

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA MANIOBRAS DE UNA SUBESTACIÓN DE DOBLE BARRA CON BARRA DE TRANSFERENCIA

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC PROTOTYPE FOR MANEUVERING A DOUBLE-BUS SUBSTATION WITH TRANSFER BUS BAR

Ruiz Ramírez José Efraín¹, Santana Camilo José Alfonso², López Chávez Enrique³, Ríos Tapia Martín⁴

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i2.382>

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, jose.rr@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0003-2039-0923>.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, jose.sc@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0000-9864-6026>.

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, enrique.lc@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0009-2112-6140>.

⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, L20090823@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0009-9929-0661>.

Resumen -- El presente proyecto abarca el desarrollo de un prototipo didáctico para realizar maniobras en subestaciones eléctricas, en configuración doble barra con barra de transferencia. El prototipo está integrado por dos elementos principales, el primer componente es la interfaz gráfica de usuario, mejor conocida como GUI (Graphical User Interface), desarrollada en el entorno de programación LabVIEW, el segundo es el modelo físico, que está formado por módulos de relevadores, del microcontrolador PIC16F877A, el cual controla la apertura y cierre de los relevadores, e interactúa con la GUI mediante comunicación serial asincrónica inalámbrica, a través del módulo HC-05.

El prototipo busca reforzar los conocimientos en los estudiantes de la asignatura de subestaciones eléctricas del Programa Educativo de Ingeniería Electromecánica y de otros planes afines que contengan esta materia en su programa de estudios.

En la realización de la GUI, se incluyen botones de encendido y apagado para interruptores y seccionadores (cuchillas), además de indicadores luminosos y se cuenta con el diagrama de doble barra con barra de transferencia. El resultado final es la creación de una interfaz gráfica de usuario, un prototipo físico que contempla la parte tecnológica al automatizar las maniobras que permite a los estudiantes que cursan la asignatura de Subestaciones Eléctricas ejercitar continuamente las operaciones de conexión y desconexión, conforme a los criterios, consolidando un aprendizaje significativo.

Palabras Clave: Subestaciones Eléctricas, interfaz gráfica GUI, Doble barra, LabVIEW, Microcontrolador, Interruptores, Seccionadores, Maniobras, Prototipo.

Abstract -- The present project covers the development of a didactic prototype to perform maneuvers in electrical substations, in double bus configuration with transfer bus. The prototype is integrated by two main elements, the

first component is the graphical user interface, better known as GUI (Graphical User Interface), developed in the LabVIEW programming environment, the second is the physical model, which is formed by relay modules, the PIC16F877A microcontroller, which controls the opening and closing of the relays, and interacts with the GUI through wireless asynchronous serial communication, through the HC-05 module.

The prototype seeks to reinforce the knowledge of the students of the electrical substations course of the Electromechanical Engineering Educational Program and other related plans that contain this subject in their syllabus.

In the development of the GUI, on/off buttons for switches and disconnectors (blades) are included, as well as indicator lights and a double bar diagram with transfer bar.

The final result is the creation of a graphical user interface, a physical prototype that contemplates the technological part by automating the maneuvers that allows students taking the subject of Electrical Substations to continuously exercise the operations of connection and disconnection, according to the criteria, consolidating a significant learning process.

Key words – Electrical substations, GUI, Double busbar, LabVIEW, Microcontroller, Switches, Disconnectors, Maneuvers, Prototype.

INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico de potencia es el conjunto de dispositivos que convierte energía de una forma primaria

a energía eléctrica, la transporta desde su generación y la distribuye a los consumidores finales. Las instalaciones intermedias que se encargan de llevar la energía eléctrica y mantienen los parámetros de transmisión, son las subestaciones eléctricas [1].

Las subestaciones eléctricas se clasifican de diferentes formas: según la función, el emplazamiento, la movilidad, el tipo de aislamiento, su ubicación, el nivel de tensión y según la transformación [3].

Las configuraciones o arreglos de las subestaciones eléctricas consisten en un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de los dispositivos automáticos de

Protección [2]. La configuración depende de algunos criterios para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica [4]:

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

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

Seguridad: Propiedad que evita el daño a los equipos o a las personas cuando una subestación opera bajo condiciones normales o anormales [4]

Modularidad: Versatilidad que posee una instalación para modificar su configuración cuando sus necesidades o el sistema lo requieran [4]

Costos de instalación: Número de interruptores por entrada/salida (circuito), número de seccionadores por circuito y aparataje de medida, control y protección necesaria [3].

Operación y maniobra: posibilidades de interconexión entre circuitos [3].

Esquema de barras de una subestación eléctrica.

En las subestaciones las barras o buses son el medio de conexión física entre los elementos que constituyen el sistema, es importante la consideración del equilibrio económico con respecto a la selección del tipo de configuración y aplicación de la misma. En contexto los esquemas o arreglos de barras de una subestación son los siguientes [5]:

1. Barra simple.
2. Barra simple partida.
3. Barra simple con Bypass.
4. Juego de barra con transferencia.
5. Doble barra.
6. Doble juego de barra con bypass.
7. Doble juego de barra con barra de transferencia.
8. Anillo.
9. Interruptor y medio.

Para comprender el esquema de barra, en la tabla 1, se identifican los elementos básicos [5]:

Tabla 1. Elementos básicos en esquemas de barra

Elemento	Descripción
	Seccionador (cuchillas). Es un aparato de maniobra sin poder de corte, que puede abrir o cerrar circuitos cuando estos están sin carga. Sirven para asegurar de forma visible el corte de los circuitos.
	Interruptor de potencia. Son aparatos de corte con procedimiento de extinción de arco y, por tanto, con poder de corte.
	Barras colectoras. Son conocidas como el conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos que consta una subestación.
	Cuchillas de puesta a tierra. Son utilizadas como elementos para conectar a tierra barras colectoras, circuitos derivados, capacitores y cualquier otro equipo, de manera segura y firme, los cuales hayan sido previamente desconectados de la red de alimentación.
	Transformador de potencia. Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión de un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

Fuente. López Chávez, (2025).

El presente documento, solo tiene aplicabilidad para la configuración de doble barra con barra de transferencia y expone la sinergia entre el prototipo físico para la apertura y cierre de interruptores de potencia y de seccionadores, los cuales son emulados por medio de módulos de relevadores y controlados por medio de un microcontrolador [12] y de una simulación de realidad virtual, por medio de una interfaz gráfica de usuario desarrollada mediante el software LabVIEW [6,11].

Una de las áreas que se han beneficiado particularmente de las simulaciones de realidad virtual es la de los sistemas eléctricos de potencia. La realidad virtual permite adquirir conocimientos teóricos y prácticos de elementos como transformadores, o infraestructuras completas, como subestaciones eléctricas [9].

Los sistemas de simulación son capaces de enfrentar dos de las grandes limitantes del aprendizaje actual en materia de sistemas eléctricos de potencia, costos y seguridad. Haciendo especial énfasis en la seguridad, en la mayoría de los casos, la naturaleza de los componentes eléctricos y la gran cantidad de energía que fluye a través de ellos

hace imposible visualizar directamente su funcionamiento o comportamiento. [10]

En 2014, González Sancho Eladio [5] propuso un simulador de subestaciones eléctricas, desarrollado en el entorno de programación LabVIEW. Este simulador maneja todas las configuraciones de barras, pero la desventaja es que no tiene interacción física, para un mayor entendimiento de las maniobras en los esquemas de barras.

De igual forma en 2016, Jiménez [7], propuso un módulo didáctico de barra simple con transferencia para visualizar variables eléctricas por medio de un sistema Scada, controlado por un PLC (Controlador Lógico Programable) y una interfaz en LabVIEW.

En 2019 Xue [8], por ejemplo, se plantean módulos que constan de tres modos de funcionamiento: visualización de máquinas y componentes, con el fin de aprender de sus nombres y características; el desarrollo de prácticas rutinarias, tales como procedimientos lineales de mantenimiento; y la consideración de acciones necesarias frente a un mal funcionamiento o situación de riesgo, que hacen referencia al manejo de situaciones adversas [2].

DESARROLLO

Diseño y simulación para puesta en marcha del prototipo
El esquema de barras propuesto para este proyecto es el de doble barra con barra de transferencia, el cual se puede observar en el diagrama unifilar de la figura 1. Los seccionadores (cuchillas), utilizan la nomenclatura 89-1, donde el número 89 identifica al elemento, seguido de un guion, el dígito siguiente es el número asignado al equipo. De igual manera se identifican los interruptores de potencia, pero con el número 52.

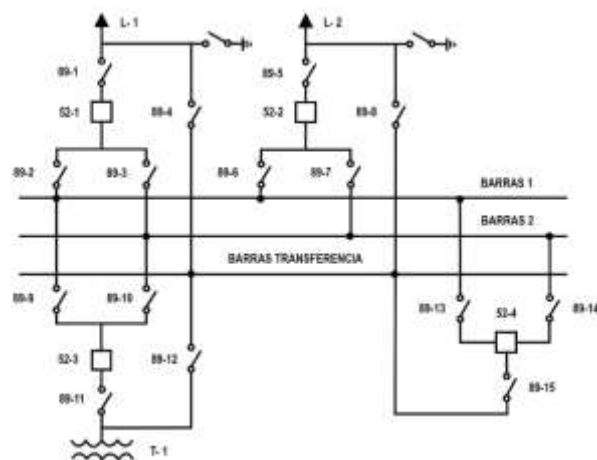


Figura 1. Doble barra con barra de transferencia
Fuente. Santana Camilo, (2025).

Este esquema agrega mayor flexibilidad al mismo (esquema de doble barra), ya que, si bien es posible conectarse a cualquiera de las dos barras por sus

seccionadores selectores de barra, además, es posible aislar los interruptores principales para mantenimiento, por medio del circuito de transferencia.

Las principales ventajas de un esquema de doble barra con barra de transferencia son:

- Cualquiera de las barras puede ser aislada para mantenimiento sin necesidad de interrumpir el servicio de los circuitos conectados.
- Mayor flexibilidad con dos barras de operación.
- Un circuito puede ser fácilmente transferido de barra por medio del interruptor seccionador de barra y de los desconectores selectores de barra.
- Un interruptor principal puede ser aislado por la barra de transferencia y el interruptor de transferencia, permitiendo así la mantenibilidad.

El circuito de fuerza y de control del esquema de doble barra con barra de transferencia (ver figura 2) se simuló en el software CADE_SIMU, el cual sirve para hacer diagramas eléctricos de control (simulador de control eléctrico) permite realizar simulaciones prácticamente de cualquier circuito. Además, permite solucionar los problemas que ocurran, puesto que presenta las fallas que vayan ocurriendo durante la ejecución de la simulación.

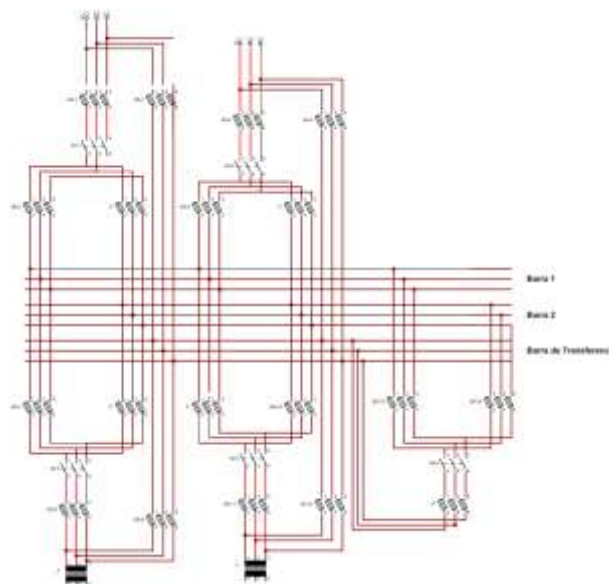


Figura 2. Simulación del circuito.
Fuente. Santana Camilo, (2025).

Concluida la simulación del circuito para asegurarse de que el funcionamiento es el correcto y que no hay fallas de corto circuito, se procede a la conexión de manera física de los elementos electrónicos y eléctricos, para ello se utilizan 5 módulos de relevador, cada uno de ellos contiene 16 relevadores. Por lo tanto, se utilizan en total 80 relevadores.

El circuito se divide en dos partes, el circuito de potencia, en el cual enlaza la alimentación trifásica a las cargas por medio de la conexión y desconexión de interruptores de potencia y seccionadores. El de control para encender y apagar luces piloto que corresponden al accionamiento de conexión y desconexión de los elementos arriba mencionados, además de un zumbador, que se activa cuando se realizan secuencias de maniobras incorrectas de apertura y cierre de los interruptores y cuchillas. Todo lo anteriormente descrito se instala en un tablero de madera con estructura metálica (ver figura 3 y figura 4).

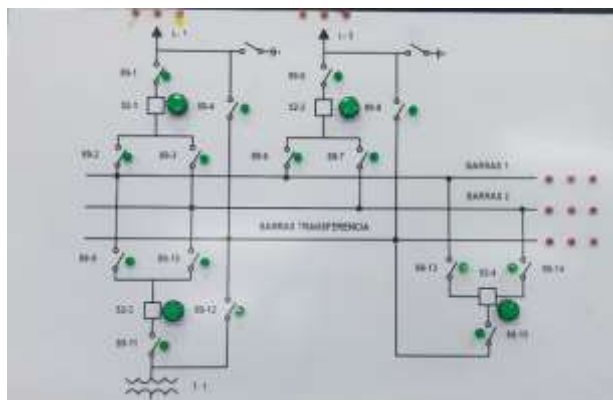


Figura 3. Panel frontal del prototipo.
Fuente. Ríos Tapia, (2025).

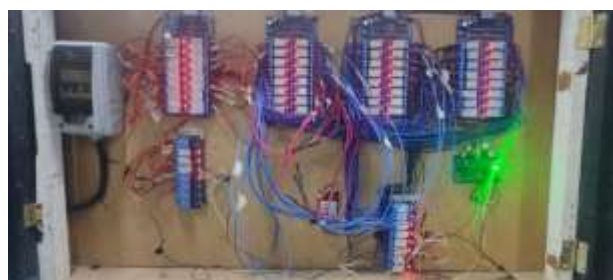


Figura 4. Panel posterior del prototipo.
Fuente. Ríos Tapia, (2025).

Desarrollo de software e interfaz gráfica de usuario

El Microcontrolador PIC16F877A, programado en lenguaje BASIC, se emplea para controlar la apertura y cierre de relevadores que emulan interruptores de potencia y seccionadores (cuchillas). La operación se realiza desde una interfaz gráfica (GUI) mediante botones virtuales, los cuales envían comandos al microcontrolador a través de un módulo Bluetooth HC-05.

Comunicación y Transferencia de Datos

- La conexión entre la computadora y el PIC16F877A se establece mediante comunicación serial asincrónica.

- El enlace inalámbrico se logra con el módulo Bluetooth HC-05, permitiendo la transmisión de datos para activar/desactivar los interruptores en el prototipo físico.
- El diagrama de flujo que describe el funcionamiento del programa se muestra en la Figura 5.

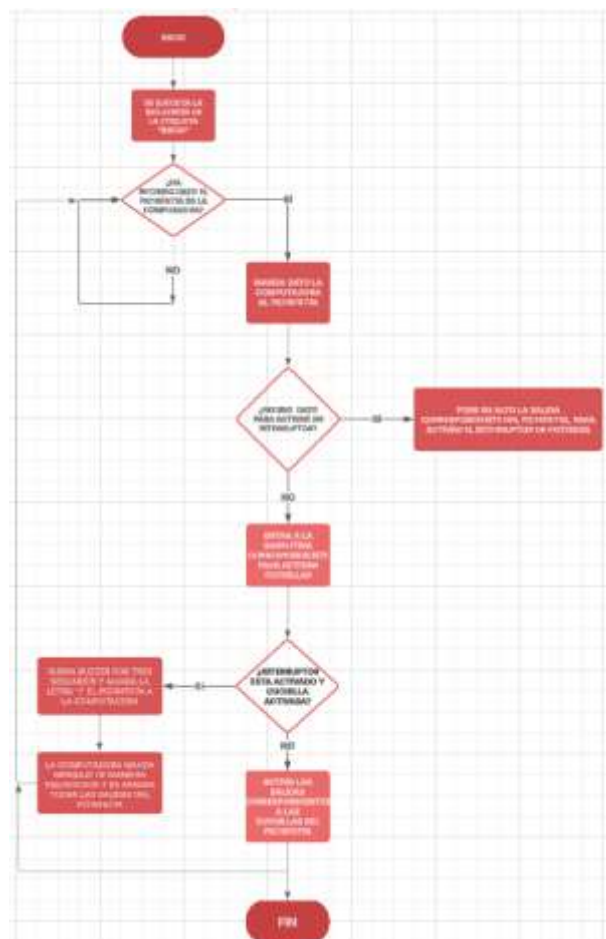


Figura 5. Diagrama de flujo programa microcontrolador PIC16F877A.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Comunicación con la GUI mediante LabVIEW

La interfaz gráfica de usuario (GUI) se desarrolla en LabVIEW, un entorno de programación gráfica basado en el lenguaje visual "G". Este lenguaje emplea un enfoque de flujo de datos, donde la programación se realiza mediante la conexión de objetos visuales en un diagrama, en lugar de escribir código tradicional.

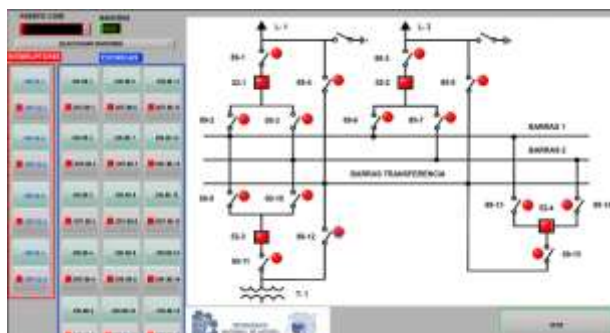
Estructura de LabVIEW

- Panel frontal (Figura 6 (a)):

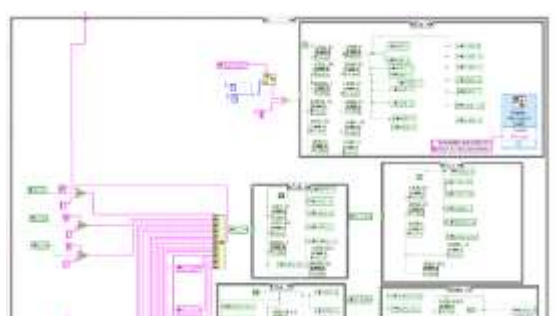
- Contiene los elementos visuales (botones, indicadores, gráficos) para la interacción del usuario.

2. Diagrama de bloques (Figura 6 (b)):

- Alberga la lógica del programa, representada mediante iconos interconectados que definen el flujo de datos.



(a)



(b)

Figura 6. (a) Panel frontal (b) diagrama de bloques.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

La interfaz desarrollada consta de dos secciones de botones, la primera sección se diseña para controlar los 4 interruptores de potencia del esquema previamente mencionado.

Distribución y funcionalidad interruptores

Total, de botones: 8 (dos por cada interruptor).

Funcionalidad:

- 1 botón para abrir (ON) el interruptor.
- 1 botón para cerrar (OFF) el interruptor.

Esta disposición se ilustra en la Figura 7.



Figura 7. Sección botones de interruptore.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

La segunda sección de la interfaz incluye 30 botones, destinados al control de apertura y cierre de los 15 seccionadores (cuchillas) del sistema.

Distribución y Funcionalidad seccionadores

- Total, de cuchillas: 15 (esquema de doble barra + barra de transferencia).

Botones por cuchilla: 2 (1 para apertura, 1 para cierre). Véase Figura 8.



Figura 8. Sección botones de seccionadores.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Por otro lado, la interfaz posee un menú desplegable para que el usuario seleccione la maniobra que requiera. En total se tienen 9 maniobras, de las cuales tres se encuentran deshabilitadas, ya que se requiere que se realicen algunas maniobras en específico como primer paso (ver figura 9).



Figura 9. Maniobras disponibles,
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Para configurar la comunicación entre el microcontrolador y la interfaz, se selecciona el puerto virtual COM, asignado al módulo bluetooth y la velocidad de transmisión de datos (baudios), la cual debe ser de 9600 (ver figura 10).



Figura 10. Selección puerto COM y velocidad de transmisión,
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

El panel de control de la GUI completa se muestra en la figura 11.

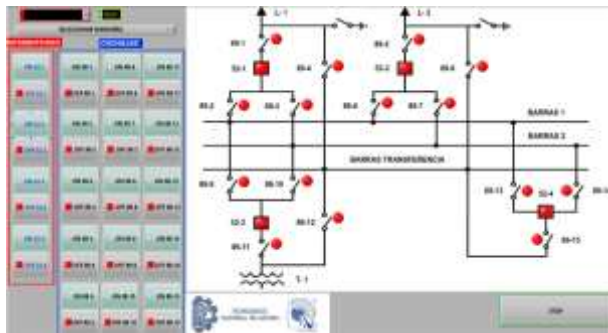


Figura 11. Panel frontal completo de la interfaz.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Para facilitar el uso del sistema (GUI) en cualquier computadora sin requerimientos previos de software, se realiza la creación de un paquete ejecutable (.exe) autónomo que incluye:

- La aplicación desarrollada en LabVIEW.
- Controladores necesarios para comunicación serial.
- Componentes para interfaz Bluetooth

Para instalar el programa, se ejecuta el archivo llamado “install”, seguir las instrucciones del asistente de instalación, el sistema queda listo para la comunicación con el PIC16F877A vía bluetooth (ver figura 12).



Figura 12. Instalador programa.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en la operación y funcionamiento del prototipo.

Antes de iniciar las pruebas, es fundamental seguir la secuencia correcta de conexión:

1. Conexión inicial:

- Primero cerrar los seccionadores (cuchillas) correspondientes a la maniobra seleccionada
Nota técnica: Los seccionadores no pueden operar bajo carga
- Posteriormente, cerrar los interruptores de potencia
Fundamento: Estos dispositivos cuentan con mecanismos de extinción de arco eléctrico, por lo tanto, pueden operar con carga.

2. Procedimiento de desconexión:

- Primero abrir los interruptores de potencia.
- Posteriormente abrir los seccionadores.

La primera maniobra que se realiza con el prototipo completo es “CONECTAR Y DESCONECTAR L1 A BARRA 1” (ver figura 13).



Figura 13. Maniobra seleccionada.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Configuración inicial:

Se instalaron dos bancos de lámparas en configuración estrella:

- Primer banco: Conectado a la salida de Barra 1.
- Segundo banco: Conectado a la salida de Línea 1.

Secuencia operativa (conexión):

Activación de seccionadores:

- Cierre del seccionador 89-1
- Cierre del seccionador 89-2
- Cierre del interruptor 52-1 (última etapa de la secuencia).

Procedimiento completo:

1. La maniobra se inicia verificando el estado de todos los dispositivos en posición abierta.
2. Se ejecuta la secuencia en el orden establecido para garantizar la seguridad del sistema.
3. Cada paso se realiza con intervalos de verificación (Se comprueba que el relevador en el prototipo haya sido activado (cerrado), lo cual se puede observar y confirmar si la luz piloto correspondiente esta encendida).

Activación del Seccionador 89-1

Interfaz Gráfica (GUI):

- Se ilumina una línea virtual en el diagrama.
- Un LED virtual cambia de estado (Figura 14).

Prototipo Físico:

- La luz piloto del seccionador 89-1 se enciende (Figura 15).

Proceso Repetitivo para Seccionador 89-2 e Interruptor 52.1.

El mismo comportamiento se replica durante la activación de:

- Seccionador 89-2 → Confirmación visual en GUI y prototipo.
- Interruptor 52.1 → Retroalimentación gráfica y física.

Estado Final del Sistema

Una vez completada la secuencia:

- Línea 1 queda conectada a Barra 1 (Figura 16).

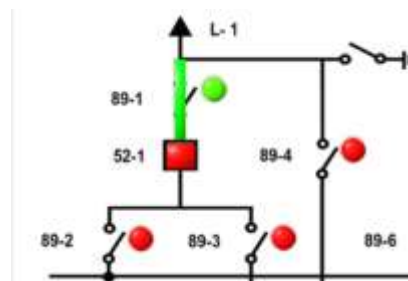


Figura 14. Seccionador 89-1 cerrado en la interfaz,
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

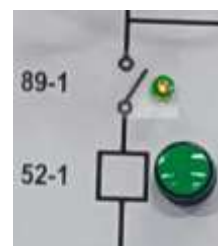


Figura 15. Seccionador 89-1 cerrado en el prototipo.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

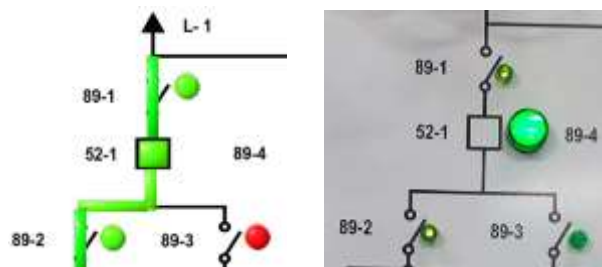


Figura 16. Maniobra completa en prototipo e interfaz.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Para que la línea 1 quede energizada, se debe conectar el transformador 1 a la barra 1, que es la siguiente maniobra a realizar “CONECTAR Y DESCONECTAR T1 A BARRA 1” (ver figura 17).



Figura 17. Conectar transformador 1 a barra.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Secuencia de operación:

- Operar seccionador 89-9 (cierre).
- Operar seccionador 89-11 (cierre).
- Operar interruptor 52-3 (cierre).

Indicadores de estado:

En la GUI:

- Líneas de conexión cambian a color verde.
- LED's virtuales se activan

En el prototipo físico:

- Luces piloto verdes se encienden (Figura 18)

Verificación de energización:

1. Barra 1 y Línea 1 quedan energizadas.
2. Las lámparas conectadas a la línea correspondiente deben encender (Figura 19)

Validación operativa:

El cambio de color a verde en todos los indicadores confirma:

- Conexión exitosa de los seccionadores.
- Correcta energización del circuito.
- Funcionamiento adecuado de las protecciones

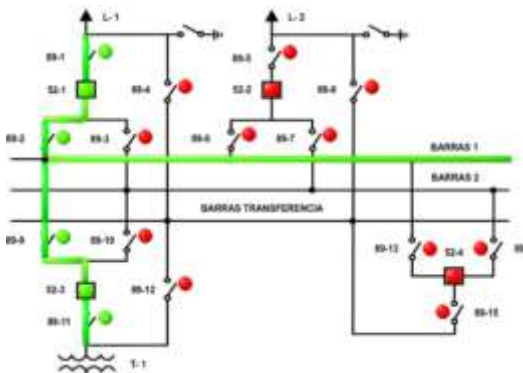


Figura 18. Línea 1 y barra 1 energizada en la interfaz,
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

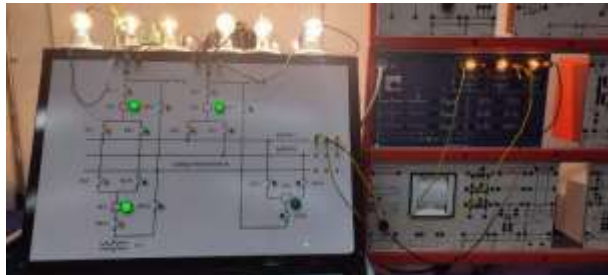


Figura 19. Línea 1 y barra 1 energizada en el prototipo físico.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

Procedimiento de Desconexión del Sistema

1. Desenergizar la Línea 1.

Secuencia operativa (orden inverso al de conexión):

- Apertura del interruptor 52-1 (protección principal).
- Apertura del seccionador 89-2.
- Apertura del seccionador 89-1.

Verificación de estado:

- Línea 1 queda completamente desenergizada.
- Las lámparas conectadas se apagan.
- Barra 1 mantiene su energización.

2. Desconexión del Transformador 1

Procedimiento seguro:

- Apertura del interruptor 52-3.
- Apertura del seccionador 89-11.
- Apertura del seccionador 89-9.

Notas técnicas:

- La secuencia inversa garantiza la seguridad operativa.
- Cada paso debe confirmarse visualmente en la GUI y prototipo físico.
- El orden estricto previene arcos eléctricos y sobretensiones.

Estados finales:

- Transformador 1 completamente aislado.
- Barra 1 sigue energizada (listo para próximas operaciones).
- Todo el sistema en condición segura.

Prevención de Maniobras Incorrectas en el Sistema Fundamento técnico:

Los interruptores de potencia están diseñados para operar bajo carga, mientras que los seccionadores (cuchillas) solo deben manipularse en condiciones de circuito abierto. Una secuencia incorrecta (activar primero interruptores y luego seccionadores) generaría:

- Arco eléctrico peligroso.
- Daños físicos al equipo.
- Riesgo operacional

Sistema de protección del prototipo:

Detección automática:

- La GUI y el sistema físico monitorean continuamente la secuencia de operación

Acciones ante error:

- Activación de alarma sonora (zumbador por 3 segundos).
- Mensaje visual en GUI: "Maniobra incorrecta - Repetir el procedimiento" (Figura 20).
- Desconexión automática de todos los dispositivos activos.

Reinicio seguro:

- El sistema se restablece a condición inicial.
- Permite reiniciar la maniobra correctamente

Características clave del sistema:

- Respuesta inmediata ante errores de secuencia.
- Protección integral del equipo.

A continuación, se expone una secuencia de maniobra incorrecta de conexión de interruptores y seccionadores:

1. Conectar interruptor 52-1
2. Conectar seccionador 89-1
3. Conectar seccionador 89-2

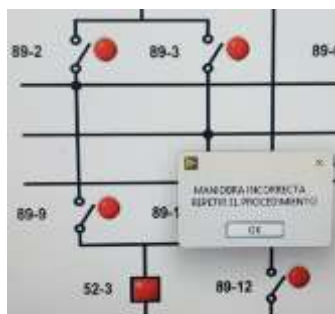


Figura 20. Mensaje de alarma maniobra incorrecta,
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

CONCLUSIONES

Efectividad de la solución implementada:

El sistema integrado (GUI + prototipo físico) demuestra un funcionamiento óptimo al: Sincronizar perfectamente las operaciones virtuales y físicas, responder adecuadamente a las maniobras de:

- Conexión/desconexión de interruptores y seccionadores.
- Energización/desenergización de: Barras 1 y 2, líneas de salida L-1 y L-2

Mecanismos de seguridad:

Detección automática de secuencias incorrectas, con un sistema de alerta compuesto por: Alarma sonora (zumbador), Mensaje visual de error y bloqueo preventivo del sistema.

Valor educativo:

El prototipo constituye una herramienta pedagógica efectiva para comprender los esquemas de barras en subestaciones, aprender los protocolos correctos de operación de interruptores de potencia, manipulación de seccionadores y visualizar las consecuencias de maniobras incorrectas.

Implementación académica:

Como se observa en la Figura 20, el equipo está siendo utilizado exitosamente por estudiantes de Ingeniería Electromecánica en el marco de la asignatura de Subestaciones Eléctricas para reforzar el aprendizaje teórico-práctico.

Beneficios adicionales:

- Reduce riesgos en el aprendizaje de operaciones reales.
- Permite la repetición segura de maniobras
- Facilita la comprensión de flujos de energía.

A diferencia del simulador propuesto por González Sancho Eladio [5], este prototipo incorpora una sinergia entre la simulación de maniobras en el esquema de barras y la parte física, lo que permite observar cómo se energizan y desenergizan tanto las barras como las cargas conectadas, facilitando así una mejor comprensión de los procedimientos realizados.

Por su parte, el sistema desarrollado por Jiménez [7] consiste en un módulo didáctico de barra simple con transferencia, que también integra la simulación con la parte física. Sin embargo, su esquema de barras es el menos empleado en subestaciones eléctricas. Además, Jiménez utiliza un sistema de PLC para la automatización, el cual resulta más costoso que un microcontrolador.



Figura 21. Equipo utilizado en práctica.
Fuente. Ruiz Ramírez, (2025).

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México campus Zacatepec, al departamento de Metal Mecánica, por haber otorgado las facilidades para trabajar y realizar pruebas en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MATULIC, Iván. Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia. RevActaNova [internet], jun. 2003. [consultado el 27 de marzo de 2025]. Vol. 2, N°. 2, 2003. 208-215, Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892003000100005&lng=es&nrm=iso
- [2] Jorge Lozano González, Luis Francisco Vázquez Calvillo, Leticia Neira Tovar (2021). Sistemas de simulación en realidad virtual para entrenamiento de subestaciones eléctricas – un panorama general. Pistas Educativas [Internet]. Jul 2012 [consultado 20 de marzo de 2025]. 468-487p Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pista/article/view/2730>.
- [3] Jesús Trashorras Montecelos. Subestaciones Eléctricas. 1ª edición. España: Paraninfo. 2015. 387p.
- [4] Yanza Zamora, A. J. Desarrollo de un sistema de entrenamiento para operación de subestaciones eléctricas, orientado a operadores de subestaciones de CELEC EP - TRANSELECTRIC, utilizando el entorno de programación LabVIEW [tesis en internet]. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional; 2021 [consultado 20 de marzo de 2025]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21396>
- [5] González Sancho, Eladio. Simulador de subestaciones eléctricas 2.0. [tesis en internet]. Valladolid: Universidad de Valladolid; 2014 [consultado 10 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/12995>.
- [6] Lajara Vizcaino José Rafael, Pelegrí Sebastia José. Entorno gráfico de programación. 3a Edición. España: Marcombo. 2017. 537p.
- [7] Jiménez Espinosa Juan Pablo. Diseño y construcción del funcionamiento de un módulo didáctico de subestación de barra simple con transferencia para la visualización de variables eléctricas mediante sistema Scada en el laboratorio de electromecánica de la universidad técnica de Cotopaxi, periodo 2014. [tesis en internet]. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi; 2016 [consultado el 21 de enero de 2025]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2976>
- [8] Xue, Z., Gao, W., Li, X., Wu, W., Research on Operation, Repair and Simulation Training Method of Electrical Equipment in Substation Based on Virtual Reality Technology. Journal of Physics: Conference Series 1345, 62035, 2019.
- [9] Ayala García, A., Galván Bobadilla, I., Arroyo Figueroa, G., Pérez Ramírez, M., Muñoz Roman, J., Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines. Virtual Reality [internet], enero 2016. 20(1), 27–40, disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-015-0280-6>

- [10] P. N. A. Barata, M. R. Filho and M. V. A. Nunes, "Consolidating Learning in Power Systems: Virtual Reality Applied to the Study of the Operation of Electric Power Transformers," in IEEE Transactions on Education, [internet], nov. 2015 vol. 58, no. 4, pp. 255-261, disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7027870>
- [11] Bruce Mihura. LabView for data acquisition. Pearson Education. 1ª edición. Estados Unidos de America: Prentice Hall. 2001. 460p.
- [12] Les Johnson. Proton PIC BASIC Compiler.

Tabla de Roles de Contribución

Rol	Autor (es)
Conceptualización	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> José Alfonso Santana Camilo
Curación de datos	Enrique López Chávez
Metodología	José Efraín Ruiz Ramírez
Administración del proyecto	José Efraín Ruiz Ramírez
Recursos	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> Martín Ríos Tapia
Software	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> José Alfonso Santana Camilo
Supervisión	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> Enrique López Chávez
Validación	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> Enrique López Chávez, <igual> José Alfonso Santana Camilo, <igual> Martín Ríos Tapia
Visualización	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> Martín Ríos Tapia
Redacción	<igual> José Efraín Ruiz Ramírez, <igual> Enrique López Chávez, <igual> José Alfonso Santana Camilo



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.