



La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA  
OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, ORIENTADO A  
OPERADORES DE SUBESTACIONES DE CELEC EP -  
TRANSELECTRIC, UTILIZANDO EL ENTORNO DE  
PROGRAMACIÓN LabVIEW**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**ALEX JONATHAN YANZA ZAMORA**

**DIRECTOR: Ing. FABIAN ERNESTO PÉREZ YAULI, PhD.**

**Quito, octubre 2020**

## **AVAL**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Alex Jonathan Yanza Zamora, bajo nuestra supervisión.

---

**Dr. FABIAN ERNESTO PÉREZ YAULI**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Alex Jonathan Yanza Zamora, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

---

ALEX JONATHAN YANZA ZAMORA

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a lo largo de todos estos años primeramente a Dios, quien me mantuvo de pie a pesar de mis tropiezos para poder culminar esta etapa.

A mi querido padre Lucio por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, y siempre me apoyo incondicionalmente en la parte moral y económica, muchos de mis logros se los debo a usted entre los que se incluye este.

A mi querida madre Anita y a mis hermanas Lili y Yuli quienes siempre me apoyaron con su infinito amor, que han sido un pilar fundamental en mi vida, gracias por tener la firme confianza de que lo iba a lograr.

A mis queridos sobrinos Samantha, Mia y Lucianito que desde el primer instante que llegaron a mi vida me han ayudado para iluminar mi vida.

A Morelia Salome Castillo quien estuvo a mi lado a pesar de la distancia, apoyándome moralmente y motivándome a terminar la carrera.

A mí querido tío Antonio y Aida quienes estuvieron en mis inicios motivándome a no desfallecer para cumplir el propósito anhelado, ya que siempre he contado con su apoyo.

A mis amigos más allegados que siempre estuvieron en los momentos más difíciles rodeándome de alegrías y buenas vibras; Edison, Patty, Renato, Daniel, Jair, Antonio y María Mercedes.

A mi segunda familia los legendarios “FOSAS” de la Poli, sino hubiese sido por ustedes me habría graduado hace 5 años atrás, gracias infinitas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Ing. Juan Carlos Astudillo, M.Sc. y al Ing. Fabián Pérez, PhD. quienes desde el primer instante me apoyaron incondicionalmente, aportándome con su guía y sus conocimientos para elaborar y culminar este trabajo de titulación.

A todos los docentes de carrera que me impartieron sus conocimientos a lo largo de mi trayectoria estudiantil, quienes han contribuido en mi formación.

Al grupo de ingenieros de la subestación Santa Rosa pertenecientes a CELEC-EP TRANSELECTRIC; Juan Carlos Astudillo, Francisco Oñate, Fabián Calero, Fabricio García y Jorge Mera, que siempre me ayudaron a solventar cualquier duda que se me presentaba en los 6 meses que realice las pasantías en la Subestación Santa Rosa.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.2 ALCANCE .....	3
1.3 MARCO TEÓRICO.....	3
1.3.1 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA. ....	4
1.3.1.1 Características de las subestaciones eléctricas.....	4
1.3.1.2 Tipos de subestaciones eléctricas .....	4
1.3.1.2.1 Subestaciones elevadoras.....	4
1.3.1.2.2 Subestaciones primarias .....	5
1.3.1.2.3 Subestaciones secundarias .....	5
1.3.1.2.4 Subestaciones de maniobra o seccionamiento.....	5
1.3.1.3 Esquemas de barras.....	5
1.3.1.3.1 Barra principal seccionada con barra de transferencia. ....	6
1.3.1.3.2 Doble barra con seccionador bypass. ....	7
1.3.1.4 Equipos del patio de conexiones. ....	8
1.3.1.4.1 Transformador y Autotransformadores.....	9
1.3.1.4.2 Seccionadores. ....	10

1.3.1.4.3	Seccionadores de puesta a tierra.....	10
1.3.1.4.4	Transformadores de voltaje y corriente. ....	10
1.3.1.4.5	Interruptores.....	10
1.3.1.4.6	Descargadores de sobretensiones .....	10
1.3.1.4.7	Barras colectoras.....	11
1.3.1.4.8	Pararrayos. ....	11
1.3.1.4.9	Portal.....	11
1.3.1.4.10	Edificio de operaciones.....	11
1.3.1.5	Bahías o posiciones que conforman una subestación. ....	11
1.3.1.5.1	Bahía de línea.....	11
1.3.1.5.2	Bahía de transformación.....	12
1.3.1.5.3	Bahía de acople / transferencia. ....	12
1.3.1.6	Nomenclatura utilizada en los equipos de patio.....	12
	Niveles de control en las subestaciones.....	14
1.3.1.6.1	Nivel 0 – nivel de campo. ....	14
1.3.1.6.2	Nivel 1 – nivel de bahía. ....	15
1.3.1.6.3	Nivel 2 – nivel de control de subestación. ....	15
1.3.1.6.4	Nivel 3 – nivel centro de control.....	16
1.3.1.7	Enclavamientos.....	16
1.3.1.7.1	Enclavamientos en 230 [kV].....	16
1.3.1.7.2	Enclavamientos en 138 [kV].....	17
1.3.1.8	Protecciones eléctricas.....	17
1.3.2	SOFTWARE DE NATIONAL INSTRUMENTS – LabVIEW.....	18
1.3.2.1	Elementos principales de LabView.....	19
1.3.2.1.1	Panel frontal.....	19
1.3.2.1.2	Diagrama de Bloques.....	19
1.3.2.1.3	Paleta de controles (indicadores).....	21
1.3.2.1.4	Paleta de funciones.....	22
2	METODOLOGÍA.....	23
2.1	LIMPIEZA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	24
2.1.1	PROCEDIMIENTOS.....	26



2.1.1.1	Operación de equipos a nivel de 230 [kV].....	27
2.1.1.2	Mantenimiento con transferencia de la bahía TOTORAS 1.....	29
2.1.1.3	Mantenimiento del autotransformador ATT 138 [kV].....	29
2.2	DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE .....	30
2.2.1	MÓDULO OPERADOR .....	32
2.2.2	MÓDULO DE ACCESO – LOGIN (ENTRENADOR).....	33
2.2.3	MÓDULO ENTRENADOR.....	35
2.2.3.1	Seccionadores e interruptores.....	37
2.2.3.1.1	Actualizar estados.....	37
2.2.3.1.2	Establecer estados.....	37
2.2.3.1.3	Modo Operador.....	37
2.2.3.1.4	Modo Entrenador.....	37
2.2.3.2	Enclavamientos.....	38
2.2.3.3	Disparos.....	39
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
3.1	INTERFACES GRÁFICAS .....	41
3.1.1	INTERFAZ DE PRESENTACIÓN.....	41
3.1.2	INTERFAZ MODOS DE OPERACIÓN.....	42
3.1.3	INTERFAZ MODO OPERADOR.....	42
3.1.4	INTERFAZ DE ACCESO – LOGIN (ENTRENADOR).....	46
3.1.5	INTERFAZ MODO ENTRENADOR.....	46
3.1.5.1	Disyuntores y seccionadores.....	47
3.1.5.1.1	Actualización de estados.....	48
3.1.5.1.2	Establecer estados.....	48
3.1.5.1.3	Modo operador.....	49
3.1.5.1.4	Modo entrenador.....	49
3.1.5.2	Enclavamientos.....	49
3.1.5.3	Disparos.....	50
3.2	Aplicaciones prácticas.....	50

3.2.1	NIVEL BÁSICO.....	51
3.2.2	NIVEL MEDIO .....	58
3.2.3	NIVEL AVANZADO.....	63
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
4.1	CONCLUSIONES.....	69
4.2	RECOMENDACIONES .....	70
5	REFERENCIA.....	71
	ANEXOS .....	74
	<b>ORDEN DE EMPASTADO.....</b>	<b>75</b>

## RESUMEN

El presente proyecto abarca el desarrollo de un sistema de entrenamiento para operadores de subestaciones eléctricas de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP – TRANSELECTRIC).

En la etapa de entrenamiento a operadores de subestaciones en el Sistema Nacional de Transmisión (SNT), se identifican las principales debilidades y falencias de los operadores de subestaciones, es así como nace la necesidad de desarrollar un sistema de entrenamiento utilizando el entorno de programación LabVIEW, que permite la creación de una interfaz gráfica con las herramientas necesarias para capacitar a los operadores de subestaciones.

En la programación de la plataforma se incluyen controles, indicadores, protecciones, enclavamientos, alarmas y eventos, además de módulos exclusivos para el operador y para el entrenador. El resultado es la creación de una plataforma enmarcada en los ámbitos de transferencia tecnológica e intercambio de información que permite capacitar, entrenamiento y evaluar a los operadores de subestaciones para de esta manera ejerciten continuamente al personal en maniobras y restablecimientos, además de reforzar y refrescar conocimientos.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se tomó como referencia la subestación Santa Rosa, ya que esta subestación contiene los dos esquemas de barras más usados en todo el país, los cuales son: Doble barra con seccionador bypass en 230 [kV] y Barra principal con barra de transferencia en 138 [kV], los mismos que se simularon con 5 bahías cada uno, incluidas las bahías de transformación, acople y transferencia respectivamente.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de entrenamiento, operadores de subestaciones, interfaz gráfica, entorno de programación LabVIEW.

## **ABSTRACT**

This project consists of the development of a training system for electrical substation operators of the Electric Corporation of Ecuador (CELEC EP - TRANSELECTRIC).

In the stage of training the operators in the National Transmission System (SNT), the weaknesses and shortcomings of the substation operators are identified and the need of developing a training system arises. For the develop, the LabVIEW programming environment is chosen as it allows the creation of a graphical interface which contains the necessary tools to train substation operators in the best possible way.

The programming platform has controls, indicators, protections, interlocks, alarms and events, as well as exclusive modules for the operator and the trainer. The result is a platform pertinent to the areas of technology transfer and information exchange for the purpose of continuous training and evaluation of substation operators in maneuvers and restorations, in addition to reinforcing and refreshing knowledge.

The Santa Rosa substation was the model for the development of the graphical interface, since this substation contains the two most used busbar schemes throughout the country, which are: Double bus with bypass disconnecter at 230 [kV] and Main bus with transfer bus at 138 [kV], that were simulated with 5 bays each, including the transformation, coupling and transfer bays respectively.

**KEYWORDS:** Training system, substation operators, graphical interface, LabVIEW programming environment.

# 1 INTRODUCCIÓN

La capacidad de respuesta de un operador de subestaciones en condiciones de emergencia o falla debe ser inmediata y eficaz; sin embargo, debido a que las fallas son esporádicas, el personal a pesar de tener la preparación para afrontarlas pierde su experticia por los lapsos de tiempo prolongados entre una ocurrencia y otra, generando en muchas ocasiones retrasos en la normalización, atribuibles al tiempo de respuesta. El tiempo (minutos o segundos) posterior a los eventos de falla constituyen la diferencia entre un restablecimiento del servicio o un colapso parcial o total del sistema, por esta razón se requiere que la actuación de los operadores de las subestaciones sea lo más rápida y efectiva posible [1].

En la actualidad existen diferentes factores que dificultan la tarea de restauración de un evento como el estrés y la presión de completar una tarea en un periodo corto de tiempo, agravado por la indisponibilidad de ciertos recursos del sistema. Para acelerar los tiempos de restablecimiento es necesario contar con operadores familiarizados y debidamente entrenados en operación para condiciones de emergencia, con el objetivo de minimizar impactos técnicos, económicos, sociales, políticos entre otros, originados por apagones prolongados [2].

CELEC EP – TRANSELECTRIC al momento no cuenta con un programa de entrenamiento como un software de simulación, que permita la capacitación continua de operadores de subestaciones o la evaluación de los mismos; por lo que se determinó la necesidad de la implementación de una plataforma de capacitación y evaluación para los operadores de subestaciones a nivel nacional, en la cual se puedan simular eventos de operación tanto en condiciones normales como de emergencia, la cual tiene como principal objetivo el preparar a los operadores para la toma de decisiones acertadas en tiempos cortos y bajo situaciones de presión [3]

La estructura de este documento se detalla a continuación:

En el Capítulo 1 se realiza una breve introducción sobre los problemas que afrontan los operadores. Se detallan los antecedentes y los objetivos, además se define toda la información necesaria respecto a subestaciones eléctricas, y al software LabVIEW que se utilizó para el desarrollo de la aplicación SIDEOS.

En el Capítulo 2 se presenta la metodología detallada para la elaboración de este proyecto incluyendo la limpieza y recolección de información existente dentro de la subestación Santa Rosa, además se encuentra el diseño y desarrollo del software, elaborados con diagramas de flujos para su mejor comprensión.

En el Capítulo 3 se muestran todas las interfaces gráficas que conforman el sistema de entrenamiento SIDEOS, desarrolladas en el software gráfico LabVIEW. También se puede encontrar aplicaciones prácticas; que consisten en la resolución de ejercicios tipo, planteados por el entrenador, estos ejercicios tienen 3 niveles de dificultad los cuales son: maniobras básicas, intermedias y avanzadas.

En el Capítulo 4 se encuentran las conclusiones más importantes del presente proyecto junto a las recomendaciones que se han desarrollado en el transcurso de la elaboración de este documento, y que sirve como una referencia para la realización de trabajos futuros.

En el capítulo 5 se detalla la bibliografía consultada para la realización de este documento en formato IEEE junto a los ANEXOS que comprueban el trabajo realizado.

## **1.1 OBJETIVOS**

El objetivo general de este trabajo es: Desarrollar un sistema de entrenamiento utilizando un algoritmo elaborado en el entorno de programación LabView, para capacitar y evaluar a los operadores de subestaciones eléctricas en los diferentes procedimientos que se ejecutan cuando ocurre alguna contingencia en el SNT, tomando como referencia la subestación Santa Rosa de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Estudiar los procedimientos operativos que se manejan dentro de una subestación eléctrica, en condiciones normales y de emergencia.
- Conocer las lógicas de control y enclavamientos eléctricos que se manejen en las maniobras de equipamiento primario de corte y seccionamiento para los diferentes esquemas de barras de la S/E Santa Rosa.
- Estructurar un modelo esquemático del IHM SCADA que utiliza CELEC EP – TRANSELECTRIC.

- Programar un algoritmo que simule el modelo esquemático del IHM SCADA para la operación real de una subestación eléctrica en lenguaje G de LabView.

## **1.2 ALCANCE**

En el presente trabajo de titulación se desarrolla un sistema de entrenamiento para operadores de subestaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC utilizando LabVIEW, el cual tiene como finalidad dotar de una herramienta para capacitar a los operadores de las cuatro zonas operativas que conforman el SNT ecuatoriano.

Dentro del alcance se trabaja en el diseño y programación de la interfaz gráfica tomando como base la configuración de la subestación Santa Rosa, ya que esta subestación cuenta con esquemas de doble barra acoplada con bypass en 230 [kV] y barra principal y barra de transferencia en 138 [kV] que son dos de los esquemas de barras más usados en el país.

En este contexto, el sistema consta de dos módulos, un módulo entrenador y un módulo operador; para ingresar al primer módulo se requiere de una única contraseña que permita el acceso a este, con el objetivo de evitar que el operador tenga acceso a las ventanas de condiciones iniciales, establecimientos de enclavamientos y disparos que podría crear el evaluador en el momento de la evaluación, mientras que el módulo operador permite el acceso a los despliegues y a las ventanas ampliadas de las bahías, enclavamientos y alarmas, similares a las presentadas en la interfaz Humano – Máquina del SCADA. Adicionalmente permite acceder a la aplicación y entrenarse sobre las diferentes maniobras, analizar los diferentes bloqueos eléctricos y enclavamientos del sistema de control, disparo de uno o varios elementos con su respectiva reposición y además de familiarizarse con las señales y alarmas del equipamiento primario de la subestación.

## **1.3 MARCO TEÓRICO**

En esta sección se define, caracteriza y clasifica a las subestaciones eléctricas; enfocándose en los equipos, nomenclatura, diagramas y demás aspectos importantes para el desarrollo de este trabajo. Adicionalmente se nombra los diferentes problemas existentes por el cual se desarrolla la plataforma y se explica aspectos generales del software que se utiliza para el desarrollo de la misma.

### 1.3.1 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, tiene como objetivo principal alterar los parámetros de voltaje y corriente con la finalidad de permitir la transmisión y/o distribución de energía eléctrica, para suplir la demanda que el sistema necesita, manteniendo determinados requisitos de calidad de la energía. Está constituida por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección [4] [5].

#### 1.3.1.1 Características de las subestaciones eléctricas.

Para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica una subestación debe poseer las siguientes características:

**Confiabilidad:** Capacidad que tiene una subestación para suministrar energía durante un intervalo de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación se encuentre fuera de servicio [4].

**Flexibilidad:** Propiedad de la subestación para adaptarse a las distintas condiciones que se puedan presentar especialmente por cambios operativos en el sistema y, además, por contingencias y/o mantenimientos [4].

**Seguridad:** Propiedad que evita el daño a los equipos o a las personas cuando una subestación opera bajo condiciones normales o anormales [6].

**Modularidad:** Versatilidad que posee una instalación para modificar su configuración cuando sus necesidades o el sistema lo requieran [6].

#### 1.3.1.2 Tipos de subestaciones eléctricas

Los diferentes tipos de subestaciones eléctricas están subdivididas según su función y según el tipo de emplazamiento, a continuación, se describen algunas de estas.

##### 1.3.1.2.1 Subestaciones elevadoras

Se encuentran adyacentes a las centrales eléctricas, debido a que el voltaje de generación se encuentra limitado por razones de aislamiento eléctrico de las máquinas rotativas, y se requieren para elevar los voltajes a los niveles de transmisión. Generalmente los



generadores pueden suministrar su potencia eléctrica entre valores de voltaje de 5 [kV] y 25 [kV], y la transmisión dependiendo de la potencia y distancia a enviar se puede elevar a 69 [kV], 138 [kV], 230 [kV] o 500 [kV], en países con grandes extensiones territoriales se pueden encontrar niveles de voltaje de transmisión de 765 [kV], 800 [kV] y hasta 1200 [kV] en C.A [7].

#### *1.3.1.2.2 Subestaciones primarias*

Estas subestaciones reducen el voltaje de las líneas de transmisión a niveles de subtransmisión para alimentar centros de cargas importantes del sistema, como son las áreas industriales de los grandes centros de consumo. Los valores de voltaje en subtransmisión por lo general pueden estar entre 138 [kV] y 46 [kV] [8].

#### *1.3.1.2.3 Subestaciones secundarias*

Estas subestaciones son alimentadas por las líneas de subtransmisión, y su función es reducir el voltaje para las redes eléctricas de distribución, conocidas también como redes de medio voltaje, el nivel de voltaje puede estar comprendido entre los 6,3 [kV] y 23 [kV] [8].

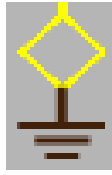
#### *1.3.1.2.4 Subestaciones de maniobra o seccionamiento*

En estas subestaciones se mantiene el mismo nivel de voltaje tanto a la entrada como a la salida, ya que no existen transformadores de potencia. Generalmente se utilizan para conexión y desconexión de carga ante contingencias, maniobras operativas o mantenimientos del mismo [9].

### **1.3.1.3 Esquemas de barras**

La barra es el medio de conexión física entre los elementos que constituyen el sistema. En este apartado se describen únicamente las configuraciones de doble barra con seccionador bypass y barra principal seccionada con barra de transferencia, ya que conforman el patio de maniobras de la subestación Santa Rosa, que se tomó como referencia para el desarrollo de la aplicación.

Para comprender mejor los esquemas de barra en la Figura 1.1 se identifican los elementos básicos con su respectivo nombre y estado, “abierto” o “cerrado”.



a) Seccionador cerrado b) Seccionador de puesta a tierra abierto c) Interruptor cerrado

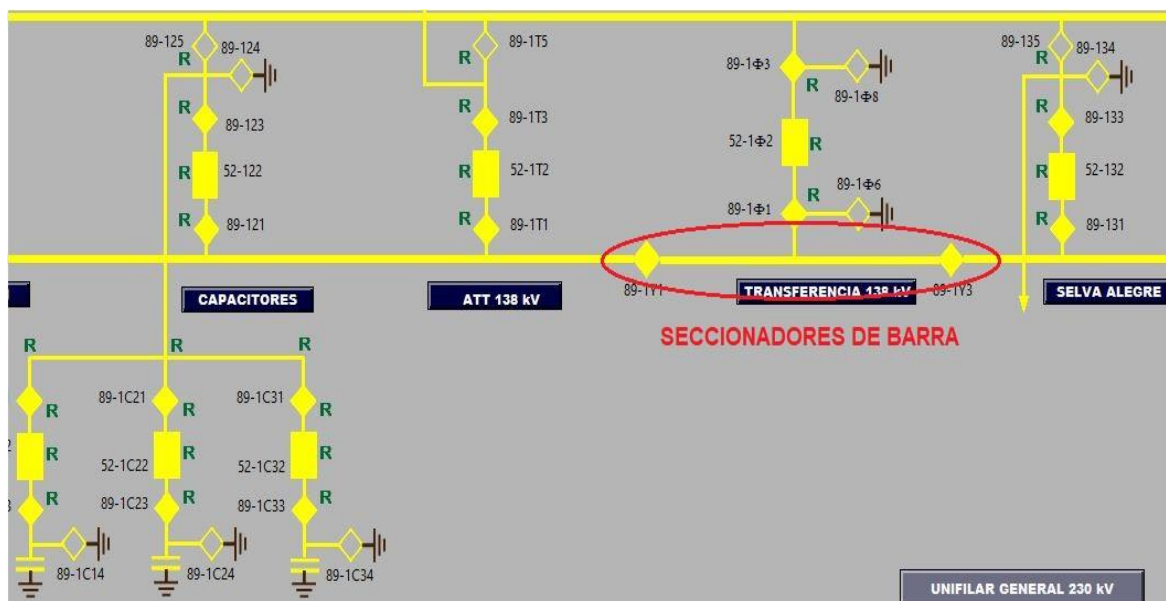
**Figura 1.1.** Elementos básicos de corte y seccionamiento [10].

#### 1.3.1.3.1 Barra principal seccionada con barra de transferencia.

En esta sección se especifican las características del esquema de barra principal seccionada con barra de transferencia, la cual es una variante pequeña de la barra principal con barra de transferencia, que es uno de los esquemas de barras más comunes que se puede localizar en los patios de conexiones de las subestaciones que conforman el SNT, que operan en niveles de voltaje de 138 [kV] [11]. En la figura 1.2 se muestra un esquema de barra principal seccionada con barra de transferencia.

#### **Características principales [4],[12]:**

- La barra principal y la barra de transferencia están diseñadas para soportar toda la carga de la subestación
- En operación normal, la subestación trabaja sobre la barra principal.
- La subestación sale de funcionamiento, si existe una falla en la barra.
- El interruptor de transferencia actúa como reserva para reemplazar a cualquiera de los interruptores de bahía en caso de falla.
- A través de los seccionadores de barra, se tiene la posibilidad de hacer mantenimiento de barras dejando sin servicio únicamente a la mitad de la subestación.
- Se consigue cierta confiabilidad por fallas en el barraje mediante el seccionamiento de barras.
- Se puede realizar mantenimiento de bahías de líneas sin suspender el servicio



**Figura 1.2.** Esquema de barra principal seccionada con barra de transferencia [11].

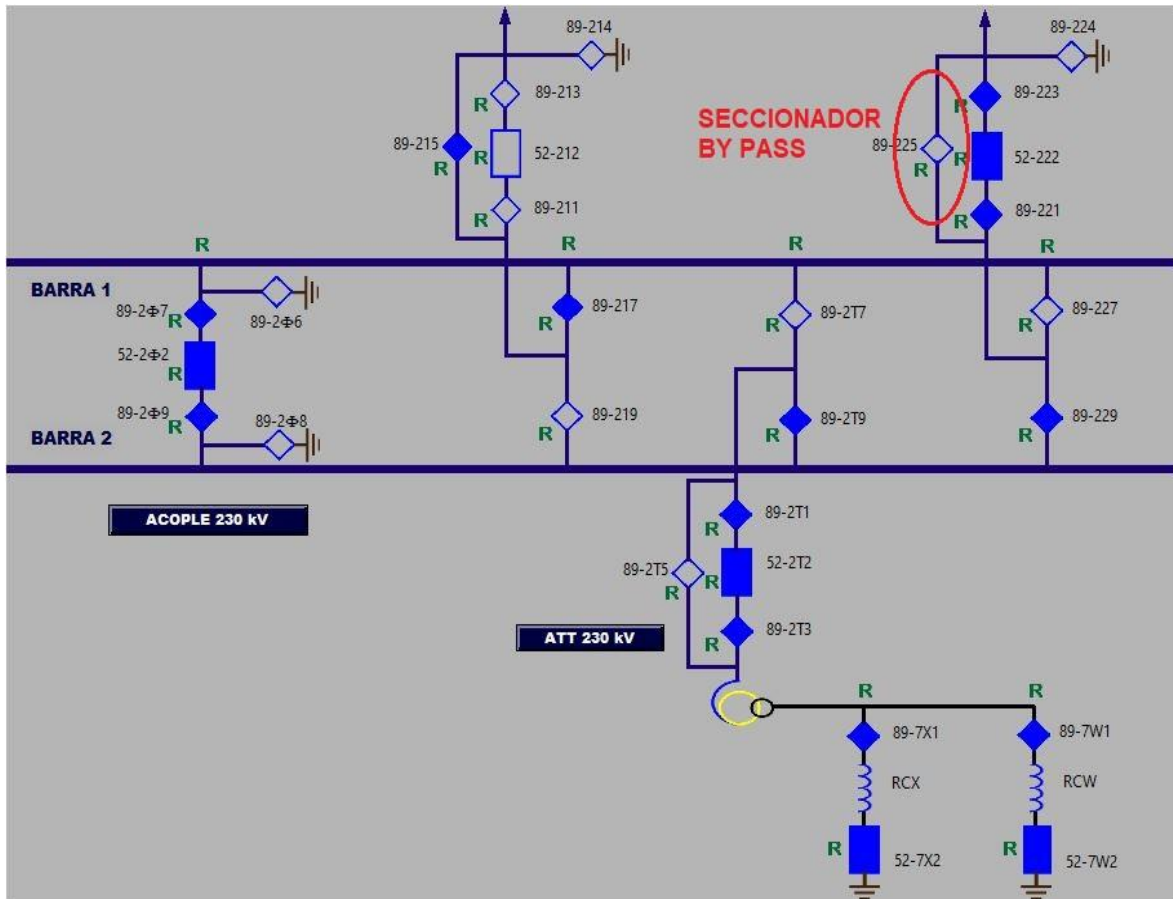
### 1.3.1.3.2 Doble barra con seccionador bypass.

En el SNT el esquema de doble barra con seccionador bypass es uno de los esquemas de barras más usados que se pueden observar en los patios de conexiones de subestaciones con niveles de voltaje de 230 [kV]. La figura 1.3 muestra un esquema de barra principal seccionada con barra de transferencia. En esta sección se describen las características del esquema de doble barra con seccionador bypass [11].

#### Características principales [12]:

- Cada una de las barras están dimensionadas para soportar toda la carga de la subestación.
- Cada barra puede operar de manera aislada o acopladas.
- Es posible hacer el mantenimiento a interruptores sin suspender el servicio.
- Se pueden realizar mantenimientos de las barras manteniendo la continuidad del servicio.
- Las maniobras para el mantenimiento de un interruptor son complicadas.

- El sistema de protecciones del interruptor de acoplamiento de barras es complicado.
- Si existe una falla en el interruptor de acoplamiento, la subestación sale de funcionamiento.

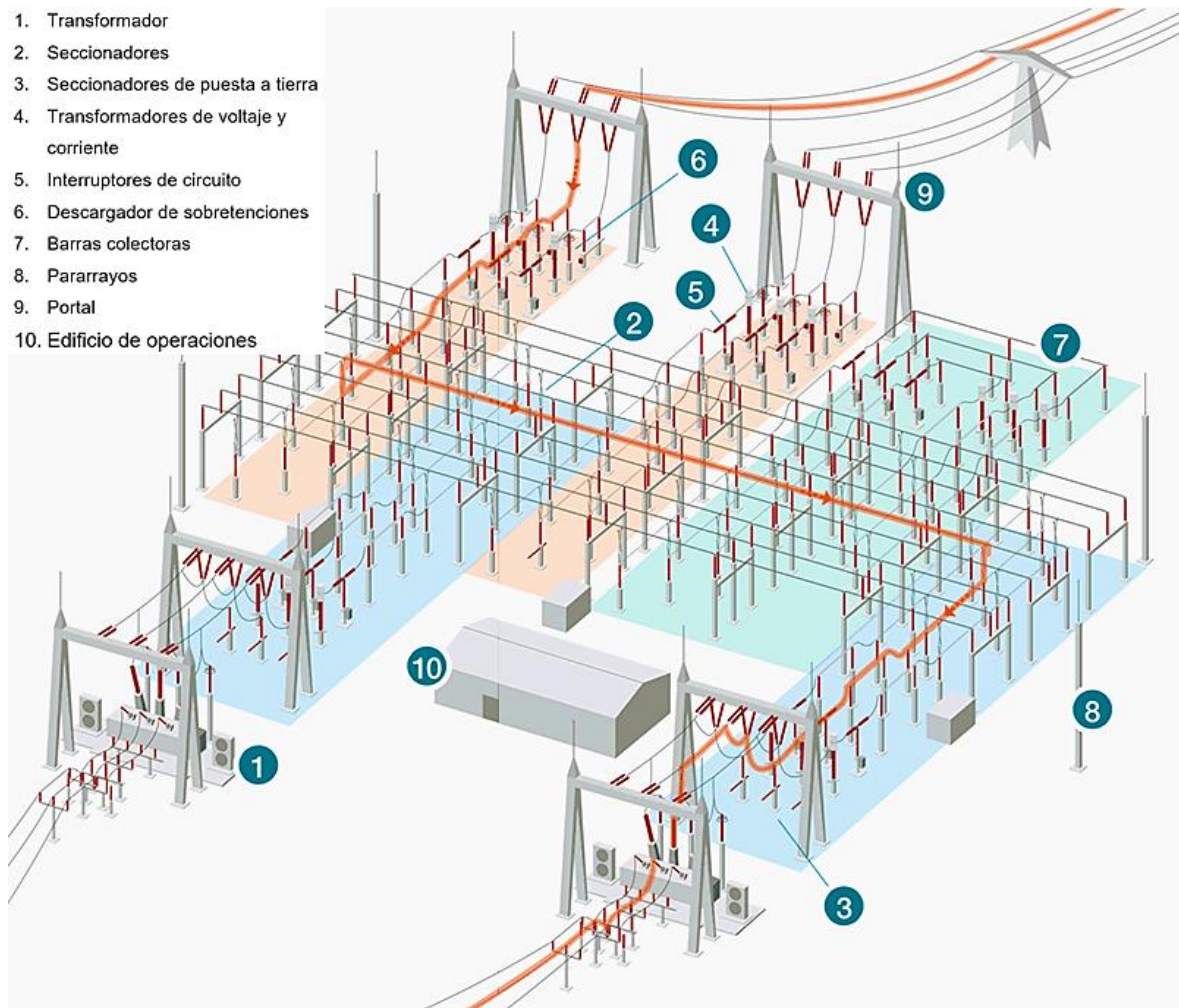


**Figura 1.3.** Esquema de doble barra con seccionador bypass [11].

#### 1.3.1.4 Equipos del patio de conexiones.

Los equipos del patio de conexiones son los elementos que representan una parte del sistema eléctrico de potencia, mismo que están conformados por los siguientes elementos principales: Seccionadores, transformadores, TCs, TPs, descargadores, interruptores, barras y estructuras.

En la Figura 1.4, se puede visualizar los elementos principales que se encuentran dentro de las subestaciones eléctricas.



**Figura 1.4.** Croquis de una subestación eléctrica de alto voltaje, y equipos que la conforman [13].

Estos equipos generalmente se encuentran a la intemperie soportando las condiciones ambientales. Los elementos que conforman la subestación eléctrica están enumerados de acuerdo con la Figura 1.4, estos elementos cumplen su función en el patio de maniobras, y tienen determinadas características que se describen a continuación:

#### 1.3.1.4.1 Transformador y Autotransformadores.

Los transformadores son los equipos más importantes que se pueden encontrar en una subestación eléctrica, estos equipos permiten elevar o disminuir los niveles de voltaje y corriente manteniendo su potencia. Sirven para la transmisión de energía eléctrica a largas distancias con niveles de voltaje de 500 [kV], 230 [kV] y 138 [kV], con el fin de reducir las pérdidas por efecto joule que se producen en las líneas, también son imprescindibles para

reducir los voltajes de transmisión a niveles más manejables, y así poder llegar a los usuarios finales [14].

#### *1.3.1.4.2 Seccionadores.*

Son dispositivos mecánicos de apertura o conmutación que se ubican adyacentes a los interruptores, se usan para aislar una parte de un circuito para maniobras de operación. También son usados para mantenimientos programados o reparación no programadas que se suscitan ante eventos de falla, su operación debe ser realizada sin flujo de corriente, por lo que es indispensable primero la apertura del interruptor adyacente [9].

#### *1.3.1.4.3 Seccionadores de puesta a tierra.*

Son elementos mecánicos que en operación normal se encuentran normalmente abiertos, solo se cierran o se conmutan cuando se van a realizar mantenimientos en líneas de transmisión, transformadores, barras y compensadores de reactivos, creando una zona de trabajo segura para el personal que ejecuta el mantenimiento [13].

#### *1.3.1.4.4 Transformadores de voltaje y corriente.*

Son instrumentos que reducen el voltaje y corriente de la red eléctrica a valores manejables no peligrosos para su uso con los equipos de medida, pueden ser instalados a la intemperie o en interiores. Sirven para alimentar los equipos de medida, protección y control, contadores, voltímetros y amperímetros [15].

#### *1.3.1.4.5 Interruptores.*

El interruptor es el único dispositivo que tiene la capacidad de cortar el paso de la corriente en operación normal o en falla, para limitar a un mínimo los posibles daños que pueden causar los cortocircuitos en las líneas de transmisión, equipos y circuitos [15]. Los disyuntores para disparar ante eventos de fallas trabajan conjuntamente con los relés, debido a que estos envían una señal de disparo al interruptor cuando sucede algún evento fortuito que no está contemplado en las configuraciones de disparo de los relés.

#### *1.3.1.4.6 Descargadores de sobretensiones*

Son elementos que por lo general se encuentran instalados en los extremos de las líneas de transmisión, su función principal es limitar las sobretensiones que surgen por descargas atmosféricas y por maniobras de conexión de cargas importantes, de esta manera se

mantiene la subestación protegida sin que exista la necesidad de interrumpir el servicio eléctrico [13].

#### *1.3.1.4.7 Barras colectoras.*

Las barras colectoras son el punto común de conexión de todas las bahías con el mismo nivel de voltaje que conforman la subestación eléctrica, desde la cual se distribuye la energía para cada una de las bahías conectadas, según sea su necesidad [14].

#### *1.3.1.4.8 Pararrayos.*

Es un dispositivo primario que generalmente se encuentra en la parte más alta sobre las estructuras metálicas, su función principal es la de atraer al rayo para conducirlo a la malla de tierra de la subestación de forma segura [4].

#### *1.3.1.4.9 Pórtico.*

Es la estructura metálica que soporta de forma estable y de manera aislada las líneas que entran y salen de la subestación eléctrica, estos elementos se encuentran suspendidos en el aire [13].

#### *1.3.1.4.10 Sala de control.*

Es el área donde se encuentran los operadores de la subestación, y tienen la posibilidad de abrir o cerrar los equipos que se encuentran en el patio de maniobras, también se puede localizar en el edificio los tableros de control y medida, el tablero de protecciones, el tablero de medidores de energía, batería, cargadores, inversores y los de servicios auxiliares [15].

### **1.3.1.5 Bahías o posiciones que conforman una subestación.**

Dentro de las subestaciones pertenecientes al SNT se puede encontrar en los patios de maniobras las bahías; que son el medio de conexión de los elementos del sistema (transformadores, generadores y líneas) [16]. A continuación, se describen las bahías encontradas en las subestaciones.

#### *1.3.1.5.1 Bahía de línea*

Son todos los equipos asociados a las líneas de transmisión que efectúan los trabajos de corte, seccionamiento, protección, control y medida. Estos equipos son los siguientes;

seccionadores de línea, seccionadores de barra, seccionadores bypass, seccionadores de puesta a tierra, disyuntores, descargadores, transformadores de corriente (TCs) y voltaje (TPs), etc. [16].

#### 1.3.1.5.2 Bahía de transformación

Esta bahía está colgada a los transformadores o autotransformadores, en donde se encuentran los equipos de medición, equipos de control, equipos de corte y seccionamiento, y las protecciones que se encargan de proteger al transformador, siendo este el equipo más caro dentro de las subestaciones [16].

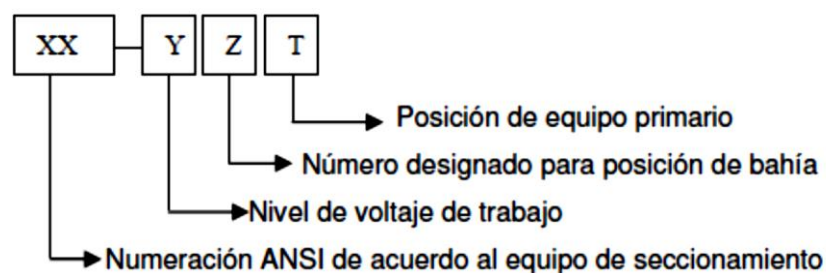
En esta bahía también se puede encontrar los elementos de compensación reactiva, que permiten inyectar potencia reactiva a las barras, con el fin de mejorar los perfiles de voltaje en las subestaciones.

#### 1.3.1.5.3 Bahía de acople / transferencia.

Estas bahías solo se las puede encontrar en los esquemas de doble barra y barra principal con barra de transferencia. Están conformadas por el equipo encargado de la protección de las barras, así como del respectivo corte y seccionamiento en caso de fallas o mantenimientos rutinarios [17].

### 1.3.1.6 Nomenclatura utilizada en los equipos de patio.

Es importante etiquetar los equipos del patio de conexiones, porque facilitan la ubicación rápida y eficaz de los elementos al momento de hacer mantenimientos. CELEC – EP TRANSELECTRIC utiliza la siguiente nomenclatura de 5 dígitos, en todas las subestaciones que conforman el SNT, como se observa en la Figura 1.5, se describen detalladamente cada uno de los dígitos, para poder reconocer los elementos involucrados [18].



**Figura 1.5.** Esquema de la nomenclatura aplicada a los equipos de patio [18].



**XX: Numeración ANSI de acuerdo con el equipo de seccionamiento**

- 89: Seccionador.
- 52: Interruptor (Disyuntor).

**Y: Nivel de voltaje de trabajo**

- 0: 69 [kV]
- 1: 138 [kV]
- 2: 230 [kV]
- 5: 500 [kV]
- 7: 13,8 [kV]

**Z: Número o letra designado para la posición de la bahía.**

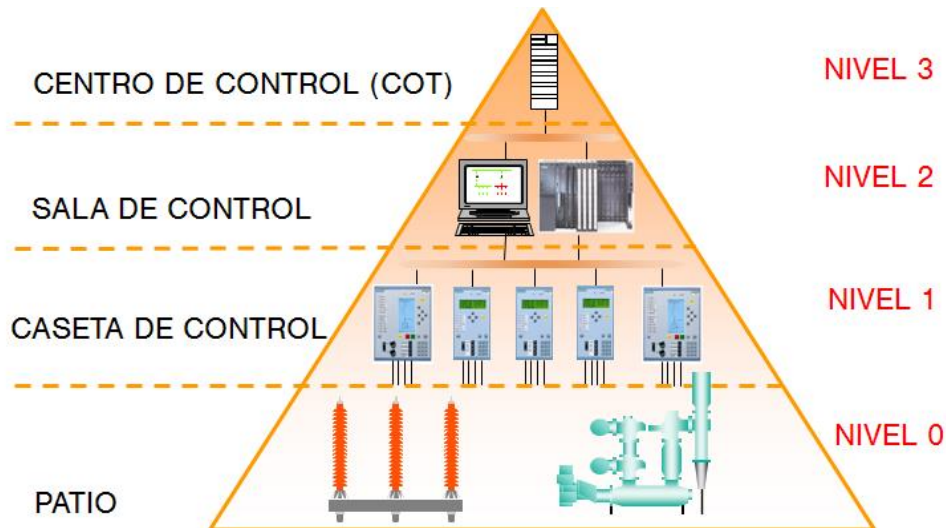
- **Del 1 al 9:** Para las bahías de línea.
- **Ø:** Para la posición de acoplamiento o transferencia.
- **K, Q, R, U, T:** Para las bahías de transformadores o autotransformadores.
- **W, X:** Banco de capacitores

**T: Posición que ocupa el equipo dentro de la bahía.**

- **1:** Seccionador de bahía más cercana a la barra (seccionador adyacente al interruptor).
- **2:** Interruptor.
- **3:** Seccionador de línea o equipo (seccionador adyacente al interruptor).
- **4:** Seccionador de puesta a tierra después de las barras.
- **5:** Seccionador de transferencia (bypass).
- **6:** Seccionador de puesta tierra de barra 1.
- **7:** Seccionadores selectores de barra 1.
- **8:** Seccionadores de puesta a tierra de barra 2.
- **9:** Seccionadores selectores de barra 2.

## Niveles de control en las subestaciones.

En la Figura 1.6, se puede observar los distintos niveles de control que se pueden encontrar en las subestaciones eléctricas del país, a continuación, se describen las características de cada nivel.



**Figura 1.6** Niveles de control de las subestaciones [18].

### 1.3.1.6.1 Nivel 0 – nivel de campo.

El nivel cero es de control, generalmente es seleccionado desde los selectores Local/Remoto que se encuentran en los gabinetes de control de cada interruptor o seccionador [18] [19]. Los posibles estados de estos selectores son:

#### Local

- Permite supervisar en el sitio.
- Se puede ejecutar maniobras de mantenimiento en los equipos de patio, uno a la vez, o sea, un interruptor o un seccionador.
- El control se lo ejecuta por medio de los pulsadores de forma manual desde los tableros de control ubicados junto a cada equipo de maniobra.

#### Remoto

- Permite operar desde los niveles 1, 2 y 3.

#### 1.3.1.6.2 Nivel 1 – nivel de bahía.

Este nivel de bahía posee dos selectores de llave ubicados en su panel frontal, selector local/remoto y selector sin enclavamientos/con enclavamientos [18].

##### **Local**

- Operación desde el panel frontal del controlador de bahía.

##### **Remoto**

- Operación desde el nivel 2 (IHM del operador) y nivel 3 (COT).

##### **Sin enclavamiento y selector en local**

- Envía el mando de apertura o cierre sin verificar de los enclavamientos.
- La comprobación de sincronismo no es afectada por este selector, y se efectúa independientemente de la posición en la que se encuentre.
- En esta posición no se puede retirar la llave.

##### **Con enclavamiento y selector en local**

- Todos los mandos son liberados después de que han sido verificados los enclavamientos correspondientes.

#### 1.3.1.6.3 Nivel 2 – nivel de control de subestación.

Este nivel se encuentra en la sala de control dentro de la subestación desde donde se procesa la información de toda la subestación y se monitorea en tiempo real de forma global, desde la interfaz humano – maquina (IHM) se pueden ordenar las maniobras de apertura y cierre, siempre y cuando se encuentren en remoto los niveles 1 y 2 [18] [19].

Este nivel tiene dos posiciones que se pueden seleccionar desde el HMI:

- **Local:** Operación desde el nivel 2 (HMI).
- **Remoto:** Operación desde el nivel 3 (COT).

#### *1.3.1.6.4 Nivel 3 – nivel centro de control.*

Para que se permita el control desde el COT, deben estar en la posición de remoto los niveles 0, 1, y 2. El control desde el COT es permitido gracias a las interfaces de telecontrol con protocolos IEC60870-5-101 configuradas en las unidades RTU de las subestaciones. Además, para la conexión con el Centro de Control del Operador Nacional de Electricidad (CENACE) se usa el protocolo RP570 [18].

#### **1.3.1.7 Enclavamientos.**

Los enclavamientos son procedimientos bien estructurados que permiten que el sistema opere de forma segura y confiable, brinda la seguridad al personal y a los equipos que se encuentran dentro de las instalaciones de la subestación. A continuación, se describen las características generales de los enclavamientos en los niveles de voltaje de 230 [kV] y 138 [kV] [16].

##### *1.3.1.7.1 Enclavamientos en 230 [kV].*

Para garantizar un correcto funcionamiento de la subestación se debe cumplir con los siguientes operaciones [12] [17]:

- La barra 1 o 2 puede ser usada como transferencia si, el disyuntor acoplador es reemplazado por el disyuntor de una línea o de un transformador.
- Solo el circuito acoplador de barras y uno de los otros circuitos puede conectarse a la barra usada como de transferencia a un mismo tiempo.
- Si no existe un camino paralelo de corriente, ningún seccionador puede ser abierto o cerrado bajo carga.
- Los seccionadores adyacentes al interruptor operan simultáneamente, y solo pueden abrir o cerrar cuando el interruptor asociado está abierto.
- Los seccionadores de puesta a tierra de línea tienen un enclavamiento mecánico y uno eléctrico, únicamente se pueden operar cuando la línea está desenergizada, o cuando el seccionador bypass asociado esté abierto.

- El seccionador de puesta a tierra de barras únicamente puede operarse cuando todos los seccionadores selectores de barra, y los seccionadores del acoplamiento se encuentran abiertos.
- El seccionador bypass opera uno a la vez cuando el interruptor asociado se quiera poner fuera de servicio por mantenimiento o falla, necesariamente el interruptor acoplador de barras sustituye al interruptor que queda fuera de servicio.

#### 1.3.1.7.2 *Enclavamientos en 138 [kV].*

Las características describen cada uno de los enclavamientos generales que se pueden encontrar en los patios de maniobras de 138 [kV] [12] [17].

- La barra de transferencia permite conectar únicamente un circuito al mismo tiempo.
- Si no existe un camino paralelo de corriente, ningún seccionador puede ser abierto o cerrado bajo carga.
- Los seccionadores adyacentes al interruptor operan simultáneamente y solo pueden abrir o cerrar siempre y cuando el interruptor asociado y el seccionador de puesta a tierra de la barra principal se encuentren abiertos
- El disyuntor de transferencia se usa para sustituir una línea o un transformador. Permite solo un circuito a la vez.
- Los seccionadores de puesta a tierra de línea tienen un enclavamiento mecánico y uno eléctrico. Únicamente pueden operar cuando la línea asociada este desenergizada y cuando el seccionador de transferencia asociado esté abierto.
- Los seccionadores de puesta a tierra de barra operan cuando los seccionadores asociados a la barra principal, barra de transferencia y disyuntor de transferencia están abiertos, es decir con la barra desenergizada.

#### 1.3.1.8 **Protecciones eléctricas.**

Las protecciones eléctricas son equipos que están constantemente tomando información de voltaje, corriente y frecuencia, que son proporcionados por los equipos de medida instalados en el patio de maniobras. Las protecciones procesan toda esta información y toman decisiones en base a los estudios de protecciones realizados en cada uno de los

equipos de patio o tramos que se desea proteger, esta información se transmite por medio de sus contactos, actuando como señales de alarma y disparos de interruptores en los circuitos donde se ha producido la falla. Las protecciones que se pueden encontrar en cada uno de los elementos protegidos son las siguientes [20]:

- **Líneas:** Distancia (21), Diferencial (87L), Sobrecorriente Direccional de neutro (67N), Recierre (79).
- **Transformadores, Reactores:** Diferencial (87T), Sobrecorriente (51) respaldo, Bajo Voltaje (27).
- **Barras:** Diferencial (87B), Sobre y Bajo Voltaje (59/27).
- **Alimentadores:** Sobrecorriente (50/51), Sobrecorriente Direccional (67), Diferencial (87L).
- **Capacitores:** Sobrecorriente fallas externas (51), Sobrecorriente desbalance (51), Sobrevoltaje (59)
- **Auxiliares:** Falla Interruptor (50BF), Disparo y Bloqueo Transformador (86T), Disparo y Bloqueo Barra (86B), Supervisores Circuito de Disparo (74), Sincronismo (25)

### 1.3.2 SOFTWARE DE NATIONAL INSTRUMENTS – LABVIEW.

LabView (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un lenguaje de programación visual gráfico, llamado lenguaje G, es utilizado para el desarrollo de sistemas hardware y software de pruebas, control, diseño, simulado, real, o embebido; desarrollado por National Instruments.

Es un software que facilita la visualización del código de programación, creación y codificación de sistemas de ingeniería; lo que permite resolver de una manera rápida y eficaz los problemas actuales y retos futuros [21]. Para diseñar programas con LabView se trabaja siempre sobre una VI (Virtual Interface), es decir, un instrumento virtual. Se puede crear un instrumento virtual a partir de especificaciones funcionales que sean diseñadas por el programador [22]. Inicialmente este programa estaba encaminado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el progreso de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual [10].

Para una mejor comprensión sobre la programación en LabView, se explica sobre dos paneles existentes, el panel frontal y el panel de programación, llamado también diagrama de bloques; en el panel frontal se elabora la interfaz para el usuario y en el diagrama de bloques se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que demuestran en sí, cómo funciona el programa o el sistema [22].

### **1.3.2.1 Elementos principales de LabView.**

LabView tiene dos pantallas principales, las cuales reciben el nombre de Panel Frontal (es la parte que ve el usuario) y Diagrama de Bloques (es donde se realiza la programación), el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques están conectados a través de los terminales (elementos que sirven como entradas o salidas de datos) [10].

LabView posee un menú que contiene los controles e indicadores en el panel frontal y en el panel de diagrama de bloques contiene un menú de funciones, donde se están las estructuras básicas de programación, operaciones aritméticas, operaciones booleanas, funciones para adquisición y procesamiento de señales [22].

#### *1.3.2.1.1 Panel frontal.*

En el Panel Frontal se tiene los diferentes controles e indicadores que permite enviar comandos de apertura y cierre de elementos e instrumentos virtuales paralelos, es decir, que funcionan varios a la vez, para cumplir diferentes actividades, como se observa en la Figura 1.7 [21]. También se dice que el Panel Frontal es el entorno de trabajo donde se encuentra la interfaz Humano-Máquina (HMI), donde se ubican gráficos, indicadores lumínicos, botones, imágenes, que pueden ser configurados como controles para introducir datos al VI (instrumento virtual) o indicadores que muestran valores, resultados y gráficas [21].

#### *1.3.2.1.2 Diagrama de Bloques.*

El Diagrama de Bloques constituye el programa propiamente dicho, es decir, es el espacio donde se grafica el código que controla el programa. A cada elemento del panel frontal le corresponde un bloque que se conecta con otros bloques para desempeñar diferentes funciones. Además, se opera sobre las características propias de los elementos [21].

El panel de Programación o diagrama de bloques es el código fuente del VI (instrumento virtual), es el medio en el cual se encuentra realizada la programación, en este medio se

encuentran las entradas (control) o salidas (indicadores y/o gráficas) creados en el panel frontal, como se indica en la Figura 1.8 [22].

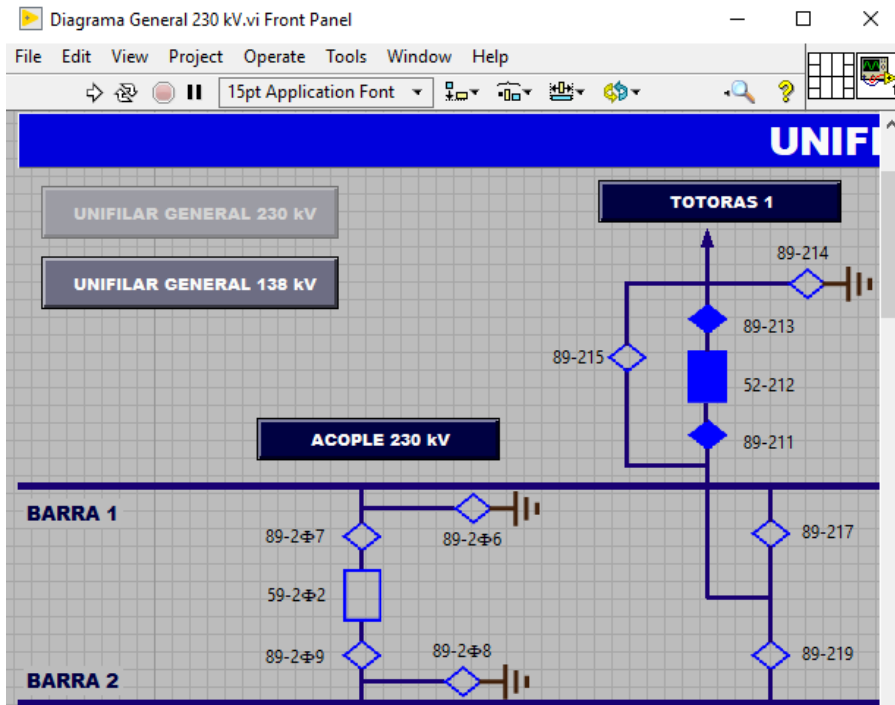


Figura 1.7. Panel frontal.

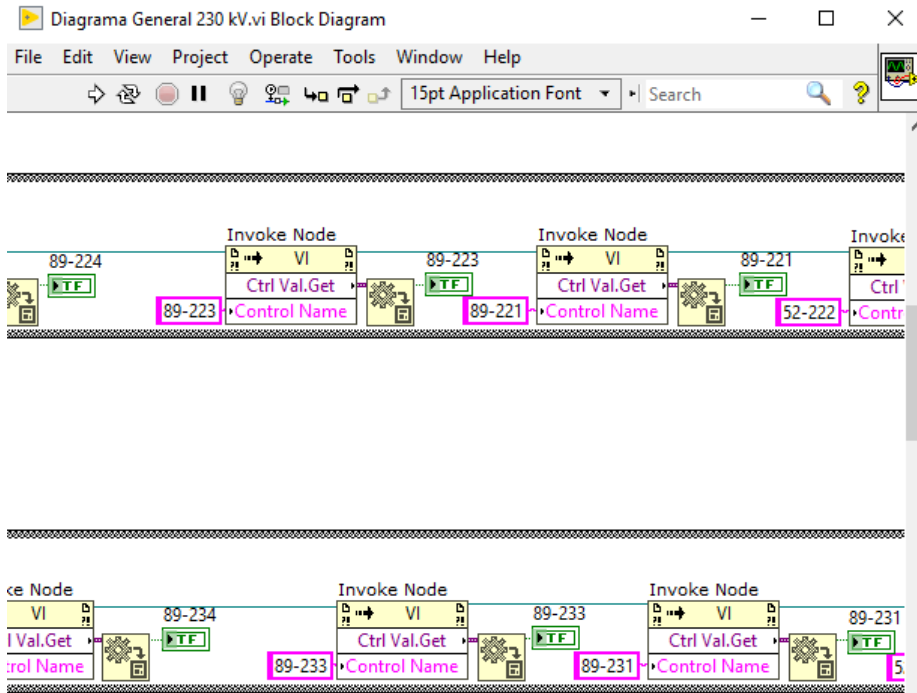


Figura 1.8. Diagrama de bloques.



### 1.3.2.1.3 Paleta de controles (indicadores).

La Paleta de Controles contiene los controles e indicadores que se utilizan para elaborar el Panel Frontal, se accede a ella desde la ventana del Panel Frontal al seleccionar Windows» Show Controls Palette del menú, o al hacer clic con el botón derecho en cualquier parte en blanco en la ventana del Panel Frontal. Los controles e indicadores son los terminales interactivos de entrada y salida del VI. [10].

Los controles suelen ser botones, perillas, barras deslizantes y otros dispositivos de entrada que simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al Diagrama de Bloques del VI (instrumento virtual). Los indicadores son gráficas, Leds y otras pantallas que simulan dispositivos de salida de instrumentos y muestran los datos que el Diagrama de Bloques adquiere o genera; la Figura 1.9 contiene los elementos o herramientas disponibles en la paleta de control [10].

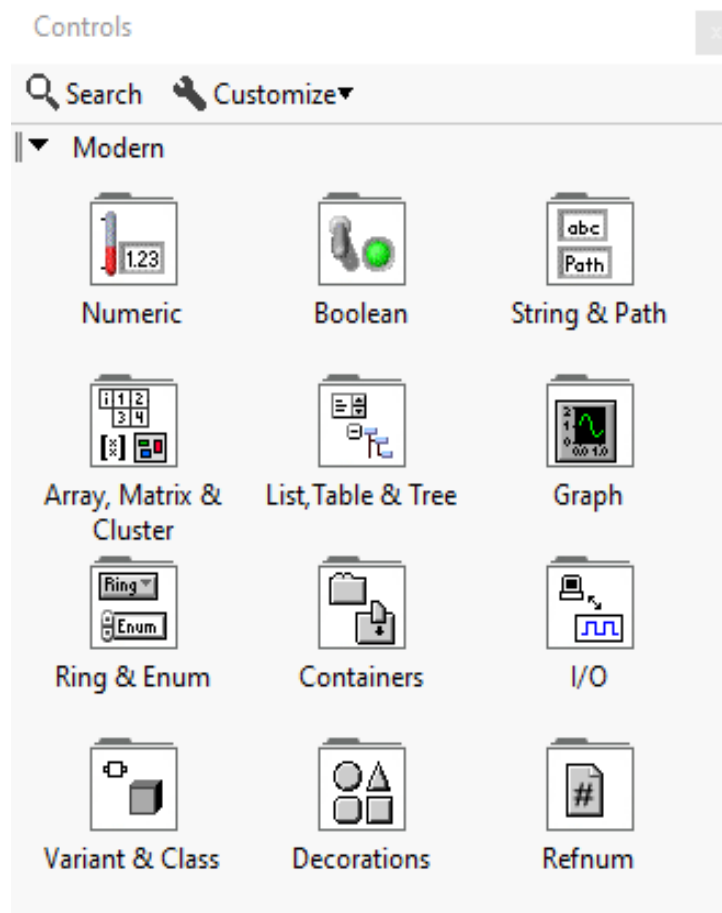


Figura 1.9. Paleta de control.

#### 1.3.2.1.4 Paleta de funciones.

Las funciones son los elementos de operación fundamentales de LabView, la paleta de Funciones contiene los VIs, funciones y constantes que se utilizan para crear el Diagrama de Bloques [10].

Ejemplo de estas funciones son:

- Estructuras
- Funciones Numéricas
- Funciones Booleanas
- Funciones de Cadenas de texto
- Funciones de Comparación
- Funciones de Tiempo
- Funciones de Arreglos
- Funciones de Análisis, etc.

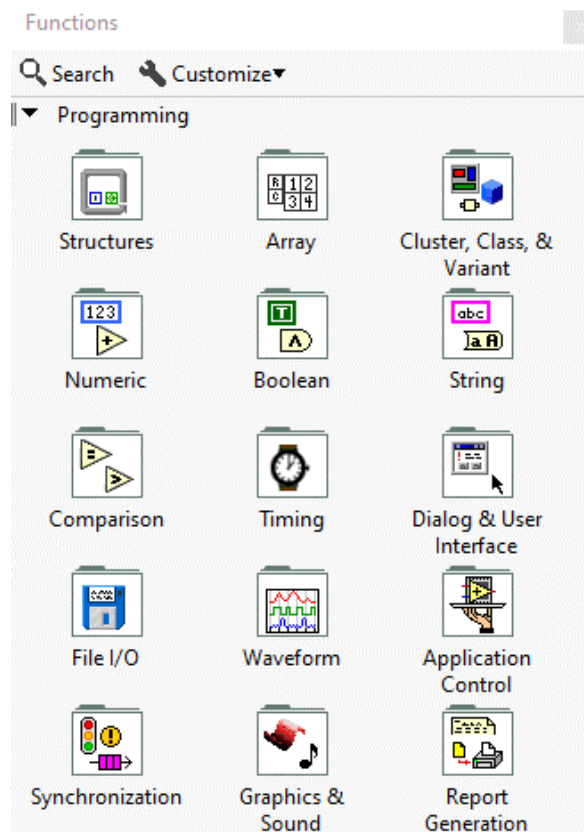


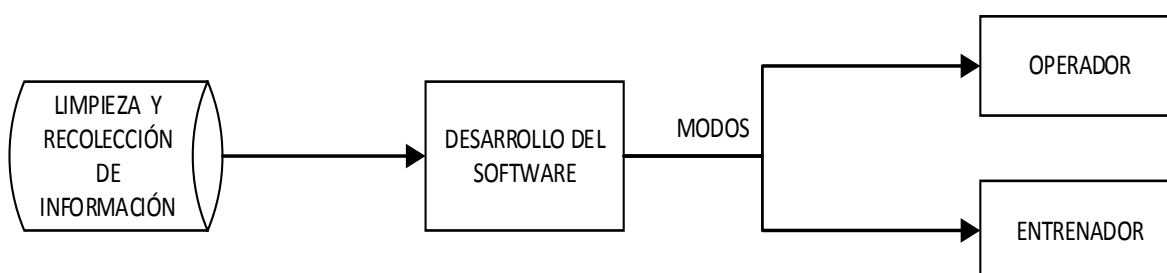
Figura 1.10. Paleta de funciones

## 2 METODOLOGÍA

En esta sección se describe el proceso realizado para el desarrollo del proyecto, el mismo que se encuentra conformado por dos partes. La primera comprende la limpieza, procesamiento de los datos recopilados y la información disponible de la “Subestación Santa Rosa”, los cuales fueron tomados como referencia para el desarrollo de la aplicación. La segunda es el desarrollo del software, con su respectiva HMI, para el cuál se utilizó la plataforma LabView (*Laboratorio Virtual Engineering Instrument Workbench*) bajo la licencia estudiantil otorgada por la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Se explica detalladamente cada uno de los pasos y comandos utilizados para su desarrollo, los resultados obtenidos una vez completados estos procesos son explicados en el capítulo 3.

El presente proyecto consta de los tipos de investigación: descriptiva debido a que las soluciones fueron planteadas después de una previa obtención de información donde se conocieron los problemas existentes y por ende los problemas a solucionar, y del tipo aplicada ya que una vez conocidos los problemas se consiguió implementar la interfaz propuesta para solucionar los mismos.

En la Figura 2.1 se puede visualizar el diagrama general con los procesos para el desarrollo de este proyecto, donde se encuentra la limpieza y la recolección de la información, así como el diseño y desarrollo del software, dentro de este segundo procedimiento se detallan los pasos seguidos para la obtención de cada uno de los módulos, operador y/o entrenador, del que consta el software, los mismos que son explicados detenidamente más adelante.



**Figura 2.1.** Diagrama general del desarrollo del sistema de entrenamiento.

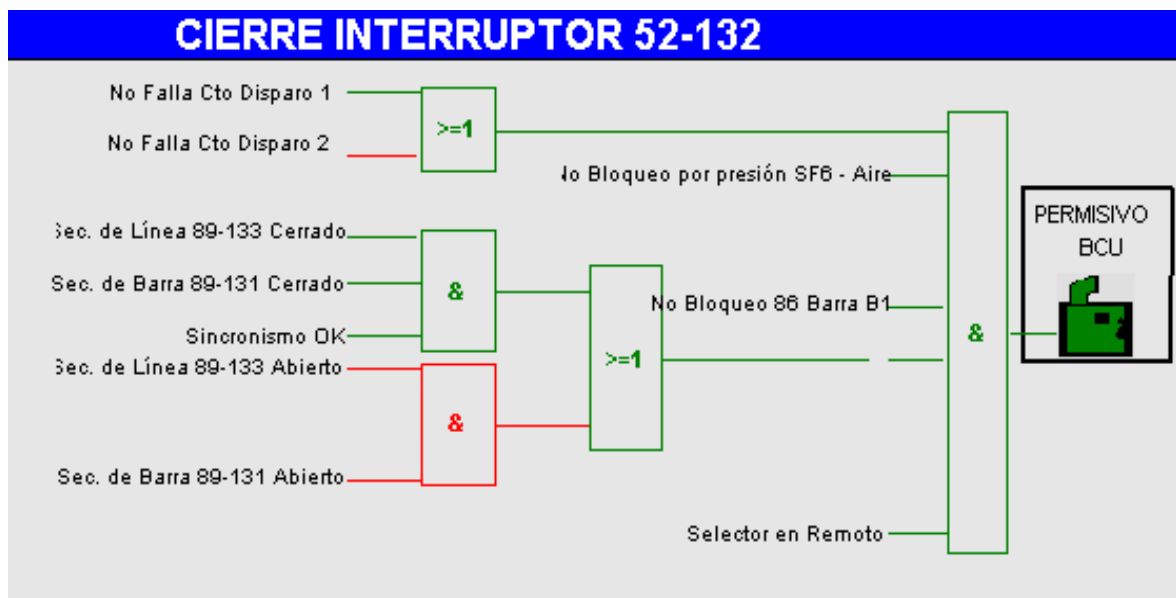
Además, la interfaz realizada en LabView permite la simulación de diferentes entornos, para esta aplicación: para la simulación de diferentes eventos normales de operación, para mantenimiento y para emergencia, que es a la que los operadores están constantemente sometidos en las subestaciones.

## 2.1 LIMPIEZA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Como en todas las subestaciones del país, la Subestación Santa Rosa cuenta con manuales internos de operación y con bases de datos de los elementos que la conforman. Además, del acceso a esta información de la subestación también se obtuvo el permiso para el acceso total a la IHM de la sala de control, donde mediante el apoyo de los operadores de los diferentes turnos diarios de la empresa se consiguió extraer información relevante para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

El tratamiento de la información otorgados por la empresa fue realizado de tal manera que se clasificó la información útil y relevante, para así evitar lógicas de control erróneas que perjudiquen el correcto funcionamiento del software planteado, para esto se realizó una limpieza exhaustiva en busca de errores, tales como información faltante, repetida o información ingresada incorrectamente.

Es importante señalar que para el desarrollo de este proyecto se obtuvo acceso a todos los enclavamientos de la Subestación Santa Rosa, para poder programar la lógica de control en el lenguaje G manejado por LabView. En la Figura 2.2 se puede observar los enclavamientos del interruptor 52-132 mientras que en la Figura 2.3 se tiene el diagrama unifilar general de 230kV de la subestación.



**Figura 2.2.** Enclavamientos de cierre del interruptor 52-132

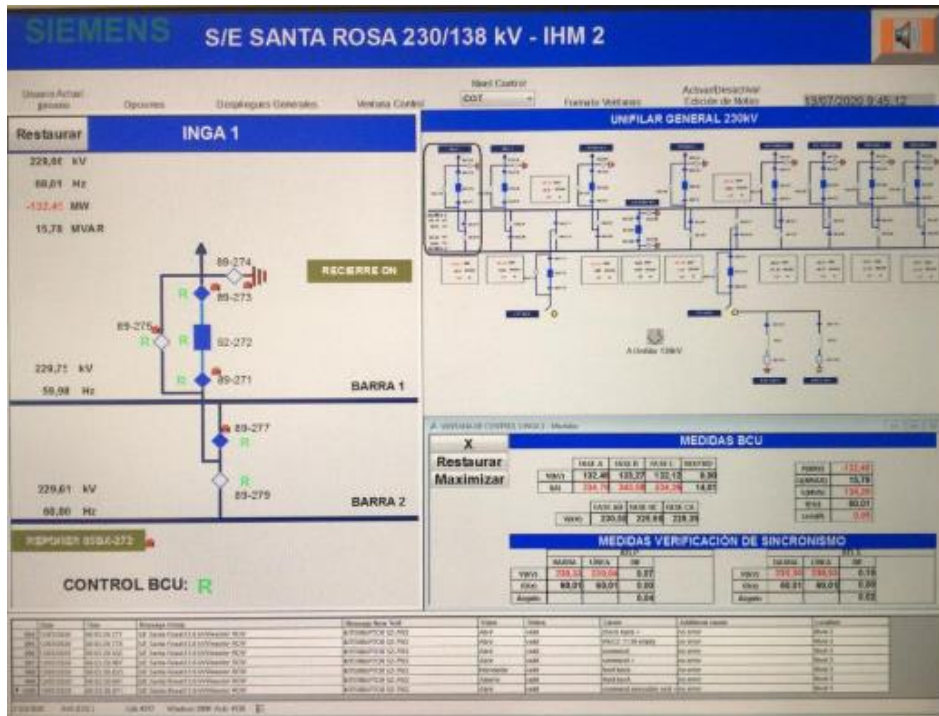


Figura 2.3. Diagrama Unifilar 230 [kV] y despliegue de la bahía Inga

La Figura 2.4 contiene la información de las alarmas activas y de las alarmas desaparecidas en la subestación, las mismas que se dan cada vez que ocurre algún cambio en el sistema, sea esta alguna modificación necesaria para un correcto funcionamiento o a su vez causada por alguna falla persistente.



Figura 2.4. Alarmas activas y desaparecidas

Para conocer más acerca del funcionamiento de los diferentes procesos de control del sistema se dispone del *MANUAL INTERNO DE OPERACIÓN DE LA SUBESTACIÓN "SANTA ROSA"* el mismo que corresponde a las maniobras que se realizan en cada una de las bahías que conforman la subestación, algunos de los procesos generales de este manual se encuentran a continuación.

### **2.1.1 PROCEDIMIENTOS**

La entidad encargada de realizar las operaciones para el SNI (Sistema Nacional Interconectado) es el COT (Centro de Operaciones de Transmisión), este debe coordinar cada una de las maniobras a realizarse con el CENACE (Operador Nacional de Electricidad), que es la única organización que tiene autorización para ordenar cualquier cambio o modificación en el SNI.

En las subestaciones eléctricas, los procedimientos de operación realizados deben ser ejecutados en un entorno con las medidas de seguridad adecuadas que garantice la calidad y efectividad del servicio brindado, las condiciones que obedecen las subestaciones son conocidas como enclavamientos que brindan las protecciones necesarias tanto al personal como a cada uno de los equipos. Cada uno de los procedimientos realizados se ejecutan bajo condiciones normales de operación, las cuales permiten establecer un procedimiento seguro para dichas operaciones.

Los procedimientos de operación pueden ser manuales o programados, se realizan para normalizar parámetros o resolver problemas de funcionamiento dentro de las subestaciones. A continuación, se presenta una descripción de varios de los procedimientos realizados, tales como:

- Operación de equipos a nivel de 230 [kV], 138 [kV] y 13.8 [kV].
- Mantenimiento con transferencia 230 [kV] y 138 [kV].
- Mantenimiento de autotransformadores

A continuación, se detalla los procedimientos de operación de los equipos del patio de maniobras de la subestación, tanto a nivel de 230 [kV] como de 138 [kV], en donde para describir de una forma generalizada la posición de la bahía se representa por "□", misma que depende de la bahía en la que se realice la operación, pudiendo ser las siguiente; 1, 2, 3, 4, 5, T, U y V.

### 2.1.1.1 Operación de equipos a nivel de 230 [kV]

El nivel de 230 [kV] tiene un sistema de 2 barras: BARRA 1 y BARRA 2, con un disyuntor de acoplamiento que es utilizado para la conexión entre barras y el que reemplaza a cualquier disyuntor por mantenimiento o falla. Las operaciones realizadas en este punto son las siguientes:

- Energización de una línea de transmisión  
Este proceso permite conectar la línea de transmisión con una de las diferentes barras existentes, haciendo posible el envío de energía hacia otra subestación, o a su vez, permitiendo la energización de las barras de una subestación local con la energía de otra subestación. Los pasos para la energización de una línea de transmisión son los siguientes:
  1. Cerrar el seccionador 89-2□7 si se va a conectar a la **Barra 1** o 89-2□9 si se va a conectar a la **Barra 2**.
  2. Cerrar el seccionador 89-2□1.
  3. Cerrar el seccionador 89-2□3.
  4. Cerrar el disyuntor 52-2□2.
  
- Energización del autotransformador ATT 230/138/13.8 [kV]  
Este proceso permite que el autotransformador sea energizado, en este proceso, de ser necesario se conecta el banco de compensación. Los pasos para la energización del autotransformador son los siguientes:
  1. Cerrar el seccionador 89-2T7 si se va a conectar a la Barra 1 o 89-2T9 si se va a conectar a la Barra 2.
  2. Cerrar el seccionador 89-2T1
  3. Cerrar el seccionador 89-2T3
  4. Cerrar el disyuntor 52-2T2
  
- Uso del disyuntor 52-2Ø2 en reemplazo de cualquier posición de 230 [kV], cuando una posición quede conectada a la barra 1, ocupando el disyuntor de Acoplamiento; **NO SE PUEDE UTILIZAR** la Barra 2 como transferencia.

1. Dejar la posición a ser remplazada conectada a la barra que se encuentre en ese momento.
2. Pasar las demás posiciones a la otra barra operando los seccionadores 89-2□7 y 89-2□9, según sea el caso.
3. Cerrar el seccionador 89-2□5 de la posición que va a remplazar el interruptor.
4. Abrir el interruptor remplazado 52-2□2.
5. Abrir el seccionador 89-1□1 del interruptor remplazado
6. Abrir el seccionador 89-1□3 del interruptor remplazado

*Nota:* Si durante la utilización del disyuntor 52-2Ø2 como transferencia, este se dispara, la normalización del circuito afectado se debe hacer con el mismo disyuntor.

- Retorno a la posición normal
  1. Cerrar el seccionador 89-2□1 del interruptor remplazado
  2. Cerrar el seccionador 89-2□3 del interruptor remplazado
  3. Cerrar el disyuntor 52-2□2 que estuvo remplazado
  4. Abrir el seccionador 89-2□5 del disyuntor que se acaba de conectar.
  5. Regresar las demás posiciones a su barra original usando los seccionadores 89-2□7 y 89-2□9, según sea el caso.
  
- Sincronización de una posición de 230 [kV] con ayuda del disyuntor 52-2Ø2, cuando ocurra una falla en uno de los disyuntores de 230 KV se puede energizar el circuito correspondiente a dicho interruptor utilizando la posición del Acoplador de Barras mediante el siguiente procedimiento:
  1. Chequear que el disyuntor afectado esté abierto. Caso contrario abrir el disyuntor afectado 52-2□2 en forma manual.
  2. Abrir el seccionador 89-2□1 del disyuntor afectado.
  3. Abrir el seccionador 89-2□3 del disyuntor afectado.
  4. Cerrar el seccionador 89-2□7 para la Barra 1 o el 89-2□9 para la Barra 2.
  5. Pasar las demás posiciones a la otra barra operando los seccionadores 89-2□7 y 89-2□9, según sea el caso.
  6. Abrir el disyuntor 52-2Ø2



7. Cerrar el seccionador de bypass 89-2□5 del interruptor afectado.
8. Cerrar el disyuntor de Acoplamiento 52-2Ø2.

### **2.1.1.2 Mantenimiento con transferencia de la bahía TOTORAS 1**

Como ejemplo se procede a detallar los procedimientos de mantenimiento con transferencia efectuados para la bahía Totoras 1.

Inicialmente, se deja la bahía TOTORAS 1 a ser remplazada conectada a la Barra 1. Luego se pasan las bahías POMASQUI 1, STO. DOMINGO 1, ATU 230 [kV] y TOTORAS 1 a la Barra 2.

1. INGA 1: Cerrar 89-279, Abrir 89-277
2. ATU 230 KV: Cerrar 89-2U9, Abrir 89-2U7
3. STO. DOMINGO 1: Cerrar 89-219, Abrir 89-217
4. POMASQUI 1: Cerrar 89-259, Abrir 89-257
5. TOTORAS 1: Cerrar 89-245; Abrir 52-242; Abrir 89-241; Abrir 89-243

*Nota:* Si durante la utilización del disyuntor 52-2Ø2 como transferencia, este se dispara, la normalización del circuito afectado se debe hacer con el mismo disyuntor.

Para la normalización se debe ejecutar la siguiente secuencia:

1. TOTORAS 1: Cerrar 89-241; Cerrar 89-243; Cerrar 52-242; Abrir 89-245
2. INGA 1: Cerrar 89-277; Abrir 89-279
3. ATU 230 [kV]: Cerrar 89-2U7; Abrir 89-2U9
4. STO. DOMINGO 1: Cerrar 89-217; Abrir 89-219
5. POMASQUI 1: Cerrar 89-257; Abrir 89-259

### **2.1.1.3 Mantenimiento del autotransformador ATT 138 [kV]**

A continuación, a modo de ejemplo, se detalla el procedimiento de mantenimiento del autotransformador ATT 138 [kV].

1. ATT 138 [kV]: Abrir 52-1T2
2. ATT 230 [kV]: Abrir 52-2T2
3. ATT 230 [kV]: Abrir 89-2T1; Abrir 89-2T3; Abrir 89-2T9
4. ATT 138 [kV]: Abrir 89-1T1; Abrir 89-1T3

Para la normalización se tienen en cuenta los siguientes pasos:

1. ATT 230 [kV]: Cerrar 89-2T9; Cerrar 89-2T1; Cerrar 89-2T3
2. ATT 138 [kV]: Cerrar 89-1T1; Cerrar 89-1T3
3. ATT 230 [kV]: Cerrar 52-2T2
4. ATT 138 [kV]: Cerrar 52-1T2

*NOTA:* Debido a lo extenso que es el manual de operaciones de la subestación Santa Rosa, el documento completo se encuentra dentro del apartado de Anexos.

## **2.2 DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE**

La HMI de LabView fue diseñada para un mejor entrenamiento de los operadores de las subestaciones de CELEC EP TRANSELECTRIC, los mismos que deben ser capacitados por los supervisores de operación.

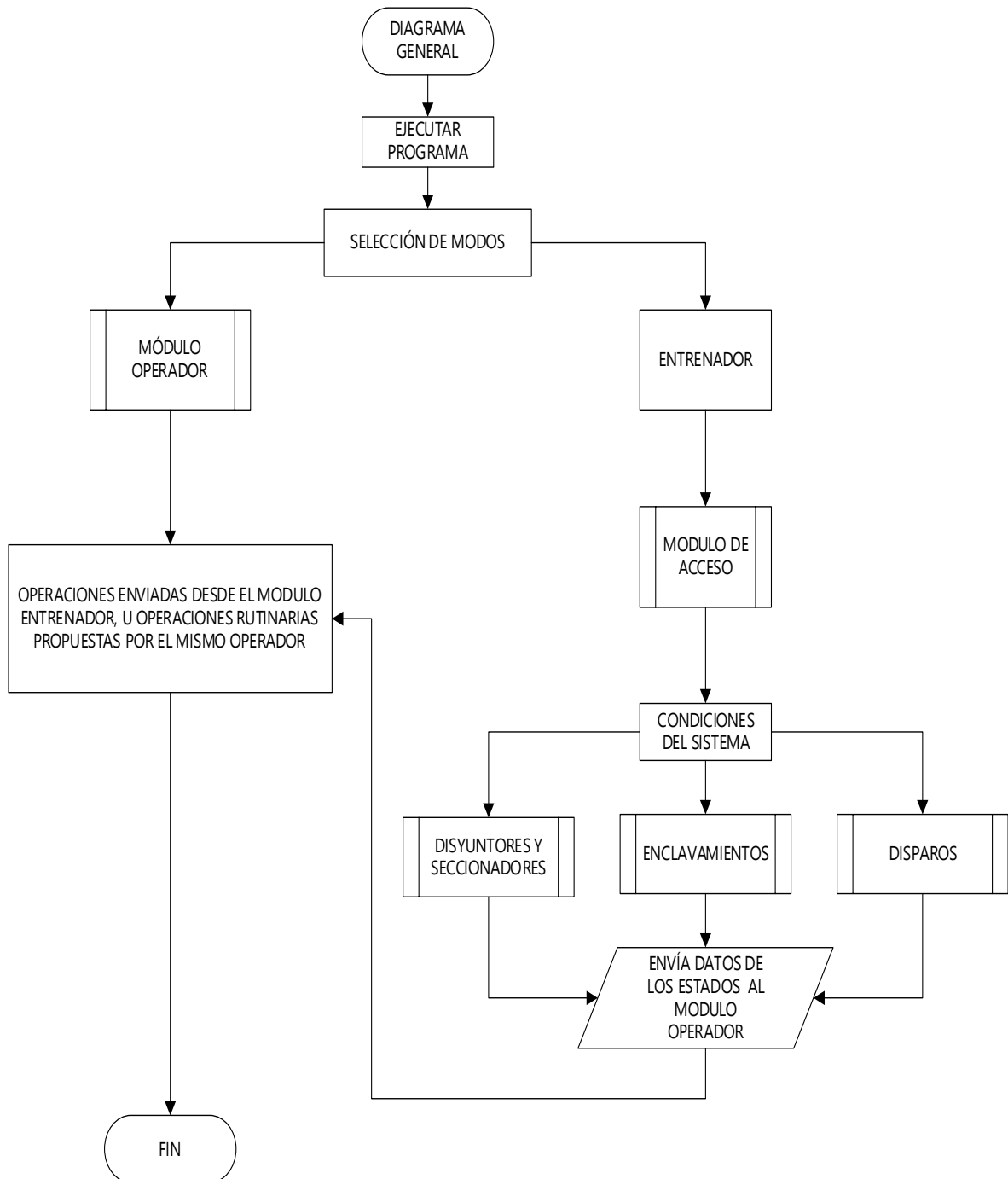
La plataforma SIDEOS planteada en este proyecto está constituida por dos módulos: un módulo de entrenador y un módulo de operador. Cada uno de los módulos cuenta con sus características y funciones propias/únicas, y el acceso a cada uno de estos se muestra luego de la ventana de presentación del programa, la cual contiene información puntual, como el nombre asignado a la plataforma, versión y fecha de creación.

En el diagrama de la Figura 2.5 se puede visualizar el funcionamiento general del programa, debido a la extensión de este, se procedió a implementar subprogramas, que más adelante se explicaran de una forma más detallada por medio de diagramas de flujos. Para la total comprensión de la lógica de programación en cada uno de los módulos, tanto el módulo de operador como el módulo del entrenador están compuestos cada uno por un lazo donde se detalla la secuencia que estos siguen.

En el diagrama se puede observar que el ingreso al módulo operador es libre mientras que el ingreso al módulo entrenador requiere de una contraseña, procedimiento que se explica más adelante. También, se observa que una vez que las condiciones del sistema están establecidas el entrenador envía éstas al módulo del operador para que este pueda acceder a la capacitación asignada.

A continuación, se explica de manera más detallada cada uno de los bloques inmersos en el diagrama de flujo general y a su vez se presentan nuevos diagramas, esto con el claro

objetivo de explicar de una mejor manera el procedimiento seguido en el desarrollo de cada uno de los módulos que conforman la plataforma desarrollada en este trabajo de titulación.



**Figura 2.5.** Diagrama general de la plataforma.

## 2.2.1 MÓDULO OPERADOR

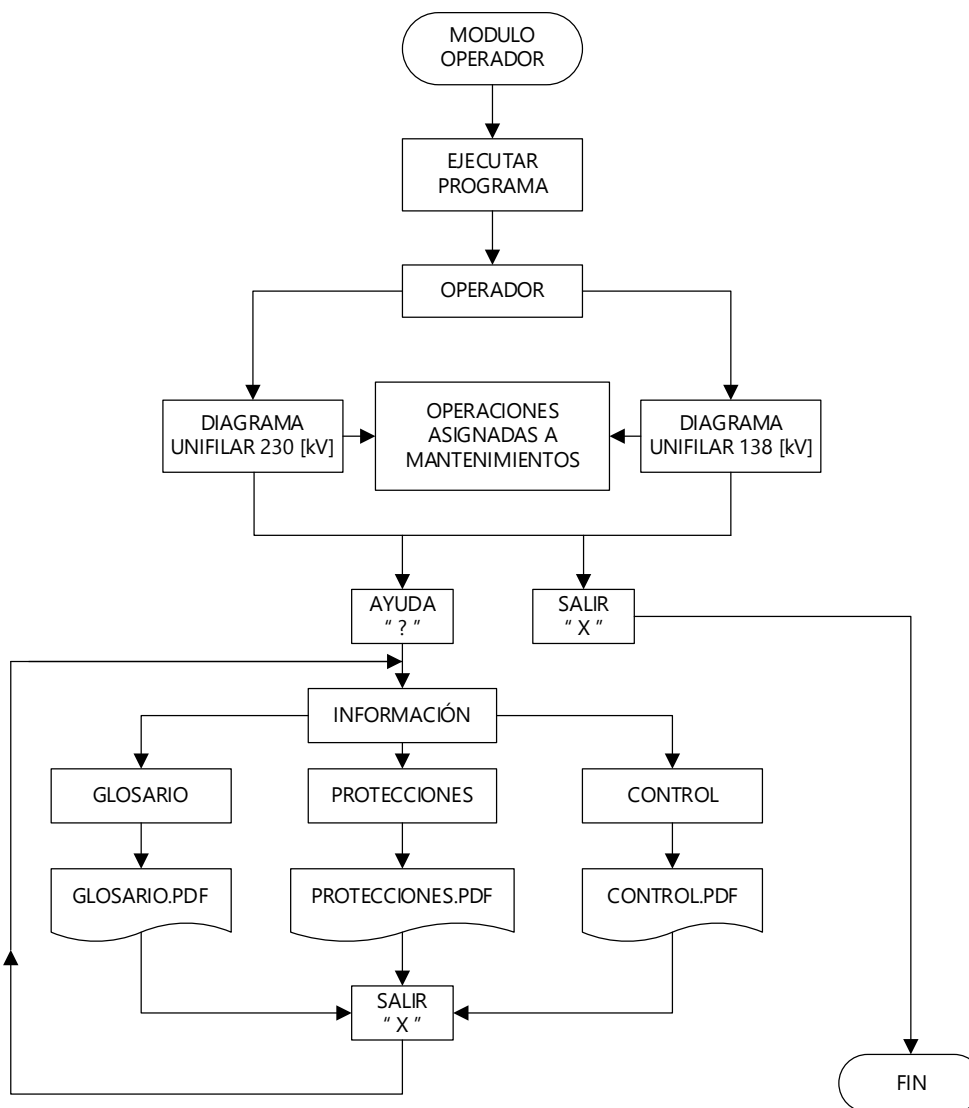
El operador es el individuo cuya participación es activa, en las etapas de entrenamiento, el propósito de éste es adquirir conocimientos generales y específicos del funcionamiento del sistema, maniobras y planes de restablecimientos, procedimientos y acciones a realizarse ante eventos de rutina o de emergencia.

El código implementado para este módulo se desarrolla de la manera en que se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 2.6, que previamente es traducido a LabView para sus diferentes operaciones. En este módulo, una vez ejecutado el programa, se escoge el modo, para este caso el modo de "operador" el cual decide el tipo de diagrama unifilar a emplearse, puede elegir entre el de 138 [kV] y el de 230 [kV], mediante dos pestañas presentes en la ventana destinadas a este cambio.

Adicionalmente se presenta la pestaña de ayuda, donde el operador puede acceder a información básica del glosario de términos, descripción de protecciones y a la descripción de control. Al seleccionar cualquiera de estas opciones al operador se le despliega un documento en PDF donde encuentra la información concerniente a cada una de estas, la misma que le ayuda a aclarar dudas y a un mejor desempeño en su avance en la capacitación.

Además, para realizar cualquier tipo de maniobra el operador debe ingresar a cada una de las diferentes bahías que componen el diagrama unifilar, indistintamente del diagrama seleccionado, una vez dentro de alguna bahía el operador tiene los permisos para editar o cambiar cualquier parámetro que considere pertinente para su aprendizaje. Al ingresar a las bahías el operador tiene el acceso a los enclavamientos los cuales otorgan los permisos para abrir o cerrar, estos se pintan de verde cuando se cumple la condición asignada o colocada y en rojo cuando no se cumple esa condición, también se despliega el panel de alarmas y eventos donde se registran cualquier modificación realizada en el sistema.

Finalmente, se encuentra la opción de salir la misma que permite que el operador abandone el módulo de operación, regresando así a la pantalla de presentación.



**Figura 2.6.** Diagrama de flujo para el acceso del modo operador.

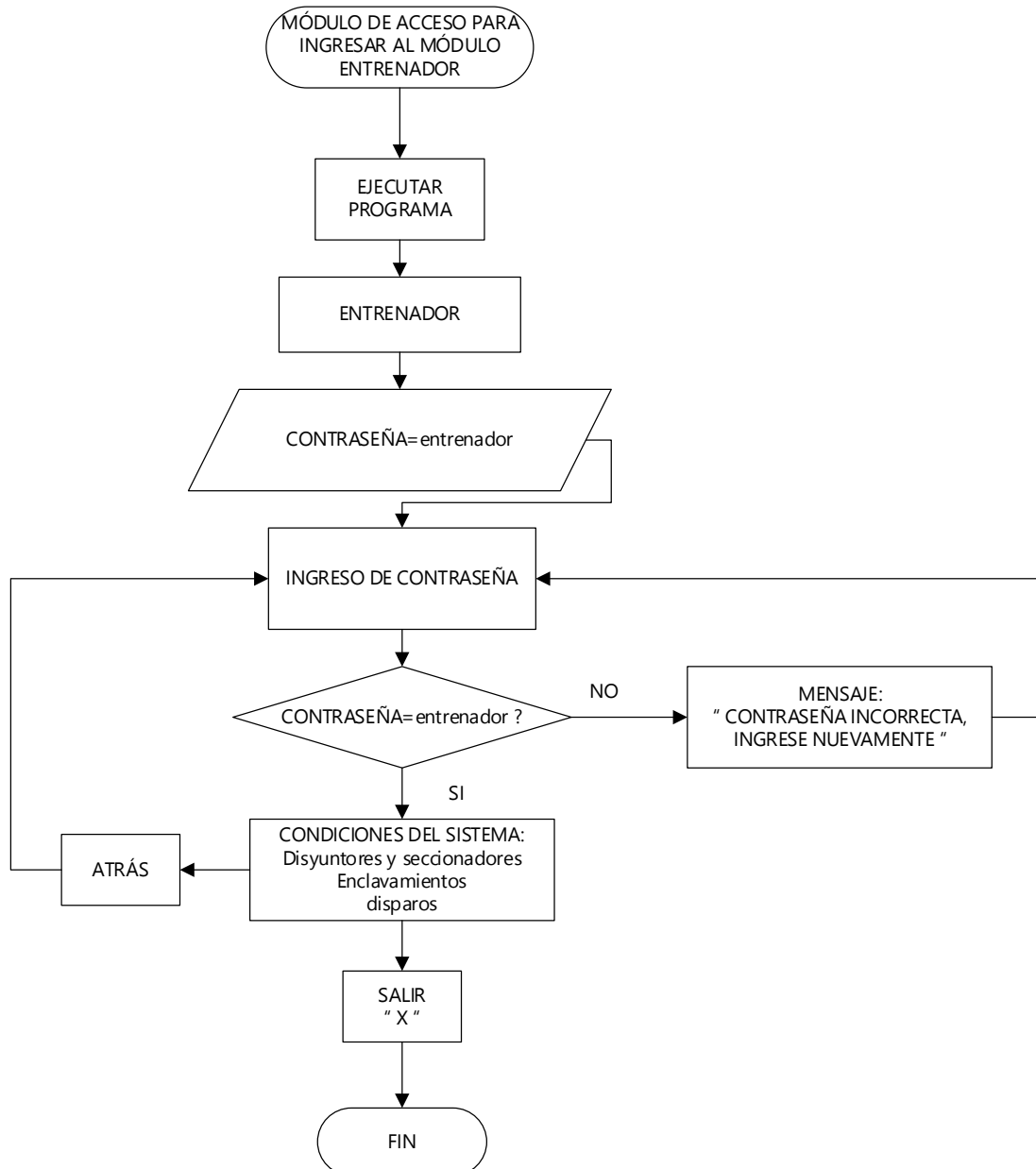
### 2.2.2 MÓDULO DE ACCESO – LOGIN (ENTRENADOR)

El módulo de acceso es el que restringe el acceso al módulo del entrenador, debido a que el entrenador es la única persona capacitada para el uso de este módulo exclusivo para el entrenamiento de los operadores de subestaciones; en este caso son los supervisores de operación de cada una de las cuatro zonas operativas que conforman CELEC – EP TRANSELECTRIC.

Se desarrolló un algoritmo simple de seguridad informática básica y se generó una interfaz que valide una contraseña para tener acceso al módulo entrenador y todas las funciones

que en ella se encuentran. El diagrama de la Figura 2.7 muestra la programación seguida para el módulo de acceso al modo entrenador.

Es importante tener en cuenta que el entrenador es el único que puede dotar (añadir y/o modificar) las diferentes situaciones descritas en las líneas posteriores. En la Figura 2.8, correspondiente el módulo del entrenador se explica más detalladamente cada uno de los bloques que influyen en el acceso.



**Figura 2.7.** Diagrama de flujo para el acceso al modo entrenador.

Se detallan más aspectos de este módulo en el modo entrenador, que es donde se lo utiliza.

### **2.2.3 MÓDULO ENTRENADOR**

El entrenador es el individuo a cargo de dirigir la capacitación, impartir los conocimientos previamente adquiridos, supervisar ejercicios y motivar y ayudar a que el operador cumpla con los objetivos de la capacitación de manera organizada. Además, se encuentra a cargo de la evaluación de los operadores y se encarga de emplear la información obtenida en el proceso de retroalimentación para una mejora continua de la capacitación.

El entrenador debe orientar la capacitación con el fin de mejorar el análisis post falla, reducir errores humanos, reflejar debilidades en procesos de restauración, mejorar la coordinación, aclarar responsabilidades y actuaciones de los individuos y equipos de trabajo, mejorar la actuación de los individuos, y desarrollar habilidad y confianza en tareas de restauración.

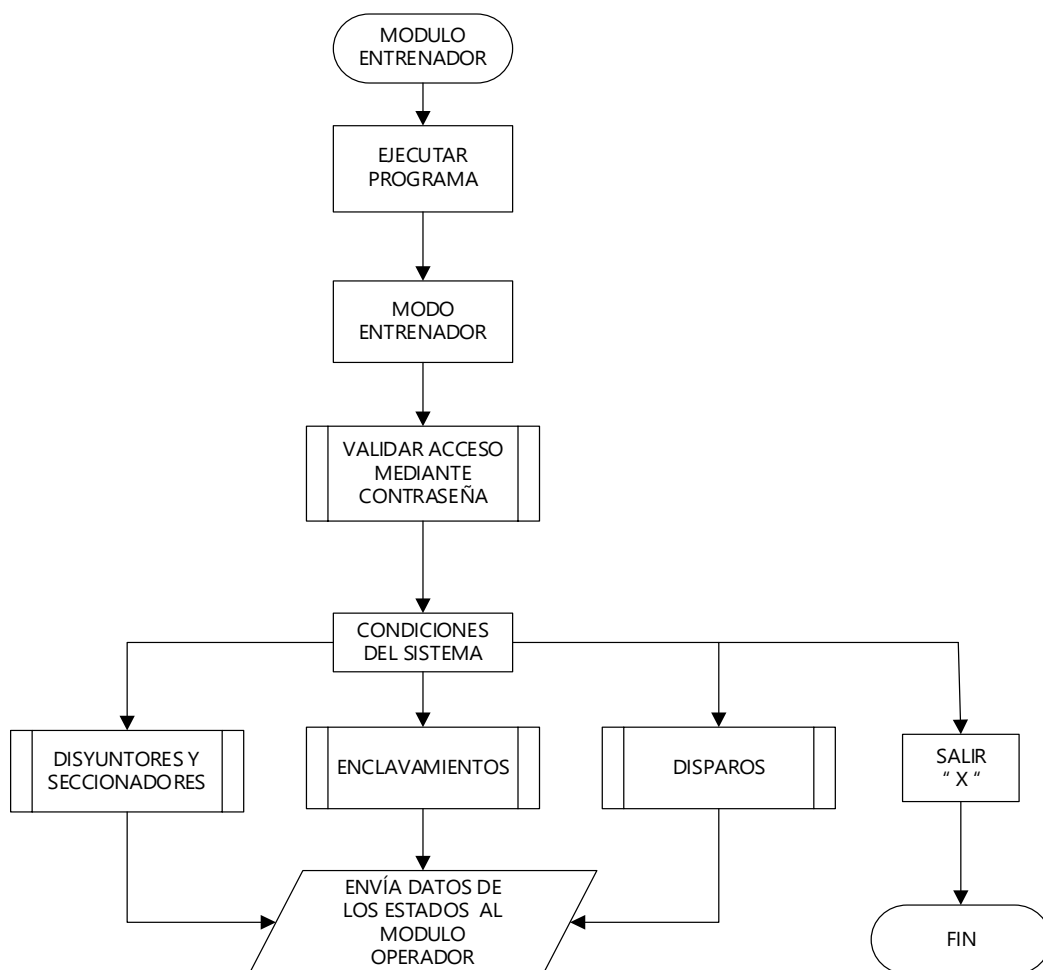
Para la programación de este modo se sigue el diagrama de flujo de la Figura 2.8, para después traducirlo a LabView y realizar las operaciones más eficientes. En este módulo, una vez ejecutado el programa, se escoge el modo, para este caso el modo “entrenador” el cual solicita validar una contraseña para acceder, como se explicó en el apartado anterior. Una vez dentro del modo entrenador, se encuentran las diferentes condiciones posibles del sistema, siendo estas: disyuntores y seccionadores, enclavamientos y/o disparos, así como también la opción de regresar.

Al seleccionar la pestaña de disyuntores y seccionadores, en este caso el entrenador, puede elegir entre el diagrama unifilar de 138 [kV] y el diagrama unifilar de 230 [kV], después de decidir el diagrama a utilizar es necesario que el entrenador seleccione en primer lugar la pestaña correspondiente al operador para actualizar estados, es decir, copiar los estados o las condiciones que tiene el diagrama unifilar en modo operador al diagrama unifilar del modo entrenador para revisar que se encontraba realizando este. La pestaña correspondiente a establecer estados se refiere a que las condiciones que el entrenador establezca en su pantalla se actualizan o se copian como condiciones iniciales en el diagrama unifilar del operador.

Así también, para regresar a la pantalla de condiciones el entrenador debe elegir la pestaña de nombre entrenador. Luego puede escoger la condición de enclavamiento, y de igual manera debe escoger entre los diagramas unificares de 138 [kV] y de 230 [kV], en esta

opción se tienen las diferentes condiciones que el entrenador puede elegir para que de alguna u otra manera afecten a las diferentes bahías y que el operador debe tener en consideración observando las alarmas que se presentan.

De la misma manera se regresa a la pantalla de condiciones a través de la pestaña modo entrenador; como condición final se tiene los disparos, una vez elegidos estos se procede de manera similar a lo realizado en la condición de enclavamiento, es decir, el entrenador puede elegir condiciones que afecten las bahías en el diagrama unifilar del operador el cual debe tomarlas en cuenta y revisarlas de acuerdo con las alarmas disparadas dentro de cada bahía.



**Figura 2.8.** Diagrama de flujo del modo entrenador.

Adicionalmente, es importante aclarar que en la pantalla de entrenador los diagramas no tienen enclavamientos, también, dentro de las condiciones existe la opción de salir con la cual el entrenador puede abandonar el módulo y regresar a la pantalla de presentación.



El diagrama de flujo de la Figura 2.7, contiene los pasos seguidos para el acceso al modo de entrenador, el mismo que requiere de una contraseña de acceso. En el caso de ingresar la contraseña requerida de manera incorrecta se despliega un mensaje notificando el error y pidiendo ingresar nuevamente la contraseña y si el acceso es correcto se despliega la pantalla con las condiciones del sistema desde la cual se puede retornar al módulo de acceso, así como también se puede salir del sistema.

### **2.2.3.1 Seccionadores e interruptores**

En esta etapa el entrenador puede configurar las condiciones iniciales, actualizar estados, establecer estados, así como también desplegar el HMI del operador y entrar en modo entrenador, tal como se indica en el diagrama de flujo de la Figura 2.9.

#### *2.2.3.1.1 Actualizar estados*

La opción de actualizar estados permite enviar los estados de los despliegues del módulo de operador a los despliegues del módulo de entrenador. Al presionar este botón, el entrenador puede visualizar los estados de los controles del operador en su propia pantalla, específicamente, en la ventana de condiciones iniciales del sistema. Dentro del diagrama de flujo de la Figura 2.9 se puede observar la programación de este.

#### *2.2.3.1.2 Establecer estados*

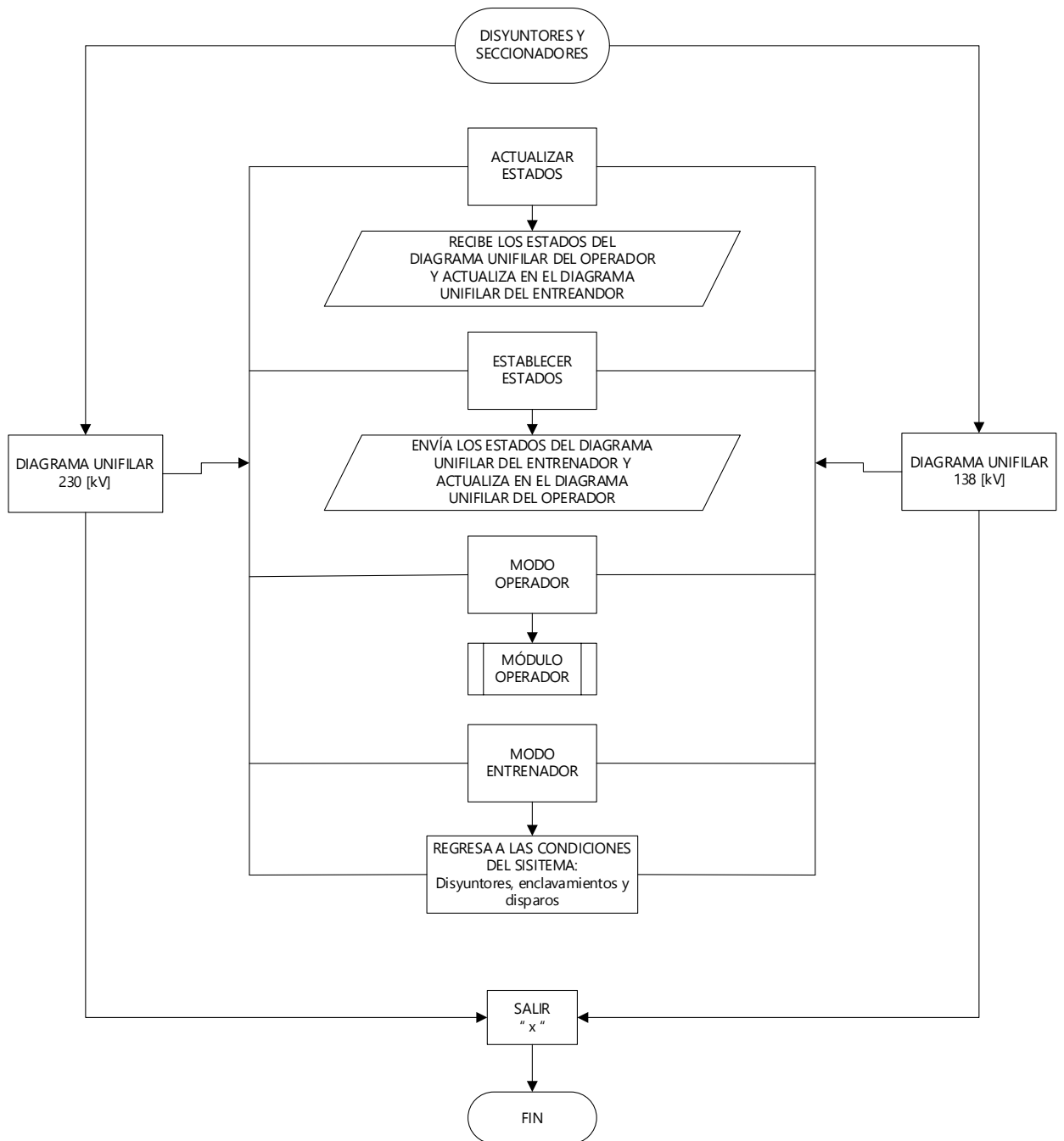
La opción de establecer estados es un privilegio que permite que los estados establecidos en la ventana de condiciones iniciales por parte del entrenador puedan enviarse a los despliegues mostrados en el módulo de operador. De igual manera se usa el diagrama de flujo de la Figura 2.9 para poder traducirlo a lenguaje de alto de nivel en la interfaz de LabView.

#### *2.2.3.1.3 Modo Operador*

La opción de entrar en modo operador permite abrir la ventana del modo operador en la pantalla compartida y encontrarse con lo explicado anteriormente para el módulo en cuestión.

#### *2.2.3.1.4 Modo Entrenador*

La opción modo entrenador permite regresar a observar las diferentes condiciones del sistema, mediante el despliegue de una nueva ventana.

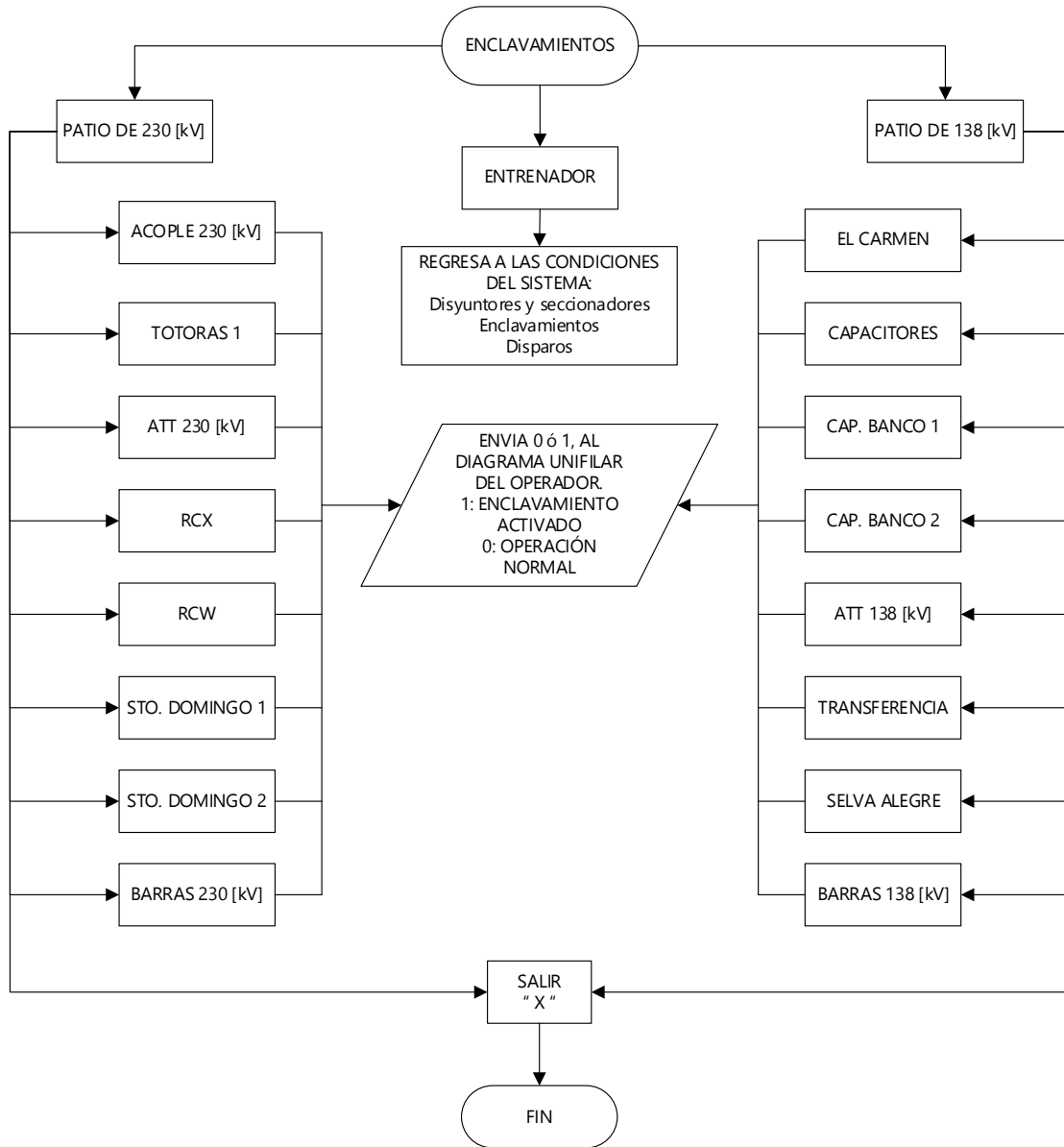


**Figura 2.9.** Configuración de condiciones

### 2.2.3.2 Enclavamientos

La ventana enclavamientos permite al entrenador cambiar las condiciones del sistema, actuando sobre las características propias sobre cada elemento o bahía. Al ingresar a esta

ventana se puede elegir el camino por el cual seguir siendo estos el patio de 230 [kV] o el de 138 [kV] cada uno enlazado las diferentes bahías, como se observa en el diagrama de la Figura 2.10.

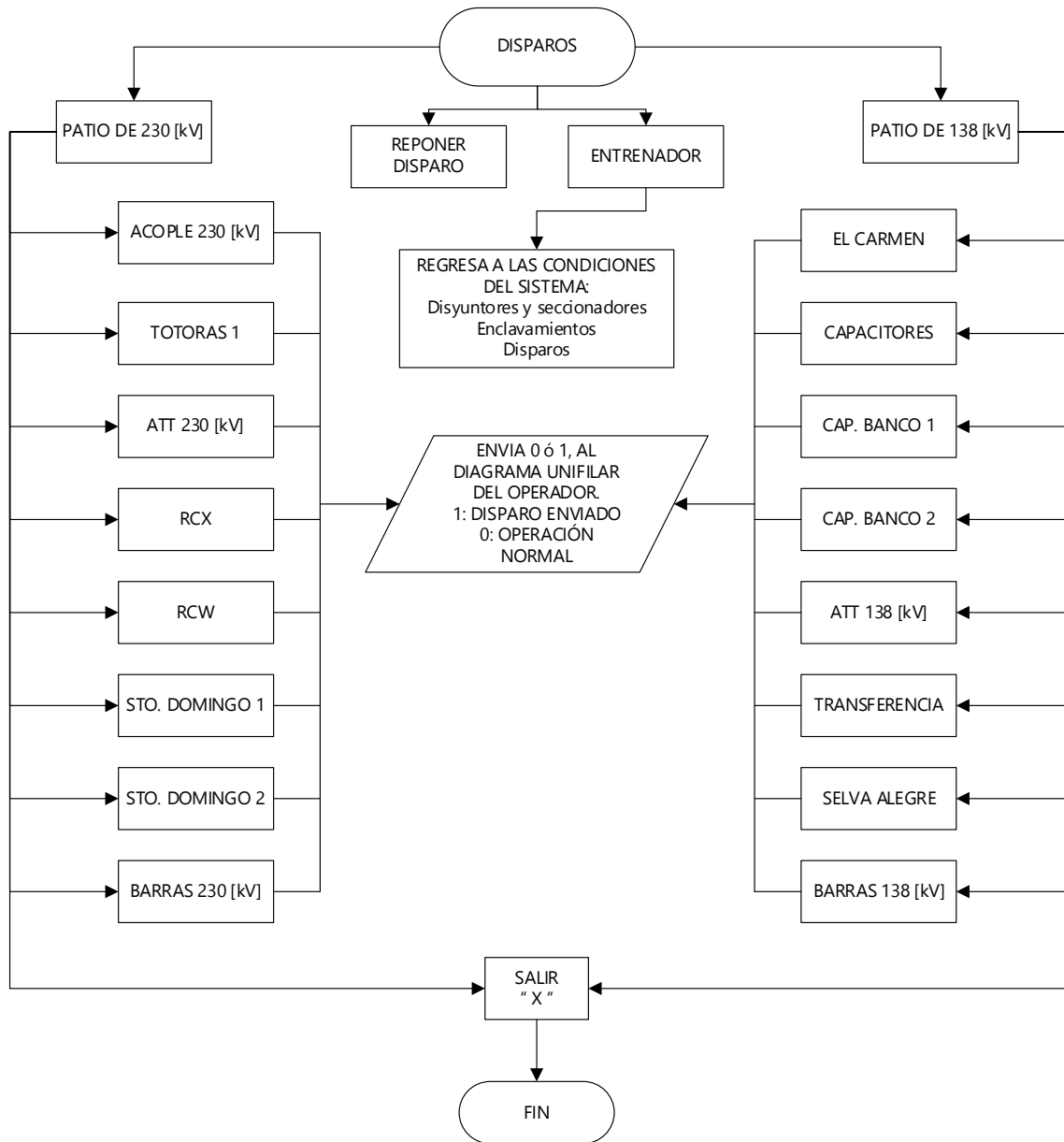


**Figura 2.10.** Enclavamientos.

### 2.2.3.3 Disparos

Esta ventana se diseña para que se permita evaluar al operador ante fallas en la subestación, los disparos deben estar asociados a las bahías del sistema. El siguiente

diagrama de flujo de la Figura 2.11 describe la traducción del lenguaje de LabView de todos los comandos para su funcionamiento.



**Figura 2.11.** Diagrama de disparos.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan una breve discusión de su implementación, así como los resultados obtenidos de la ejecución de la plataforma desarrollada, SIDEOS, para cada uno de los módulos. También, se presentan unos ejemplos de funcionalidad de esta.

#### 3.1 INTERFACES GRÁFICAS

La plataforma SIDEOS está constituida por dos módulos: el módulo entrenador y el módulo operador, cada uno de estos módulos cuenta con sus características y funciones propias, programadas exclusivamente para cumplir con las características propuestas inicialmente al inicio de este proyecto.

##### 3.1.1 INTERFAZ DE PRESENTACIÓN

Esta interfaz representa el inicio, o presentación del programa SIDEOS, misma que contiene el título del sistema de entrenamiento, logo de la Escuela Politécnica Nacional, logo de CELEC EP – TRANSELECTRIC, versión, autor, fecha y año de presentación. La Figura 3.1 muestra la pantalla de presentación de la plataforma.



**Figura 3.1.** Pantalla de presentación de SIDEOS.

### 3.1.2 INTERFAZ MODOS DE OPERACIÓN

Esta interfaz, ver Figura 3.2, se muestra automáticamente, luego de haber transcurrido 5 segundos, después de la presentación de la pantalla de inicio del sistema de entrenamiento SIDEOS. Esta pantalla de modos de operación me permite elegir el ingreso al sistema de entrenamiento; en modo operador o modo entrenador, cabe recalcar que para ingresar en modo entrenador se debe ingresar una clave de acceso, mientras que en modo operador no tiene ninguna restricción de acceso.



**Figura 3.2.** Módulos de SIDEOS.

### 3.1.3 INTERFAZ MODO OPERADOR

La interfaz del modo operador tiene acceso a los despliegues de los diagramas unifilares generales, como se observa en la Figura 3.3 y la Figura 3.4, son los diagramas correspondientes a los niveles de voltaje de 230 [kV] y 138 [kV] respectivamente. Además, esta interfaz permite acceder a las ventanas ampliadas de las bahías, enclavamientos, eventos, y alarmas, como se observa en la Figura 3.11; similares a las presentadas en las Interfaces Hombre Máquina del SCADA que se maneja en la mayoría de las subestaciones.

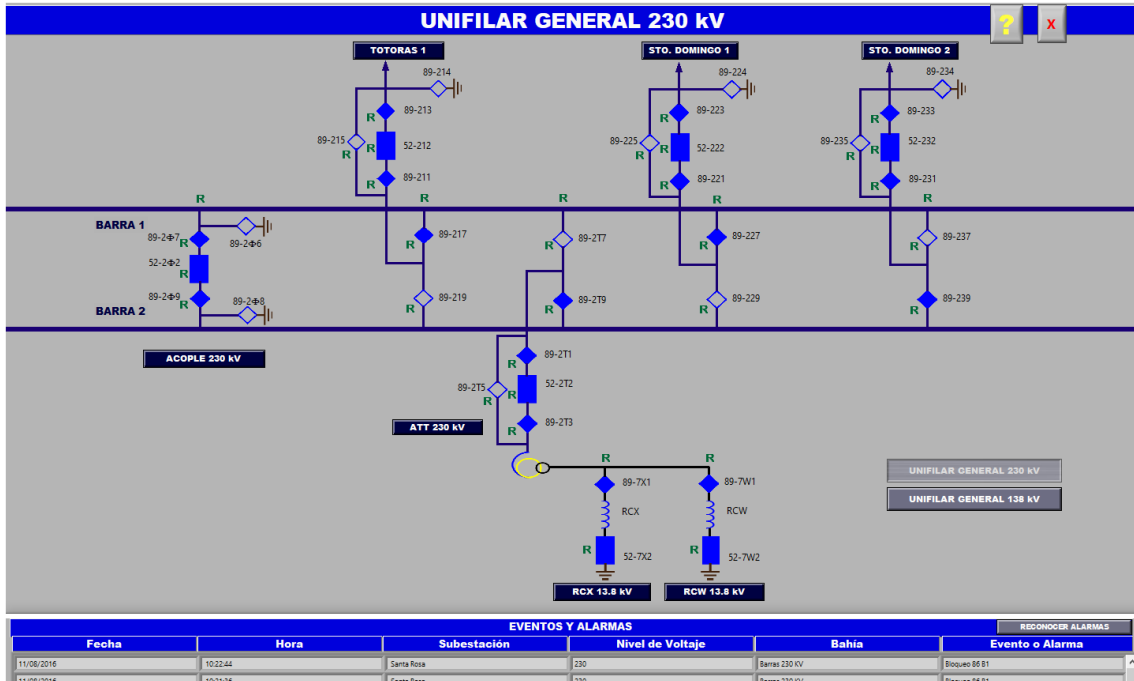


Figura 3.3. Despliegues del operador, Diagrama unifilar 230[ kV].

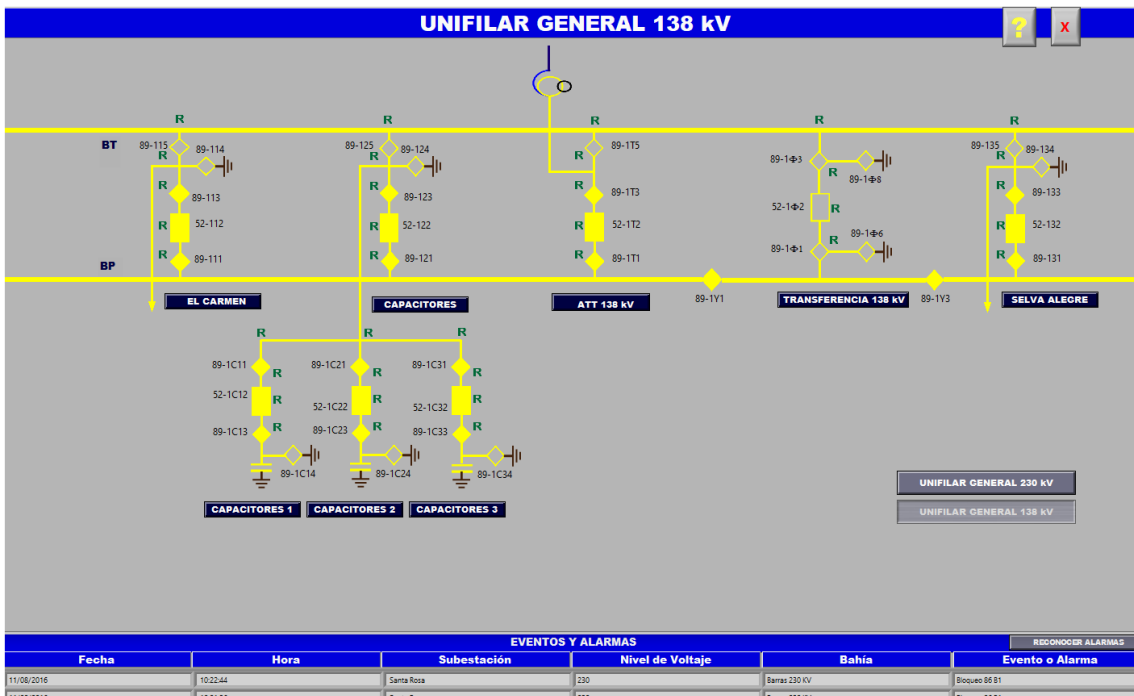
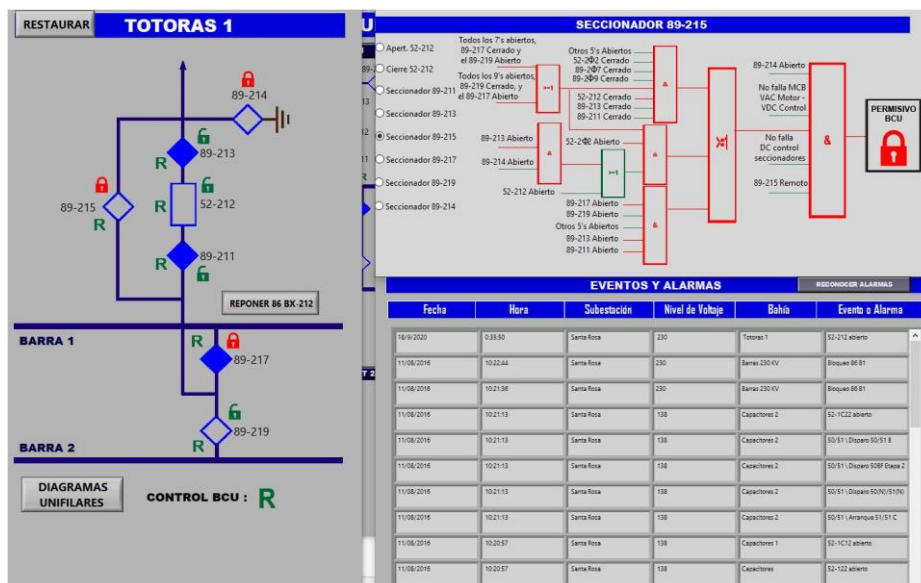


Figura 3.4. Despliegues del operador, Diagrama Unifilar 138 [kV].

En cada diagrama unifilar, se encuentran botones con el nombre de cada bahía, que permiten la apertura de tres elementos virtuales al mismo tiempo. Estos elementos virtuales

corresponden al despliegue ampliado de la bahía, enclavamientos y lista de eventos y alarmas.



**Figura 3.5.** Despliegue ampliado de bahía, enclavamientos, eventos y alarmas.

En el despliegue ampliado de cada bahía, mostrado en la Figura 3.5, se permite al operador cambiar el estado de los elementos que tengan permisivo. Cuando un elemento tiene permisivo se muestra un candado abierto de color verde junto al elemento, caso contrario el candado se encuentra cerrado y en color rojo. En la ventana de enclavamientos se puede apreciar por elementos (disyuntor o seccionador), cuáles son las condiciones que habilitan o no el permisivo de cada uno de ellos, esto permite al operador verificar la condición de un elemento en específico, lo que le permite la detección oportuna de fallas en los equipos de seccionamiento del patio de maniobras.

En la ventana mostrada en el extremo inferior derecho de la Figura 3.5 se muestran los eventos y las alarmas, producto de las variaciones de controles en el modo operador (eventos) y en el modo entrenador (alarmas). Para cada evento o alarma se presenta: fecha, hora (hora:minuto:segundo), subestación, nivel de voltaje, bahía y el nombre del evento y alarma.

Además, se programó la mayoría de los eventos que ocurren en la realidad como son avalanchas de alarmas que se presentan luego de ocurrido un evento, con el fin de que los operadores se entrenen en el rápido reconocimiento de alarmas importantes con consciencia de su afectación al sistema. Cuando el entrenador envía un disparo, en la



ventana correspondiente se muestra la avalancha de alarmas asociadas. La ventana produce un parpadeo, como se muestra en la Figura 3.6, y deja de parpadear cuando se realice el reconocimiento de estas.

EVENTOS Y ALARMAS					
Fecha	Hora	Subestación	Nivel de Voltaje	Bahía	Evento o Alarma
18/04/2016	0:21:22	Santa Rosa	230	Totoras 1	89-213 abierto
18/04/2016	0:21:23	Santa Rosa	230	Totoras 1	89-217 cerrado
18/04/2016	0:21:24	Santa Rosa	230	Totoras 1	Local
18/04/2016	0:21:25	Santa Rosa	230	Totoras 1	Remoto
18/04/2016	0:21:26	Santa Rosa	230	Totoras 1	89-217 cerrado
18/04/2016	0:21:28	Santa Rosa	230	Totoras 1	89-213 cerrado
18/04/2016	0:21:30	Santa Rosa	230	Totoras 1	52-212 cerrado
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Disparo General
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Arranque Fase B
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Arranque Tierra
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Disparo 87B-52
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Sobretensión - Operación
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Disparo Barra 1
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	86B1 Operado
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Falla DCP Barra
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	Falla Fusible
18/04/2016	0:45:43	Santa Rosa	230	Totoras 1	52-2T2 abierto

**Figura 3.6.** Avalanchas de alarmas.

También, cuenta con un botón de ayuda que se encuentra localizado en la parte superior derecha en los despliegues de los diagramas unifilares, mismo que permite acceder a la información básica de lo referente a las subestaciones como, por ejemplo: glosario de términos, descripción de protecciones y descripción de control, y así, el operador tenga una actitud de autoeducación y se entrene continuamente. A continuación, en la Figura 3.7 se muestra la pestaña de información.



**Figura 3.7.** Avalanchas de alarmas.

En general, en el modo operador, el individuo puede acceder a la aplicación y entrenarse por cuenta propia sobre las diferentes maniobras en condiciones normales de operación, analizar los diferentes bloqueos eléctricos y enclavamientos del sistema de control de subestaciones, y además de familiarizarse con las señales y alarmas del equipamiento primario en la subestación.

### 3.1.4 INTERFAZ DE ACCESO – LOGIN (ENTRENADOR)

La interfaz de acceso requiere una contraseña para ingresar al modo entrenador, como se observa en la Figura 3.8, con el objetivo de evitar que el operador tenga acceso a las ventanas de condiciones iniciales, establecimientos de enclavamientos, y disparos que podría crear el entrenador en el momento de la evaluación.

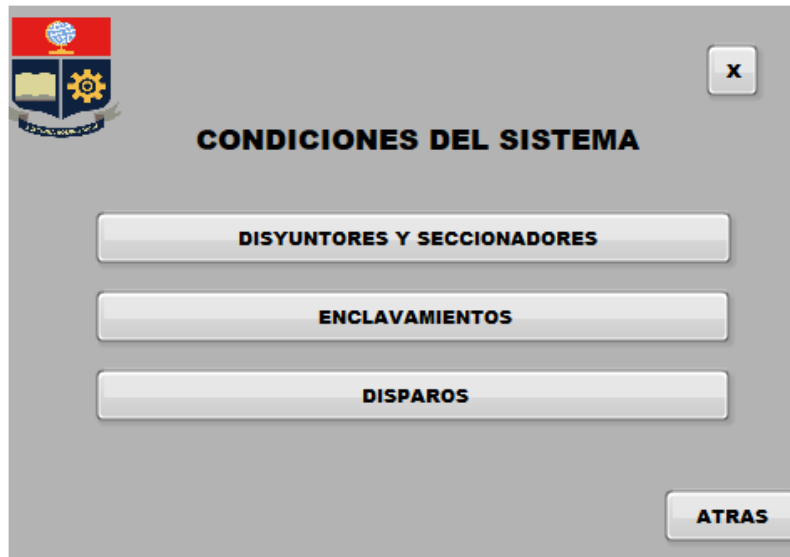


**Figura 3.8.** Acceso al módulo entrenador.

### 3.1.5 INTERFAZ MODO ENTRENADOR

En este módulo el entrenador es el individuo a cargo de dirigir la capacitación, impartir los conocimientos previamente adquiridos, supervisar ejercicios, motivar y ayudar a que el operador cumpla con los objetivos de la capacitación de manera organizada. Además, se encuentra a cargo de la evaluación de los operadores y se encarga de emplear la información obtenida en el proceso de retroalimentación para una mejora continua de la capacitación.

Luego de ingresar la clave en la Figura 3.8, el entrenador tiene acceso a la ventana de condiciones del sistema mostrada en la Figura 3.9 en la que se presentan tres botones que permiten establecer las condiciones del sistema, ya sea en evaluación o entrenamiento.

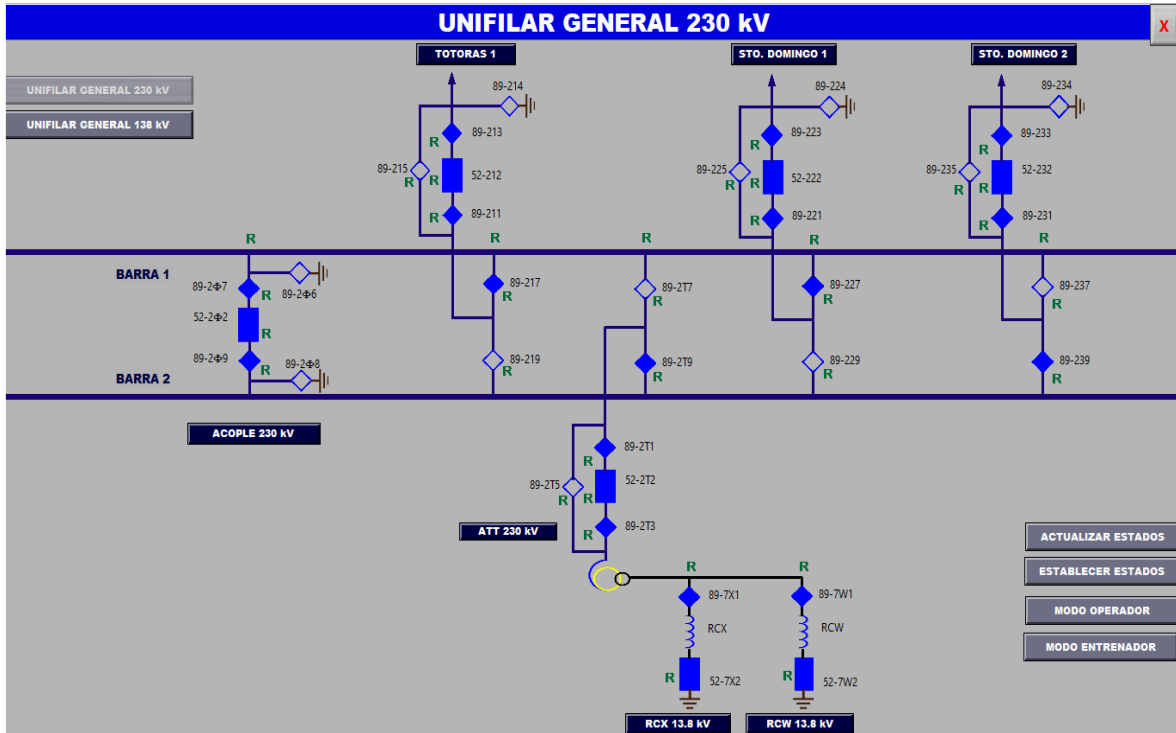


**Figura 3.9.** Ventana de condiciones del sistema.

A continuación, se presenta una descripción más detallada del uso de cada una de las opciones del módulo de entrenador:

### **3.1.5.1 Disyuntores y seccionadores**

Al presionar el botón “Disyuntores y Seccionadores”, el entrenador tiene acceso a los diagramas unifilares similares a los presentados al operador, en su respectivo módulo. La diferencia de los diagramas unifilares presentados al entrenador, es que no tienen ningún tipo de restricción o enclavamiento, y se puede cambiar el estado de los seccionadores e interruptores con solo dar clic sobre el elemento que se desee abrir o cerrar. En la Figura 3.10 se puede visualizar la pantalla que observaría el entrenador.



**Figura 3.10.** Ventana de condiciones iniciales del sistema.

Además de los botones que permiten mostrar los diferentes diagramas unifilares correspondientes a los distintos niveles de voltaje 230 [kV] y 138 [kV], se presentan cuatro botones de interés para el entrenador que se detallarán a continuación:

#### 3.1.5.1.1 Actualización de estados

Al dar clic sobre este botón se realiza una copia exacta en el diagrama unifilar del entrenador del estado abierto o cerrado de los elementos del diagrama unifilar del operador, con el fin de que el entrenador pueda verificar y controlar si, el procedimiento que está realizando el operador es correcto o erróneo.

#### 3.1.5.1.2 Establecer estados

Permite establecer condiciones iniciales de los elementos del diagrama unifilar del entrenador, los mismos que son copiados exactamente en el diagrama unifilar del operador.

### 3.1.5.1.3 Modo operador

Esta pestaña permite desplegar el módulo operador en una pantalla compartida, y así el entrenador pueda interactuar con el operador en los diferentes problemas y ejercicios planteados.

### 3.1.5.1.4 Modo entrenador

Al ejecutar el botón Modo entrenador, automáticamente regresa y muestra la ventana de condiciones del sistema.

## 3.1.5.2 Enclavamientos

La ventana de enclavamientos mostrada en la Figura 3.11 indica los parámetros posibles que el entrenador puede cambiar de las condiciones del sistema, actuando sobre características propias de cada elemento o bahía. Por ejemplo: bloqueo por SF6/Aire de disyuntores, sincronismo, falla en el circuito de disparo, resorte descargado de disyuntores, falla MCB VAC – Motor VDC Control de disyuntores y seccionadores, falla DC en el control de seccionadores, condición de subtensión, falla fusible 21P, bloqueo 86 B1 o B2, entre otros, problemas típicos que a la hora de un restablecimiento causan retrasos.

CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA							X
PATIO 230 kV		PATIO 138 kV			MODO ENTRENADOR		
ACOPLE 230 kV	TOTORAS 1	ATT 230 kV	RCX	RCW	STO. DOMINGO 1	STO. DOMINGO 2	
No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire	No Bloqueo por SF6	No Bloqueo por SF6	No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire	
Sincronismo OK	Sincronismo OK	Sincronismo OK	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1	Sincronismo OK	Sincronismo OK	
No falla Cto Disparo	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1	
No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2	
No Discrepancia de Polos	No Discrepancia de polos	No Bloqueo 86-2T2	No falla MCB Motor y Control AC Calef	No falla MCB Motor y Control AC Calef	No Discrepancia de polos	No Discrepancia de polos	
No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-207	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Bloqueo 86-RCX	No Bloqueo 86-RCW	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	
No falla DC control seccionadores 89-207	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-211	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-212			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 52-222	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 52-232	
No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-209	No falla DC control seccionadores 89-211	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-211			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-221	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-231	
No falla DC control seccionadores 89-209	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-213	No falla DC control seccionadores 89-211			No falla DC control seccionadores 89-221	No falla DC control seccionadores 89-231	
	No falla DC control seccionadores 89-213	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-213			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-223	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-233	
	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-215	No falla DC control seccionadores 89-213			No falla DC control seccionadores 89-223	No falla DC control seccionadores 89-233	
	No falla DC control seccionadores 89-215	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-215			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-225	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-235	
	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-217	No falla DC control seccionadores 89-215			No falla DC control seccionadores 89-225	No falla DC control seccionadores 89-235	
<b>BARRAS 230 kV</b>	No falla DC control seccionadores 89-217	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-217			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-227	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-237	
No bloqueo 86 B1	No falla DC control seccionadores 89-217	No falla DC control seccionadores 89-217			No falla DC control seccionadores 89-227	No falla DC control seccionadores 89-237	
No bloqueo 86 B2	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-219	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-217			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-229	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-239	
	No falla DC control seccionadores 89-219	No falla DC control seccionadores 89-219			No falla DC control seccionadores 89-229	No falla DC control seccionadores 89-239	
	No falla fusible 21P	No falla DC control seccionadores 89-219			No falla fusible 21P	No falla fusible 21P	
	Si hay subtensión				Si hay subtensión	Si hay subtensión	

Figura 3.11. Ventana de enclavamientos.

### 3.1.5.3 Disparos


Esta ventana, como lo indica la Figura 3.12, permite al entrenador evaluar la reacción y actuación de operadores ante fallas, que es uno de los principales enfoques de SIDEOS. Al presionar cualquiera de los tipos de disparos asociados a las bahías del sistema, se realizan dos cosas de manera simultánea: la primera es el cambio de “estado cerrado” a “estado abierto”, de los elementos asociados a cada disparo. La segunda acción simultánea es el despliegue de la avalancha de alarmas ligadas a cada disparo en la ventana de eventos y alarmas que se presenta al operador.





Figura 3.12. Ventana de disparos.

## 3.2 APLICACIONES PRÁCTICAS

En este apartado se describen brevemente algunas de las características de los elementos usados en el sistema de entrenamiento “SIDEOS”, además se exponen algunos casos prácticos desarrollados y/o ejecutados en dicho sistema.

Cuando el candado  se encuentra en la posición de cerrado y está de color rojo, este elemento se encuentra bloqueado y no se puede cambiar de estado, es decir, no se puede ni abrir ni cerrar.

Cuando el candado  se encuentra en la posición de abierto y está de color verde, este elemento se encuentra desbloqueado y es permitido manipular para abrir o cerrar el elemento, sea este interruptor o seccionador.

 es una señal indicativa que me permite comandar los elementos del patio de conexiones, interruptores y seccionadores desde el IHM de la sala de control o nivel 2.

**L** este símbolo indica que el nivel 2 no se encuentra activado (no está activo), es decir, no se podría ni abrir ni cerrar ninguno de los equipos del patio de maniobra desde el IHM del operador, en este caso es necesario el traslado a las casetas de control o directamente a los tableros de mando de cada equipo, ubicados en el patio de maniobras para los respectivos ajustes.

A continuación, se presenta la resolución de algunos problemas prácticos, iniciando con un primer caso donde se utilizan maniobras básicas y de mantenimientos, y conforme se avanza con los casos propuestos se eleva el nivel de dificultad hasta conseguir recrear problemas reales de las subestaciones eléctricas, los mismos que anteriormente eran casi imposible resolverlos de manera rápida y eficiente.

Los problemas planteados se han tomado de una lista de algunos casos, los cuales han surgido a lo largo de la vida profesional de los supervisores de operación y de los operadores con más experiencia trabajando en planta de las diferentes subestaciones del país, pertenecientes a CELEC-EP TRANSELECTRIC.

Los ejercicios planteados se han dividido por nivel de dificultad, se han desarrollado uno en el nivel básico, dos en el nivel medio y uno en el nivel avanzado; donde se demuestra el potencial del sistema de entrenamiento SIDEOS.

### **3.2.1 NIVEL BÁSICO**

En este nivel se encuentran las maniobras de energización y desenergización de las bahías de transmisión, bahías de transformación, bancos de capacitores y bancos de reactores; se detalla todo el procedimiento práctico con la ayuda de SIDEOS. Es importante saber que para todas las bahías se cumple el mismo procedimiento, por esta razón se detalla el procedimiento únicamente de una de ellas.

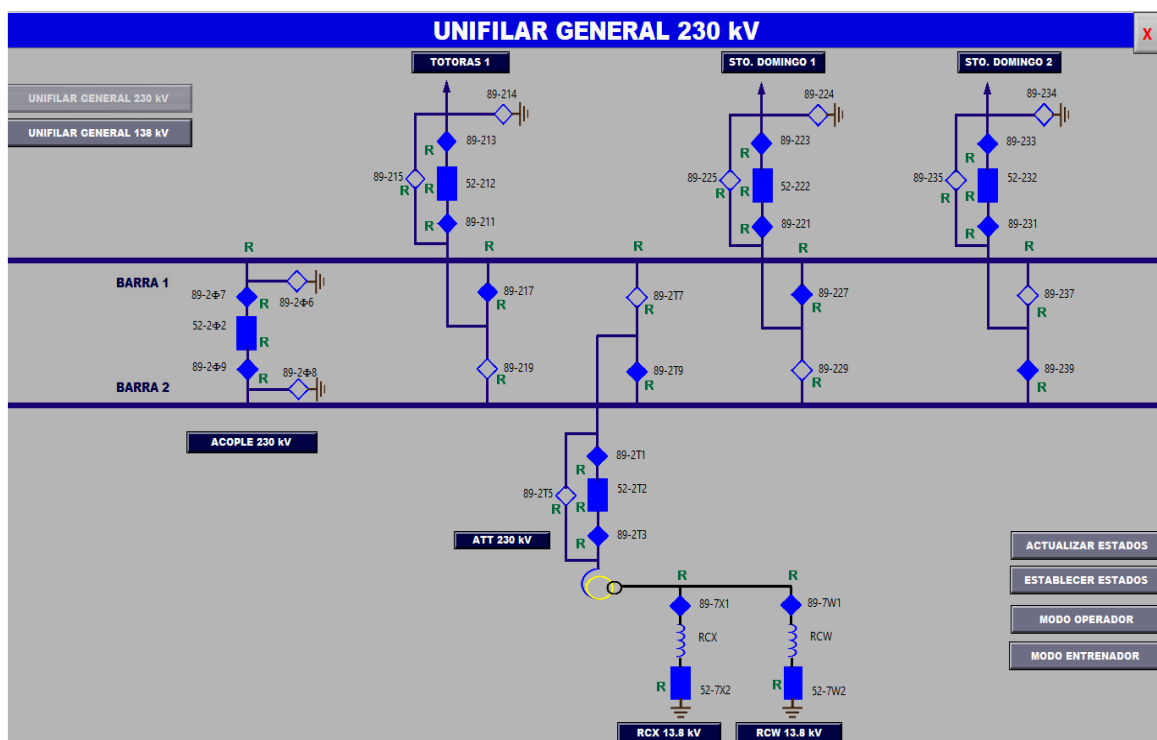
En el anexo correspondiente al *Manual de Operación de la Subestación Santa Rosa* se describen los procedimientos realizados bajo condiciones normales de operación y de mantenimiento, los mismos que se pueden replicar en el sistema de entrenamiento SIDEOS.

**Ejemplo:** Realizar el procedimiento para energizar la bahía TOTORAS 1, considerando las condiciones iniciales que se detallan a continuación.

Condiciones iniciales:

- Bahías conectadas a barra 1; Santo Domingo 1
- Bahías conectadas a barra 2; Santo Domingo 2 y ATT 230 [kV]
- Bahía Acople 230 [kV] cerrada.
- Bahía Totoras 1 abierta.

Debido a que la subestación en condiciones normales de operación presenta todas sus bahías conectadas, tanto a la barra 1 como a la barra 2, como se muestra en la Figura 3.13, para establecer las condiciones iniciales anteriormente detalladas es necesario abrir todos los elementos correspondientes a la bahía TOTORAS 1, de esta manera se puede realizar el ejercicio de energización de esta bahía.



**Figura 3.13.** Diagrama unifilar de 230[kV] perteneciente al modo entrenador.

Al ejecutar la aplicación SIDEOS se muestra la imagen de la Figura 3.14, elegimos el modo entrenador, ya que desde este módulo se puede establecer las condiciones iniciales que son enviadas al diagrama unifilar 230 [kV] del Operador.

Al seleccionar la pestaña entrenador, se despliega automáticamente una ventana que solicita el ingreso de una contraseña, como se observa en la Figura 3.15, la misma que permite validar el ingreso de la persona a cargo de la capacitación.



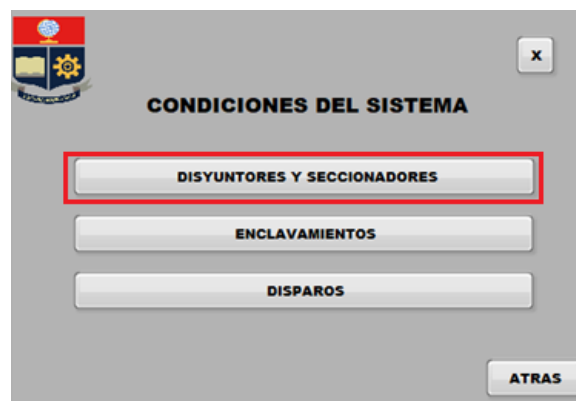


**Figura 3.14.** Modos de operación.



**Figura 3.15.** Login de ingreso al modo entrenador.

Si la contraseña ingresada es correcta se despliega la ventana de condiciones del sistema, como se indica en la Figura 3.16. Después, se procede a dar clic sobre la pestaña de disyuntores y seccionadores, que es el acceso a los diagramas unifilares de 230 [kV] y 138 [kV].

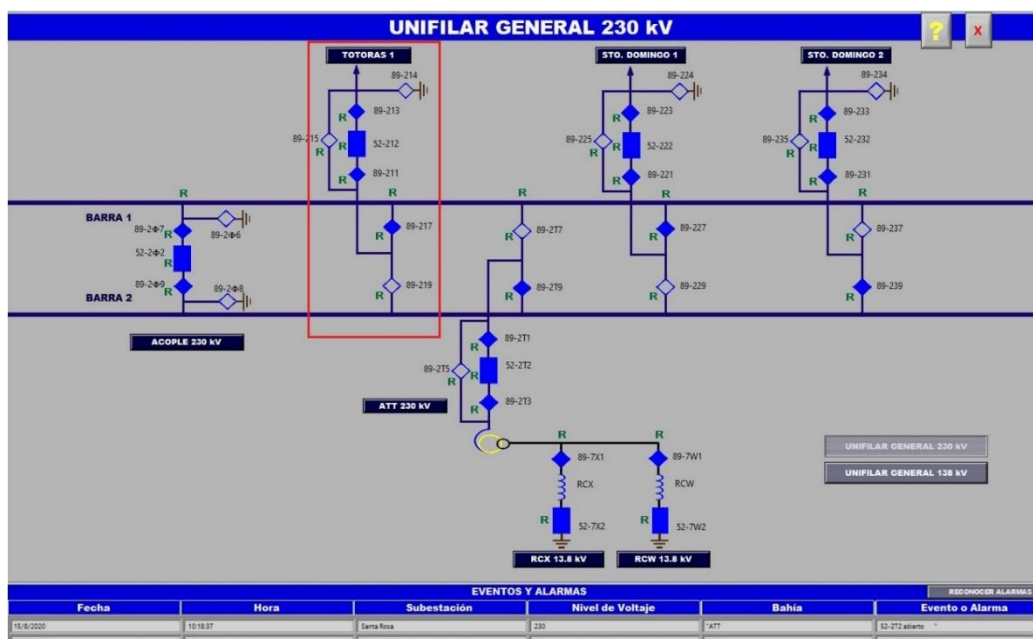


**Figura 3.16.** Condiciones del Sistema.

En la Figura 3.13 se puede observar el diagrama general de 230 [kV], el cual tiene acceso el entrenador desde su propio monitor, para este caso quien ingresa es el supervisor de operación, debido a que es la persona plenamente capacitada para realizar y recrear un sin fin de eventos y condiciones anormales de operación. Es importante mencionar que, en este diagrama unifilar, al que tiene acceso el entrenador no tienen enclavamientos y se puede alterar el estado de abierto y cerrado solo dando clic sobre el elemento que se desee cambiar el estado.

En la parte inferior derecha de la Figura 3.13 se puede dar clic sobre el Modo Operador, para desplegar en el monitor del operador el diagrama unifilar 230 [kV].

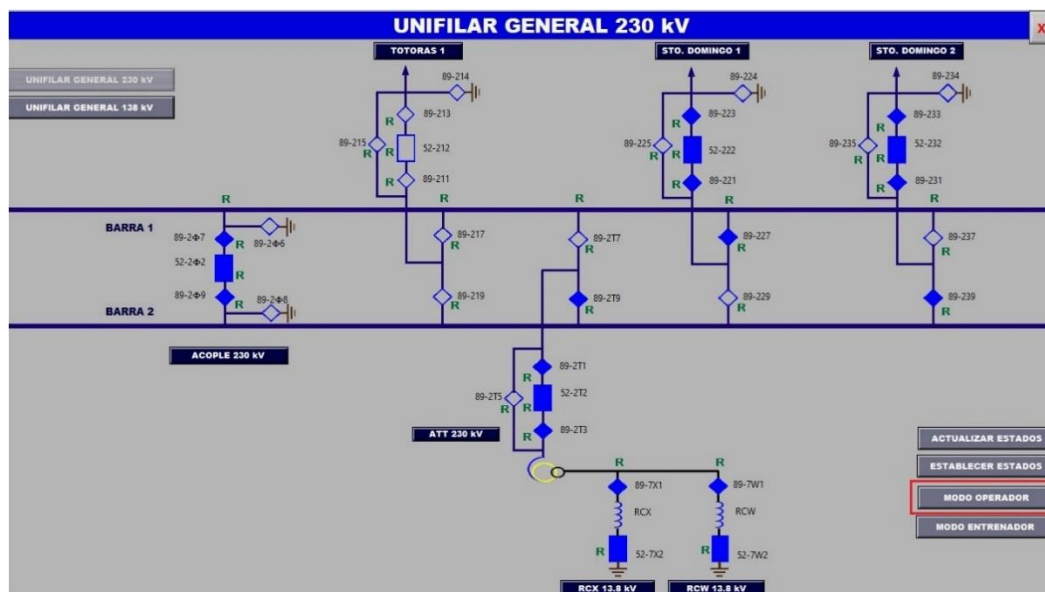
La figura 3.17 muestra el Diagrama Unifilar 230 [kV] perteneciente al Operador, este diagrama presenta características diferentes al del entrenador, como, por ejemplo; no está permitido cambiar directamente los estados, abierto y/o cerrado de los elementos, sobre esta ventana, sino que es necesario ingresar a cada bahía para acceder al diagrama ampliado, una vez dentro del diagrama ampliado ya se puede cambiar los estados, abierto y/o cerrado, de los elementos de la subestación.



**Figura 3.17.** Diagrama unifilar 230 [kV] perteneciente al modo operador.

En la Figura 3.18, se muestra el diagrama donde se cambió de cerrado a abierto todos los estados de la bahía TOTORAS 1, para de esta manera cumplir con las condiciones propuestas inicialmente. Cuando se tiene todos los elementos abiertos de la bahía

TOTORAS 1 se da clic en la pestaña establecer estados y automáticamente se copian los estados de los elementos del diagrama unifilar del entrenador al diagrama unifilar del operador.



**Figura 3.18.** Diagrama unifilar de 230[kV] perteneciente al entrenador, donde TOTORAS 1 se encuentra desenergizada.

En la Figura 3.19 se puede observar que al dar clic sobre la pestaña establecer estados en efecto se copió exactamente los estados de los elementos del diagrama unifilar del entrenador al diagrama unifilar del operador. Para cambiar el estado de los elementos es necesario acceder a la bahía dando clic en el botón TOTORAS 1.

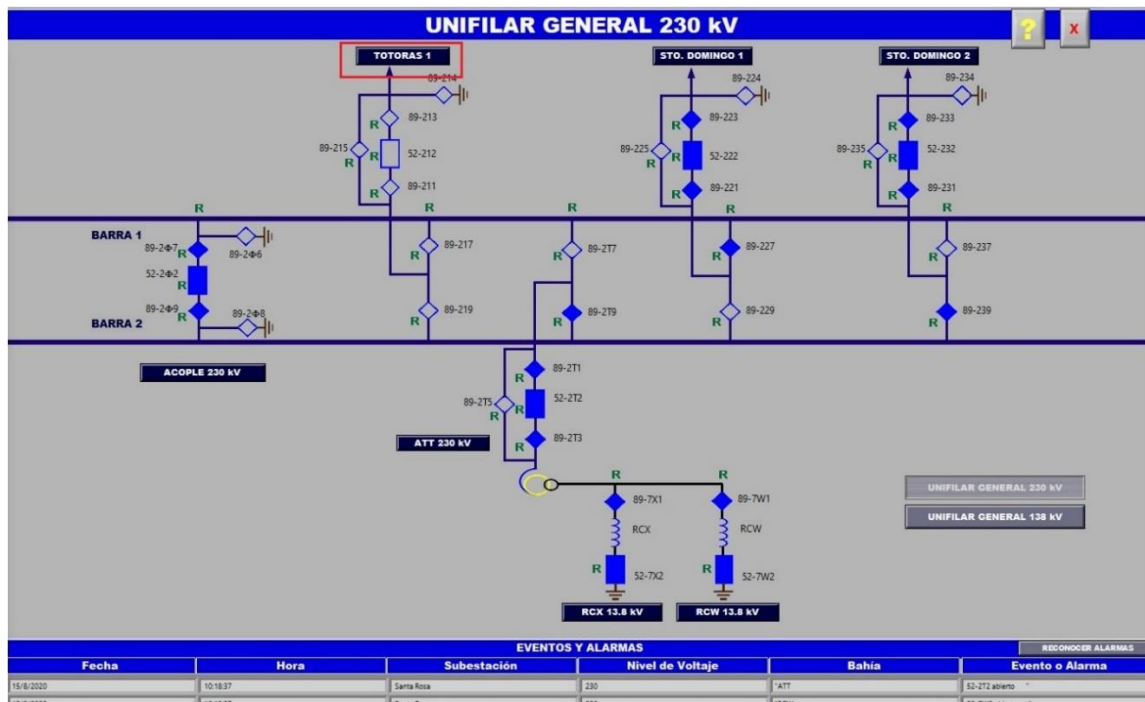
Se puede observar en la Figura 3.20 que todos los candados se encuentran en color verde, por lo tanto, no existen problemas al momento de realizar el procedimiento de energización, además se observa el despliegue de las alarmas, enclavamientos y diagrama unifilar de la bahía ampliada de TOTORAS 1.

De la misma manera, para abrir o cerrar los elementos de las bahías se debe dar un clic sobre el elemento que realiza esta acción y posteriormente se despliega un aviso donde se pregunta si se desea abrir o cerrar el elemento, procedimiento que se muestra a continuación:

1. Cerrar el seccionador 89-217 si se va a conectar a la Barra 1 o 89-219 si se va a conectar a la Barra 2.

2. Cerrar el seccionador 89-211.
3. Cerrar el seccionador 89-213.
4. Cerrar el disyuntor 52-212.

*Nota:* Este procedimiento es válido para energizar todas las líneas de transmisión y transformadores, si se desea desenergizar una bahía el procedimiento es contrario al de energizar, en vez de cerrar, ahora abrimos los elementos. Los pasos serían en el orden siguiente: 4, 3, 2, y 1



**Figura 3.19.** Diagrama unifilar de 230[kV], perteneciente al operador, con TOTORAS 1 desenergizada.

Finalmente, el diagrama con la bahía TOTORAS 1 energizada quedaría como lo indica la Figura 3.21. En el rectángulo en color rojo se encuentra el procedimiento realizado para energizar TOTORAS 1, para regresar al diagrama unifilar general 230 [kV] existen dos formas, dar clic en RESTAURAR o en DIAGRAMAS UNIFILARES.

El IHM del entrenador no solo copia los estados del diagrama unifilar hacia el diagrama unifilar del operador, sino que también copia los estados del diagrama unifilar del operador hacia el diagrama unifilar del entrenador por medio de la pestaña ACTUALIZAR ESTADOS. Es decir, realiza una copia bidireccional entre Entrenador-Operador y Operador-Entrenador. En la Figura 3.22 se muestra el botón para actualizar estados.

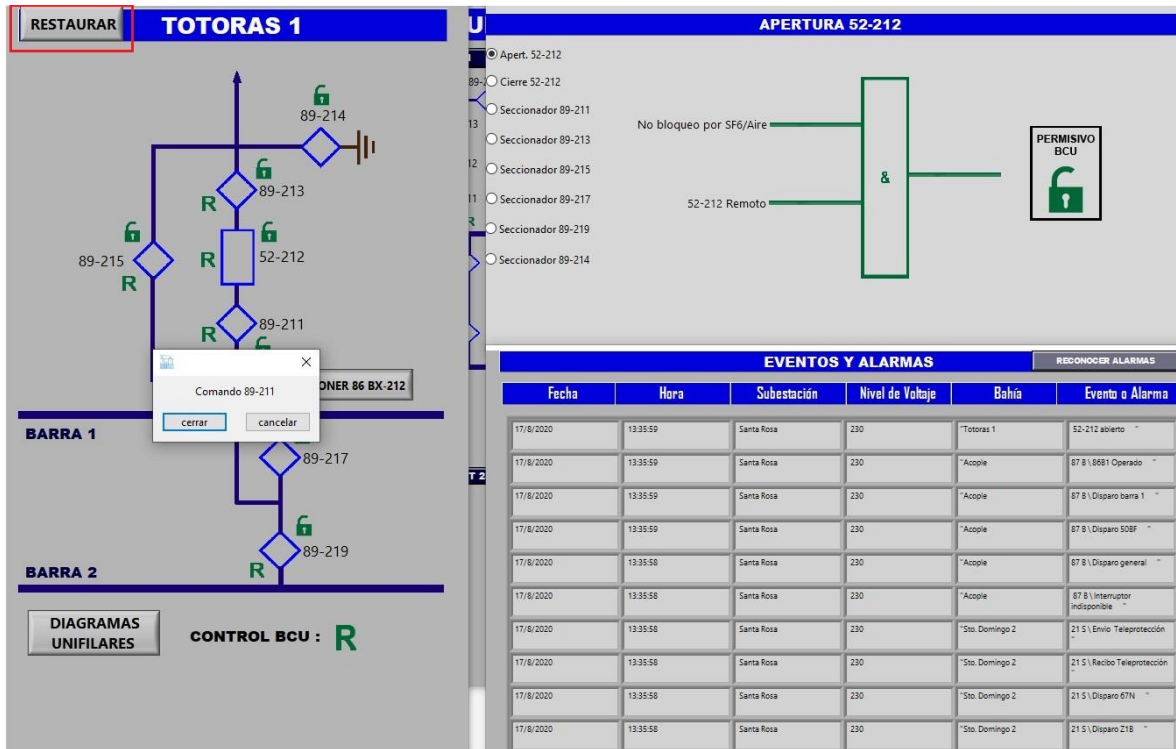


Figura 3.20. Diagrama unifilar ampliado de la bahía TOTORAS 1.

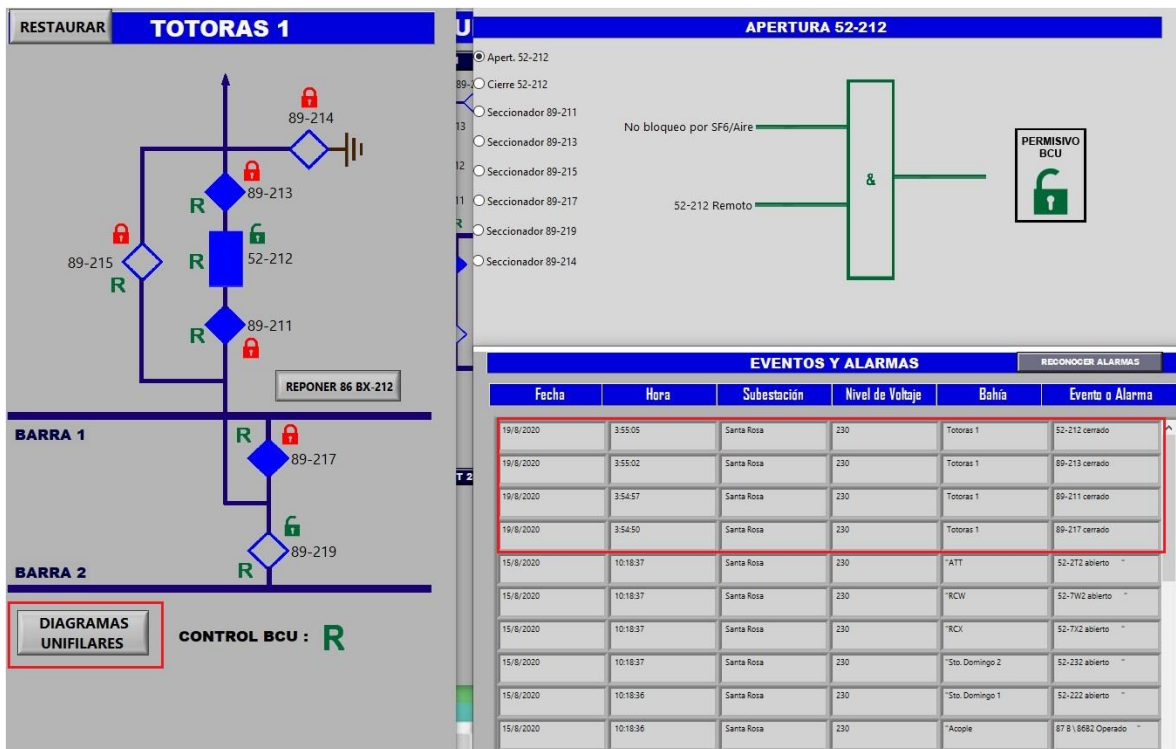
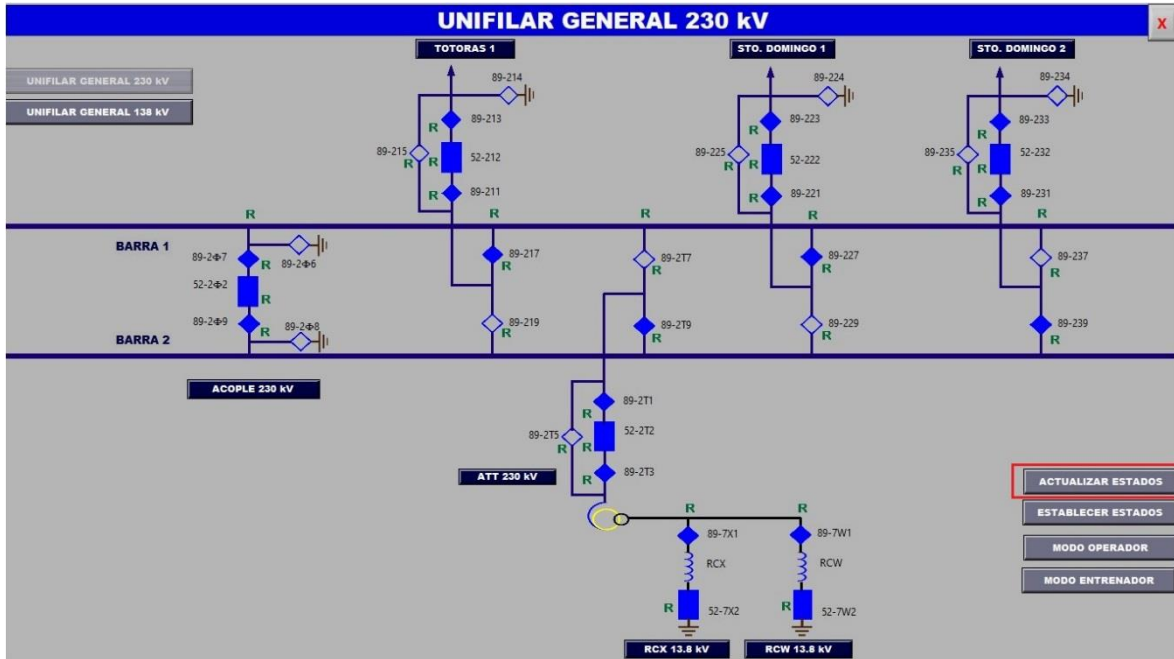


Figura 3.21. Bahías TOTORAS 1 energizada a la barra 1.



**Figura 3.22.** Diagrama unifilar en modo entrenador con TOTORAS 1 energizado.

### 3.2.2 NIVEL MEDIO

En este nivel se recrea un procedimiento común, el cual es realizado por los operadores de las diferentes subestaciones cuando el equipo de electromecánicos realiza los mantenimientos preventivos o correctivos a los interruptores de potencia de las diferentes subestaciones eléctricas pertenecientes a CELEC EP – TRANELECTRIC. Este procedimiento debe llevarse a cabo bajo la premisa que en la bahía donde se realicen los trabajos de mantenimiento no pueden discontinuar el servicio eléctrico.

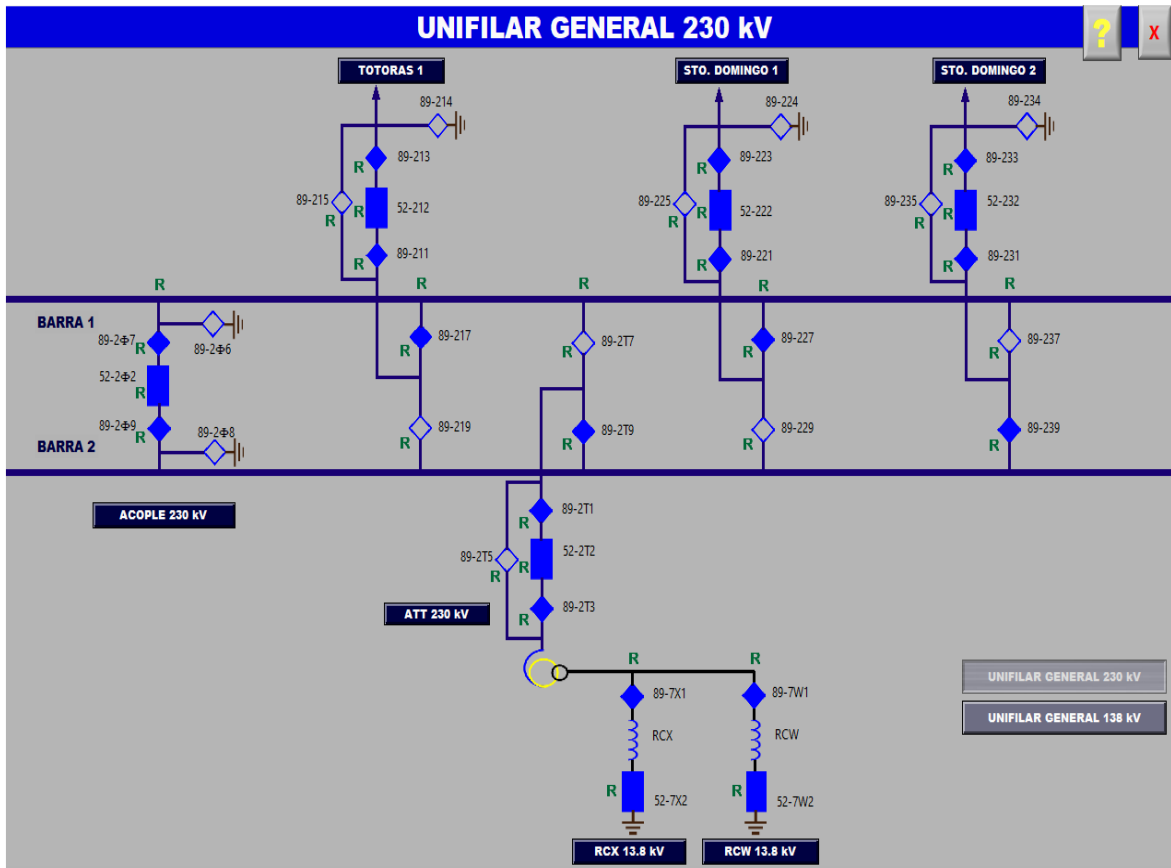
**Ejercicio:** Realizar el procedimiento para realizar el mantenimiento en el interruptor de la bahía TOTORAS 1

#### Condiciones iniciales:

La subestación inicialmente se encuentra con las bahías TOTORAS 1 y SANTO DOMINGO 1 conectadas a la barra 1, y las bahías SANTO DOMINGO 2 y la bahía de transformación ATT 230 [kV] conectadas a la barra 2, además de tener bahía de acople 230 [kV] cerrada; como se observa en la Figura 3.23.

Las condiciones iniciales abierto o cerrado son configuradas desde el IHM del entrenador por medio del diagrama unifilar 230 [kV], y luego son enviados los estados por medio de la

pestaña ACTUALIZAR ESTADOS, este procedimiento se encuentra bien detallado en el ejercicio anterior planteado en el NIVEL BÁSICO.

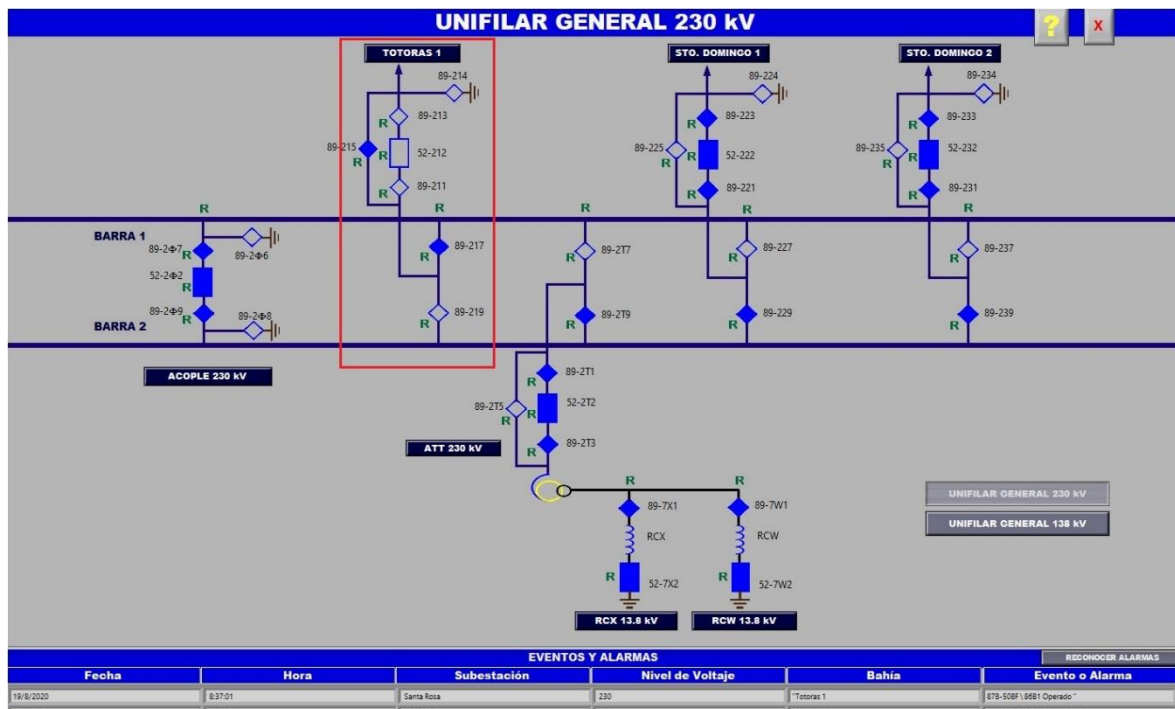


**Figura 3.23.** Diagrama unifilar general de 230 [kV] con todas las bahías energizadas.

El procedimiento para realizar mantenimiento en el disyuntor de la bahía TOTORAS es el siguiente:

1. Dejar la posición a ser remplazada conectada a la barra que se encuentre en ese momento, en este caso se deja en la barra 1.
2. Cerrar el seccionador 89-229.
3. Abrir el seccionador 89-227.
4. Cerrar el seccionador 89-215.
5. Abrir el interruptor 52-212.
6. Abrir el seccionador 89-111.
7. Abrir el seccionador 89-113.

En la Figura 3.24 se muestran los estados de los elementos de la bahía TOTORAS 1, luego de realizar el procedimiento enumerado anteriormente. En esta posición el grupo de electromecánicos procede a realizar los trabajos de mantenimiento en el interruptor de la bahía TOTORAS 1, como se puede observar, por medio del interruptor bypass la continuidad del servicio no se ha suspendido en ningún momento, previo o después del mantenimiento. Al finalizar el mantenimiento se procede a reestablecer a las condiciones de operación normal de la bahía como se puede observar en la Figura 3.23.



**Figura 3.24.** Seccionador bypass activado en la bahía TOTORAS 1.

El procedimiento para retornar a la posición inicial es el siguiente:

1. Cerrar el seccionador 89-211.
2. Cerrar el seccionador 89-213.
3. Cerrar el disyuntor 52-212.
4. Abrir el seccionador 89-215.
5. Regresar las bahías a su barra original
6. Cerrar el seccionador 89-227.
7. Abrir el seccionador 89-229.

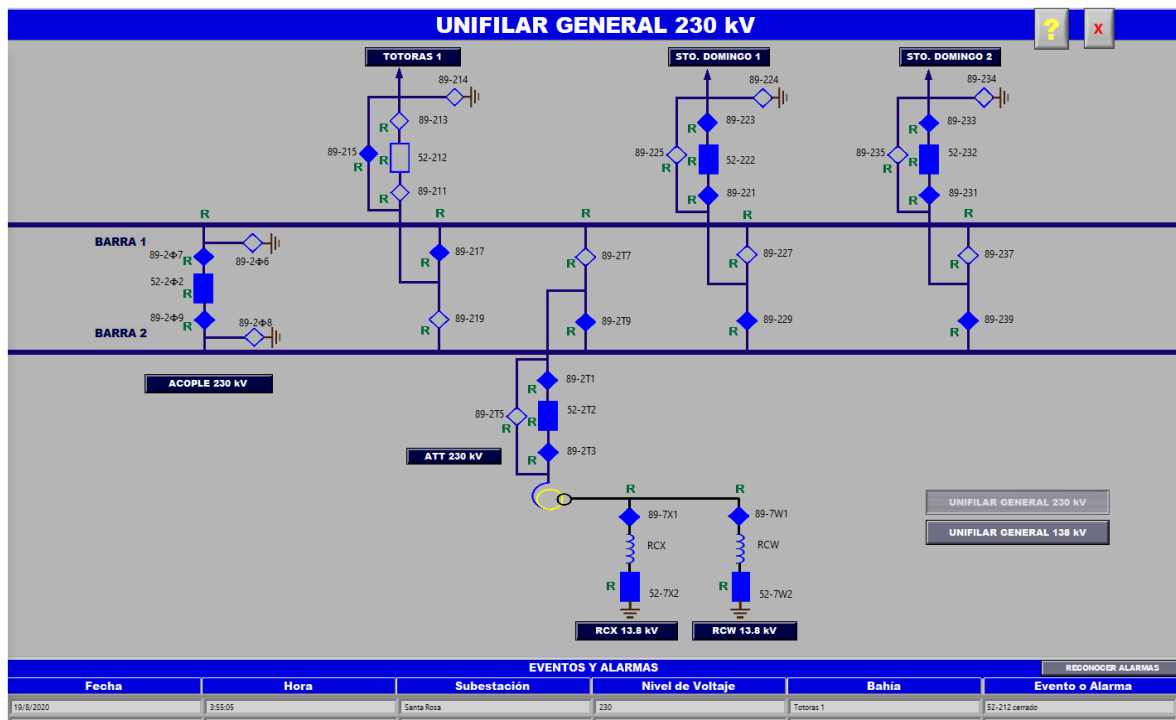


**Ejercicio 2:** Uso de disparos de línea desde el IHM del entrenador.

Aprovechando el ejercicio anterior, se plantea resolver la siguiente interrogante:

*¿Qué sucedería si, en el momento de terminar el mantenimiento en el interruptor de la bahía TOTORAS 1, ocurre una falla trifásica en la línea?*

Primeramente, se procede a simular el problema planteado, con las siguientes condiciones iniciales: Las tres bahías conectadas a la barra 2 son: SANTO DOMINGO 2, la bahía de transformación ATT 230 [kV] y SANTO DOMINGO, y en la barra 1 se encuentra conectada la bahía TOTORAS 1, por medio del seccionador bypass. Además, la bahía de acople de 230 [kV] se encuentra cerrada, como se muestra en la Figura 3.25.



**Figura 3.25.** Condiciones iniciales para el Nivel medio

Adicionalmente, para simular la falla trifásica se debe ingresar desde el IHM del entrenador, debido a que el entrenador es el único que puede enviar disparos y condiciones de enclavamientos hacia el IHM del operador para la posterior resolución de los problemas planteados. En la Figura 3.26 se observa el módulo de disparos el cual se despliega inmediatamente después de dar clic en la opción DISPAROS.

Luego, se envía el disparo de la línea correspondiente a la bahía TOTORAS 1, y como resultado de la simulación el interruptor de acoplamiento se dispara y se abre automáticamente al ocurrir la falla trifásica en la línea, ya que reemplaza la posición del interruptor TOTORAS 1, como se muestra en la Figura 3.27.



Figura 3.26. Módulo de Disparos.

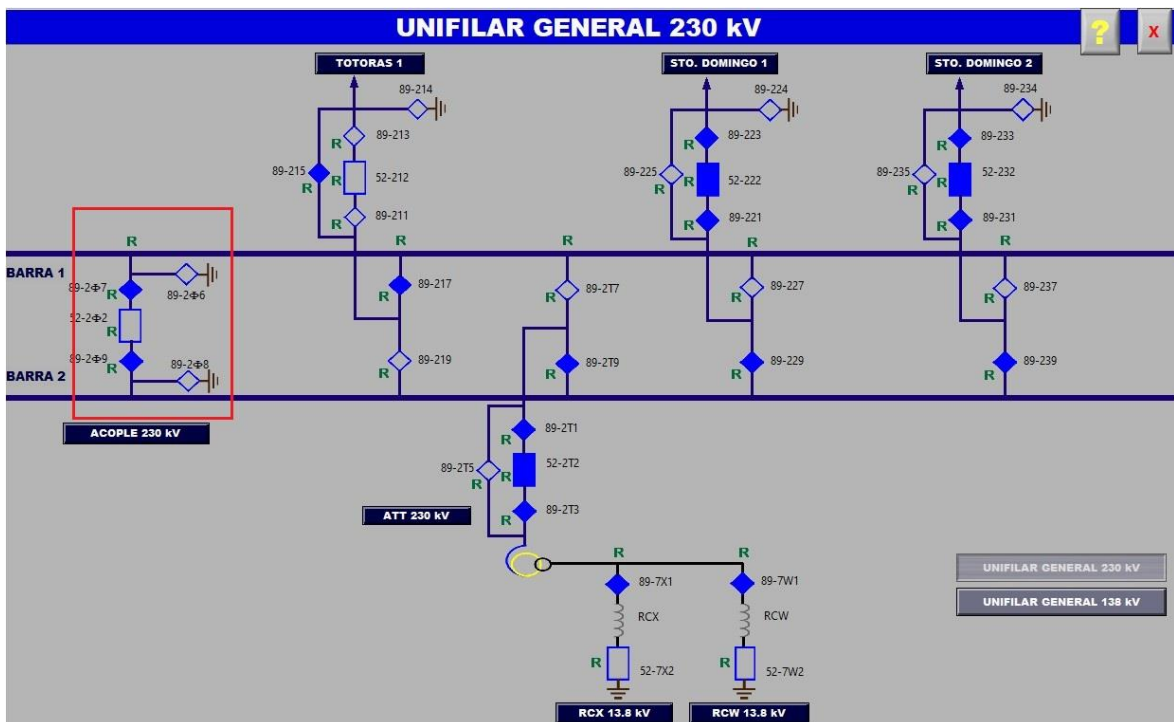


Figura 3.27. Disparo del interruptor de acoplamiento de barras de 230[kV]

Para reestablecer el servicio eléctrico, se debe notificar al COT que la falla trifásica ha sido solucionada y así continuar con el procedimiento de restablecimiento, mismo que se detalla a continuación:

1. Ingresar a la bahía ampliada acople 230 [kV], y cerrar el 52-2Ø2.
2. Cerrar el seccionador 89-211.
3. Cerrar el seccionador 89-21113.
4. Cerrar el disyuntor 52-212.
5. Abrir el seccionador 89-215.
6. Regresar la bahía STO. DOMINGO 1 a la Barra 1, cerrando el 89-227 y abriendo el 89-229.

Al completar este procedimiento la subestación debe quedar normalizada como se mostró en la Figura 3.23.

### 3.2.3 NIVEL AVANZADO

En este nivel con la ayuda de operadores experimentados y el supervisor de operación de la subestación Santa Rosa se recreó un evento suscitado hace varios años atrás, el mismo que tuvo cierto grado de dificultad para ser solucionado en aquella época. Este nivel trata del **uso del disparo y enclavamiento**, donde se utiliza un sistema con las condiciones iniciales siguientes:

La subestación se encuentra con tres bahías conectadas a la barra 2; SANTO DOMINGO 2, la bahía de transformación ATT 230 [kV] y SANTO DOMINGO1. Además, en la barra 1 se encuentra conectada la bahía TOTORAS 1 con enclavamiento de baja presión de SF6 y la bahía de acople de 230 [kV] se encuentra cerrada.

**Ejercicio:** Describir el procedimiento que se desea realizar para restablecer lo más pronto posible la continuidad del servicio eléctrico, con las condiciones iniciales planteadas anteriormente. Este proceso se simula con disparo de línea en la bahía TOTORAS 1.

En la Figura 3.28 se muestran las condiciones iniciales configuradas desde el IHM del entrenador, para luego ser enviadas al IHM del operador, por medio de la pestaña ESTABLECER ESTADOS.

En la Figura 3.29 se observa un sin número de enclavamientos a los cuales tiene acceso el entrenador mediante estos puede recrear los diferentes escenarios para capacitar a los operadores en diferentes condiciones. Para este ejercicio se activa el enclavamiento por baja presión de SF6 de la bahía TOTORAS 1, este enclavamiento no tiene permitido que se dispare el interruptor de la bahía TOTORAS 1 en caso de alguna falla en la línea.

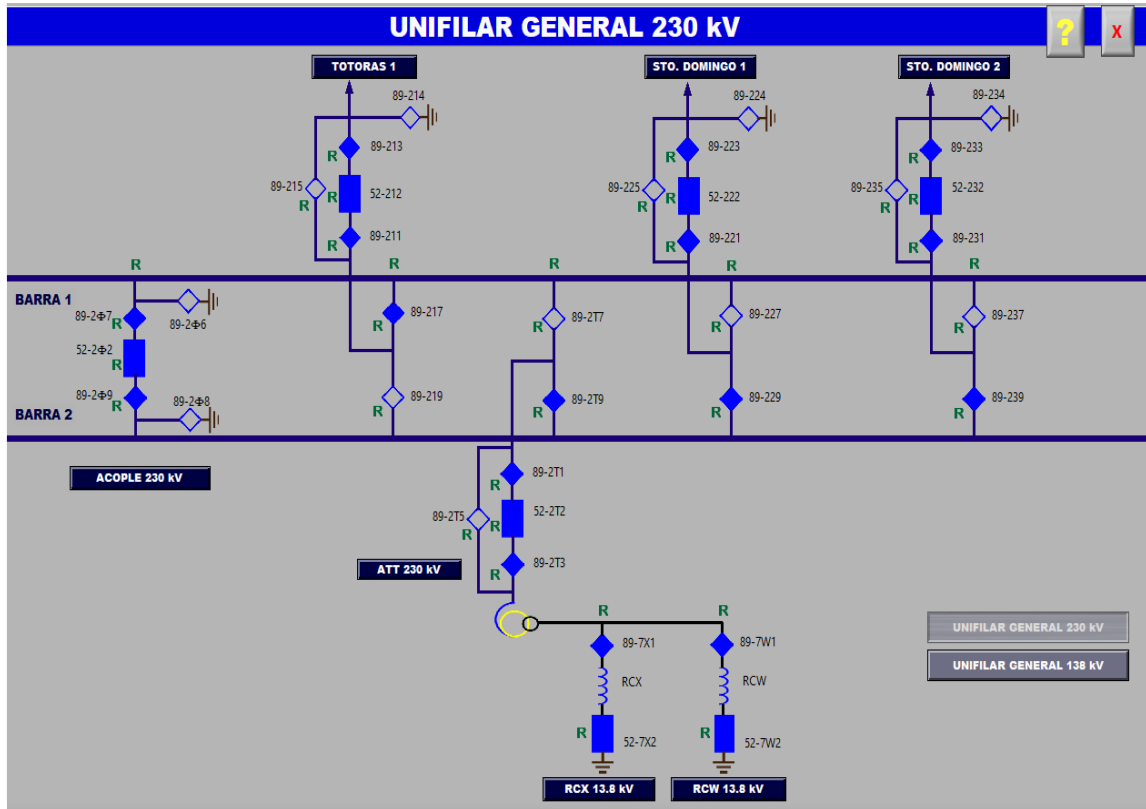


Figura 3.28. Diagrama unifilar de 230 [kV] del operador, en condiciones iniciales.

CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA						
PATIO 230 kV		PATIO 138 kV			MODO ENTRENADOR	
ACOPLE 230 kV	TOTORAS 1	ATT 230 kV	RCX	RCW	STO. DOMINGO 1	STO. DOMINGO 2
No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire	No Bloqueo por SF6	No Bloqueo por SF6	No bloqueo por SF6/Aire	No bloqueo por SF6/Aire
Sincronismo OK	Sincronismo OK	Sincronismo OK	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1	Sincronismo OK	Sincronismo OK
No falla Cto Disparo	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 1	No falla Cto Disparo 1
No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No falla Cto Disparo 2	No falla Cto Disparo 2
No Discrepancia de Polos	No Discrepancia de polos	No Bloqueo 86-2T2	No falla MCB Motor y Control AC Calef	No falla MCB Motor y Control AC Calef	No Discrepancia de polos	No Discrepancia de polos
No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-207	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire	No Bloqueo 86-RCX	No Bloqueo 86-RCW	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 52-222	No Resorte descargado/ No Baja presión de aire
No falla DC control seccionadores 89-207	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-211	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 52-2T2			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-221	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 52-232
No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-209	No falla DC control seccionadores 89-211	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-2T1			No falla DC control seccionadores 89-221	No falla DC control seccionadores 89-231
No falla DC control seccionadores 89-209	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-213	No falla DC control seccionadores 89-2T1			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-223	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-233
	No falla DC control seccionadores 89-213	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-2T3			No falla DC control seccionadores 89-223	No falla DC control seccionadores 89-233
	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-215	No falla DC control seccionadores 89-2T3			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-225	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-235
	No falla DC control seccionadores 89-215	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-2T5			No falla DC control seccionadores 89-225	No falla DC control seccionadores 89-235
	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-217	No falla DC control seccionadores 89-2T5			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-227	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-237
<b>BARRAS 230 kV</b>	No falla DC control seccionadores 89-217	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-2T7			No falla DC control seccionadores 89-227	No falla DC control seccionadores 89-237
No bloqueo 86 B1	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-219	No falla DC control seccionadores 89-2T7			No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-229	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-239
No bloqueo 86 B2	No falla DC control seccionadores 89-219	No falla MCB VAC Motor - VDC Control 89-2T9			No falla DC control seccionadores 89-229	No falla DC control seccionadores 89-239
	No falla fusible 21P	No falla DC control seccionadores 89-2T9			No falla DC control seccionadores 89-229	No falla DC control seccionadores 89-239
	Si hay subtensión				No falla fusible 21P	No falla fusible 21P
					Si hay subtensión	Si hay subtensión

Figura 3.29. Enclavamientos.

El interruptor de la bahía TOTOTAS 1 no tiene el permiso para abrir, debido a que existe un enclavamiento que no permite la apertura del interruptor, como se observa en la Figura 3.30. En este caso se procede a enviar un disparo de línea a la bahía TOTORAS 1, pero debido al enclavamiento el interruptor no se abre, motivo por el cual se debe activar el disparo 50 BF por falla de interruptor que envía a disparar el interruptor de acople de barras. Como lo indica la Figura 3.31.

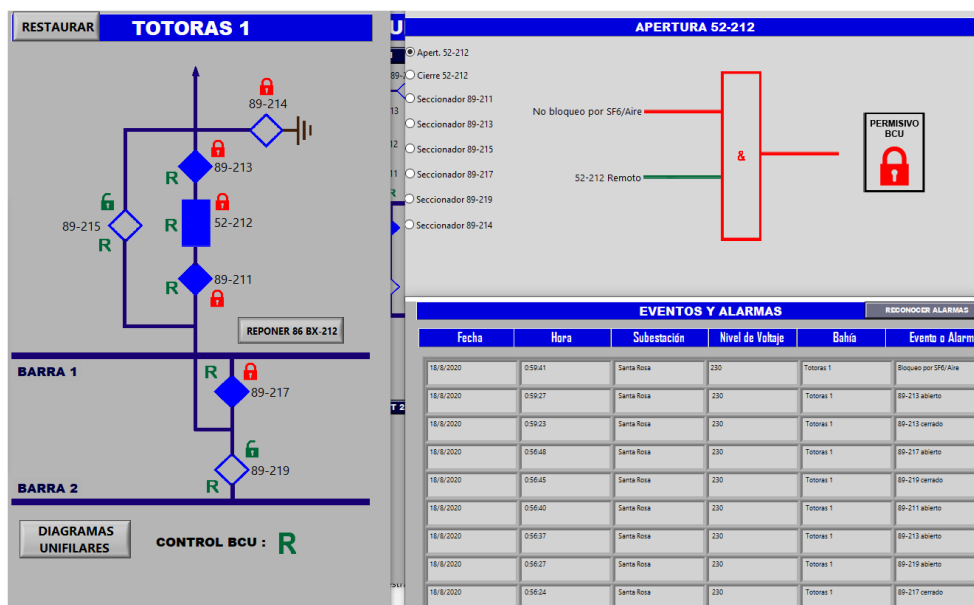


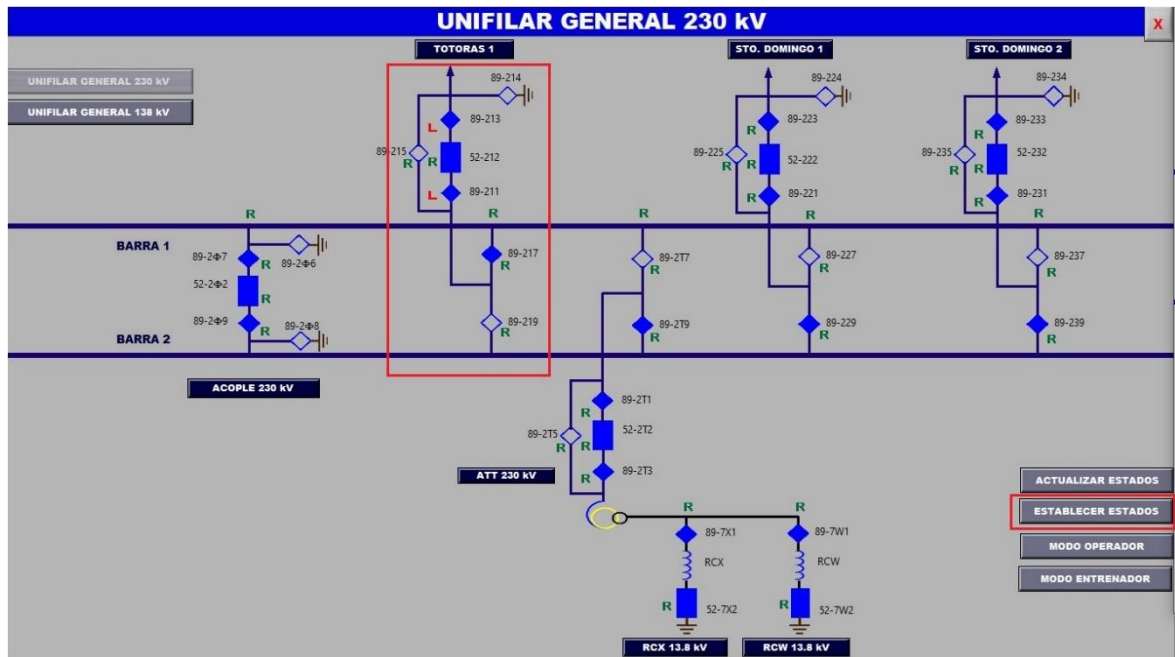
Figura 3.30. Bahía ampliada TOTORAS 1.

La Figura 3.31 corresponde a la pestaña disparos, la cual permite simular para este ejercicio un disparo de línea, pero debido a que existe un enclavamiento por baja presión de SF6 no dispara el interruptor de la bahía TOTORAS 1, al no disparar el interruptor de esta bahía, se activa el disparo por 50BF, que manda a disparar el interruptor de acople, aislando así la falla trifásica ocurrida en la bahía TOTORAS 1.



Figura 3.31. Disparos.

Para reestablecer la continuidad del servicio eléctrico es necesario poner en modo local los seccionadores adyacentes al interruptor de la bahía TOTORAS 1, desde el diagrama unifilar del entrenador se cambia de modo remoto a modo local por medio de la pestaña ESTABLECER ESTADOS, que realiza una copia exacta en el diagrama unifilar del operador, tal como se indica la Figura 3.32.



**Figura 3.32.** Configuración a Modo Local de los seccionadores 89-213 y 89-211.

La Figura 3.33 muestra el interruptor acoplador de barras abierto, esto es debido a que no operó el interruptor de la bahía TOTORAS 1 por el disparo de línea, entonces pasa a operar el interruptor de acoplamiento de barra de acuerdo con el esquema de protección de fallo de interruptor (50 BF).

Para el siguiente restablecimiento se busca la manera de desbloquear el seccionador bypass 89-215, para obtener el permiso y cerrar, y luego desde el interruptor de acople energizar la bahía, reduciendo así el tiempo de indisponibilidad de la bahía TOTORAS 1.

Se puede observar en la Figura 3.34 que al ocurrir el disparo de falla del interruptor por 50 BF se activa el relé de bloqueo de la barra 1 y de la bahía TOTORAS 1, los cuales se deben reestablecer haciendo clic sobre los rectángulos pintados de color rojo para reponer el interruptor, caso contrario no permite realizar ninguna maniobra debido a que se bloquean las bahías.

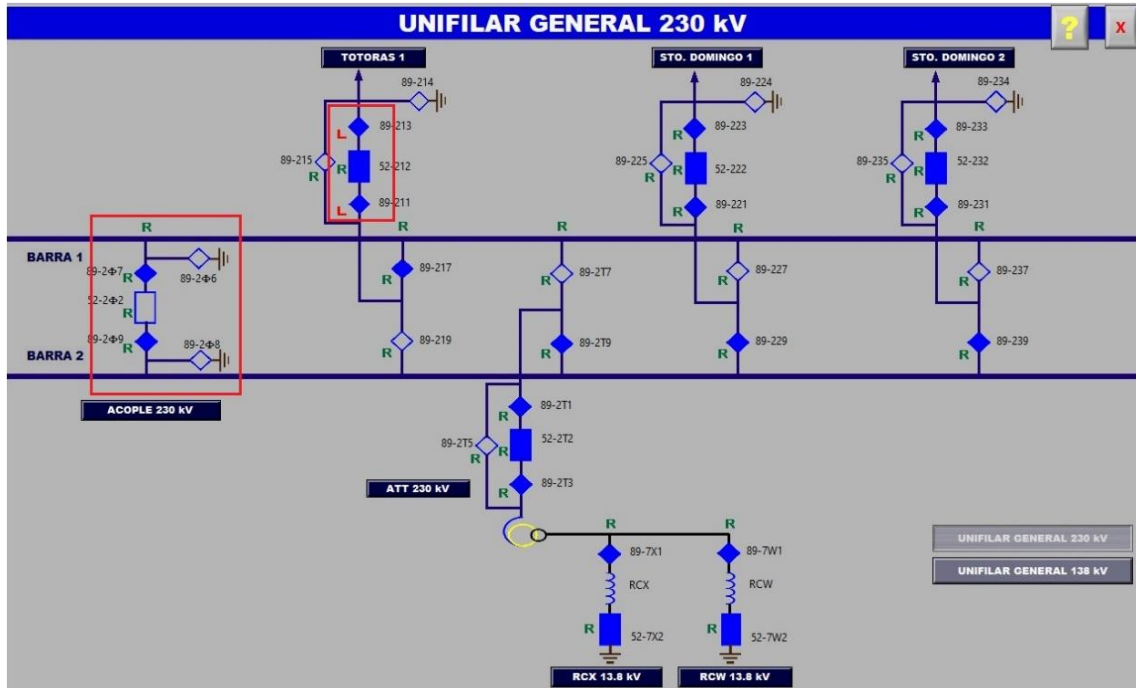


Figura 3.33. Interruptor acoplador de barras disparado y seccionadores en modo local.

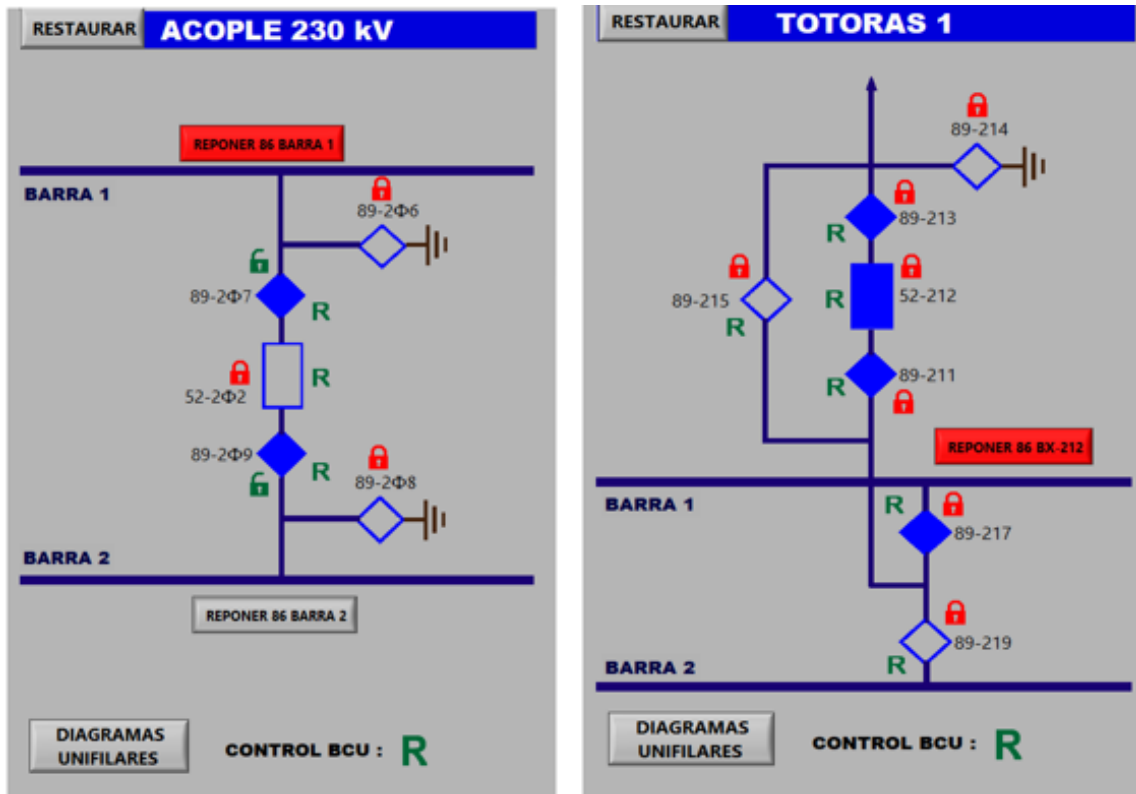


Figura 3.34. Disparo de 50 BF por falla del interruptor 52-212.

El procedimiento realizado en la Figura 3.34 es el siguiente:

1. Reponer 86 de la barra 1 y de la bahía TOTORAS 1.
2. Pasar a modo local los seccionadores 89-213 y 89-211.
3. Coordinar la apertura del interruptor de la bahía TOTORAS 1 que llega a la otra subestación.
4. Abrir seccionadores 89-213 y 89-211 manualmente con manivela.
5. Cerrar el seccionador 89-215.
6. Cerrar el interruptor 52-2Ø2.

Este procedimiento se realiza en subestaciones donde el grupo de electromecánicos no pueden llegar de manera urgente, motivo por el cual se realiza el restablecimiento de la continuidad de servicio eléctrico, hasta que los electromecánicos lleguen a la subestación a reparar las novedades que se presentaron en el interruptor.

Para reestablecer el servicio, el COT debe notificar que la falla trifásica ha sido solucionada y así continuar con el procedimiento de restablecimiento:

1. Ingresar a la bahía ampliada acople 230 [kV], y cerrar el 52-2Ø2.
2. Cerrar el seccionador 89-211.
3. Cerrar el seccionador 89-213.
4. Cerrar el disyuntor 52-212.
5. Abrir el seccionador 89-215.



## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- El software de formación de operadores de subestaciones SIDEOS, ayuda a desarrollar habilidades que aseguran el manejo adecuado de los distintos modos de operación, a favor de la preservación de la integridad física de las personas que laboran dentro de una subestación, la integridad de los equipos y atención óptima a la restauración de fallas ya sean pequeñas, o de gran magnitud o impacto
- La interacción de la raíz del problema, los elementos y los perceptores permite evidenciar que en los operadores de subestaciones hay un vacío técnico y pedagógico que se debe resolver a través de un proyecto que involucre el análisis de aspectos tales como: los requisitos básicos que debe cumplir el candidato a operador de una subestación, de las herramientas computacionales, de un modelo curricular con la pedagogía adecuada y del aprovisionamiento de un espacio físico con el mobiliario necesario que garantice el bienestar del alumno.
- El Plan de Capacitación del Operador de la Subestación brinda una capacitación integral para desarrollar sus habilidades técnicas y humanas, combinada con actividades que refuerzan las habilidades blandas, clave para el rol del operador como el trabajo en equipo, manejo del estrés y liderazgo.
- La posibilidad de cambio de las condiciones del sistema por parte del entrenador ayuda a que el aprendizaje y desenvolvimiento del operador en los diferentes escenarios de emergencia de la planta sea más eficiente y productivo.
- El principal resultado con la incorporación de esta plataforma en las actividades diarias del operador es que, este sea capaz de solucionar problemas de una manera óptima y reduciendo tiempos en el restablecimiento del sistema; todo esto enfocado a que el operador este consciente de cómo reacciona el sistema, y así, pueda operar con un pleno conocimiento de las consecuencias de cada comando, y reconozca enclavamientos y lógicas de control que se presentan en cada uno de los esquemas.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Impulsar y desarrollar un plan de certificación en operación de subestaciones mediante SIDEOS, al cual pueden aplicar las instituciones del sector eléctrico que tienen una o varias subestaciones supervisadas por un operador.
- Implementar un sistema en red, para ejecutar evaluaciones masivas desde la computadora master del entrenador hasta los equipos de cada operador. Así, enviar disparos, enclavamientos, y comandos diferenciados para cada uno de los operadores a ser evaluados.
- Capacitar a los estudiantes de ingeniería eléctrica, con el fin de mejorar su respuesta ante eventos programados, y no programados que ocurren en los sistemas eléctricos de potencia, en tiempo real. Así, los estudiantes puedan retribuir los conocimientos adquiridos en la operación de las subestaciones eléctricas, aplicados al ambiente laboral del sector energético.

## 5 REFERENCIAS

- [1] M. Augusto and S. Quintero, “Metodología técnico-pedagógica para el entrenamiento de operadores en la tarea de restablecimiento de la operación del sistema de potencia,” Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2010.
- [2] J. Ariza, J. Gelvis, G. Carrillo, and C. Peña, “Simulador de entrenamiento para el personal que atiende la operación de subestaciones eléctricas de transmisión,” México, 2005.
- [3] M. F. Sánchez Naranjo, “Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de capacitación continua apoyada en T. I.(caso de estudio personal de operación de las subestaciones eléctricas de Celec ep–Transelectric),” Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2015.
- [4] C. F. Ramirez, *Subestaciones de alta y extra alta tensión*, 2a ed. Colombia: MEJIA VILLEGAS S.A, 2003, p. 808.
- [5] E. E. Luna and F. J. Veintimilla, “Implementación mediante programación en matlab de la operación del sistema de control automatizado del patio de 138 kV de la S/E Pascuales,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2016.
- [6] CELEC EP - TRANSELECTRIC, “Políticas y procedimientos para el diseño de subestaciones,” 16-Mar-2016. [Online]. Available: [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/LOTAIP\\_NEW/2016/04-2016/a3\\_Regulaciones\\_y\\_procedimientos/Resources/Disenio\\_de\\_Subestaciones.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/LOTAIP_NEW/2016/04-2016/a3_Regulaciones_y_procedimientos/Resources/Disenio_de_Subestaciones.pdf). [Accessed: 10-Jun-2020].
- [7] E. Harper, *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas Harper*, 1a ed. México: Limusa, 1983.
- [8] F. S. Iza Guamantica, “Automatización de la S/E Eugenio Espejo de la Empresa Eléctrica Quito. S.A. aplicando la norma IEC 61850,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2013.
- [9] T. A. Moya, “Estudio para la implementación de un sistema de manejo de información técnica para la operación y mantenimiento de subestaciones de Transelectric S.A,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2004.

- [10] E. González Sancho, "Simulador de subestaciones electricas 2.0," Universidad de Valladolid, España, 2014.
- [11] CELEC EP - TRANSELECTRIC, "Diagramas unifilares de subestaciones del SNT," 2018.
- [12] L. Tapia, *Operacion de Subestaciones*. Quito: EPN, 2005.
- [13] COMUVAL, "Elementos de una subestación eléctrica y su instalación," 30 de marzo, 2018. [Online]. Available: <http://www.comuval.com/blog/elementos-de-una-subestacion-electrica-de-alto-voltaje.html>. [Accessed: 17-Jun-2020].
- [14] CELEC EP - TRANSELECTRIC, "Glosario de Términos - Sistema Eléctrico Ecuatoriano," 2010. [Online]. Available: [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/ley/TerminologiaTranselectric.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/ley/TerminologiaTranselectric.pdf). [Accessed: 17-Jun-2020].
- [15] C. V. Cepeda, H. H. Benito, and N. Castro, "CURSO VIRTUAL DE REDES ELÉCTRICAS," 2006. [Online]. Available: <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas//site/cap2/c2equipos24.php>. [Accessed: 17-Jun-2020].
- [16] L. P. Mayorga Carrasco, "Levantamineto de la integración de una bahía de transformador en una subestación con sistema de control y medición híbrido," EPN, Quito, 2008.
- [17] R. A. Brantes Meza, "Diseño y construcción de una maqueta que permita simular la operación de una subestación típica configurada en doble barra," EPN, Quito, 2008.
- [18] J. C. Astudillo, "Operación de Subestaciones," Quito, 2018.
- [19] CELEC EP - TRANSELECTRIC, "Guía de conceptos, características y funciones de los sistemas de automatización de subestaciones," 2017. [Online]. Available: [https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/LOTAIP\\_NEW/2017/11-2017/a3\\_Regulaciones\\_y\\_procedimientos/RECURSOS/Definiciones\\_para\\_el\\_Diseño\\_SAS.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/LOTAIP_NEW/2017/11-2017/a3_Regulaciones_y_procedimientos/RECURSOS/Definiciones_para_el_Diseño_SAS.pdf).
- [20] L. S. Barrantes Pinela, "Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas," Universidad Carlos III de Madrid, España, 2011.

- [21] National Instrument Corporation, "LabVIEW Basics 1 Introduction Course Manual," *Headquarters, National Instruments Corporate*, 2006. [Online]. Available: <http://iota.ee.tuiasi.ro/~master/LabView Basics 1 - Course Manual Ed 2006.pdf>.
- [22] M. Pa. Alajo Panoluisa and F. A. Hurtado Morillo, "Módulo de sistema scada para emular la operación de un sistema eléctrico de potencia básico del laboratorio.," EPN, Quito.

# **ANEXOS**

Por la extensa cantidad de información los anexos descritos a continuación se encuentran disponibles en su totalidad en el CD adjunto a este escrito.

**ANEXO A.** MODELO COMPUTACIONAL ESTRUCTURADO EN LAVBIEW

**ANEXO B.** MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA OPERADORES DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS “SIDEOS”

**ANEXO C.** MANUAL DE OPERACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA ROSA

**ANEXO D.** INSTALADORES Y ARCHIVOS NECESARIOS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.

## **ORDEN DE EMPASTADO**