



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN  
MATLAB DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL AUTOMATIZADO DEL PATIO DE 69 kV DE LA  
S/E PASCUALES.”**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

**CHRISTIAN OSWALDO TUMALIE FREIRE**

**KEVIN ARIEL VÉLIZ MARIDUEÑA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2016**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar esta tan anhelada etapa de mi vida.

A mis padres, El Ing. Walter Tumalie Muñiz, y la MSc. Cecilia Freire Vásquez, quienes han sido mi motivación e inspiración para alcanzar todas mis metas, y por haber sido mi guía y fortaleza en todo momento de mi vida.

A mi hermano, el Ing. Walter Tumalie Freire, por sus consejos y apoyo incondicional, cuando más lo he necesitado.

A los docentes de esta respetable institución, en especial al MSc. Iván Endara Vélez, y al MSc. Ángel Recalde Lino, por haber compartido sus conocimientos para la realización de este proyecto.

Christian Oswaldo Tumalie Freire.

Agradezco a Dios por su guía y por permitir la culminación de este proyecto y alcanzar una de las metas planteadas.

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida, en especial a mis padres Olga y Joel, quienes estuvieron siempre dándome sus consejos, fuerzas y su apoyo en los momentos más difíciles, a mis hermanas Arianna y Jael, ya que sin su compañía el concepto familia no tendría significado.

A mi pequeño hijo Pedro Emilio ya que él es la razón de la lucha diaria constante por alcanzar mis objetivos.

A los docentes MSc. Ivan Endara Vélez y MSc. Angel Recalde Lino, por su revisión y paciencia durante la realización del proyecto.

A los docentes que forman parte de esta excelente institución por ofrecer sus conocimientos y formación ética y académica durante todos estos años.

Kevin Ariel Véliz Maridueña

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, por haberme dado la fuerza para seguir adelante y nunca desmayar durante esta etapa de mi vida como estudiante.

A mis compañeros, por haberme apoyado en los buenos y malos momentos que nos ha tocado enfrentar a lo largo de la carrera.

A mi familia, quienes han estado conmigo en todo momento cuando los he necesitado, y que, gracias a su amor y apoyo incondicional, han sabido formarme y prepararme para culminar mis estudios, y para los nuevos desafíos y metas por venir.

Christian Oswaldo Tumalie Freire

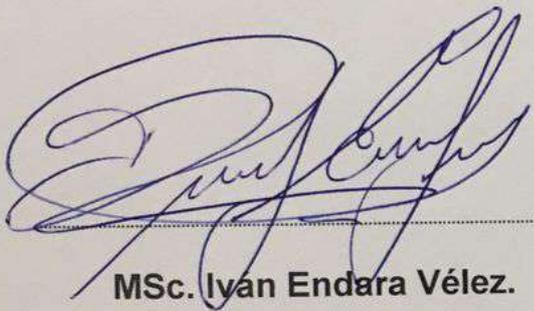
A mis padres y hermanas por ser cuna de amor, de buenos consejos y de apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mi hijo ya que es el ser que me motiva a seguir adelante todos los días buscando su bienestar.

A mis amigos, por su apoyo emocional y vivencias durante la etapa de estudiantes.

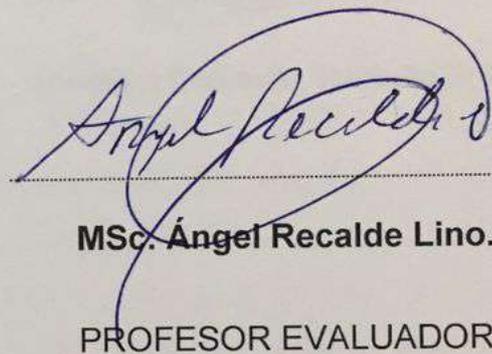
Kevin Ariel Véliz Maridueña

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSc. Ivan Endara Vélez.

PROFESOR EVALUADOR

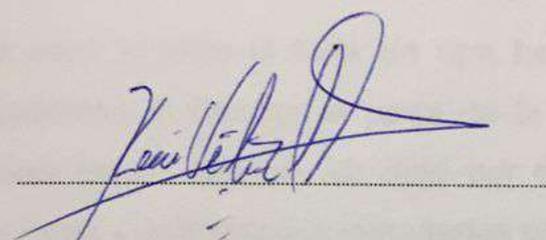


MSc. Ángel Recalde Lino.

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kevin Ariel Véliz Maridueña



Christian Oswaldo Tumalie Freire

## RESUMEN

La automatización y modernización de subestaciones se han convertido en un requisito indispensable para que estas puedan operar en un entorno seguro y confiable, y a pesar de los diversos beneficios que brindan, se ha notado que es un tema del cual los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas de Potencia, no se encuentran aptamente preparados para enfrentar los desafíos de la vida laboral.

Por esto, y ante la falta de una herramienta digital que permita a los estudiantes prepararse y abordar el tema de la automatización de subestaciones en instancias finales de su carrera, se optó por desarrollar un programa que permita simular las acciones y operaciones ejecutadas por los operadores dentro de las subestaciones.

Para lo cual, mediante programación en Matlab de las diferentes consideraciones y criterios necesarios para un correcto funcionamiento de la subestación, además de la utilización de GUIDE, que es una librería propia de Matlab, para el desarrollo de las diferentes interfaces, se desarrolló un programa capaz de simular el comportamiento de la IHM presente en la subestación Pascuales para la operación de los equipos de patio de 69 kV.

Con esta herramienta, se podrán realizar Operaciones Específicas, las cuales se encuentran dirigidas para aquellas personas que no se encuentren familiarizadas con los procedimientos necesarios para operar cualquiera de las bahías de la subestación, ya sea para realizar una energización, desenergización o una transferencia.

También se podrán realizar Operaciones Específicas, las cuales se requiere que el usuario ya tenga conocimiento de los procedimientos para las diferentes maniobras, y así poder familiarizarse con los demás factores que puedan afectar la operación de los equipos de la subestación, como pueden ser; las lógicas de enclavamiento, las cuales consideran las condiciones de operación de los equipos de corte y seccionamiento de la subestación; la importancia y necesidad de los equipos de medición y demás dispositivos fundamentales para el control y supervisión de la subestación.

Finalmente se espera que, con esta herramienta los estudiantes puedan relacionar los conocimientos teóricos adquiridos en las diferentes materias tomadas a lo largo de su carrera, con los criterios prácticos empleados en el ámbito laboral.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Criterios generales del sistema eléctrico.....	2
1.1.1. Sistema Nacional Interconectado .....	2
1.1.2. Sistema Nacional de Transmisión (SNT).....	2
1.2. Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS).....	6
1.2.1. Nuevos dispositivos inteligentes para la automatización de subestaciones (IED's).....	7
1.2.2. Arquitectura del sistema de automatización .....	7
1.3. Descripción de una subestación eléctrica .....	9
1.3.1. Tipos de esquemas de barra de una subestación .....	10
1.3.2. Elementos de una subestación.....	13
1.4. Subestación eléctrica Pascuales.....	14
1.4.1. Descripción de la subestación eléctrica Pascuales .....	14
1.5. Software MATLAB.....	15
1.5.1. GUI: Interfaz Gráfica de Usuario.....	17
1.6. Justificación.....	19
1.7. Alcance .....	19
1.8. Objetivos .....	20
1.8.1. Objetivo general.....	20
1.8.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO 2 .....	21
2. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	21
2.1. Nivel 0.- Equipos de patio .....	21
2.1.1. Subestación eléctrica Pascuales a nivel de 69 kV.....	22
2.1.2. Identificación de equipos de corte y seccionamiento.....	23
2.1.3. Base de datos utilizada.....	25

2.1.4.	Estado inicial de las bahías .....	26
2.1.5.	Esquema lógico de enclavamientos .....	31
2.1.6.	Instrumentos de medición.....	35
2.2.	Nivel 1.- Nivel de control de bahía .....	35
2.2.1.	IED's en la subestación Pascuales.....	36
2.2.2.	Disponibilidad de IED's.....	37
2.3.	Nivel 2.- Nivel de control de subestación .....	43
2.3.1.	Estructura de la interfaz gráfica .....	43
CAPÍTULO 3 .....		49
3.	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	49
3.1.	Consideraciones iniciales.....	49
3.2.	Inicialización del programa.....	50
3.2.1.	Estado inicial de las bahías .....	50
3.2.2.	Enclavamientos de los equipos de corte y seccionamiento .....	53
3.2.3.	Condiciones de PT's, CT's y disponibilidad de IED .....	55
3.3.	Menú inicial de la interfaz.....	58
3.4.	Operación específica.....	59
3.4.1.	Descripción de la interfaz gráfica para operación individual .....	59
3.4.2.	Transferencia.....	63
3.4.3.	Desenergizar transferencia.....	70
3.4.4.	Energizar por transferencia .....	72
3.4.5.	Apertura (desenergización) .....	74
3.4.6.	Cierre (energización) .....	78
3.5.	Operación individual.....	80
3.5.1.	Descripción de la interfaz gráfica para operación individual .....	81
3.5.2.	Operación individual bajo condiciones normales de operación ....	84
3.5.3.	Operación individual bajo condiciones inusuales de operación ....	87
3.5.4.	Operación individual bahía de transferencia.....	92
3.6.	Vista general de la subestación .....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		94
BIBLIOGRAFÍA .....		96
ANEXO A .....		97
ANEXO B .....		105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama del Sistema Nacional de Transmisión. _____	3
Figura 1.2: Zonas Operativas del Sistema Nacional de Transmisión. _____	4
Figura 1.3: Arquitectura del Sistema de Automatización. _____	9
Figura 1.4: Esquema de doble barra y doble interruptor. _____	11
Figura 1.5: Esquema de doble barra principal, interruptor simple. _____	12
Figura 1.6: Esquema de barra principal y barra de transferencia. _____	12
Figura 2.1: Patio de 69 kV Subestacion Eléctrica Pascuales. _____	23
Figura 2.2: Función VALIDACION_ESTADO_BAHIA. _____	28
Figura 2.3: Lógica de la función VALIDACION_ESTADO_BAHIA. _____	29
Figura 2.4: Esquema de enclavamiento para seccionadores. _____	34
Figura 2.5: Unidad de control de bahía 6MD66 marca Siemens. _____	36
Figura 2.6: Protección principal y secundaria 7SS612 marca Siemens. _____	37
Figura 2.7: Diagrama unifilar para bahía. _____	38
Figura 2.8: Disponibilidad de IED. _____	40
Figura 2.9: Función VALIDACION_PT_BAHIA-SECCIONADORES. _____	41
Figura 2.10: Función VALIDACION_CT_BAHIA. _____	41
Figura 2.11: Lógica de la función VALIDACION_PT_BAHIA_SECCIONADORES. _____	42
Figura 2.12: Función VALIDACION_PT_BAHIA. _____	42
Figura 2.13: Función VALIDACION_CT_BAHIA_4. _____	43
Figura 2.14: Interfaz gráfica para realizar Operación Específica implementada en GUIDE. _____	45
Figura 2.15: Interfaz gráfica para realizar Operación Específica implementada en GUIDE. _____	47
Figura 2.16: Diagrama de flujo para Operación Individual. _____	48
Figura 3.1: Estado inicial de las bahías de la subestación. _____	50
Figura 3.2: Mensaje de error al ingresar estado incorrecto. _____	51
Figura 3.3: Estado de bahías Quinto Guayas y Transferencia. _____	52
Figura 3.4: Mensaje de error por Condición Anómala de Operación. _____	52
Figura 3.5: Varias Bahías conectadas a la Barra de transferencia. _____	52
Figura 3.6: Mensajes de error, varias bahías transferidas. _____	53
Figura 3.7: Menú para definir condiciones para Operación Individual. _____	54
Figura 3.8: Condiciones para Operación individual Bahía Vergeles. _____	55
Figura 3.9: Menú condiciones de PT's, CT's e IED's. _____	56

Figura 3.10: Condiciones de PT's, CT's e IED's Bahía Daule. _____	57
Figura 3.11: Menú Inicial de la Interfaz Gráfica. _____	58
Figura 3.12: Bahías disponibles para Operación Específica. _____	59
Figura 3.13: Operación Individual Bahía Daule. _____	60
Figura 3.14: Esquema mímico unifilar Bahía C.T. Pascuales. _____	61
Figura 3.15: Estado de la bahía. _____	61
Figura 3.16: Panel de Accionamiento de Equipos. _____	62
Figura 3.17: Botón Finalizar y Procedimiento. _____	62
Figura 3.18: Sub-Menú para Transferencia. _____	64
Figura 3.19: Estado Inicial Bahía Pascuales. _____	64
Figura 3.20: Menú para procedimientos de Transferencia. _____	65
Figura 3.21: Procedimiento para transferir Bahía C.T. Pascuales. _____	65
Figura 3.22: Procedimiento para transferencia. Bahía Energizada. _____	66
Figura 3.23: Procedimiento para transferencia. Bahía Transferida. _____	66
Figura 3.24: Menú para Operación Transferencia. _____	67
Figura 3.25: Interfaz Gráfica Bahía de Transferencia. _____	67
Figura 3.26: Mensaje para transferencia. _____	68
Figura 3.27: Mensaje de error por maniobra inadecuada. _____	68
Figura 3.28: Interfaz Gráfica Bahía C.T. Pascuales para Transferencia. _____	69
Figura 3.29: Mensaje de error por maniobra inadecuada. _____	69
Figura 3.30: Procedimiento para desenergizar bahía transferida. _____	71
Figura 3.31: Mensaje para desenergizar transferencia con bahía no transferida. ____	71
Figura 3.32: Procedimiento para energizar por bahía de transferencia. _____	73
Figura 3.33: Mensaje para energizar por transferencia con bahía energizada. ____	73
Figura 3.34: Menú para realizar Apertura. _____	74
Figura 3.35: Procedimiento para desenergizar Bahía Daule. _____	75
Figura 3.36: Procedimiento para desenergizar con bahía desenergizada. _____	75
Figura 3.37: Interfaz Gráfica para realizar apertura. _____	76
Figura 3.38: Procedimiento para desenergizar Bahía Daule. _____	77
Figura 3.39: Procedimiento para energizar Bahía Toma. _____	78
Figura 3.40: Procedimiento para energizar con bahía energizada. _____	79
Figura 3.41: Interfaz Gráfica para realizar Energización. _____	80
Figura 3.42: Menú Operación Individual. _____	81
Figura 3.43: Interfaz para Operación Individual. _____	81
Figura 3.44: Esquema mímico unifilar Operación Individual. _____	82
Figura 3.45: Estado de la bahía. _____	82

Figura 3.46: Panel de Accionamiento de equipos. _____	83
Figura 3.47: Modo de Operación de IHM. _____	83
Figura 3.48: Estado de equipo de medición y disponibilidad de IED. _____	84
Figura 3.49: Botón Finalizar. _____	84
Figura 3.50: Mensaje para equipos Operativos. _____	85
Figura 3.51: Mensaje para apertura de seccionador bajo carga. _____	86
Figura 3.52: Condición de seccionador P89051. _____	88
Figura 3.53: Mensaje por cierre de equipo en condición inusula de operación. _____	88
Figura 3.54: Seccionador P89051 reparado. _____	89
Figura 3.55: Cambio de modo de la Unidad de Bahía, Bahía Vergeles. _____	89
Figura 3.56: Indisponibilidad de IED. _____	90
Figura 3.57: Cierre de seccionador P89051 sin IED disponible. _____	90
Figura 3.58: Reparar PT. _____	91
Figura 3.59: Error en medición del CT. _____	91
Figura 3.60: Mensaje para Cierre de seccionador P890F6. _____	92
Figura 3.61: Mensaje para cierre seccionador P890F8. _____	92
Figura 3.62: Mensaje para Energización Bahía de Transferencia. _____	93
Figura 3.63: Vista General de la Subestación. _____	93
Figura B.1: Esquema lógico de enclavamiento. Cierre Interruptor de Transferencia.	106
Figura B.2: Esquema lógico de enclavamiento. Cierre Interruptor de Bahía Alimentadora _____	107
Figura B.3: Esquema lógico de enclavamiento. Apertura Interruptor de Transferencia. _____	108
Figura B.4: Esquema lógico de enclavamiento. Apertura Interruptor Bahía Alimentadora _____	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Longitud de líneas a nivel de 230 kV.....	5
Tabla 2: Longitud de líneas a nivel de 138 kV.....	5
Tabla 3: Subestaciones de transformación según su nivel de voltaje.....	6
Tabla 4: Configuración de barras según su nivel de voltaje. ....	6
Tabla 5: Identificación de elementos de corte y seccionamiento.....	25
Tabla 6 : Estado de la Bahía (Energizada).....	27
Tabla 7: Estados de una Bahía. (* Bahía de Transferencia Energizada).....	30
Tabla 8: Estados de la Bahía de Transferencia. (* Bahía Transferida, ** Bahía energizada).....	30
Tabla 9: Procedimiento para Energización de bahía.....	31
Tabla 10: Matriz de Enclavamiento para Apertura/Cierre de Seccionador. ....	34
Tabla 11: Matriz de PT de una Bahía.....	39
Tabla 12: Matriz de CT de una Bahía. ....	39
Tabla 13: Procedimiento estándar para energizar bahía.....	46
Tabla 14: Variación del procedimiento para energizar bahía.....	46
Tabla A.1: Secuencia de Maniobras para Cierre. Energización Bahía de Transferencia. ....	97
Tabla A.2: Secuencia de Maniobras para Cierre. Conectar Bahía a Barra Principal. ..	98
Tabla A.3: Secuencia de Maniobras para Cierre. Energizar Bahía en Modo Transferencia.....	99
Tabla A.4: Secuencia de Maniobras para Apertura. Desenergizar Bahía de Transferencia.....	100
Tabla A.5: Secuencia de Maniobras para Apertura. Desconectar Bahía de Barra Principal.....	101
Tabla A.6: Secuencia de Maniobras para Apertura. Desenergizar Bahía Transferida. ....	102
Tabla A.7: Secuencia de Maniobras para Transferencia. Transferir Bahía Alimentadora. ....	103
Tabla A.8: Secuencia de Maniobras para Transferencia. Devolver Bahía a Barra Principal.....	104

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a que en la actualidad la demanda de energía eléctrica global presenta un crecimiento considerable, se puede observar que los requerimientos de confiabilidad y eficiencia en todas áreas de los sistemas de potencia son cada vez más exigentes. Ya que los sistemas de control son los encargados de manejar el sistema de potencia, al diseñarlos se debe tener presentes dichos requerimientos, implementando los recursos tecnológicos disponibles que puedan beneficiar tanto a los consumidores como a las empresas involucradas en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Por lo mencionado anteriormente, muchas empresas se encuentran innovando sus instalaciones hacia una nueva generación de tecnología de campo para la automatización de los sistemas de potencia que permita optimizar la operación de las mismas.

Las diferentes maniobras que se realizan en los procesos de transformación de la energía eléctrica en subestaciones tanto de distribución como de transmisión deben ser realizadas de una manera efectiva y rápida ante cualquier tipo de evento que pueda presentarse con la finalidad de reducir los efectos negativos sobre el sistema de potencia. Actualmente, los sistemas encargados del control de los sistemas de potencia emplean elementos discretos, que brindan un cierto nivel de protección y control, pero estos a su vez presentan limitaciones que no permiten que el sistema funcione eficientemente.

Estos tipos de sistemas representan un gran trabajo a nivel de ingeniería, montaje, cableado, operación y mantenimiento, y puesta en servicio que se traduce en un número considerable de componentes y gran cantidad de cableado lo que en resumidas cuentas representa una gran inversión. Es por esto que nace la necesidad de automatizar los sistemas de control de las subestaciones por sistemas de control numérico.

Los sistemas de control numérico presentan una solución ya que reducen significativamente el área de trabajo utilizada por los operadores de las subestaciones, reduce la cantidad de cable utilizado y los costos de operación y mantenimiento entre muchas otras ventajas con respecto a los sistemas convencionales.

Los sistemas de control numérico además de mejorar los índices de continuidad de servicio, también representan un incremento en la confiabilidad de los sistemas en los cuales son aplicados y a su vez proveen un tiempo de respuesta menor ante cualquier eventualidad que se pueda presentar en el sistema. Adicionalmente también presentan una optimización de las fuentes de energía disponibles en el medio, ya que varios de los beneficios que presentan estos sistemas se ven reflejados en un uso óptimo de la energía.

Por estas razones la actualización de los sistemas de control en los sistemas de potencia se vuelve cada vez más necesaria e imperiosa, y debería representar un tema de análisis y estudio para los profesionales inmersos en la materia.

## **1.1. Criterios generales del sistema eléctrico**

### **1.1.1. Sistema Nacional Interconectado**

Es el sistema integrado por los elementos del sistema nacional de Transmisión y las instalaciones eléctricas asociadas a las empresas de generación y distribución de energía eléctrica entre centros de generación y centros de consumo. [1]

### **1.1.2. Sistema Nacional de Transmisión (SNT)**

Formado por líneas de transmisión y subestaciones en las cuales se encuentran los equipos de transformación, compensación, protección, maniobra, conexión, control y comunicaciones, que sirven para el servicio público de transporte de energía eléctrica entre centros de generación y de consumo, y es operado por la empresa única de transmisión CELEC EP – TRANSELECTRIC. [1]

Del anillo troncal de transmisión de 230 kV, se derivan líneas radiales de 138 kV y 69 kV, para enlazar los principales centros de generación y de consumo del país, excepto algunas zonas del oriente y las islas Galápagos, que operan como sistemas aislados.

Adicionalmente se cuenta con una interconexión internacional con Colombia desde el 1 de marzo del 2003 mediante dos ternas de 230 kV que enlazan las subestaciones Pomasqui (Ecuador) y Jamondino (Colombia) y otra interconexión con Perú desde el 2005, mediante una terna de 230 kV que enlazan las subestaciones Machala (Ecuador) con Zorritos (Perú) con una capacidad de intercambio de 500 MW y 100 MW respectivamente. En el

diagrama de la Figura 1 se muestran las principales subestaciones de transmisión y líneas de transmisión y subtransmisión que conforman el SNT.

El SNT se encuentra agrupado en 5 zonas operativas: Norte, Nororiental, Noroccidental, Sur y Suroccidental como se muestra en la Figura 2. Sobre esta configuración topológica del SNT se realiza el diagnóstico de las condiciones operativas en función de su demanda y generación, actuales y futuras.

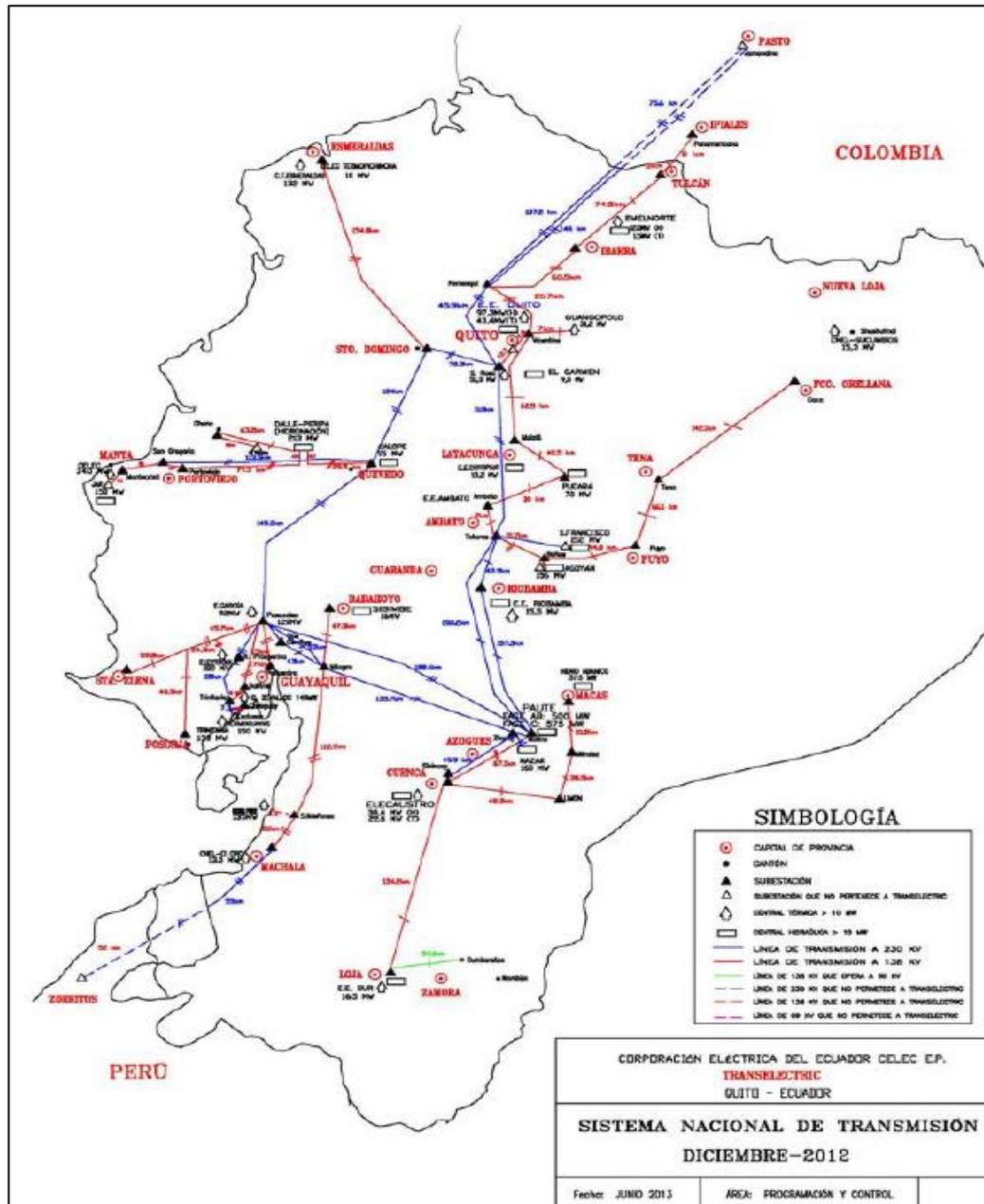


Figura 1.1:Diagrama Unifilar del Sistema Nacional de Transmisión. [1]

CENACE y CELEC EP-TRANSELECTRIC han realizado los estudios y análisis correspondientes, y se ha procedido a implementar en el Sistema Nacional de Transmisión varios esquemas de protección sistémicos, debido a que la operación del Sistema Nacional Interconectado es frágil ante la ocurrencia de varias fallas críticas, particularmente a nivel de la red de 230 kV. [1]

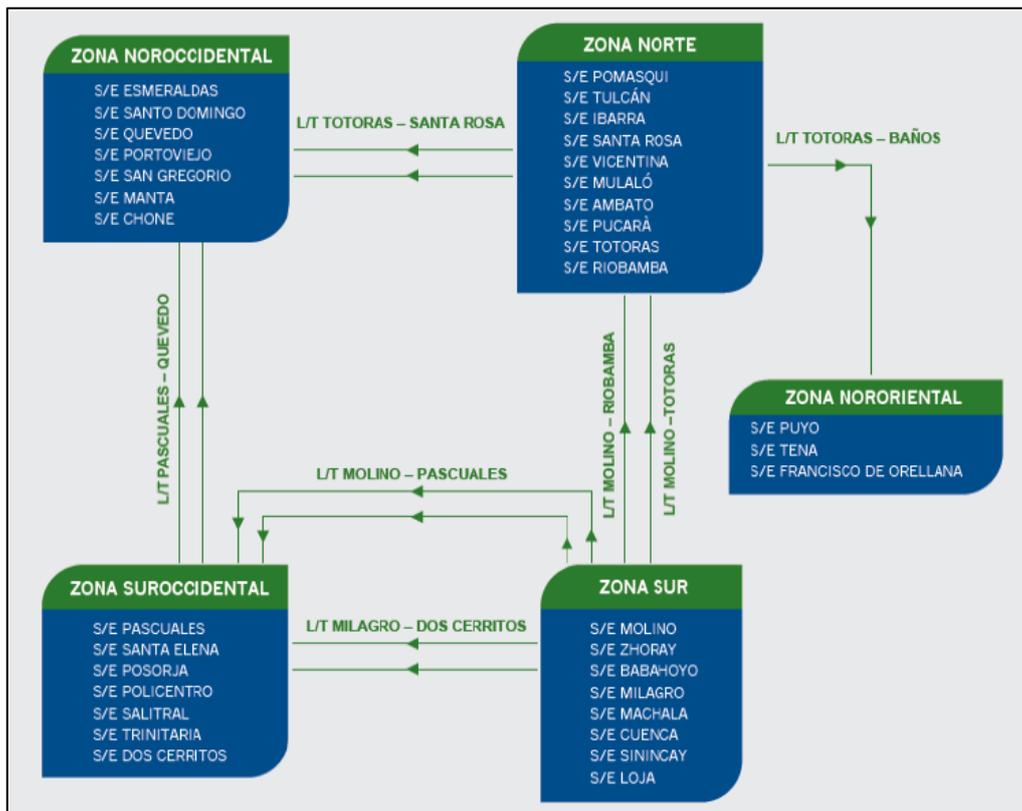


Figura 1.2: Zonas Operativas del Sistema Nacional de Transmisión. [1]

### Líneas de transmisión

El equipo encargado de transportar la energía eléctrica desde los puntos de generación a los sistemas de distribución es la línea de transmisión.

Estas son utilizadas para recorrer largas distancias a lo largo del país, y su principal ventaja es que, al contar con un alto nivel de voltaje, estas reducen las pérdidas en del sistema.

Gran parte de las líneas que forman la red de 230 kV dentro del país forman un anillo entre las subestaciones: Molino, Zhoray, Milagro, Dos Cerritos, Pascuales, Quevedo, Santo Domingo, Santa Rosa (Quito), Totoras y

Riobamba. Estas subestaciones se encuentran cerca de los principales centros de consumo del país.

<b>NIVEL 230 KV</b>	
<b>DOBLE CIRCUITO (DENTRO DEL PAÍS)</b>	<b>CIRCUITO SIMPLE (DENTRO DEL PAÍS)</b>
1.285 KM	556 KM
<b>DOBLE CIRCUITO ENTRE POMASQUI Y JAMONDINO (ECUADOR-COLOMBIA)</b>	<b>CIRCUITO SIMPLE MACHALA – ZORRITOS (ECUADOR-PERÚ)</b>
212 KM	107 KM

**Tabla 1: Longitud de líneas a nivel de 230 kV. [1]**

<b>NIVEL 138 kV</b>	
<b>DOBLE CIRCUITO</b>	<b>CIRCUITO SIMPLE</b>
625 km	1.093 km

**Tabla 2: Longitud de líneas a nivel de 138 kV. [1]**

### **Subestaciones**

Las subestaciones juegan un papel importante en los sistemas de potencia, ya que transforman el voltaje desde un nivel bajo a un nivel alto, o viceversa, o realizar otro tipo de funciones importantes.

El sistema nacional interconectado actualmente cuenta con 39 subestaciones de transformación como se detalla a continuación:

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	SUBESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN
230/138/69 KV	15
138/69 KV	20

**Tabla 3: Subestaciones de transformación según su nivel de voltaje. [1]**

También se cuenta con 2 subestaciones de transformación móviles, una de relación 138/69 Kv y otra de relación 69/13,8 kV, y 2 subestaciones más de seccionamiento, una a 230 Kv y la otra a 138 KV

NIVEL DE VOLTAJE	CONFIGURACIÓN DE BARRAS PREDOMINANTE EN SUBESTACIONES
230 KV	DOBLE BARRA PRINCIPAL
138 Y 69 KV	PRINCIPAL Y TRANSFERENCIA

**Tabla 4: Configuración de barras según su nivel de voltaje. [1]**

La mayoría de las subestaciones poseen equipos de tipo convencional y algunas con equipos compactos SF6. La capacidad instalada en las subestaciones del SNT es de alrededor los 8.521 MW de la cual 917 MW es la capacidad de reserva de transformadores monofásicos en varias subestaciones.

## 1.2. Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS)

La automatización de subestaciones en una manera muy sencilla permite realizar funciones de medición y supervisión de tal manera que el operador tenga la facilidad de monitorizar una subestación eléctrica de una forma más segura y desde un mismo espacio físico, con la gran ventaja de que se incluye un sistema de comunicaciones entre la subestación, el sistema de potencia y los diferentes niveles de automatización presentes en la subestación.

Esto se lo hace con el propósito mejorar la eficiencia de la operación y el mantenimiento de la subestación, con una mínima intervención humana, para optimizar la gestión de los recursos de capital y los costos de operación de la subestación. [2]

### **1.2.1. Nuevos dispositivos inteligentes para la automatización de subestaciones (IED's)**

Es evidente que la automatización de subestaciones es implementada para reducir la intervención humana y para mejorar la eficiencia operacional del sistema. Esta automatización se logra gracias a la implementación de dispositivos en las subestaciones que las vuelven inteligentes.

Los IED's son las piezas fundamentales en el proceso de automatización de las subestaciones ya que permiten la integración de control y adquisición de datos dentro de un número reducido de plataformas que reducen la inversión y costos de operación, reducen el tamaño de los cuartos de control y los equipos redundantes.

Los IED's facilitan el intercambio tanto de los datos operacionales como los no operacionales. Los datos operacionales corresponden a los valores instantáneos del sistema de potencia como voltaje, corriente, potencia activa o reactiva, estado de los breakers o la posición de los switches, es decir toda la información crucial para el monitoreo y control del sistema. Los datos no operacionales consisten en archivos y formas de onda como por ejemplo un resumen de eventos.

### **1.2.2. Arquitectura del sistema de automatización**

Los tipos de datos y control que deberá proporcionar el sistema dependerán de la elección de los IED's y los diferentes equipos implementados en el sistema. El requerimiento principal es que las lecturas analógicas sean obtenidas de tal manera que estas provean una representación precisa de los valores medidos. Para esto la automatización de subestaciones debe ser manejada bajo 3 niveles diferentes para poder tener un control jerárquico de todos los componentes del sistema; los niveles establecidos son:

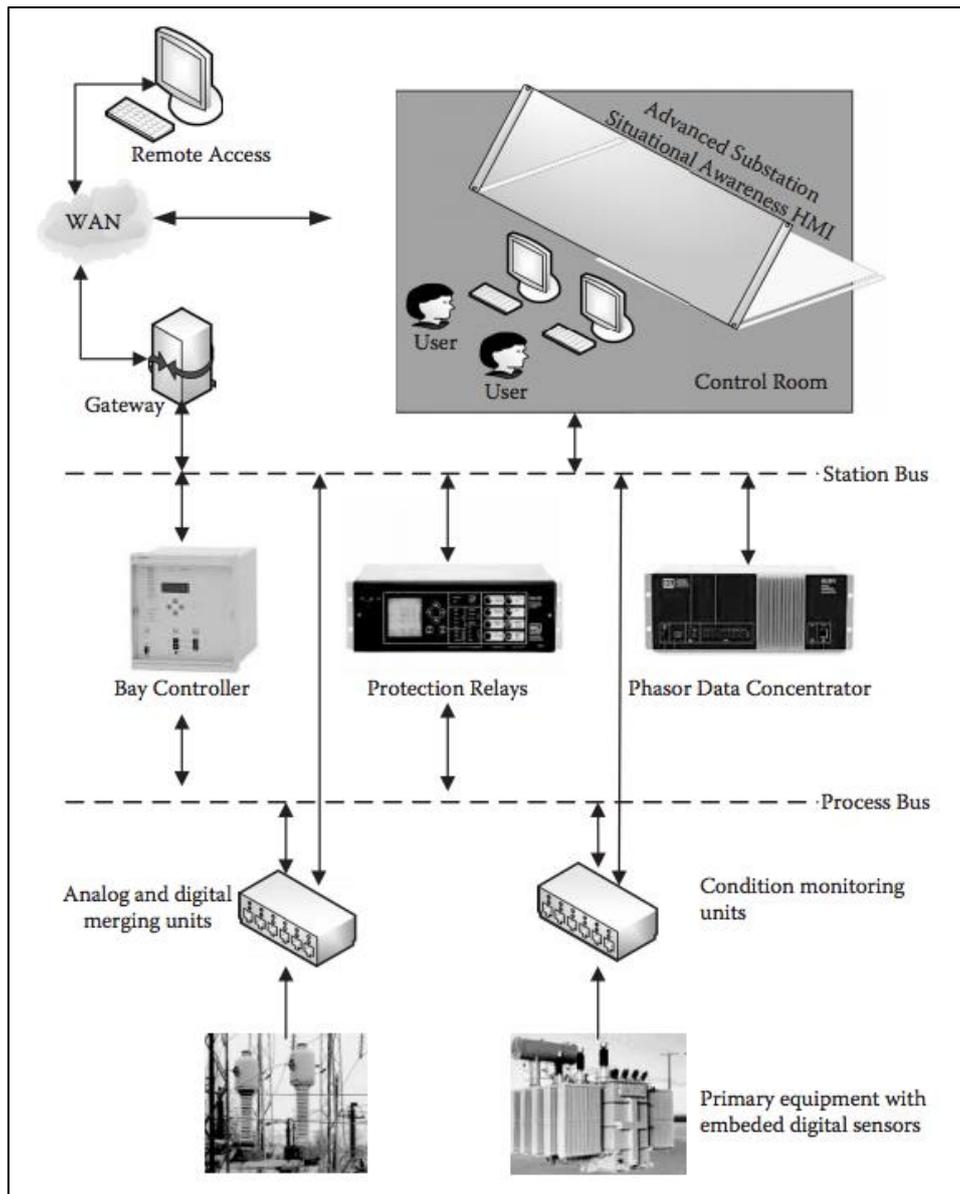
- **Nivel 0 - Equipos de campo:** La principal función de este nivel es la manipulación directa de los equipos de campo, o actuadores, que son los encargados de realizar las órdenes generadas por niveles superiores de control. En este nivel se encuentran los equipos de

adquisición de datos que proveen la información necesaria para el control de la subestación. Cada dispositivo electrónico (relés, medidores, PLC's, etc) cuentan con una memoria interna para almacenar algunos o todos los siguientes datos: valores análogos, cambios de estado, secuencia de eventos y calidad de la potencia. También se encuentran los equipos

- **Nivel 1 - Nivel de control de bahía:** Este nivel está conformado por los IED's que son los encargados de realizar las funciones de protección y control de las bahías de la subestación, para lo cual interactúa directamente con el nivel 0, donde los concentradores de datos de la subestación deberán pedir la información de los valores análogos y cambios de estado a cada uno de los dispositivos, para llevar a cabo las funciones automáticas de supervisión y control asociadas a la bahía.
- **Nivel 2 - Nivel de control de Subestación:** Este nivel es el encargado de las tareas de operación y monitoreo de la subestación, donde toda la información requerida para propósitos operacionales debe ser comunicada al sistema SCADA para que llegue a los operadores, desde los concentradores de datos. En este nivel los operadores ordenan las acciones de los equipos de campo o actuadores y se monitorea los parámetros propios del sistema mediante la IHM.

La IHM o Interfaz Hombre-Máquina, se refiere a la interfaz requerida para la interacción entre la estación maestra y los operadores o usuarios del sistema SCADA, y en el nivel de bahía permite poseer un control local de la bahía y el desarrollo de todas las acciones de control y protección de la subestación.

La IHM debe encontrarse en un panel de control completo y operando separadamente con un voltaje DC, para que el equipo de campo pueda ser operado aún si el IED de control está fuera de servicio.



**Figura 1.3: Arquitectura del Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS). [2]**

### 1.3. Descripción de una subestación eléctrica

El propósito de esta sección es identificar los diferentes tipos de subestaciones eléctricas presentes en el SNT ecuatoriano, así como los elementos que las constituyen y la información pertinente para la realización de este trabajo.

Como ya se sabe, una subestación está conformada por un conjunto de equipos tanto de control, como de protección, conductores, configuraciones de barras, transformadores y demás elementos auxiliares necesarios para la correcta operación de la subestación. Estas pueden clasificarse de acuerdo a su función, al nivel de tensión o al tipo de esquema que emplean.

De acuerdo a su función, la clasificación es la siguiente:

- Subestación de elevación y reducción de voltaje.
- Subestación de maniobra o seccionamiento.
- Subestaciones mixtas.

De acuerdo a su nivel de voltaje se clasifican en:

- Subestación de transmisión (mayor a 230 kV).
- Subestación de subtransmisión (entre 138 y 69 kV).
- Subestación de transmisión primaria (entre 69 y 13.8 kV).
- Subestación de transmisión secundaria (menor a 13.8 kV).

Cuando se habla del tipo de esquema de barra, se refiere a la forma como se distribuyen los elementos o equipos que conforman una subestación, de acuerdo a las actividades que se llevarán a cabo en la subestación.

### **1.3.1. Tipos de esquemas de barra de una subestación**

El tipo de esquema de barras que se utiliza en una subestación estará dado por el nivel de confiabilidad que se requiera en la misma, además de los requerimientos del sistema, flexibilidad de operación y la cantidad de dinero con la que se disponga.

Una subestación está compuesta por un número definido de circuitos semejantes, comúnmente conocidos como bahías, las cuales representan una línea de transmisión o los transformadores dentro del diagrama unifilar de una subestación.

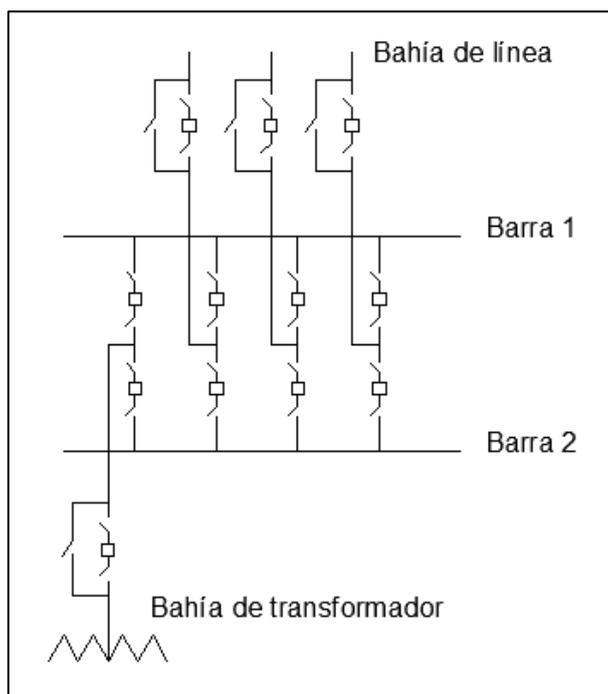
En esta sección se mencionarán las configuraciones de barras predominantes de las subestaciones del SNT, que a nivel de 230 kV es la de doble barra principal, y a nivel de 138 y 69 kV es la de barra principal y transferencia.

#### **Esquema de doble barra**

Este esquema presenta dos variaciones, las cuales se mencionan a continuación.

### Esquema de doble barra y doble interruptor

Este esquema, mostrado en la Figura 1.4 requiere de dos interruptores automáticos para cada una de las bahías lo que aumenta la confiabilidad con respecto al esquema de barra simple, pero lo vuelve más costoso. Se lo emplea cuando la continuidad del servicio es muy importante, ya sea cuando se produzca una falla o se necesite realizar mantenimiento a los interruptores, solo la mitad de las bahías saldrían de servicio si la mitad de estas se conectan a cada una de las barras.

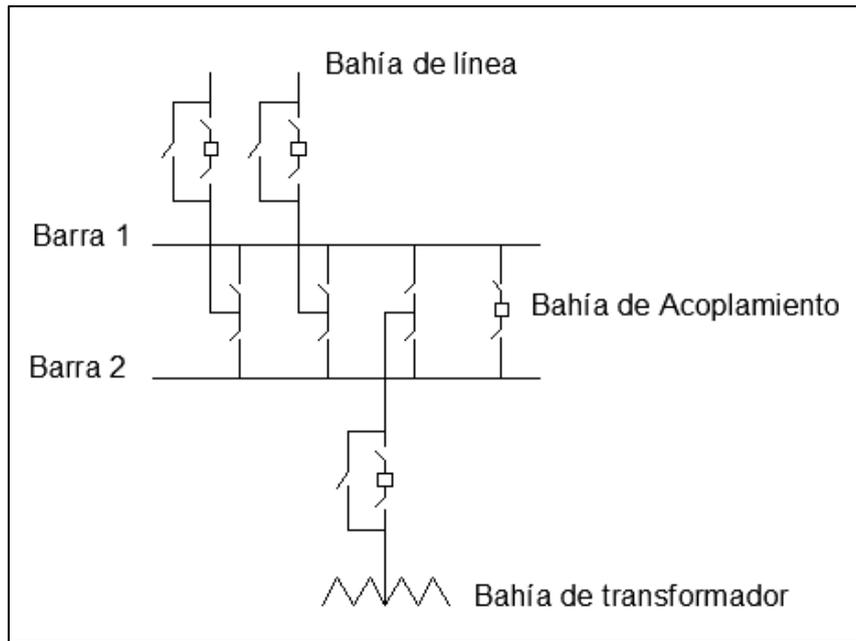


**Figura 1.4: Esquema de doble barra y doble interruptor.**

### Esquema de doble barra principal, interruptor simple

Al igual que en el esquema anterior, este utiliza dos barras principales, con la diferencia de que cada bahía cuenta con dos seccionadores para conectarla a una u otra barra. Adicionalmente se cuenta con una bahía de acoplamiento conformada por dos seccionadores y un interruptor que permite conectar ambas barras entre sí, lo que permite transferir las bahías desde una barra a la otra sin afectar la continuidad del servicio.

La coordinación de las protecciones de este esquema debe ser muy selectiva, para evitar la salida de la subestación debido a una falla en cualquiera de las barras. Este esquema se muestra en la figura 1.5.

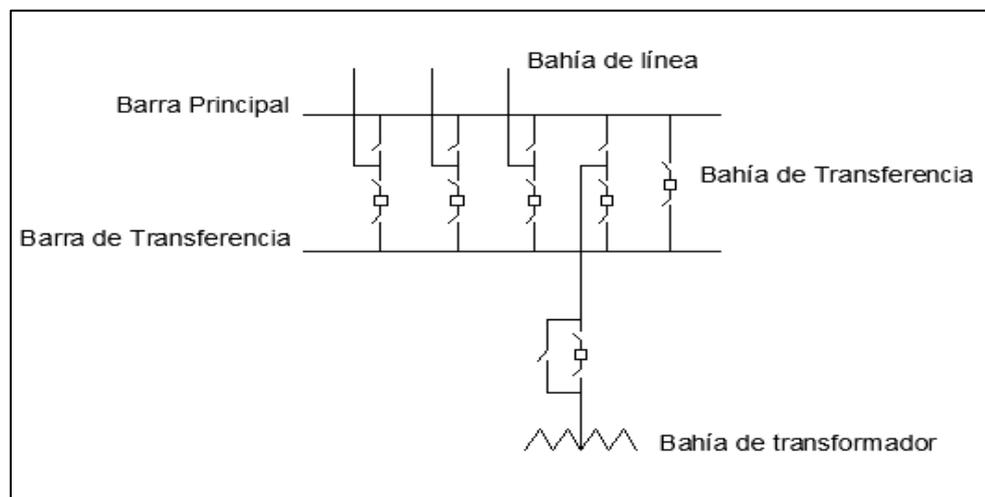


**Figura 1.5: Esquema de doble barra principal, interruptor simple.**

#### **Esquema de barra principal y barra de transferencia**

Este esquema cuenta con una barra de transferencia con un interruptor automático extra (bahía de transferencia) que conectará tanto a la barra principal como la de transferencia en caso de que se desee reemplazar cualquier interruptor sin alterar la continuidad del servicio.

Pero presenta una desventaja, ya que, si se retira la barra principal por motivos de mantenimiento, no se contará con interruptores para proteger a ninguna de las bahías lo que podría ocasionar en la salida de servicio de la subestación.



**Figura 1.6: Esquema de barra principal y barra de transferencia.**

### 1.3.2. Elementos de una subestación

Los principales elementos que conforman una subestación pueden ser listados de la siguiente manera:

- Transformador de potencia o Autotransformadores.
- Equipo de corte y seccionamiento:
  - **Interruptores de potencia:** Los interruptores de potencia son equipos electromecánicos que sirven para interrumpir circuitos eléctricos bajo condiciones de corriente nominal, vacío o cortocircuito. Cuando están cerrados conducen la corriente nominal del sistema al cual se encuentran conectados y son el elemento central de subestaciones aisladas en aire (AIS) o subestaciones aisladas en gas (GIS). [3]
  - **Seccionadores:** Son dispositivos de maniobra que poseen una capacidad de interrupción casi nula es por esto que por lo general son maniobrables en ausencia de tensión o corriente. Para garantizar el aislamiento eléctrico y físico, su presencia en los sistemas es totalmente necesaria, ya que la presencia del interruptor no es suficiente. [4]

En el patio de 69 kV de la subestación Pascuales los seccionadores de barra, línea y transferencia son seccionadores de columna giratoria central y cuchilla de puesta a tierra, uno por cada fase, las cuales son utilizadas en sistemas de alta tensión con corrientes de hasta 2000 amperios. Operan bajo un mando tripolar para accionamiento simultáneo de las tres cuchillas, por lo general se usan en patios de 69 kV y 115 kV.

En la cuchilla de puesta a tierra del seccionador se impide cualquier falsa maniobra ya que tiene un juego de bielas y dispositivos electromecánicos para evitar estos eventos. [4] [5]
- Equipos de alto voltaje para medición:
  - **TC's:** Transformadores de corriente, se emplean para tomar muestras de los valores de corriente de una línea de transmisión y reducirla a un nivel seguro y medible.

- **TP's:** Transformador de potencial, se emplean para tomar muestras de los valores de voltaje del sistema de potencia y reducirlo a un nivel seguro y medible.
- **Pararrayos:** Sin los dispositivos encargados de realizar las descargas de sobretensiones provocadas, ya sea por las descargas atmosféricas, maniobras o la operación de alguno de los equipos de corte y seccionamiento.

#### 1.4. Subestación eléctrica Pascuales

La Subestación eléctrica Pascuales ubicada en el kilómetro 16.5 de la vía Guayaquil – Daule es una de las 15 subestaciones de 230/138/69 kV operativas actualmente en el país y forma parte de la Zona Sur del Sistema Nacional de Transmisión (SNT). Los niveles de 138 kV y 69 kV de ésta Subestación, por poseer una mayor concentración de carga y por suministrar de energía eléctrica a la zona Suroccidental del país es uno de los puntos más críticos del Sistema Nacional de Transmisión.

A nivel de 230 kV su configuración es de “Doble Barra con interruptor de acople”, a nivel de 138 kV y 69 kV opera bajo la configuración de “Barra Principal y Barra de Transferencia”. Tiene una capacidad instalada de 925 MVA y energiza a la mayoría de las subestaciones de 230 kV y 138 kV, es por esta razón que también se la considera como subestación de centro de carga, además tiene dos patios de autotransformadores y cuatro patios de maniobra. [6]

##### 1.4.1. Descripción de la subestación eléctrica Pascuales

La subestación cuenta con un patio de 230 kV conformado por:

- Ocho bahías de línea: DOS CERRITOS, MILAGRO, QUEVEDO 1 y 2, MOLINO 1 y 2, NUEVA PROSPERINA, LAS ESCLUSAS.
- Dos bahías de Autotransformadores:
  - Bahía ATU – 230 kV.
  - Bahía ATT – 230 kV.
- Una bahía de acoplador de barras de 230 kV.

Un patio de 138 kV conformador por:

- Siete bahías de línea: POLICENTRO 1 y 2, SALITRAL 1 y 2, CHONGÓN 1 y 2, CEDEGE.

- Cuatro bahías de Autotransformadores:
  - Bahía ATU – 138 kV.
  - Bahía ATT – 138 Kv.
  - Bahía ATR – 138 kV.
  - Bahía ATQ – 138 kV.
- Una bahía de transferencia de 138 kV.
- Dos bahías de compensadores C1 y C2 de 60 MVAR cada uno.

Un patio de 69 kV conformador por:

- Seis bahías de línea: VERGELES, QUINTO GUAYAS, CERVECERÍA, TOMA, DAULE, C.T. PASCUALES.
- Dos bahías de Autotransformadores:
  - Bahía ATR – 69 kV.
  - Bahía ATQ – 69 Kv.
- Una bahía de transferencia de 69 kV.
- Dos bahías de compensadores C1 y C2 de 12 MVAR cada uno.

En el patio de 69 kV de la subestación Pascuales una medida de seguridad tomada, es el espaciamiento mínimo que debe existir entre elementos energizados o entre un elemento energizado del patio y una persona, es 1cm por cada kV de potencial al que se encuentre dicho elemento, es decir, la distancia mínima de seguridad es de 69 cm de separación.

### 1.5. Software MATLAB

MATLAB proviene de sus siglas en inglés Matrix Laboratory (Laboratorio de Matrices) ya que originalmente fue diseñado para facilitar el software matricial. Creado en 1970 y evolucionado de acuerdo a las necesidades de sus usuarios, tanto académicos como empresariales. [7]

“Es un lenguaje de programación de alto nivel orientado al cálculo técnico que integra un entorno amigable para el cálculo, la visualización de resultados y la codificación de programas.”

Las diferentes funciones con las que cuenta MATLAB son ampliamente utilizadas para resolver clases particulares de problemas como:

- Cálculo y Matemáticas.
- Desarrollo de Algoritmos.
- Adquisición de Datos.
- Modelamiento, simulación y prototipamiento.
- Análisis, exploración y visualización de datos.
- Gráficos científicos y de ingeniería.
- Desarrollo de aplicaciones con interfaces gráficas.

Entre las características más destacables de MATLAB se pueden mencionar las siguientes:

- Lenguaje de programación de alto nivel para cálculo técnico.
- Entorno de desarrollo para la gestión de código, archivos y datos.
- Herramientas interactivas para exploración, diseño y resolución de problemas iterativos.
- Funciones matemáticas para algebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtraje, optimización e integración numérica.
- Funciones gráficas para visualización de datos en 2D y 3D.
- Herramientas para crear interfaces gráficas de usuario personalizadas.
- Funciones para integrar algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones y lenguajes externos tales como: C/C++, FORTRAN, Java, COM y Microsoft Excel).
- Provee Toolboxes, herramientas orientadas a problemas específicos.

Debido a la flexibilidad y soluciones que MATLAB proporciona, este software ha sido ampliamente utilizado en varias áreas de aplicación, como, por ejemplo:

- Sistemas de control.
- Procesamiento de señales y comunicaciones.
- Procesamiento de imágenes y visión computarizada.
- Medición.
- Finanzas computacional.

### 1.5.1. GUI: Interfaz Gráfica de Usuario

#### Capacidades de MATLAB para el desarrollo de GUI

Uno de los elementos clave para entender como GUI funciona es reconocer las características disponibles en MATLAB las cuales pueden ser usadas para el diseño de una interfaz gráfica de usuario. Creando especificaciones para una aplicación y determinando que es posible y más fácil cuando se tiene un conocimiento detallado de las funciones y herramientas disponibles. Algunas de las componentes, funciones y herramientas más importantes de la arquitectura MATLAB GUI, son listadas abajo:

- Manejo de gráficos y objetos.
- Figuras, diagramas de ejes y UIControls.
- GUIDE, Graphical User Interface Design Environment (entorno de diseño de interfaz gráfica de usuario).
- Gestión de eventos: funciones de llamada, temporizadores y entradas Mouse/Teclado.
- Variables Globales.
- Interfaces Gráficas de Usuario (GUIs), ejecutables independientemente.

#### Manejo de gráficos y objetos

MATLAB usa estructuras de objetos orientados para definir gráficas y objetos de interfaz gráfica de usuario (GUI) y estos son generalmente referenciados como Handle Graphics Objects (objetos gráficos manipulables). Figuras, diagramas de ejes, y UIControl, como barras y espacios editables, son todos considerados Handle Graphics Objects. Esta estructura de objetos orientados aprovecha creando y modificando contenido gráfico simplificando la arquitectura del código y permitiendo llevar a un alto nivel a tu diseño.

#### Figuras, Diagramas de Ejes y UIControl

Como se lo menciono anteriormente estos son objetos los cuales pueden ser usados para el desarrollo de los GUI. Cada uno de estos objetos tienen un conjunto de propiedades las cuales pueden ser modificadas para alterar el comportamiento de cada componente.

## **GUIDE, Graphical User Interface Design Environment (entorno de diseño de interfaz gráfica de usuario)**

MATLAB contiene funciones de bajo nivel para el desarrollo de un GUI que permite la creación de aplicaciones sin la ayuda de una herramienta de diseño gráfico. Así mismo el desarrollo de GUIs de alto nivel tiene generalmente un enfoque más simple desde que la disposición de los componentes de interfaz de usuario y la definición de las propiedades de los componentes se puede realizar usando una herramienta de diseño gráfico.

La herramienta de desarrollo de GUIs de alto nivel que está incluida en MATLAB se llama GUIDE que significa entorno de diseño de interfaz gráfica de usuario (Graphical User Interface Design Environment). GUIDE también permite manejar las propiedades con "Property Inspector" y tiene la opción para generar automáticamente el código "M-file code" para tu GUI.

### **Gestión de eventos: funciones de llamada, temporizadores y entradas Mouse/Teclado**

Es también un aspecto esencial para el desarrollo de GUIs que incluye la gestión de eventos de entrada como el mouse y teclado así también se pueden usar temporizadores de tiempo real y llamada de funciones periódicas. MATLAB usa funciones de llamada (callback functions) para manejar los eventos que ocurren para los objetos de la interfaz de usuario.

### **Variables Globales**

Las arquitecturas más comunes para las aplicaciones GUI de MATLAB usan una estructura local de manipulación de objetos para comunicar los parámetros del interfaz de usuario a través de las funciones de llamada. Esta es la estructura usada por defecto por GUIDE para la generación automática de código para el diseño de un GUI. Sin embargo, esta es una forma efectiva de desarrollar aplicaciones GUI de una sola figura, esto limita las posibilidades de expandir una GUI que incluyan múltiples figuras que interactúen con una sola aplicación.

### **Interfaces Gráficas de Usuario (GUIs) ejecutables independientemente**

A veces la meta de crear una GUI en MATLAB es para permitir que algunos usuarios puedan usar esta aplicación. Si la audiencia de usuario no tiene acceso a MATLAB, entonces no hay posibilidad de que usen dicha aplicación desde el M-file original “.m” y el archivo “.fig” el compilador de herramientas de complemento de MATLAB permite convertir el GUI en un programa ejecutable que puede ser distribuido a los usuarios sin la dependencia de que MATLAB se esté ejecutando. [8]

#### **1.6. Justificación**

Los sistemas de control modernos, en la automatización de subestaciones se han convertido en un requisito indispensable para que las diferentes áreas del sistema de potencia puedan operar en un entorno seguro y confiable, ya que la automatización es una parte esencial de los sistemas eléctricos modernos. Es por esto que la automatización se ha convertido en un campo que cada día se encuentra evolucionando con el propósito de desarrollar nuevas estrategias y equipos para obtener sistemas inteligentes.

Con el propósito de integrar las nuevas tecnologías a los sistemas existentes, es necesario que los ingenieros tengan un conocimiento aceptable sobre estas nuevas tecnologías. Sin embargo, en la actualidad, la mayoría de ingenieros aprenden sobre estas “en el trabajo”, ya que el ritmo con el que se desarrollan estas tecnologías avanza cada vez más rápido.

A pesar de los diversos beneficios que brindan tanto la automatización como los sistemas de control moderno, se ha evidenciado que, aunque, desde un punto de vista teórico, el tema es ampliamente revisado dentro de las instalaciones de la ESPOL, los estudiantes no cuentan con los conocimientos prácticos suficientes que los preparen de una mejor manera antes de enfrentar los desafíos que se puedan presentar en el ámbito laboral.

Por esto ha nacido la necesidad de crear un programa que pueda simular la operación de los equipos presentes en la Subestación Pascuales en la barra de 69 kV, para que los estudiantes puedan analizar, manipular y aplicar los diferentes conocimientos adquiridos en un entorno real de funcionamiento.

#### **1.7. Alcance**

La finalidad de este proyecto consiste en implementar en el software MATLAB, el sistema de control real ya existente en la Subestación Pascuales, específicamente

en la barra a nivel de 69 kV. Mediante esta implementación en MATLAB que simula el funcionamiento y operación del sistema de control de la subestación, se espera que los estudiantes puedan manipular y observar el comportamiento de los equipos de control bajo condiciones reales de operación, en conjunto y no de manera individual como hasta el momento se tiene acceso. Adicionalmente se podrá simular la medición de las diferentes señales digitales y analógicas necesarias para realizar el control dentro de la subestación a través de los IED'S para que funcionen en un entorno real de operación, y finalmente. Se contará con un esquema de comunicaciones de los de los diferentes equipos que conforman el sistema de control y monitoreo existentes en la subestación

Una vez terminada la programación en la plataforma MATLAB, esta será integrada con un IHM elaborado con la extensión GUI de MATLAB, donde los estudiantes lograrán manipular y operar los elementos de la subestación en un entorno amigable.

## **1.8. Objetivos**

### **1.8.1. Objetivo general**

El presente trabajo tiene por objetivo la creación de un proyecto en MATLAB que permita a los estudiantes simular un sistema integrado de control, el cual permita realizar las maniobras normalmente ejecutadas para el control de una subestación eléctrica automatizada bajo condiciones reales de funcionamiento, para que esta herramienta permita a los estudiantes entender el funcionamiento detallado, y puedan identificar los diferentes elementos del sistema de control de una subestación moderna.

### **1.8.2. Objetivos específicos**

- Elaborar un Software en MATLAB, en el cual se puedan configurar las operaciones realizadas por los equipos de control remoto, supervisión y monitoreo, además de las diferentes condiciones de operación de los equipos que intervienen durante la operación real de una subestación eléctrica.
  
- Mediante la programación realizada en MATLAB, desarrollar una interfaz que permita a los estudiantes operar y manipular los equipos de corte y seccionamiento existentes en el patio de 69 kV de la Subestación Pascuales.

## CAPÍTULO 2

### 2. DESARROLLO DEL PROYECTO

A pesar de que inicialmente se había planteado elaborar el proyecto empleando únicamente el Command Window de MATLAB, ingresando la información por teclado y realizando las maniobras mediante las botoneras que pueden ser creadas por funciones propias de MATLAB, y se cumple con todos los requerimientos del proyecto, pero de esta manera no se ofrece ningún tipo de respuesta visual ante cualquier maniobra realizada por el usuario.

Por esta razón se trabajará con el entorno de programación visual GUIDE de MATLAB la cual proporciona una gran cantidad de herramientas como por ejemplo cuadros de texto, botones, paneles y demás elementos para la creación de una interfaz gráfica de usuario. Estas herramientas facilitan el proceso de diseño de una ventana gráfica que simule el funcionamiento de la Interfaz Hombre Máquina utilizada en la Subestación eléctrica Pascuales, permitiendo un control sencillo de los equipos de la subestación mediante el uso del mouse.

GUIDE genera automáticamente dos tipos de ficheros, el primero con una extensión “.fig” el cual contiene toda la información referente al entorno visual elaborado para este proyecto, y otro con extensión “.m”, el cual contiene toda la lógica de programación y de la cual dependerá la respuesta del programa ante las acciones sobre cualquiera de los elementos que el usuario desee manipular.

Debido a que el trabajo final está dirigido para estudiantes en formación de la carrera de Ingeniería en Electricidad especialización Potencia, este se desarrollará de manera tal que el usuario pueda manipular los equipos de la subestación mediante una interfaz gráfica amigable y fácil de operar.

Para el desarrollo de este proyecto, se seguirá el orden jerárquico de la arquitectura de los sistemas de automatización de subestaciones (SAS) mencionado en el Capítulo 1.

#### 2.1. Nivel 0.- Equipos de patio

Para empezar con el desarrollo del proyecto se comenzará desde el nivel inferior de la arquitectura de los SAS, que es el nivel 0, el cual corresponde a los equipos de patio de la subestación Pascuales, en la cual se encuentran todos los equipos de corte y seccionamiento como interruptores y seccionadores.

A pesar de saber que los seccionadores de puesta a tierra son de operación manual, para este proyecto por propósitos educativos, se asumirá que todos los seccionadores, incluidos los de puesta a tierra, son de operación motorizada, ya que las ordenes de apertura o cierre de los equipos se hará únicamente desde el nivel 1 o nivel de control de bahía. En cuanto a los interruptores, también se asumirá que todos estos equipos son de operación motorizada.

Adicionalmente en este nivel se encuentran los sensores para mediciones de voltaje y corriente, los cuales se encuentran directamente ubicados en el equipo de patio, y son los encargados de enviar todas las señales necesarias a los niveles superiores.

### **2.1.1. Subestación eléctrica Pascuales a nivel de 69 kV**

En esta sección se identificará y describirá con mayor énfasis los elementos de corte y seccionamiento existentes en las bahías de la Subestación Pascuales, ya que el programa a implementar trabajará sobre estos equipos.

En la barra de 69 kV, la Subestación Pascuales cuenta con 11 bahías, como se muestra en la Figura 2.1, de las cuales para la elaboración de este proyecto no se tomarán en cuenta las bahías con bancos de capacitores C1 y C2, ya que para maniobrar sobre estas bahías se deben tener consideraciones especiales las cuales no son parte del alcance de este proyecto.

La subestación a nivel de 69 kV opera con un esquema de barra principal y barra de transferencia, donde las 9 bahías sobre las cuales se van a trabajar cuentan con los siguientes equipos de corte y seccionamiento:

#### **Interruptores**

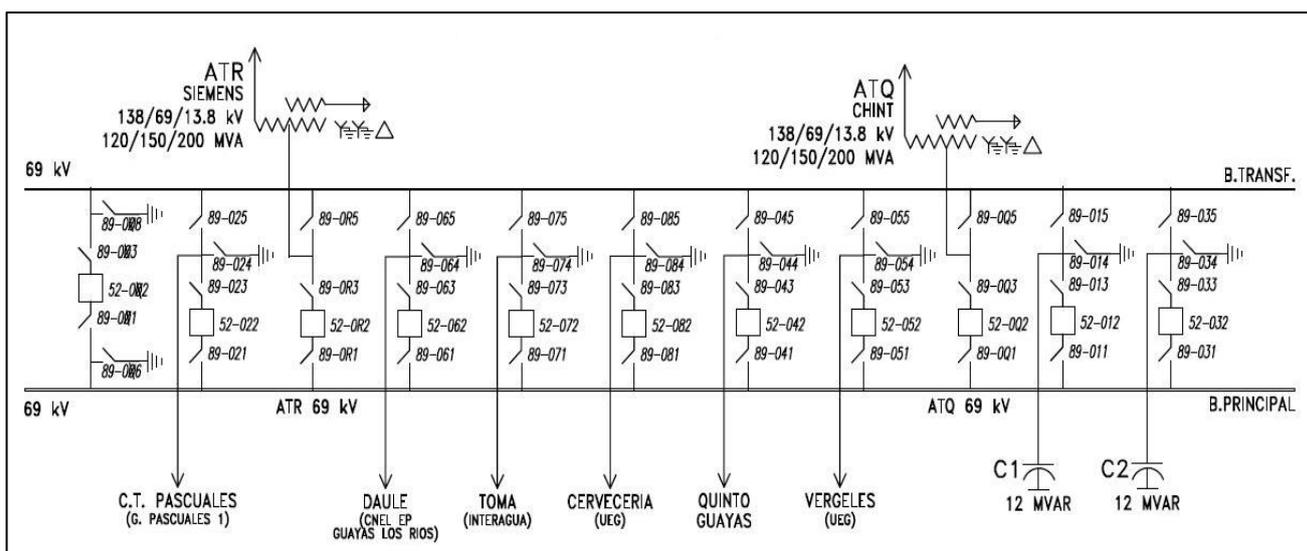
Interruptores en el patio de 69 kV:

- 6 Interruptores para las bahías de salida (1 interruptor por bahía): C.T. Pascuales, Daule, Toma, Cervecería, Quinto Guayas y Vergeles.
- 2 Interruptores para las bahías de los autotransformadores ATR Y ATQ (1 interruptor por transformador).
- 1 Interruptor para la bahía de transferencia.

## Seccionadores

Seccionadores en el patio de 69 kV:

- 12 Seccionadores en las bahías de salida (1 seccionador de barra y 1 seccionador de línea por cada una de las 6 bahías de salida).
- 4 Seccionadores en las bahías de autotransformadores (1 seccionador de barra y 1 seccionador de línea en cada una de las bahías de autotransformadores).
- 8 Seccionadores de transferencia o bypass (1 seccionador para cada bahía alimentadora o de autotransformadores).
- 2 Seccionadores en la bahía de transferencia.
- 8 Seccionadores de puesta a tierra (1 seccionador por bahía alimentadora o de transferencia).



**Figura 2.1: Patio de 69 kV Subestación Eléctrica Pascuales.**

### 2.1.2. Identificación de equipos de corte y seccionamiento

La manera en la que se identifican los equipos de corte y seccionamiento es importante, ya que de esta manera es más sencillo diferenciarlos de acuerdo a la posición de la bahía en el patio y a la acción que estos equipos ejecuten.

La simbología normalmente utilizada cuenta con cinco dígitos, a la cual se le agregará un dígito adicional (P) en referencia a la Subestación Pascuales, donde cada dígito tiene un significado el cual se explica a continuación:

**PAB-CDE:**

P: Subestación Pascuales

AB: Indica el tipo de equipo.

- 89: Seccionador.
- 52: Interruptor.

C: Indica el nivel de voltaje (0 = 69 kV).

D: Indica la posición física de la bahía en el diagrama unifilar. De izquierda a derecha para cada bahía se tiene:

- Transferencia; D=F
- C.T. Pascuales; D=1
- Autotransformador ATR; D=R
- Daule; D=6
- Toma; D=7
- Cervecería; D=8
- Quinto Guayas; D=4
- Vergeles; D=5
- Autotransformador ATQ; D=Q
- Banco de Capacitores C1; D=1
- Banco de Capacitores C2; D=3

E: Indica la acción realizada por el equipo de corte y seccionamiento.

- 1: Seccionador de barra.
- 3: Seccionador de línea.
- 2: Interruptor.
- 4: Seccionador de puesta a tierra.
- 5: Seccionador de transferencia (o BY-Pass).
- 7 o 9: Seccionadores selectores de barra, 1 o 9 respectivamente (esto aplica únicamente a nivel de 230 kV, doble barra).

- 8 o 6: Seccionador de puesta a tierra para barra de transferencia y seccionador de puesta a tierra para barra principal, respectivamente.

Finalmente, la manera en la que los equipos de corte y seccionamiento quedaron identificados se muestra en la Tabla 5.

BAHÍA	SECCIONADOR DE BARRA	CIRCUIT BRAKER	SECCIONADOR DE LÍNEA	SECCIONADOR (ES) DE PUESTA A TIERRA	SECCIONADOR DE TRANSFERENCIA
Transferencia	P890F1	P520F2	P890F3	P890F8 - P890F6	.....
C.T. Pascuales	P89021	P52022	P89023	P89024	P89025
Daule	P89061	P52062	P89063	P89064	P89065
Toma	P89071	P52072	P89073	P89074	P89075
Cervecería	P89081	P52082	P89083	P89084	P89085
Quinto Guayas	P89041	P52042	P89043	P89044	P89045
Vergeles	P89051	P52052	P89053	P89054	P89055
Autotransformador ATR	P890R1	P520R2	P890R3	.....	P890R5
Autotransformador ATQ	P890Q1	P520Q2	P890Q3	.....	P890Q5

**Tabla 5: Identificación de elementos de corte y seccionamiento.**

### 2.1.3. Base de datos utilizada

El requerimiento inicial para el desarrollo del proyecto fue la creación de una base de datos, la cual contenga toda la información necesaria de la subestación a la cual el programa pueda acceder en cualquier momento durante la ejecución del mismo, y permita la validación de las maniobras realizadas en la interfaz gráfica.

Para esto se recurrió a la utilización de archivos “.dat”, los cuales son ficheros que pueden contener datos en formato de texto o binario, o una combinación de ambos, y que pueden ser tratados como matrices por MATLAB, a los cuales se los definirá con un nombre de acuerdo al tipo de información que estos contengan, por medio del cual podrán ser llamados y modificados en cualquier momento durante la ejecución del programa principal.

#### 2.1.4. Estado inicial de las bahías

El estado inicial de las bahías de la subestación dependerá únicamente del estado en los que se encuentren los equipos de corte y seccionamiento de cada una de estas, interruptores y seccionadores, que pueden estar abiertos o cerrados.

Por esto, se observó que se necesitaba un sistema en el cual se pueda representar el estado de los equipos de corte y seccionamiento, mismos que representen el estado general de la bahía en la que se encuentran. Para esto se decidió implementar un código binario en el cual 1 significa que el equipo se encuentra cerrado, mientras que 0 significa que el equipo se encuentra abierto.

Para definir los estados, para cada una de las bahías de la subestación, se creó una matriz de 5 filas y 1 columna donde cada fila representa el estado en el que se encuentra el equipo de corte y seccionamiento, los cuales se encuentra ordenados tal y como se muestra en la Tabla 6 a), Tabla 6 b) y Tabla 6 c).

Finalmente, los archivos “.dat”, que representan el estado de operación de los equipos de cada bahía, 1 que indica que el equipo se encuentra cerrado y 0 para indicar que el equipo está abierto. Estos archivos “.dat” que también pueden ser tratados como matrices, quedaron definidas con el correspondiente nombre de la bahía, de la siguiente manera: PASCUALES.dat, DAULE.dat, TOMA.dat, CERVECERIA.dat, QUINTO.dat, VERGELES.dat, TRANSFERENCIA.dat, ATR.dat y ATQ.dat.

Estas matrices pueden contener únicamente valores iguales a 1 o 0, los cuales podrán ser definidos por el usuario en la manera que se crea conveniente, y a su vez podrán contener cualquier combinación posible, que represente el estado en el que se encuentra la bahía en general. Valores diferentes a 1 o 0 en estas matrices indicarían un error en la entrada del estado de la bahía, para lo cual el programa será capaz de identificar y corregir el problema o indicar el procedimiento para corregirlo.

---

**PASCUALES.dat**

<b>P89025</b>	0 = ABIERTO
<b>P89024</b>	0 = ABIERTO
<b>P89023</b>	1 = CERRADO
<b>P52022</b>	1 = CERRADO
<b>P89021</b>	1 = CERRADO

**a): Estado de la Bahía (Energizada). PASCUALES.dat**

---

**DAULE.dat**

<b>P89025</b>	0 = ABIERTO
<b>P89024</b>	1 = CERRADO
<b>P89023</b>	0 = ABIERTO
<b>P52022</b>	0 = ABIERTO
<b>P89021</b>	0 = ABIERTO

**b): Estado de la Bahía (Energizada). DAULE.dat**

---

**TRANSFERENCIA.dat**

<b>P890F8</b>	0 = ABIERTO
<b>P890F1</b>	1 = CERRADO
<b>P520F2</b>	1 = CERRADO
<b>P890F1</b>	1 = CERRADO
<b>P890F6</b>	0 = ABIERTO

**c): Estado de la Bahía (Energizada). TRANSFERENCIA.dat**

**Tabla 6 : Estado de la Bahía (Energizada).**

En caso de que el usuario defina algún estado que no puede ocurrir durante la operación real de las bahías de la subestación, el programa deberá contar

con la habilidad de detectar estos casos los cuales a partir de ahora se denominarán “Condiciones Anómalas de Operación”.

Para esto, se elaboró una función llamada VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA (ver Figura 2.2), la cual identifica en cuál de los 32 posibles estados se encuentra una bahía, considerando el estado de la bahía de transferencia.

Para tener una idea más clara de esto, observar Tabla 7 en la cual se muestra algunos de los posibles estados en los que puede estar una bahía, tomando en cuenta que pueden existir variaciones con respecto a los estados mostrados en las Tablas 6 a) y 6 b).

```

1  %FUNCIÓN ENCARGADA DE IDENTIFICAR CASOS DE OPERACIÓN ANÓMALA Y CORREGIRLOS
2  %DE SER NECESARIO
3  +function [ESTADO_FINAL,TRANSF_FINAL] = VALIDACION_ESTADO_BAHIA(NOMBRE_BAHIA,ESTADO_INICIAL,ESTADO_TRANSF,i) ...
683

```

**Figura 2.2 Función VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA.**

Esta función recibe como parámetros de entrada las siguientes matrices:

- **NOMBRE\_BAHIA:** Contiene los nombres de las bahías del patio de 69 kV de la subestación.
- **ESTADO\_INICIAL:** Contiene el estado inicial de la bahía, definido por el usuario.
- **ESTADO\_TRANSF:** Contiene el estado de la bahía de transferencia.
- **i:** Indica la bahía que se desea validar (1: Pascuales, 2: Daule, 3: Toma, etc.).

Mientras que los parámetros de salida son:

- **ESTADO\_FINAL:** Contiene el estado final de la bahía luego de la validación. Puede ser igual a ESTADO\_INICIAL si no se encontraba en una condición anómala de operación.
- **TRANSF\_FINAL:** Contiene el estado final de la bahía de transferencia luego de la validación. Puede ser igual a TRANSF\_INICIAL si no detectó ninguna condición anómala de operación.

```

28 - if ESTADO_INICIAL(4,1)==0 %INTERRUPTOR ABIERTO
29
30 -     if ESTADO_INICIAL(1,1)==1 && ESTADO_INICIAL(2,1)==0 %SOLO TRANSFERENCIA (5 CERRADO Y 4 ABIERTO)
31
32 -         if isequal(ESTADO_TRANSF,transferencia_cerrada)
33 -             %NO EXISTE CONDICIÓN ANÓMALA DE OPERACIÓN%
34 -             ESTADO_FINAL=ESTADO_INICIAL;
35 -             TRANSF_FINAL=ESTADO_TRANSF;
36 -         elseif isequal(transferencia_cerrada8,ESTADO_TRANSF)
37 -             m=msgbox({'BAHÍA DE TRANSFERENCIA ENERGIZADA' ['BAHÍA ' NOMBRE_BAHIA{i,1} ' ENERGIZADA POR BAHÍA DE TRANSFERENCIA'] ...
38 -                 'P890F8 CERRADO' 'SITUACIÓN ANÓMALA DE OPERACIÓN' 'BAHÍA DE TRANSFERENCIA DESENERGIZADA AUTOMÁTICAMENTE' ...
39 -                 ['BAHÍA ' NOMBRE_BAHIA{i,1} ' DESENERGIZADA AUTOMÁTICAMENTE']},'ALERTA','warn');
40 -             waitfor(m);
41 -             TRANSF_FINAL=[0;0;0;0;0];
42 -             ESTADO_FINAL=[0;1;0;0;0];
43
44 -         elseif isequal(transferencia_cerrada6,ESTADO_TRANSF)
45 -             m=msgbox({'BAHÍA DE TRANSFERENCIA ENERGIZADA' ['BAHÍA ' NOMBRE_BAHIA{i,1} ' ENERGIZADA POR BAHÍA DE TRANSFERENCIA'] ...
46 -                 'P890F6 CERRADO' 'SITUACIÓN ANÓMALA DE OPERACIÓN' 'BAHÍA DE TRANSFERENCIA DESENERGIZADA AUTOMÁTICAMENTE' ...
47 -                 ['BAHÍA ' NOMBRE_BAHIA{i,1} ' DESENERGIZADA AUTOMÁTICAMENTE']},'ALERTA','warn');
48 -             waitfor(m);
49 -             TRANSF_FINAL=[0;0;0;0;0];
50 -             ESTADO_FINAL=[0;1;0;0;0];

```

**Figura 2.3 Lógica de la función VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA.**

Esta función en primer lugar verifica el estado del Interruptor de la bahía (abierto o cerrado), para luego verificar el estado de los demás equipos de la bahía (P890\*5 y P890\*4) para posteriormente verificar el estado de la bahía de transferencia que puede ser cualquiera de los mostrados en la Tabla 8. Una vez identificado el estado en el que se encuentra la bahía ingresada, se asigna a los parámetros de salida los respectivos estados finales dependiendo del estado de la matriz ESTADO\_INICIAL.

Adicionalmente se debe considerar el estado en el que se encuentra la bahía de transferencia, ya que esta podría encontrarse en una Condición Anómala de Operación, o podría causar que otra bahía se encuentre en un estado no deseado (observar Tabla 8).

Luego de la ejecución de la función VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA, finalmente se tendrán definidos los estados iniciales de las bahías, y en función a estos estados se procederá a realizar la asignación de los voltajes y corrientes mediante la función ASIGNACION\_VOLTAJES\_CORRIENTES, la cual toma en consideración en primer lugar el estados de las bahías de autotransformadores, teniendo en cuenta que basta con que solo una o ambas de las bahías de los autotransformadores se encuentren energizadas para alimentar a la barra principal, y por ende, a las demás bahías cuyo estado sea ENERGIZADA, caso contrario, independientemente del estado de la bahía, si no se tiene al menos una bahía de autotransformador ENERGIZADA, se asignará una CORRIENTE y VOLTAJE igual a cero (0).

COMBINACIÓN	EQUIPOS DE UNA BAHÍA					ESTADO DE LA BAHÍA
	P890*1	P520*2	P890*3	P890*4	P890*5	
6	0	0	1	0	1	Bahía desenergizada/ *Energizada por transferencia
12	0	1	0	1	1	Bahía desenergizada/*Condición Anómala de Operación
13	0	1	1	0	0	Bahía desenergizada
30	1	1	1	0	1	Bahía energizada/ Bahía energizada por B. Princ. Y Barra. Transf.
31	1	1	1	1	0	Condición Anómala de Operación

**Tabla 7: Estados de una Bahía. (\* Bahía de Transferencia Energizada).**

COMBINACIÓN	EQUIPOS BAHÍA DE TRANSFERENCIA					ESTADO DE LA BAHÍA
	P890F8	P890F3	P520F2	P890F1	P890F6	
1	1	1	1	1	1	Condición Anómala de Operación
2	0	1	1	1	1	** Condición Anómala de Operación
3	1	1	1	1	0	* Condición Anómala de Operación
4	0	1	1	1	0	Bahía de Transferencia Energizada
5	0	0	0	0	0	Bahía de Transferencia Desenergizada

**Tabla 8: Estados de la Bahía de Transferencia. (\* Bahía Transferida, \*\* Bahía energizada).**

Cada archivo “.dat”, quedó definido dependiendo de la información que esta contenga, voltaje o corriente, y el correspondiente nombre de la bahía, por ejemplo, para la Bahía Toma se tendría: VOLTAJE\_TOMA.dat, CORRIENTE\_TOMA.dat.

En base al funcionamiento de la función VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA, también se elaboraron las funciones para determinar los procedimientos que se deben seguir para realizar las diferentes maniobras en las bahías de la subestación, los cuales dependerá también del estado en el que se encuentre la bahía luego de la ejecución de la función VALIDACION\_ESTADO\_BAHIA. (Observar Tabla 9).

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 ABIERTO				X	52-0*2 CERRADO
89-0*1 ABIERTO		X			89-0*1 CERRADO
89-0*3 ABIERTO			X		89-0*3 CERRADO
89-0*4 CERRADO	X				89-0*4 ABIERTO
89-0*5 ABIERTO					89-0*5 ABIERTO

**Tabla 9: Procedimiento para Energización de bahía.**

### 2.1.5. Esquema lógico de enclavamientos

El esquema de enclavamientos es un arreglo lógico para habilitar o no el accionamiento de los equipos de la subestación, sean estos interruptores o seccionadores, y son empleados con el propósito de minimizar los riesgos eléctricos ratificando la existencia de seguridad para el personal de la subestación al momento de manipular cualquiera de estos equipos.

En la Figura 2.4 se muestra el esquema de enclavamientos que debe cumplirse para otorgar el permiso de apertura o cierre de cualquiera de los seccionadores de la subestación, ya sea para bahía de salida o la bahía de transferencia, y en la cual se puede apreciar que basta con que una

condición no se cumpla para impedir el accionamiento del equipo a maniobrar.

De igual manera en la sección de Anexos se encuentra el esquema de enclavamientos para los interruptores de la subestación, tanto para bahías de salida, como para la bahía de transferencia, los cuales se elaboraron tomando como referencia los esquemas de enclavamientos para el patio de 69 kV de la subestación Caraguay.

Para tener un mejor entendimiento de los esquemas de enclavamiento para seccionadores e interruptores empleados en el proyecto, a continuación, se explican algunas de las condiciones incluidas en dichos esquemas.

- **FALLA MECANISMO DE OPERACIÓN:** Debido a que tanto seccionadores, como interruptores son accionados mediante motores, estos están sujetos a sufrir fallas mecánicas que pueden llegar a causar una falla durante la operación de los equipos de corte y seccionamiento.
- **FALLA DC SECCIONADOR:** Los motores mencionados en el literal anterior, se alimentan con corriente continua, y en caso de llegarse a interrumpir no se permitiría el correcto accionamiento de los equipos.
- **SELECTOR EN REMOTO:** Selector ubicado en el armario de control de cada uno de los equipos, debe encontrarse en modo remoto para poder realizar las maniobras desde la IHM.
- **MANIVELA INSERTADA:** Mecanismo alternativo para operar el seccionador de manera manual, la cual al estar insertada desacopla la operación motorizada del equipo.
- **CIRCUITO DE DISPARO:** Circuito de disparo 1 y 2 deben encontrarse operativos en caso de producirse un disparo generado por las protecciones.
- **RESORTE DESCARGADO:** El resorte es el encargado de suministrar la energía para accionar el interruptor, por lo cual debe estar cargado antes de maniobrar el equipo.

- **BLOQUEO SF6:** Bloquea el accionamiento del interruptor por baja densidad del SF6 que es el medio encargado de extinguir el arco eléctrico cuando se produce una apertura.
- **RELÉ 86B:** Relé de bloqueo, cuya función es suspender el funcionamiento del interruptor ante una condición anómala de operación.

Las condiciones mostradas en la Figura 2.4, del esquema de enclavamientos de seccionadores, fueron ordenadas tal como se muestra en la Tabla 10, en la cual se muestra los valores que debería tener cada una de las condiciones para otorgar el permiso de apertura o cierre del equipo. Por cada equipo de cada una de las bahías se creó una matriz con el correspondiente nombre del equipo. Utilizando la Bahía Quinto Guayas como ejemplo, se tendría: COND\_P89041.dat, COND\_P52042.dat, COND\_P89043.dat, COND\_P89044.dat y COND\_P89045.dat.

Manteniendo la utilización de un sistema binario, 1 puede significar que existe una falla o modo Remoto, mientras que 0 puede significar que no existe falla, o modo Local dependiendo de la condición al que sea asignado.

El modo en el que se encuentra la IHM, será asignado a la primera fila de cada una de las matrices de enclavamientos de los equipos, ya que esta es una variable que afecta por igual a todos los equipos de la bahía, sean estos seccionadores o interruptores, la cual deberá estar idealmente en modo LOCAL para permitir el accionamiento de los equipos, mientras que el Modo de la Unidad de Bahía afectará únicamente a los equipos que se encuentren dentro de una misma bahía, interruptores y seccionadores, la cual deberá estar idealmente en modo REMOTO.

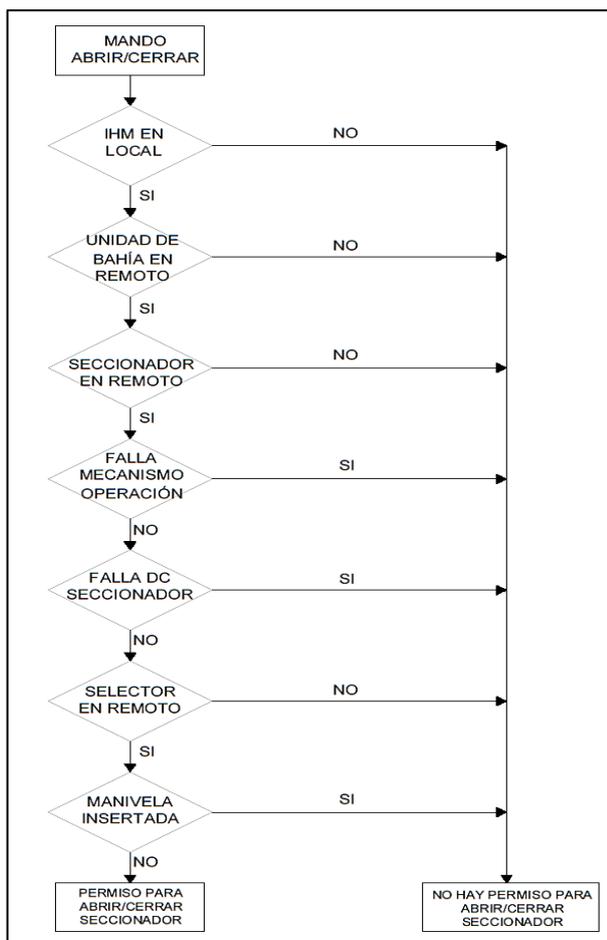


Figura 2.4: Esquema de enclavamiento para seccionadores.

COND\_P890\*1.dat

MODO IHM	0 = LOCAL
MODO BCU	1 = REMOTO
MODO SECCIONADOR	1 = REMOTO
FALLA MEC. OPERAC.	0 = NO HAY FALLA
FALLA DC	0 = NO HAY FALLA
MODO SELECTOR	1 = REMOTO
POSICIÓN MANIVELA	0 = NO INSERTADA

Tabla 10: Matriz de Enclavamiento para Apertura/Cierre de Seccionador.

### **2.1.6. Instrumentos de medición**

La presencia de aparatos de medición y relés de protección es fundamental en todo tipo de subestación eléctrica, los cuales no son diseñados para aguantar elevadas magnitudes ya que esto encarecería su construcción, y al ser equipos que generalmente se encuentran ubicados en paneles, no deberían representar un riesgo para la integridad del personal.

Es por esto que se recurre a la utilización de transformadores de medición y protección, a través de los cuales las grandes magnitudes mencionadas anteriormente pueden ser transformadas a un valor proporcional, aislando los circuitos y equipos de protección, medición, etc., de tal manera que se pueda transmitir estas señales a dichos equipos, sin representar riesgo alguno.

De acuerdo a lo anterior, se debe distinguir la función que estos equipos poseen dependiendo del tipo de carga a los que van dirigidos, ya sean aparatos de medición o relés de protección. Para esto se emplean transformadores de instrumentación de varios núcleos, donde cada núcleo posee características constructivas adecuadas dependiendo de la función que estos desempeñen, y estos se comportan como varios transformadores diferentes.

Por sus características constructivas, los aparatos de medición usualmente no pueden soportar magnitudes muy elevadas y estos requieren de una mayor precisión, es por esto que los núcleos destinados a medición se construyen con chapas de rápida saturación, mientras que los núcleos destinados a alimentar equipos de protección, se construyen con chapas de saturación débil o lenta, para que al momento de presentarse una magnitud muy elevada, el secundario del equipo refleje aceptablemente dicho valor, permitiendo una operación adecuada del equipo de protección que se encuentran alimentando.

### **2.2. Nivel 1.- Nivel de control de bahía**

Este nivel involucra los IED's cuya función es operar los equipos de corte y seccionamiento de una determinada bahía de manera LOCAL, además de adquirir y mostrar la información relevante (mediciones) a través de la interfaz gráfica a implementar en GUIDE.

### 2.2.1. IED's en la subestación Pascuales

Todos los equipos para realizar el control y protección en el patio de 69 kV de la Subestación Pascuales son equipos marca Siemens de la serie SIPROTEC 4, modelo 6MD66 para las Unidades de control de bahía, y relés de protección principal (21P) y secundaria (21S) modelo 7SA612, por bahía. Todos estos equipos cuentan con funciones de análisis, medición, control y supervisión, aunque el principal encargado de desempeñar estas funciones es el equipo 6MD66. El intercambio de información entre estos equipos se realiza a través del protocolo IEC 61850 y un anillo de fibra óptica que conecta a todos los equipos del patio. [9]

Adicionalmente el equipo 6MD66 cuenta con una pantalla iluminada de grandes dimensiones la cual permite la visualización de información y del estado de los equipos a través de un diagrama mímico de control, lo cual permite la operación de los equipos de manera LOCAL.

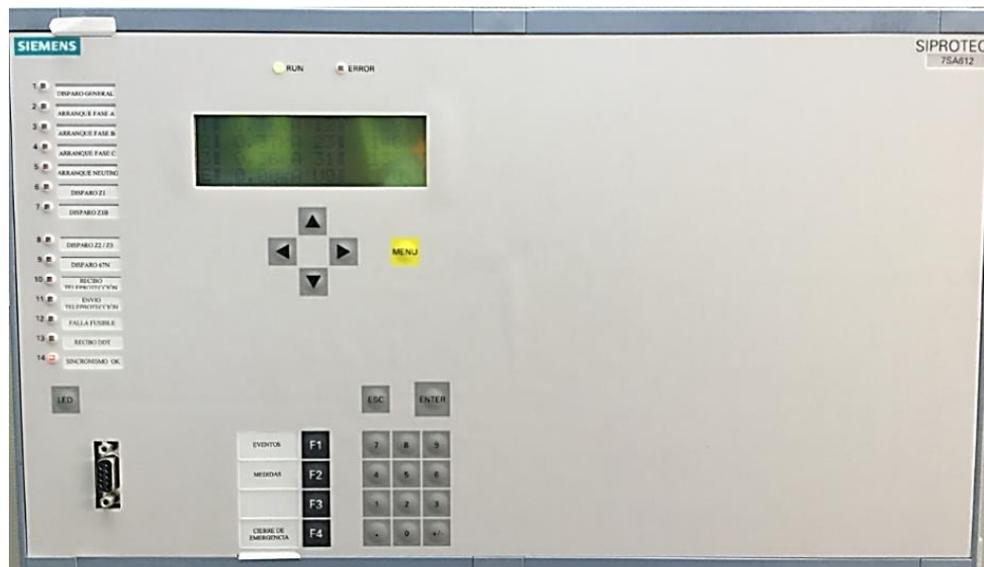


**Figura 2.5: Unidad de control de bahía 6MD66 marca Siemens.**

Los equipos 7SA612 son relés de protección multifuncional, es decir, que además de contar con protección de distancia (21), también cuentan con las siguientes protecciones [9]:

- Protección direccional de sobrecorriente (67N).
- Relé de bloqueo (68).
- Protección contra bajo voltaje (27).

- Protección contra sobrevoltaje (59).
- Función de sincronismo (25).
- Dispositivo reconector de CA (79).
- Protección contra falla de interruptor (50BF).



**Figura 2.6: Protección principal y secundaria 7SS612 marca Siemens.**

### 2.2.2. Disponibilidad de IED's

La unidad de control de bahía es la encargada de la operación de los equipos de corte y seccionamiento de una determinada bahía, una vez que se hayan verificado los enclavamientos correspondientes al equipo que se desee operar.

En caso de que no se disponga de la unidad de control de bahía para la operación de los equipos, se cuenta con la protección principal (21P) y la protección secundaria (21S) de las líneas que salen de las bahías

Para esto se cuenta con un PT y un CT en cada línea, donde cada uno cuenta con 3 núcleos distribuidos de la siguiente manera:

- **NÚCLEO 1:** Unidad de control de bahía (BCU).
- **NÚCLEO 2:** Protección primaria (21P).
- **NÚCLEO 3:** Protección secundaria (21S).



<b>PT_BAHÍA</b>			
	<b>N1/BCU</b>	<b>N2/21P</b>	<b>N3/21S</b>
<b>NÚCLEO</b>	N1 - OP/NO OP	N2 - OP/NO OP	N3 - OP/NO OP
<b>ESTADO IED'S</b>	BCU - OP/ NO OP	21P - OP/NO OP	21S - OP/NO OP
<b>MODO IED'S</b>	BCU - LOCAL/REMOTO	21P - LOCAL/REMOTO	21S - LOCAL/REMOTO
<b>MEDICIÓN</b>	VALOR DE LA MEDICIÓN DE VOLTAJE		

**Tabla 11: Matriz de PT de una Bahía.**

<b>CT_BAHÍA</b>			
	<b>N1/BCU</b>	<b>N2/21P</b>	<b>N3/21S</b>
<b>NÚCLEO</b>	N1 - OP/NO OP	N2 - OP/NO OP	N3 - OP/NO OP
<b>ESTADO IED'S</b>	BCU - OP/ NO OP	21P - OP/NO OP	21S - OP/NO OP
<b>MODO IED'S</b>	BCU - LOCAL/REMOTO	21P - LOCAL/REMOTO	21S - LOCAL/REMOTO
<b>MEDICIÓN</b>	VALOR DE LA MEDICIÓN DE CORRIENTE		

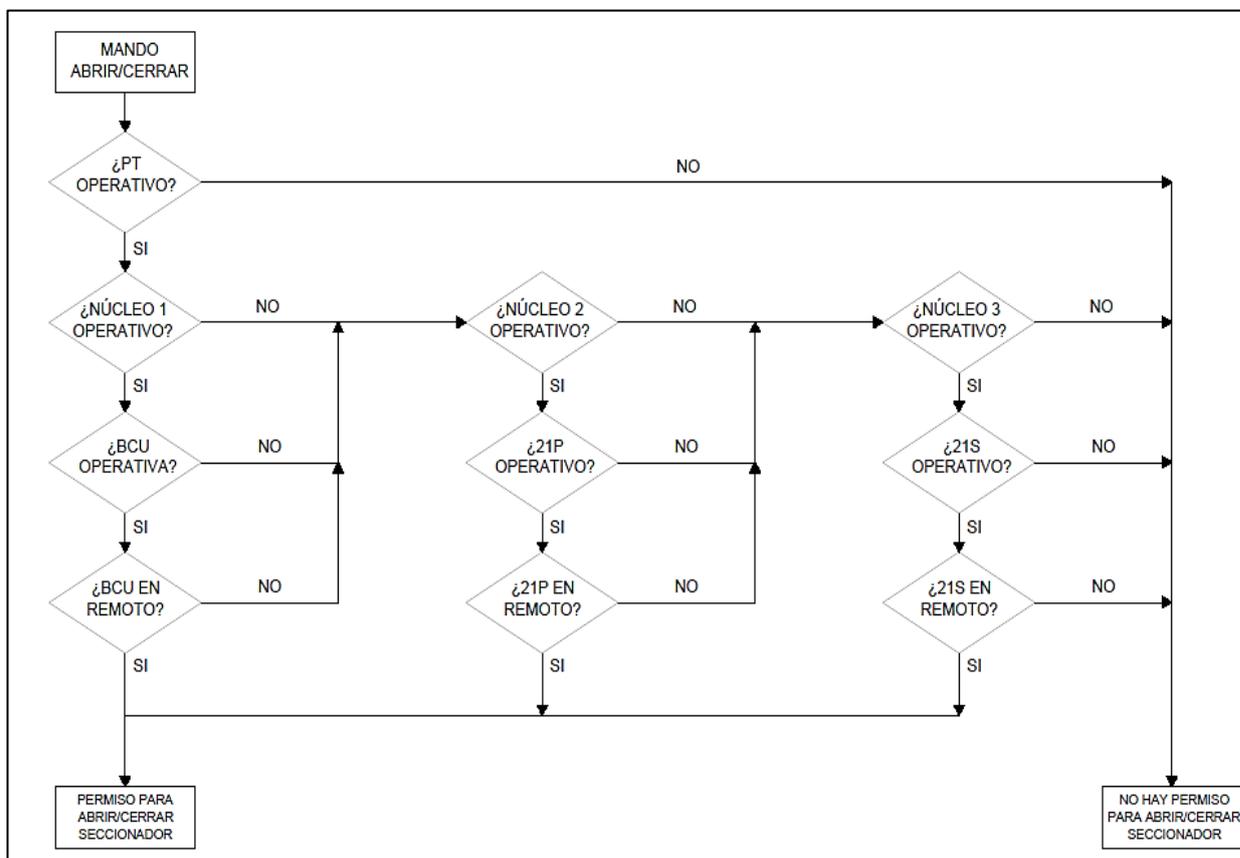
**Tabla 12: Matriz de CT de una Bahía.**

Inicialmente todas las matrices de PT's y CT's, y las matrices con los estados de los mismos se definen de tal manera que operen con la primera columna llena de 1's, y el PT o CT OPERATIVO, es decir:

- 1 = Núcleo 1 OPERATIVO.
- 1 = BCU OPERATIVA.
- 1 = BCU en modo REMOTO.
- ESTADO\_PT\_BAHÍA = 1 (OPERATIVO).
- ESTADO\_CT\_BAHÍA = 1 (OPERATIVO).

En la Figura 2.8, se muestra el diagrama de flujo para determinar la disponibilidad de una IED, en la cual se observa que basta con que el estado del PT o CT sea igual a cero (no se encuentre operativo) para denegar el permiso de apertura o cierre de cualquiera de los equipos.

En caso contrario se observa que cuando el PT o CT es igual a uno (1) (se encuentra operativo), se procede a verificar la disponibilidad de una IED, y finalmente si no existe ninguna, no se permite la apertura o cierre del equipo.



**Figura 2.8: Disponibilidad de IED.**

Para entender mejor lo mencionado en el párrafo anterior, si nos fijamos en la Tabla 11 y Tabla 12, es necesario que al menos todos los elementos de una columna sean uno (1), exceptuando la última fila que corresponde a la medición de voltaje o corriente, para indicar que se tiene disponible una IED, la cual dependerá de que columna se encuentre llena de 1's.

### Rangos de voltajes y corrientes

Para este proyecto se ha considerado que el valor del voltaje deberá encontrarse dentro de un rango del +/- 5% de su valor nominal (69 kV), es decir, entre 65.55 kV y 72,45 kV para permitir la apertura de los interruptores de las bahías, mientras que para cerrarlos el voltaje deberá ser cero o estar dentro de un máximo permitido de 5% de 69 kV, es decir deberá estar entre 0 kV y 3.45 kV. Mientras que para la corriente se consideró que esta debe ser menor a 20 A para poder cerrar seccionadores de puesta a tierra. Para

la apertura de seccionadores solo se debe verificar que la bahía no se encuentre bajo carga para realizar la apertura o cierre de estos equipos.

Para determinar la disponibilidad de una IED, se implementaron las funciones `VALIDACION_PT_BAHIA_SECCIONADORES` y `VALIDACION_CT_BAHIA`, las cuales reciben las siguientes variables como parámetros de entrada:

- **ESTADO\_PT/CT:** Contiene el estado del PT/CT (1 = Operativo, 0 = No Operativo).
- **PT/CT\_BAHIA:** Contiene la información sobre la disponibilidad de una IED (Observar Tablas 9 y 10).
- **BAHIA:** Indica la bahía en la que se encuentra el PT/CT.

```

1  function [x1,x2,x3,x4,medicion,confirmacion_pt]=VALIDACION_PT_BAHIA_SECCIONADORES(ESTADO_PT,PT_BAHIA,BAHIA)
2  -  MEDICION=PT_BAHIA(4,1);
3  -  if BAHIA==1
4  -      VOLTAJE=importdata('VOLTAJE_PASCUALES.dat');
5  -  elseif BAHIA==2
6  -      VOLTAJE=importdata('VOLTAJE_DAULE.dat');
7  -  elseif BAHIA==3
8  -      VOLTAJE=importdata('VOLTAJE_TOMA.dat');

```

**Figura 2.9: Función VALIDACION\_PT\_BAHIA\_SECCIONADORES.**

```

1  function [x1,x2,x3,x4,medicion,confirmacion_ct]=VALIDACION_CT_BAHIA(ESTADO_PT,CT_BAHIA,BAHIA)
2  -  MEDICION=CT_BAHIA(4,1);
3  -  if BAHIA==1
4  -      CORRIENTE=importdata('CORRIENTE_PASCUALES.dat');
5  -  elseif BAHIA==2
6  -      CORRIENTE=importdata('CORRIENTE_DAULE.dat');
7  -  elseif BAHIA==3
8  -      CORRIENTE=importdata('CORRIENTE_TOMA.dat');

```

**Figura 2.10: Función VALIDACION\_CT\_BAHIA.**

La función, inicialmente verifica el estado del equipo de medición, si se encuentra o no operativo, y en caso de que esté operativo, procede a verificar que IED se encuentra disponible. En caso de encontrar una IED, procede a verificar que el valor de la medición sea correcto. Los parámetros de salida de las funciones son:

- `x1, x2, x3, x4`: Mensajes a mostrar al usuario que dependerá de los parámetros de entrada.
- `Medición`: Confirmación sobre el valor de la medición (1 = medición correcta, 0 = medición incorrecta).

- Confirmación\_pt/ct: Confirmación sobre la disponibilidad de IED (1 = IED disponible, 0 = No existe IED disponible).

```

20 -   if ESTADO_PT==1 %PT OPERATIVO
21 -       if PT_BAHIA(1,1)==1 %TRABAJA CON NÚCLEO 1
22 -           if PT_BAHIA(2,1)==1 && PT_BAHIA(3,1)==1%BCU OPERATIVO Y EN MODO LOCAL
23 -               x1=sprintf('NÚCLEO 1');
24 -               x2=sprintf('BCU OPERATIVA');
25 -               x3=sprintf('BCU EN REMOTO');
26 -               medicion=1;
27 -               if MEDICION==VOLTAJE %MEDICIÓN CORRECTA
28 -                   x4=sprintf('');
29 -                   confirmacion_pt=1;
30 -               else %ERROR EN LA MEDICIÓN
31 -                   if BAHIA==8
32 -                       x4=sprintf('ERROR EN LA MEDICIÓN DEL PT DE LA BARRA PRINCIPAL');
33 -                       confirmacion_pt=0;
34 -                   else
35 -                       x4=sprintf('ERROR EN LA MEDICIÓN DEL PT DE LA BAHÍA');
36 -                       confirmacion_pt=0;
37 -                   end

```

**Figura 2.11: Lógica de la función VALIDACION\_PT\_BAHIA\_SECCIONADORES.**

Adicionalmente se desarrollaron 2 funciones más, VALIDACION\_PT\_BAHIA (Figura 2.12) y VALIDACION\_CT\_BAHIA\_4 (Figura 2.13), basadas en las funciones mencionadas anteriormente, las cuales básicamente determinan la disponibilidad de una IED, y además verifican que los valores de voltaje o corriente se encuentran dentro de los rangos permitidos.

```

if MEDICION==VOLTAJE %MEDICIÓN CORRECTA
    if (PT_BAHIA(4,1)>=65.55 && PT_BAHIA(4,1)<=72.45 ) || (PT_BAHIA(4,1)>=-3.45 && PT_BAHIA(4,1)<=3.45 )
        x4=sprintf('');
        confirmacion_pt=1;
    elseif PT_BAHIA(4,1)<65.55 && ESTADO_BAHIA(4,1)==1
        x4=sprintf('VOLTAJE INFERIOR AL LÍMITE PERMITIDO ( < 65.55 kV )');
        confirmacion_pt=0;
    elseif PT_BAHIA(4,1)>72.45 && ESTADO_BAHIA(4,1)==1
        x4=sprintf('VOLTAJE SUPERIOR AL LÍMITE PERMITIDO ( > 72.45 kV )');
        confirmacion_pt=0;
    elseif PT_BAHIA(4,1)<-3.45 && ESTADO_BAHIA(4,1)==0
        x4=sprintf('VOLTAJE INFERIOR AL LÍMITE PERMITIDO ( < -3.45 kV )');
        confirmacion_pt=0;
    elseif PT_BAHIA(4,1)>3.45 && ESTADO_BAHIA(4,1)==0
        x4=sprintf('VOLTAJE SUPERIOR AL LÍMITE PERMITIDO ( > 3.45 kV )');
        confirmacion_pt=0;
    end
else %ERROR EN LA MEDICIÓN

```

**Figura 2.12: Función VALIDACION\_PT\_BAHIA.**

```

if MEDICION==CORRIENTE $MEDICIÓN CORRECTA
  if CT_BAHIA(4,1)<=20 && ESTADO_BAHIA(4,1)==0
    x4=sprintf('');
    confirmacion_ct=1;
  elseif CT_BAHIA(4,1)>20 && ESTADO_BAHIA(4,1)==0
    x4=sprintf('NO PUEDE CERRAR SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA YA QUE EXISTE UNA CORRIENTE MAYOR A 20 A');
    confirmacion_ct=0;
  else
    x4=sprintf('');
    confirmacion_ct=1;
  end
else $ERROR EN LA MEDICIÓN
  x4=sprintf('ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CT');
  confirmacion_ct=0;

```

**Figura 2.13: Función VALIDACION\_CT\_BAHIA\_4.**

### 2.3. Nivel 2.- Nivel de control de subestación

Luego de haber definido todas las consideraciones de los niveles inferiores (0 y 1), se procede a trabajar en el nivel 2 que es el más importante del proyecto, ya que mediante este nivel el usuario podrá ordenar las maniobras de apertura o cierre de los equipos de corte y seccionamiento de las bahías de la subestación, mediante la interfaz gráfica diseñada.

Adicionalmente en este nivel, se podrán observar todos los datos de mediciones, mensajes y alertas durante la ejecución del programa, así como el estado tanto de las bahías, como de los equipos que las conforman.

#### 2.3.1. Estructura de la interfaz gráfica

Uno de los requerimientos principales de la interfaz a crear es la realización de Operaciones Específicas y Operaciones Individuales, donde una Operación Específica corresponde a una maniobra particular la cual debe seguir un procedimiento determinado para cualquiera de las bahías de la subestación, mientras que las Operaciones Individuales permitirán al usuario manipular cualquier elemento individual de la cualquiera de las bahías de la subestación bajo ciertas condiciones de operación del equipo a manipular.

##### Operaciones específicas

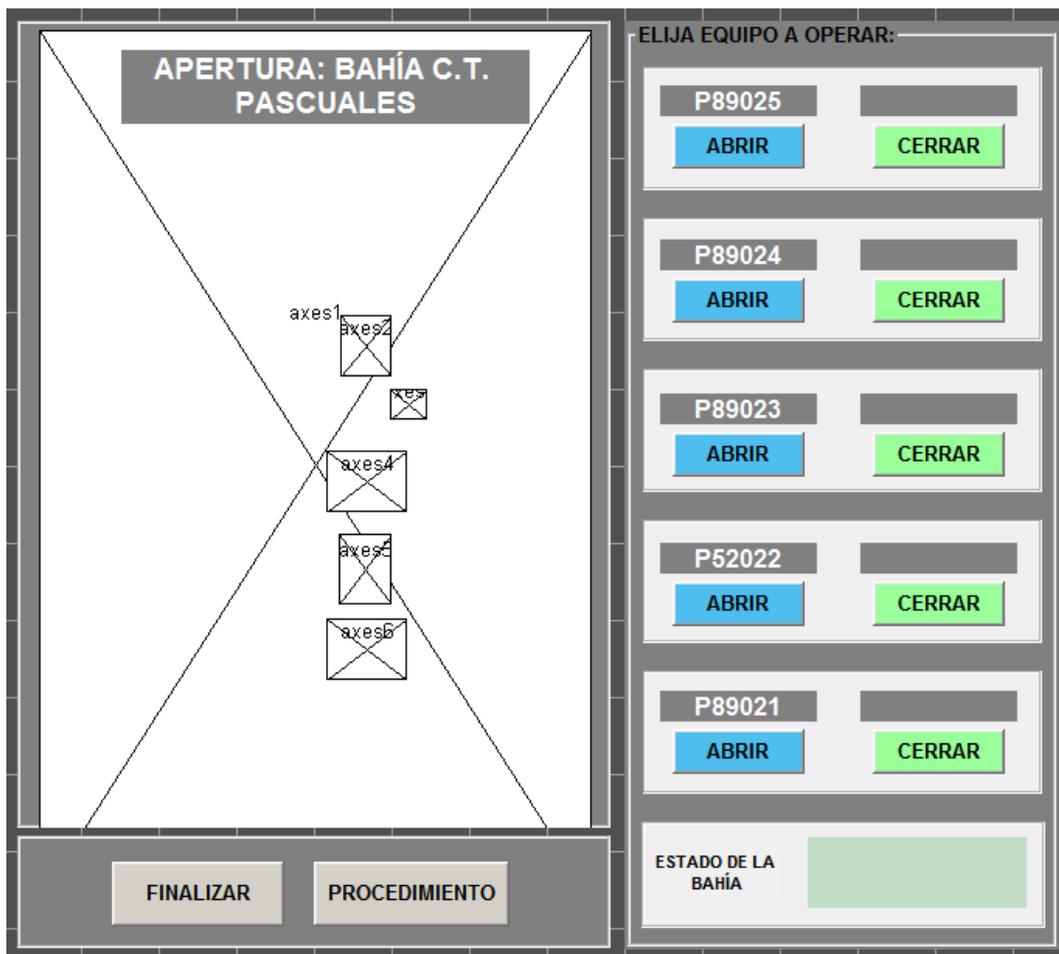
De acuerdo a lo mencionado en la sección anterior, para realizar una Operación Específica se debe seguir un procedimiento dado de acuerdo al estado en el que se encuentre la bahía a operar. Las Operaciones Específicas que el usuario podrá realizar son:

- **APERTURA:** En esta operación se sigue una secuencia de maniobras para realizar la desenergización de la bahía elegida.
- **CIERRE:** En esta operación se sigue una secuencia de maniobras para realizar la desenergización de la bahía elegida.
- **TRANSFERENCIA:** En esta operación se sigue una secuencia de maniobras para realizar la transferencia de la bahía elegida. Adicionalmente el usuario podrá Energizar una bahía mediante la bahía de transferencia y desenergizar una bahía transferida.

Todas las demás secuencias implementadas para realizar las Operaciones Específicas se encuentran detalladas en la sección de Anexos.

Para realizar cualquiera de las maniobras mencionadas anteriormente se deben tener en cuenta ciertas consideraciones antes de abrir o cerrar cualquier equipo, ya sea este interruptor o seccionador las cuales se mencionan a continuación:

- **SECCIONADORES:** Estos equipos deben maniobrarse sin carga, es decir, que el interruptor debe estar abierto para abrir o cerrar cualquiera de los seccionadores.
- **INTERRUPTORES:** Al ser el encargado de energizar o desenergizar la bahía, la única consideración a tomar antes de cerrarlo es que el seccionador de puesta a tierra 89-0\*4 esté abierto, mientras que para abrirlo no existe consideración alguna ya que estos pueden ser abiertos sin problema alguno bajo carga.
- Solo una bahía puede conectarse a la barra de transferencia al mismo tiempo.
- Los seccionadores de puesta a tierra solo podrán ser cerrados si la bahía en la que se encuentran está desenergizada.



Debido a que este proyecto es elaborado con fines académicos, los procedimientos que se utilizarán no siempre van a ser similares a los empleados durante la operación real de una bahía, ya que como el programa es capaz de recibir cualquier estado posible, los procedimientos reales deben ser modificados en función al estado de la bahía, para que de esta manera, los estudiantes no solo se limiten a realizar las maniobras bases de una bahía, sino que tengan la capacidad de prepararse en caso de que se presente un estado anormal de la bahía.

Para tener una idea clara de lo mencionado en el párrafo anterior, a continuación, se muestran algunos procedimientos estándar para realizar una determinada maniobra y algunas de las variaciones que se podrían presentar durante la ejecución del programa.

### PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR PARA ENERGIZAR

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 ABIERTO				X	52-0*2 CERRADO
89-0*1 ABIERTO		X			89-0*1 CERRADO
89-0*3 ABIERTO			X		89-0*3 CERRADO
89-0*4 CERRADO	X				89-0*4 ABIERTO
89-0*5 ABIERTO					89-0*5 ABIERTO

Tabla 13: Procedimiento estándar para energizar bahía.

### VARIACIÓN DE PROCEDIMIENTO PARA ENERGIZAR

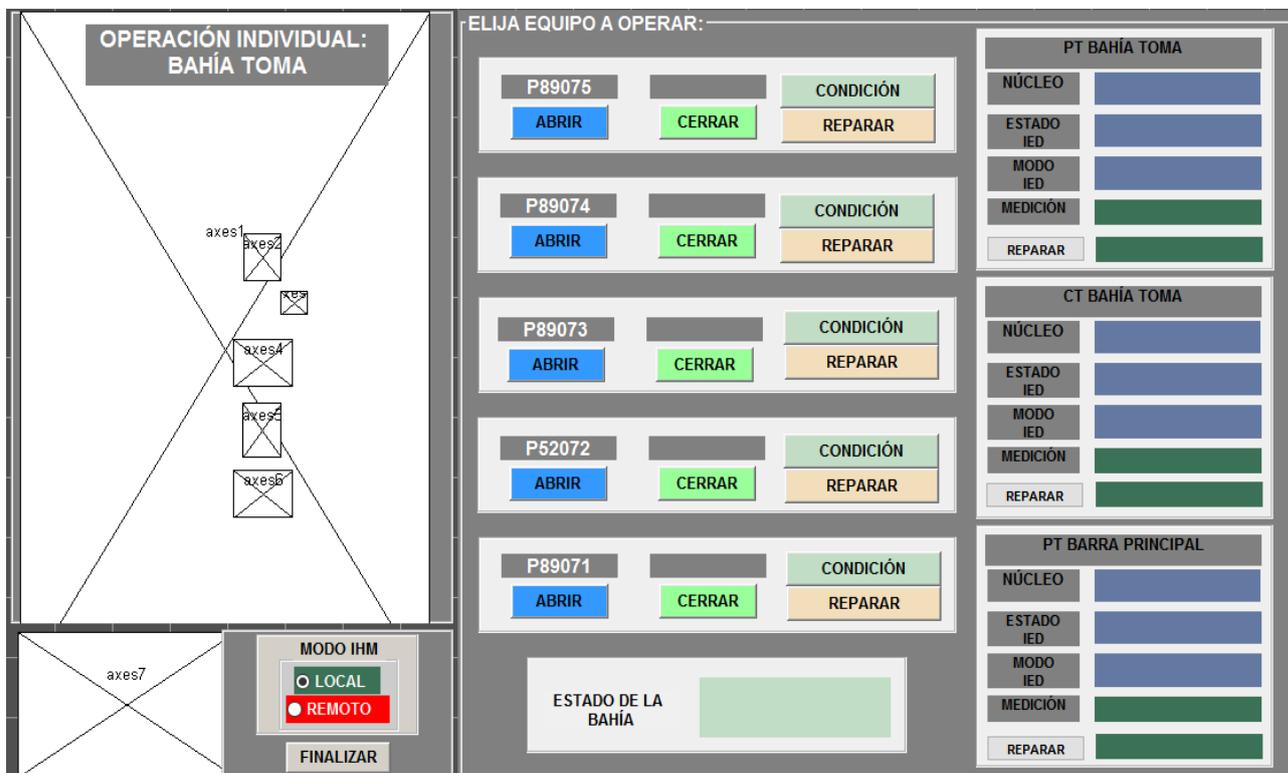
INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 CERRADO		X		X	52-0*2 CERRADO
89-0*1 ABIERTO			X		89-0*1 CERRADO
89-0*3 CERRADO					89-0*3 CERRADO
89-0*4 ABIERTO					89-0*4 ABIERTO
89-0*5 CERRADO	X				89-0*5 ABIERTO

Tabla 14: Variación del procedimiento para energizar bahía.

#### Operaciones individuales

A diferencia de las Operaciones Específicas, para realizar una Operación Individual, no se debe seguir procedimiento alguno, permitiendo al usuario maniobrar cualquiera de los equipos de corte y seccionamiento de cualquiera de las bahías de la subestación, lo cual se asemeja más a las operaciones reales realizadas en una subestación.

Para realizar una operación individual se deben cumplir con todas las condiciones permisivas para enclavamiento mencionadas en las secciones 2.1.5, 2.2.2 y las condiciones para enclavamiento mencionadas para la realización de las Operaciones Específicas.



**Figura 2.15: Interfaz gráfica para Operación Individual implementada en GUIDE.**

En esta interfaz el usuario contará con toda la información necesaria para realizar la operación de los equipos de una determinada bahía, para lo cual cuenta con un conjunto de botoneras, radio buttons, textos estáticos y demás elementos que facilitarán la interacción entre el usuario y la interfaz.

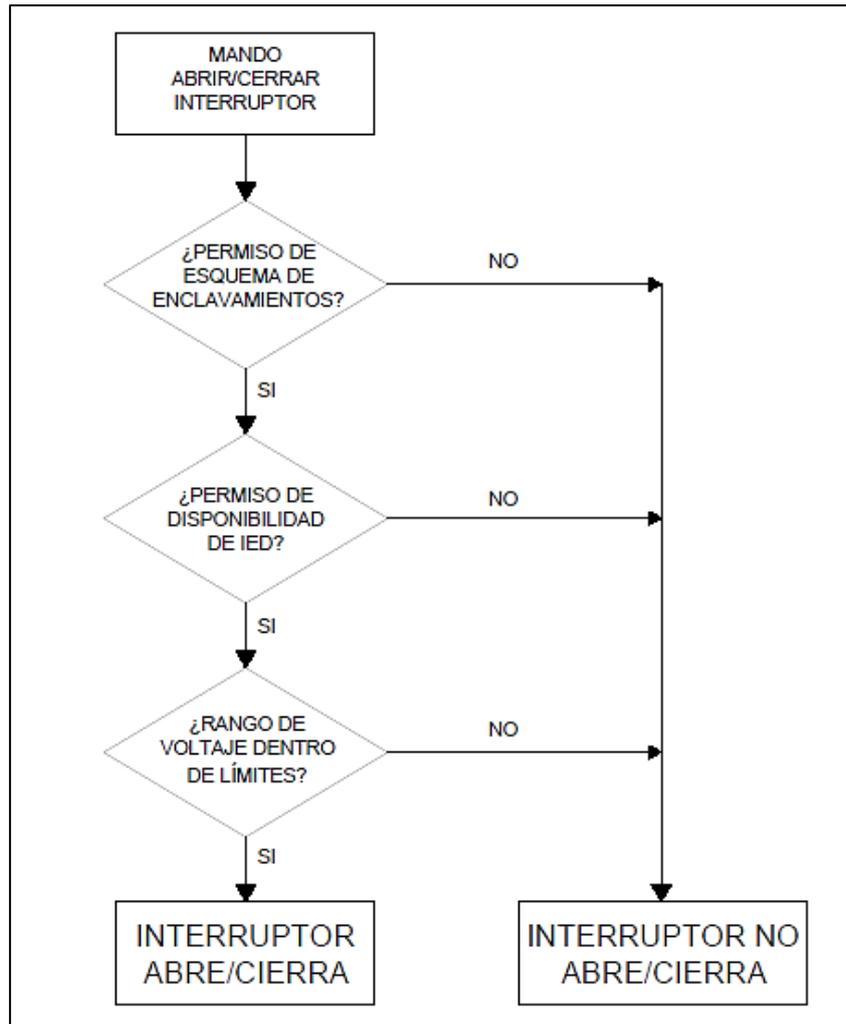


Figura 2.16: Diagrama de flujo para Operación Individual.

## CAPÍTULO 3

### 3. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El presente capítulo tiene como propósito, mencionar todas las consideraciones, instrucciones y recomendaciones para facilitar el manejo de la Interfaz gráfica, y la operación de los equipos de corte y seccionamiento del patio de 69 kV de la subestación Pascuales.

De igual manera, se busca orientar al usuario a lo largo de la ejecución del código en MATLAB para simular las operaciones realizadas por el Operador de la subestación, con el objetivo de instruir y preparar a todas aquellas personas que deseen familiarizarse con las maniobras normalmente ejecutadas en una subestación, las cuales muchas veces solo se logran observar una vez inmersos en el ámbito laboral, y de esta manera poder afianzar los conocimientos teóricos, a través de la práctica.

A lo largo de este capítulo se plantearán varios casos, que podrían o no presentarse durante la operación real de una subestación, procedimientos a seguir para una correcta operación de los equipos, y acciones a tomar de acuerdo al caso presentado.

Cabe recalcar que el contenido que se presentará, es elaborado en base a las consideraciones y asunciones mencionadas en capítulos anteriores, y debido a que el propósito de este proyecto es con fines académicos, podría no estar tan apegado a la realidad, pero sirve como una herramienta para quienes aún se encuentran realizando sus estudios universitarios.

#### 3.1. Consideraciones iniciales

Este proyecto es elaborado para realizar maniobras en el patio de 69 kV de la Subestación Pascuales, para lo cual el usuario debe:

- Familiarizarse con el contenido de los capítulos anteriores para tener un mejor entendimiento del proyecto.
- Contar con conocimientos básicos sobre el área Sistemas de Potencia y Subestaciones Eléctricas.
- Relacionar los aspectos del proyecto con los conocimientos que ya posee para fortalecer el aprendizaje y tener una idea más clara sobre las operaciones realizadas en una subestación.

## 3.2. Inicialización del programa

### 3.2.1. Estado inicial de las bahías

Una vez que se ejecuta el código "INTEGRADORA.m", aparecerá una ventana que se muestra en la Figura 3.1, en la cual el usuario podrá definir el estado inicial de los equipos de cada una de las bahías, y por ende el estado de las bahías de la subestación.

Inicialmente, el código asigna el estado a todos los equipos de las bahías de tal manera que, todas las bahías de líneas y bahías de autotransformadores empiecen energizadas, mientras que la bahía de transferencia empieza desenergizada.

**ESTADO INICIAL SUBESTACIÓN PASCUALES 69 KV**

BAHÍA C. T. PASCUALES	
	ESTADO
P89025	0
P89024	0
P89023	1
P52022	1
P89021	1

BAHÍA DAULE	
	ESTADO
P89065	0
P89064	0
P89063	1
P52062	1
P89061	1

BAHÍA TOMA	
	ESTADO
P89075	0
P89074	0
P89073	1
P52072	1
P89071	1

BAHÍA CERVECERÍA	
	ESTADO
P89085	0
P89084	0
P89083	1
P52082	1
P89081	1

BAHÍA QUINTO GUAYAS	
	ESTADO
P89045	0
P89044	0
P89043	1
P52042	1
P89041	1

BAHÍA VERGELES	
	ESTADO
P89055	0
P89054	0
P89053	1
P52052	1
P89051	1

BAHÍA ATQ	
	ESTADO
P890Q5	0
P890Q3	1
P520Q2	1
P890Q1	1

BAHÍA ATR	
	ESTADO
P890R5	0
P890R3	1
P520R2	1
P890R1	1

BAHÍA DE TRANSFERENCIA	
	ESTADO
P890F8	0
P890F3	0
P520F2	0
P890F1	0
P890F6	0

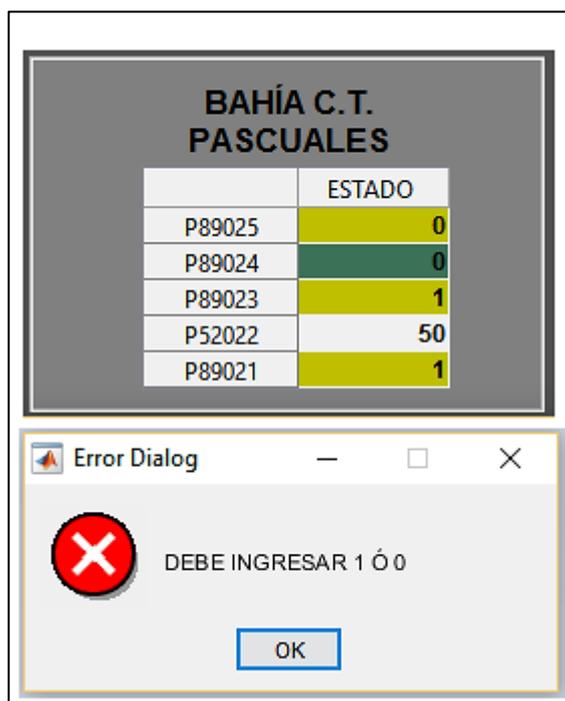
**NOTA:**  
1 = CERRADO / 0 = ABIERTO

INICIAR

**Figura 3.1: Estado inicial de las bahías de la Subestación.**

El usuario tiene la libertad de modificar cualquiera de los estados de los equipos de la Subestación, para lo cual únicamente debe ingresar el nuevo estado (1 o 0), en la casilla correspondiente al equipo que se desea modificar, y en caso de que se ingrese un número incorrecto, inmediatamente se mostrará un mensaje de error, como se muestra en la Figura 3.2, y en la casilla modificada por el usuario aparecerá el estado que se mostró al iniciar el programa.

Una vez que el usuario haya realizado las modificaciones necesarias a los estados de las bahías, se debe presionar el botón INICIAR para grabar las modificaciones realizadas y guardarlas en los archivos “.dat” de las correspondientes bahías. Se debe recordar que el programa permite el ingreso de cualquier estado posible de una bahía, con lo cual podría presentarse el caso de que una bahía se encuentre en una Condición Anómala de Operación, y de ser este el caso, se mostrará un mensaje con el nombre de la bahía, la condición y las correcciones realizadas en función de la condición en la que se encuentra.



**Figura 3.2: Mensaje de error al ingresar estado incorrecto.**

En la Figura 3.3 se muestra el caso el que se ingresan los estados de tal manera que la bahía Quinto Guayas se encuentra energizada y el seccionador de tierra P89044 cerrado, lo cual es considerado como una condición Anómala de operación, y la bahía de transferencia energizada. Para este caso en el programa aparecerá el mensaje de la Figura 3.4.

BAHÍA QUINTO GUAYAS		BAHÍA DE TRANSFERENCIA	
	ESTADO		ESTADO
P89045	0	P890F8	0
P89044	1	P890F3	1
P89043	1	P520F2	1
P52042	1	P890F1	1
P89041	1	P890F6	0

Figura 3.3: Estado de bahías Quinto Guayas y Transferencia.

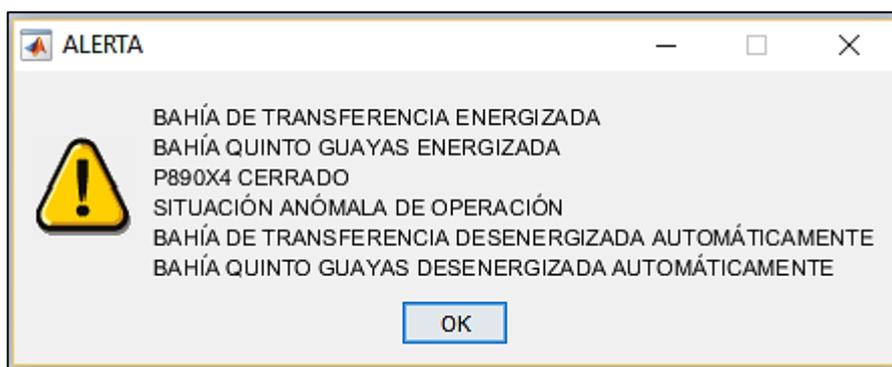
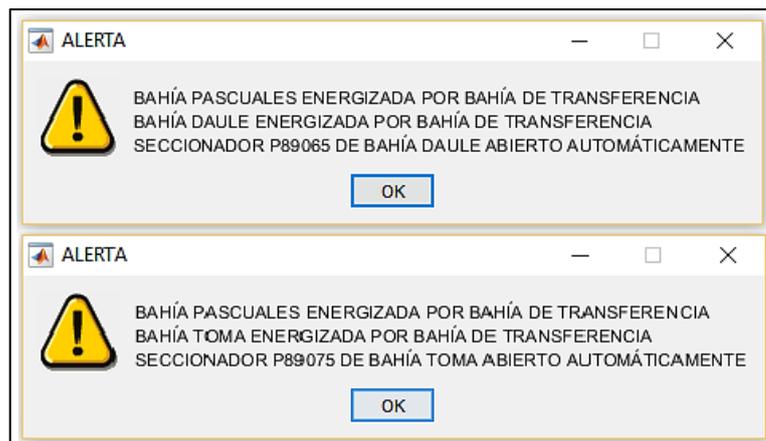


Figura 3.4: Mensaje de error por Condición Anómala de Operación.

Otra situación que podría presentarse es el caso en que más de una bahía se encuentre conectada a la barra de transferencia, como se muestra en la Figura 3.5. En este caso el programa identifica la primera bahía que encuentra transferida, para proceder a abrir el seccionador de transferencia de las demás bahías transferidas, quedando únicamente transferida la primera bahía. Los mensajes de error para este caso se muestran en la Figura 3.6.

BAHÍA C.T. PASCUALES		BAHÍA DAULE		BAHÍA TOMA		BAHÍA DE TRANSFERENCIA	
	ESTADO		ESTADO		ESTADO		ESTADO
P89025	1	P89065	1	P89075	1	P890F8	0
P89024	0	P89064	0	P89074	0	P890F3	1
P89023	1	P89063	1	P89073	1	P520F2	1
P52022	1	P52062	1	P52072	1	P890F1	1
P89021	1	P89061	1	P89071	1	P890F6	0

Figura 3.5: Varias Bahías conectadas a la Barra de transferencia.



**Figura 3.6: Mensajes de error, varias bahías transferidas.**

En caso de que una, o ambas de las bahías de autotransformadores empiece desenergizada, si así lo definió el usuario, el programa procede a energizarlas automáticamente para la inicialización del programa.

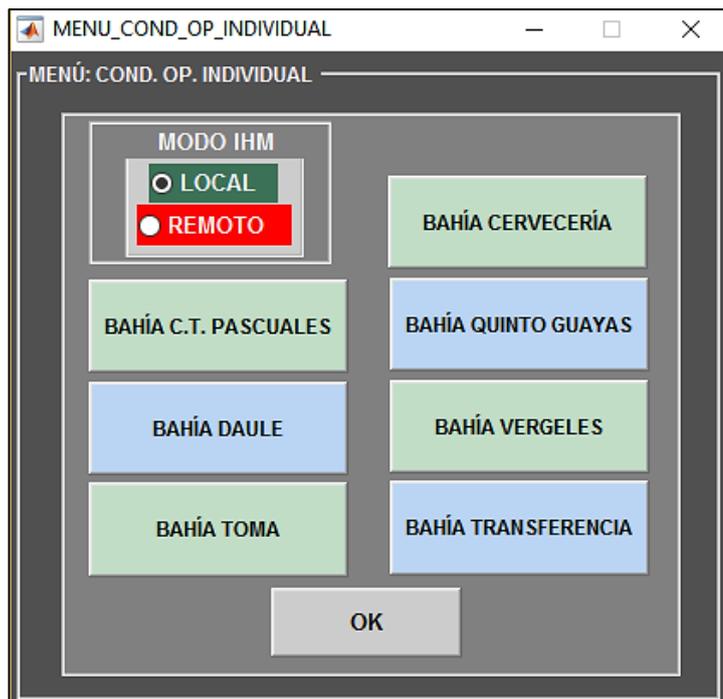
Los mensajes de error y las correcciones realizadas en caso de ingresar una Condición Anómala de Operación, varían dependiendo del estado definido por el usuario, los cuales se encuentran detallados de mejor manera en la sección de Anexos.

Una vez que se hayan realizado todas las correcciones pertinentes, en caso de ser necesario, los estados de las bahías quedarán definidos para poder ser utilizados por el programa para realizar las Operaciones sobre los diferentes equipos de la subestación.

### **3.2.2. Enclavamientos de los equipos de corte y seccionamiento**

Una vez que los estados de las bahías hayan quedado definidos, a continuación, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.7 en la cual el usuario podrá definir las condiciones de los equipos de corte y seccionamiento de las bahías de la subestación para los esquemas de enclavamientos, los cuales son necesarios para realizar la Operación Individual de los equipos.

Como se mencionó en la sección de los esquemas de enclavamiento, el modo en el que se encuentra la IHM es una variable global, es decir que afecta a todos los equipos de la subestación a la vez, por lo que al modificar el modo en el que se desee que esta condición inicie, el cambio se verá reflejado en todos los esquemas de enclavamiento.



**Figura 3.7: Menú para definir condiciones para Operación Individual.**

Si el usuario desea modificar alguna de las condiciones iniciales de los equipos de la subestación, se deberá dar click sobre el nombre de la bahía en la que se encuentra el equipo cuyas condiciones se desean modificar, donde aparecerá la ventana de la Figura 3.8, que permitirá al usuario realizar todas las modificaciones que se crean conveniente.

Inicialmente las condiciones de los equipos se encuentran definidas de tal manera que permitan el accionamiento de los equipos de corte y seccionamiento, así que en caso de que el usuario no desee realizar ninguna modificación, las condiciones quedarán definidas de esta manera. Es importante recordar que el modo en el que se encuentra la Unidad de Bahía, es una variable que afecta únicamente a los equipos dentro de una misma bahía.

En caso de querer realizar alguna corrección, o una nueva modificación, el usuario podrá acceder a este menú en cualquier momento durante la ejecución del programa principal, en caso de ser requerido.

COND\_OP\_IND\_VERGELES

OPERACIÓN INDIVIDUAL: BAHÍA VERGELES

CONDICIONES P89051	
MODO SECCIONADOR	1
FALLA MECANISMO OPERACIÓN	0
FALLA DC SECCIONADOR	0
MODO SELECTOR	1
POSICIÓN MANIVELA	0

CONDICIONES P89054	
MODO SECCIONADOR	1
FALLA MECANISMO OPERACIÓN	0
FALLA DC SECCIONADOR	0
MODO SELECTOR	1
POSICIÓN MANIVELA	0

CONDICIONES P89053	
MODO SECCIONADOR	1
FALLA MECANISMO OPERACIÓN	0
FALLA DC SECCIONADOR	0
MODO SELECTOR	1
POSICIÓN MANIVELA	0

CONDICIONES P89055	
MODO SECCIONADOR	1
FALLA MECANISMO OPERACIÓN	0
FALLA DC SECCIONADOR	0
MODO SELECTOR	1
POSICIÓN MANIVELA	0

UNIDAD DE BAHÍA

LOCAL

REMOTO

CONDICIONES P52052	
MODO SECCIONADOR	1
CIRCUITO DISPARO 1	1
CIRCUITO DISPARO 2	1
RESORTE DESCARGADO	0
BLOQUEO SF6	0
FALLA DC CONTROL	0
RELÉ 86B OPERADO	0
FALLA AC/DC	0
FALLA MECANISMO DE OPERACIÓN	0

1 = REMOTO / 0 = LOCAL  
1 = FALLA / 0 = BUEN ESTADO

FINALIZAR

**Figura 3.8: Condiciones para Operación individual Bahía Vergeles.**

Una vez que el usuario haya realizado todas las modificaciones necesarias, se deberá dar click en FINALIZAR, para que los cambios sean guardados en los correspondientes archivos “.dat” de los equipos de la subestación. Posteriormente el usuario podrá realizar más modificaciones sobre los demás equipos de la bahía si así lo desea, caso contrario deberá dar click en OK para continuar con la inicialización del programa.

### 3.2.3. Condiciones de PT's, CT's y disponibilidad de IED

El siguiente y último paso en la inicialización del programa es definir el estado de los equipos de medición y las IED's de las bahías de la subestación, los cuales también son un requerimiento importante al momento de realizar la Operación Individual de los equipos de la subestación. Para esto, una vez que se hayan definido las condiciones para Operación Individual, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.9, donde el usuario podrá modificar todos los estados de operación, modos

(local o remoto) e IED's disponibles para cada una de las bahías de la subestación.

MENU\_COND\_PTS\_CTS

-MENÚ: CONDICIONES PT'S Y CT'S

-PT BARRA PRINCIPAL

ESTADO PT 1

	N1/BCU	N2/21P	N3/21S
NÚCLEO	1	0	0
ESTADO IED'S	1	0	0
MODO IED'S	1	0	0

MEDICIÓN 69 KV

BAHÍA C.T. PASCUALES BAHÍA DAULE BAHÍA TOMA

BAHÍA CERVECERÍA BAHÍA QUINTO GUAYAS BAHÍA VERGELES

BAHÍA TRANSFERENCIA OK

**NOTA:**  
 0 = NO OPERATIVO / 1 = OPERATIVO  
 0 = LOCAL / 1 = REMOTO

**Figura 3.9: Menú condiciones de PT's, CT's e IED's.**

En esta ventana, el usuario podrá modificar el estado de operación del PT de la barra principal, en la opción ESTADO PT, ingresando 1 si se desea que el equipo esté operativo, o 0 en caso que se desee iniciar con el equipo averiado.

Posteriormente, se podrá elegir con que IED se desea iniciar, para lo cual se deberá llenar de 1's la columna que corresponda a la IED elegida, que puede ser la unidad de control de bahía (primera columna), la protección principal de distancia 21P (segunda columna) o la protección secundaria de distancia 21S (tercera columna). La primera fila indica el estado de operación del núcleo del equipo de medición, que puede ser PT o CT, ya que el mismo criterio es aplicado para ambos equipos, la segunda fila corresponde al estado en el que se encuentra la IED, que puede ser

operativa (1) o averiada (0), mientras que la tercera fila indica el modo en el que opera la IED que puede ser remoto (1) o local (0).

De igual manera se podrá acceder a cualquier equipo de medición de la subestación, presionando sobre el nombre de la bahía en la que se encuentran los equipos que se desee modificar, para lo cual aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.10.

DAULE\_PT\_CT

CONDICIONES PT Y CT: BAHÍA DAULE

**PT BAHÍA DAULE**

ESTADO PT: 1

	N1/BCU	N2/21P	N3/21S
NÚCLEO	1	0	0
ESTADO IED'S	1	0	0
MODO IED'S	1	0	0
MEDICIÓN	69		KV

**CT BAHÍA DAULE**

ESTADO CT: 1

	N1/BCU	N2/21P	N3/21S
NÚCLEO	1	0	0
ESTADO IED'S	1	0	0
MODO IED'S	1	0	0
MEDICIÓN	100		A

**NOTA:**  
 0 = NO OPERATIVO / 1 = OPERATIVO  
 0 = LOCAL / 1 = REMOTO

REGRESAR

VOLTAJE	69	KV
CORRIENTE	100	A

**Figura 3.10: Condiciones de PT's, CT's e IED's Bahía Daule.**

En esta ventana, además de realizar las modificaciones mencionadas sobre el estado del equipo y la IED a utilizar, se podrá realizar modificaciones sobre el valor medido por el equipo, o sobre la magnitud real de voltaje o corriente para una determinada bahía.

Inicialmente, se define los valores de tal manera que tanto PT's como CT's operan con la Unidad de Control de bahía (primera columna llena de 1's), y los valores de voltaje y corriente dependerán del estado en el que se

encuentra la bahía, la cual puede estar energizada o desenergizada, dependiendo de cómo las haya definido inicialmente el usuario.

Para realizar una modificación de Voltaje o Corriente, el usuario deberá modificar el valor mostrado en la opción VOLTAJE o CORRIENTE de la Figura 3.10, dependiendo de cuál de estas desee modificar, y en el momento de ingresar la nueva magnitud, automáticamente el valor mostrado en la opción MEDICIÓN, tomará el nuevo valor ingresado.

Una vez que se hayan realizado todos los cambios necesarios, se deberá presionar en REGRESAR, para guardar los cambios en los correspondientes archivos “.dat”.

Luego de presionar REGRESAR, se podrá realizar más modificaciones en las demás bahías de la subestación si así lo requiere el usuario, caso contrario, se deberá presionar en OK para finalizar la inicialización y continuar con la ejecución del programa. En caso de ser requerido, el usuario podrá acceder al menú de condiciones de PT's, CT's e IED's en cualquier momento durante la ejecución del programa.

### 3.3. Menú inicial de la interfaz

Una vez finalizada la inicialización de toda la información necesaria para la ejecución del programa, aparecerá el menú con las diferentes acciones que el usuario podrá ejecutar en el programa, como se muestra en la Figura 3.11.

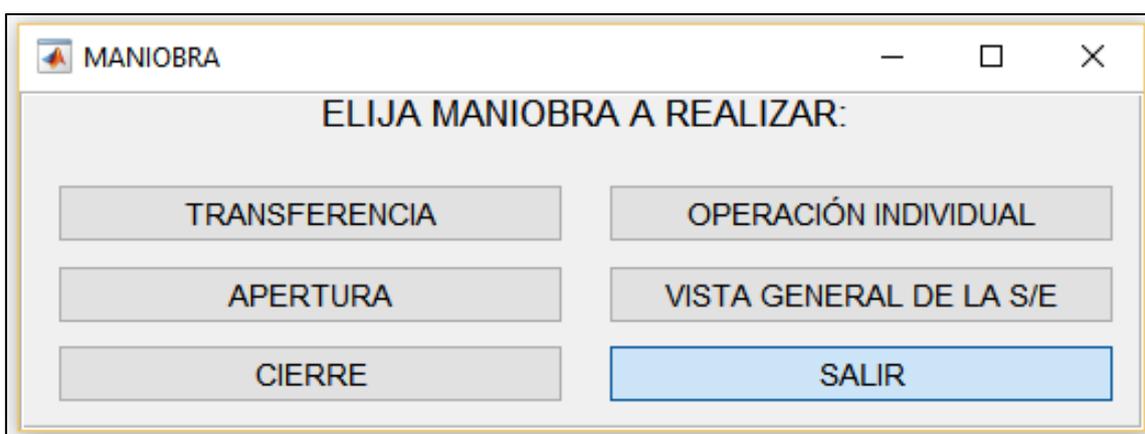
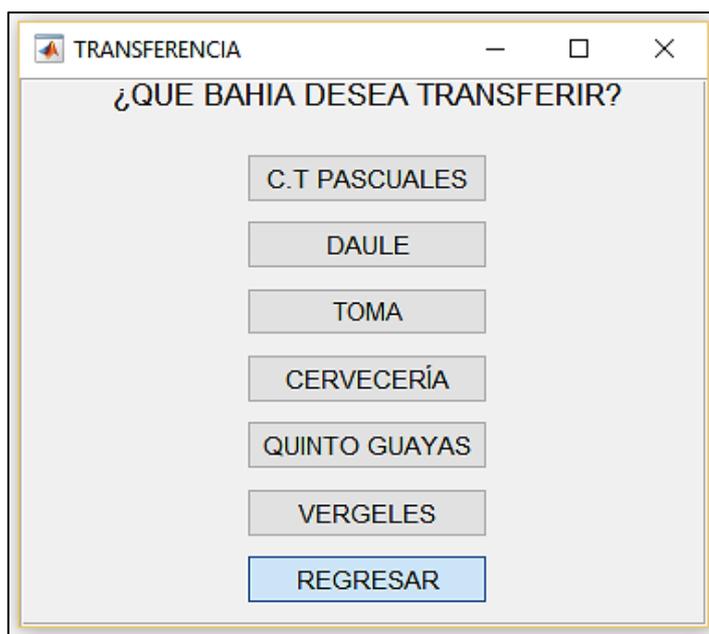


Figura 3.11: Menú Inicial de la Interfaz Gráfica.

Las opciones TRANSFERENCIA, APERTURA, CIERRE corresponden a las Operaciones Específicas que se podrán realizar en la subestación, mientras que la opción OPERACIÓN INDIVIDUAL, permitirá al usuario maniobrar los equipos de corte y seccionamiento de la subestación individualmente, y finalmente la opción VISTA GENERAL DE LA S/E, permitirá al usuario visualizar de una manera global el estado de cada una de las bahías de la subestación. A continuación, se procederá a mostrar los procedimientos a seguir para realizar las diferentes operaciones en la subestación.

### 3.4. Operación específica

Una vez que se haya elegido la maniobra a realizar (Transferencia, Apertura o Cierre), aparecerá la ventana de la Figura 3.12, en la cual se muestran las bahías sobre las cuales el usuario podrá realizar la maniobra.



**Figura 3.12: Bahías disponibles para Operación Específica.**

#### 3.4.1. Descripción de la interfaz gráfica para operación individual

Una vez elegida una bahía para operar, aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 3.13, en la cual se pueden identificar varios elementos como un esquema mímico unifilar, botoneras para realizar la apertura o cierre de los equipos de la bahía, botones de FINALIZAR y

PROCEDIMIENTO, cuya función debe estar claramente entendida por el usuario antes de empezar a operar los equipos de la bahía elegida.

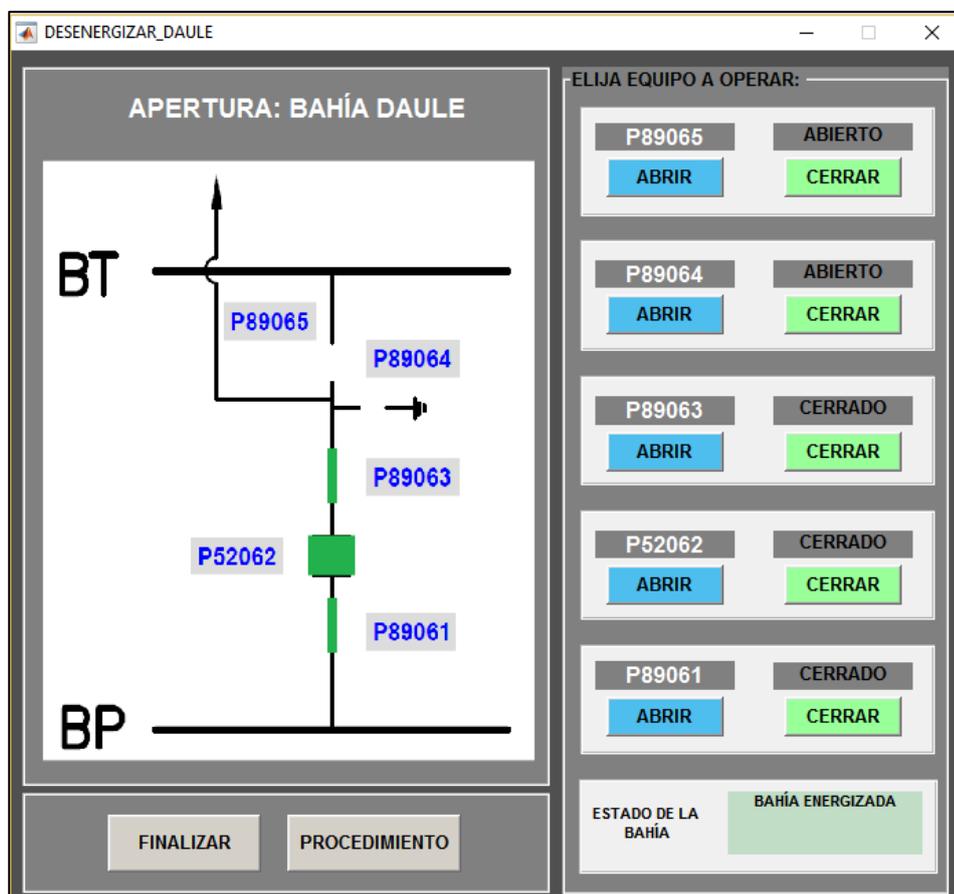


Figura 3.13: Operación Individual Bahía Daule.

### Esquema mímico unifilar de la bahía

Este esquema muestra mediante indicadores visuales el nombre y además el estado en el que se encuentran los equipos de corte y seccionamiento de la bahía elegida por el usuario. Verde significa que el equipo se encuentra cerrado, y en caso de que no aparezca ningún indicador, esto significa que el equipo se encuentra abierto.

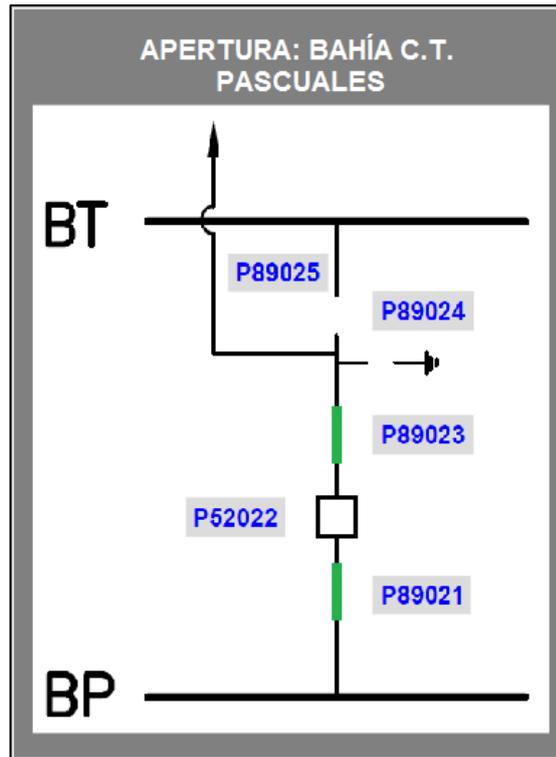


Figura 3.14: Esquema mímico unifilar Bahía C.T. Pascuales.

### Estado de la bahía

Muestra el estado de la bahía, dependiendo el estado de los equipos de corte y seccionamiento de la misma.



Figura 3.15: Estado de la bahía.

### Equipos de corte y seccionamiento

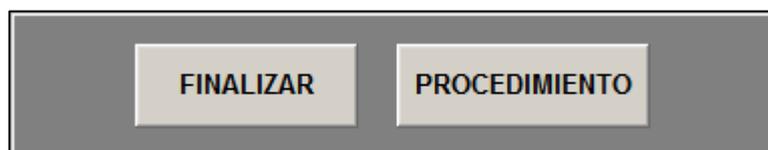
Muestra el nombre de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía, y además se muestra de manera textual el estado de dichos equipos. Adicionalmente se encuentran los botones ABRIR y CERRAR, los cuales permitirán operar un determinado equipo.



**Figura 3.16: Panel de Accionamiento de Equipos.**

#### **Botón finalizar y procedimiento**

El botón FINALIZAR permite cerrar la ventana de la bahía elegida, una vez terminada todas las operaciones sobre los equipos de corte y seccionamiento de la bahía, mientras que el botón PROCEDIMIENTO, muestra el procedimiento a seguir para completar la maniobra elegida, y se actualiza a medida que los equipos de la bahía elegida son accionados.



**Figura 3.17: Botón Finalizar y Procedimiento.**

Para tener un mejor entendimiento del uso de la interfaz gráfica para realizar una Operación Específica, a continuación, se procederá a realiza una demostración de las diferentes maniobras que el usuario podrá ejecutar durante la ejecución del programa.

### 3.4.2. Transferencia

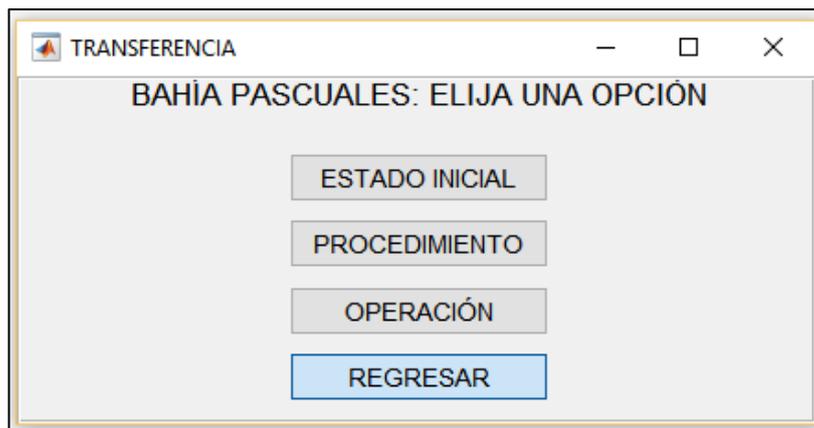
En una subestación eléctrica, una maniobra de transferencia puede ser requerida en caso de que falle el interruptor de una de sus bahías o para realizar mantenimiento del mismo, para lo cual se hace uso de la bahía de transferencia, cuyo interruptor ahora será el encargado de proteger a la bahía transferida.

Hay que tener en cuenta que solo una bahía puede estar conectada a la barra de transferencia, y que la bahía debe estar energizada antes de realizar la maniobra.

La maniobra transferencia, se divide en 3 Sub-maniobras, las cuales son:

- **TRANSFERIR:** Permite transferir una bahía, siempre que esta esté energizada.
- **DESENERGIZAR TRANSFERENCIA:** Permite desenergizar una bahía que haya sido previamente transferida.
- **ENERGIZAR POR TRANSFERENCIA:** Permite energizar una bahía mediante la barra de transferencia, siempre que dicha bahía se encuentre desenergizada.

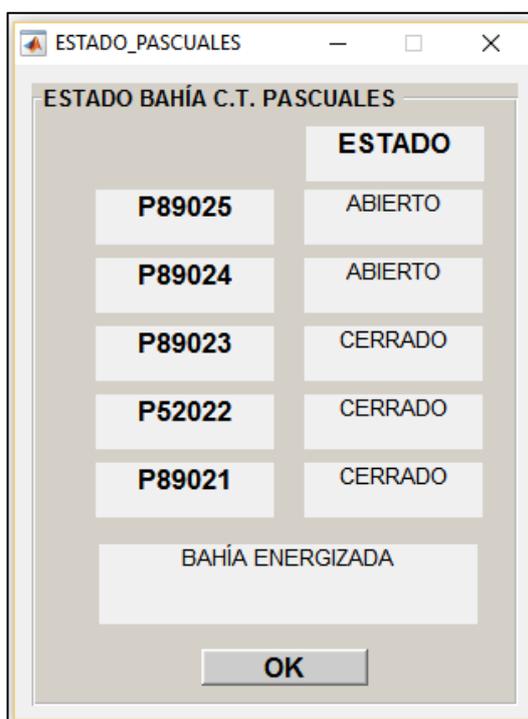
Luego de que se haya presionado la opción TRANSFERENCIA, el usuario podrá elegir entre las diferentes bahías sobre las cuales se puede realizar la maniobra, como se mostró en la Figura 3.12, y una vez que se haya elegido una bahía para operar, aparecerá un sub-menú, en el cual el usuario podrá acceder al estado en el que se encuentra la bahía elegida, el procedimiento a seguir para realizar la transferencia, y finalmente la opción para empezar con la maniobra, como se muestra en la Figura 3.18.



**Figura 3.18: Sub-Menú para Transferencia.**

### **Estado inicial para transferencia**

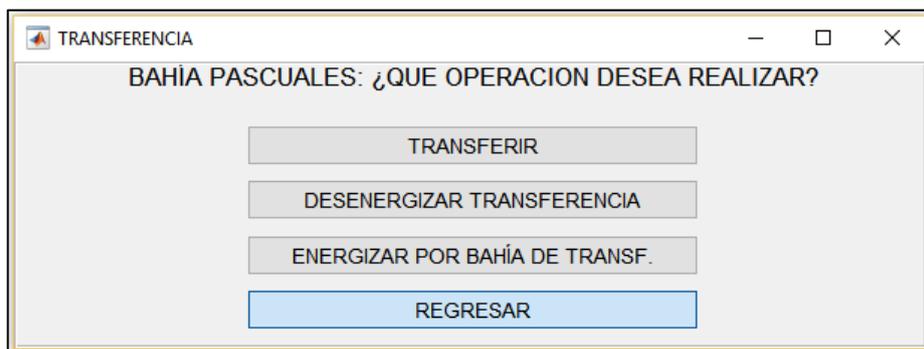
La opción ESTADO INICIAL, muestra el estado de cada uno de los equipos de la bahía que el usuario haya elegido, y el estado general de la bahía dependiendo de cómo se encuentren los equipos de corte y seccionamiento de la bahía, como se muestra en la Figura 3.19.



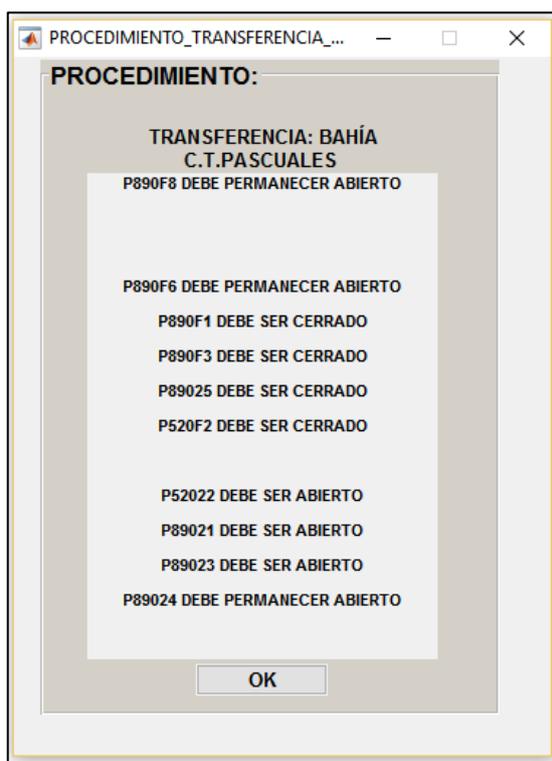
**Figura 3.19: Estado Inicial Bahía Pascuales.**

### Procedimiento

Cuando el usuario presione la opción PROCEDIMIENTO, se podrá visualizar cualquiera de los 3 procedimientos que involucran la bahía de transferencia mencionados anteriormente. Se tomará como ejemplo la bahía C.T. Pascuales, la cual será transferida, y para esto se muestra el procedimiento a seguir en la Figura 3.21.



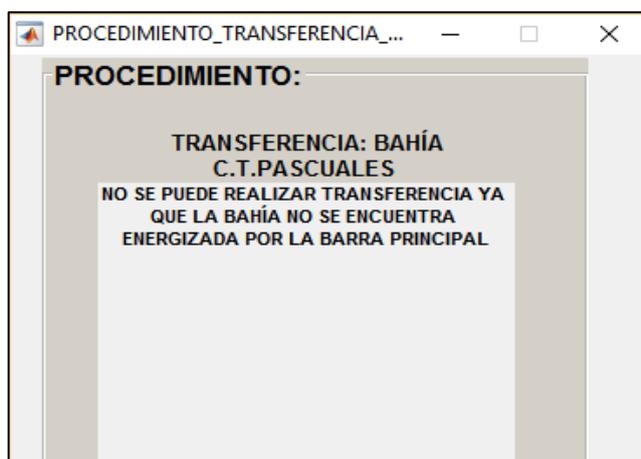
**Figura 3.20: Menú para procedimientos de Transferencia.**



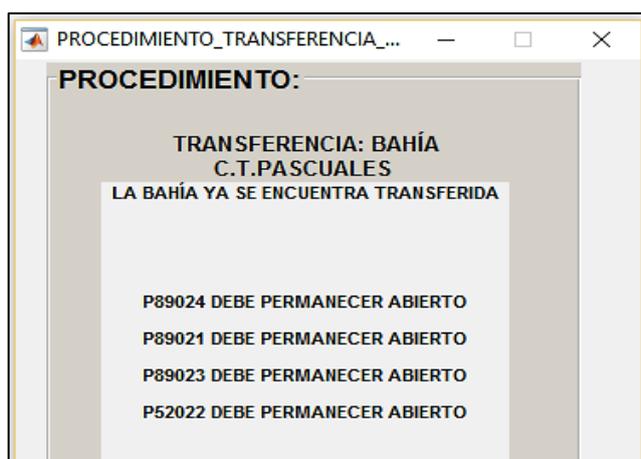
**Figura 3.21: Procedimiento para transferir Bahía C.T. Pascuales.**

Este procedimiento dependerá del estado en el que se encuentre la bahía elegida y la bahía de transferencia, ya que se debe recordar que para realizar una transferencia la bahía elegida deberá estar energizada. Por

esto, en las Figuras 3.22 y 3.23 se muestran los procedimientos mostrados cuando la bahía elegida no cumple con esta condición.



**Figura 3.22: Procedimiento para transferencia. Bahía Energizada.**

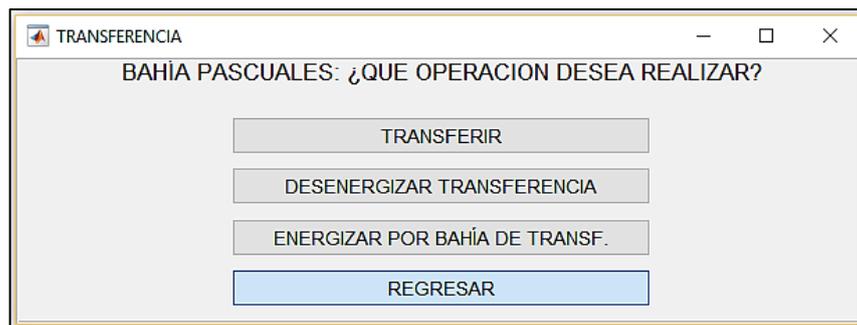


**Figura 3.23: Procedimiento para transferencia. Bahía Transferida.**

Para regresar al menú de la Operación Transferencia, se debe presionar OK en el procedimiento, y luego REGRESAR en el menú del procedimiento, donde el usuario ahora podrá elegir la opción OPERACIÓN, para empezar con la maniobra.

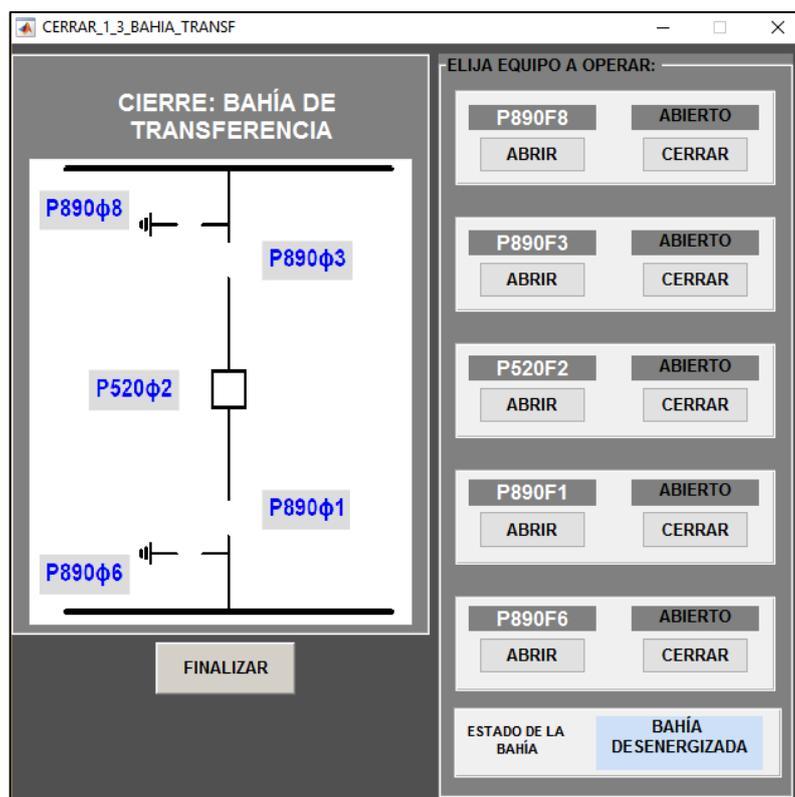
### **Operación**

Una vez presionada la opción OPERACIÓN, se debe elegir la maniobra que se desea realizar, que como se había dicho, será la Transferencia de la bahía C.T. Pascuales para lo cual se deberá elegir la opción TRANSFERIR.



**Figura 3.24: Menú para Operación Transferencia.**

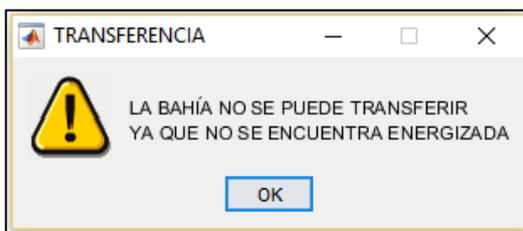
Una vez elegida la maniobra TRANSFERIR, si se cumplen las condiciones para realizar la maniobra, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.25, el procedimiento para realizar la transferencia, y un mensaje indicando como debe quedar la bahía de transferencia. En caso de que la bahía elegida se encuentre desenergizada o ya se encuentre transferida, se mostrarán los mensajes de las Figuras 3.26a y 3.26b respectivamente, y la ventana de la Figura 3.25 no aparecerá.



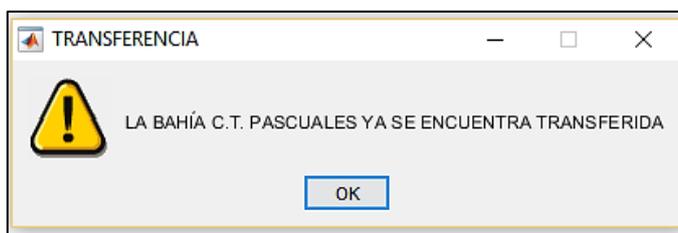
**Figura 3.25: Interfaz Gráfica Bahía de Transferencia.**

En la ventana de la Figura 3.25, el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento mostrado para la

maniobra Transferencia, que para este caso serán; cerrar únicamente los seccionadores P890F1 y P890F3 de la bahía de transferencia. Cada vez que se opere un equipo, su estado se actualizará en el esquema mímico de la bahía.



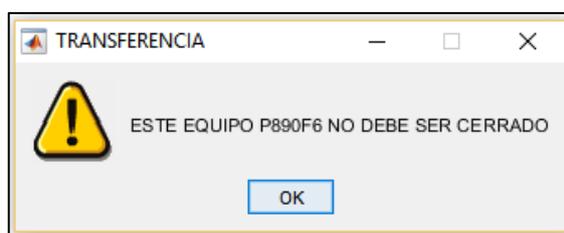
a) Bahía desenergizada.



b) Bahía transferida.

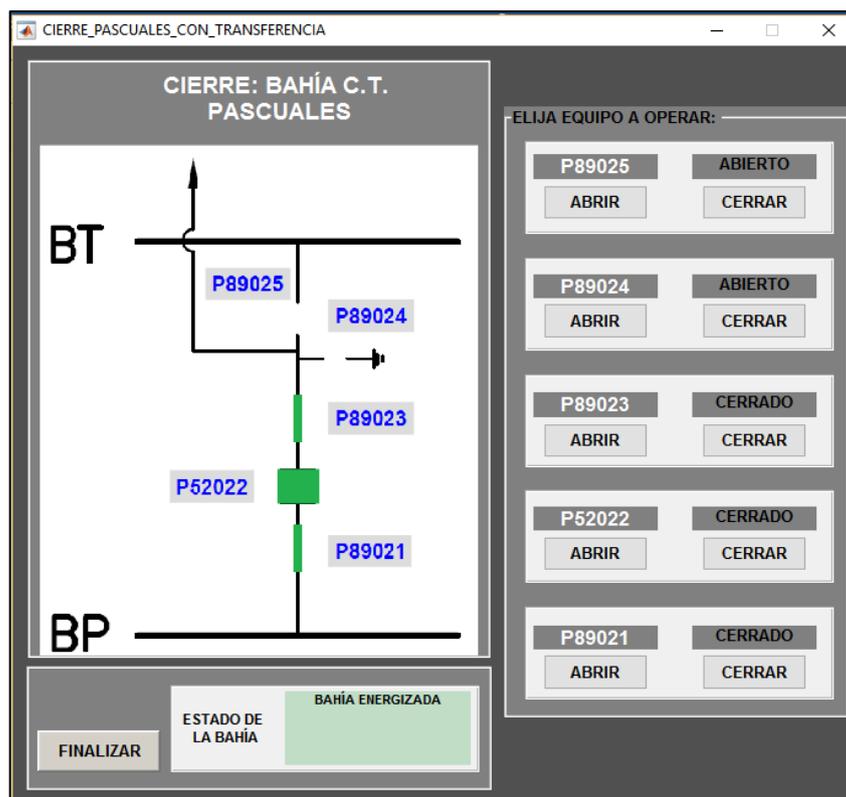
**Figura 3.26: Mensaje para transferencia.**

En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, aparecerá un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento, como se muestra en la Figura 3.27.



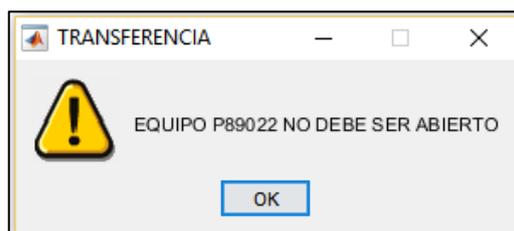
**Figura 3.27: Mensaje de error por maniobra inadecuada.**

Una vez que estos elementos hayan sido cerrados, se debe presionar FINALIZAR, para continuar con la maniobra, para lo cual aparecerá la ventana de la Figura 3.28, en la cual se podrá observar el estado de la Bahía C.T. Pascuales, en donde el siguiente paso será cerrar el seccionador P89025 de la bahía.



**Figura 3.28: Interfaz Gráfica Bahía C.T. Pascuales para Transferencia.**

De igual manera, en caso de que no se siga con el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje de error indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento



**Figura 3.29: Mensaje de error por maniobra inadecuada.**

Una vez que el seccionador P89025 haya sido cerrado, se debe presionar FINALIZAR, para continuar con la maniobra, donde nuevamente aparecerá la interfaz de la bahía de transferencia mostrada en la Figura 3.25, y el siguiente paso será energizar esta bahía cerrando el interruptor P520F2, con lo que la Bahía C.T. Pascuales quedará energizada por ambas barras, principal y de transferencia.

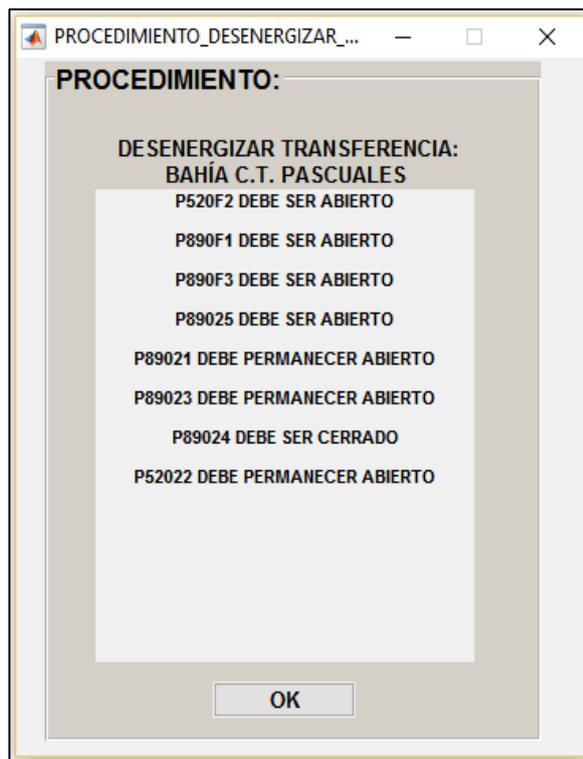
Una vez energizada la bahía de transferencia, se presiona FINALIZAR, para proceder a realizar el último paso para completar la maniobra, que será abrir todos los equipos de la bahía C.T. Pascuales a excepción del seccionador P89025, el cual conecta la bahía con la barra de transferencia.

De esta manera se completa la transferencia de la bahía C.T Pascuales, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA.

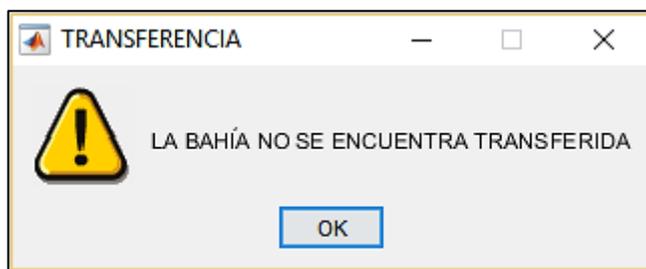
### **3.4.3. Desenergizar transferencia**

Aprovechando que la bahía C.T. Pascuales se encuentra transferida, se procederá a describir el procedimiento para desenergizar la bahía estando energizada por la barra de transferencia, para lo cual se deberá elegir la opción DESENERGIZAR TRANSFERENCIA en la ventana de la Figura 3.21, donde las opciones ESTADO INICIAL y PROCEDIMIENTO, se comportan de igual manera como se mencionó en la Sección 3.4.2.

Una vez elegida la maniobra DESENERGIZAR TRANSFERENCIA, aparecerá el procedimiento para realizar la maniobra, y un mensaje indicando como debe quedar la bahía de transferencia. Para ejecutar la maniobra, el usuario deberá realizar un procedimiento un tanto parecido al mencionado en la Sección 3.4.2 para transferir una bahía, y se pasará de la interfaz gráfica de la Bahía de Transferencia a la interfaz de la bahía elegida hasta completar la maniobra. En caso de que la bahía elegida se encuentre desenergizada o no se encuentre transferida, se mostrará el mensaje de la Figura 3.31.



**Figura 3.30: Procedimiento para desenergizar bahía transferida.**



**Figura 3.31: Mensaje para desenergizar transferencia con bahía no transferida.**

En la interfaz gráfica de la Bahía de Transferencia de la Figura 3.25, el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento mostrado para la maniobra de desenergización, que para este caso primero se deberá abrir los seccionadores P890F1 y P890F3 y el interruptor P520F2. En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento.

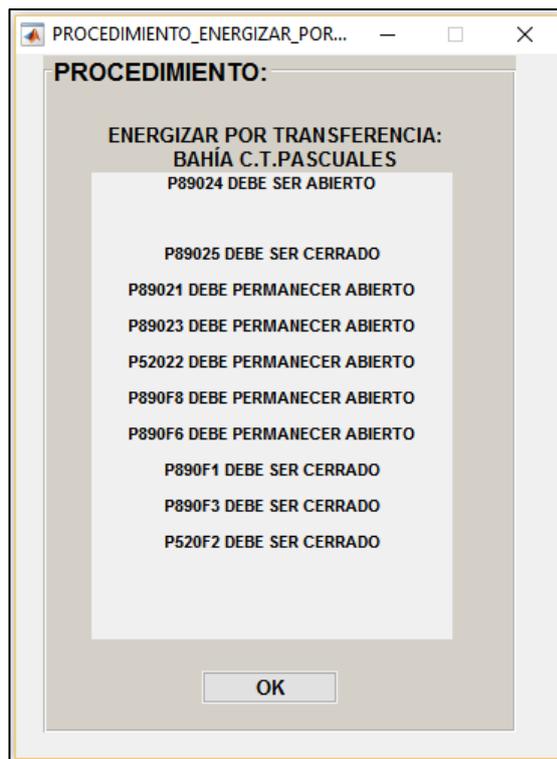
Una vez que estos elementos hayan sido abiertos, se debe presionar FINALIZAR, para continuar con la maniobra, para lo cual aparecerá interfaz de la Bahía C.T. Pascuales de la Figura 3.28, en la cual se realizará los pasos finales de la maniobra que son; abrir el seccionador P89025 y cerrar el seccionador P89024 de la bahía.

Una vez cerrado el seccionador P89024 se completa la desenergización de la Bahía C.T Pascuales, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA.

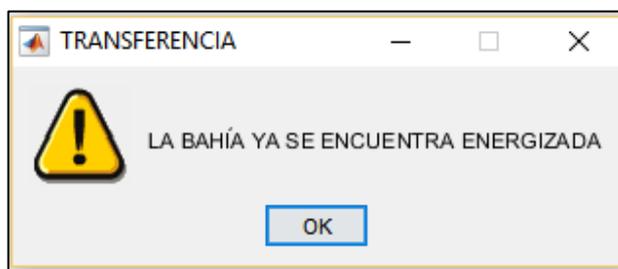
#### **3.4.4. Energizar por transferencia**

Ahora que la bahía C.T. Pascuales se encuentra desenergizada, se procederá a describir el procedimiento para energizar la bahía mediante la barra de transferencia, para lo cual se deberá elegir la opción ENERGIZAR POR TRANSFERENCIA, donde las opciones ESTADO INICIAL y PROCEDIMIENTO, se comportan de igual manera como se mencionó anteriormente.

Una vez elegida la maniobra ENERGIZAR POR TRANSFERENCIA, aparecerá el procedimiento para realizar la maniobra como se muestra en la Figura 3.32, y un mensaje indicando como debe quedar la bahía de transferencia. Para ejecutar la maniobra, el usuario deberá realizar un procedimiento un tanto parecido al mencionado en las secciones anteriores, ya se pasará de la interfaz gráfica de la Bahía de Transferencia a la interfaz de la bahía elegida hasta completar la maniobra. En caso de que la bahía elegida se ya encuentre energizada, se mostrará el mensaje de la Figura 3.33.



**Figura 3.32: Procedimiento para energizar por bahía de transferencia.**



**Figura 3.33: Mensaje para energizar por transferencia con bahía energizada.**

En la interfaz gráfica de la Bahía C.T. Pascuales, el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento mostrado para la maniobra de energización, que para este caso primero se deberá abrir el seccionador P89024 y cerrar el seccionador P89025. En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento.

Una vez que estos elementos terminadas las operaciones en la interfaz de la Bahía C.T. Pascuales, se debe presionar FINALIZAR, para continuar con

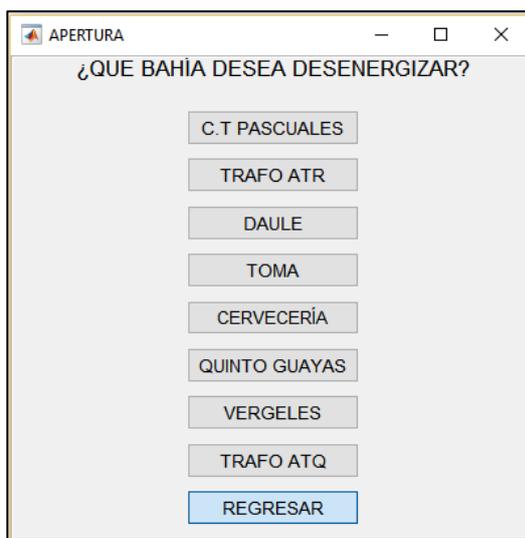
la maniobra, para lo cual aparecerá interfaz de la Bahía de Transferencia de la Figura 3.25, en la cual se realizará los pasos finales de la maniobra que son; cerrar los seccionadores P890F1 y P890F3, y el interruptor P520F2.

Una vez cerrado el interruptor P520F2 se completa la energización de la Bahía C.T Pascuales, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA.

### 3.4.5. Apertura (desenergización)

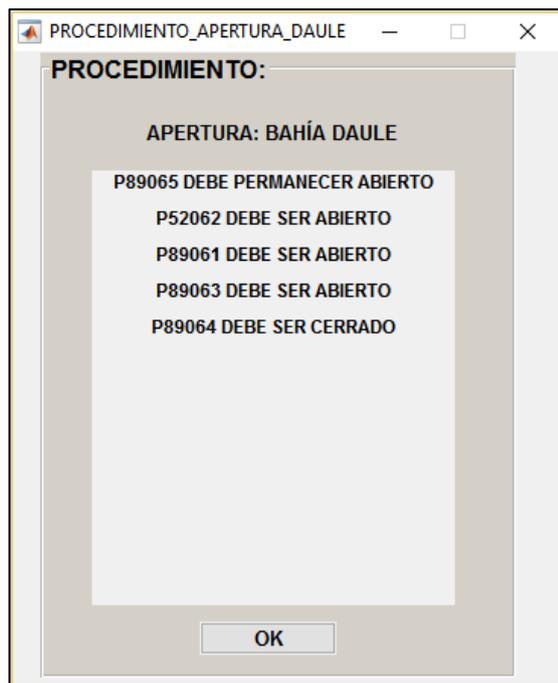
Hay que tener en cuenta que para realizar una desenergización la bahía debe encontrarse energizada, aunque también presentarse darse el caso en el que la bahía se encuentre energizada tanto por barra principal como por la barra de transferencia, si así lo definió el usuario inicialmente.

Una vez que se haya presionado la opción APERTURA, el usuario podrá elegir entre las diferentes bahías sobre las cuales se puede realizar la maniobra, como se muestra en la Figura 3.34, que para este caso demostrativo será la Bahía Daule.

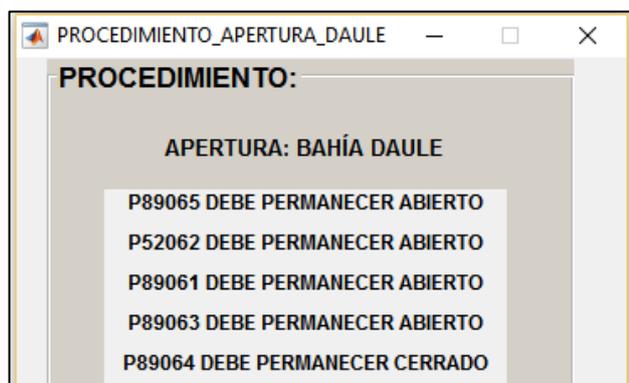


**Figura 3.34: Menú para realizar Apertura.**

Habiendo elegido una bahía para operar, aparecerá un sub-menú, en el cual el usuario podrá acceder al estado en el que se encuentra la bahía elegida, el procedimiento a seguir para realizar la apertura, y finalmente la opción para empezar con la maniobra, como el mostrado en la Figura 3.19, donde las opciones ESTADO INICIAL y PROCEDIMIENTO, se comportan de igual manera como se mencionó anteriormente.



**Figura 3.35: Procedimiento para desenergizar Bahía Daule.**



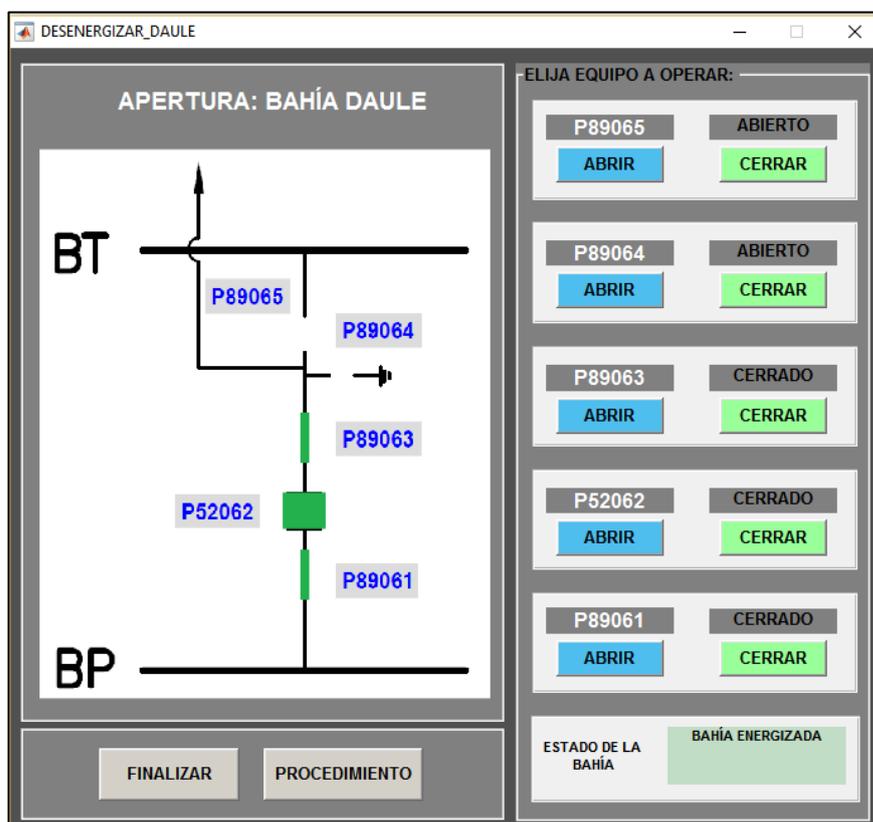
**Figura 3.36: Procedimiento para desenergizar con bahía desenergizada.**

Para regresar al menú de la Operación Apertura, se debe presionar OK en el procedimiento, donde el usuario ahora podrá elegir la opción OPERACIÓN, para empezar con la maniobra.

### **Operación**

Una vez elegida la opción OPERACIÓN, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.37, en la cual el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento establecido para la maniobra Apertura, que para este caso deberá; abrir el interruptor P52062, abrir los seccionadores P89061, P89063, y cerrar el seccionador P89064.

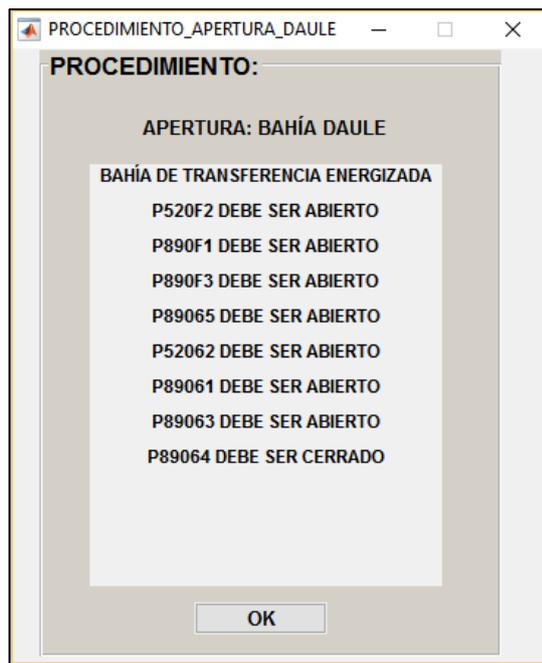
En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento. Adicionalmente, el usuario podrá acceder al Procedimiento en cualquier momento durante la ejecución de la maniobra.



**Figura 3.37: Interfaz Gráfica para realizar apertura.**

De esta manera se completa la apertura de la Bahía Daule, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA de la Figura 3.37.

Como se mencionó inicialmente, puede darse el caso en que la bahía elegida se encuentra energizada por la Barra Principal y la Barra de Transferencia, para lo cual ahora se procederá a describir el procedimiento para realizar la desenergización.



**Figura 3.38: Procedimiento para desenergizar Bahía Daule.**

### **Operación**

Para empezar la maniobra, aparecerá la Interfaz de la Bahía de Transferencia de la Figura 3.25, en la cual el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento establecido para la maniobra apertura, que para este caso serán; abrir el interruptor P520F2 y abrir los seccionadores P890F1 y P890F3. En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento.

Una vez que se haya desenergizado la Bahía de Transferencia, se debe presionar FINALIZAR, para continuar con la maniobra, para lo cual aparecerá la ventana de la Figura 3.37, en la cual se puede observar el estado de la Bahía Daule, en donde el siguiente paso será abrir el interruptor P52062, abrir los seccionadores P89061, P89063, y cerrar el seccionador P89064.

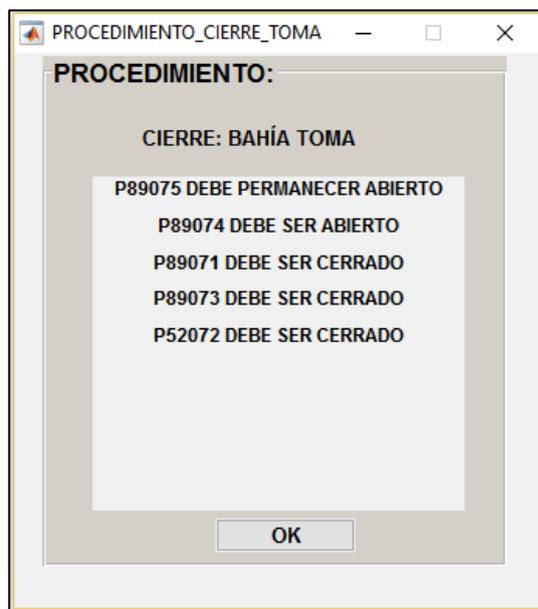
De esta manera se completa la apertura de la Bahía Daule, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA de la Figura 3.37.

### 3.4.6. Cierre (energización)

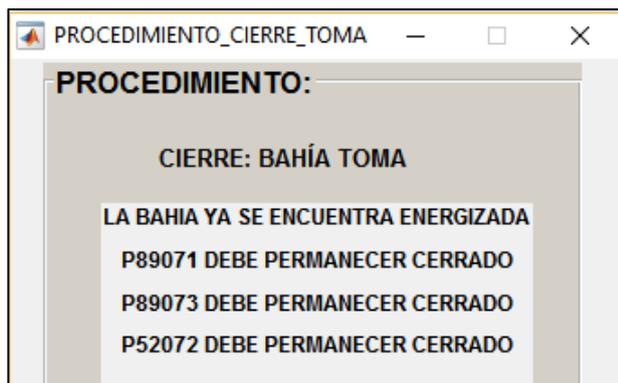
Hay que tener en cuenta que para realizar una energización la bahía debe encontrarse desenergizada, para lo cual se necesita que el interruptor de la bahía se encuentre abierto, o que el interruptor de transferencia se encuentre abierto.

Una vez que se haya presionado la opción CIERRE, el usuario podrá elegir entre las diferentes bahías sobre las cuales se puede realizar la maniobra, como se mostró en la Figura 3.34, que para este caso demostrativo será la Bahía Toma.

Habiendo elegido una bahía para operar, aparecerá un sub-menú, en el cual el usuario podrá acceder al estado en el que se encuentra la bahía elegida, el procedimiento a seguir para realizar la energización, y finalmente la opción para empezar con la maniobra, como el mostrado en la Figura 3.19, donde las opciones ESTADO INICIAL y PROCEDIMIENTO, se comportan de igual manera como se mencionó anteriormente.



**Figura 3.39: Procedimiento para energizar Bahía Toma.**



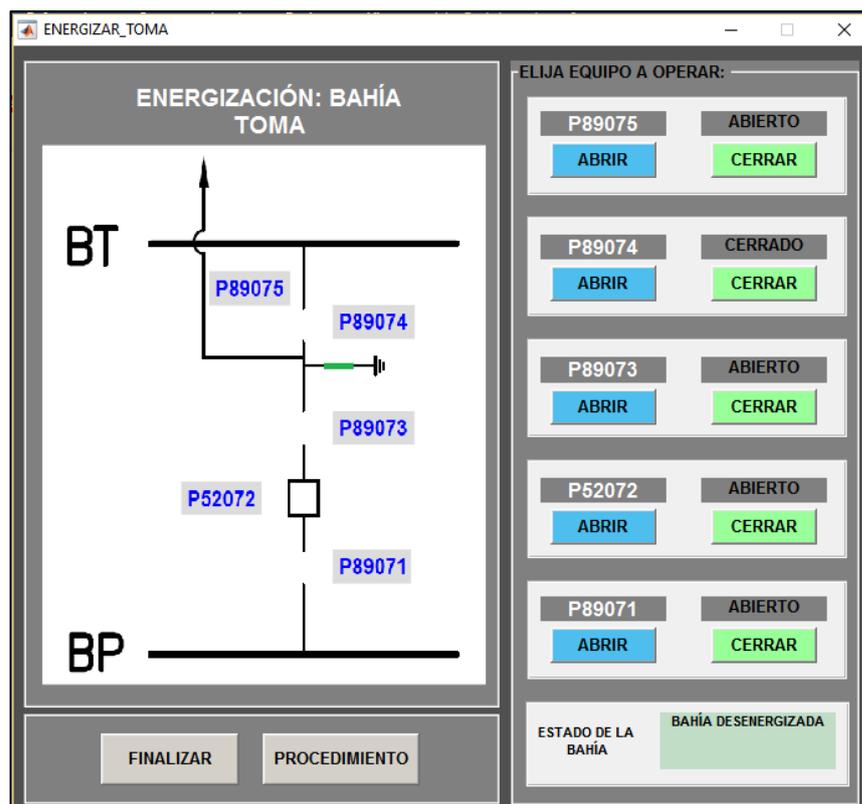
**Figura 3.40: Procedimiento para energizar con bahía energizada.**

Para regresar al menú de la operación Cierre, se debe presionar OK en el procedimiento, donde el usuario ahora podrá elegir la opción OPERACIÓN, para empezar con la maniobra.

### **Operación**

Una vez elegida la opción OPERACIÓN, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 3.41, en la cual el usuario deberá operar los equipos de corte y seccionamiento de acuerdo al procedimiento establecido para la maniobra de Cierre, que para este caso deberá; abrir el seccionador P89074, cerrar los seccionadores P89071 y P89073, cerrar el interruptor P52072 .

En caso de que el usuario no siga el procedimiento mostrado, se mostrará un mensaje indicando que la maniobra no debe ser realizada ya que no forma parte del procedimiento. Adicionalmente, el usuario podrá acceder al Procedimiento en cualquier momento durante la ejecución de la maniobra.



**Figura 3.41: Interfaz Gráfica para realizar Energización.**

De esta manera se completa la energización de la Bahía Toma, lo cual es indicado visualmente por el mímico de la bahía, y textualmente por la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA de la Figura 3.41.

### 3.5. Operación individual.

En caso de seleccionar la Opción OPERACIÓN INDIVIDUAL, aparecerá la ventana de la Figura 3.42, en la cual el usuario podrá elegir una bahía para operar los equipos de corte y seccionamiento, para realizar cualquiera de las maniobras mencionadas anteriormente en la Sección de Operación Específica, en caso de que el usuario ya se encuentre familiarizado con las mismas.

Adicionalmente, en esta ventana se podrá acceder al menú de las Condiciones de Operación de los equipos de corte y seccionamiento, y al menú de las condiciones de PT's, CT's y disponibilidad de IED's, mencionados en las secciones 3.2.2 y 3.2.3.

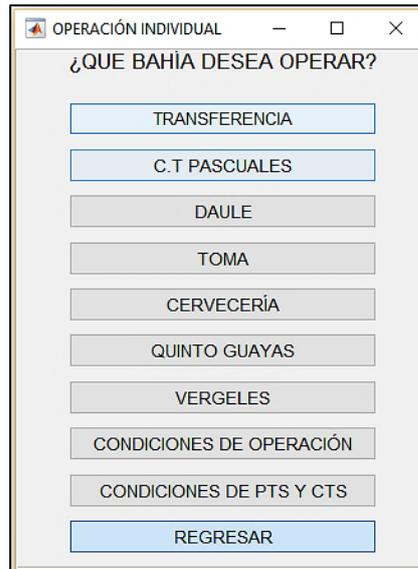


Figura 3.42: Menú Operación Individual.

### 3.5.1. Descripción de la interfaz gráfica para operación individual

Una vez elegida una bahía para operar, aparecerá la ventana de la Figura 3.43, en la cual se pueden identificar varios cuya función debe estar claramente entendida antes de empezar a operar los equipos de dicha bahía.

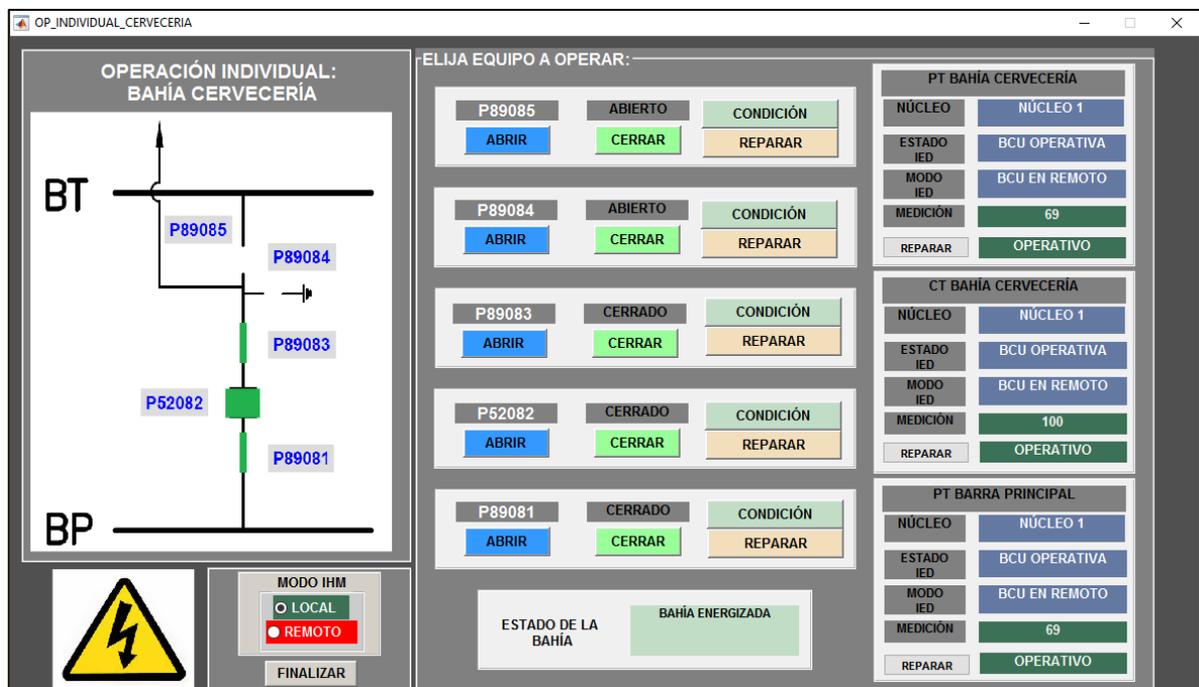


Figura 3.43: Interfaz para Operación Individual.

### Esquema mímico unifilar de la bahía

Muestra mediante indicadores visuales el estado de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía elegida. Verde significa que el equipo se encuentra cerrado, y si no aparece ningún indicador, el equipo se encuentra abierto.

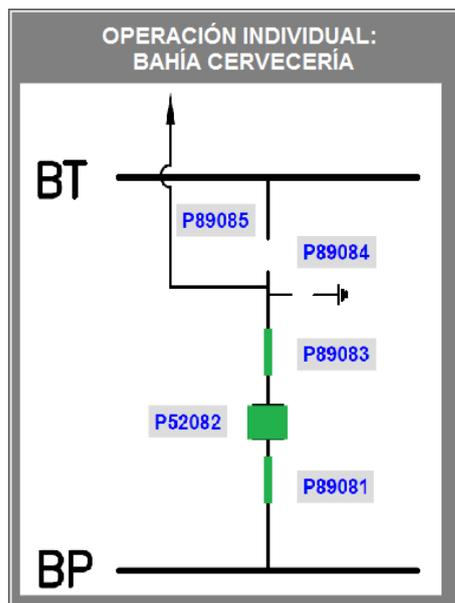


Figura 3.44: Esquema mímico unifilar Operación Individual.

### Estado de la bahía

Muestra el estado de la bahía, dependiendo el estado de los equipos de corte y seccionamiento de la misma.

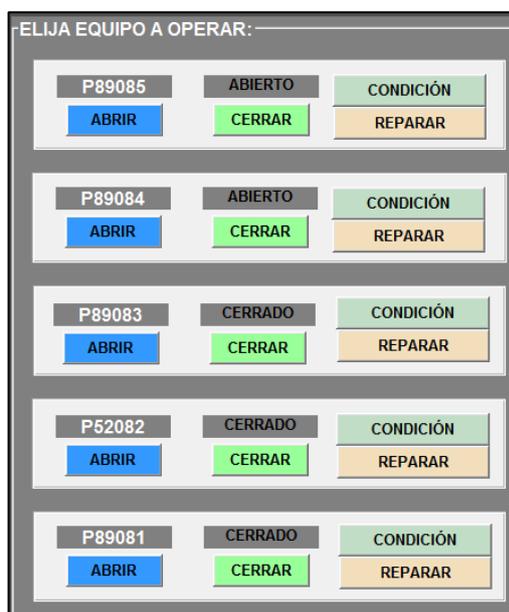


Figura 3.45: Estado de la bahía.

### Equipos de corte y seccionamiento

Muestra el nombre de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía, y además se muestra de manera textual el estado de dichos equipos. Adicionalmente se encuentran los botones ABRIR y CERRAR, los cuales permitirán operar un determinado equipo. El botón CONDICIÓN, muestra las condiciones de operación del equipo de acuerdo a como el usuario las haya definido inicialmente, en el menú de condiciones de operación

mencionado en la sección 3.2.2. El botón REPARAR, corrige cualquier condición que no permita el accionamiento del equipo.



**Figura 3.46: Panel de Accionamiento de equipos.**

#### Modo de operación de la IHM

Muestra el modo en el que se encuentra la IHM, de acuerdo a como la haya definido el usuario en el menú de condiciones de Operación de la sección 3.2.2 durante la inicialización del programa, el cual debe encontrarse en modo LOCAL para permitir el accionamiento de los equipos de la bahía, y en caso de encontrarse en modo REMOTO, este puede ser cambiando en cualquier momento durante la ejecución del programa principal, y en cualquier bahía elegida por el usuario.



**Figura 3.47: Modo de Operación de IHM.**

#### Estado de equipos de medición y disponibilidad de IED

Permite la visualización de las mediciones, estado de operación de los equipos de medición tanto para la bahía elegida, como para la barra principal, y la IED a la que se encuentra conectada cada equipo. El botón REPARAR, corrige cualquier condición que no permita el accionamiento de

los equipos de la bahía, sea esta un error en la medición, equipo de medición averiado, o indisponibilidad de una IED.

PT BAHÍA C.T. PASCUALES	
NÚCLEO	NÚCLEO 1
ESTADO IED	BCU OPERATIVA
MODO IED	BCU EN REMOTO
MEDICIÓN	69
REPARAR	OPERATIVO

**Figura 3.48: Estado de equipo de medición y disponibilidad de IED.**

#### **Botón finalizar**

Permite cerrar la ventana de la bahía elegida, una vez terminada todas las operaciones sobre los equipos de corte y seccionamiento de la bahía.



**Figura 3.49: Botón Finalizar.**

Para tener un mejor entendimiento de la interfaz gráfica para realizar una Operación Individual, a continuación, se procederá a realizar la desenergización de una de las bahías de la subestación bajo condiciones normales de operación, es decir, que no exista alguna condición que no permita el accionamiento de los equipos de corte y seccionamiento.

#### **3.5.2. Operación individual bajo condiciones normales de operación**

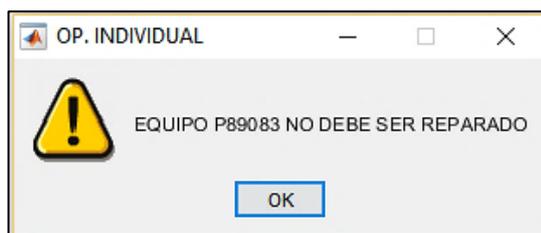
Para este ejemplo se procederá a realizar la desenergización de la Bahía Cervecería, la cual se encontrará en condiciones normales de operación, de tal manera que no existe restricción alguna que impida el accionamiento de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía.

Se define una condición normal de operación si se cumple que:

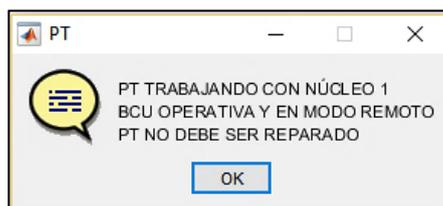
- Equipos de corte y seccionamiento OPERATIVOS, de acuerdo a los esquemas de enclavamiento de los equipos.
- Equipos de medición (PT's y CT's) OPERATIVOS.
- IED Disponible.

- No existe error en las mediciones.
- Unidad de control de bahía en REMOTO.
- IHM en modo LOCAL.

En caso de que se presione los botones REPARAR, para los equipos de corte y seccionamiento o los equipos de medición, se mostrarán los mensajes de las Figuras 3.50a y 3.50b respectivamente.



**a) Equipo de corte y seccionamiento.**



**b) Equipo de medición.**

**Figura 3.50: Mensaje para equipos Operativos.**

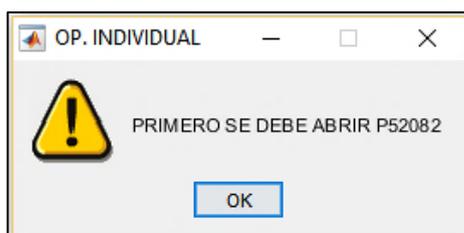
Se debe recordar que, para realizar una maniobra mediante Operación Individual, no se cuenta con un procedimiento como se lo hacía en las Operaciones Específicas, por esto, se debe tener conocimiento de los pasos a seguir antes de realizar alguna maniobra.

De acuerdo al esquema mímico unifilar de la bahía, en la Figura 3.44, se observa que los equipos P89081, P89083 y P52082 se encuentran cerrados, es decir que la bahía se encuentra energizada, y para proceder a desenergizar la bahía, estos equipos deberán ser abiertos, y para finalizar la maniobra finalmente se deberá cerrar el seccionador P89084.

En condiciones normales de operación, la única manera de que no se permita la operación de uno de los equipos, dependerá del estado de la bahía, para esto debe tener presente que:

- Los seccionadores no pueden ser operados bajo carga.
- Los seccionadores de puesta a tierra solo pueden ser cerrados si la bahía se encuentra desenergizada.
- Los seccionadores de transferencia solo pueden ser cerrados si la bahía de transferencia se encuentra desenergizada, y no existe otra bahía transferida.

En caso de que se ignore las condiciones mencionadas anteriormente, y se desee operar alguno de los equipos de corte y seccionamiento, dependiendo del caso, se mostrará un mensaje indicando al usuario que la maniobra no puede ser realizada.



**Figura 3.51: Mensaje para apertura de seccionador bajo carga.**

Ahora se procederá con la desenergización de la bahía, para lo cual, primero se deberá abrir el interruptor P52082, y se debe observar que una vez que este equipo esté abierto, la bahía ya se encontrará desenergizada, con lo cual cambiará el valor de las mediciones de los PT's y CT's, el estado en el mímico de la bahía, el estado textual del equipo en el panel de accionamiento de equipos, y el mensaje en la pestaña ESTADO DE LA BAHÍA.

Una vez abierto el interruptor de la bahía, en la medición del CT de la bahía, se tendrá una corriente de 20 A, que se puede presentar debido a que el seccionador P89081 aún se encuentra cerrado, lo cual puede producir una corriente inducida, en la línea, la cual desaparecerá una vez que se cierre el seccionador de puesta a tierra P89084. Este fenómeno solo se presentará la primera vez que la bahía es desenergizada.

Durante una Operación Individual no se necesario realizar todas las operaciones para una determinada maniobra como se lo hace en las Operaciones Específicas, es decir, que para este caso en el que se desea desenergizar una bahía, basta con abrir únicamente el interruptor.

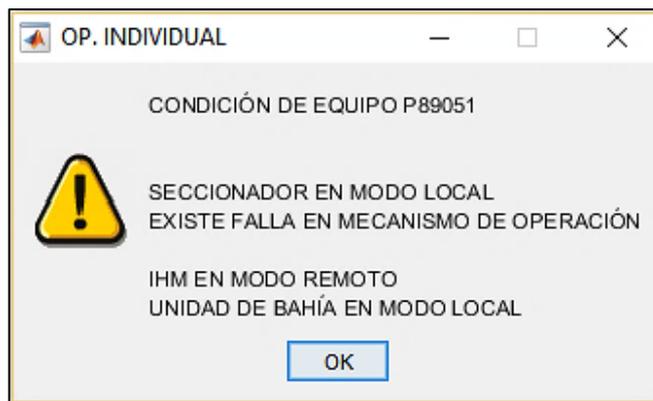
### **3.5.3. Operación individual bajo condiciones inusuales de operación**

Para este ejemplo se procederá a realizar la energización de la Bahía Vergeles, la cual se encontrará en condiciones inusuales de operación, esto quiere decir que, existirán restricciones que impedirán el accionamiento de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía.

Se define una condición inusual de operación si se cumple que:

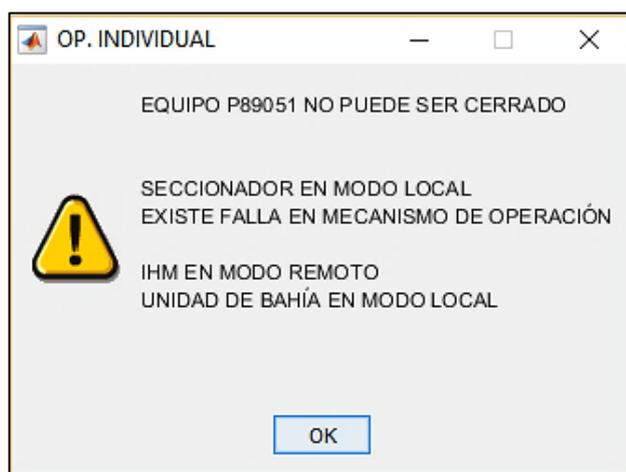
- Equipos de corte y seccionamiento NO OPERATIVOS, de acuerdo a los esquemas de enclavamiento de los equipos.
- Equipos de medición (PT's y CT's) NO OPERATIVOS.
- IED no Disponible.
- Presencia de error en las mediciones.
- Unidad de control de bahía en LOCAL.
- IHM en modo REMOTO.

Para verificar si los equipos de corte y seccionamiento de la bahía se encuentran operando en condiciones inusuales, el usuario deberá presionar el botón CONDICIÓN en el panel de accionamiento de equipos mostrado en la Figura 3.46, del equipo que se desee verificar, y dependiendo de las condiciones de operación que el usuario haya definido durante la inicialización del programa, se mostrará un mensaje con un listado de los problemas que presenta dicho equipo, como se muestra en la Figura 3.52.



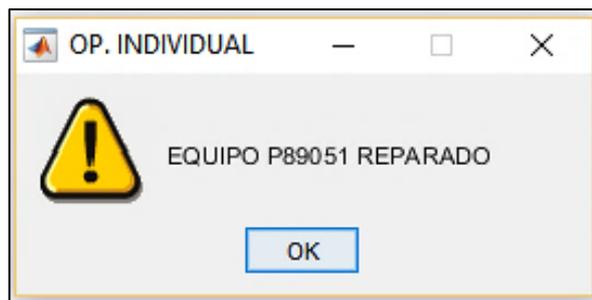
**Figura 3.52: Condición de seccionador P89051.**

De igual manera, si se desea operar un equipo bajo estas condiciones, se mostrará un mensaje listando los problemas que presenta el equipo, como se muestra en la Figura 3.53, y la maniobra no podrá ser realizada.



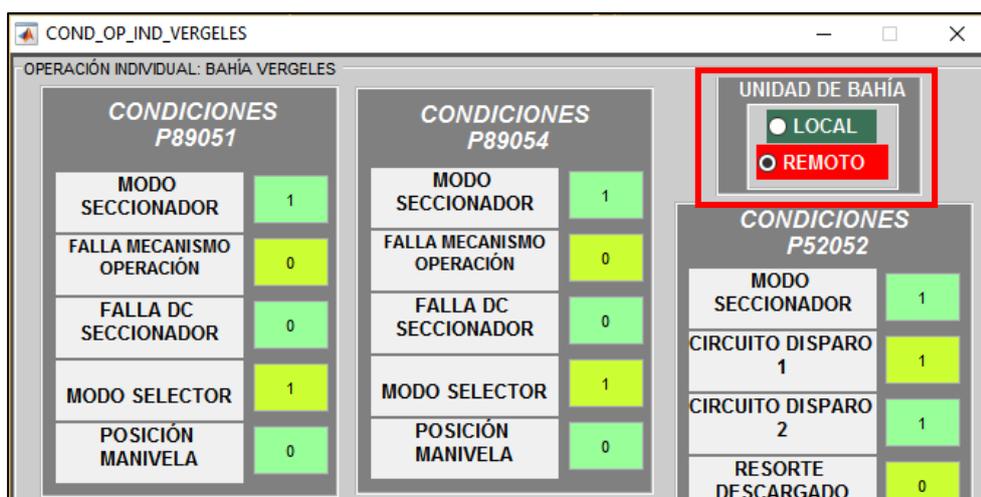
**Figura 3.53: Mensaje por cierre de equipo en condición inusual de operación.**

El botón REPARAR, únicamente corrige las condiciones de operación del equipo elegido, más no, el modo de la unidad de bahía, ni el modo en el que se encuentra la IHM. Una vez presionado el botón, aparecerá el mensaje de la Figura 3.54.



**Figura 3.54: Seccionador P89051 reparado.**

Para cambiar el modo en el que se encuentra la Unidad de bahía, se deberá presionar el botón FINALIZAR, para regresar al menú de Operaciones Individuales de la Figura 3.42, y una vez estando en el menú se deberá elegir la opción CONDICIONES DE OPERACIÓN, para luego elegir la bahía en la que se encuentra operando, en este caso la Bahía Vergeles, y cambiar el modo de la unidad de bahía a REMOTO, finalmente se debe presionar FINALIZAR para guardar el cambio realizado.



**Figura 3.55: Cambio de modo de la Unidad de Bahía, Bahía Vergeles.**

El modo en el que se encuentra la IHM, mostrado en la Figura 3.47, puede ser cambiado dentro de la misma Interfaz gráfica de la Bahía vergeles, o desde la interfaz de cualquiera de las demás bahías, cuyo cambio se verá reflejado en todas las bahías de la subestación.

En cuanto a los equipos de medición y la IED, se debe tener en cuenta que tanto PT's como CT's deben estar siempre Operativos, caso contrario, si los equipos de medición se encuentran averiados, no se contará con la medición de las magnitudes de la bahía, ni con una IED para poder realizar las maniobras.

Otra situación podría ser que el equipo de medición se encuentre operativo, pero se tenga un error en la medición, o no se cuente con una IED disponible, lo cual no permitirá el accionamiento de los equipos, como se muestra en la Figura 3.56, en la cual se intentará operar uno de los equipos sin una IED disponible.



**Figura 3.56: Indisponibilidad de IED.**

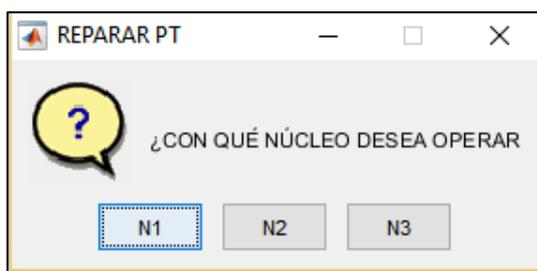
Como se puede observar en la Figura 3.80, se observa que, en la información del núcleo, Estado IED y modo IED, no se cuenta con una IED disponible, y por ende tampoco se contará con una medición, a pesar de que los equipos de medición se encuentran operativos, y si se tratara de operar uno de los equipos de corte y seccionamiento, aparecerá el mensaje de la Figura 3.57.



**Figura 3.57: Cierre de seccionador P89051 sin IED disponible.**

Para corregir esta situación se deberá presionar en el botón REPARAR del PT, donde aparecerán las opciones mostradas en la Figura 3.58, donde el usuario podrá elegir con que núcleo trabajará el equipo de medición y por ende con que IED. Una vez reparados el equipo de medición, el usuario

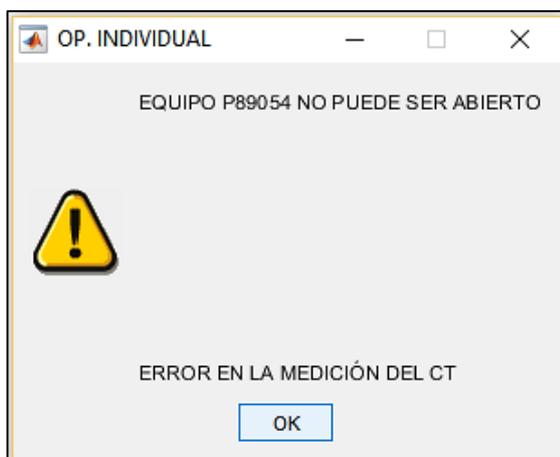
podrá operar cualquiera de los equipos de corte y seccionamiento de la bahía.



**Figura 3.58: Reparar PT.**

Otra condición inusual de operación podría ser el caso en el que se tiene un error en la medición, el cual únicamente puede ser provocado por el usuario, ingresando al menú de Condiciones de PT's y CT's al inicializar el programa o durante la ejecución del mismo, lo cual no permitiría la operación de los equipos.

De ser este el caso, se mostrará el mensaje de la Figura 7.59, y la operación no podrá ser realizada.



**Figura 3.59: Error en medición del CT.**

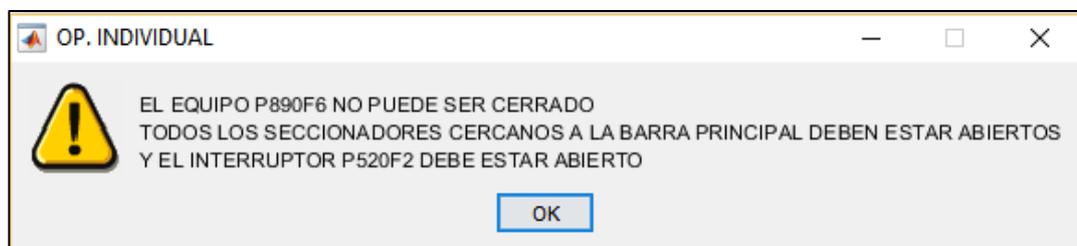
Para corregir esta condición, se deberá presionar el botón FINALIZAR, para regresar al menú de Operaciones Individuales de la Figura 3.42, y una vez estando en el menú se deberá elegir la opción CONDICIONES DE PT'S Y CT'S, para luego elegir la bahía en la que se encuentra operando, en este caso la Bahía Vergeles, y cambiar el valor en la opción CORRIENTE o VOLTAJE, y finalmente se debe presionar REGRESAR para guardar el cambio realizado.

Una vez corregida esta condición se deberá volver a la interfaz de la Bahía Vergeles, para realizar la maniobra de energización de la bahía, para lo cual primero se deberá abrir el seccionador P89054, luego se deberán cerrar los seccionadores P89051 y P89053, y finalmente se deberá cerrar el interruptor P52052.

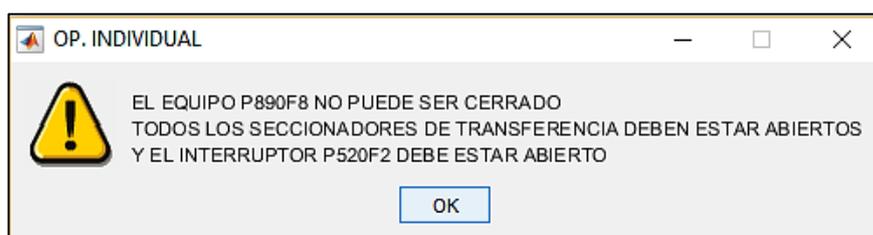
#### 3.5.4. Operación individual bahía de transferencia

Para la operación de los equipos de la bahía de transferencia, se cumplen los mismos casos mencionados en la sección 3.5.2 y 3.5.3, pero además se deben tener en cuenta ciertas consideraciones con los seccionadores P890F6 y P890F8, ya que estos solo podrán ser cerrados si no se encuentra ninguna bahía conectada a la barra principal, y si todos los seccionadores de transferencia se encuentran abiertos, respectivamente.

Adicionalmente, se debe recordar que solo puede estar transferida una barra a la vez, y en caso de que realice una maniobra que incumpla con alguna de estas condiciones, se mostrará un mensaje de acuerdo a la acción que se desee realizar y la maniobra no será ejecutada.



**Figura 3.60: Mensaje para Cierre de seccionador P890F6.**



**Figura 3.61: Mensaje para cierre seccionador P890F8.**

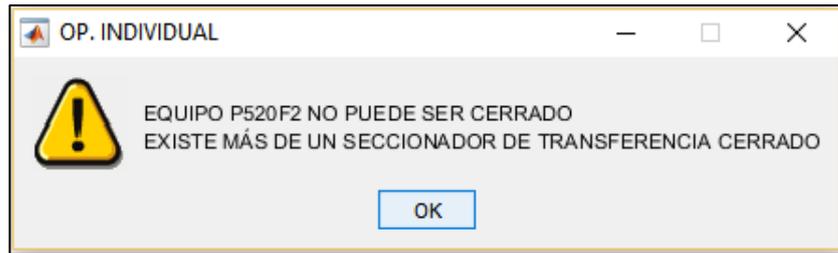


Figura 3.62: Mensaje para Energización Bahía de Transferencia.

### 3.6. Vista general de la subestación.

En la opción VISTA GENERAL, se podrá observar el diagrama unifilar del patio de 69 kV de la Subestación Pascuales, con los estados de los equipos de corte y seccionamiento (seccionadores e interruptores) de cada una de sus bahías, y el estado general de las mismas. Debido a que para este proyecto no se consideraron las bahías de Bancos de Capacitores del patio de la subestación, estas no aparecen el diagrama unifilar y se asume que se encuentran desenergizadas todo el tiempo.

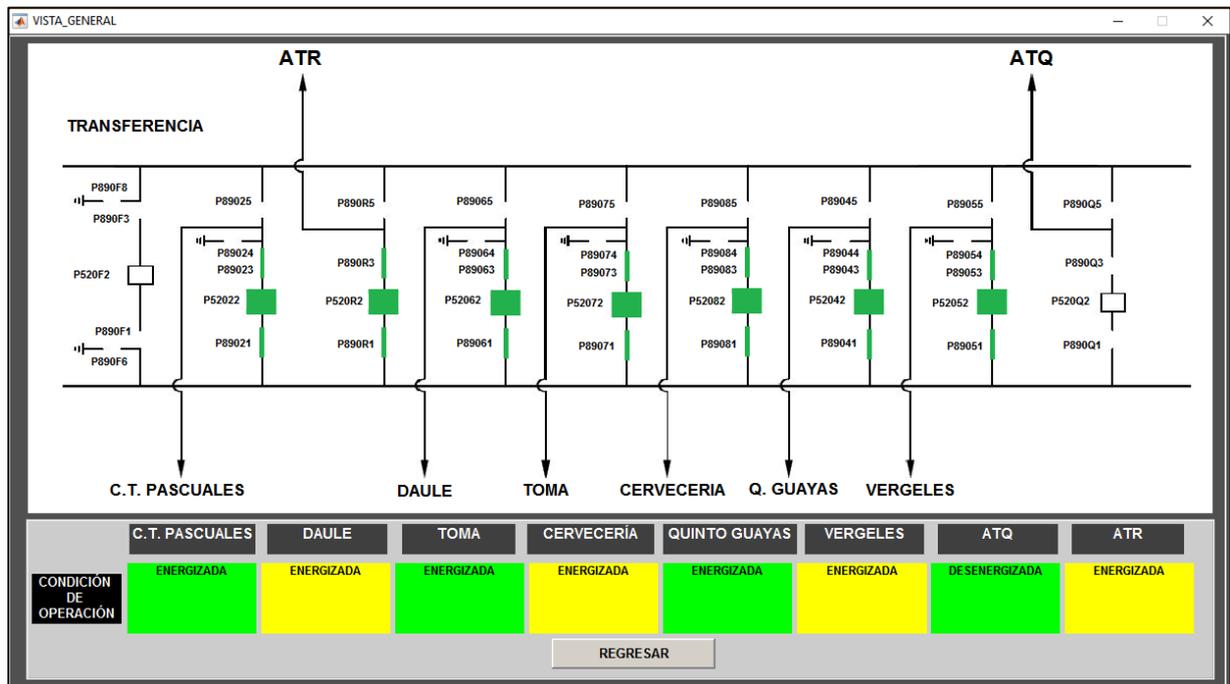


Figura 3.63: Vista General de la Subestación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante la ejecución de este programa, especialmente con la ejecución de Operaciones Específicas, el usuario será capaz de familiarizarse con los procedimientos necesarios, y las diferentes variaciones que podrían presentarse, para la correcta operación y manipulación de los equipos de corte y seccionamiento que conforman las bahías de la subestación.

Una vez identificadas las diferentes maniobras y procedimientos, el usuario mediante la ejecución de Operaciones Individuales podrá identificar y analizar las demás consideraciones y criterios necesarios para maniobrar los equipos de corte y seccionamiento de la subestación en un entorno real de operación, y los diversos factores que podrían afectar la operación de los mismos, además el usuario se podrá familiarizar con los esquemas lógicos de enclavamiento, los cuales está directamente relacionados con las condiciones eléctricas y mecánicas de los equipos de corte y seccionamiento de la subestación.

El usuario podrá tener un enfoque más práctico sobre la automatización de subestaciones, así como de los diferentes niveles jerárquicos, y como estos se relacionan, además de cómo se encuentran distribuidos en las diferentes áreas de una subestación eléctrica, y los diferentes equipos que conforman los respectivos niveles.

Si bien, este proyecto se encuentra orientado a la operación de los equipos de corte y seccionamiento para una configuración de Barra Principal y Transferencia, las consideraciones y criterios adquiridos con la utilización de esta herramienta, podrán ser aplicados a las diferentes configuraciones de Barras presentes en el sistema eléctrico Ecuatoriano, teniendo en cuenta que esto no aplica para los procedimientos de las diferentes maniobras ejecutadas, ya que estos dependerán de la configuración sobre la cual se esté operando.

Debido a que este proyecto fue elaborado con propósitos educativos, tratando de imitar en lo más posible el comportamiento real de una Interfaz Hombre Máquina utilizada por los operadores de las subestaciones, hubo ciertos criterios que fueron obviados, además de diferentes asunciones que se realizaron para la elaboración de este proyecto, el cual permitirá al usuario instruirse sobre la operación de subestaciones, pero esto no quiere decir que este ya estará listo para desempeñar las veces del operador.

Este proyecto considera la operación de los equipos de corte y seccionamiento, durante la operación del sistema en condiciones normales de operación, es decir que no se simula condiciones de fallas, las cuales podrían presentarse en la operación real de la subestación, por lo cual este escenario podría implementarse tomando como base el proyecto actual.

Al no considerar condiciones de falla, de igual manera se obvia la operación de las protecciones presentes en la subestación, las cuales al ser consideradas podrían preparar al usuario de una manera más completa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022, Quito, 2013.
- [2] J. D. M. Mini S. Thomas, Power System SCADA and Smart Grids, CRC Press.
- [3] SIEMENS, «Interruptores de Potencia de Alta Tensión,» Erlangen, Alemania, 2013, pp. 4-6.
- [4] E. HARPER, «Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas,» Mexico, LIMUSA, 2002, pp. 102-110.
- [5] «Seccionadores de Columnas Giratorias,» Buenos Aires, 2009, p. 4.
- [6] Z. S. B. Siguenza A. Luis, «Descripción de Subestación Pascuales, Análisis de Confiabilidad de la Subestación Pascuales,» Guayaquil, 2011.
- [7] A. A. Miguel, ¿Qué es Matlab? Principales características, MATLAB & Simulink para ingeniería Nivel I, Peru, 2013.
- [8] S. T. Smith, de *MATLAB: Advanced GUI Development*, Natick, MA, Dog Ear Publishing, 2006, pp. 5-8.
- [9] SIEMENS, Protección multifuncional con sistema de mando SIPROTEC 4, Nürnberg, Alemania: Siemens AG, 2006.
- [10] CELEC EP, Glosario de términos.
- [11] CONELEC, «Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022,» Quito, 2013.
- [12] CELEC EP, «Glosario de Términos».
- [13] CELEC EP, «Glosario de términos».
- [14] S. T. Smith, de *MATLAB: advanced GUI development*, Natick, MA, Dog Ear Publishing, 2006, pp. 5-8.
- [15] SIEMENS, «Interruptores de Alta Tensión,» Erlangen, Alemania, 2013, p. 15.

## **ANEXO A**

### **SECUENCIA DE MANIOBRAS PARA OPERACIONES ESPECÍFICAS EN EQUIPOS DEL PATIO DE 69 kV DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA PASCUALES**

**SECUENCIAS DE MANIOBRAS PARA CIERRE**

<b>INICIO</b>	<b>PASO 1</b>	<b>PASO 2</b>	<b>PASO 3</b>	<b>FIN</b>
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0F2 ABIERTO			X	52-0F2 CERRADO
89-0F1 ABIERTO	X			89-0F1 CERRADO
89-0F3 ABIERTO		X		89-0F3 CERRADO
89-0F6 ABIERTO				89-0F6 ABIERTO
89-0F8 ABIERTO				89-0F8 ABIERTO

**Tabla A.1** Secuencia de Maniobras para Cierre. Energización Bahía de Transferencia.

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 ABIERTO				X	52-0*2 CERRADO
89-0*1 ABIERTO		X			89-0*1 CERRADO
89-0*3 ABIERTO			X		89-0*3 CERRADO
89-0*4 CERRADO	X				89-0*4 ABIERTO
89-0*5 ABIERTO					89-0*5 ABIERTO

**Tabla A.2** Secuencia de Maniobras para Cierre. Conectar Bahía a Barra Principal.

<b>INICIO</b>	<b>PASO 1</b>	<b>PASO 2</b>	<b>PASO 3</b>	<b>PASO 4</b>	<b>FIN</b>
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 ABIERTO					52-0*2 ABIERTO
89-0*1 ABIERTO					89-0*1 ABIERTO
89-0*5 ABIERTO	X				89-0*5 CERRADO
89-0*3 ABIERTO					89-0*3 ABIERTO
89-0*4 ABIERTO					89-0*4 ABIERTO
52-0F2 ABIERTO				X	52-0F2 CERRADO
89-0F3 ABIERTO		X			89-0F3 CERRADO
89-0F1 ABIERTO			X		89-0F1 CERRADO
89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS					89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS
89-0F8 ABIERTO					89-0F8 ABIERTO
89-0F6 ABIERTO					89-0F6 ABIERTO

**Tabla A.3** Secuencia de Maniobras para Cierre. Energizar Bahía en Modo Transferencia.

### SECUENCIAS DE MANIOBRAS PARA APERTURA

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0F2 CERRADO	X			52-0F2 ABIERTO
89-0F1 CERRADO		X		89-0F1 ABIERTO
89-0F3 CERRADO			X	89-0F3 ABIERTO
89-0F6 ABIERTO				89-0F6 ABIERTO
89-0F8 ABIERTO				89-0F8 ABIERTO

**Tabla A.4** Secuencia de Maniobras para Apertura. Desenergizar Bahía de Transferencia.

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 CERRADO	X				52-0*2 ABIERTO
89-0*1 CERRADO		X			89-0*1 ABIERTO
89-0*3 CERRADO			X		89-0*3 ABIERTO
89-0*4 ABIERTO				X	89-0*4 CERRADO
89-0*5 ABIERTO					89-0*5 ABIERTO

**Tabla A.5** Secuencia de Maniobras para Apertura. Desconectar Bahía de Barra Principal.

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	FIN
ESTADO INICIAL	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CERRAR	CONDICIONES FINALES
52-0*2 ABIERTO						52-0*2 ABIERTO
89-0*1 ABIERTO						89-0*1 ABIERTO
89-0*5 CERRADO				X		89-0*5 ABIERTO
89-0*3 ABIERTO						89-0*3 ABIERTO
89-0*4 ABIERTO					X	89-0*4 CERRADO
52-0F2 CERRADO	X					52-0F2 ABIERTO
89-0F3 CERRADO			X			89-0F3 ABIERTO
89-0F1 CERRADO		X				89-0F1 ABIERTO
89-0*5 TODAS LAS DEMAS BAHIAS ABIERTAS						89-0*5 TODAS LAS DEMAS BAHIAS ABIERTAS
89-0F8 ABIERTO						89-0F8 ABIERTO
89-0F6 ABIERTO						89-0F6 ABIERTO

**Tabla A.6** Secuencia de Maniobras para Apertura. Desenergizar Bahía Transferida.

**SECUENCIAS DE MANIOBRAS PARA TRANSFERENCIA**

<b>INICIO</b>	<b>PASO 1</b>	<b>PASO 2</b>	<b>PASO 3</b>	<b>PASO 4</b>	<b>PASO 5</b>	<b>PASO 6</b>	<b>PASO 7</b>	<b>FIN</b>
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>CERRAR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>ABRIR</b>	<b>CONDICIONES FINALES</b>
52-0*2 CERRADO					X			52-0*2 ABIERTO
89-0*1 CERRADO						X		89-0*1 ABIERTO
89-0*5 CERRADO			X					89-0*5 ABIERTO
89-0*3 ABIERTO							X	89-0*3 CERRADO
89-0*4 ABIERTO								89-0*4 ABIERTO
52-0F2 ABIERTO				X				52-0F2 CERRADO
89-0F3 ABIERTO		X						89-0F3 CERRADO
89-0F1 ABIERTO	X							89-0F1 CERRADO
89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS								89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS
89-0F8 ABIERTO								89-0F8 ABIERTO
89-0F6 ABIERTO								89-0F6 ABIERTO

**Tabla A.7** Secuencia de Maniobras para Transferencia. Transferir Bahía Alimentadora.

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	FIN
ESTADO INICIAL	CERRAR	CERRAR	CERRAR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
52-0*2 ABIERTO			X					52-0*2 CERRADO
89-0*1 ABIERTO	X							89-0*1 CERRADO
89-0*5 CERRADO							X	89-0*5 ABIERTO
89-0*3 ABIERTO		X						89-0*3 CERRADO
89-0*4 ABIERTO								89-0*4 ABIERTO
52-0F2 CERRADO				X				52-0F2 ABIERTO
89-0F3 CERRADO						X		89-0F3 ABIERTO
89-0F1 CERRADO					X			89-0F1 ABIERTO
89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS								89-0*5 TODAS LAS DEMÁS BAHÍAS ABIERTAS
89-0F8 ABIERTO								89-0F8 ABIERTO
89-0F6 ABIERTO								89-0F6 ABIERTO

**Tabla A.8** Secuencia de Maniobras para Transferencia. Devolver Bahía a Barra Principal.

## **ANEXO B**

**ESQUEMA LÓGICO DE ENCLAVAMIENTOS PARA  
OPERACIONES INDIVIDUALES DE EQUIPOS DEL  
PATIO DE 69 kV DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA  
PASCUALES.**

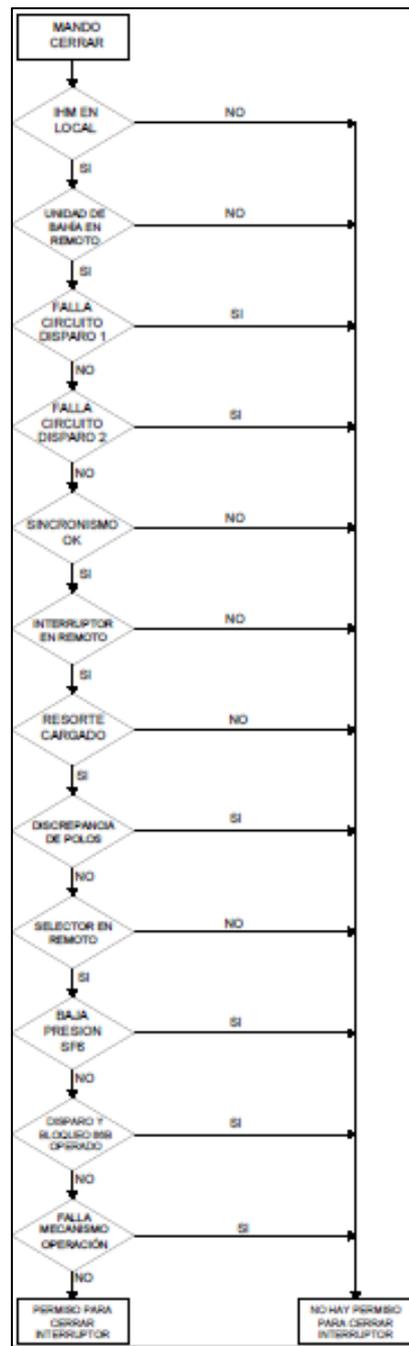
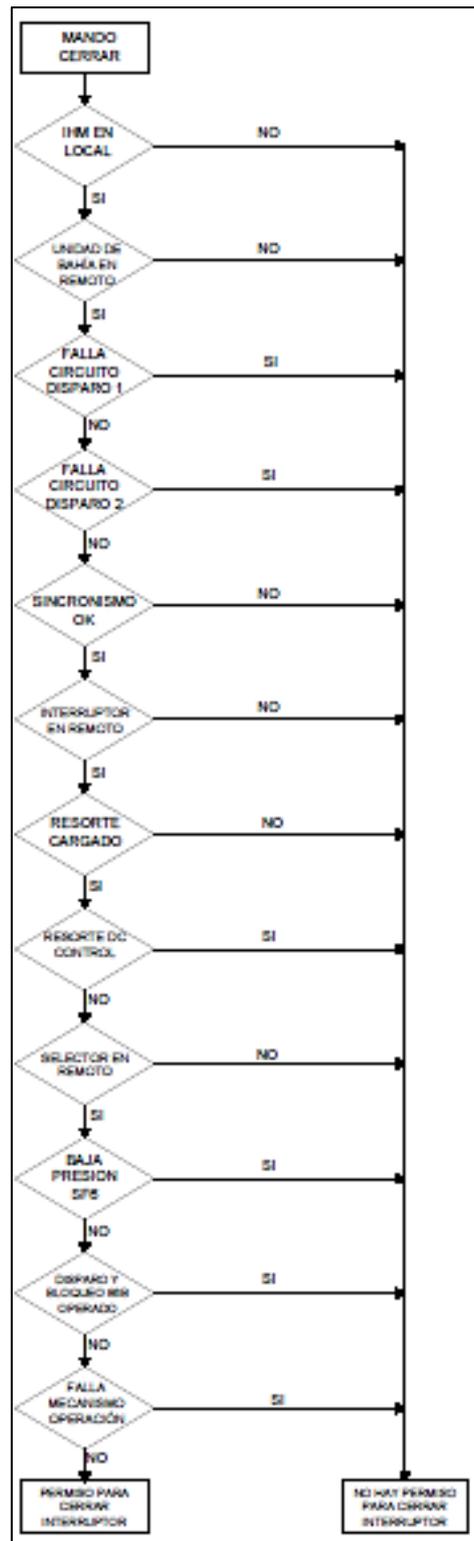
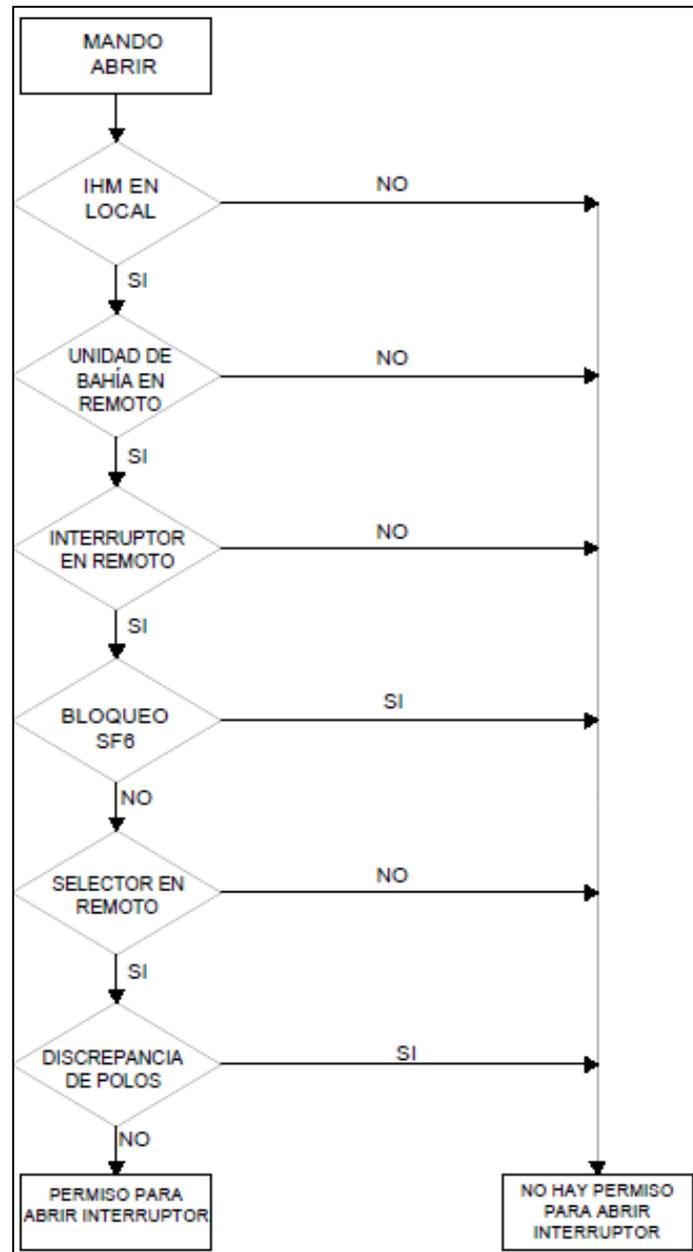


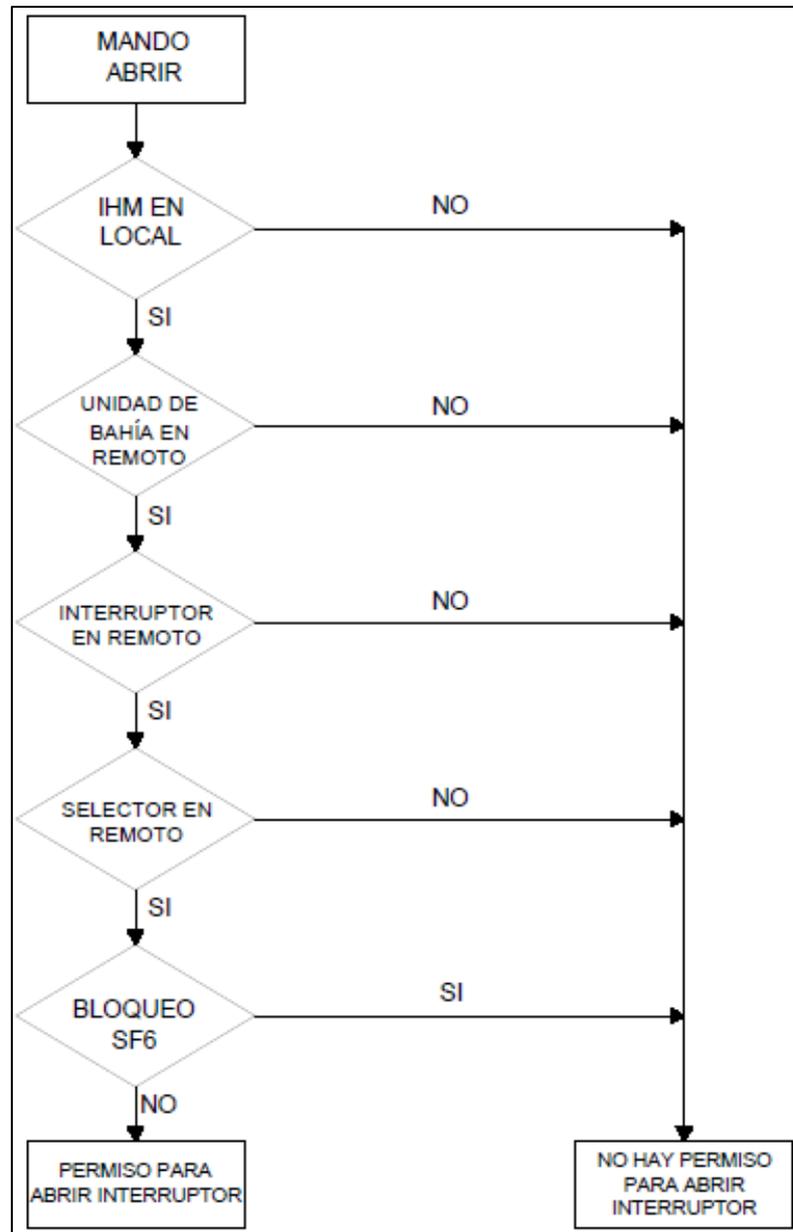
Figura B.1 Esquema lógico de enclavamientos. Cierre Interruptor de Transferencia.



**Figura B.2** Esquema lógico de enclavamiento. Cierre Interruptor de Bahía Alimentadora.



**Figura B.3** Esquema lógico de enclavamientos. Apertura Interruptor de Transferencia.



**Figura B.4** Esquema lógico de enclavamientos. Apertura Interruptor de Bahía Alimentadora.