posición.

**Figura 44**

*Esquema para conexión eléctrico*

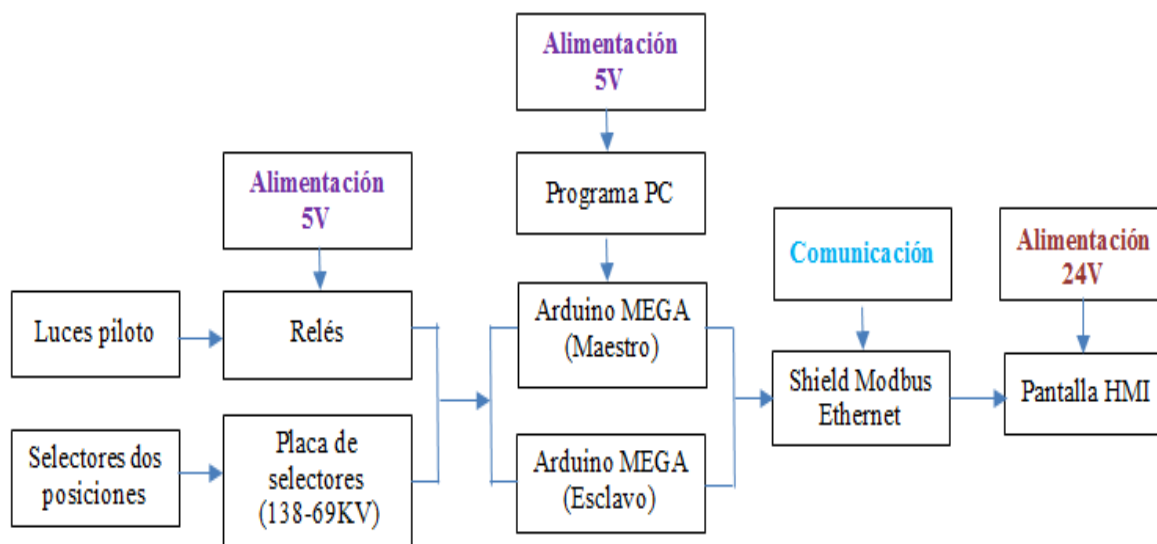


### **b. Esquema para conexión electrónica**

El esquema de conexiónado eléctrico es un bucle cerrado es decir para cada acción que se realice hay una retroalimentación la misma que es ejecutada por el controlador programable, el mismo que ejecuta las siguientes líneas de código en base a la acción o acciones que se están llevando a cabo. El esquema electrónico está dispuesto de la siguiente manera; los relés, los controladores (Arduino) y la placa de los selectores de doble posición están alimentados por 5V independientemente, mientras la alimentación de la pantalla HMI es de 24V por lo cual se utiliza un convertidor de 110V a 24V aprovechando el nivel de voltaje proporcionado por el transformador. En el Anexo se muestra el esquema completo.

**Figura 45**

*Esquema para conexionado Electrónico*



#### 5.9.4. Pruebas experimentales del módulo implementado

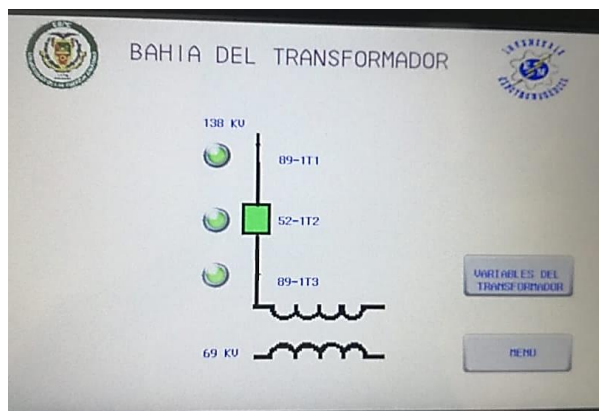
A continuación, se presentan las maniobras ejecutadas en el módulo didáctico las mismas que se visualizan en la pantalla HMI.

##### a. Energización del transformador

En la figura 46 se muestra la energización del transformador una vez validados las maniobras respectivas para este procedimiento, visualizándose en la pantalla HMI el cierre de los seccionadores 89-1T1,89-1T3 y del disyuntor 52-1T2.

**Figura 46**

*Cierre de seccionadores y disyuntor para energización del transformador*

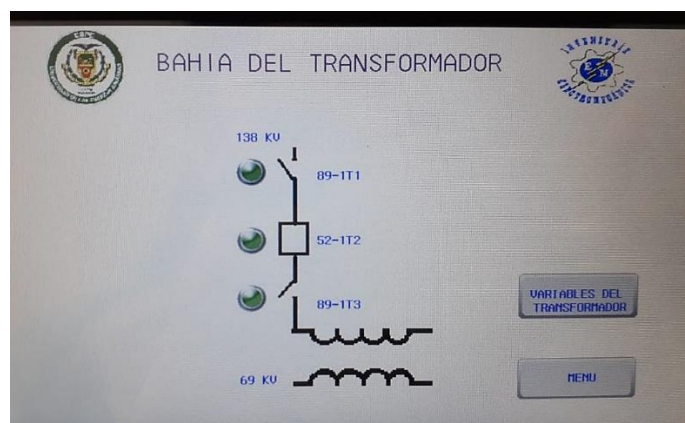


### b. Desenergización del transformador

En la figura 47 se muestra la desenergización del transformador una vez validados las maniobras respectivas para este procedimiento, visualizándose en la pantalla HMI la apertura de los elementos de corte y seccionamiento.

**Figura 47**

*Operación de elementos de corte y seccionamiento del transformador*



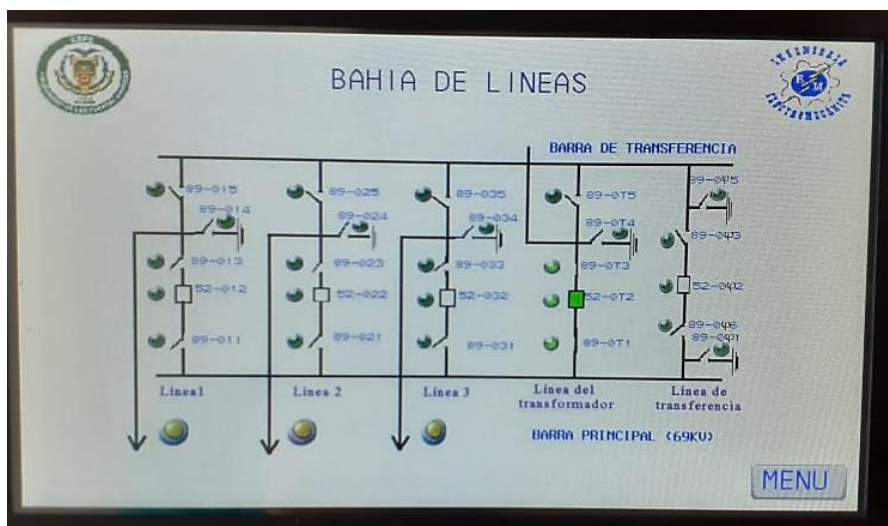
### c. Energización de la barra principal

En la figura 48 se muestra la energización de la barra principal una vez validados las respectivas maniobras para este procedimiento, visualizándose en la

pantalla HMI el cierre de los seccionadores 89-0T1, 89-0T3 y del disyuntor 52-0T2 de los elementos de corte y seccionamiento.

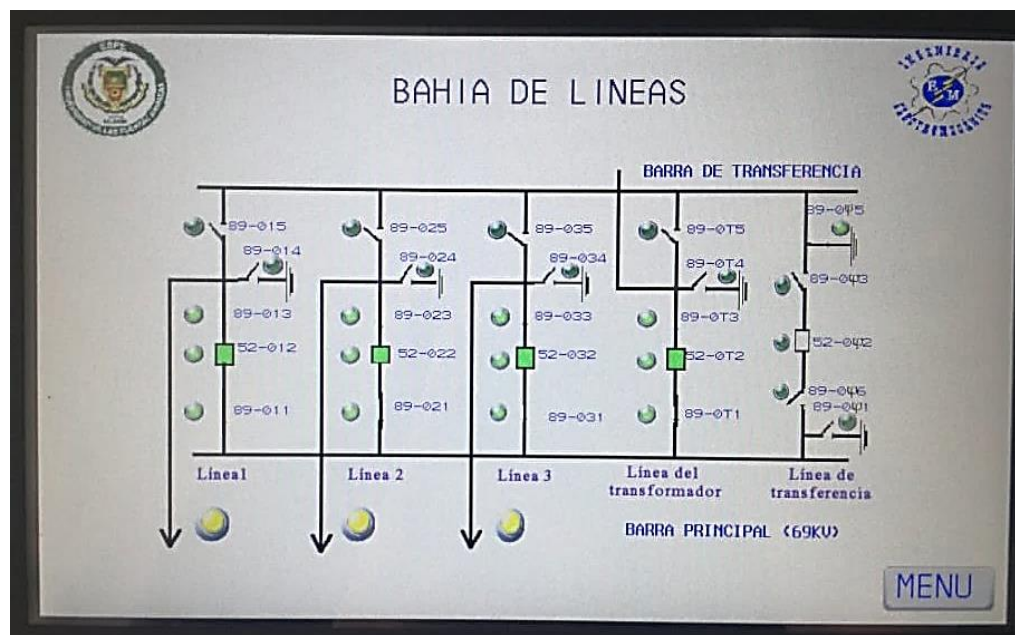
### Figura 48

*Cierre de seccionadores y disyuntor para energización de barra principal*



#### d. Energización de las líneas mediante barra principal

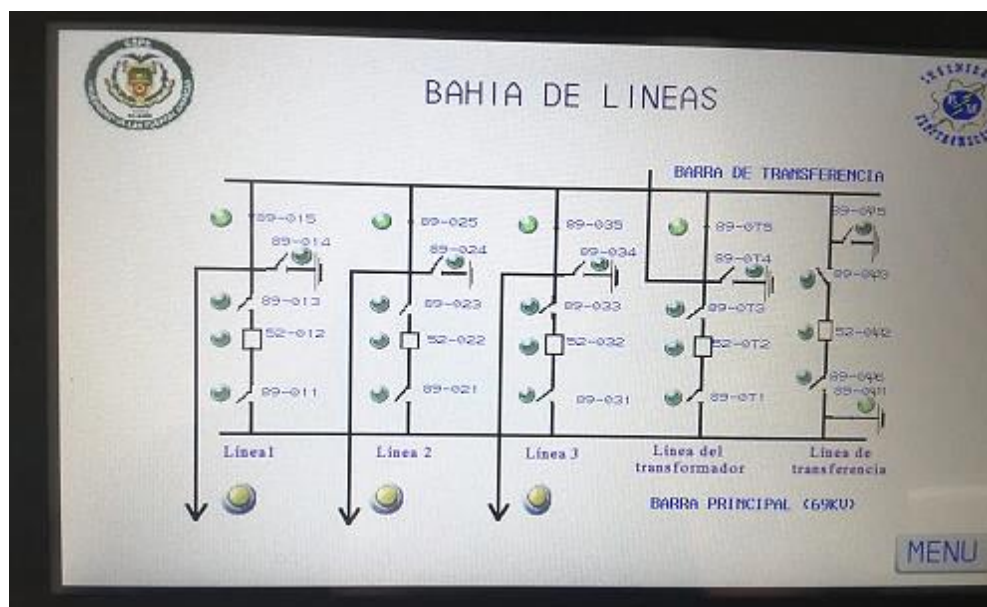
En la figura 49 se muestra la energización de la bahía de líneas, una vez validados las maniobras respectivas para este procedimiento, visualizándose en la pantalla hmi el cierre de los seccionadores y disyuntor de la línea 1: 89-013, 89-011 y 52-012; el cierre de los seccionadores y disyuntor de la línea 2: 89-023, 89-021 y 52-022; el cierre de los seccionadores y disyuntor de la línea 3: 89-033, 89-031 y 52-032, estado de los elementos de corte y seccionamiento la alimentación de la barra principal 52-0T2, 89-0T3 y 89-0T1 y el estado del seccionador de puesta a tierra de la barra de transferencia 89-008 .

**Figura 49***Energización de líneas mediante barra principal***e. Energización de líneas mediante barra de transferencia**

En la figura 50 se muestra la energización de las líneas mediante la barra de transferencia, cuando se necesiten hacer trabajos de mantenimiento o por averías en la barra principal, una vez validados las maniobras respectivas para este procedimiento, visualizándose en la pantalla HMI el cierre del seccionador de la línea de transferencia 89-0T5, el cierre de los seccionadores de las líneas 89-015, 89-025, 89-035 de las líneas, y el cierre del seccionador de puesta a tierra de la barra principal 89-006 para sacarla de funcionamiento.

**Figura 50**

*Cierre de seccionadores para energización por barra de transferencia*



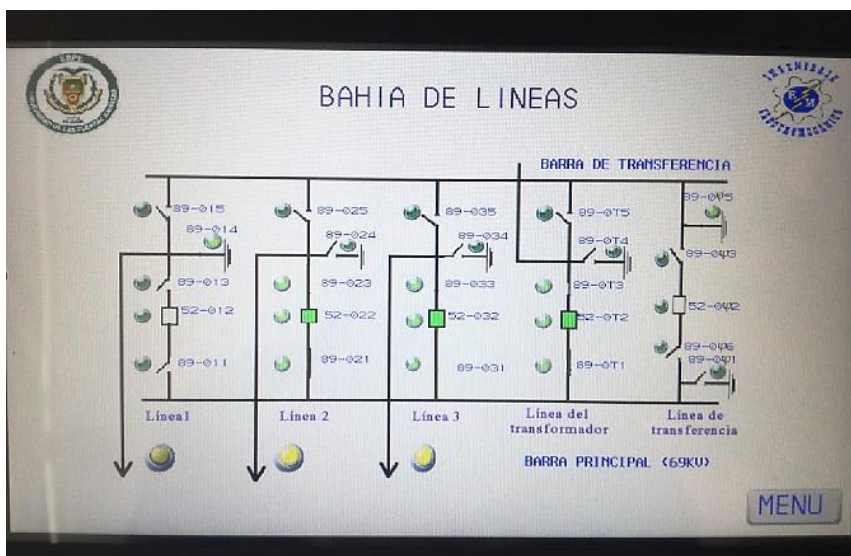
#### f. Desconexión de una línea

En la figura 51 se muestra energizada la barra principal y la línea 2 y la línea 3, la línea 1 se encuentra desenergizada para trabajos de mantenimientos o por fallas en la misma, se muestra el estado de apertura de los seccionadores 89-013, 89-011 y del disyuntor 52-012, y el cierre del seccionador de puesta a tierra de la línea uno 89-014 para que se pueda realizar trabajos de mantenimiento.



**Figura 51**

*Estado de los seccionadores y disyuntor de la línea 1 desenergizada*

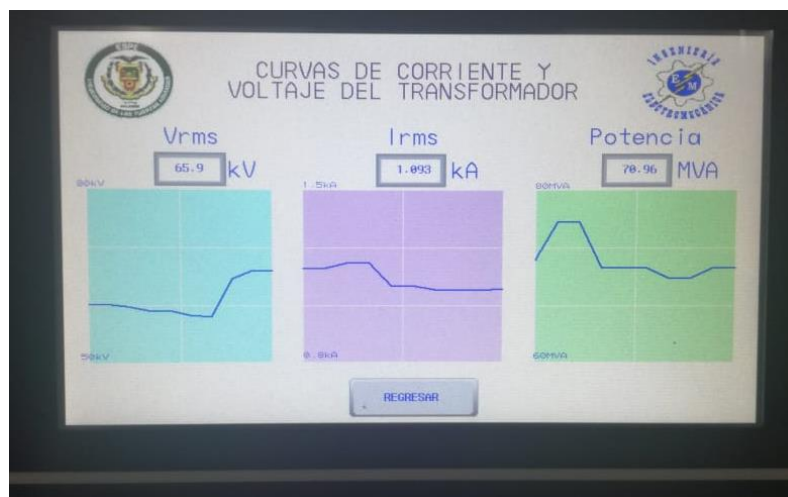


### g. Comportamiento de las variables eléctricas

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de las variables eléctricas voltaje, corriente y potencia, como se puede apreciar las variables eléctricas presentan fluctuaciones en su comportamiento cuando se energizan y desenergizan las líneas del módulo de la subestación.

**Figura 52**

*Comportamiento de las variables eléctricas*



## CONCLUSIONES

- Se evidencio que la ventaja principal de una subestación de barra principal y barra de transferencia es que este esquema permite garantizar el suministro eléctrico a cada una de las líneas de la subestación ya que se pueden alimentar de cada juego de barras, facilitando el mantenimiento y limpieza de los equipos, a excepción de los interruptores que para su mantenimiento deben desconectarse las barras correspondientes.
- El objetivo principal de este trabajo se ha cumplido satisfactoriamente puesto que el módulo implementado permite realizar protocolos de maniobras de operación de una subestación con esquema de barra principal y barra transferencia, complementando de esta manera el estudio de subestaciones y sus maniobras de operación.
- Mediante la implementación de sensores de corriente y voltaje se logró adquirir datos de corriente, voltaje y potencia, los cuales fueron necesarias para realizar las curvas que muestran el comportamiento de las variables eléctricas cuando se realizan maniobras de operación y mantenimiento en la subestación de barra principal y barra de transferencia.
- En la pantalla HMI KINCO se logró evidenciar las maniobras ejecutadas en el módulo pudiendo observar el estado de cada uno de los equipos de corte y seccionamiento.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar este módulo como herramienta de aprendizaje práctico en el estudio de maniobras de operación de subestaciones eléctricas.
- Se recomienda a los estudiantes antes de realizar prácticas en el módulo didáctico de simulación conocer el funcionamiento del mismo ya que de no tener conocimientos previos de su funcionamiento pueden ocasionar daños irreversibles que comprometan el correcto funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACESA. (2011). Obtenido de <https://www.acesa.es/cs/p1/hmi>. Recuperado el 10 de febrero de 2020.
- ARCONEL. (2000). Procedimientos de despacho y operacion. Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>. Recuperado el 15 de diciembre de 2019.
- Arduino. (2019). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>. Recuperado el 18 de febrero de 2020.
- Barrera Navas, H. P. (Enero de 2016). Diseño de una subestación tipo de distribución de 16 MVA 69/13,8 kV y aplicación a la nueva subestación Totoras de la Empresa Eléctrica Ambato. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16324/1/CD-7140.pdf>. Recuperado el 11 de noviembre de 2019.
- Brantes Meza, R. A. (Abril de 2008). Diseño y construcción de una maqueta que permita simular la operación de una subestación típica configurada en doble barra. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/950/1/CD-1409.pdf>. Recuperado el 8 de noviembre de 2019.
- Brito Palomeque, D. I., & Toapanta Usca, W. R. (Diciembre de 2014). Análisis de los procesos operativos de maniobras y su impacto en los procedimientos de trabajo en las Subestaciones Pedro J. Montero y el Triunfo de la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Regional Milagro. Obtenido de <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1837/1/An%c3%a1lisis%20de%20los%20procesos%20operativos%20de%20maniobras%20y%20su%20im pacto%20en%20los%20procedimientos%20de%20trabajo%20en%20la%20sube>

staci%c3%b3n%20Pedro%20J.%20Montero%20y%20El%20Triun. Recuperado el 5 de noviembre de 2019.

Castro Paspuel , E. R., & Herrera Pozo , C. J. (2013). Diseñar un manual técnico para el manejo y operación de la nueva subestación Alpachaca 69 KV de la empresa eléctrica Regional Norte S.A. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4458/3/05%20FECYT%201599%20TESIS.pdf>. Recuperado el 15 de diciembre de 2019.

Castaño Giraldo, S. A. (2019). Comunicación Serial con Arduino. Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/comunicacion-serial-con-arduino/>. Recuperado el 23 de mayo de 2020.

CELEC. (2016). Diseño de Subestaciones. Obtenido de [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/LOTAIP\\_NEW/2016/04-2016/a3\\_Regulaciones%20y%20procedimientos/Resources/Disenio%20de%20Subestaciones.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/LOTAIP_NEW/2016/04-2016/a3_Regulaciones%20y%20procedimientos/Resources/Disenio%20de%20Subestaciones.pdf). Recuperado el 10 de diciembre de 2019.

Defas, R., & Guzmán, A. (Noviembre de 2017). Implementación de un sistema de monitoreo y control de actuadores eléctricos AUMA utilizando protocolos de comunicación industrial ModbusRTU y Modbus TCP/IP. Obtenido de <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/anales/article/view/1592>. Recuperado el 7 de marzo de 2020.

EngineerAmbitiously, N. (2019). Protocolo Modbus. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>. Recuperado el 5 de marzo de 2020.

Geek Factory. (2013). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/shields-arduino/ethernet-shield-economico-wiznet/>. Recuperado el 3 de marzo de 2020.

González Sancho, E. (2014). Simulador de subestaciones electricas 2.0. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/12995>. Recuperado el 17 de diciembre de 2019.

IEC, S. (2014). Símbolos gráficos en electricidad.

Jaramillo, H. ( 1987). Proyecto eléctrico operación de subestaciones de energía. Editorial EEP de Medellín.

Jiménez Espinosa , J. P. (Enero de 2016). Diseño y construcción del funcionamiento de un módulo didáctico de subestación de barra simple con transferencia para la visualización de variables eléctricas mediante sistema scada en el laboratorio de la Universidad Tecnica de Cotopaxí. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2976/1/T-UTC-3933.pdf>. Recuperado el 10 de noviembre de 2019.

López , R., & Mora, E. (2017). Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto Modbus RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivariables físicas. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13436?show=full>. Recuperado el 9 de marzo de 2020.

Martínez, F. (2015). Comunicación serie. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-comunicacion-serie/>. Recuperado el 25 de mayo de 2020.

- Mejía Villegas, S. (2003). Subestaciones de alta y extra alta tension. Editorial Impresiones gráficas Ltda.
- Osorio Patiño, W., & Culma Ramírez, C. A. (2017). Manual para la operación de subestaciones eléctricas con niveles de tensión 115 KV,33 KV y 13.2 KV. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8474/6213126O83.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Recuperado el 30 de octubre de 2019.
- Quispe, F. (2019). Comunicación serial con arduino. Obtenido de <https://creatividadcodificada.com/arduino/comunicacion-serial-con-arduino/>. Recuperado el 26 de mayo de 2020.
- Ramos Barrero, A. (Junio de 2017). Proyecto subestación de distribución 132/20 KV. Obtenido de [http://oa.upm.es/47701/1/FG\\_ALEJANDRO\\_RAMOS\\_BARRERO.pdf](http://oa.upm.es/47701/1/FG_ALEJANDRO_RAMOS_BARRERO.pdf). Recuperado el 19 de diciembre de 2019.
- Ruiz Gutiérrez , J. M. (2007). Manual de programación arduino. Obtenido de <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>. Recuperado el 28 de mayo de 2020.
- SLICETEX ELECTRONICS. (2009). Obtenido de <http://www.slicetex.com.ar/hmi/kinco/index.php>. Recuperado el 3 de marzo de 2020.
- Torrente Artero, Ó. (2013). Arduino curso practico de formación. Editorial Alfaomega.

# **ANEXOS**



