

**Desarrollo de un prototipo de transferencia eléctrica automática para energizar una  
planta**

Juan Diego Archbold Garcia

Asesor

Erik Miguel Barrios Montes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

2025

## **Dedicatoria**

A Dios sobre todas las cosas, por la vida, todas sus bendiciones y darme fortaleza.

A mi abuela Blanca Ruíz por cuidarme desde el cielo, por todos los consejos que dio en vida para motivarme y llegar hasta aquí, por todo el apoyo que me dio para hacer las cosas bien, por todos los valores que me inculcó para ser quien soy hoy en día.

A mi madre María García por todo su apoyo incondicional, por estar siempre para mí, por hacerme crecer como persona y siempre mostrarme lo mejor de la vida a pesar de todos los obstáculos que vienen con ella.

A mi padre Mauricio Archbold por sus consejos y todo el apoyo que me dio para salir adelante.

A Alejandra García por estar siempre para mí cuando lo necesité y por sus consejos para no darme por vencido en los malos momentos y seguir de pie.

A mis profesores por trasmitirme sus conocimientos y ayudarme en todo este proceso académico y personal.

## Resumen

Este proyecto desarrolla el diseño y construcción de un prototipo de sistema de interruptor de transferencia automática (ATS) para uso industrial, para proporcionar una fuente de energía ininterrumpida garantizando un suministro eficiente de energía eléctrica a un nivel de media tensión en casos de fallo de la red principal.

El sistema propuesto se centra en el uso de lógica cableada, controladores lógicos programables (PLC), algoritmos de control automático y todo implementado en una solución final que permite capturar interrupciones de línea en la red, energizar las redes de respaldo en el mismo instante, así como controlar y optimizar el proceso de conmutación.

El desarrollo se llevó a cabo utilizando un modelo cuantitativo-experimental en el que se incluyeron, desde el diseño conceptual hasta la simulación y prueba de concepto de la solución. Un prototipo de trabajo diseñado a escala que simula el funcionamiento de una planta industrial con la adición de un PLC Siemens LOGO! 2402SW, contactores electromecánicos de 9 A y una luminaria que sirve como carga simulada. Esta configuración permitió probar la lógica de transferencia automática de energía en un rango limitado.

Los hallazgos obtenidos sugieren que el sistema propuesto podría mejorar la eficiencia energética y reducir las facturas de electricidad, así como mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible, en particular, el ODS 7 Energía asequible y no contaminante.

**Palabras clave:** Transferencia automática, PLC, Energía Industrial, Sistema Eléctrico Inteligente, Automatización.

## Abstract

This project develops the design and construction of a prototype automatic transfer switch (ATS) system for industrial use, to provide an uninterruptible power source, ensuring an efficient supply of electrical energy at a medium voltage level in the event of a main grid failure.

The proposed system focuses on the use of hard-wired logic, programmable logic controllers (PLCs), automatic control algorithms, all implemented in a final solution that captures line interruptions in the grid, energizes backup networks at the same time, and controls and optimizes the switching process.

The development was carried out using a quantitative-experimental model that included everything from conceptual design to simulation and proof of concept of the solution. A working prototype designed to scale simulates the operation of an industrial plant with the addition of a Siemens LOGO! 2402SW PLC, 9 A electromechanical contactors, and a luminaire serving as a simulated load. This configuration allowed testing the automatic power transfer logic over a limited range. The findings suggest that the proposed system could improve energy efficiency and reduce electricity bills, as well as enhance the reliability of the power supply, contributing to the Sustainable Development Goals, particularly SDG 7: Affordable and Clean Energy.

**Keywords:** Automatic transfer switch, PLC, Industrial Energy, Intelligent Power System, Automation.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	9
Justificación.....	10
Objetivos .....	14
Objetivo General .....	14
Objetivos Específicos .....	14
Marco de referencia .....	15
Marco Conceptual.....	15
Sistema Automático de Transferencia de Energía (ATS) .....	15
Controlador Lógico Programable (PLC).....	15
Automatización de Procesos Industriales.....	16
Lógica Cableada .....	16
Generador de Respaldo .....	17
Regulaciones y Políticas Energéticas en Colombia.....	17
Contexto Local .....	17
Marco teórico.....	19
Metodología.....	20
Recolección de Información y Diseño del Sistema .....	20
Recolección de información y diseño del sistema .....	21
Componentes y Elaboración del Prototipo. ....	24
Programación del PLC y Simulación del Sistema .....	26
Enfoque .....	29

Resultados .....	30
Funcionamiento de los Modos de Operación .....	31
Funcionamiento del Sistema: .....	37
Recursos utilizados .....	42
Conclusiones.....	43
Referencias Bibliográficas .....	44

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Listado de los Principales Elementos Eléctricos Utilizados.....</i>	23
<b>Tabla 2</b> <i>Listado de Entradas de los Selectores de Operación y las Salidas que Controlan los Contactores.....</i>	28
<b>Tabla 3</b> <i>Listado de Pruebas de Confiabilidad del Sistema de Transferencia Automática ..</i>	40
<b>Tabla 4</b> <i>Presupuesto Estimado para la Implementación del Prototipo.....</i>	42

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Fases Metodológicas del Proyecto</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Disposición de Planos Electricos en el Programa Cade SIMU</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Disposición de Programación en Ladder en el Programa LOGO SOFT</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Montaje de Componentes en el Tablero</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Tablero de Transferencia Automática de Energía Eléctrica en Operación</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Selector de Modo (Automático/Manual)</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Luces Piloto de Estado</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Selector de Modo (Red/Gen)</i> .....	34
<b>Figura 9</b> <i>Relé de Control</i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>PLC Siemens LOGO</i> .....	36
<b>Figura 11</b> <i>Contactores de Control</i> .....	36
<b>Figura 12</b> <i>Carga o Planta Energizada</i> .....	37

## Introducción

La continuidad del suministro eléctrico es un factor vital en la industria, donde un solo corte no solo puede afectar la eficiencia del trabajo, sino también causar daños en el equipo y poner en riesgo la seguridad de los procesos. Debido a las dificultades inherentes con los sistemas de transferencia de energía manuales y semiautomáticos, la necesidad de soluciones automatizadas para transferencias de energía, que proporcionen una respuesta rápida y efectiva a las fallas de la red, se ha vuelto evidente.

Este trabajo presenta el diseño de una aplicación del sistema de Interruptor de Transferencia Automática (ATS), buscando ofrecer una solución técnicamente viable para industrias que necesitan continuidad operativa y fiabilidad energética. Primero se realizó una caracterización exhaustiva de los requisitos actuales y problemas del manejo de energía las 24 horas, lo que describió el enfoque técnico basado en tecnología reciente para aumentar la eficiencia y fiabilidad del sistema. Su propósito no es solo mejorar la calidad de la energía, sino apoyar el desarrollo general de comunidades más robustas y sostenibles. La continua I+D de este sistema debería tener un papel importante en la forma en que una ciudad podría gestionar su infraestructura energética enfocada en un enfoque más sostenible y eficiente.

A continuación, se describe el marco de referencia, que explica las nociones básicas, etc., que sustentan el proyecto. Luego, se proporciona la metodología de diseño, configuración e instalación del sistema. Después se muestran los resultados obtenidos por las pruebas realizadas y se incluyen las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

## **Justificación**

Las razones para la necesidad de utilizar un sistema de transferencia eléctrica automática están respaldadas por numerosos problemas básicos. En primera instancia, funciona como una herramienta fuerte para reducir los riesgos de recorte del suministro eléctrico, no solo para apoyar la continuidad de los flujos de producción, sino también para evitar un gran impacto económico. El cambio automático, entre la red eléctrica y los generadores secundarios, permite operar en los tiempos de conmutación preservando el equipo y extendiendo su vida útil (Bravo Salvatierra & Cepeda Ushca, 2021).

Además, la máquina también elimina el tiempo de inactividad no productivo al activar la energía de respaldo lo antes posible, un requisito importante y crítico para aplicaciones industriales que dependen de una producción ininterrumpida. De acuerdo con la naturaleza técnica, tal vez el tiempo promedio de interrupción sin el uso de ATS sea de 3 a 5 minutos, lo que significa un gran riesgo en industrias de procesos continuos como el procesamiento de alimentos. Además, hace que la intervención operativa del personal sea más eficiente, ya que ya no tienen que arrancar manualmente un generador, por lo que su tiempo puede dedicarse a actividades más estratégicas (Curo Rimache, 2021).

Asimismo, el monitoreo y análisis en tiempo real no solo mejoran la confiabilidad del sistema, sino que también permiten la predicción de fallas, lo que puede hacer que la gestión de recursos energéticos sea más efectiva: reducir el daño por sobrecarga y reducir las pérdidas en máquinas eléctricas (hasta un 40% para el sistema sin el respaldo adecuado).

Todo esto, a través del despliegue de tal sistema se eleva la eficiencia a nivel operativo y, al mismo tiempo, se salvaguardan los recursos industriales, permitiendo la

maximización del rendimiento total de la empresa (Bravo Salvatierra & Cepeda Ushca, 2021).

Por lo tanto, la necesidad es clara para la construcción y demostración de un sistema de transferencia de energía automática a nivel de prototipo funcional simulando bajo condiciones controladas. Es importante enfatizar que este proyecto no está destinado a ser un sustituto de los sistemas industriales a gran escala, sino más bien a demostrar la viabilidad técnica de un enfoque portátil en entornos de bajos recursos.

### **Planteamiento del problema.**

En entornos industriales, la continuidad del suministro eléctrico es esencial para el funcionamiento fluido de los procesos de producción en áreas industriales. Sin embargo, las interrupciones no planificadas o las perturbaciones en la red eléctrica pueden resultar en caídas de energía, pérdidas financieras severas y daños en el equipo conectado. Aunque existen generadores de respaldo, la transferencia desde la red eléctrica principal al generador no siempre se realiza de manera fluida, lo que a veces puede causar tiempos de inactividad y afectar negativamente las operaciones (Ángel Illesca & Guin Quinde, 2022).

Pero muchos sistemas de transferencia de energía son operados manualmente o por sistemas semi-automatizados en la actualidad, los cuales no pueden lograr una respuesta rápida a las fallas de la red. Esto puede resultar en un tiempo de conmutación más largo y, con una sincronización adecuada, puede exponer al riesgo de sobrecargas y al peligro de que el equipo se destruya. Además, la ausencia de comunicación en tiempo real y análisis predictivo restringe el conocimiento y la predicción de fallas y el mantenimiento programado, socavando la fiabilidad del sistema eléctrico (Bravo Salvatierra, & Cepeda Ushca, 2021).

Por lo tanto, se desea un control inteligente que pueda asegurar la transferencia automática y eficiente de electricidad entre la fuente de generación de energía de respaldo y la red de servicios públicos, para identificar oportunamente las fallas de la red, encender un generador de reserva de manera oportuna, optimizar el tiempo de conmutación y minimizar las influencias que causa en el trabajo del equipo conectado a la red. La comunicación en tiempo real y el análisis de datos predictivo son igualmente importantes para mejorar la fiabilidad y eficiencia del sistema para garantizar un suministro de energía constante y

estable. Cabe mencionar que el objetivo de este trabajo no es cubrir sistemas a escala industrial, sino demostrar que son técnicamente viables como solución.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un sistema automatizado de monitoreo y control para optimizar la eficiencia y reducir costos operativos en entornos industriales.

### **Objetivos Específicos**

Desarrollar un prototipo de sistema de control inteligente que gestione la transferencia de energía entre generadores de respaldo y la red eléctrica principal, utilizando lógica cableada y algoritmos de control automático.

Implementar un mecanismo de detección de fallos en la red eléctrica principal que permita activar el generador de respaldo de manera rápida y eficiente, asegurando una transición sin interrupciones.

Evaluar la fiabilidad y eficiencia del sistema a través de pruebas en entornos industriales simulados, recopilando datos para ajustar y mejorar el sistema antes de su implementación a gran escala.

## **Marco de referencia**

El presente capítulo presenta los fundamentos teóricos y técnicos que sustentan el desarrollo del sistema de transferencia automática de energía. Inicialmente, se aborda un marco conceptual que define los conceptos fundamentales para la ejecución del presente proyecto. Posteriormente, se desarrolla el marco teórico con base en investigaciones y proyectos previos, que permiten fundamentar desde el punto de vista teórico las estrategias y métodos implementados.

### **Marco Conceptual**

#### **Sistema Automático de Transferencia de Energía (ATS)**

Permite cambiar automáticamente de la red pública a un generador cuando falla el suministro eléctrico, el que se incluye un módulo de control que arranca, mide y protege el generador, y, al mismo tiempo, se sincroniza con la red externa con el fin detectar un fallo en el suministro eléctrico. Este sistema es esencial en instalaciones que requieren un suministro ininterrumpido, ya que elimina la necesidad de intervención manual y permite que el generador se active automáticamente y proporcione energía, puesto que, todos los parámetros se pueden monitorear y configurar a través de un cable de comunicación a una computadora (Cucchia, 2024).

#### **Controlador Lógico Programable (PLC)**

Es el componente central en los sistemas automatizados de control, responsable de ejecutar las secuencias de conmutación y supervisión los parámetros eléctricos, en otras palabras, es un sistema electrónico que tiene memoria programable, en este contexto, se diseña la programación de tal forma que, este, monitore, recolecte y maneje el procedimiento de transferencia automática de energía, activando generadores de emergencia y asegurando la correcta operación de los interruptores de potencia que

gestionan las cargas esenciales y no esenciales, lo cual garantiza el fluido eléctrico (Guin Quinde & Angel Illesca, 2022).

### **Automatización de Procesos Industriales**

Se refiere al uso de tecnología para controlar y supervisar operaciones sin intervención humana, dentro de las herramientas más utilizadas se incluye: el uso de controlador lógico programable-PLC y sistemas SCADA- Supervisión, Control y Adquisición de Datos, los cuales para este contexto son útiles para manejar automáticamente la transferencia de energía y otros procesos críticos en industrias y servicios esenciales, mejorando la eficiencia y reduciendo el riesgo de fallos humanos, todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, por lo que, le permite al operador supervisar los dispositivos, como son los controladores, sensores, actuadores, registradores, etc (Guin Quinde & Angel Illesca, 2022).

### **Lógica Cableada**

Hace referencia a un tipo de control industrial en el que los componentes eléctricos, como relés, contactores y temporizadores, se conectan físicamente mediante cables para realizar una secuencia de operaciones. Cada dispositivo está cableado de manera que su funcionamiento está predeterminado por el diseño eléctrico del sistema, lo que significa que, para modificar el comportamiento de la máquina o sistema, es necesario realizar cambios físicos en el cableado. Cabe resaltar que, esta técnica ha sido reemplazada en gran medida por sistemas como los PLC debido a la mayor flexibilidad, capacidad de programación y mantenimiento simplificado (Paredes & Bravo, 2024).

## **Generador de Respaldo**

Es un dispositivo de emergencia que proporciona energía cuando falla el suministro de la red principal. Este tipo de generadores se utiliza en sistemas donde la continuidad del suministro es crítica, como en laboratorios y gasolineras. El generador se activa automáticamente por el ATS, garantizando que la instalación pueda seguir operando sin interrupciones. Los generadores pueden ser monofásicos o trifásicos, dependiendo de las necesidades de la instalación, en este sentido, un generador monofásico puede adaptarse para suministrar energía trifásica a equipos que lo requieran, permitiendo una integración del generador con la red eléctrica existente, garantizando así el suministro de energía (Paredes & Bravo, 2024).

## **Regulaciones y Políticas Energéticas en Colombia**

En el contexto colombiano, la implementación de tecnologías para la automatización energética se enmarca en los lineamientos de la Ley 1715 de 2014, que promueve la integración de fuentes no convencionales de energía al Sistema Energético Nacional, y establece incentivos para sistemas eficientes y sostenibles. También aplica el CONPES 3934 (Crecimiento Verde), que estimula el desarrollo tecnológico para mitigar impactos ambientales, y la Ley 2099 de 2021, que actualiza el marco regulatorio para consolidar la transición energética del país.

## **Contexto Local**

El municipio de Santiago de Tolú tiene una larga historia de inestabilidad eléctrica y una mayor dependencia de los combustibles fósiles, lo que resulta en una alta vulnerabilidad energética. Además, su naturaleza insular coloca al servicio en un estado de limitación en términos de su conexión con las redes interconectadas continentales, donde el sistema está expuesto a causas naturales (huracanes, tormentas eléctricas) que hacen que el

servicio sea más vulnerable. En tal contexto, la solución ya disponible para instalaciones automáticas de sistemas de respaldo energético ya no es solo una cuestión técnica, se convierte en una realidad estratégicamente esencial para la seguridad operativa de plantas industriales y tecnologías críticas. Por lo tanto, los autores creen que el sistema propuesto proporciona continuidad eléctrica y evita el daño a los equipos, protegiendo la cadena de producción, así como en la toma de decisiones respaldada por datos reales. Es aquí donde un proyecto como este, diseñado bajo tales condiciones, se vuelve aún más significativo; un paso hacia la autonomía energética a mediano plazo y la transición hacia formas de tecnología más sostenibles, según el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Energía Asequible y No Contaminante.

## Marco teórico

A través de la presente sección explica cómo diferentes investigaciones encontraron que mantener sistemas automatizados de transferencia de energía es necesario en áreas críticas como estaciones de servicio, centros médicos, industrias y plantas de proceso. En las estaciones de gasolina, la aplicación de PLC ha reducido significativamente los costos porque garantiza la activación del generador cuando realmente es necesario, así como el monitoreo en tiempo real, Guin Quinde y Ángel Illesca (2022).

Curo Rimache (2021) también analiza sistemas con interruptores de acoplamiento de bus que incluyen la posibilidad de elegir cargas seleccionadas que darían prioridad en la restauración del servicio solo en áreas seleccionadas según sea necesario. Este enfoque de nivel de prioridad energética se revisa en el presente trabajo para mejorar aún más la eficiencia operativa.

Paredes y Bravo (2020a) presentan un sistema híbrido de control automático y arranque remoto que permite invertir energía monofásica en trifásica, lo cual es una característica muy importante al tratar con cargas de alta demanda sin modificar la cuadrícula cuadrada. Esta adaptabilidad en la tecnología es clave en áreas con infraestructura deficiente. Asimismo, Ruiz Cavel (2021) enfatiza la importancia de los sistemas de inversores de red automatizados para garantizar la estabilidad del suministro en centros de innovación tecnológica y el efecto de la continuidad energética en la competitividad regional y la innovación.

## **Metodología**

Este capítulo describe la metodología cuantitativa y empírica empleada para llevar a cabo el proyecto de diseño, construcción y validación de un prototipo funcional de un sistema de interruptor de transferencia automática (ATS) para simular procesos industriales.

El método seguido comprendió algunos pasos sucesivos en los cuales:

- Se recopilaron especificaciones tecnológicas.
- Se seleccionaron y unieron componentes eléctricos.
- Se elaboraron planos y diagramas del sistema.
- Finalmente, se programó el controlador y se seleccionó el software

LOGO!CONTROL de Siemens.

Posteriormente, se realizaron pruebas y simulaciones en el laboratorio para corroborar la lógica de conmutación automática, junto con la respuesta en caso de fallos en la red de comunicación, incluyendo el tiempo de conmutación y la robustez operativa, ver señalización visual.

## **Recolección de Información y Diseño del Sistema**

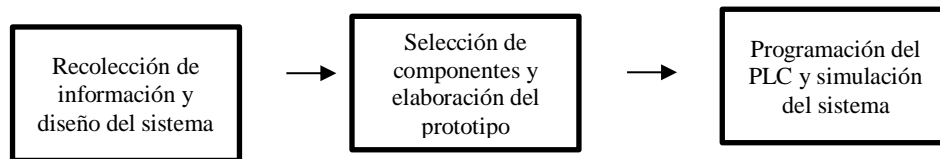
### **Diseño**

Con la finalidad de cumplir con los objetivos previamente estipulados se diseñó la metodología teniendo en cuenta los lineamientos descritos en la literatura, específicamente en la investigación de Paredes, S & Bravo K. (2024). El presente proyecto se abordará basado en un enfoque cuantitativo y experimental, orientado a la implementación y optimización de un sistema automatizado de monitoreo y control energético en entornos industriales a modo general. La metodología está diseñada para evaluar la eficiencia energética y reducir costos operativos mediante la integración de tecnologías de

automatización tales como: PLC, lógica cableada y control. Las fases fueron las siguientes (Figura 1):

### **Figura 1**

#### *Fases Metodológicas del Proyecto*



*Nota.* Autoría propia.

### **Recolección de información y diseño del sistema**

Inicialmente, se revisó la base teórica y estándar del sistema automático de conmutación de energía (especialmente cómo funciona el sistema, qué aplicaciones cubre y cómo elegir el sistema). En términos de cuestiones regulatorias, se consideraron documentos técnicos como la NTC 2050, de acuerdo con el NEC (dentro de los Estados Unidos de América) y el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) como pautas para la correcta instalación, seguridad y operación de sistemas de respaldo y transferencia eléctrica en Colombia. Estas regulaciones han sido instrumentales para garantizar la seguridad, confiabilidad y adherencia técnica del sistema en estudio.

Adicionalmente, se discutieron varios tipos de transferencias, incluidas las transferencias manuales, automáticas, con retardo y sin retardo, para dilucidar cómo funcionan y cuándo se utilizan. El cambio manual es operado manualmente por un operador y se utiliza en sistemas de distribución simples donde el retraso en la restauración del suministro no es una prioridad. El cambio inmediato sin interferencia humana es

proporcionado por la transferencia automática, lo cual es crítico para aplicaciones que necesitan un suministro continuo. Los esquemas de transferencia con retardo están diseñados para introducir un tiempo de espera intencional para evitar conmutaciones basadas en fallas momentáneas, mientras que los esquemas de transferencia sin retardo intentan una respuesta rápida a fallos. Esta evaluación permitió decidir el mejor tipo de transferencia para el prototipo, donde se tuvo en cuenta la confiabilidad y protección del equipo de carga adjunto.

También se analizaron las propiedades de los componentes eléctricos más utilizados en tales sistemas y el estudio detallado de cómo pueden ser utilizados adecuadamente en estos sistemas: contactores, relés, temporizadores, fuentes de alimentación y más controladores lógicos programables (PLC) y describiendo cómo funcionan, cómo pueden ser programados y cómo podemos conectarlos a otros dispositivos.

**Tabla 1***Listado de los Principales Elementos Eléctricos Utilizados*

Elemento	Función Principal	Ventajas	Limitaciones	Compatibilidad PLC
Contactor	Conmutación de carga	Robusto, fácil de instalar	Ruido eléctrico, desgaste	Alta
Relé	Lógica de control	Económico, versátil	Limitado en corriente	Media
Temporizador	Control por tiempo	Precisión, control automático	Requiere configuración manual	Alta
Fuente De Alimentación	Proveer voltaje estable al sistema	Estabilidad, protección interna	Puede fallar sin respaldo	Alta
PLC Siemens Logo!	Controlador lógico programable	Flexible, programable	Costo, requiere conocimiento	Total

*Nota:* Para facilitar el análisis, se elaboró una tabla comparativa con los principales elementos eléctricos utilizados en sistemas de transferencia automática, evaluando sus funciones, ventajas, limitaciones y compatibilidad con el PLC seleccionado. Del Autor.

Con base en la información recopilada, se definieron los requerimientos funcionales del prototipo y se procedió al diseño de los planos eléctricos, diagramas de conexión y distribución de los elementos, asegurando que el sistema cumpliera con criterios de seguridad, operatividad y facilidad de implementación a escala experimental.

### **Componentes y Elaboración del Prototipo.**

#### ***PLC***

**Modelo.** Siemens LOGO! 2402SW

**Entradas/Salidas.** 120-240VAC (entradas digitales y salidas relé).

#### ***Contactador***

**Modelo.** Contactador CHINT 9A 110V AC

**Especificaciones.** 9 A NO, NC auxiliar 110 V 50/60 Hz

#### ***Relé***

**Modelo.** REF:VRPL08-110VAC

**Especificaciones.** Tensión de operación 110-240VAC

#### ***Luces Piloto***

**Tipo.** LED o incandescentes.

**Tensión de Operación.** 110-240VAC.

#### ***Tipo de Alimentación***

**Rango.** 110-240VAC.

**Protección.** Fusibles o disyuntores adecuados para la protección de circuitos.

#### ***Visualización***

**Luces Piloto.** Verde 1 (Red comercial), Verde 2 (Generador).

**Indicadores.** Panel de control con luces que indiquen el estado del generador y de la red comercial.

***Selector de Modo***

**Tipo.** Selector de posición (automático/manual).

**Especificaciones.** Dos posiciones, 10VAC.

***Selector de Fuente***

**Tipo.** Selector de posición (generador/red comercial).

**Especificaciones.** Mismo tipo que el anterior.

***Instrumentación***

**Sistema de Adquisición.** Incorporado en el PLC.

***Protocolo de Comunicación***

**Lógica Cableada.** Utilizar cableado de control para interconectar todos los dispositivos (cableado de alimentación y señales).

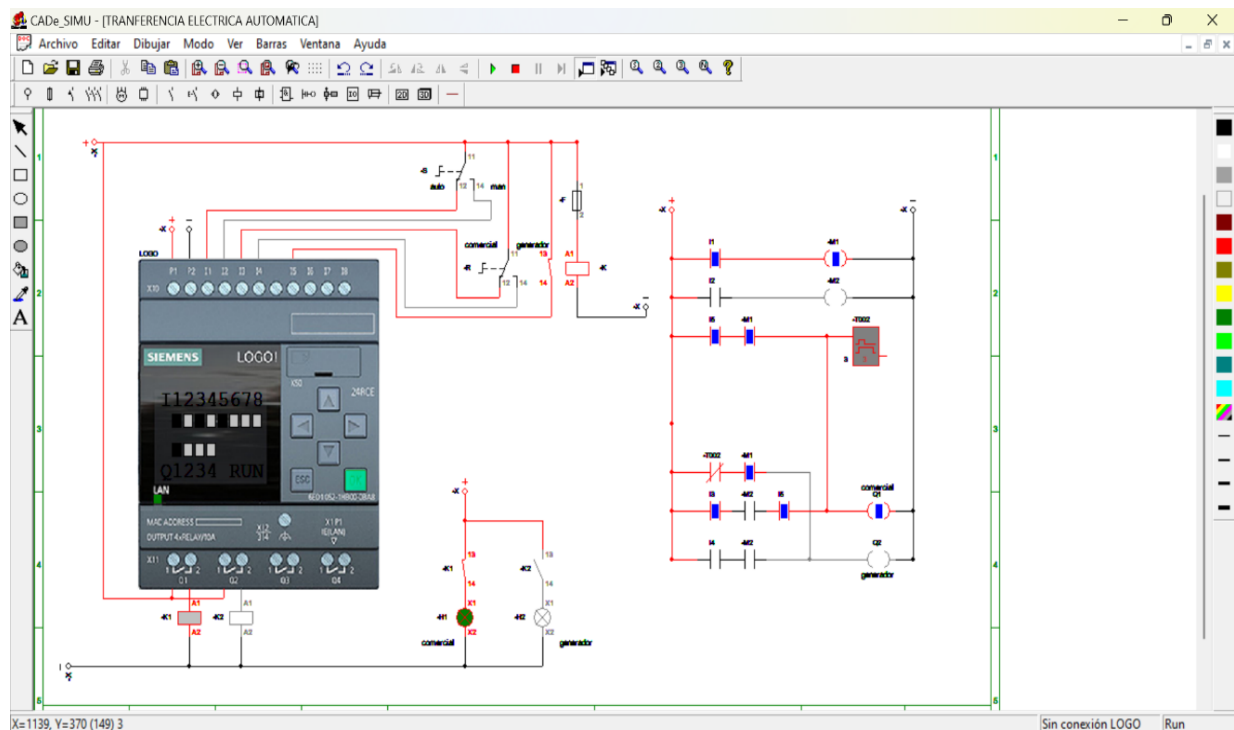
**Conexiones:** Asegurarse de que las conexiones estén bien etiquetadas y protegidas.

***Otros Componentes***

**Soporte Físico.** Caja de control para el PLC y componentes eléctricos.

**Documentación.** Esquemáticos eléctricos, manuales de operación.

Adicionalmente, como parte práctica de la metodología se comprueba la funcionalidad de la lógica de control realizada con un PLC Siemens LOGO!, junto con los contactores, luces piloto y selectores para elegir entre dos fuentes de alimentación, se ven reflejada en la simulación, el rojo representa los conductores que llevan corriente en ese momento evidenciando el estado activo del sistema, mientras que el negro representa los enlaces "inactivos". Esta parte, proporciona la posibilidad de confirmar el diseño y la acción correctos del circuito, de modo que el sistema automático tenga la eficiencia esperada. En la figura 2 se proporciona un diagrama del esquema eléctrico para el sistema de transferencia a automática (ATS) desarrollado en Cade SIMU.

**Figura 2***Disposición de Planos Electricos en el Programa Cade SIMU*

*Nota.* Autoría propia.

### Programación del PLC y Simulación del Sistema

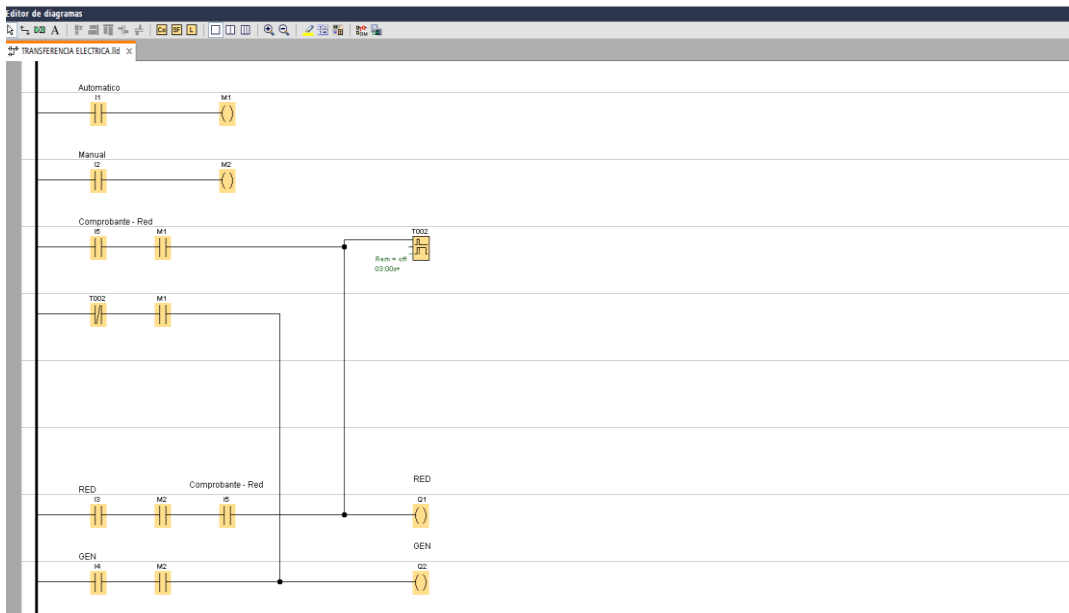
Para la construcción del sistema, se seleccionaron contactores, protecciones térmicas, pulsadores, luces piloto, relés y un PLC LOGO! de Siemens para crear un panel de trabajo. El montaje se realizó en un banco de madera, representando un tablero de control para aplicaciones prácticas.

De acuerdo con lo anterior, los modos de operación manual y automático de LOGO! también se configuraron en el software Soft Comfort. Las simulaciones permitieron verificar la operación lógica del sistema antes del desarrollo del sistema físico. Los operadores podían acceder a ellas a través de la interfaz del PLC para realizar modificaciones en línea. El programa de lógica de escalera creado en LOGO! se muestra en

la figura 3 Software Soft Comfort, relacionado con el sistema de transferencia automática, esta figura representa la lógica de control utilizada para controlar el cambio entre la red eléctrica y otro (generador) según los estados de cada fuente y el modo de trabajo (manual o automático) establecido. La lógica se basa en las entradas digitales provenientes de los selectores de operación y las que muestran el estado de disponibilidad de las fuentes eléctricas, y en las salidas que controlan los contactores que cierran el polo (tabla 2). Además, se utilizan temporizadores para proporcionar un cambio seguro (suave) para prevenir transiciones bruscas entre fuentes.

### Figura 3

#### *Disposición de Programación en Ladder en el Programa LOGO SOFT*



*Nota.* Autoría propia.

El programa utiliza las siguientes variables (tabla 2):

**Tabla 2**

*Listado de Entradas de los Selectores de Operación y las Salidas que Controlan los Contactores.*

Etiqueta / Nombre	Descripción	Tipo	Función en el sistema
Automático	Selector de modo automático	Entrada (I)	Habilita el funcionamiento automático del sistema.
Manual	Selector de modo manual	Entrada (I)	Permite conmutar manualmente entre fuentes.
Estado de Red	Indica disponibilidad de la red eléctrica	Entrada (I)	Informa si la red principal está activa.
Estado de Planta	Indica disponibilidad de la planta eléctrica	Entrada (I)	Informa si la fuente alterna está activa.
RED	Salida para activar el contactor de la red	Salida (Q)	Conecta la red principal al sistema.
GEN	Salida para activar el contactor del generador (planta eléctrica)	Salida (Q)	Conecta la planta eléctrica al sistema.
TT1 / TT2	Temporizadores (retardo de seguridad)	Temporizador	Introducen retardo para evitar conmutaciones instantáneas.

*Nota.* Esta tabla muestra las entradas de los selectores de operación y las salidas implementadas en el prototipo. Del *Autor*.

Luego, se ensamblaron todos los componentes eléctricos en el tablero, conectando los circuitos de fuerza y control según los planos. Se integró el PLC para gestionar la conmutación automática entre la red y la planta eléctrica, simulada por una fuente alterna.

Finalmente, Se realizaron pruebas de funcionamiento bajo diferentes condiciones simuladas, como la pérdida de energía de red y la activación del generador. Se verificó la respuesta del sistema, la activación de los contactores, la señalización mediante luces piloto y el encendido de una carga representativa (bombillo).

### **Enfoque**

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo y experimental, orientado a evaluar la eficiencia operativa y energética de un sistema automatizado de transferencia eléctrica implementado en un entorno simulado. Este enfoque permite analizar de forma objetiva variables numéricas, como el tiempo de respuesta ante fallos, la eficiencia del consumo energético, la confiabilidad del sistema y los costos operativos antes y después de la intervención tecnológica.

El proyecto se desarrolla a partir de la integración de tecnologías de automatización como el PLC, la lógica cableada y dispositivos de monitoreo en tiempo real, con el objetivo de garantizar la continuidad energética y mitigar riesgos operativos en instalaciones industriales. La recolección de datos se efectuará mediante instrumentos de medición eléctrica y registro en campo, simulando escenarios de fallos en la red principal y evaluando la respuesta del sistema.

## Resultados

Se presenta la implementación y prueba del prototipo de sistema automático de transferencia eléctrica, para evaluar y evidencia su funcionamiento en tanto en el modo de operación (manual como automático), destacando la capacidad del PLC para detectar fallos de red y conmutar de forma eficiente hacia la planta eléctrica sin intervención del operador. Las pruebas realizadas demostraron una respuesta efectiva ante la pérdida del suministro, con reconexiones rápidas al restablecerse la red, así como una señalización clara mediante luces piloto que facilitó la supervisión del estado del sistema. Además, se validó la lógica de programación en el software LOGO! Soft Comfort, confirmando la coherencia de las condiciones implementadas y la estabilidad operativa del sistema durante múltiples ciclos consecutivos. La aplicabilidad del prototipo, aunque diseñado a escala reducida, se proyecta como una solución escalable y adaptable a sistemas industriales reales, lo que respalda su potencial para mejorar la continuidad energética y la eficiencia operativa en instalaciones críticas.

Por su parte, el montaje físico de los componentes eléctricos del sistema de transferencia automática (figura 4) se presenta sobre una base de madera, que simula un tablero de control. Se observa la disposición organizada de los elementos sobre un riel DIN, el cual permite fijar dispositivos de forma estandarizada. En la parte inferior se visualizan los canales porta cables (RAC), por donde se realiza el tendido del cableado eléctrico de forma ordenada y segura. En estos canales se alojan los conductores que interconectan los diferentes dispositivos del sistema, minimizando interferencias y facilitando el mantenimiento.

Entre los elementos montados se encuentran:

Interruptores termomagnéticos, encargados de la protección de los circuitos.

Un PLC Siemens LOGO!, que actúa como unidad central de control del sistema.

Contactor(es), utilizados para la conmutación de las fuentes de energía.

Relés y borneras, para facilitar la distribución de señales y la conexión entre circuitos.

Una fuente de alimentación (en color amarillo), que suministra energía al PLC y a los elementos de control.

#### **Figura 4**

*Montaje de Componentes en el Tablero.*



*Nota. Autoría propia.*

#### **Funcionamiento de los Modos de Operación**

En cuanto a este aspecto, el sistema respondió de forma adecuada tanto en modo automático como en modo manual. En modo automático, el PLC identificó la pérdida del suministro de red eléctrica y realizó la conmutación hacia la planta (simulada) sin

intervención del operador. En modo manual, permite al usuario seleccionar manualmente la fuente de energía mediante los pulsadores del tablero.

### Figura 5

*Tablero de Transferencia Automática de Energía Eléctrica en Operación.*



*Nota.* Autoría propia.

Como resultado del desarrollo del proyecto de sistema de transferencia automática de energía, se logró construir un tablero de control funcional que permite conmutar de forma segura entre la red eléctrica principal y una planta generadora. En la figura 5 se evidencia el tablero finalizado, el cual incluye:

El selector que le permite al usuario poner el sistema en modo automático o manual (figura 6). En el modo automático el sistema operará de manera autónoma para gestionar el

cambio entre la red comercial y el generador de emergencia. Mientras que en el modo manual el usuario puede elegir si alimentar la planta con la red comercial o el generador, independientemente de las fallas de energía.

### **Figura 6**

*Selector de Modo (Automático/Manual)*



*Nota.* Autoría propia.

Asimismo, las luces pilotos para indicar el estado de la fuente de energía (figura 7) una luz indica si la red comercial está activa y la otra luz indica si el generador de emergencia está en funcionamiento. El selector permite al usuario controlar en el modo manual entre la red y el generador (figura 8). Adicionalmente, en la figura 9, se evidencia el relé de control, cuya función en el sistema es vigilar o supervisar el estado de la red comercial. Si hay una falla, el relé transmite una señal al PLC.

**Figura 7***Luces Piloto de Estado*

*Nota.* Autoría propia.

**Figura 8***Selector de Modo (Red/Gen)*

*Nota.* Autoría propia.

**Figura 9***Rele de Control*

*Nota.* Autoría propia.

Finalmente, en la figura 10, se observa el PLC que es el encargado de controlar todo el proceso. Está programado para detectar fallas en la red comercial, activar el temporizador interno cuando se detecta una falla para hacer la transferencia automática entre la red comercial y el generador de emergencia y controlar las luces piloto para indicar cuál fuente de energía está activa. Por su parte, en la figura 11 se observan dos contactores de control de control: uno para conectar la red comercial y otro para conectar el generador de respaldo, estos contactores controlan físicamente qué fuente de energía está alimentando la planta. Ahora bien, con el fin de comprobar que la planta esta energizada correctamente el sistema posee un indicador (figura 12) que al encenderse da un indicador positivo en el sistema, ya sea a partir de la red comercial o del generador de emergencia.

**Figura 10**

*PLC Siemens LOGOz*



*Nota. Autoría propia.*

**Figura 11**

*Contactores de Control*



*Nota. Autoría propia.*

## Figura 12

*Carga o Planta Energizada.*



*Nota.* Autoría propia.

### **Funcionamiento del Sistema:**

#### ***Modo Automático***

##### A. Condición Normal:

- Si la red comercial está funcionando correctamente, la planta está energizada sin interrupciones. El PLC monitoriza constantemente el estado de la red.

- Las luces piloto indican que la red comercial está activa.

##### B. Falla en la Red Comercial:

- Si el relé de control detecta una falla en la red comercial, le enviara una señal al plc para activa un temporizador interno de 3 segundos. Durante este tiempo, la planta se des energiza temporalmente.

- Después de estos 3 segundos, el sistema realiza la transferencia automática al generador de emergencia.

- El generador empieza a suministrar energía a la planta, lo que se indica mediante la luz piloto del generador.

- Si la red comercial se restablece durante este proceso, el sistema realiza la transferencia automática sin necesidad de temporizador y reestablece la energía de manera inmediata desde la red comercial.

### ***Modo Manual***

#### **A. Selección de Fuente de Energía:**

- Cuando el sistema está en modo manual, el usuario tiene control completo sobre la fuente de energía. Puede seleccionar entre la red comercial o el generador de emergencia.

- Si se selecciona la red comercial y ocurre una falla en esta, la planta se desenergiza completamente.

- En este caso, el operador debe encender el generador de emergencia manualmente o cambiar el sistema al modo automático para que el PLC ejecute el proceso de conmutación.

#### **A. Respuesta ante falla de red**

Durante las pruebas, se simuló la pérdida de energía de la red eléctrica. El sistema detectó el evento y activó automáticamente la transferencia hacia la planta eléctrica, encendiendo la carga (bombillo) sin interrupciones mayores. Al restablecerse la red, el sistema volvió a transferir la carga hacia la fuente principal de forma segura.

#### **B. Visualización y señalización**

Las luces piloto integradas al tablero permitieron una supervisión sencilla del estado del sistema, indicando claramente qué fuente estaba activa y en qué modo operaba el sistema. Esto mejoró la interacción del operador con el prototipo.

### C. Validación de la programación en PLC

El programa desarrollado en el software LOGO! Soft Comfort cumplió con los parámetros de funcionamiento previstos. Las condiciones lógicas se cumplieron en cada transición, validando la lógica cableada implementada en combinación con el PLC. Esto se evidenció mediante pruebas funcionales en banco, donde el sistema respondió correctamente ante la simulación de fallos en la red eléctrica, activando el generador de respaldo de forma automática. Asimismo, los indicadores luminosos, el retardo de transferencia y la reconexión a la red comercial operaron según lo programado, confirmando la correcta ejecución de la lógica diseñada.

### D. Estabilidad y confiabilidad del sistema

La Tabla 1 presenta un resumen detallado de las pruebas de confiabilidad efectuadas al sistema de transferencia automática. En ella se observa la ejecución de cinco pruebas bajo diferentes modos de operación (automático y manual), variaciones en el estado de la red y del generador, así como tiempos programados para validar el comportamiento del sistema ante eventos de transferencia de carga.

En cada prueba se documenta considerando el modo de operación, estado de la red, estado del generador, tiempo programado en segundos, el resultado esperado, el resultado obtenido, y finalmente las observaciones que complementan el análisis de cada escenario. Las pruebas abarcan desde cortes y restablecimientos del suministro eléctrico, hasta la conmutación hacia el generador de respaldo, con tiempos de respuesta controlados y condiciones preestablecidas. (Tabla 3).

**Tabla 3***Listado de Pruebas de Confiabilidad del Sistema de Transferencia Automática*

Prueba	Modo de operación	Estado de la red	Estado del generador	Tiempo programado en (s)	Resultado esperado	Resultado obtenido	Observaciones
1	Automático	OFF	ON	3	Conmutación a GENERADOR después de 3 s	Correcto	Luz encendida desde planta
2	Automático	ON	ON	0	Conmutación inmediata a RED	Correcto	la señal luminosa indicó la reconexión a la red
3	Manual	OFF	Selección directa	0	Activación manual según selector	Correcto	Selector GEN activa salida correspondiente
4	Automático	--	ON	3	Conmutación automática a GENERADOR	Correcto	Tiempo de retardo respetado
5	Automático	ON	OFF	3	Retorno inmediato a RED	Correcto	Se prioriza la red sin fallos

*Nota.* Esta tabla muestra las pruebas de confiabilidad implementadas al prototipo. Del

Autor-

### E. Aplicabilidad en entornos industriales

Aunque el prototipo fue desarrollado a pequeña escala, su funcionamiento confiable permite plantear futuras mejoras orientadas a su uso en entornos más exigentes. Entre las proyecciones destacadas se encuentra su posible adaptación a sistemas trifásicos, el uso de componentes de mayor capacidad, y la integración de monitoreo en tiempo real. También se considera relevante optimizar la lógica de transferencia y realizar pruebas con cargas reales, con el fin de validar su comportamiento ante condiciones industriales. Estas mejoras permitirían escalar el sistema y aumentar su robustez para aplicaciones de mayor complejidad

**Tabla 4**

*Presupuesto Estimado para la Implementación del Prototipo.*

Recurso	Descripción	Presupuesto (Pesos Col)	
Equipo Humano	Tecnólogo en electrónica	n/a	
Equipos y Software	LOGO2402SW	\$ 920.000	
	LOGO! Soft Comfort 8.4.	\$ 300.000	
	Generador de emergencia 100KVA (Luminaria)	\$ 20.000	
Viajes y Salidas de Campo	Visitas al lugar	n/a	
Materiales y suministros		\$ 27.000	
	2 SELECTOR DE MULETILLA 3 POSICIONES - CHINT	\$ 72.000	
	2 Contactor CHINT 9A 110V AC	\$ 20.000	
	2 LUZ PILOTO LED 22mm 110/230V EBCHQ / CHINT	\$ 50.000	
	1 RELEVO VRPL08-110VAC, 8 PINES, 2 CONTACTOS, 10A, 110Va REF:VRPL08-110VAC	\$ 27.000	
	9 BORNERA POR TONILLO 4mm2CABLE 22-10 AWG PASO 6.1 mm 1492-J4	\$ 10.000	
	RIEL OMEGA RANURADO X1MTS	\$ 30.000	
	CANALETA RANURADA 2X25 GRIS X 2MTS	\$51.800	
	Breaker 3 Polos-20A UL Serie NB1Breaker 1Breaker 1 polo 20A	\$ 19.000	
	CABLE FLEXIBLE THW18 AWG NEGRO 25MTS	\$ 23.750	
	Bibliografía	Bases de datos online	n/a
	TOTAL		\$1'570.550

*Nota.* Esta tabla representa los recursos y presupuestos necesarios para la ejecución del proyecto, Del Autor.

Se desarrolló un sistema de monitoreo y control para optimizar la eficiencia energética y reducir los costos operativos en entornos industriales. A través del diseño y construcción de un prototipo funcional con lógica cableada y programación en PLC, se comprobó que es posible garantizar la continuidad del suministro eléctrico mediante la transferencia automática entre la red comercial y un generador de respaldo.

Se implementó un mecanismo eficaz de detección de fallos en la red principal, que activa el respaldo de forma rápida, asegurando una transición fluida. Optimizando el tiempo de conmutación dentro del alcance funcional del prototipo, demostrando una respuesta oportuna ante fallas simuladas. Se evaluó la fiabilidad del sistema mediante pruebas en un entorno simulado, validando su correcto desempeño, estabilidad y aplicabilidad en escenarios reales.

Finalmente, es de resaltar que, este proyecto constituye una base sólida para futuras mejoras e implementaciones en entornos reales. Se sugiere, , incorporar funciones de monitoreo remoto, mejorar la interfaz de usuario, ampliar la capacidad del sistema para cargas mayores y realizar pruebas en condiciones industriales reales. Estas mejoras permitirían aumentar la confiabilidad, y eficiencia del sistema automatizado de transferencia eléctrica.

- Ackerman, S. E., & Com, S. L. (2013). *Metodología de la investigación*. Ediciones del Aula Taller. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/76246?page=31>
- Ángel Illesca, J. A., & Guin Quinde, J. J. (2022). *Sistema automático de transferencia de energía eléctrica para una gasolinera* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22654>
- Bravo Salvatierra, S. V., & Cepeda Ushca, J. R. (2021). *Diseño e implementación de transferencia de energía eléctrica para una planta industrial empleando el módulo de transferencias ubicado en el laboratorio de instalaciones industriales* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Córdoba, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos: Ciclo de vida de los proyectos*. <https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/69169?page=23>
- Cucchia Oliva, G. (2024). *Sistema automatizado para el control de suministro de planta eléctrica* [Tesis doctoral, Universidad Valle Momboy]. Facultad de Ingeniería Electrónica e Industrial, Universidad Valle Momboy.
- Curo Rimache, V. A. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de transferencia automática de energía eléctrica con interruptor de acoplamiento de barras para selección de cargas esenciales, monitoreo y control* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Facultad de Ingeniería Electrónica e Industrial, Universidad Tecnológica del Perú.
- Paredes Jaramillo, S. U., & Bravo Naranjo, K. A. (2024). *Desarrollo e implementación de un sistema de transferencia automático para la energía de respaldo durante fallas en el*

*suministro eléctrico* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana].

45

Facultad de Ingeniería Electrónica e Industrial, Universidad Politécnica Salesiana.

Ruiz Cavel, O. (2021). *Dimensionamiento y selección de un sistema de transferencia automático con inversor de redes para permitir el suministro eléctrico continuo en un centro de innovación tecnológica* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Facultad de Ingeniería Electrónica e Industrial, Universidad César Vallejo.