



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

**OPTIMIZACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE UNA RED
ETHERNET/IP INDUSTRIAL MEDIANTE LA
CONFIGURACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE
SWITCHES ADMINISTRABLES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:

DAVID GUTIÉRREZ RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS CUVAS CASTILLO

PACHUCA, HGO., MÉXICO 30 DE ENERO DE 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 11 de mayo de 2026

Número de control: ICBI-D/918/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UA EH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería en Electrónica **David Gutiérrez Ramírez**, quien presenta el trabajo de titulación "**Optimización y Estabilización de una Red Ethernet/IP Industrial mediante la Configuración y Estandarización de Switches Administrables**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Mtra. Marbella Rodríguez Salcedo

Secretario: Ing. Benigno Martínez Gutiérrez

Vocal: Dr. Carlos Cuvas Castillo

Suplente: Mtro. Francisco Germán Mejía Hernández

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184

Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001

direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Dedicatoria

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Gran parte de mis logros se los debo a ustedes, y este no es la excepción. Cada sacrificio que hicieron construyó el camino que hoy me permite alcanzar este éxito. Me enorgullece poder entregarles este logro como muestra de mi gratitud por ser mi motivación constante.

Los amo.

.

Agradecimientos

A mis padres, Erika Paula Ramírez Santana y Teobaldo Gutiérrez Cruz, por su amor infinito, su paciencia inagotable y su respaldo absoluto. Gracias por darme la libertad de elegir mi camino y por ser mi red de apoyo en cada paso que di hacia esta meta. Cada éxito que alcance en mi carrera profesional llevará siempre una parte de ustedes. Gracias por enseñarme a no rendirme nunca.

A Josué y María Sinaí. Saber que sus ojos están puestos en mí ha sido mi mayor motor de excelencia. Espero que este logro les sirva de prueba de que la dedicación vence cualquier obstáculo; este éxito es también para que ustedes se atrevan a soñar en grande.

A Adamary Roldán Carpio, por entender mis silencios y mis ausencias. Gracias por ser el refugio donde los tecnicismos descansan y por celebrar cada pequeño avance como si fuera propio. Tu apoyo ha sido el equilibrio que necesitaba para llegar a la meta. Te amo.

A mi gran amiga Mónica Liliana Ramos Hernández, por estar siempre presente cuando más necesitaba un respiro. Gracias por tu capacidad de escucharme, por tu paciencia y por brindarme siempre tus acertados consejos. Tu amistad ha sido un refugio invaluable y me siento afortunado de compartir esta alegría contigo.

A mi principal mentor académico, el Ing. Armando Vargas Alarcón. Más que un profesor, ha sido un mentor cuya visión transformó mi manera de entender la ingeniería. Gracias por elevar mi estándar de excelencia; sus enseñanzas trascienden las aulas y son el cimiento de mi futuro profesional.

A mis jefes y mentores, el Ing. Francisco Javier Maldonado Martínez y el Ing. Luis Alberto Cano Bustos, mi gratitud por la oportunidad de convertir la teoría en una solución real dentro de la empresa. Su confianza fue el puente entre el estudiante y el profesional.

A mis amigos y compañeros de la universidad, Israel Naranjo Huautla, José Gerardo Hernández Gómez, Alejandro Gutiérrez Luna y José Alfredo Alvarado Cortez. Gracias por transformar la presión académica en una experiencia compartida de crecimiento y risas. Lograr esto a su lado hizo que el camino valiera la pena.

Finalmente, expreso mi más profunda gratitud a mi asesor principal, el Dr. Carlos Cuvas Castillo, por su invaluable guía y por compartir los conocimientos que permitieron estructurar esta investigación. De igual manera, agradezco a mis sinodales: la Mtra. Marbella Rodríguez Salcedo, el Ing. Benigno Martínez Gutiérrez y el Dr. Francisco Germán Mejía Hernández, por su revisión exhaustiva y las atinadas observaciones que otorgaron el rigor académico definitivo a esta tesis.

Resumen

La continuidad operativa es vital en la industria. Cuando falla un equipo de control, como un variador de frecuencia, los paros de línea afectan de inmediato la productividad de la planta. Por ello, este trabajo propone una nueva metodología enfocada en optimizar el cambio de variadores dentro de una red.

El problema principal eran los tiempos muertos producidos durante un mantenimiento correctivo donde, sustituir y configurar un variador de forma manual tomaba alrededor de 40 minutos. Para darle solución a esto, se trabajó en la optimización de la red EtherNet/IP y su integración directa con los controladores lógicos programables (PLC).

El desarrollo práctico constó de tres etapas. Primero, se definieron las jerarquías topológicas de la red. Posteriormente, se estandarizó el *firmware* en los *switches* industriales administrables de la familia Stratix y, al final, se programaron estos dispositivos usando Studio 5000. Gracias a esta configuración, logramos habilitar la recuperación automática de parámetros cuando se conecta un equipo de reemplazo.

Tras implementar esta estandarización, el tiempo necesario para cambiar un variador cayó drásticamente de 40 a solo 8 minutos. Esta mejora no solo reduce las pérdidas por paros de producción, sino que simplifica enormemente el trabajo de las áreas de mantenimiento. La solución demuestra ser altamente viable y de gran valor operativo para la empresa.

Abstract

Operational continuity is vital in the industry. When a control device fails, such as a variable frequency drive, line stoppages immediately affect the plant's productivity. Therefore, this work proposes a new methodology focused on optimizing the replacement of drives within a network.

The main problem was the downtime caused during corrective maintenance, where manually replacing and configuring a drive took around 40 minutes. To solve this, work was done on optimizing the EtherNet/IP network and its direct integration with programmable logic controllers (PLCs).

The practical development consisted of three stages. First, the topological hierarchies of the network were defined. Subsequently, the firmware on the Stratix family managed industrial switches was standardized, and finally, these devices were programmed using Studio 5000. Thanks to this configuration, we were able to enable automatic parameter recovery when a replacement device is connected.

After implementing this standardization, the time required to replace a drive dropped drastically from 40 to only 8 minutes. This improvement not only reduces losses due to production stoppages but also greatly simplifies the work of maintenance departments. The solution proves to be highly viable and of great operational value for the company.

Índice de contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos.....	3
Resumen	4
Abstract	5
Índice de figuras	8
Índice de tablas	10
Lista de Acrónimos.....	11
Capítulo 1	12
Introducción	12
Planteamiento del problema	14
Estado del arte	15
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Capítulo 2	18
Marco teórico	18
Variador de frecuencia	19
Códigos de fallo	22
Switch industrial administrable	23
Capítulo 3	25
Metodología de reemplazo para un variador.....	25
Capítulo 4	32
Desarrollo.....	32
Paso 1: Asignación de jerarquías.....	34
Paso 2: Estandarización de firmware en switches Stratix	37
Paso 3: Programación de switches	39
Capítulo 5	42
Resultados	42
Nueva metodología para el reemplazo de un variador.....	42
Capítulo 6	47

Conclusiones	47
Trabajos futuros	48
Apéndices.....	49
Apéndice A.....	49
Apéndice B.....	51
Apéndice C.....	53
Apéndice D.....	58
Apéndice E.....	60
Referencias	61

Índice de figuras

Ilustración 1. Representación del sistema SCADA.....	12
Ilustración 2. Diagrama de conexiones.	20
Ilustración 3. Stratix 5400 (Allen-Bradley).	23
Ilustración 4. Red de switches.....	24
Ilustración 5. Logo Aplicación.....	25
Ilustración 6. Página de inicio.....	26
Ilustración 7. Dispositivos disponibles.	26
Ilustración 8. Selección de "Add To Project".	27
Ilustración 9. Desconexión de variador.	27
Ilustración 10. Selección de icono.	28
Ilustración 11. Selección de "Clear Path".	28
Ilustración 12. Descripción de parámetro P053.....	29
Ilustración 13. Descripción de parámetro C128.....	29
Ilustración 14. Desglose de parámetros IP.....	29
Ilustración 15. Desglose de parámetros Subred.....	30
Ilustración 16. Selección de "Download".	30
Ilustración 17. Seleccionar dispositivo.....	31
Ilustración 18. Verificación de estatus.	31
Ilustración 19. Extracto de topología.	32
Ilustración 20. Configuración de RPI para switches.	35
Ilustración 21. Configuración de RPI para red de sensores.	35
Ilustración 22. Configuración de RPI para variadores 755.	36
Ilustración 23. Configuración de RPI para variadores 525.	36
Ilustración 24. Firmware publicado por proveedor.....	37
Ilustración 25. Página de inicio de sesión.	37
Ilustración 26. Menú administrador.	37
Ilustración 27. Interfaz de actualización de software	38
Ilustración 28. Propiedades del equipo	38
Ilustración 29. Programación de Switches	39
Ilustración 30. Asignación de IP a Switch.....	39
Ilustración 31. Smartport role asignados	40
Ilustración 32. Configuración de conjunto.	41
Ilustración 33. Asignación de IP a puertos.	41
Ilustración 34. Habilitación de ADC.	41
Ilustración 35. Avería identificada.....	42
Ilustración 36. Identificar número de parte.	43
Ilustración 37. Desconexión del equipo.....	43
Ilustración 38. Retiro de equipo dañado.....	43
Ilustración 39. Colocar equipo nuevo.	44

Ilustración 40. Re-energización del equipo.	44
Ilustración 41. Estatus de falla.....	44
Ilustración 42. Ayuda en manual de Allen Bradley.	45
Ilustración 43. Apoyo de manual Allen Bradley.	45
Ilustración 44. Leyenda "BOOTP".	45
Ilustración 45. Información proporcionada en manual de Allen Bradley.	46
Ilustración 46. Restablecimiento completado.	46
Ilustración 47. Rectificador de diodos.....	49
Ilustración 48. Simulación de un rectificador chopper.	50
Ilustración 49. Ejemplo de un rectificador con tiristores.	50
Ilustración 50. Inversor 6 pasos.....	51
Ilustración 51. PLC MicroLogix.	55
Ilustración 52. PLC CompactLogix 5380.	56
Ilustración 53. PLC ControlLogix.	57

Índice de tablas

Tabla 1 Especificaciones eléctricas.....	20
Tabla 2 Códigos de fallo.....	58
Tabla 3 Roles de puerto disponibles.	60

Lista de Acrónimos

AC: Corriente Alterna (*Alternating Current*).

ADC: Configuración Automática de Dispositivos (*Automatic Device Configuration*).

AIC: Capacidad de Interrupción de Amperaje (*Ampere Interrupting Capacity*).

BOOTP: Protocolo de Inicio (*Bootstrap Protocol*).

CC / DC: Corriente Continua (*Direct Current*).

CCW: *Connected Components Workbench*.

CIP: Protocolo Industrial Común (*Common Industrial Protocol*).

DLR: Anillo a Nivel de Dispositivo (*Device Level Ring*).

EEPROM: Memoria de Solo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente.

EMI: Interferencia Electromagnética.

EtherNet/IP: Protocolo de red industrial basado en Ethernet.

GBIC: Convertidor de Interfaz Gigabit.

HMI: Interfaz Hombre-Máquina (*Human Machine Interface*).

IGBT: Transistor Bipolar de Puerta Aislada.

IP: Protocolo de Internet (*Internet Protocol*).

MAC: Control de Acceso al Medio (*Media Access Control*).

MES: Sistema de Ejecución de Manufactura (*Manufacturing Execution System*).

MOSFET: Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor.

PLC: Controlador Lógico Programable.

PWM: Modulación por Ancho de Pulso.

RJ45: *Registered Jack 45*.

RPI: Intervalo de Paquetes Solicitado (*Requested Packet Interval*).

SCADA: Control de Supervisión y Adquisición de Datos. (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

VFD: Variador de Frecuencia (*Variable Frequency Drive*).

VLAN: Red de Área Local Virtual. (*Virtual Local Area Network*)

Capítulo 1

Introducción

La presente tesis se desarrolla en una empresa multinacional, especializada en la fabricación de envases de aluminio y PET, que en México opera tres plantas dedicadas a la producción de latas de aluminio para bebidas como jugos, cervezas, aguas y refrescos.

La planta de Hidalgo, situada en el Fraccionamiento Industrial PLATAH, se distingue por su enfoque en la optimización de procesos mediante la implementación de sistemas automatizados. En sus tres líneas de producción, se emplean bandas transportadoras que conectan las diversas máquinas, facilitando el flujo continuo de materiales a lo largo de la cadena de fabricación.

La Ilustración 1 es una representación del sistema SCADA que integra una línea de producción de la planta. Esto permite identificar la distribución de equipos y la interconexión mediante bandas transportadoras, facilitando el entendimiento de la estructura general del proceso automatizado.

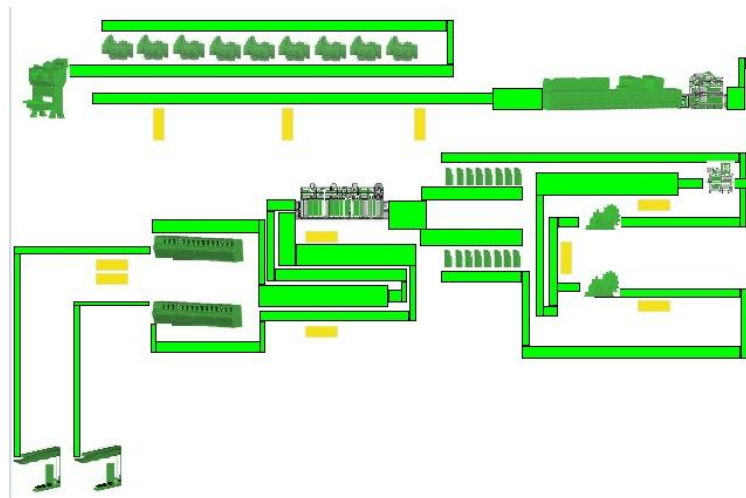


Ilustración 1. Representación del sistema SCADA.

Cada banda denotada en color verde está segmentada en zonas específicas, adaptadas a las características y requerimientos de cada etapa del proceso, como se puede apreciar en la Ilustración 1. Para garantizar un movimiento eficiente y controlado, se han ubicado estratégicamente los motores eléctricos en zonas específicas, los cuales se alimentan por variadores de frecuencia de la marca Allen-Bradley. Estos dispositivos permiten ajustar la velocidad de los motores de manera precisa, optimizando el consumo energético. La distribución de los variadores de frecuencia se organiza en paneles de control mostrados como recuadros amarillos, estratégicamente ubicados a lo largo de las líneas de producción, facilitando el monitoreo y la gestión del sistema de transporte, asegurando una operación fluida y una identificación rápida de fallas.

En cada uno de los paneles ubicados en las instalaciones, además de encontrar variadores, también se ubican switches de conmutación que se encargan de gestionar la comunicación entre los diversos variadores y el PLC (Programmable Logic Controller) principal. Si alguno de estos switches falla, interrumpiría la comunicación de no solo un variador, lo que puede ocasionar una falla en cadena donde se detenga todo el proceso, siendo esto una grave afectación a la producción.

La capacidad de producción de las instalaciones durante un turno de 12 horas puede ser de millones de latas. Sin embargo, dado que el producto es transportado a través de bandas, la detención prolongada de una de ellas puede provocar una interrupción en cadena del proceso productivo. Esta situación podría afectar de manera considerable el desempeño general.

Planteamiento del problema

En las instalaciones de la empresa, un corte de energía o una falla en la red presentan un problema serio. Al reenergizar las líneas, los variadores intentan establecer comunicación simultáneamente con el PLC, saturándolo de información. Esto genera un aumento en el tiempo de inicio de las líneas de producción. Una vez restablecida la operatividad, la etapa de control de los variadores puede experimentar fallos recurrentes a tierra, falla de comunicación o falla de microprocesador, estas fallas no solo se pueden presentar con un corte de energía, pues el uso constante de la maquinaria genera un desgaste en los componentes electrónicos, los cuales pueden verse comprometidos, causando las mismas alarmas.

Observando que, como respuesta a estas fallas, se interrumpe la optimización de procesos en los sistemas automatizados, el área de electrónicos ha tomado como medida reemplazar el variador afectado. Esta acción, además de tomarse un tiempo aproximado de 40 minutos, da como resultado afectaciones operativas y pérdidas valiosas en recursos.

Además, la operación continua de la planta genera una saturación en los switches principales, lo que provoca su reinicio automático, generando así afectaciones similares a las expuestas anteriormente (interrupciones en la comunicación, reinicio de equipos y pérdidas en la eficiencia operativa).

Identificados estos problemas, la meta principal de esta investigación es implementar acciones que permitan reducir los tiempos de respuesta por parte del área, con el objetivo de minimizar el impacto en la operación y garantizar la continuidad del proceso productivo.

Estado del arte

Las industrias que operan sistemas de producción en masa se enfrentan a mantener la continuidad operativa, la eficiencia y la estabilidad del sistema. Para lograr esto, es necesaria la integración de tecnologías para automatización y monitoreo en tiempo real. Un componente clave es el variador de frecuencia (VFD), un dispositivo que puede controlar la velocidad de los motores eléctricos, optimizando el consumo de energía y adaptándose a las necesidades del proceso [Rockwell Automation, 2024].

La lectura de tesis y manuales técnicos revela que la mayoría de los estudios se centran en aspectos específicos de la automatización y el control de motores, pero no abordan un entorno industrial real.

Investigaciones recientes, como la de [Cofré, 2019] analizan cómo mejorar la respuesta de la red mediante protocolos de enrutamiento. Aunque compartimos la base de que una red debe ser estable y estar bien segmentada, esta tesis se enfoca en la operación diaria. Por ello, es necesario activar la Configuración Automática de Dispositivos (ADC). El objetivo no es solo tener una red rápida, sino una red que ayude a reducir los tiempos de afectación.

La tesis “Implementación de una red de variadores de frecuencia en el laboratorio de operaciones unitarias para la automatización de equipos industriales” [Bonilla Díaz, 2010] aborda la integración de variadores de frecuencia mediante protocolos Modbus y Ethernet, gestionados a través de un PLC con fines de automatización didáctica. El proyecto tiene un enfoque académico, logrando una red operativa, pero no se encamina hacia la creación de estrategias para evitar fallos en la red ni a tolerar ambientes industriales.

La investigación de [Trelles Suárez, 2018], es una simulación de control de motores AC por medio de PLC y comunicación en tiempo real a través de Ethernet y Modbus que analiza curvas de velocidad y frecuencia, manteniéndose en un entorno simulado, sin aplicarlo en una producción industrial.

La tesis de [Balta Perales, 2010], habla sobre la selección de variadores como el Micromaster 440, estudia las propiedades de los variadores y motores para garantizar la funcionalidad. Aborda criterios de selección VFD (potencia, corriente, voltaje, torque), pero no tiene un enfoque en comunicación industrial, por lo que no considera los fallos operativos en planta real.

La revisión de tesis publicadas en el ámbito del control de motores mediante variadores de frecuencia, muestra que existen múltiples trabajos relacionados con la automatización y configuración de redes industriales; la mayoría de ellos están enfocados en laboratorio o simulaciones y con fines educativos. Proporcionan información necesaria sobre protocolos de comunicación, configuración de VFD y selección de equipos; sin embargo, no tratan las restricciones ni las condiciones operativas de los procesos industriales en funcionamiento continuo.

El manual del PowerFlex 525 Adjustable Frequency AC Drive contiene procedimientos para la instalación, diagnóstico de fallos y configuración de parámetros [Rockwell Automation, 2013]. Proporciona información sobre operación y mantenimiento de los variadores, pero no contiene información para respaldar automáticamente parámetros ni protocolos ante fallos de red, temas críticos en producción continua.

Aunque documentos como el de [Rockwell Automation & Cisco Systems, 2022] son una referencia para el diseño de redes y topologías, generalmente están limitados a la estructura del sistema. Este trabajo propone un cambio de perspectiva hacia la operatividad diaria: se aprovecha la infraestructura para implementar cambios basados en la función ADC. El objetivo es resolver un problema concreto que las guías de arquitectura no abordan: reducir drásticamente los tiempos muertos cuando se debe reemplazar un variador.

La documentación de los switches industriales Stratix explica funciones como Smartports, las cuales permiten asignar direcciones IP fijas a puertos específicos, colocando perfiles de seguridad [Rockwell Automation, 2017]. Estas funciones aportan una referencia para la configuración de redes en ambientes de automatización.

La literatura técnica y corporativa coincide en describir las capacidades de los variadores y redes industriales; mientras los manuales de fabricantes se enfocan en la operación estándar, las tesis revisadas son experimentales o académicas. La presente investigación, en cambio, busca integrar estas bases en un procedimiento operativo que reduzca significativamente los tiempos de paro en planta mediante respaldo automatizado, topologías administradas y ajustes de RPI (Requested Packet Interval) de acuerdo con estándares, para un arranque seguro en un entorno productivo real.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar mejoras en la estructura de comunicación del control de línea, modificando la topología de red y optimizando la configuración de arranque, para evitar pérdidas de comunicación inesperadas o tras una falla eléctrica general.

Objetivos específicos

- Emplear un arranque controlado en el sistema de transporte, mediante la programación de retardos temporizados entre cada equipo, para evitar sobrecargas y fallas simultáneas en los variadores, permitiendo una secuencia de encendido.
- Reorganizar la topología de la red de comunicación de los variadores, sustituyendo conexiones directas por una red estructurada con switches industriales, para garantizar una comunicación más estable, reduciendo interferencias y facilitando el diagnóstico de fallas.
- Minimizar el tiempo medio de sustitución de componentes críticos, automatizando la carga de parámetros del equipo reemplazado, para que la línea pueda volver a operar en el menor tiempo posible.

Capítulo 2

Marco teórico

Para corregir los problemas mencionados, reducir los tiempos de respuesta y garantizar la continuidad del proceso, es necesario contar con un conjunto de conocimientos que abarquen diversas áreas técnicas y operativas, tomando en cuenta que las instalaciones ya cuentan con una infraestructura instalada basada en la marca Allen-Bradley, y las modificaciones pertinentes que se realicen deben estar planeadas para este entorno.

Conocimientos en Electrónica de Potencia y Variadores

- **Variador de frecuencia (VFD):** Conocer los variadores de frecuencia (VFD) que están siendo utilizados, sus características, configuración y sistemas de protección.
- **Diagnóstico de fallos electrónicos:** Identificar fallas en los variadores y los sistemas electrónicos. Entender cómo los cortes de energía afectan a los componentes electrónicos y prevenir el daño.

Conocimientos en Redes de Comunicación Industrial

- **Protocolos de comunicación industrial (Ethernet/IP):** Para entender el proceso de comunicación entre varios dispositivos industriales dentro de una red.
- **Redes de control distribuido y PLCs:** Configuración de redes de control y cómo los PLC interactúan con variadores y otros equipos. Garantizar que la red de comunicación esté configurada para evitar fallos al encender varios dispositivos simultáneamente, conocer el funcionamiento básico de un PLC ControlLogix el cual se utiliza en las instalaciones, descrito en el Apéndice C.

Variador de frecuencia

La empresa tiene un sistema de bandas transportadoras que emplea variadores de frecuencia PowerFlex 525 para regular la velocidad, para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70% [ABB, 2024].

Un variador de frecuencia tiene que instalarse siempre entre el motor y la fuente de alimentación eléctrica, debido a su funcionamiento y uso, siendo el que controla el flujo de energía eléctrica hacia el motor. Esta configuración se puede apreciar en el diagrama de conexiones mostrado en la Ilustración 3, el cual es proporcionado por el mismo fabricante en su manual de usuario [Rockwell Automation, 2024].

Funcionamiento.

En la arquitectura de los variadores PowerFlex 520 [Rockwell Automation, 2024], el ciclo de regulación de frecuencia se ejecuta en cuatro pasos.

1. Convertir la alimentación de corriente alterna en corriente continua.
2. Suavizar la onda de CC obtenida en la etapa anterior.
3. Convertir la onda de CC en CA para energizar un motor.
4. Calcular la frecuencia que se necesita y repetir según sea necesario.

La manera de trabajo de un variador de frecuencia comienza con la rectificación de la señal de entrada e inversión a corriente directa; este proceso se explica en detalle en el Apéndice A. El proceso de inversión de corriente, para regular la frecuencia y tensión de salida hacia el motor, se desarrolla en el Apéndice B.

El PowerFlex de Allen-Bradley es un variador utilizado en planta para el control de motores de inducción en una amplia gama de aplicaciones industriales, con potencias que van desde 0.4 hasta 22 kW (0.5 a 30 HP) y voltajes de 100 a 600 V [Allen Bradley, 2013].

La selección adecuada de un variador de frecuencia depende de conocer y comparar sus especificaciones técnicas. En la Tabla 1 se presentan los parámetros eléctricos de los modelos PowerFlex 523 y 525, de la marca Allen-Bradley. A partir de estos datos, se identifican las condiciones de operación más convenientes y facilitan la elección del variador en función a lo requerido por la aplicación [Rockwell Automation, 2024].

Tabla 1 Especificaciones eléctricas.

Especificaciones	PowerFlex 523	PowerFlex 525
Tolerancia de voltaje:	-15% / +10%	
Tolerancia de frecuencia:	47...63 Hz	
Fases de entrada:	La entrada trifásica proporciona clasificación total. La entrada trifásica proporciona clasificación de 35% en los variadores trifásicos.	
Factor de potencia de desplazamiento:	0.98 en todo el rango de velocidades	
Capacidad nominal máxima de cortocircuito:	100,000 amperes simétricos	
Capacidad nominal real de cortocircuito:	Determinada por clasificación AIC del fusible/disyuntor instalado	

Terminales

Para energizar el variador, se debe suministrar una alimentación eléctrica según las especificaciones del equipo. Como guía para la conexión se puede tomar en cuenta la Ilustración 2.

Las terminales de entrada pueden presentar ligeras variaciones en su nomenclatura, comúnmente L1, L2 y L3, o R, S y T.

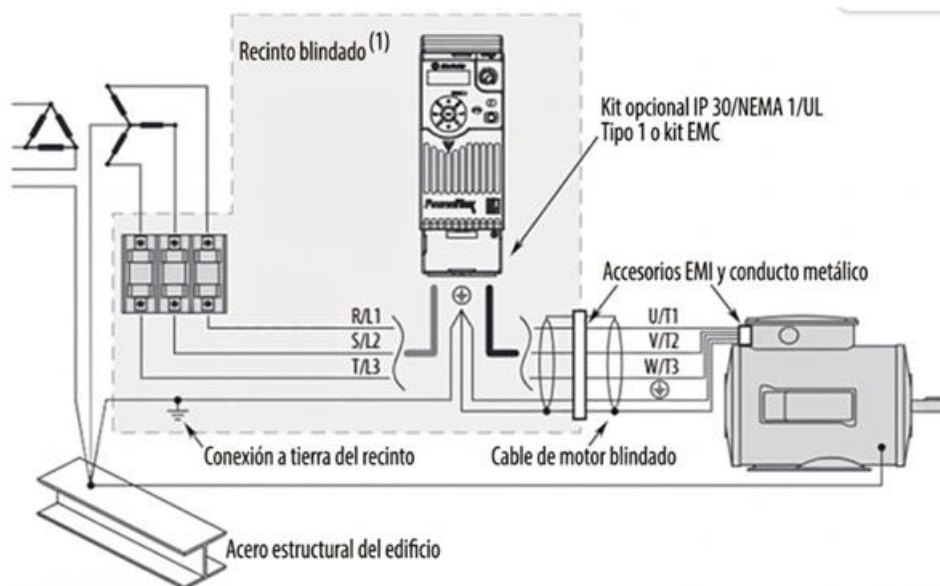


Ilustración 2. Diagrama de conexiones.

Terminales de Salida

Las terminales de salida del variador se identifican como U, V y W o T1, T2 y T3, como se muestra en Ilustración 2.

Los conductores del motor trifásico deben conectarse directamente a dichas terminales. El orden inicial de conexión de las fases no es determinante para la operación, ya que el sentido de giro del motor puede corregirse fácilmente invirtiendo dos de las fases en caso de ser necesario.

En las terminales de salida, el variador entrega una señal modulada por el ancho de pulso (PWM). Por lo que se recomiendan cables de trenzado simétrico para reducir interferencias electromagnéticas (EMI), especialmente en entornos donde se empleen señales de control o sistemas de comunicación.

Conexión a Tierra (PE – Protección a Tierra)

El variador incluye una terminal de puesta a tierra, cuya conexión correcta es esencial para la seguridad operativa del sistema.

Se debe asegurar que la terminal de tierra está conectada de manera firme y directa al sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica; la carcasa del motor también debe estar conectada a tierra, utilizando el mismo punto de conexión que el del variador, con el fin de evitar el riesgo de interferencias.

Una conexión deficiente a tierra puede causar:

- Fallas en el funcionamiento del equipo.
- Interferencia en la señal de control.
- Posibles descargas eléctricas.

Códigos de fallo

Al momento de trabajar con un variador, se necesita conocer las alarmas que podrían generarse durante su funcionamiento y la acción a tomar para corregir el fallo.

Un fallo o alarma es una condición que detiene el variador, la pantalla LCD integrada proporciona notificación visual de una condición de fallo mostrando lo siguiente:

- Número de fallo parpadeante.
- Indicador de fallo parpadeante (LED).

Los fallos más comunes se describen a continuación:

- **F003:** Pérdida de potencia.
- **F005:** Sobretenensión.
- **F007:** Sobrecarga de motor.
- **F013:** Fallo de tierra.
- **F073:** Pérdida de red Ethernet/IP.

Estos códigos son fundamentales para el diagnóstico rápido por parte del equipo técnico, una lista detallada y los procedimientos de corrección se encuentran en el Apéndice D.

Switch industrial administrable

Un switch industrial administrable es un dispositivo que está diseñado para redes industriales, en entornos con alta temperatura o vibraciones (Perry S. Marshall, 2004); permite el control de una red mediante configuraciones avanzadas, priorizando el tráfico de red y la comunicación en sistemas críticos de automatización. Se usa en diversas áreas a nivel industrial para la recopilación de datos en tiempo real, asegurando una operación continua.

Un switch administrable o de enrutamiento, ofrece control avanzado para redes complejas, permitiendo monitoreo y personalización, a un costo mayor y con la necesidad de configuración, mientras que un switch no administrable o de conmutación, es todo lo contrario: es simple y de bajo costo; permite que, solo con conectar los equipos a él, estos mismos empiecen a interactuar.

Un ejemplo de un switch administrable industrial que ya se encuentra instalado en la empresa, es el modelo Stratix 5400, Ilustración 3, es de la marca Allen Bradley, el cual se integra con otros productos de Rockwell Automation, ofrece seguridad avanzada y diagnósticos para mayor flexibilidad de red [Rockwell Automation, Inc, 2016]. Como característica principal, puede funcionar como un switch para conmutación o como un switch de enrutamiento entre redes.



Ilustración 3. Stratix 5400 (Allen-Bradley).

El Stratix 5400 aumenta la flexibilidad del diseño de la red; usa una combinación de puertos RJ45 (siglas de Registered Jack 45) para conexión de cables Ethernet y puertos GBIC (siglas de Gigabit Interface Converters) para conexión de fibra óptica, ofreciendo un mayor ancho de banda; permite definir direcciones MAC (Media Access Control) y segmentar la red con VLANs (Virtual Local Area Network) para protegerla contra amenazas; proporciona información de estado y diagnósticos que

ayudan a identificar y solucionar fallos rápidamente, minimizando el tiempo de inactividad [Rockwell Automation, 2017].

La configuración inicial se puede realizar de forma rápida (express setup) a través de una interfaz web proporcionada por el mismo dispositivo.

Una vez que se configura, permite realizar comunicaciones entre varios dispositivos simultáneamente, generando ramificaciones que estén interconectadas, pero sin causar conflicto en la red. Para este caso práctico, se tiene una red como se muestra en la Ilustración 4, donde cada ramificación tiene un switch ("Switch 1", "Switch 2"), manteniendo switches y variadores en constante comunicación con el PLC, a los cuales puede acceder el usuario por medio de una computadora.

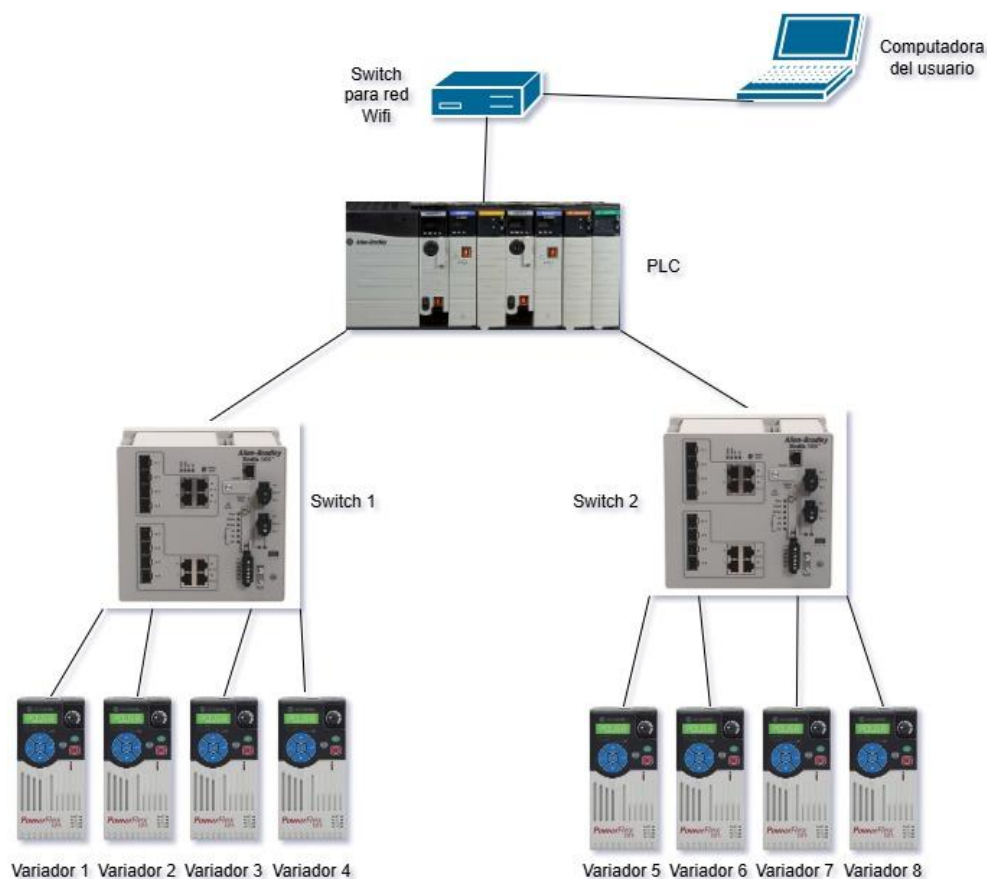


Ilustración 4. Red de switches.

Capítulo 3

Metodología de reemplazo para un variador

El departamento de electrónicos cuenta con un procedimiento establecido para respaldar, copiar y restaurar los parámetros de los variadores PowerFlex 525 mediante el uso de software.

Procedimiento actual.

A través del programa Connected Components Workbench es posible realizar el respaldo y copia de los parámetros de un variador a otro, por algún daño o pérdida de información, a continuación, se presenta el procedimiento a realizar en esta actividad.

1. Abrir el programa CCW (Connected Components Workbench).

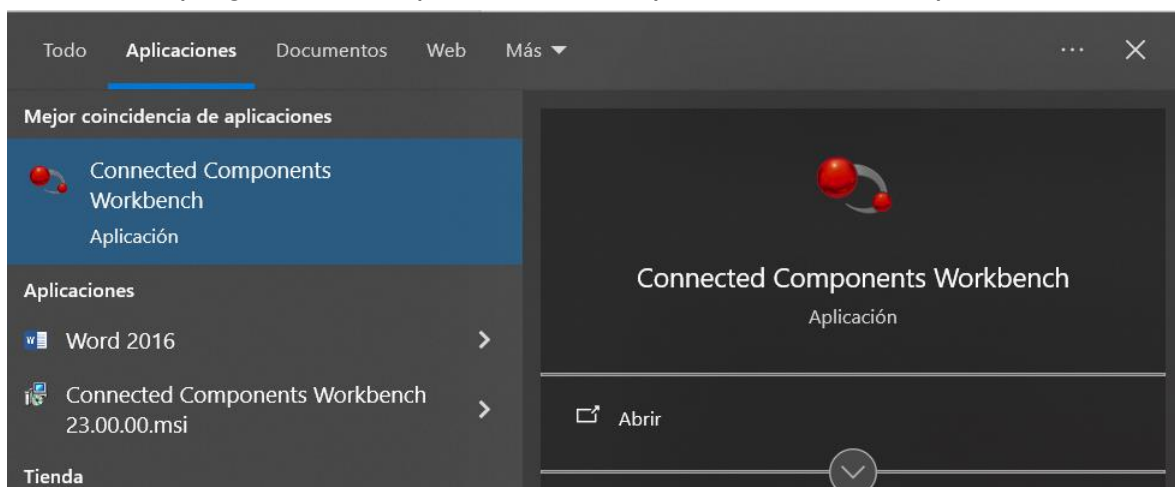


Ilustración 5. Logo Aplicación.

La Ilustración 5 muestra el logotipo del software Connected Components Workbench (CCW), herramienta utilizada para el respaldo y restauración de parámetros en los variadores PowerFlex.

2. Desde la pantalla inicial de CCW, Ilustración 7, es posible enlazar los dispositivos conectados a la computadora.

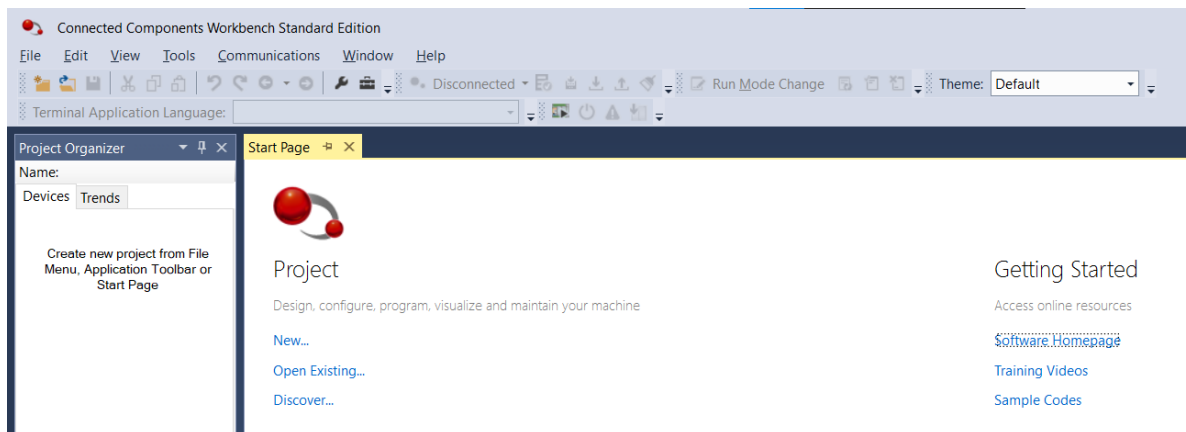


Ilustración 6. Página de inicio.

3. Al seleccionar “Discover” se desplegará “RSWho”, que es la ventana principal de RSLinx Classic que muestra redes y dispositivos en un estilo similar al Explorador de Windows. El equipo del cual se requiere copiar los parámetros debe estar conectado físicamente a través de un cable Ethernet, por lo cual, para este ejemplo se selecciona la red “Ethernet, CABLE”. Con esto se obtiene un listado con los diferentes variadores que está detectando la computadora a través del cable de red. Para este ejemplo se opta por el variador con la dirección IP 192.168.1.31, como se muestra en la Ilustración 7 y posteriormente se presiona el botón OK para confirmar la selección.

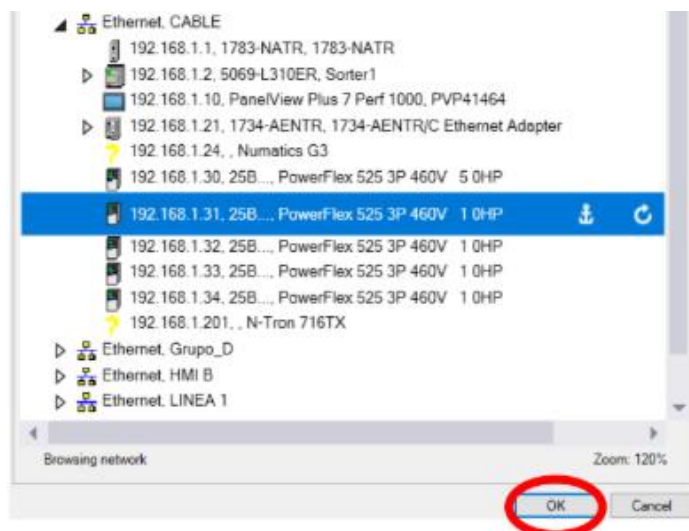


Ilustración 7. Dispositivos disponibles.

4. Se mostrará una pantalla como la de la Ilustración 8, con algunas características del variador, en la cual se debe pulsar el botón “Add to Project”.

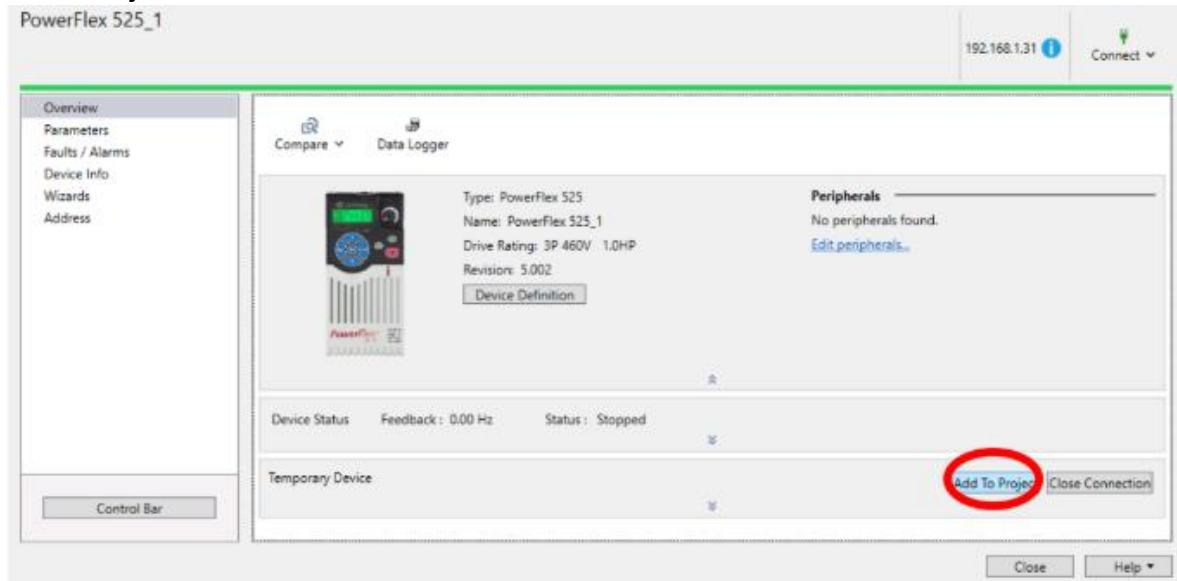


Ilustración 8. Selección de "Add To Project".

Al realizar esta acción, se están almacenando los datos del variador en el proyecto de CCW, lo cual permitirá trabajar con sus parámetros de manera segura.

5. Posteriormente, la siguiente pestaña “Conect” desplegará una lista de opciones, de las cuales se debe seleccionar “Disconnect”, tal como se aprecia en la Ilustración 9.

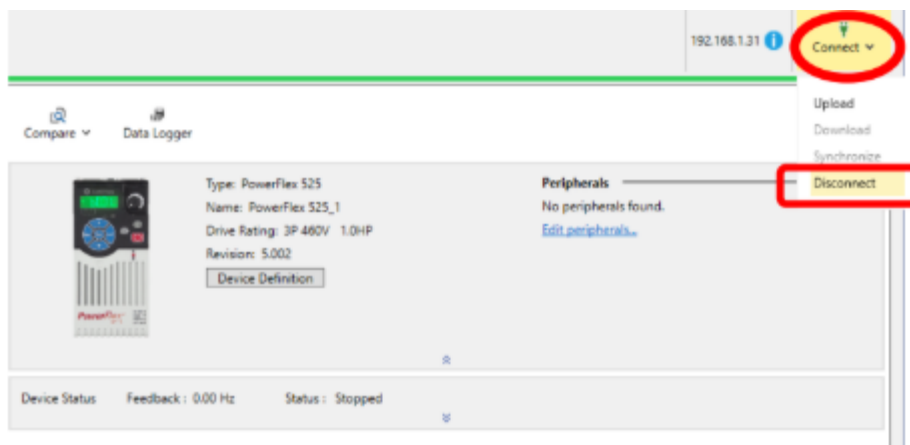


Ilustración 9. Desconexión de variador.

6. Posicionar sobre el icono que se muestra en la Ilustración 10.

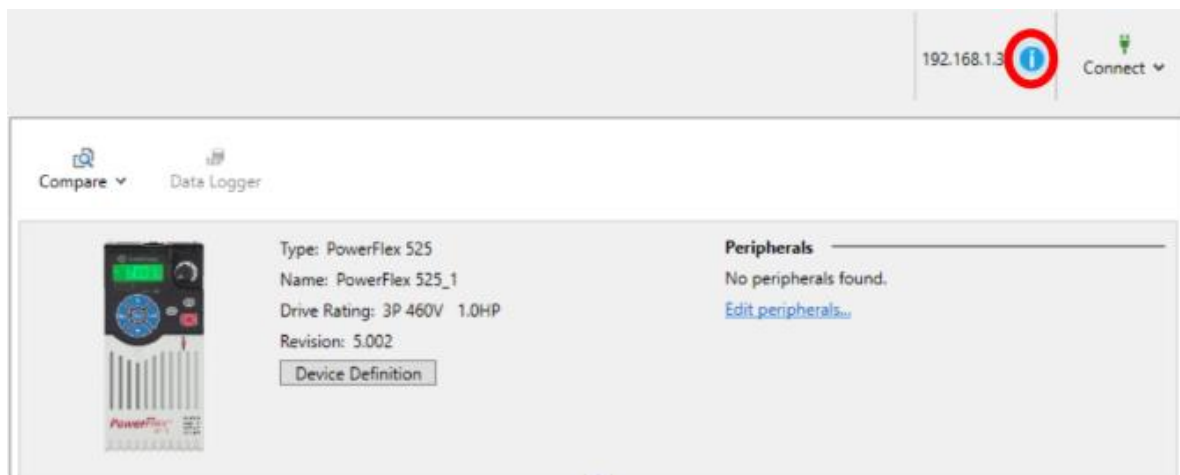


Ilustración 10. Selección de icono.

7. Dentro del cuadro de texto mostrado en la Ilustración 11 selecciona la opción “Clear path”.

Habiendo realizado esta acción, procede a desconectar el cable Ethernet que comunica la computadora con el variador, posteriormente se restablecen los valores de fábrica del variador al que se cargará la información.



Ilustración 11. Selección de "Clear Path".

- Para restablecer valores de fábrica de un variador, este debe de estar energizado y se debe seleccionar el parámetro P053.

P053 [Restab. a predet]



Detenga el variador antes de cambiar este parámetro.

Establece todos los parámetros a sus valores predeterminados de fábrica. Después de un comando de restablecimiento, el valor de este parámetro regresa a cero.

Opciones	0	"Listo/Reposo" (predeterminado)	
	1	"Reajus parám"	No restablece el grupo predeterminado de restablecimiento ni el parámetro P030 [Idioma].
	2	"Reaj fábrica"	Restaura el variador a la condición de fábrica.
	3	"Reajust corr"	Restablece solo los parámetros de alimentación eléctrica. Puede usarse cuando se intercambian los módulos de alimentación eléctrica.

Ilustración 12. Descripción de parámetro P053.

En la Ilustración 12 se observa el parámetro P053, utilizado para restablecer los valores de fábrica en el variador PowerFlex 525 e información sobre el mismo.

Una vez que el variador haya regresado a valores predeterminados de fábrica, es necesario asignarle una dirección IP al variador para poder tener comunicación con el dispositivo y poder descargar los parámetros o información.

- En el variador se debe ubicar el parámetro C128 y colocar en la Opción 1 "Parámetros". En la Ilustración 13 se muestra información sobre el mismo.

C128 [Sel Dir EN]

Parámetros relacionados: [C129-C132](#), [C133-C136](#), [C137-C140](#)

[PF 525] PowerFlex 525 solamente.

Habilita la dirección IP, la máscara de subred y la dirección de gateway para establecer con un servidor BOOTP. Identifica las conexiones que se intentarían ante un restablecimiento o conexión y reconexión de la alimentación eléctrica. Es necesario restablecer o desconectar y volver a conectar la alimentación eléctrica después de hacer la selección.

Opciones	1	"Parámetros"
	2	"BOOTP" (predeterminado)

Ilustración 13. Descripción de parámetro C128.

- Se debe asignar la misma dirección IP que manejaba el variador reemplazado.

C129 [Cfg 1 Dir IP EN]

C130 [Cfg 2 Dir IP EN]

C131 [Cfg 3 Dir IP EN]

C132 [Cfg 4 Dir IP EN]

[PF 525] PowerFlex 525 solamente.

Establece los bytes en la dirección IP. Es necesario restablecer o desconectar y volver a conectar la alimentación eléctrica después de hacer la selección.

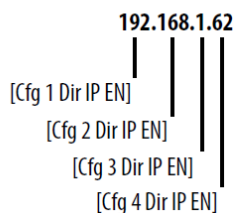


Ilustración 14. Desglose de parámetros IP.

En la Ilustración 14 se presenta la asignación de dirección IP al dispositivo, paso necesario para garantizar la comunicación en red.

11. Después de agregar la dirección IP, asigna en el variador la máscara de subred la cual será: 255.255.255.0

C133 [Cfg 1 subred EN]

C134 [Cfg 2 subred EN]

C135 [Cfg 3 subred EN]

C136 [Cfg 4 subred EN]

Parám

(PF 525) PowerFlex 525 solamente.

Establece los bytes de la máscara de subred. Es necesario restablecer o desconectar y volver a conectar la alimentación eléctrica después de hacer la selección.

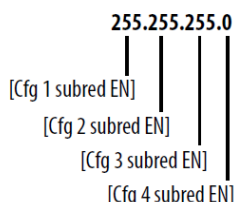


Ilustración 15. Desglose de parámetros Subred.

La Ilustración 15 refleja el ajuste de la máscara de subred, necesaria para que el variador se comunique dentro del rango definido en la planta.

12. Se apaga nuevamente el variador para que se guarden los datos que le fueron asignado esperando a que este se apague por completo para volver a energizar.
13. Por consiguiente, se conecta un cable Ethernet para que exista comunicación entre la laptop y el variador nuevo.
14. A continuación, se abre la ventana de Workbench, despliega el menú de opciones que se encuentra dentro de la pestaña “Connect” y selecciona “Download”. La Ilustración 16 muestra la opción de descarga de parámetros desde CCW hacia el variador nuevo.

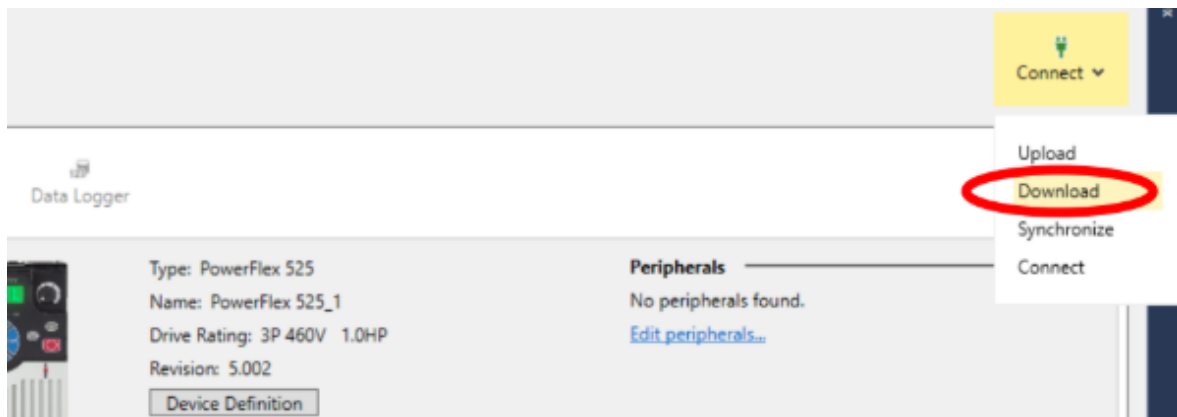


Ilustración 16. Selección de "Download".

15. Al hacer esto, el programa muestra nuevamente las redes y dispositivos que la computadora puede ver. Nuevamente da click en la opción “Ethernet, CABLE”, selecciona el variador y después oprime el botón “Continue”.

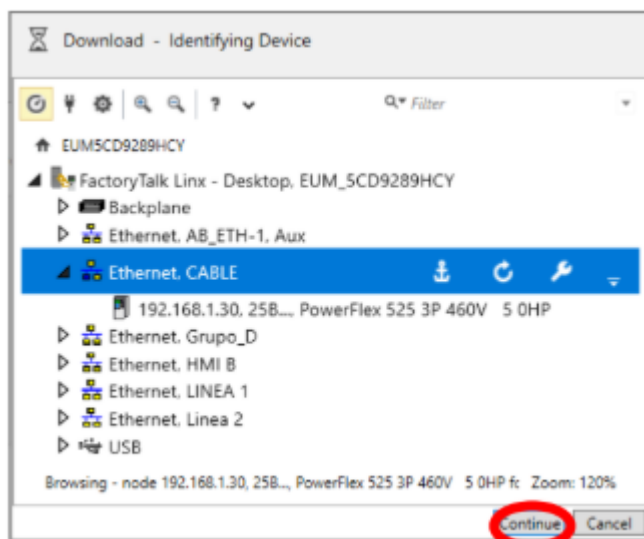


Ilustración 17. Seleccionar dispositivo.

Al confirmar la selección del dispositivo, Ilustración 18, se iniciará la transferencia de información del variador antiguo al nuevo.

16. Por último, solo se debe verificar en la pestaña de información del dispositivo a revisar, el estatus del mismo.

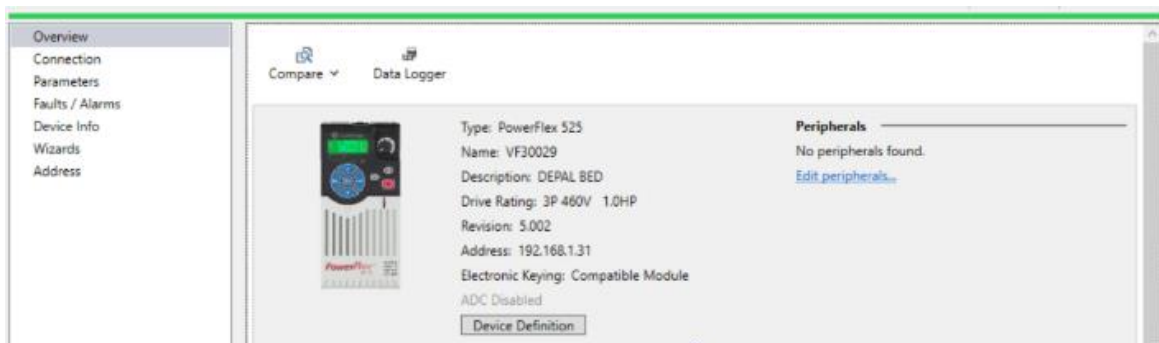


Ilustración 18. Verificación de estatus.

La Ilustración 18 muestra la ventana de verificación en CCW, donde se confirma que el dispositivo ha recibido correctamente la configuración y no presenta fallas.

El equipo del área de electrónicos tarda más de 40 minutos en realizar el cambio completo de un variador dañado con el procedimiento mencionado. Lo que significa una pérdida de producción de material acabado al término del turno y conlleva el riesgo de pérdidas económicas para la empresa.

Capítulo 4

Desarrollo

A partir de un análisis técnico de la arquitectura de red existente, se pudo generar un diagrama de cómo se encuentran conectados los dispositivos entre sí (se muestra un extracto de este en la Ilustración 19), revelando la necesidad de realizar cambios tanto en la infraestructura de la red como en la programación del PLC.

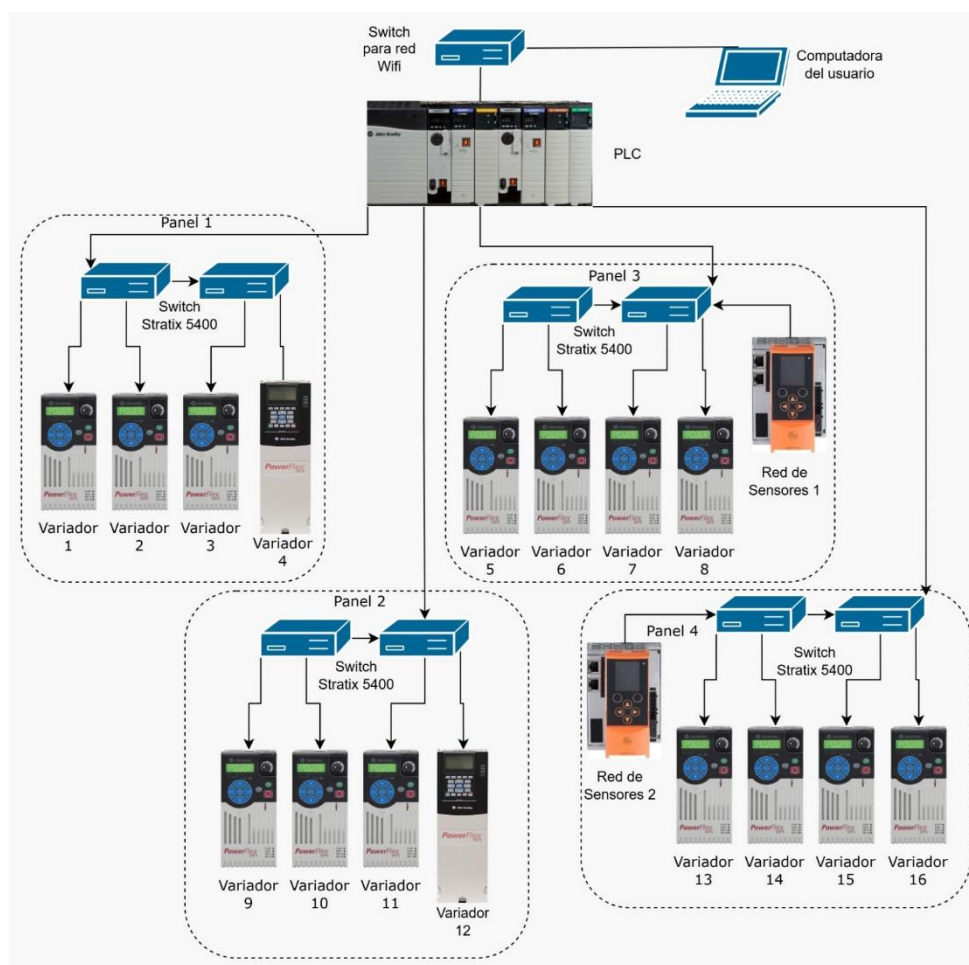


Ilustración 19. Extracto de topología.

En la Ilustración 19 se aprecian cuatro recuadros punteados denominados “Paneles”, los cuales agrupan los dispositivos instalados en planta. Dentro de cada uno de estos se encuentran dos switches Stratix 5400, encargados de la comunicación con los dispositivos al interior del panel.

Se pueden distinguir dos modelos de variadores que se manejan en planta, específicamente los variadores 4 y 12 corresponden al modelo 750 (para motores de alta potencia). Además, en los Paneles 3 y 4 se observa el control para una red de sensores conectada a uno de los switches.

Los cambios consisten en:

- Asignar manualmente en el programa de PLC una priorización de los dispositivos que se conectan a la red basado en su Requested Packet Interval (RPI).

El RPI, o intervalo de paquetes solicitado, define el intercambio de datos que el controlador solicita de cada dispositivo. Los equipos conectados envían sus datos con una frecuencia establecida asignada por el controlador, y reciben solicitudes de mensajes con una periodicidad equivalente a dicho RPI [Schneider Electric, 2022].

- Se debe estandarizar las versiones de firmware de los switches instalados en la línea de producción, puesto que, al no tener las mismas versiones en todos los equipos, se generan problemas con el protocolo Ethernet que se utiliza.
Versiones antiguas o diferentes de firmware de Stratix pueden tener defectos, afectando la sincronización de la aplicación [Cisco & Rockwell Automation, 2011].
- Estandarizar las versiones de firmware de los variadores instalados en la línea, dejando la versión más reciente que se encuentre disponible, evitando tener versiones con errores, estableciendo un estándar para cuando se realice un cambio siempre tener en cuenta cual es el firmware usado en la línea.

Para mitigar los errores de comunicación provocados por la carga simultánea en la red al arrancar todos los variadores, se propuso una mejora en la topología Ethernet/IP, basada en los siguientes elementos:

- La configuración de los switches con los que ya contaban las instalaciones, ya que estos no se encontraban configurados, lo que limitaba el dispositivo a solo comunicar los equipos conectados al mismo.
- Asignación de direcciones IP estáticas y actualización del mapa de red para una identificación más rápida de fallas.

Estos cambios permiten una reducción significativa del tráfico simultáneo en red durante el arranque, basados en las prácticas en redes industriales descritas por [Bolton, 2015].

Paso 1: Asignación de jerarquías

En el estado original del programa no se tiene un RPI particular en ningún dispositivo; todos intentan enviar datos al PLC de manera simultánea y sin un orden definido, lo que genera un alto nivel de tráfico en la red. Esta congestión puede causar colisiones, pérdida de comunicación y fallas en la conectividad entre los dispositivos y el PLC.

Para evitar la saturación y garantizar la estabilidad, se decidió que cada dispositivo debería estar desfasado con el anterior por 3 milisegundos, permitiendo un flujo constante de información sin saturar la red. El tiempo fue establecido con base en el tiempo que tarda el controlador principal en ejecutar su lógica y procesar los datos recibidos antes de solicitar la siguiente actualización, por eso el RPI debe ser igual o mayor.

Orden de Comunicación Establecido

Se definió un esquema de orden de comunicación secuencial para evitar simultaneidad en los envíos de datos y prevenir congestión en la red. El orden se asignó con base en la importancia que tienen en la línea, siendo, en primer lugar, los switches por ser quienes establecen la comunicación inicial con el PLC, estableciendo comunicación a los 303 ms; la red de sensores en el transporte secunda a los 403 ms. Por el tiempo de arranque los variadores de alto consumo son el tercer lugar en la jerarquía con 503 ms; por último, los variadores de bajo consumo a los 603 ms. Esta configuración es mostrada en las Ilustraciones 21 a 24.

1. Para la configuración de los RPI en switches administrables se asignó un tiempo de 303 ms en donde para el siguiente switch el tiempo aumentará en 3 ms, sucesivamente hasta asignar el tiempo a cada dispositivo en línea, Ilustración 20.

1783-HMS16T4CGN, P201_SW01
 Parent: CN01
 IP address: 192.223.1.101

Controller connection: Running Device status: OK

INFORMATION

- Overview
- Device Information

CONFIGURATION

- Connection**
- Switch Configuration

Connection

Input

Requested Packet Interval (RPI):
 303.0 ms ▲ ▼
 (300.0 - 5000.0)

Ilustración 20. Configuración de RPI para switches.

2. Para la configuración de los RPI en la red de sensores, se asignó un tiempo de 403 ms, en donde para el siguiente dispositivo, el tiempo aumentará 3 ms sucesivamente, hasta asignar el tiempo a cada dispositivo en línea, tal como se observa en la Ilustración 21.

Connection			
Name	Requested Packet Interval (RPI) (ms)	Connection over EtherNet/IP	Input Trigger
Exclusive Owner , Input_CP = 100, Output_CP = 150	403.0 1.0 - 3200.0	Unicast	Cyclic

Ilustración 21. Configuración de RPI para red de sensores.

3. Para la configuración de los RPI en VFD 755 (Variadores de frecuencia modelo 755) se asignó un tiempo de 503 ms, en donde para el siguiente variador, el tiempo aumentará 3 ms sucesivamente, hasta asignar el tiempo a cada dispositivo en línea, Ilustración 22.

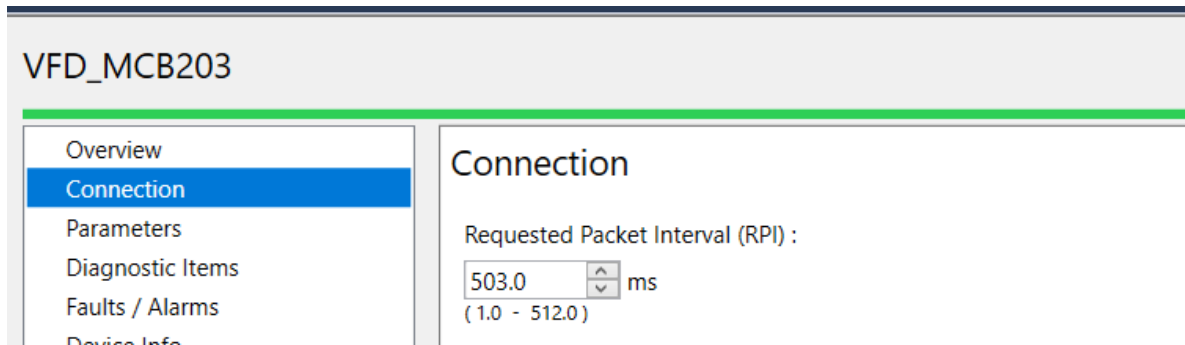


Ilustración 22. Configuración de RPI para variadores 755.

4. Para la configuración de los RPI en VFD 525 se asignó un tiempo de 603 ms en donde para el siguiente dispositivo, aumentará en 3 ms sucesivamente, hasta asignar el tiempo a cada dispositivo, Ilustración 23.

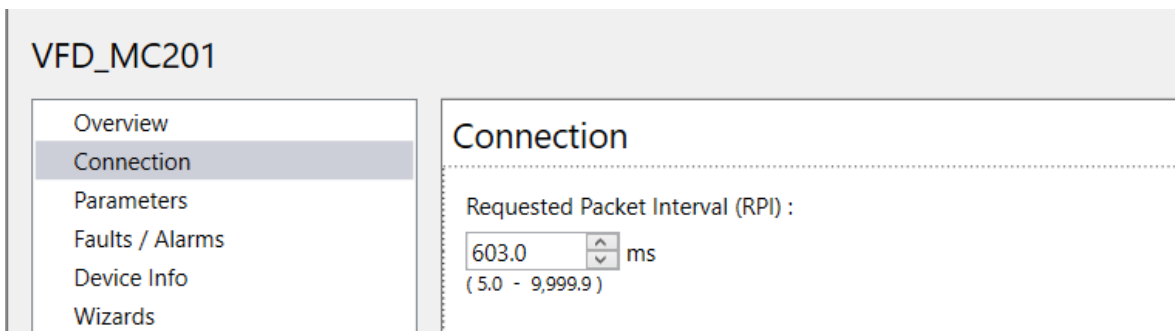


Ilustración 23. Configuración de RPI para variadores 525.

Al establecer los tiempos RPI, se logra una comunicación sincronizada, donde los dispositivos envían datos al PLC de manera escalonada (uno por ciclo). De esta manera, se evitan las colisiones de tráfico y se asegura un funcionamiento de la red sin interrupciones.

Paso 2: Estandarización de firmware en switches Stratix

Se realizó una revisión de las versiones de firmware instaladas en cada uno de los 21 switches ubicados en la línea, encontrando versiones desde 4.001 hasta 7.004.

Con base en el análisis técnico que se realizó a la infraestructura de red, se realizó la actualización manual de cada switch a la versión más reciente disponible por el fabricante, siendo la versión 8.007, misma que se estandarizó en toda la línea, la reestructuración consistió en:

1. Obtener y descargar la última versión publicada y revisada por el fabricante, la cual se muestra en la Ilustración 24.

1783-HMS	Stratix 5400 family of Ethernet managed switches, 1783-HMS (Networks & Communications/Stratix)	▲ 15.2(8)E8
		▲ 15.2(8)E7
		▲ 15.2(8)E6
		▲ 15.2(8)E5

Ilustración 24. Firmware publicado por proveedor.

2. Acceder al usuario administrador en cada switch como en la Ilustración 25.

Enviar

Nombre de usuario:

Contraseña:

Ilustración 25. Página de inicio de sesión.

3. Acceder a la interfaz de Actualización de software dentro del menú administrador mostrado en la Ilustración 26.



Ilustración 26. Menú administrador.

4. Seleccionar el archivo obtenido en el paso 1, oprimir la opción de actualizar, y aceptar, Ilustración 27.

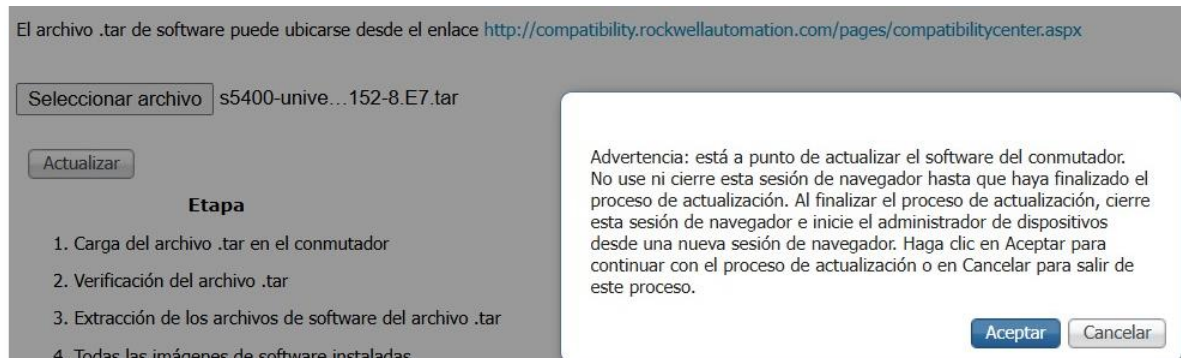


Ilustración 27. Interfaz de actualización de software

5. La interfaz comenzará a cargar los archivos obtenidos en la memoria interna del switch, verificará cada archivo con la finalidad de que no se encuentren comprometidos y los comenzará a instalar. Al término de estos pasos lo cual toma aproximadamente 45 minutos por cada switch, el dispositivo se reiniciará de forma automática, solo hasta ese entonces se podrá revisar en las propiedades del mismo, para verificar si el proceso se completó de forma correcta, como se muestra en la Ilustración 28.

Device Name:	1783-HMS16T4CGN Stratix 5400
Vendor:	Allen-Bradley Company
Product Type:	44
Product Code:	5
Revision:	8.007
Serial Number:	E01102F0

Ilustración 28. Propiedades del equipo

Nota: La actualización de cada dispositivo se deberá realizar cuando el reinicio no comprometa las funciones, debido al procedimiento las comunicaciones que administra el equipo se detendrán afectando la operación.

Paso 3: Programación de switches

Cada uno de los switches que se instalaron en la planta funcionaba como un switch no administrable, lo que significa que no tenían una configuración avanzada, monitoreo o control sobre el tráfico de la red. El objetivo de la programación fue convertirlos en dispositivos administrables, permitiendo una mayor supervisión y control sobre la red de comunicación. La Ilustración 29 muestra al equipo de electrónicos llevando a cabo la tarea de configurar los switches para que sean administrables.



Ilustración 29. Programación de Switches

Para conseguir esto, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Integración de cada switch en la red industrial, asignándole una dirección IP estática, utilizando el protocolo EtherNet/IP.

A screenshot of a web-based configuration interface for a switch. It shows fields for 'Id. de VLAN' (1) and 'Nombre' (default). Below these are radio buttons for 'Modo de asignación IP': 'Ninguna dirección IP', 'Estática' (selected), and 'DHCP'. At the bottom, there are input fields for 'Dirección IP' with the values '192.223.2.101' and '255.255.255.0' separated by a slash. There are also 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons at the bottom right.

Ilustración 30. Asignación de IP a Switch

- Para la gestión de la red, es necesario asignar una dirección IP a cada switch, lo que se muestra en la Ilustración 30.

- Segmentación de puertos:

Smartports [Apéndice E] son configuraciones recomendadas para los puertos del switch y optimiza las conexiones del switch proporcionando seguridad, transmisiones de calidad y fiabilidad en el tráfico de los puertos del switch.

Antes asignar un rol, se debe decidir el tipo de dispositivo que se conecta a cada puerto del switch.

Para aplicar un rol Smartport, se debe seguir este procedimiento:

1. En el menú Configure, se elige la opción Smartports.
2. Se selecciona un puerto.
3. Se elige un rol Smartport en el menú desplegable de la columna Role.
4. Se hace clic en Save.

	Port	Smartport Role	Native	Access	Voice
	Gi1/2	Switch for Automation	1		
	Gi1/3	None			
	Gi1/4	None			
	Fa1/5	Automation Device		1	

Ilustración 31. Smartport role asignados

La Ilustración 31 muestra la asignación de roles Smartport, que permiten optimizar y asegurar la comunicación según el tipo de dispositivo conectado.

Esta configuración permitió habilitar funciones como:

- Asignación estática de direcciones IP a los dispositivos conectados a cada puerto.
- Priorización de tráfico para asegurar el rendimiento de la comunicación de dispositivos críticos como PLCs y variadores de frecuencia.

Para la asignación de IP mediante el switch se debe crear un conjunto de direcciones IP DHCP con la IP inicial y final del enrutamiento. En la Ilustración 32 muestra la creación de un conjunto DHCP con direcciones inicial y final, que serán distribuidas en la red por el switch.

DHCP Settings

DHCP Pool Name: P1_SW01	Starting IP Address: 192 . 223 . 1 . 2
DHCP Pool Network: 192 . 223 . 1 . 0	Ending IP Address: 192 . 223 . 1 . 16
Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 0	☒ Use Preassigned Addresses Only ☐ Enable DHCP Snooping for this Pool

Ilustración 32. Configuración de conjunto.

En cada puerto que estará activo se deberá asignar la IP manualmente dentro del conjunto antes creado, como se muestra en la Ilustración 33.

Fa1/5	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.2
Fa1/6	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.3
Fa1/7	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.4
Fa1/8	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.5
Fa1/9	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.6
Fa1/10	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.7
Fa1/11	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.8
Fa1/12	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.9
Fa1/13	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.10
Fa1/14	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.11
Fa1/15	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.12
Fa1/16	P3_SW01 192.223.2.2 - 192.223.2.13	192.223.2.13

Ilustración 33. Asignación de IP a puertos.

Una vez fueron asignadas las IP estáticas a cada variador es posible habilitar la carga automatizada del firmware y parámetros a cada uno de los variadores en la red. La Ilustración 34 refleja la habilitación de la función Automatic Device Configuration, mediante la cual se automatiza la carga de parámetros en variadores.

Automatic Device Configuration

☒ Enable Automatic Device Configuration *Using Default Settings*

Port	☒ ADC Port Enable	☒ Fail Drive Connection on Peripheral Error
0 - PowerFlex 525	☒	☒

Ilustración 34. Habilitación de ADC.

Capítulo 5

Resultados

Nueva metodología para el reemplazo de un variador

Con base en los cambios realizados, el área de electrónicos generó y aprobó un nuevo procedimiento para el reemplazo de un variador dañado mediante la configuración automatizada del dispositivo.

1. El primer paso es identificar el variador con una falla no recuperable.



Ilustración 35. Avería identificada.

En el display del variador, Ilustración 36, la falla impide visualizar los parámetros o alarmas.

- Revisar el número de parte o catálogo del variador, como en la Ilustración 36, con el fin de realizar el reemplazo con la pieza correspondiente.

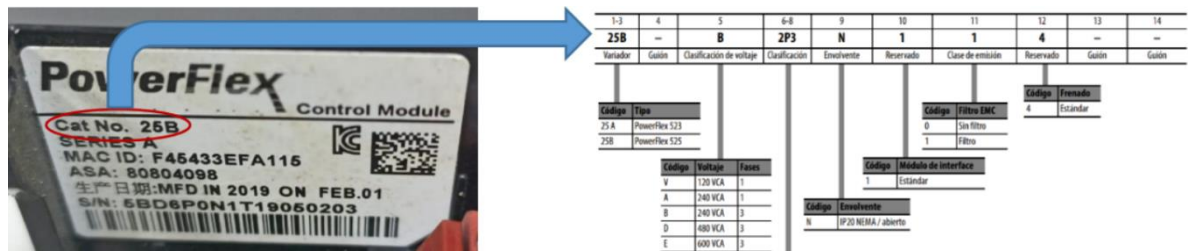


Ilustración 36. Identificar número de parte.

- Localizar el interruptor, desenergizar el variador y proceder a desconectar el cable Ethernet como se muestra en la Ilustración 37.



Ilustración 37. Desconexión del equipo.

- Retirar el controlador aplicando presión en la pestaña superior del dispositivo hasta liberarlo de la carcasa, siguiendo lo indicado en la Ilustración 38.



Ilustración 38. Retiro de equipo dañado.

- Instalar el nuevo controlador colocando en primer lugar la parte inferior, lo cual facilita el montaje completo, como se aprecia en la Ilustración 39.



Ilustración 39. Colocar equipo nuevo.

6. Energizar nuevamente el variador y esperar unos segundos hasta que el equipo reconozca el nuevo controlador, como en la Ilustración 40.



Ilustración 40. Re-energización del equipo.

7. Una vez restablecido, el variador mostrará una falla, tal como se observa en la Ilustración 41.



Ilustración 41. Estatus de falla.

En la Ilustración 42 se hace referencia al manual del proveedor, donde se muestra que la falla correspondiente al código F105 indica que “el módulo de control se desconectó mientras el variador estaba activado”.

F105	Err conex C	2	El módulo de control se desconectó mientras el variador estaba activado.	Borre el fallo y verifique todos los ajustes de los parámetros. No retire ni instale el módulo mientras que esté conectada la alimentación eléctrica.
-------------	-------------	---	--	---

Ilustración 42. Ayuda en manual de Allen Bradley.

8. Para corregir dicha falla, es necesario restablecer el variador con el parámetro P053, inciso 2: “Restablecer de fábrica” según el manual del fabricante en la Ilustración 43.

P053	[Restab. a predet]	0/3	0 = “Listo/Reposo” 1 = “Reajus parám” 2 = “Reaj fábrica” 3 = “Reajust corr”
	Establece los parámetros a sus valores predeterminados en fábrica. Después de un comando de restablecimiento, el valor de este parámetro regresa a cero.		

Ilustración 43. Apoyo de manual Allen Bradley.

9. Tras la ejecución de este procedimiento, se debe retirar la energía nuevamente del variador esperando a que se apague por completo antes de volver a energizarlo, garantizando que los cambios se almacenen correctamente.
10. Posteriormente, aparecerá en el display la leyenda “BOOTP” como en la Ilustración 44, lo que indica que el variador se encuentra con valores predeterminados de fábrica. En este punto se debe reconectar el cable Ethernet y esperar algunos minutos mientras se lleva a cabo la actualización Flash con la nueva versión del firmware.



Ilustración 44. Leyenda “BOOTP”.

11. Al concluir la actualización de firmware, el variador generará la falla F048, la cual corresponde al proceso de restauración automática. En la Ilustración 45 se hace referencia a la información proporcionada por el fabricante.

F048	Paráms predeterm	1	El variador recibió la orden de escribir valores predeterminados a la EEPROM.
------	------------------	---	---

Ilustración 45. Información proporcionada en manual de Allen Bradley.

12. Finalmente, el variador se reiniciará de manera automática y cargará los parámetros configurados en el controlador anterior. Una vez concluido, únicamente será necesario verificar el funcionamiento correcto del variador el cual podrá verse como en la Ilustración 46.



Ilustración 46. Restablecimiento completado.

Este nuevo método automatizado agiliza la sustitución de la etapa de control en variadores PowerFlex 525 y el restablecimiento de sus parámetros. Para validar la reducción de tiempo, se llevó a cabo un monitoreo durante un año bajo condiciones operativas reales y utilizando el método anterior. A través de un promedio de 3 reemplazos por mes (36 en total), se comprobó que el tiempo de inactividad pasa de 40 a 8 minutos en promedio por evento. Lo anterior asegura la continuidad de las líneas productivas y mejora la fiabilidad del sistema industrial.

Capítulo 6

Conclusiones

La presente investigación abordó la problemática de la inestabilidad y altos tiempos de inactividad en la línea de producción, causados por la falta de organización de la red industrial y un procedimiento estandarizado para el reemplazo de dispositivos críticos como los variadores de frecuencia.

El principal resultado operativo fue una mejora crítica en los tiempos de respuesta ante fallas. El procedimiento anterior dependía de configuraciones manuales y la intervención de distintos softwares, requería aproximadamente 40 minutos para reemplazar un equipo. Con los cambios realizados en la red y la agilización del proceso de descarga de parámetros, el tiempo de inactividad se redujo a un promedio de 8 minutos. Este resultado no solo cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto, sino que establece un nuevo estándar en la empresa, que impacta en la continuidad y rentabilidad de la producción.

A nivel de infraestructura, la estabilización de la red Ethernet/IP se logró mediante la configuración de sus switches administrables. Pasando de topología plana e inestable, a una arquitectura de red jerárquica que permite la correcta distribución del tráfico y la eliminación de los bucles de red, que eran una fuente recurrente de fallas de comunicación.

Independientemente de las mejoras técnicas y la reducción de los tiempos muertos, el proyecto generó un impacto significativo en los procesos dentro del departamento de electrónicos. El nuevo procedimiento para el reemplazo de variadores y el procedimiento para configurar los switches, se establecieron como un estándar en la producción, esto se traduce en una reducción del riesgo de error humano durante las emergencias. Las tareas complejas de configuración ahora son procesos sencillos y validados.

Trabajos futuros

Con base en los resultados, se analizan las siguientes posibilidades de mejora:

- Se determina que el alcance de las mejoras realizadas no solo es aplicable a una línea de producción; dado que la empresa cuenta con tres líneas de producción activas con arquitectura similar, es factible y recomendable la replicación de estas mejoras en las dos líneas restantes para estandarizar la operación de la planta.
- Al ser una empresa con presencia a nivel global, el trabajo se puede aplicar en otras plantas que cuenten con una infraestructura o problemas similares a los abordados en la investigación.
- Al contar con un RPI estable, es posible extraer datos de los variadores PowerFlex (corriente, voltaje, frecuencia) en tiempo real sin saturar el ancho de banda. Un trabajo futuro podría integrar estos datos en el sistema SCADA existente en planta, permitiendo anticipar fallas en los motores antes de que ocurran, evitando paros no programados en línea.

Apéndices

Apéndice A

Rectificadores

Los rectificadores trifásicos se utilizan comúnmente en la industria para producir tensión y corriente continuas para grandes cargas. Son elementos fundamentales en la infraestructura eléctrica industrial, debido a su capacidad para transformar eficazmente energía de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC), con bajo nivel de ondulación y alta eficiencia. Esto los convierte en la mejor opción para alimentar cargas industriales de gran tamaño. Su implementación adecuada mejora el rendimiento, la estabilidad y la vida útil de los equipos, siendo pieza clave en sistemas de automatización y control modernos [Mohan, 2010].

Tipos de rectificadores

- Rectificador con diodos

Este tipo de rectificador, mostrado en la Ilustración 47, es ampliamente utilizado por su simplicidad, bajo costo y fiabilidad. Se emplea en diversas aplicaciones eléctricas y electrónicas, especialmente en fuentes de alimentación. Los rectificadores de diodos son dispositivos no controlados que convierten la energía CA a CC sin regulación directa de voltaje [Rashid, 2013]. Cabe mencionar que este modelo de rectificadores se utiliza en los variadores PowerFlex 525 fabricados por Allen-Bradley.

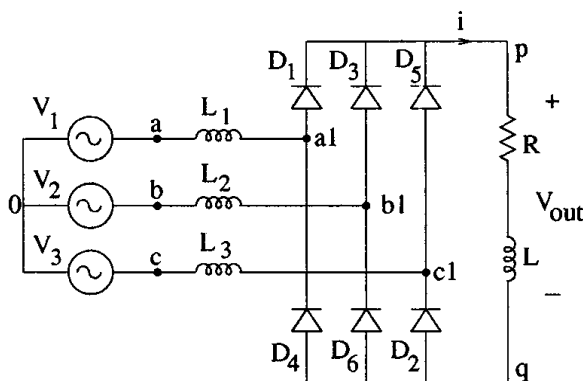


Ilustración 47. Rectificador de diodos.

- Chopper

Un rectificador chopper de corriente continua (DC) es un dispositivo electrónico que funciona como un interruptor controlado, usando componentes como IGBT, MOSFET o tiristores para conectar y desconectar rápidamente una fuente de voltaje DC a la carga. Esta conmutación rápida genera una señal pulsante que, al filtrarse, se convierte en una tensión continua regulada. Dependiendo del diseño, la tensión de salida puede ser mayor, menor o incluso invertida respecto a la fuente de entrada [Hart, 2011]. Se puede visualizar un ejemplo de este tipo de rectificador en la Ilustración 48

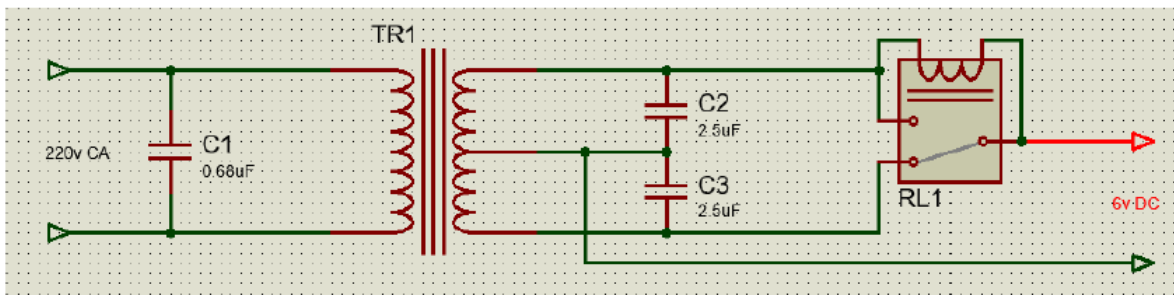


Ilustración 48. Simulación de un rectificador chopper.

- Rectificador con tiristores

Los rectificadores con tiristores permiten regular el voltaje de salida controlando el ángulo de disparo, es decir, el instante en que el tiristor comienza a conducir durante el ciclo de la señal CA, lo que posibilita un control efectivo de la potencia entregada a la carga [Mohan, 2010]. Se aprecia un ejemplo en la Ilustración 49.

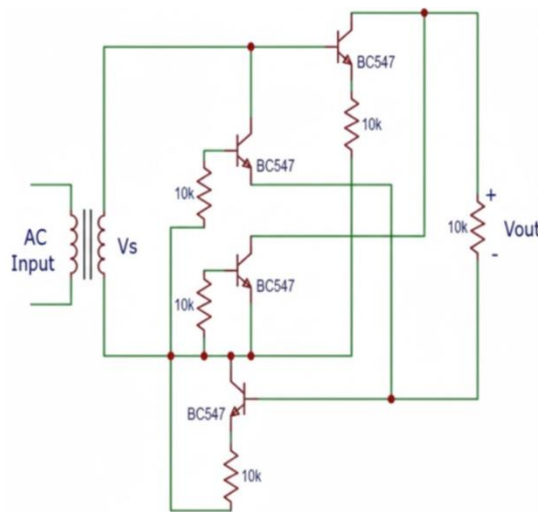


Ilustración 49. Ejemplo de un rectificador con tiristores.

Apéndice B

Inversores

Un inversor es el encargado de transformar el voltaje continuo suministrado en una señal de voltaje alterno, cuya amplitud y frecuencia pueden ser ajustadas. Esta conversión se realiza mediante técnicas de conmutación controlada, que generan pulsos modulados. Gracias a este mecanismo, es posible adaptar la forma de onda de salida a las necesidades específicas de la carga, como ocurre en aplicaciones que requieren el control de velocidad en motores eléctricos o en sistemas de suministro eléctrico con variabilidad operativa [Bose, 2002].

Tipos de inversores

- **Inversor de 6 pasos**

Un inversor de seis pasos, también denominado inversor trifásico de conmutación secuencial o de onda escalonada, es un convertidor estático que transforma DC en AC trifásica. Su funcionamiento se basa en la activación secuencial de seis interruptores electrónicos (usualmente IGBTs o MOSFETs), distribuidos en un puente trifásico, generando seis estados de conmutación distintos por cada ciclo de salida [Krause, 2013].

El circuito de la Ilustración 50 consiste en tres brazos de puente completo, uno por cada fase, con un interruptor superior e inferior para controlar la polaridad de salida de esa fase.

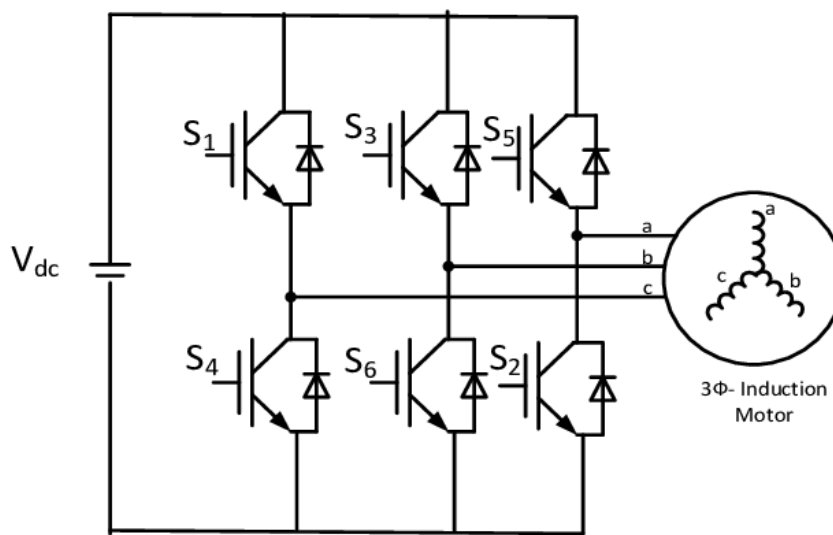


Ilustración 50. Inversor 6 pasos.

La conmutación en seis pasos significa que cada interruptor cambia de estado cada 60° , generando una salida de voltaje trifásico escalonado. Así se produce una forma de onda cuadrada de seis niveles por ciclo.

En este tipo de inversores, se pueden utilizar dispositivos activos como IGBTs o MOSFETs, los cuales ofrecen una mayor eficiencia y control comparado con los antiguos tiristores (SCRs).

- **Inversor PWM**

Un inversor que opera utilizando la tecnología de modulación por ancho de pulso se conoce como inversor PWM. Este tipo de inversor puede mantener un voltaje de salida constante y acorde al valor nominal, sin importar el tipo de carga conectada. Esto se consigue ajustando el ancho de los pulsos en la señal de conmutación generada por el oscilador [Erickson, 2001].

Apéndice C

Controlador lógico programable.

Los PLC (Controladores Lógicos Programables) son dispositivos electrónicos empleados en entornos industriales para automatizar procesos repetitivos. Son fundamentales en diversas industrias, tales como la automotriz, metalúrgica, minera, alimentaria, farmacéutica, entre otras. Su habilidad para ejecutar tareas de forma precisa y continua los convierte en elementos clave para optimizar la eficiencia y la seguridad en las operaciones productivas [Bolton, 2015].

Funcionamiento

El ciclo de trabajo de un PLC se compone de una secuencia repetitiva de tres etapas fundamentales, las cuales permiten que el sistema controle y automatice procesos de manera eficiente y confiable. Estas etapas son: escaneo de entradas, ejecución del programa y escritura de salidas. A continuación, se describe cada una con mayor detalle:

Escaneo de entradas: En esta primera fase del ciclo, el PLC lee el estado de todas las señales de entrada conectadas a sus módulos de entrada. Estas señales pueden provenir de sensores, interruptores, botones pulsadores, contactos auxiliares, entre otros dispositivos del entorno físico. El PLC registra los valores lógicos (por ejemplo, 0 o 1) de estas señales y los almacena.

Ejecución del programa: Una vez que el PLC ha almacenado las entradas, procede a ejecutar el programa de control que ha sido previamente cargado en su memoria. Durante esta etapa, el PLC analiza la lógica definida por el programador, utilizando lo recopilado en el paso anterior para determinar el estado de las salidas.

Escritura de salidas: En la tercera y última etapa del ciclo, el PLC transfiere los resultados calculados en el paso anterior hacia los módulos de salida físicos. Esto significa que activa o desactiva los actuadores conectados, tales como relés, válvulas, motores, lámparas, etc. De esta manera, el PLC influye directamente sobre el proceso o sistema automatizado. Una vez completada esta fase, el ciclo vuelve a comenzar con la lectura de entradas, repitiéndose continuamente y a gran velocidad (normalmente en milisegundos).

Este ciclo se repite de forma continua mientras el PLC esté en funcionamiento, garantizando una supervisión y control constante del sistema. La velocidad con la que se ejecuta el ciclo depende del tamaño del programa y la capacidad del PLC, y es un factor crítico para aplicaciones que requieren tiempos de respuesta muy rápidos.

Componentes

Los PLC están conformados por varios componentes fundamentales que trabajan para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control.

- **Fuente de Alimentación:**

Este módulo suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del PLC y, en algunos casos, también para los dispositivos periféricos conectados. Asegura que todos los componentes del sistema reciban el voltaje y corriente adecuados.

- **Unidad Central de Procesamiento (CPU):**

Es el componente principal del PLC. Se encarga de ejecutar el programa de control, procesar las señales recibidas de los dispositivos de entrada y generar las señales adecuadas para los dispositivos de salida. Además, coordina todas las operaciones internas del sistema.

- **Memoria del Programa:**

En esta memoria se almacena el programa que define la lógica de control del proceso automatizado. Aquí se guardan las instrucciones que el PLC debe seguir para tomar decisiones en función de las entradas y producir las salidas correspondientes.

- **Módulos de Entradas y Salidas (E/S):**

Son los componentes que permiten al PLC interactuar con el entorno físico. Los módulos de entrada reciben señales de dispositivos como sensores, interruptores y botones, mientras que los módulos de salida envían señales para controlar actuadores, como motores, válvulas, lámparas o relés.

Tipos de PLC familia Allen Bradley

Gama baja: MicroLogix

Los PLC MicroLogix, como el de la Ilustración 51, son PLC compactos diseñados para aplicaciones pequeñas y medianas donde no se requiere gran cantidad de entradas/salidas ni una red de comunicación muy compleja [Rockwell Automation, 2009]

Características principales:

- Entradas y salidas integradas en el mismo equipo.
- Posibilidad de expansión mediante módulos de expansión lateral.
- Programación mediante software RSLogix 500.
- Capacidad de comunicación básica: puertos seriales (RS-232/RS-485), algunos modelos con Ethernet o DF1.

Aplicaciones típicas:

- Control de maquinaria sencilla.
- Automatización en pequeñas líneas de producción.
- Proyectos educativos o de aprendizaje.



Ilustración 51. PLC MicroLogix.

Modular (CompactLogix):

Los PLC CompactLogix, como el de la Ilustración 52, son de diseño modular, sin necesidad de chasis. Ofrecen un balance entre potencia, flexibilidad y costo, siendo ideales para sistemas de mediana complejidad [Rockwell Automation, 2025].

Características principales:

- Diseño modular: CPU, fuentes y módulos que se conectan en la misma base.
- Mayor capacidad de memoria y procesamiento que los MicroLogix.
- Conectividad: EtherNet/IP.
- Programación con Studio 5000 Logix Designer.

Aplicaciones típicas:

- Líneas de producción medianas.
- Sistemas de transporte y clasificación.
- Procesos industriales con necesidad de escalabilidad.



Ilustración 52. PLC CompactLogix 5380.

Alta gama (ControlLogix):

Los PLC ControlLogix, como el mostrado en la Ilustración 53, son de alto desempeño, diseñados para sistemas industriales complejos y de gran escala. Utilizan un chasis con backplane, lo que permite conectar múltiples módulos y procesadores [Rockwell Automation, 2020].

Características principales:

- Arquitectura con chasis: se pueden instalar CPU, fuentes, módulos de comunicación y seguridad.
- Gran capacidad de memoria y alta velocidad de procesamiento.
- Comunicación avanzada: EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet, ProfiBus, Modbus TCP/IP, etc.
- Integración con sistemas SCADA y MES.
- Programación con Studio 5000 Logix Designer.

Aplicaciones típicas:

- Plantas de producción de gran escala.
- Procesos continuos (petroquímica, minería, generación de energía).
- Sistemas de alta disponibilidad y tolerancia a fallos.



Ilustración 53. PLC ControlLogix.

El modelo 1756-L73 ControlLogix 5570 Controller, es el que se utiliza en las instalaciones de la empresa en la que se trabajó, en el control de las bandas de transporte que enlaza la maquinaria a este están conectados mediante los switches stratix todos los variadores instalados en la línea de producción.

Apéndice D

La condición o estado de su variador se monitorea constantemente. Cualquier cambio se indica mediante la pantalla LCD integrada [Rockwell Automation, 2024].

El variador está indicando un fallo.

La pantalla LCD integrada, proporciona notificación visual de una condición de fallo mostrando lo siguiente:

- Número de fallo parpadeante
- Indicador de fallo parpadeante (LED), presione la tecla Esc para recuperar el control de la pantalla.

En la Tabla 1 se muestran los códigos de fallo más recurrentes y sus posibles soluciones

Tabla 2 Códigos de fallo

	Fallo	Descripción	Acciones
F003	Perdida. de potencia	Se detectó operación monofásica con carga excesiva.	Medir la línea de CA de entrada en búsqueda de bajo voltaje o interrupción de la línea de alimentación eléctrica. Revisar los fusibles de entrada.
F004	Subtensión	El voltaje del bus de CC cayó por debajo del valor mínimo.	Medir la línea de CA de entrada en búsqueda de bajo voltaje o interrupción de la línea de alimentación eléctrica.
F005	Sobretensión	El voltaje del bus de CC cayó por debajo del valor mínimo.	Monitorear la línea de CA para verificar si el voltaje de la línea está alto o si presenta transientes. El Sobre voltaje del bus también puede ser ocasionado por la regeneración del motor. Prolongar el tiempo de desaceleración.
F007	Sobrecarga motor	Disparo por sobrecarga electrónica interna.	Existe una carga de motor excesiva. Reducir la carga para que la corriente de salida del variador no exceda la corriente establecida.
F009	SobreTemp CC	La temperatura del módulo de control excede un valor	Verificar la temperatura ambiente del producto.

			Verificar para determinar si hay obstrucción del flujo de aire. Verificar para determinar si hay suciedad o materias residuales. Revisar el ventilador.
F013	Fallo de tierra	Se detectó una ruta de corriente a tierra en uno o más de los terminales de salida del variador.	Revisar el motor y el cableado externo a los terminales de salida del variador para determinar la presencia de una condición de conexión a tierra.
F021	Pérd salida fase	Pérdida de fase de salida	Verificar el cableado del motor. Verificar el motor.
F041	Corto fase UV	Se detectó una corriente excesiva entre estos dos terminales de salida.	Revisar el cableado del variador y del terminal de salida del variador para determinar la presencia de una condición de cortocircuito. Reemplazar el variador si el fallo no se puede borrar.
F042	CortoC fase UW		
F043	CortoC fase VW		
F064	Sobrecarga variad	Se excedió la clasificación de sobrecarga del variador.	Reducir la carga o prolongue el tiempo de aceleración.
F073	Pérdida neta EN	El control a través del adaptador Ethernet/IP incorporado ha sido interrumpido.	Desconectar y volver a conectar la alimentación eléctrica. Revisar el cableado de comunicaciones. Verificar el ajuste de EtherNet/IP. Verificar el estado de red externo.
F114	Fallo uC	Fallo de microprocesador.	Desconectar y volver a conectar la alimentación eléctrica. Reemplazar el módulo de control si el fallo no se puede borrar.

Apéndice E

Los roles de puertos descritos en la disponibles. Tabla se basan en el tipo de dispositivos que se van a conectar a los puertos del switch. Por ejemplo, el rol de puerto Desktop for Automation está destinado específicamente a los puertos del switch que se van a conectar a computadoras de escritorio y portátiles.

Tabla 3 Roles de puerto disponibles.

Rol de puerto	Descripción
Automation Device	Aplique este rol a los puertos que se vayan a conectar a dispositivos EtherNet/IP (protocolo industrial Ethernet). Se puede usar para dispositivos de automatización industrial, como controladores lógicos y E/S: • El puerto está establecido en el modo Access. • La seguridad del puerto solo admite una ID MAC. • Optimiza la administración de colas para el tráfico CIP.
Multiport Automation Device	Aplique este rol a los puertos con DLR habilitado y a los puertos conectados a dispositivos EtherNet/IP multipuerto. Entre los dispositivos se encuentran los dispositivos EtherNet/IP con varios puertos distribuidos en una topología lineal o conectada en cadena, el módulo 1783-ETAP (para conexión únicamente al puerto del dispositivo), switches no administrados (como el Stratix 2000™) y switches administrados con el protocolo de árbol de expansión remoto (RSTP) inhabilitado: • El puerto está establecido en el modo Access. • Sin seguridad de puerto. • Administración de colas optimizada para el tráfico CIP.
Desktop for Automation	Aplique este rol a los puertos que se van a conectar a dispositivos de escritorio como, por ejemplo, computadoras de escritorio, estaciones de trabajo, computadoras portátiles y otros anfitriones basados en clientes: • El puerto está establecido en el modo Access. • Portfast habilitado. • La seguridad del puerto solo admite una ID MAC. No lo aplique a los puertos que se van a conectar a switches, routers o puntos de acceso.
Switch for Automation	Aplique este rol a los puertos que se van a conectar a otros switches con protocolo de árbol de expansión habilitado. El puerto está establecido en el modo Trunk.
None	Aplique este rol a los puertos si no desea tener un rol Smartport especializado en el puerto. Este rol se puede utilizar en conexiones a cualquier dispositivo, incluidos dispositivos con otros roles Smartport.

Referencias

- ABB. (2024). *New ABB*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- Allen Bradley. (Septiembre de 2013). *ROKWELLAUTOMATION*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-es-e.pdf
- Automation, R. (Agosto de 2018). *Stratix 5400 Industrial Ethernet Switches*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/internal-only/archive/products/hardware/allen-bradley/network-security-and-infrastructure/ethernet-networks/stratix-5400-industrial.html>
- Balta Perales, R. A. (2010). *Diseño del sistema de control automatico del relave en la unidad minera orcopampa de la empresa buenaventura*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/215400582/tesis-automatizacion?utm>
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. Newnes.
- Bonilla Díaz, H. E. (2010). *Implementación de una red de variadores de frecuencia en el laboratorio de operaciones unitarias para la automatización de equipos industriales*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/entities/publication/d45929ee-b1bf-4785-892b-541f0610cca2>
- Bose, B. K. (2002). *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*. Academic Press.
- Cisco & Rockwell Automation. (9 de Septiembre de 2011). *Literature Rockwell Automation*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/enet-td001_-en-p.pdf
- Cofré, D. A. (2019). *Diseño y configuracion de una red RT-Ethernet enrutada, enfoque práctico*. Obtenido de Repositorio academico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175042>
- Erickson, R. W. (2001). *Fundamentals of Power Electronics*. Springer.
- Hart, D. W. (2011). *Introduction to Power Electronics*. Indiana: Prentice Hall.
- Krause, P. C. (2013). *Analysis of Electric Machinery and Drives Systems*. Wiley-IEEE Press.

- Mohan, N. (2010). *Power Electronics; Converters, Applications and Design*. Minnesota: Wiley.
- Perry S. Marshall, J. S. (2004). *Industrial Ethernet*. North Carolina's: ISA—The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- Rashid, M. H. (2013). *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*. England: Pearson.
- Rockwell Automation & Cisco Systems. (Enero de 2022). *Literature Rockwell Automation*. Obtenido de Deploying Device Level Ring within a Converged Plantwide Ethernet Architecture: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/enet-td015_-en-p.pdf
- Rockwell Automation. (Octubre de 2009). *Controladores programables MicroLogix 1400*. Obtenido de Litterature Rockwell Automation: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1766-in001_-es-p.pdf
- Rockwell Automation. (2013). *PowerFlex 525 adjustable frequency AC drive*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/support/documentation/literature-library.html>
- Rockwell Automation. (2017). *Stratix managed switches user manual (UM1783)*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/support/documentation/literature-library.html>
- Rockwell Automation. (Agosto de 2020). *Controladores ControlLogix*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um543_-es-p.pdf
- Rockwell Automation. (Julio de 2024). *520-TD001I-EN-E PowerFlex 520-series AC Drive Specifications Technical Data*. Obtenido de Rockwell Automation: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/details.25B-A8P0N104.html#documentation>
- Rockwell Automation. (Noviembre de 2025). *CompactLogix 5380*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/5069-um001_-en-p.pdf
- Rockwell Automation, Inc. (Octubre de 2016). *Rockwell Automation*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/enet-pp012_-es-p.pdf
- Schneider Electric. (2022). *Product help*. Obtenido de <https://product-help.schneider->

electric.com/Machine%20Expert/V2.0/es/ESMEEtherNetIP/ESMEEtherNetI
P/gl_D_SE_0024697.812.html

Trelles Suárez, J. E. (2018). *Simulación y automatización de los sistemas variadores de velocidad para motores de corriente alterna*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15680>

USFULL. (2023). Obtenido de <https://www.usfull.com/es/7-consideraciones-para-seleccionar-un-variador-de-frecuencia/>